

陈裕川 主编

焊接工艺评定手册

机械工业出版社
China Machine Press

焊接工艺评定手册

主编 陈裕川
参编 王同芬 汪东明 张林
主审 周昭伟



机械工业出版社

本书围绕焊接工艺评定这一主题,首先概括介绍了焊接结构的制造工艺和各种材料的典型焊接工艺;系统而详细地论述了焊接工艺规程的内容、编制依据、程序和方法,焊接工艺评定的程序和各制造法规所规定的评定规则,焊接工艺评定中必须考虑的焊接工艺参数,焊接工艺评定的试验项目、方法和合格标准;列举了重要焊接结构部件焊接工艺评定的大量典型实例。此外,还客观地评述了国内外现行焊接工艺评定标准,对焊接生产企业焊接工艺的科学管理也作了必要的介绍。

本书可供从事焊接结构生产的初、中级以上技术人员和生产管理人员阅读,也可供大专院校有关专业的师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

焊接工艺评定手册/陈裕川主编;王同芬等编. —北京:机械工业出版社,1999. 10
ISBN 7-111-07446-7

I. 焊… I. ①陈…②王… II. 焊接工艺
IV. TG44

中国版本图书馆CIP数据核字(1999)第48347号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)
责任编辑:俞逢英 版式设计:张世琴 责任校对:姚培新
封面设计:李雨桥 责任印制:何全君
北京京丰印刷厂印刷,新华书店北京发行所发行
2000年1月第1版第1次印刷
787mm×1092mm^{1/16}·57印张·插页2·1413千字
0 001—3500册
定价:88.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换
本社购书热线电话(010) 68993821、68326677-2527

前 言

近 20 年来,焊接技术的发展十分迅速。在我国,随着工业现代化的突飞猛进,焊接结构已广泛应用于锅炉、核能、电力设备、压力容器、管道、船舶、重型机械、桥梁、建筑结构、车辆和工程机械等重要工业部门。鉴于焊接结构不断向大型化、重型化和高参数方向发展,对产品的焊接质量提出了越来越严格的要求,并以设计规范、制造法规或规程等形式,对生产企业的焊接质量控制作出了全面而科学的强制性规定。其中,焊接工艺评定就是在法规中明确规定的控制产品焊接质量最重要和最有效的方法和程序之一。

自 80 年代初我国实行改革开放政策以来,上述各工业领域的生产企业,通过引进国外先进制造技术,贯彻国际公认先进的权威性工业标准,已逐步将焊接工艺评定作为企业保证焊接质量必不可少的重要环节,对控制产品焊接质量取得了十分显著的效果。但同时也必须看到,各生产企业在完成焊接工艺评定工作中也还存在着不少值得重视的问题。由于焊接工艺本身可变参数繁多,对焊接质量的影响因素也十分复杂。因此,在各生产企业中既要使焊接工艺评定工作不流于形式,使其成为控制产品焊接质量的有效手段,又要避免耗资可观的重复评定,使企业能在最经济的条件下完成必要的焊接工艺评定,确实是一项相当困难的任务。加之,我国现行的几份焊接工艺评定标准还不尽完善和合理,又进一步加大了这项工作的难度。因此编写出版全面系统论述焊接工艺评定内容实质和规则的实用性手册显得甚为必要。

本书是作者在总结近 10 余年来实际从事锅炉、压力容器、管道、船舶、钢结构等焊接工艺评定工作所积累的经验,并认真消化吸收国外先进的有关法规、标准的基础上编写而成的。

本书共分 7 章和 2 个附录。其中第 2 章由哈尔滨锅炉厂汪东明工程师编写;第 5、6 章由哈尔滨电力设备修造总厂王同芬高级工程师编写;第 7 章由江南造船(集团)公司张林工程师编写;其余各章及附录由本书主编陈裕川高级工程师编写;由哈尔滨焊接研究所周昭伟教授级高级工程师审阅。

本书在编写过程中得到了许多焊接专家的热情鼓励和支持。上海锅炉厂廖奎光副总工程师、江南造船(集团)公司黄海谷高级工程师为本书提供了宝贵的参考资料。大连北方焊接技术开发公司陆芝芳总经理为本书的编写和出版给予了大力支持。在本书出版之际,谨致以衷心的感谢。

希望本书对我国广大焊接工作者,在正确理解焊接工艺评定工作实质,以及合理执行评定规则方面有所帮助。恳请广大读者对本书的不足和错误之处提出批评指正。

陈裕川

目 录

前言

绪论

- 1 焊接工艺的发展概况 1
- 2 焊接工艺评定工作的重要性和
必要性 2

第1章 焊接结构的制造工艺

- 1 焊接结构制造工艺概述 4
 - 1.1 材料的检验 5
 - 1.2 金属结构材料的预处理 5
 - 1.3 切割下料 5
 - 1.4 坡口加工 6
 - 1.5 成形加工 7
 - 1.6 装配与焊接 8
 - 1.7 焊后热处理 9
 - 1.8 焊件的质量检查 9
 - 1.9 焊接结构的后处理 13
 - 1.10 焊接结构的涂装 14
- 2 典型焊接结构制造工艺流程 14
 - 2.1 钢板卷焊式容器制造工艺流程 14
 - 2.2 船体焊接制造工艺流程 20
- 3 焊接方法及焊接工艺参数 24
 - 3.1 气焊 25
 - 3.2 焊条(手工)电弧焊 26
 - 3.3 埋弧焊 27
 - 3.4 熔化极气体保护电弧焊 29
 - 3.5 气电立焊 32
 - 3.6 钨极惰性气体保护电弧焊 34
 - 3.7 等离子弧焊 38
 - 3.8 电渣焊 44
 - 3.9 电子束焊 48
 - 3.10 激光焊 52
 - 3.11 电阻焊 56
 - 3.12 螺柱焊 67
 - 3.13 摩擦焊 69
 - 3.14 堆焊 71
- 4 焊接工艺要素 77
 - 4.1 焊接接头的设计 77
 - 4.2 焊接结构用材料 83
 - 4.3 焊接材料 88
 - 4.4 预热、层间温度和低温后
热处理 94
 - 4.5 焊后热处理 99
 - 4.6 焊接能量参数 104
 - 4.7 焊接操作技术 104
 - 4.8 焊后检验 105

第2章 各种材料的焊接工艺

- 1 碳素钢的典型焊接工艺 112
 - 1.1 低碳钢的焊接 112
 - 1.2 中碳钢的焊接 115
 - 1.3 高碳钢的焊接 117
- 2 低合金结构钢的焊接工艺 117
 - 2.1 低合金结构钢的焊接特点 117
 - 2.2 低合金结构钢用焊接材料 118
 - 2.3 低合金结构钢的焊接方法选择 121
 - 2.4 低合金结构钢的焊前准备与焊接
工艺参数的选择 121
 - 2.5 低合金结构钢的焊后热处理 123
 - 2.6 低合金结构钢的焊后检验 125
 - 2.7 常用低合金结构钢的典型焊接
工艺 126
- 3 耐热钢的焊接工艺 127
 - 3.1 对耐热钢焊接接头性能的基本
要求 129
 - 3.2 低合金耐热钢的典型焊接工艺 129
 - 3.3 中合金耐热钢的典型焊接工艺 133
 - 3.4 高合金耐热钢的典型焊接工艺 135
- 4 不锈钢的焊接工艺 140
 - 4.1 不锈钢焊接接头的耐蚀性 144
 - 4.2 不锈钢的典型焊接工艺 144

5	镍及镍合金的焊接工艺	148
5.1	镍基合金的焊接特点	148
5.2	镍基合金的典型焊接工艺	149
6	钛及钛合金的焊接工艺	153
6.1	钛及钛合金的焊接性	158
6.2	钛及钛合金的典型焊接工艺	160
7	铝及铝合金的焊接工艺	164
7.1	铝及铝合金的焊接性	164
7.2	铝及铝合金的典型焊接工艺	168
8	铜及铜合金的焊接工艺	173
8.1	铜及铜合金的焊接特点	174
8.2	铜及铜合金的典型焊接工艺	177

第3章 焊接工艺规程及焊接工艺评定

1	焊接工艺管理概述	185
1.1	焊接工艺管理的程序	185
1.2	焊接工艺管理的主要环节	186
2	焊接工艺规程及其编制	193
2.1	焊接工艺规程的定义	193
2.2	焊接工艺规程的内容	193
2.3	焊接工艺规程的编制程序	194
2.4	焊接工艺规程的编写方法	196
2.5	焊接工艺规程的可用性及 有效性	200
3	焊接工艺评定及其基本要求	200
3.1	焊接工艺评定的定义	200
3.2	焊接工艺评定的程序	200
4	焊接工艺评定规则	206
4.1	锅炉与压力容器焊接工艺评定 规则	206
4.2	钢结构焊接工艺评定规则	215
4.3	船体结构焊接工艺评定规则	240
5	焊接工艺参数	241
5.1	焊接重要参数、补加参数和次要 参数	241
5.2	焊接工艺参数的分类	241
6	焊接工艺评定报告的内容	252
6.1	焊接工艺设计书的内容	253
6.2	焊接工艺评定报告的各项目 内容	253

第4章 焊接工艺评定试验

1	概述	255

2	焊接工艺评定试验项目及 试验方法	255
2.1	锅炉与压力容器焊接工艺评定 试验项目	255
2.2	焊接工艺评定试验方法及合格 标准	261
2.3	钢结构焊接工艺评定试验项目	272
2.4	钢结构焊接工艺评定试验方法和 合格标准	277
3	焊接工艺评定报告的管理	282
3.1	焊接工艺评定报告的管理程序	282
3.2	焊接工艺评定报告的合法性	282
3.3	焊接工艺评定报告的有效性	283
3.4	焊接工艺评定及焊接工艺规程的 局限性	283
3.5	焊接工艺评定报告与焊接工艺规程 之间的关系	284
3.6	焊接工艺守则示例	285
3.7	产品焊接技术条件示例	292
4	焊接工艺评定工作的完善化	304
4.1	修订完善现行焊接工艺评定 标准	304
4.2	借鉴美国 ASME 法规	304
4.3	正确理解和贯彻工艺评定标准	305
5	焊接工艺评定的计算机管理	306
5.1	焊接工艺评定计算机管理的 必要性	306
5.2	焊接工艺评定计算机管理 系统功能	306
5.3	焊接工艺评定计算机管理的 局限性	307
5.4	数据库系统	307
5.5	比较判断系统	310

第5章 锅炉焊接工艺评定实例

1	锅炉锅筒焊接工艺评定实例	311
2	锅炉集箱焊接工艺评定实例	372
3	锅炉受热面管焊接工艺评定 实例	462
4	锅炉钢结构焊接工艺评定实例	609

第6章 压力容器焊接工艺评定实例

1	压力容器筒体接头的焊接工艺

评定实例	640	评定实例	846
2 厚壁压力容器接头的焊接工艺		附录	883
评定实例	697	附录 A 国内现行焊接工艺评定标准主要	
		内容对比	883
第 7 章 船体结构的焊接工艺评定实例		附录 B 德国劳埃德船建法规中关于船体结构	
1 船体结构部件的焊接工艺评定		焊接工艺评定的规定	892
实例	791	参考文献	906
2 其它钢结构部件的焊接工艺			

绪 论

1 焊接工艺的发展概况

近 30 年来,我国焊接技术的发展十分迅速,已经从单一的焊接技术发展成为综合性的制造技术,所涉及的技术领域包括结构材料,结构设计,焊接方法、焊接设备及工艺装备,焊接材料,焊件毛坯的前处理与加工,焊接标准,焊接过程的机械化和自动化,焊接工艺过程的控制,焊缝质量的监控、检验和管理,焊后热处理,焊件的后处理及涂装,焊接环保及焊接结构的失效分析等。

焊接结构用材料已从普通的碳素钢、低合金钢扩大到各种中合金钢、高合金钢、不锈钢、低温钢、耐热钢及耐热合金、耐蚀镍基合金、铝及铝合金、铜及铜合金、钛及钛合金、耐磨合金、难熔金属及活性金属、铸铁、工程塑料以及陶瓷等。

焊接结构的应用领域已从锅炉、压力容器、管道、船舶、车辆扩大到航天、航空工程、建筑、桥梁、机床、核能设备、冶金矿山设备、轻工、医疗器械、家用电器件、电子仪表以及食品、饮料加工设备等。

在工业生产中应用的焊接方法,除了气焊、焊条电弧焊(曾称为手弧焊)、埋弧焊、电阻焊及电渣焊等传统焊接方法外,目前已广泛采用了钨极氩弧焊、 CO_2 气体保护焊、熔化极惰性气体保护焊、等离子弧焊、电子束焊、激光焊、高频焊、感应压力焊、摩擦焊、爆炸焊、超声波焊、扩散焊、冷压焊、热剂焊、堆焊、钎焊及热喷涂等。

焊接设备已从最原始的交流变压器、电动机驱动直流弧焊机和硅整流电源,发展到晶闸管整流电源、晶体管电源、逆变型电源以及微机控制焊接电源。自动与半自动^①焊机的控制系统也从最简单的电磁继电器控制,发展到无触点电子控制、微机控制和可编程序逻辑控制。焊缝跟踪、弧长控制和工艺参数的监控已在各类自动焊机中得到成功的应用。焊接工艺装备已从简单的操作机、滚轮架、变位器和翻转胎等发展到全自动化的专用成套焊接装备和焊接加工中心。焊接机器人和柔性制造系统也开始在专业化生产中发挥作用。

为适应结构材料及焊接方法的发展,焊接材料已从以药皮焊条为主转变为多品种、多型号的生产。实心焊丝、药芯焊丝的产量逐年增加,高强度钢、耐热钢、不锈钢和铝材等焊接材料正不断地扩大其应用范围。

焊件毛坯的表面状态及坡口加工精度是保证焊接接头质量的重要条件,这已为焊接工程界所普遍接受。现在已有不少企业建立了钢板、型钢、管子预处理生产线,配备了各种类型的坡口加工设备,如刨边机、铣边机、管端坡口机以及专用边缘车床等。焊件毛坯的预处理和坡口的精确加工已成为重要焊接结构制造工艺不可缺少的部分。

随着焊接结构不断向高参数、大型化、重型化方向发展,对焊接接头的质量提出了越来越高的要求。许多企业正在按 ISO 9000 质量管理和质量保证标准建立或完善质量保证体系,

① GB3775—94 标准中,将手工焊、机械化焊接和自动焊作了重新定义,没有半自动焊之称。用自动焊接装置完成全部焊接操作的方法为自动焊,下同。

以加强制造过程的质量控制以及对焊接工艺参数的监控和记录。焊接接头的各种无损检测技术,如表面磁粉探伤、X射线探伤、超声波探伤和渗透探伤法,得到了普遍的应用。在批量生产或连续生产线生产中,为加快无损检测的速度,射线图像数字分析和工业电视显示技术已开始实际应用。在超声波探伤中,智能化数字式超声波检测仪、计算机控制自动扫描超声波检测仪以及图像分析和信号处理系统已研制成功并投放市场。这些先进的检测仪不仅可提高缺陷检测精度,而且消除了超声波探伤仪缺陷信号波形无记录的弊病。这些检测仪可直接与计算机、打印机、终端、监视器和录像机连接,记录缺陷信号波形十分方便。

对于锅炉、压力容器和高压管道等重要焊接结构,为确保焊接接头的各项性能与母材金属基本相等,焊后热处理工艺在很大程度上起着决定性的作用。由于在这些焊接结构中广泛应用了高强度钢、耐热合金钢、高合金马氏体钢、不锈钢和沉淀硬化不锈钢等新型结构材料,焊后热处理已从简单的消除应力处理,发展到正火加回火处理,调质处理和固溶处理等较复杂的热处理工艺。

综上所述,焊接工艺的发展遵循着以下三个原则:第一,必须确保焊件的质量,焊缝不容许有超标的缺陷,接头的各项性能必须符合产品技术条件和相应标准的要求;第二,在确保焊接接头质量的前提下尽可能提高焊接效率;第三,最大限度地降低生产成本,获取最高的经济效益。同时,还应强调指出,焊接工艺过程较为复杂,影响接头质量的工艺参数繁多,焊接工艺的正确性和合理性必须通过相应的试验即所谓焊接工艺评定加以验证。

2 焊接工艺评定工作的重要性和必要性

在许多重要的焊接结构中,如锅炉、压力容器、高压管道、船舶、桥梁和高层建筑,其焊接接头都是按照等强原则设计的,焊接接头强度的减弱或韧性不足都会导致整个焊接结构的提前失效,甚至导致灾难性的后果。在各种腐蚀介质中运行的焊接结构,如焊缝的化学成分或接头的金相组织不符合要求,则会产生严重的选择性腐蚀而导致结构的破坏。因此,对于这样的焊接结构,在投产之前,通过在接近生产实际的条件下焊制试板,取样验证接头的各项性能是十分重要的。根据几十年积累的生产经验,国际焊接工程界逐步形成了一套焊接工艺评定规则。美国机械工程师学会(ASME)锅炉与压力容器委员会于1940年组织编写了世界上第一本《焊接与钎焊工艺评定及焊工与钎焊工技能考核标准》,并于1962年作了重大修改和补充,成为美国ASME锅炉与压力容器法规的第九卷,强制性地在美国和加拿大锅炉压力容器制造行业贯彻执行。后来被许多工业国所沿用而成为世界公认的权威性的标准。可以认为,它是目前世界上较科学、较完整、较合理和较系统的焊接工艺评定标准。该标准第二章总则明确规定,每家承担锅炉和压力容器生产任务的制造厂必须具备两个先决条件:其一是应当制定出能指导焊工焊接产品焊缝的焊接工艺规程;其二必须按标准通过焊接试板和试样的检验,证明按该焊接工艺规程焊接的接头完全符合产品设计规程的要求。焊接工艺评定报告应由企业管理者或管理者代表审查签字,以此保证该企业可完成的工艺评定程序的合法性以及试验结果的正确性。几十年的经验表明,美国ASME锅炉与压力容器法规第九卷,对焊接工艺评定的要求和规定是控制锅炉与压力容器产品焊接质量行之有效的程序和方法。我国劳动部颁发的《蒸汽锅炉安全技术监察规程》和《压力容器安全技术监察规程》,自1987年起都增加了有关焊接工艺评定的规定。如1996年8月颁发的《蒸汽锅炉安全技术监察规程》中第五章第64条规定“采用焊接方法制造、安装、修理和改造锅炉受压元件时,施焊单位应

制定焊接工艺指导书并进行焊接工艺评定，符合要求后才能用于生产”。第 71 条对焊接工艺评定的范围和试验程序及要求作出了如下的明确规定：“锅炉产品焊接前，焊接单位应按附录 A 的规定，对下列焊接接头进行焊接工艺评定：

1) 受压元件之间的对接焊接接头。

2) 受压元件之间或者受压元件与承载的非受压元件之间连接的要求全焊透的 T 形接头或角接接头。

因此，每家锅炉与压力容器制造厂都必须按照上述安全技术监察规程在产品投产之前，完成必需的焊接工艺评定工作，使焊接工艺评定成为锅炉与压力容器制造厂技术准备工作中一项不可缺少的内容。这也是劳动部监察机构对制造厂进行安全技术检查中必须检查的项目，以证实其焊接工艺评定报告的合法性和正确性。

在船舶、重型机械、桥梁和钢结构制造行业中，焊接工艺评定也都成为相应法规或规程中强制性执行的条款，这样就使焊接工艺评定工作具有普遍的重要意义并为广大焊接工作者所关注。如何正确理解焊接工艺评定的实质、宗旨、内容、试验程序、结果评定及适用范围，合理和合法地执行相关标准，既保证产品的焊接质量，又能简化评定程序，避免不必要的重复评定试验，节省大量人力物力，这是我国焊接工作者当前迫切需要解决的一项重要任务。

第 1 章 焊接结构的制造工艺

1 焊接结构制造工艺概述

焊接结构制造工艺取决于产品的结构形式。从原材料进厂复验入库到产品最终检验合格入库，其基本的加工工艺有：钢材矫正、钢材的表面预处理、按图划线剪切或数控切割机下料、冲压、成形、坡口加工、部件装配焊接、变形矫正、机械加工、总装焊接、热处理、无损检测、最终耐压、气密性及性能试验、成品后处理、涂装、包装入库等。典型的焊接结构制造工艺顺序示意图见图 1-1。

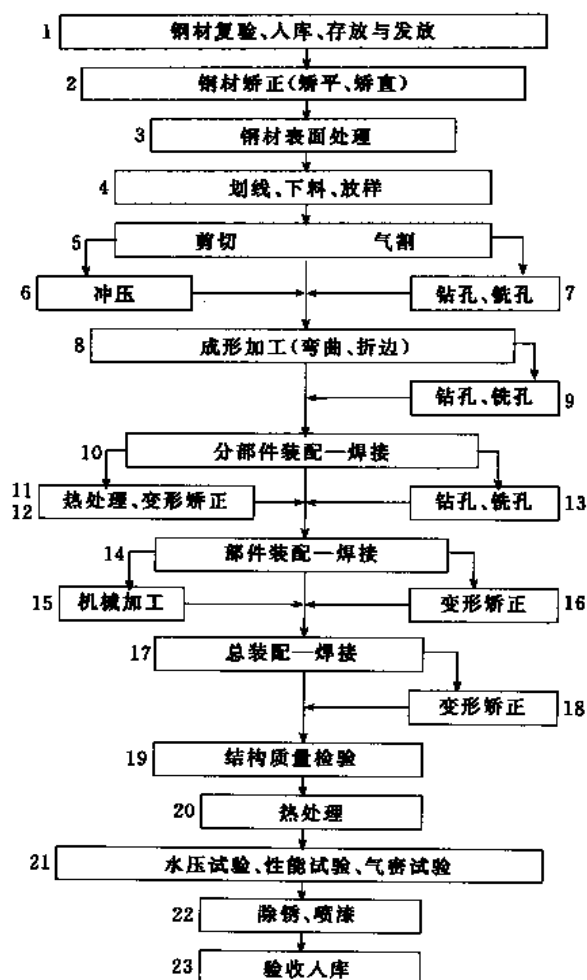


图 1-1 典型焊接结构制造工艺顺序示意图

对制造工艺过程各工序的技术要求应在产品或部件的综合工艺卡或工艺流程卡中加以说明，以保证各工序的加工质量。

1.1 材料的检验

制造焊接结构用材料包括：①金属结构材料，如各种钢材，耐蚀耐热合金，有色金属及其合金等；又分板材、型材和管材。②焊接材料，品种有焊条、实心焊丝、药芯焊丝、焊带及金属粉末、钎料和焊剂等。③辅助材料有燃气、保护气体、脱脂清洗剂等。由于金属结构材料和焊接材料的化学成分和性能直接影响到焊接结构的运行特性和使用寿命，材料生产单位必须提供内容齐全的质量证明书，各项理化性能必须符合相应的国家标准或行业标准的规定。对于制造受压部件和重要金属结构用材料，制造单位应按批进行理化性能的复验，确认材料各项性能指标符合相应标准要求后才能验收入库。

材料的验收项目应根据产品的设计要求而定，主要项目有材料炉批号、型号、牌号、化学成分、力学性能、耐蚀性、高温或低温韧性等。对于首次应用的结构材料还应按相应的标准进行金属的焊接性试验和焊接工艺评定试验。

对于尚未列入国家标准或行业标准结构材料和焊接材料，可按国际通用的相应标准或供需双方签订的技术协议进行验收。

1.2 金属结构材料的预处理

金属结构材料的预处理主要是指钢材的预处理，即将钢材在使用前进行矫正和表面清理。钢材在吊装、运输和存放过程中如不严格遵守有关的操作规程，往往会产生各种变形，如整体弯曲、局部弯曲、波浪形挠曲等，不能直接用于生产而必须加以矫正。

薄钢板的矫正通常采用多辊轴矫平机，卷筒钢板的开卷亦应通过矫平机矫平。厚钢板的矫平则应用大型水压机在平台上矫正，型钢的弯曲变形可采用专用的型钢矫正机矫正。

钢板和型钢的局部弯曲通常采用火焰矫正法矫正。加热温度一般不应超过钢材的回火温度。加热后可在空气中冷却或喷水冷却。

钢材表面的氧化物、铁锈及油污对焊缝的质量会产生不利的影响，焊前必须将其清除。清理方法有机械法和化学法两种。机械清理法包括喷砂、喷丸、砂轮修磨和钢丝轮打磨等。其中喷丸的效果较好，在钢板预处理连续生产线中大多采用喷丸清理工艺。

化学清理法通常采用酸溶液清理，即将钢材浸入质量分数为2%~4%的硫酸溶液槽内，保持一定时间取出后放入质量分数为1%~2%的湿石灰液槽内中和，取出烘干。钢材表面残留的石灰粉膜可防止金属表面再次氧化，切割或焊接前将其从切口或坡口面上清除即可。

1.3 切割下料

焊件毛坯的切割下料是保证结构尺寸精度的重要工序，应严格控制。如采用机械剪切、手工热切割和机械热切割法下料，则应在待下料的金属毛坯上按图样和1:1的比例进行划线，划线用的卷尺、盘尺和钢直尺必须经计量部门鉴定合格。对于批量生产的工件，也可采用按图样的图形和实际尺寸制作的样板划线。每块样板都应注明产品合同号、图号、规格、图形符号和孔径等，并经检查员检查合格后才能使用。手工划线和样板的尺寸公差应符合标准规定，并考虑焊接的收缩量和加工余量。

钢材可以采用剪床剪切下料或采用热切割方法切割号料。常用的热切割方法有火焰切割、等离子弧切割和激光切割。激光切割多半用于薄板的精密切割。等离子弧切割主要用于不锈

钢及有色金属的切割，空气等离子弧切割由于成本低亦用于碳钢的切割。水下等离子弧切割用于薄板的下料，具有切割精度高且无切割变形的优点。

不锈钢板剪切下料时应注意切口附近的冷作硬化现象，此硬化带的宽度一般为 1.5~2.5mm。由于冷作硬化对不锈钢的性能有严重的不利影响，此硬化带应采用机械加工方法去除掉。

合金总的质量分数超过 3% 的高强度钢和耐热钢厚板热切割时，切割表面会产生淬硬现象，严重时会导致形成切割裂纹。切割裂纹形成的原因不外乎是切口的淬硬组织加上切割应力。厚板切割时钢板轧制的残余应力会加速表面切割裂纹向钢板的纵深方向扩展。因此，低合金高强度钢和耐热钢厚板切割前，应将切口的起始端预热 100~150℃，板厚超过 70mm 时，应在切割前将钢板作退火处理。

采用数控切割机下料，可以省去划线这道工序，同时还可提高切割的精度。通过计算机合理套裁，可大大提高材料的利用率，这是一种值得推广的现代化自动切割设备。

1.4 坡口加工

为使焊缝的厚度达到图样规定的尺寸或获得全焊透的焊接接头，接缝的边缘应按板厚和焊接工艺方法加工成各种形式的坡口。最常用的坡口形式为 V 形、双 V 形、U 形及双 U 形坡口。坡口加工可以采用机械加工或热切割法。V 形坡口和双 V 形坡口可以在机械气割下料时，采用双割炬或三割炬同时完成坡口的加工，如图 1-2 所示。

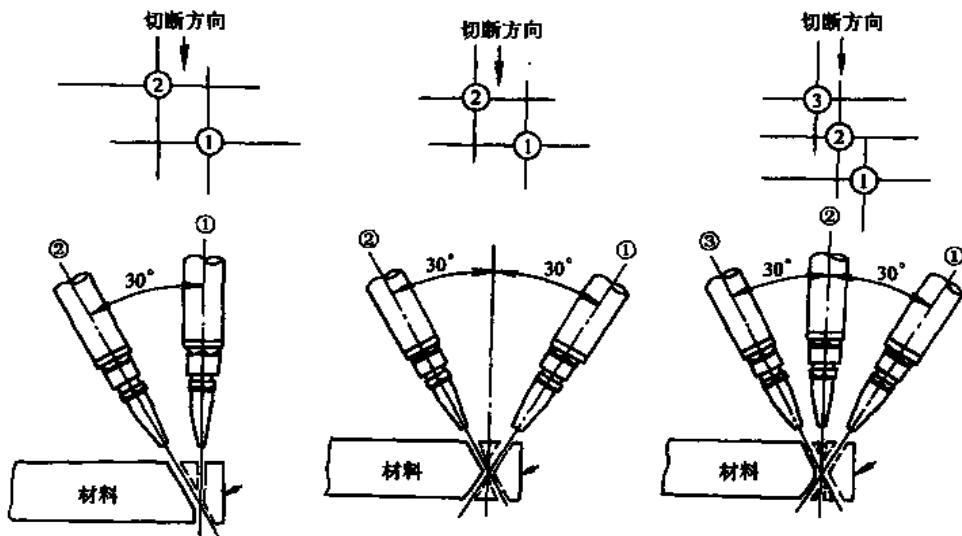


图 1-2 坡口切割方法

钢板边缘坡口的机械加工可采用专用的刨边机、铣边机，也可采用普通的龙门刨床加工。管子端部的坡口加工则可采用气动和电动的管端坡口机。大直径筒体（直径 600mm 以上）环缝的坡口加工可采用大型边缘车床。

坡口加工的尺寸公差对于焊件的组装和焊接质量有很大的影响，应严格检查和控制。坡口的尺寸公差一般不应超过 $\pm 0.5\text{mm}$ 。

不锈钢、有色金属和淬硬倾向高的合金钢焊件边缘应采用机械加工方法加工坡口。具有

较高淬硬倾向的合金钢焊件，如采用热切割法加工坡口，则坡口表面在热切割后应作表面磁粉探伤。

1.5 成形加工

大多数焊接结构，如锅炉压力容器、船舶、桥梁和重型机械等，许多部件为达到产品设计图样的要求，焊接之前都经过成形加工。成形工艺包括冲压、卷制、弯曲和旋压等。

圆筒形和圆锥形构件，如压力容器的筒体和过渡段、锅炉锅筒、大直径管道等都是采用不同厚度的钢板卷制而成的。卷制通常在三辊筒或四辊筒卷板机上进行，厚壁筒体亦可采用特制的模具在水压机或油压机上冲压成形。筒体的卷制实质上是一种弯曲工艺。在常温下弯曲，即所谓冷弯时，工件的弯曲半径不应小于该种材料所特定的最小允许值，对于普通碳素结构钢（简称碳素钢），弯曲半径不应小于 25δ （ δ 为板厚），否则材料的力学性能会大大下降。冷卷的筒体，当其外层纤维的伸长率超过 15% 时，应在冷卷后作回火处理，以消除冷作硬化引起的不良后果，通常板厚小于 50mm 的钢板可采用冷卷，大于 50mm 的钢板应采用热卷或热冲压成形。

正常的热卷和热冲压温度应选择在材料的正火温度，以保证热成形后材料仍保持标准规定的力学性能。但是，在许多情况下，往往由于设备功率不足等原因，将工件加热到超过材料正火温度的高温，而导致晶粒长大，力学性能降低。对于这种超温卷制或冲压的筒体，应在卷制或冲压完成后，再作一次常规的正火处理，以恢复其力学性能。当卷制某些对高温作用较敏感的合金钢板时，应制备母材金属试板，且随炉加热并随工件同时出炉，以检验母材金属经热成形后的力学性能是否符合标准的规定。

压力容器、锅筒、储罐等球形封头、椭圆形封头、顶盖、球罐的球瓣通常采用水压机或油压机在特制的模具上冷冲压或热冲压而成。冷冲压和热冲压对冲压件材料性能的影响类似于冷卷和热卷。当冲压后的工件冷变形度超过容许极限或冲压温度超过材料正常的正火温度时，冲压后工件应作相应的热处理，以恢复材料的力学性能。奥氏体不锈钢冷冲压件，冲压后应作固溶处理。

在未配备水压机或油压机的制造厂中，壁厚小于 32mm 的碳素钢封头和壁厚小于 25mm 的不锈钢封头可以采用旋压成形的方法制造。旋压成形是将工件在旋转过程中利用紧靠工件内外壁的两个辊轮加压，按预定的要求将工件旋压成形的工艺。与冲压相比，这种工艺具有设备功率小，适应性强，加工周期短，成形质量好，表面粗糙度值小等优点。

封头的旋压可按工件的壁厚采用冷旋压和热旋压法。冷旋压成形又可分二步法和一步法两种。厚壁封头的热旋压通常采用冲旋联合成形法。二步冷旋压成形法首先是将毛坯在压鼓机上压成碟形，即把封头的中心圆弧部分压制成为所要求的曲率，然后再在旋压机上翻边，把封头的周边旋压到所要求的球面。

现有旋压机可旋压的最小封头直径为 1500mm，最大封头直径为 5200mm。

在薄壁金属结构中，许多薄板元件为增加惯性矩而设计成直角形、矩形和棱形截面，这些元件通常采用折边机或折弯机进行折弯成形。最常用的折弯

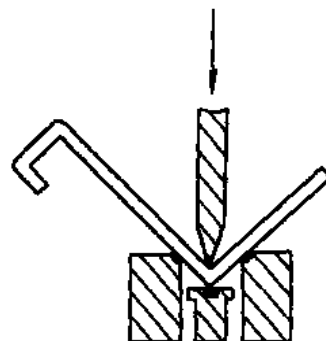


图 1-3 板料三点折弯原理

法为三点折弯法,即凹模槽口为2点,上柱销为1点,如图1-3所示。如要求较高的折弯精度,则可选用数控折弯机折弯成形。

在许多焊接结构中大量采用管件和型材,同时也要求其按设计图样弯曲成形。

管材的弯曲可按管子的直径、壁厚和成形精度要求分别采用手动、电动、液压传动以及数控液压弯管机。数控系统弯管机不仅可作平面弯曲,而且也能完成三维空间弯曲。最大弯曲角度可达 195° ,最小弯曲半径为 $1.2D$ (D 为管子外径)。大直径厚壁管通常在大型弯管机上热弯成形。热弯的加热温度不应超过材料正常正火温度的上限。

型材的弯曲可采用三辊或四辊型材弯曲机,其工作原理与三辊、四辊卷板机相似。三辊型材弯曲机的最小弯曲半径为400mm。

1.6 装配与焊接

装配与焊接是决定产品最终质量的关键性工序,工厂必须为每一部件编制装配工艺卡和焊接工艺规程。专职检查员应严格按上列工艺文件检查装配质量和焊缝质量。

焊件的装配不仅要求部件的尺寸符合设计图样的规定,而且要保证接头的装配及定位焊缝的质量符合产品焊接技术条件的要求。影响焊缝质量最重要的接头装配尺寸是:

1) 接头的间隙,间隙的大小与所采用的焊接工艺方法有关,间隙的装配尺寸允差不应大于焊接工艺规程规定值的 $\pm 0.5\text{mm}$ 。

2) 接头错边,即两相接边缘偏离中心线的差值。以锅炉锅筒为例,纵缝或封头拼接缝两边钢板边缘的偏差不应大于名义板厚的10%,且不超过3mm,当板厚大于100mm时,不超过6mm;环缝两边钢板的边缘偏差不应大于名义板厚的15%,且不超过6mm,当板厚大于100mm时,则允差不超过10mm。

为保证装配的质量,在装配前应按图样和有关工艺文件严格检查待装配零部件的加工尺寸和焊缝坡口尺寸。在装配过程中应采用相应的装配工夹具组装定位,不应采取强制装配。当发现零部件装配尺寸不符合图样要求时,不容许用手工气割修正,应退回原定工序工位修正合格后再组装。

采用定位焊缝组装焊件时,尽量采用拉肋板定位焊,避免在焊接坡口内用定位焊加固。如因条件限制,必须在焊接坡口内用定位焊加固装配时,则应在焊接前,用电弧气刨或砂轮打磨清除定位焊缝。如将定位焊缝保留作为产品焊缝的一部分时,则定位焊应由考试合格的焊工担任,并采用与焊接产品焊缝相同的焊条焊接。

当组装高强度钢和其它低合金钢焊件时,如采用拉肋板直接在焊件上进行定位焊时,则必须采用低氢型焊条,并在定位焊区加局部预热,预热温度不得低于焊接工艺规程对该种钢所规定的预热温度。

装配-焊接顺序可分整装-整焊,部件装配焊接-总装配-焊接和交替装焊三种类型。主要按产品结构的复杂程度和生产批量选定。整装-整焊方式是将所有零部件按图样要求组装定位焊加固好,然后转入焊接工序,将全部焊缝焊完。这种装焊方式适用于结构简单、便于采用各种装配工夹具组装定位、生产批量较大的焊接结构。

部件装配焊接-总装焊接方式是将整个结构分成若干部件,先将各部件装配焊好,然后再将各部件总装焊成产品。这种装焊方式适用于大型复杂的焊接结构,如车辆、船体和高层建筑等,分部件装焊方式也便于采用各种先进高效的焊接工艺方法和专用工艺装备。

交替装焊法是先将部件、零件组装焊接，然后再将部件、零件装焊直至装焊成最终的产品。这种结构适用于特殊的复杂结构的单件小批量生产。

焊接结构的制造中，无论是零部件的焊接，还是总装焊缝的焊接，都应严格遵守评定合格的焊接工艺规程。焊工必须经专门的培训并按相应的技术监督机构制定的考试规则考试合格。这是保证焊接结构制造质量最重要的先决条件，关于焊接工艺规程的编写程序和具体内容将在第3、4章中详细论述。

1.7 焊后热处理

焊后热处理是焊接工艺的重要组成部分，它与焊件材料的种类、型号、板厚，所选用的焊接工艺焊接材料及对接头性能的要求密切相关，是保证焊件使用特性和寿命的关键工序。焊后热处理不仅可以消除或降低结构的焊接残余应力，稳定结构的尺寸，而且能改善接头的金相组织，提高接头的各项性能，如抗冷裂性、抗应力腐蚀性、抗脆断性、热强性等，对于某些合金钢和调质钢焊件，焊后热处理是决定接头性能的重要工序。

根据焊件材料的类别，可以选用下列不同种类的焊后热处理：

- 1) 消除应力处理。
- 2) 回火。
- 3) 正火+回火，亦称空气调质处理。
- 4) 调质处理（淬火+回火）。
- 5) 固溶处理（只用于奥氏体不锈钢）。
- 6) 稳定化处理（只用于稳定型奥氏体不锈钢）。
- 7) 时效处理（用于沉淀硬化钢）。

焊后热处理制度，如加热温度、加热速度、保温时间和冷却速度等对于常用钢种，在各种焊接结构制造规程中都有明确的规定。对于新钢种或工厂初次使用的钢种，应按钢种的类别，通过相应焊后热处理试验和接头性能检验来确定，关于焊后热处理的条件及工艺细则，将在《焊接工艺要素》所给出的具体条目中详细论述。

1.8 焊件的质量检查

焊件的质量主要应依靠生产全过程各工序、特别是关键工序的控制。长期的生产实践证明，这是焊件质量最可靠的控制方法，也是最经济的质量保证措施。焊件的最终质量检查，实际上是辅助性的质量控制手段。如果只强调最终的质量检查而忽视生产全过程的控制，很可能造成重大的经济损失。

不过，就目前企业的管理水平而言，焊件的最终质量检查仍然是保证焊接结构质量不可缺少的重要环节。

焊件的最终质量检查，可按产品的结构特点和技术要求，分为以下几项：

- 1) 焊接结构的外形尺寸检查。
- 2) 焊缝的外观检查。
- 3) 焊接接头的无损检查。
- 4) 焊接接头的密封性检查。
- 5) 结构整体的耐压检查。

6) 见证件检查。

1. 焊接结构的外形尺寸检查

焊接结构的外形尺寸检查是对任何形式焊接结构最基本的检查项目。结构的外形尺寸必须符合设计图样的规定。不容许存在各种结构形状的畸变,例如容器圆柱形筒体的凹陷、凸鼓、挠度超差,严重错边等;梁柱等金属结构的上拱度、旁弯量、腹板垂直度及波浪变形等。这些外形尺寸的超差都会对结构的使用特性产生不利的影响,有的甚至会大大降低结构的使用寿命。因此,各种焊接结构的外形尺寸必须严格按图样要求进行检查。

2. 焊缝外观的检查

焊缝的外观检查亦称为目视检查。必要时可采用五倍以下放大镜检查。目视检查的项目主要是焊缝的外形尺寸,如焊缝宽度、余高、焊脚尺寸、焊缝有效厚度是否符合图样或标准规定,以及焊缝的外表缺陷,如咬边、焊瘤、下凹、气孔、裂纹、烧穿、溢流、未熔合和弧坑等缺陷是否超过标准规定。所有检查发现的外表缺陷,必须按相应的补焊工艺规程修正及补焊,并作重复检查,焊缝的外观检查对于任何焊接结构来说都是一项不可缺少的检查程序。因为表面缺陷是一种张开型缺陷,如裂纹、未熔合和咬边等容易在残余应力和工作应力的作用下扩展成危险性缺陷,故焊缝外观检查应仔细地进行。合格标准按有关国标或产品技术条件执行。

3. 焊接接头的无损检测

焊接接头的无损检测的目的是探测目视检查不能或无法发现的各种缺陷,如表层的微裂纹、夹渣以及各种内部缺陷。无损检测的方法有磁粉探伤、渗透探伤、涡流探伤、超声波探伤和射线探伤法(X射线、 γ 射线)等。前三种方法用于表面和表层缺陷的检测,后两种方法用于接头内部缺陷的检测。

焊接结构无损检测的要求取决于结构的运行条件和重要性。承受高温高压的锅炉受压部件和容器,低温或腐蚀介质下工作的容器、管道以及重载焊接结构均要求作无损检测探伤。受检焊缝长度占产品焊缝总长度的比例,即所谓检查比率,取决于焊接结构运行参数的级别。焊接结构,如锅炉和压力容器安全技术监察规程或产品技术条件对此均有明确的规定。所检测缺陷的评定则可按相应的国家标准进行。射线探伤检测的缺陷应按GB—3323—87《钢熔化焊对接接头射线照相和质量分级》标准评定。超声波探伤则按GB—11345《钢焊缝手工超声波探伤方法和探伤结果的分级》标准评定。磁粉探伤缺陷磁痕可按JB/T 6061—92《焊缝磁粉检验方法和缺陷磁痕的分级》评定,渗透探伤缺陷迹痕可按JB15G/T《焊缝渗透检验方法和缺陷迹痕的分级》评定。合格级别按相应的产品技术条件执行。

上述各种无损检测法由于其工作原理不同,对各种缺陷检测的能力和对各种材料的适用性不一,表1-1、表1-2和表1-3对比了各种无损检测法的检测特性。对于各种不同的焊接结构,可按结构特性选择最合理的无损检测方法。例如为检查奥氏体钢焊缝的外观缺陷,选择渗透探伤法最合适。某些无损检测法虽然都适用于同一种结构材料,但对各种焊接缺陷的检测能力差别较大。例如射线探伤对裂纹、夹层的检测力较差,而对气孔、夹渣之类缺陷的检测相当灵敏。超声波探伤则相反,对裂纹和夹层之类缺陷的检测力很强,而对气孔和圆形夹渣反应都不灵敏。因此,对于要求严格控制缺陷的重要焊接结构,如核能容器和深低温容器等,往往对同一条焊缝采用两种或两种以上的无损检测法,以发现焊缝中任何不容许的缺陷。

表 1-1 射线探伤与超声波探伤对
缺陷检测能力的对比

探伤方法 缺陷种类	射线探伤	超声波探伤
分 层	弱	强
气 孔	强	弱
未焊透	中-强	中
未熔合	中	中
裂 纹	弱	强
夹 渣	强	中-弱

表 1-2 磁粉探伤、渗透探伤及涡流
探伤检测能力的对比

探伤方法 缺陷种类	磁粉探伤	渗透探伤	涡流探伤
裂 纹	强	强	强
折 叠	中	中	中
白 点	强	强	弱
疏 松	中	强	弱
针 孔	中	强	中
线状缺陷	强	中	中

表 1-3 各种无损检测方法对不同材质的适用性

所检测材料	缺陷性质	探 伤 方 法					
		射 线	超 声 波	磁 粉	渗 透	涡 流	
铁素体钢	内部缺陷	很适用	很适用	不适用	不适用	—	
	表面缺陷	有限适用	有限适用	很适用	很适用	有限适用	
奥氏体钢	内部缺陷	很适用		不适用	不适用	—	
	表面缺陷	有限适用			很适用	有限适用	
铝合金	内部缺陷	很适用			很适用	不适用	—
	表面缺陷	有限适用			有限适用	很适用	有限适用
其它金属	内部缺陷	很适用			—	不适用	—
	表面缺陷	有限适用	很适用			有限适用	

4. 焊接接头的密封性检查

装载易燃、易爆、有毒及其它化工气体的容器、真空容器和核设备，对焊接接头均有气密性的要求，对这类容器和设备的焊接接头在完成所规定的其它检查程序后，最后还必须作密封性检查。常用的密封性检查方法有气压试验、氦检漏试验、煤油渗透试验等。其中氦检漏试验的灵敏度最高，但试验设备和费用昂贵，只用于设备技术参数要求必须采用的场合。煤油渗透试验通常用于真空容器和常压容器。气压试验是应用最普遍的一种密封性试验方法。气密性试验的压力为容器的工作压力。试验用气体应为干燥、洁净的空气、氮气或惰性气体。为防止气压试验时发生意外的破裂事故，对于碳素钢和低合金钢制压力容器，气压试验的气体温度和环境温度应高于 5℃，或高于材料脆性转变温度 20℃。气压试验过程中应缓慢升压，加压到规定的试验压力后，保压 30min，然后用肥皂液或其它检漏液检查有无漏气现象。无任何泄漏为合格。

5. 结构整体耐压试验

锅炉受压部件、压力容器、储罐和管道等焊接结构，按相应安全技术监督规程的要求，最后应做耐压试验，以检验焊接接头的密封性和整体强度。耐压试验可分液压和气压试验两种。从安全角度出发，通常采用液压试验。液压试验介质最常用的是工业用水。不锈钢压力容器

水压试验时,应控制水中的氯离子含量不超过 25×10^{-6} ,以防止水压试验后的残留水引起危险的应力腐蚀。

液压试验的压力对于压力容器规定为设计压力的 1.25 倍,管道、锅炉集箱和受热面管件的试验压力为设计压力的 1.5 倍。如耐压试验采用气压试验,则试验压力为设计压力的 1.15 倍。对于按特殊规程设计的压力容器,应对耐压试验压力进行校核,并应符合下列要求:

液压试验时,压力容器壳体一次薄膜最大的应力值不得超过试验温度下材料屈服点的 90%。

气压试验时,壳体一次薄膜的最大应力值不得超过试验温度下材料屈服点的 80%。

实际上,压力容器耐压试验时,在接管、人孔装置等结构不连续处的局部薄膜应力已超过材料在试验温度下的屈服点。因此,在耐压试验时如材料的冲击韧性不足或母材金属和焊缝内存在未发现的危险性缺陷,则很可能导致产生突发性的脆性破裂。为防止这样的意外事件,除了在耐压试验前按要求对所有焊缝作仔细的无损检测,并通过产品试板测定焊接接头的冲击韧性外,还应控制液压或气压试验时,介质及壳体的温度。对于碳素钢和低合金钢,这个温度不应低于 5°C ,对于低合金高强度钢和耐热钢,不得低于 15°C 。对于工厂首次采用的低合金钢或材料冲击韧性对热处理温度较敏感的调质钢,耐压试验壳体温度不得低于壳体材料脆性转变温度再加 20°C 。

耐压试验的合格标准是:①无渗漏;②无可见的异常变形和残余变形;③无异常响声。

应当指出,耐压试验是一种整体强度试验,是被长期沿用的传统试验方法,随着设计规程和强度计算方法的不断完善,以及焊接技术和无损检测技术的发展,锅炉受压部件、压力容器和管道的整体强度已有可靠的保证。在条件成熟并可确保焊接质量 100% 合格情况下,则可考虑取消最终的耐压试验。劳动部 1996 年颁发的《蒸汽锅炉安全技术监察规程》第 111 条对此已有所规定。

6. 见证件检验

在焊接结构的生产过程中,影响焊接接头力学性能的因素是多方面的,除了所选定的焊接方法和焊接材料外,焊接工艺的电参数和温度参数以及焊后热处理制度,都是重要的影响因素。为确保接头的力学性能并提供可信的证据,有关技术规程提出了在焊接产品的同时,按要求焊制见证件,亦称产品试件。

产品试件的材料应取自用于所代表产品的同炉号、同批号的板材、管材或型材。试件母材金属的热处理状态应与所代表产品的母材金属相同。焊接试件的焊接方法、焊接材料牌号、烘干制度、焊接参数及焊后热处理制度应与产品焊接工艺基本相同。对于焊后作热处理的产品,产品试件应与产品随炉热处理。在自动生产线上连续焊制的焊接接头,如锅炉受热面管件的直管对接,可直接从产品上抽样切取。

在产品试件上通常应切取规定数量的拉伸试验、弯曲试验和冲击试验的试样。试验方法和试验程序应按相应的国家标准。对于常规用途的焊接结构,通常只做常温力学试验。工作温度高于 450°C 的焊接结构,应加做高温短时拉伸试验,工作温度低于 -20°C 的低温焊接结构应补充做低温冲击韧性试验。厚度小于 12mm 的薄壁结构,可以免做冲击试验。淬硬倾向较高或对热处理温度较敏感的合金钢制焊接结构,除做常规力学性能试验外,还应做宏观和微观金相检验,以查明是否存在不容许的淬硬组织及微裂纹。

对于具有耐蚀性要求的不锈钢焊接结构,应从产品试板上切取不少于 2 个的晶间腐蚀试

样,试样的形式、尺寸、加工要求和试验方法应按 GB4334《不锈钢耐酸钢晶间腐蚀倾向试验方法》执行。

焊接接头拉伸试验的合格标准规定如下:

1) 焊接接头试样的抗拉强度不低于母材金属标准规定值的下限。

2) 全焊缝金属试样的抗拉强度或屈服点不低于母材金属标准规定值的下限。如母材金属的抗拉强度规定值大于 490MPa,而焊缝金属实测的屈服点高于母材屈服点的规定值,则焊缝金属的抗拉强度容许比母材金属抗拉强度规定值下限低 20MPa。

3) 全焊缝金属拉伸试样的伸长率不小于母材金属标准规定伸长率的 80%。

焊接接头的弯曲试样可从试板上横向于焊缝的部位切取两个。一个作面弯,另一个作背弯。对于异种钢接头,可切取纵向弯曲试样代替横向弯曲试样,弯曲角合格标准规定如下:

1) 对于碳钢和奥氏体钢焊接接头,弯轴直径为 $3t_1$ (t_1 为试样厚度),弯曲角应为 180° 。

2) 对于其它低合金钢和合金钢,弯轴直径为 $3\delta_1$,弯曲角应为 100° 。

3) 弯曲试样冷弯到以上规定值时,试样受弯部分任何方向不应出现长度超过 3mm 的裂纹,但试样棱角处的开裂可不计在内。

冲击韧度试样一般从产品试件上切取三个,试样缺口应开在最后一层焊道焊缝侧面中间部位,如产品技术条件有特殊要求,可加取缺口开在熔合线或热影响区的冲击韧度试样。试样的形式、尺寸、加工要求和试验方法应符合 GB/T229《金属夏比冲击试验方法》。对于焊接接头的检验,目前已统一规定采用 V 形缺口。

焊接接头的冲击韧度试验合格标准应按产品技术条件的规定执行。如无特殊规定,则三个冲击试样常温冲击吸收功平均值不应低于母材金属标准规定值,如母材金属标准未作规定,则应不低于 27J,且容许其中一个试样的冲击吸收功低于以上规定值,但不应低于 19J。

焊接接头宏观金相检验试片上不应有任何长度的裂纹、未熔合、未焊透以及超标的气孔和夹渣。微观金相检验的合格标准为:不应有任何裂纹和淬硬组织。

不锈钢焊接接头试件的晶间腐蚀试验合格标准应按所代表产品工作介质的腐蚀性而定,通常由产品技术条件或设计图样所规定。

1.9 焊接结构的后处理

焊接结构的后处理是指在所有制造工序和检验程序结束后,对焊接结构整个内外表面或部分表面或仅限焊接接头及邻近区进行修整和清理。修整的目的是清除焊接表面残留的飞溅,消除击弧点及其它工艺检测引起的缺陷。对于碳钢及高塑性、韧性材料制的焊件,仅仅是使其具有完好的外形并便于涂装,而对于低合金钢和缺口敏感较高的合金钢焊件,修整是降低焊件表面局部应力集中,延长结构使用寿命不可缺少的重要工序,但往往被生产单位所忽视。

修整的方法通常采用小型风动工具和砂轮打磨。需经液压试验的焊件,检验合格后应放净液压介质,并用压缩空气吹干,必要时还应局部加热烘干。

表面清理是保证成品涂装质量的准备工序。涂装前应当清除焊接表面的所有氧化皮、油污、锈斑和其它附着物。表面清理可采用砂轮、钢丝刷和抛光机等进行。大型焊件的表面清理最好采用喷丸处理,焊接接头区域的喷丸处理还能提高结构的疲劳强度。

不锈钢焊件的表面处理通常采用酸洗法,酸洗后再作钝化处理。如只需对焊接区作表面

清理, 则可采用酸洗膏涂于待清理表面, 保持规定的时间后用清水洗净。

1.10 焊接结构的涂装

焊接结构的涂装是成品出厂前的最后一道工序, 它是防止焊件在运输、安装和使用过程中受大气腐蚀和意外的撞击而受损的重要措施。产品涂装质量不仅决定了产品的表面质量, 而且也反映了生产单位的企业形象。因此, 必须从涂层选料、配色、涂刷工艺以及包装设计各方面采取必要的措施, 确保涂装的质量。

碳钢和低合金钢焊件表面一般可涂以与基层结合牢固的防锈漆。另外, 应用白色油漆在醒目部位, 以适当规格的字模, 喷上下列字样: 产品名称、外形尺寸、重量、出厂日期、订货号, 用户单位名称和生产单位名称等。

不锈钢、钛材和铝材制产品外表面应粘贴高强度塑料薄膜, 并用黑色颜料喷上上列字样。

锅炉、压力容器、储罐和管道上所有接管开孔均需加塑料塞盖封牢, 重要的焊接结构应用木质包装箱妥善包装后发运, 包装箱两侧均需加明显标记, 利于正确吊运。

2 典型焊接结构制造工艺流程

2.1 钢板卷焊式容器制造工艺流程

钢板卷焊式容器的应用最为广泛。其典型的外形结构如图 1-4 所示。板厚 150mm 以下的筒体大多数采用卷板机卷制成形, 150mm 以上的筒体则采用大吨位液压机在专用的模具上压制成形。容器两端的封头可用水压机将钢板毛坯通过冲头和冲模冷冲压或热冲压成半球形、椭圆形或碟形封头。

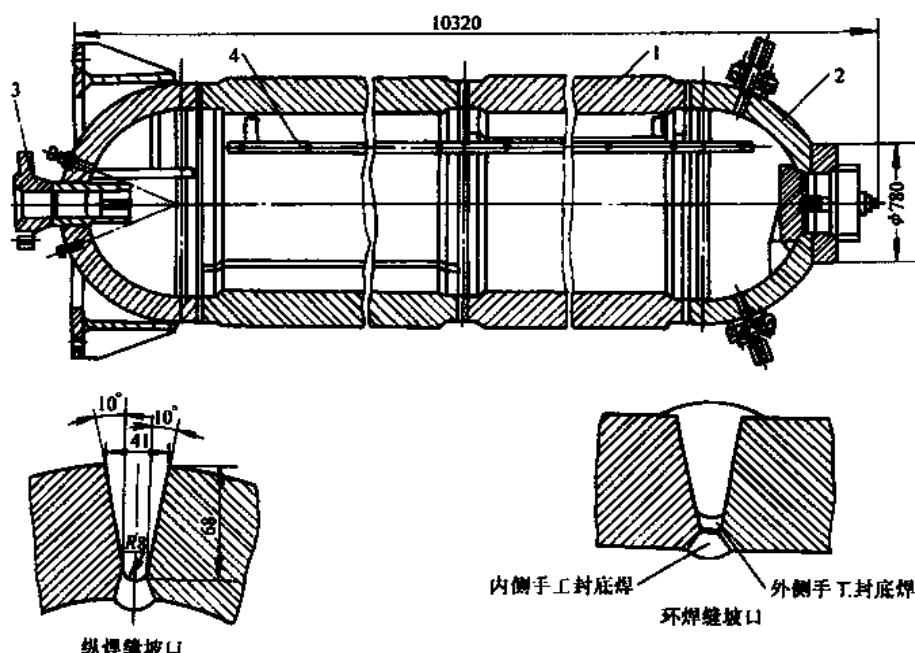


图 1-4 钢板卷焊容器的典型结构

1—筒体 2—封头 3—接管 4—内件

卷焊结构容器的优点是制造工艺简单。材料利用率高，生产周期短，制造成本低。其制造工艺流程见图 1-5。各工序要点说明如下：

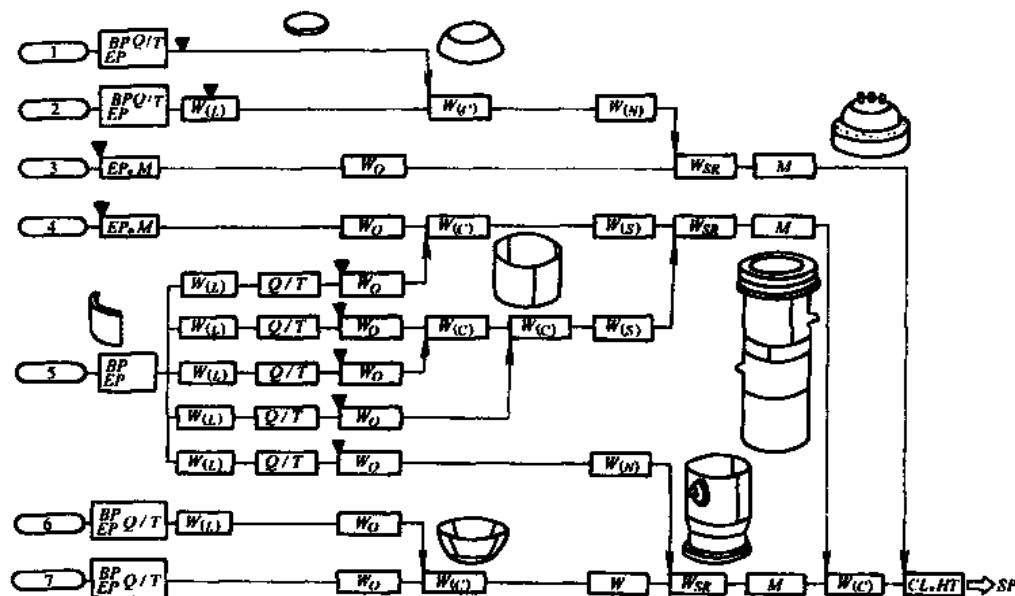


图 1-5 卷焊结构容器的典型工艺流程

BP—弯板 Q/T—淬火、回火 EP—坡口加工 M—机械加工 W—焊接 W_O —堆焊 $W(L)$ —纵焊缝 $W(C)$ —环焊缝 $W(N)$ —接管焊接 SR—退火 CL—清理 HT—水压试验 SP—发货
1—上盖中间圆形板 2—上盖环板 3—上盖法兰 4—筒体法兰 5—单层筒板
6—下封头环板 7—中封头中间圆形板

1. 钢板切割下料

卷焊结构容器用材料，除接管材料为无缝钢管或锻件外，其余均为钢板。钢板切割下料前应作预处理，制造高压容器的厚板还应做超声波探伤，只有检查合格的钢板才能用于制造筒体和封头、筒体和封头钢板可切割下料，薄板亦可剪切下料。如采用热切割下料，切口边缘的氧化皮和熔渣应清除干净，合金总的质量分数超过 3%，板厚大于 60mm 的钢板热切割表面应作磁粉探伤。确认无表面裂纹后才能进行卷制或冲压。

2. 筒体卷制及封头的冲压成形

筒体的卷制视钢板厚度选择冷卷还是热卷。钢板的卷制可采用三辊筒或四辊筒卷板机，如图 1-6 所示。当采用三辊筒卷板机卷制时，钢板两端至少有 $L/2$ 长度 (L 为两下辊筒的中心距) 不能弯曲成形，因此应在弯板机上预弯，或保留直段，待纵缝焊接后再复校圆。

筒体卷制时，应先按图样规定的筒体曲率半径 R ，确定上下辊筒的中心距 h ， h 值可按下列公式和图 1-6 标注的尺寸求得。

对于三辊筒卷板机 (图 1-6a)

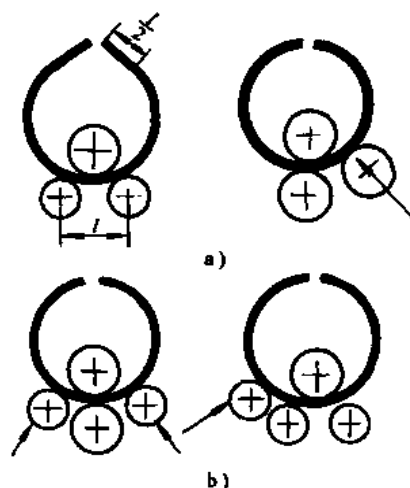


图 1-6 三辊和四辊卷板机卷圆时、辊筒的相对位置
a) 三辊卷板机 b) 四辊卷板机

$$h = \sqrt{(R + \delta + r_2)^2 - a^2} - (R - r_1)$$

对于四辊筒卷板机 (图 1-6b)

$$h = r_2 + R' - \sqrt{(r_2 + R')^2 - a^2}$$

式中, $R' = R + \delta$; δ 为板厚。

卷板机可卷制筒体的最小直径为上辊筒直径的 1.15~1.2 倍。

筒体热卷圆时应控制好始卷温度和终卷温度。始卷温度可取所卷钢材 A_{c3} 点加 50℃。最高温度不应超过 1100℃。终卷温度应不低于 500℃。筒体冷卷和热卷后的尺寸公差应符合表 1-4 和表 1-5 的规定。

表 1-4 冷卷筒体外径公差 (mm)

筒体外径	外径公差
<1000	±2
1000~2000	±3
2000~3000	±4
>3000	±5

表 1-5 热卷筒体外径公差 (mm)

筒体名义 外 径	外径公差	圆 度		局 部 凹凸量
		$\delta \leq 30$	$\delta > 30$	
≤ 1000	±2	5	5	3
>1000~2000	±4	10	9	4
>2000~3000	±6	12	11	5
>3000	±7	14	13	6

封头冷冲压或热冲压成形后的尺寸公差亦可按表 1-5 中的规定。

3. 纵缝坡口的制备

筒体卷制成形后, 按图样规定的筒体名义直径测量筒体的实际周长划两次线, 割去余量后按工艺要求加工坡口。电渣焊接头直边、中薄板 V 形坡口可采用半自动火焰切割机加工。厚板的 U 形坡口则应在龙门刨床或龙门铣床上加工。

4. 筒体纵缝的焊接和热处理

筒体纵缝的焊接方法可按壁厚选定, 壁厚 50mm 以下的筒体纵缝通常采用单丝或多丝埋弧焊, 50mm 以上的纵缝则采用电渣焊或窄间隙埋弧焊。电渣焊后一般需立即作正火+回火处理。本实例筒体为调质钢, 故电渣焊后可直接作淬火+回火的调质处理。筒体和封头的淬火可采用喷淋淬火和浸入淬火法, 浸入淬火装置虽然占地面积较大, 但易于操作, 容易实现, 淬透效果较好。纵缝埋弧焊如壁厚不超过 150mm, 焊后可不立即作消除应力处理, 待筒体环缝总装焊接后整体消除应力处理。如壁厚超过 150mm, 则筒体纵缝焊接后应立即进行中间消除应力处理。

筒体纵缝焊接后或淬火+回火处理后, 应作复校圆或整形。

5. 筒体内壁的堆焊

工作介质具有腐蚀性或对工作介质的纯度有严格要求的厚壁容器, 内壁要求衬不锈钢薄板或堆焊不锈钢层。在高温下工作的容器, 内壁防腐蚀层必须采用堆焊法。大直径厚壁容器的内壁, 由于需堆焊的面积大, 并需连续堆焊 2~3 层, 因此必须选用高熔敷率堆焊方法。目前应用最广的是带极埋弧堆焊或带极电渣堆焊。带极的宽度为 30~100mm, 最常用的带极规格为 60mm×0.5mm。堆焊电流达 750~800A, 也有堆焊电流高达 1000A, 由 ±1500A 的直流焊接电源供电。带极堆焊焊机的机头安装在立柱横梁或操作机的横臂端部, 配以防轴向窜动的滚轮架。堆焊时, 横臂伸入容器筒体内待堆焊部位, 滚轮架带动筒体以堆焊速度旋转。堆

焊的方式有闭合环带型和螺旋线型。以闭环带方式堆焊时，堆焊完一圈环形焊层后停机，待清除焊渣后将横梁向前移动规定的距离，此位移量等于堆焊层的宽度减去搭接量。然后将筒体旋转到引弧位置，重新引弧堆焊第二圈环形堆焊层，这样逐层堆焊直至整个筒体内表面全部堆满。以螺旋线型方式堆焊时，堆焊过程是连续进行的，横梁的移动速度和筒体旋转速度由微处理机控制，并按所设定的螺距（堆焊层宽度减去搭接量）使焊头作螺旋线移动，直至内筒表面全部堆满。

封头内壁的堆焊程序有两种：一种是在切割成圆形封头的坯料上先堆焊，然后再冲压，冲压前的高温加热会对堆焊层的组织和性能产生一定的影响。如经试验证明，高温加热对不锈钢堆焊层未产生有害的影响，则容许采用这种堆焊程序，可以简化堆焊工艺和省略堆焊工艺装备。另一种是在封头冲压以后堆焊，可以避免冲压高温加热对不锈钢层的影响，但必须配置焊接变位机与立柱横梁操作机，并协调动作，使带极堆焊头始终处于最佳的平焊位置，从而使堆焊层保持良好的成形。在变位机上堆焊封头内壁时，也可按闭合环带型或螺旋线型两种方式进行。

堆焊后，堆焊层表面应略作修磨，并按技术条件的要求作局部或全部渗透探伤，以检测表面裂纹等缺陷。

不锈钢复合层堆焊后一般可不作焊后消除应力处理。如容器筒体材料为淬硬倾向较高的合金钢，则应做 600℃ 以下的低温消除应力处理，以降低焊接热影响区的硬度和应力峰值。

6. 环缝坡口的制备

环缝坡口形式取决于容器壳体壁厚及所选用的焊接方法。对于薄壁容器环缝多采用 V 形坡口，而厚壁容器环缝为减少焊缝的截面通常采用 U 形坡口。坡口角度的大小可按壁厚和焊接方法而确定，壁厚越大，坡口角越小，焊条（手工）电弧焊坡口角小于埋弧焊的坡口角。近年来，随着窄间隙埋弧焊的逐渐推广应用，其坡口角为 $1^{\circ} \sim 3^{\circ}$ 。厚壁压力容器制造中最常用的几种环缝坡口形式，如图 1-7 所示。其中图 1-7a 为内环缝焊条电弧焊封底，外环缝单丝埋弧焊的坡口；图 1-7b 为钨极氩弧焊或细丝 CO_2 气体保护焊封底，焊条电弧焊或 CO_2 气体保护焊加厚，埋弧焊填充的坡口；图 1-7c 为窄间隙埋弧焊坡口。

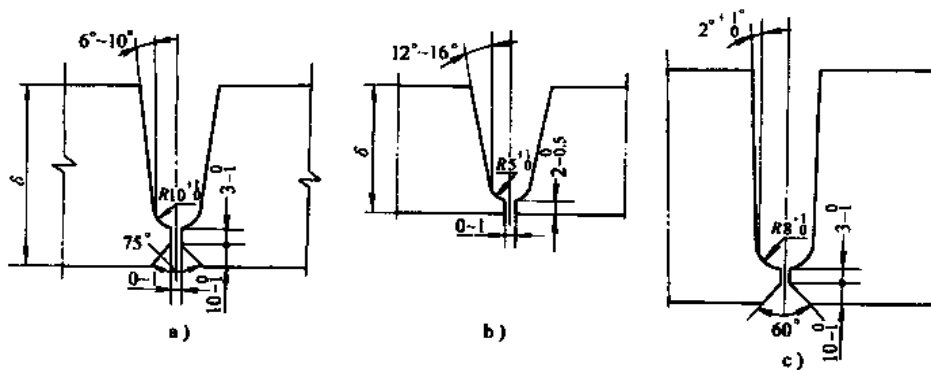


图 1-7 厚壁容器环缝坡口形式

a) U 形加反面 V 形坡口 b) 单面 U 形坡口 c) 窄间隙坡口

薄壁容器壳体环缝的 V 形坡口，一般采用自动与半自动切割机加工。厚壁容器壳体环缝的 U 形坡口可在大型立车床和边缘车床上加工。坡口尺寸必须按设计图样或焊接工艺规程所

规定的尺寸和公差严格检查，如在不合图样要求的坡口中进行焊接，则将导致各种焊接缺陷的形成。例如，过大的钝边可能导致未焊透，当母材金属的碳、硫含量较高时，可能导致热裂纹的形成。过小的坡口可能造成夹渣和未熔合等缺陷。

7. 环缝的焊接

薄壁容器的环缝可采用焊条电弧焊、熔化极气体保护焊、钨极氩弧焊和等离子弧焊焊接。壁厚 10mm 以上的容器环缝应采用埋弧焊，因这种方法具有较高的熔敷率，可达到较高的焊接效率。

厚壁容器环缝的焊接基本上都采用单丝或双丝埋弧焊。当壁厚大于 100mm 时，最好采用窄间隙埋弧焊，埋弧焊前应将焊丝表面脱脂，焊剂按规定烘干。按壁厚和钢种选定预热温度，并在焊接工艺规程中作出明确的规定。确定焊接参数时，既要考虑提高效率，又要确保接头的性能和防止各种焊接缺陷的形成。对于压力容器环缝，多年的生产经验表明，埋弧焊不应选用大参数，而应以中等参数焊接，虽然焊接效率有所下降，但接头性能特别是缺口冲击韧度易于保证，且可大大降低各种焊接缺陷的形成几率，减少焊缝退修，缩短了整个生产周期。焊接工艺各参数选定后，需通过焊接工艺评定试验验证，才能用于生产。对于碳钢和低合金钢容器，如壁厚不超过 150mm，可在容器整体焊后热处理时消除应力，如壁厚超过 150mm，环缝焊后应立即做中间消除应力处理。

按现行技术规程的规定，厚壁单层容器环缝焊后应作 100% 超声波探伤和 25% 局部射线探伤。探伤前应将环缝表面和焊缝两侧在专用的磨锉机上磨平。

8. 接管的焊接

由于化工工艺流程或工作介质循环的需要，锅炉锅筒和压力容器壳体上总是需要设置不同直径的接管。接管与筒体的焊接质量是决定产品运行特性和使用寿命的重要因素之一。因此必须重视接管焊接相关的加工工序。

接管焊接的程序一般有两种：第一种是在每节筒体焊接并探伤合格后或几节筒体相接并探伤合格后进行划线钻孔、割孔再装焊接管；第二种是容器壳体总装焊接并探伤合格后，整体划线、钻孔、割孔再装焊接管。程序的选择取决于接管的数量、规格、布置方式以及壳体本身的总重和总长。同时也取决于生产单位的厂房设施和加工设备的能力。原则上讲，大型、重型厚壁容器、接管数量不多的容器宜采用分节装焊接管，薄壁轻型容器和密排接管数量多的容器最好采用壳体总装后装焊接管。

为装焊接管，在筒体或封头上必须按图样规定的位置划线开孔。开孔可以采用钻削、扩孔、气割、镗孔等方法加工。通常直径在 100mm 以下的管孔采用钻、扩加工，而直径在 100mm 以上的管孔则采用手工或自动切割，如对管孔尺寸公差要求较严格的，则在气割后再作镗孔修正。大直径管孔应采用马鞍形管孔自动切割机加工，切割后用砂轮修整切口至规定的尺寸公差。

接管焊缝的坡口形式取决于容器的工作参数。高压容器和低温容器要求所有接管焊缝为全焊透坡口形式。锅炉锅筒上的接管，直径大于 300mm 的接管应采用全焊透坡口形式，小于 300mm 的接管容许采用局部焊透的坡口形式，但必须保证足够的焊缝厚度，以满足强度要求。

接管焊缝通常采用焊条电弧焊、熔化极气体保护焊和埋弧焊等方法焊接。小直径接管焊缝目前多采用焊条电弧焊或熔化极气体保护焊，而大直径接管（300mm 以上）推荐采用效率

较高的埋弧焊或药芯焊丝气体保护焊。

接管的焊接工艺与壳体主焊缝一样，应根据钢种和壁厚确定预热温度、层间温度和焊接热输入。对大直径厚壁接管，由于接头的拘束度大大高于壳体纵环缝，故应特别注意焊接的温度参数和焊后热处理。壁厚超过 150mm 的接管焊接，焊后应立即做消氢处理或中间热处理。

局部焊透的接管焊缝，焊后只做外观检查或磁粉探伤，视接管和壳体的钢种而定。大直径厚壁全焊透接管焊缝焊后应做超声波探伤或射线探伤，检测比率按容器的等级予以规定。接管焊缝检查合格后，应用砂轮修整焊缝的外形，使角焊缝与壳体和接管外壁平滑过渡，以减少应力集中。这对于提高容器的疲劳强度和使用寿命十分重要，对于高压或低温容器来说，这是一项必须完成的工序。

9. 焊后热处理

容器壳体所有的焊接工作，包括焊缝退修、修补、壳体内外表面工艺缺陷的补焊全部结束后，应按壳体焊接接头的最大厚度决定焊后是否进行焊后热处理。壳体最大壁厚超过 30mm 的碳钢压力容器，以及壁厚超过 20mm 的低合金钢容器，焊后应做消除应力处理。焊有密排接管的压力容器，若壁厚大于 20mm，亦应进行消除应力处理。

容器壳体焊后消除应力处理可以在炉内作整体消除应力处理，亦可采用电加热元件或感应加热圈进行环缝的局部热处理。整体热处理和局部热处理的参数基本相同，详见《焊接工艺要素》一节。环缝局部热处理时，焊缝两侧的每侧加热宽度至少为钢板厚度的 4 倍，但不得小于 300mm。

焊后消除应力处理的参数应严格按焊接工艺规程和焊后热处理工艺守则的规定执行。热处理过程中，应如实记录热处理温度和保温时间备查。如容器壳体材料对热处理温度较敏感，则应在壳体表面直接点焊热电偶，用以测定工件热处理过程中的实际温度，以便将工件实际的热处理温度波动控制在不超过规定温度 $\pm 10^{\circ}\text{C}$ 以内。

碳钢容器焊后消除应力处理后，可直接转下道工序。合金钢容器、特别是对消除应力处理裂纹较敏感的低合金铬钼钢容器，则应在消除应力处理后对焊接接头表面作磁粉探伤。壁厚大于 100mm 的厚壁容器大直径接管焊缝还应作超声波探伤复验。

10. 法兰密封面的机械加工

在某些大型压力容器中，顶盖与壳体间的连接，采用大直径法兰盘加 O 形密封环的结构。球形顶盖和壳体大直径焊接法兰，在热处理后必然会产生一定的变形，而不能保证密封结构所要求的尺寸精度。因此，对于这种密封结构，应在预焊法兰上留出一定的加工余量，热处理后再作精加工。以保证密封配合尺寸的精确性。直径小于 800mm 的接管法兰面和螺孔热处理前应涂以耐火泥保护，热处理后不必再机械加工，必要时作手工研磨即可。

11. 产品焊接试板的检验

按照锅炉和压力容器安全技术监察规程或相应的制造规程，单层厚壁高压容器或锅炉锅筒，都应在焊接产品纵环缝的同时焊制产品纵环缝焊接试板各一块。试板的母材金属应与产品壳体母材金属同钢号、同炉批号及同厚度。试板母材金属的热处理状态也应与壳体母材金属基本相同。纵环缝产品试板的焊接方法、焊接材料和焊接工艺参数应与相应的产品焊缝实际施焊的参数相同。试板经与产品焊缝相同的无损检测合格后，随产品进炉做焊后消除应力处理。应特别注意产品试板在热处理炉中的位置，不容许将试板紧靠热源或在加热炉的死角

处放置,应使产品试板在热处理过程中的温度基本接近产品壳体的实际温度。必要时,可在产品试板和产品壳体上同时装接热电偶,以便精确控制试板和产品的热处理温度。热处理保温结束后,试板的冷却条件应与产品的冷却条件基本一致。特别是回火处理时,保温结束后直接空冷,无随炉冷却阶段,冷却速度对材料的力学性能会产生重要的影响。如产品试板与产品的冷却条件有较大的差异,很可能使产品试板失去代表性。

试板热处理后,按产品技术条件的要求截取拉力、弯曲、冲击试样。截取的方法最好采用铣、锯等机械加工方法。如装备条件不许可,亦可采用热切割法截取,但必须留出足够的加工余量,板厚 50mm 以上的试板切割余量至少为 5mm,厚 50mm 以下的试板切割余量不小于 3mm。试样的加工和试验应严格按相应的焊接接头拉伸、弯曲和冲击试验方法国家标准的要求去做,检验结果应记录在产品焊接试板力学性能检验报告上,由责任检验员根据产品技术条件规定的力学性能合格指标,作出合格与否的结论并签字确认。产品焊接试板力学性能检验报告是产品质量证明书的重要证明文件之一,必须按试验实测数据认真填写,不准涂改。产品试板各项力学性能检验合格后,才容许将产品转入下道工序——水压试验。如产品试板某一项力学性能不合格,则容许重复取双倍试样检验,如复验仍不合格,则该试板所代表的产品焊缝原则上应做报废处理,割除重焊。但如是接头弯曲和冲击不合格,则还可将产品和试板重新按调整后的参数热处理一次,并再作一次重复检验。如仍不合格,则应作全面分析,查出原因,重新编制焊接工艺规程。

12. 水压试验

水压试验是压力容器的最终检验,它既是一种压力容器整体强度试验,又是焊接接头和螺栓联接的密封性试验。因此,《压力容器安全技术监察规程》对高、中、低压容器都规定了水压试验的要求。

单层厚壁容器的水压试验时,应考虑其可能出现突然破裂的潜在危险。因此,只有待产品焊接试板检验合格后才能进行水压试验。特别是对于缺口冲击韧度较低的合金钢压力容器,必要时还应通过系列冲击试验,测定其脆性转变点,来确定合适的水压试验温度,防止脆性破裂,避免重大损失。上述工作程序,必须严格遵守。

水压试验的方法、试验压力和合格标准应按相应的专业标准或企业标准《水压试验技术条件》执行。同时应采取必要的安全措施。

水压试验合格后应将水放净,并用压缩空气将容器内壁吹干。

13. 涂装发运

容器表面作最后修整后,进行喷丸处理。按设计图样或产品技术条件进行涂装,最后由专职检查员验收入库。重大设备由用户代表和专职检查员共同验收、装车发运。

2.2 船体焊接制造工艺流程^①

1. 船体结构

船体结构可分纵骨架式、横骨架式及混合骨架式三种。图 1-8 和图 1-9 示出 73000t 散装货轮的纵横剖面图。图 1-10 示出 16500m³ 液化气船横剖面图。

2. 船体建造工艺流程

① 本节由江南造船(集团)公司刘新华高工编写

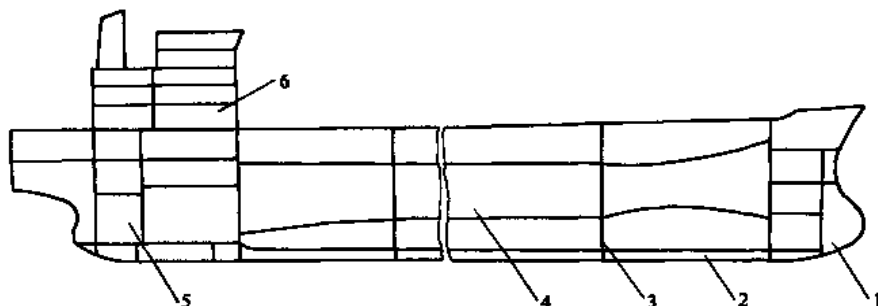


图 1-8 7300t 散装货轮纵剖面

(总长: 225m, 型宽 32.26m, 型深 19.20m, 设计吃水深 12.50m)

1—艏部 2—底部 3—横隔舱 4—舷侧 5—尾部 6—上层建筑

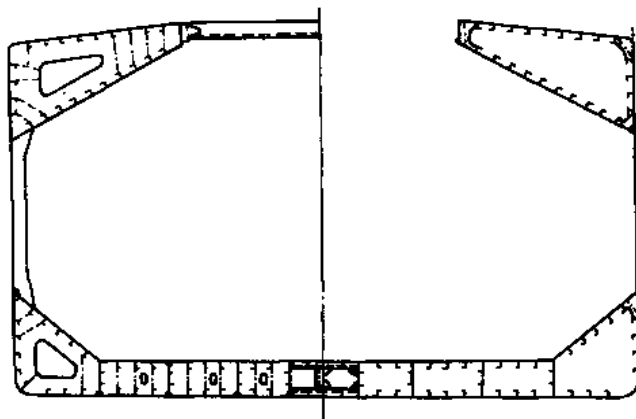


图 1-9 7300t 散装货轮横剖面

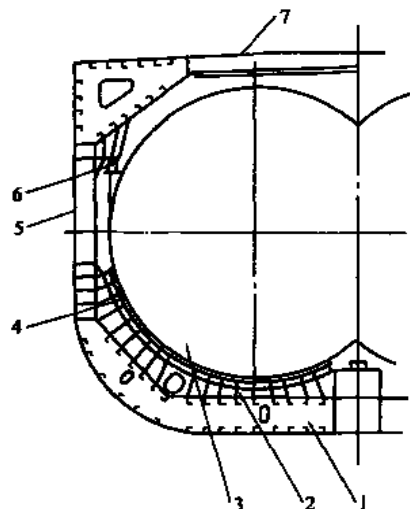


图 1-10 16500m³ 液化气船横剖面

(总长: 155.00m, 型宽 23.10m,

型深 15.40m, 设计吃水深度 9.8m)

1—底部 2—鞍座 3—液罐 4—硬木
5—舷侧 6—止浮硬木 7—甲板

船体建造工艺流程通常按下列顺序:

钢材下料(切割焊接坡口)→加工成形→拼板焊接→加工成形→小合拢(T排焊接, 平面构架焊接)→中合拢(分段焊接)→大合拢(船台装焊)→下水。

(1) 钢材下料 钢材下料是按下载料草图或软件程序, 将钢板、型钢等切割、加工成零件。大型船厂下料切割大多用数控和机械化(半自动)切割机, 其切口粗糙度值低, 并可按要求同时切割出焊接坡口。应尽可能将坡口在下料时切割, 这样既可提高效率, 又可保证坡口加工精度。

(2) 拼板 大型造船厂常用的拼板焊接方法有: 龙门架埋弧焊、三丝埋弧焊和胎架拼焊三种。

1) 龙门架埋弧焊 可焊接厚 3~35mm 的平板对接。16mm 厚度以下的钢板开 I 形坡口, 直边对接。厚 17~35mm 钢板对接坡口如图 1-11 所示。

2) 三丝埋弧焊 单面焊双面成形三丝埋弧焊是拼板流水线生产线的关键工位之一, 其生产率高, 焊接质量稳定, 坡口形式如图 1-12 所示。

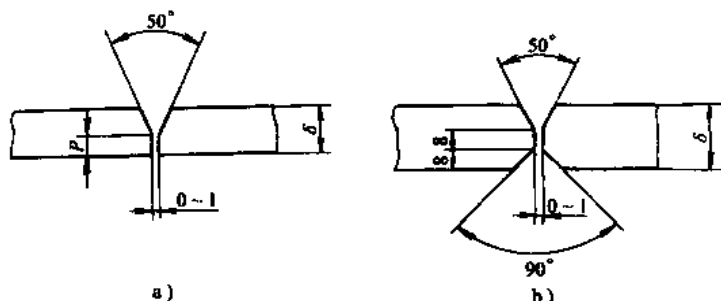


图 1-11 单丝双面埋弧焊对接坡口形式

a) 单面坡口 b) 双面坡口

$t=17\sim22\text{mm}$ $P=10\text{mm}$ $t=23\sim30\text{mm}$

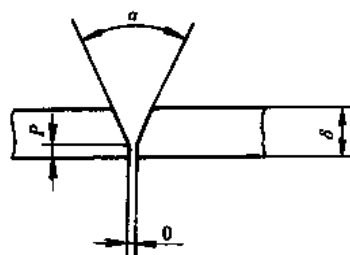


图 1-12 单面焊双面成形三丝埋弧焊

$t=12\sim20\text{mm}$ $P=3\text{mm}$ $a=50^\circ$

$t=21\sim28\text{mm}$ $P=5\text{mm}$ $a=50^\circ$

$t=29\sim33\text{mm}$ $P=6\text{mm}$ $a=45^\circ$

采用以上两种拼板焊接方法, 焊后拼接板变形较小, 平直度好, 尺寸准确。

3) 胎架拼板 在船体分段建造中, 通常需将多张板拼焊, 有些曲形板也需拼焊, 这就要求在胎架上拼焊, 如图 1-13 所示。焊接方法可采用单面 CO_2 气体保护焊、双面埋弧焊或 CO_2 气体保护焊打底埋弧焊单面组合焊接法。

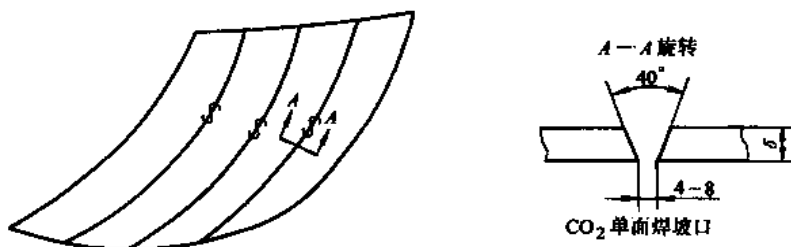


图 1-13 曲形板在胎架上的拼焊

(3) 组件合拢 组件合拢是将零件组焊成简单的部件。主要组件有 T 形排及平面构架。

1) T 形排的焊接 T 形排焊接时应先焊非定位边, 从中间向两边分步退焊。对于可能产生较大焊接变形的 T 形排, 可增加临时支撑板或将面板轧制出反变形, 如图 1-14 所示。

2) 平面构架的焊接 平面构架一般由钢板与型钢 (或 T 形排) 组焊而成, 其中包括上层建筑围壁、各种平台板、纵横隔舱围壁等。平面构架的焊接应尽量采用 CO_2 气体保护焊, 以减少波浪变形, 焊接顺序应采取对称, 分段退焊, 某些组件要求端部留出 200mm 缓焊区, 以利分段组装时对准组焊, 如图 1-15 所示。

(4) 部件合拢 部件合拢是指将零件、组件在胎架上组装焊接成部件的过程。部件合拢通常包括艏部机舱、艏部、货舱区内底、上层建筑部件、上下边水舱部件、分段甲板、隔舱部件以及舵、挂舵臂、艏侧推部件等。分段建造法有正造、反造和侧造法。拟定焊接工艺时应尽量考虑将舱内作业在舱外完成, 变仰焊、立焊为平焊, 扩大高效焊接范围。

1) 底部分段 底部分段包括内、外底板, 中、副纵桁及其加强肋、纵骨、肋板及肋骨, 连接肋板及补板等。最常用的分段建造法为反造法。图 1-16 为分段建造流程图。

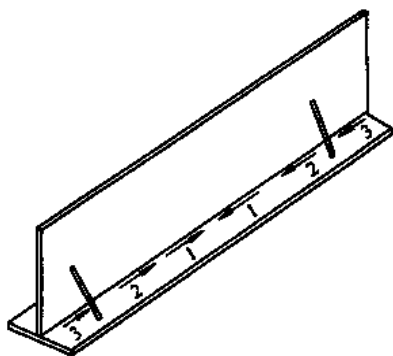


图 1-14 T形排的焊接方法

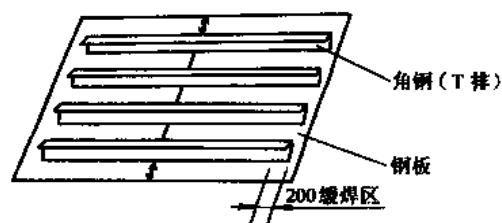


图 1-15 平面构架的焊接顺序

其中内外底拼板可部分采用龙门架焊接装置或三丝埋弧焊, 其余对接缝可采用双面埋弧焊或单面 CO_2 气体保护焊。

中、副纵桁 (龙筋) 框架焊接后需火焰矫正。

在以内底为基面焊接框架间的立角焊缝时, 可采用 CO_2 气体保护向下立焊。如采用向上立焊, 则需采取分段退焊法, 如图 1-17 所示, 以防止分段四周上翘。

2) 舷侧分段 舷侧分段一般为上、下边小舱分段。下边水舱分段以斜底板为基面反造, 数控切割的肋骨框经组件合拢, 组焊矫正后作为外板内模面, 然后分装外板, 如图 1-18 所示。

上边水舱以斜板与肋骨框、甲板、傍板分别组装成平面分段。将组装后的这些部件再以傍板为基面组成上边水舱分段。其甲板、斜板、傍板的拼板方法相似于内 (外) 底板拼焊方法。下边水舱外板因有曲形板而常采用 CO_2 气体保护单面焊。

3) 立体分段 船体的艏、艉分段通常为立体分段。由甲板 (或平台板)、傍板等平面分段组成并以甲板为胎架面反造。傍板在胎架上装焊矫正后吊到甲板胎架上组装成整体

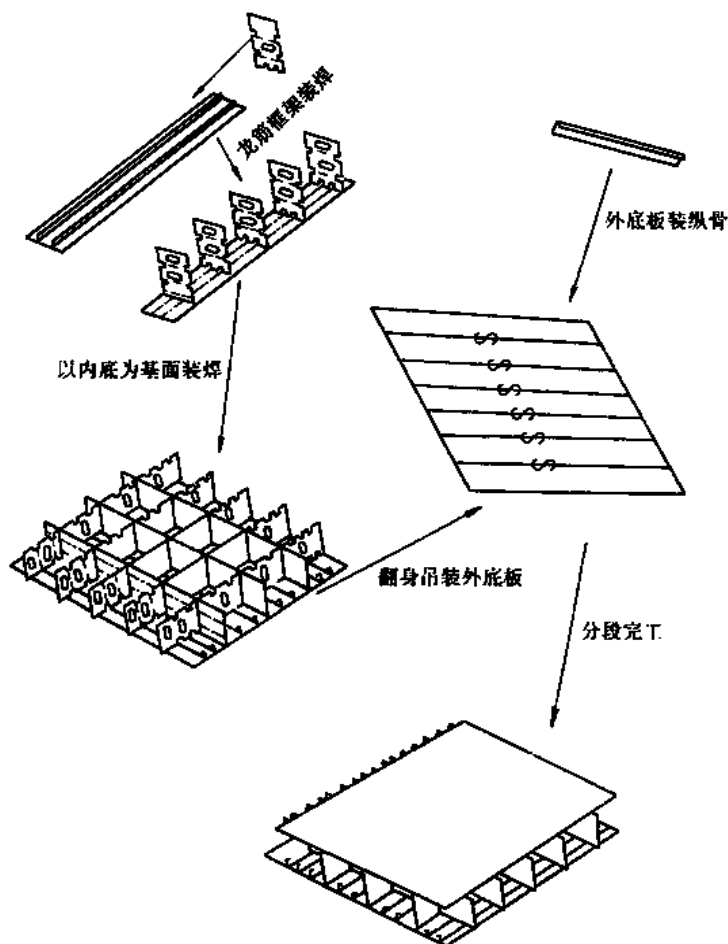


图 1-16 底部分段建造流程

分段。甲板、傍板的对接缝采用埋弧焊或平面 CO_2 气体保护焊。在某些情况下, 甲板的胎架面焊缝留在大合拢时平焊。

(5) 大合拢 船体大合拢一般采用单岛式或双岛式建造法, 定位分段, 可不留余量, 后接留余量端的分段与定位分段。为缩短造船周期, 在平行舢体分段中, 除嵌补分段外, 其余可实现无余量上船台, 艏艉分段可部分无余量上船台。

图 1-19 所示为 16500m^3 液化气船的平行舢体船台焊接方法, 其甲板、外底板、斜板对接缝、内底板横缝、舷侧横缝均采用单面 CO_2 气体保护焊。外板纵缝采用自动 CO_2 气体保护垂直立焊。内底纵缝按板厚可采用双丝埋弧焊或单面 CO_2 气体保护焊。外板转角处及构架对接缝则采用焊条(手工)电弧焊。

艏艉曲面分段, 外板及构架对接缝均采用焊条(手工)电弧焊。甲板对接缝则采用单面 CO_2 气体保护焊。

大合拢焊接顺序为: 先焊外板、甲板, 再焊内底板、斜板, 最后焊接构架及角焊缝。焊接过程中应注意对称施焊。

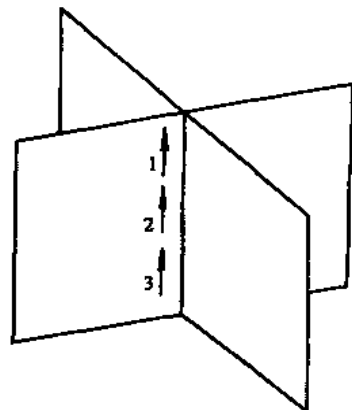


图 1-17 框架间立角焊缝向上立焊分段退焊法

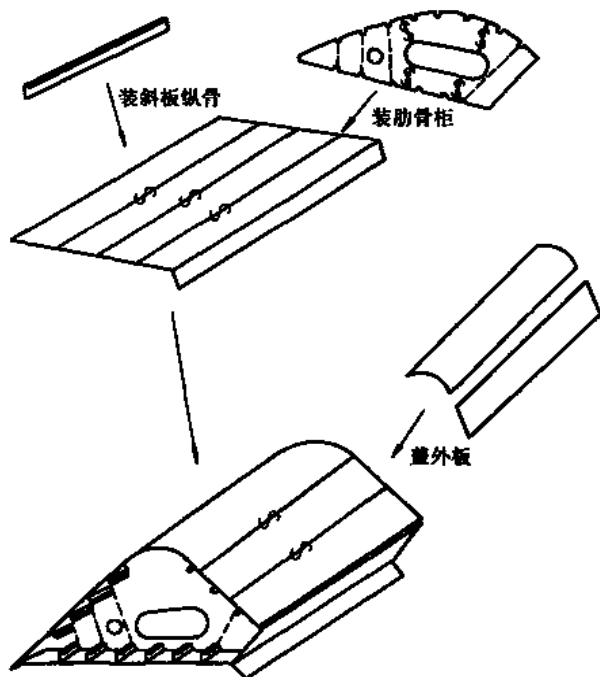


图 1-18 下边水舱分段建造流程

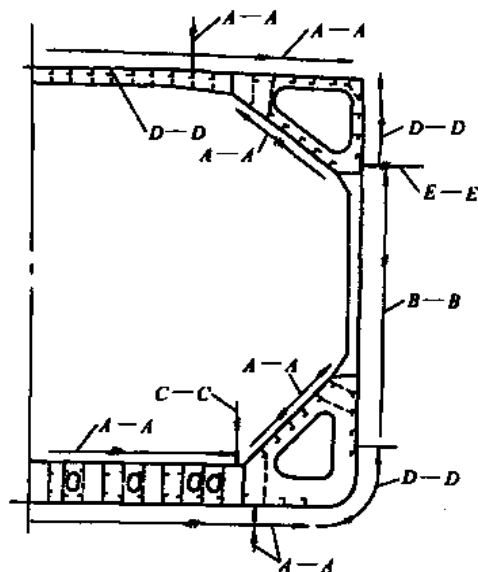


图 1-19 16500m^3 液化气船船体大合拢焊接方法
A-A 为单面 CO_2 气体保护焊 B-B 为 SG-2 自动 CO_2 气体保护垂直立焊 C-C 为单面双丝埋弧焊或单面 CO_2 气体保护焊 D-D 为双面焊条电弧焊 E-E 为单面 CO_2 气体保护横焊

3 焊接方法及焊接工艺参数

焊接方法是制定焊接结构制造工艺方案时首先应考虑的工艺要素。焊接方法的选择取决于焊件材料、对接头质量的要求、焊接工作量、焊件结构外形和壁厚、焊接生产的经济性以及本企业的焊接设备和工艺装备条件等诸因素。其选择原则应该是在确保焊件质量符合相应

标准和产品技术条件要求的前提下,尽可能提高焊接效率,降低生产成本,以获取最大的经济效益。近年来,焊接方法的发展甚为迅速,一些传统的焊接方法也不断产生新的演变。因此,对于每一个焊接工艺员来说,全面了解各种焊接方法的发展现状,优缺点和适用范围是十分必要的。关于焊接方法的一般原理和所用设备请参阅《焊接手册》第一卷“焊接方法及设备”的有关章节。

目前在焊接工程中已列广泛实际应用的焊接方法有:①气焊;②焊条电弧焊;③埋弧焊;④熔化极气体保护焊;⑤钨极惰性气体保护焊;⑥等离子弧焊;⑦电渣焊;⑧气电立焊;⑨电子束焊;⑩激光焊;⑪电阻焊;⑫螺柱焊;⑬摩擦焊;⑭堆焊等。现就合理选择焊接方法需考虑的内容分别介绍如下。

3.1 气焊

气焊是利用气体火焰作热源,熔化母材和填充金属的一种焊接方法。最常用的是氧乙炔,但近年来液化气或丙烷燃气的焊接也已迅速发展。乙炔氧和丙烷、氧火焰的焰芯温度相应为3150℃和2800℃,能够熔化工程上常用的各种金属材料。

可燃气体火焰的特点是热量不集中,加热区宽、加热速度慢。因此,气焊具有焊接效率低,焊接变形大,焊缝和热影响区晶粒粗大和接头性能低的缺点。但在焊接需预热和后热的金属材料,如铸铁、铝及铝合金、铜及铜合金时,上述气焊的特点就成为可利用的优点。另外,气焊火焰由于温度低,易于焊接薄板和薄壁管,能适应各种位置的焊接以及单面焊双面成形工艺。特别是气焊设备简单,成本低,无需电源,机动灵活,可在任何工况下进行焊接。因此,这种方法一直沿用至今。

气焊火焰按可燃气体与氧气的混合比例,可分成中性焰、氧化焰和碳化焰。

利用中性焰可以焊接低碳钢、中碳钢、低合金钢、不锈钢、耐热钢、纯铜、锡青铜、铝及铝合金、铅、锡、镁及其合金和灰铸铁。

轻度碳化焰适于高碳钢、高速工具钢、铸铁、硬质合金,蒙乃尔镍基合金、碳化钨和铝青铜等的气焊。

弱氧化焰可用来焊接黄铜、锰黄铜和镀锌薄板等。

气焊的主要焊接工艺参数有:①火焰能率;②填充丝直径;③焊嘴倾斜角。

火焰能率取决于焊炬的型号和焊嘴的大小。焊接热导率高的材料时,应选用大号焊炬和焊嘴。难焊位置焊接薄板和薄壁管时,应选用小号焊炬和焊嘴。

填充丝的直径可按焊件壁厚和接缝装配间隙而确定。焊件壁厚和填充丝直径的关系可参考表1-6的数据。

表 1-6 气焊填充丝与焊件壁厚的关系

(mm)

工件壁厚	1~2	2~3	3~5	5~10	10~15	>15
填充丝直径	1~2	2	2~3	3~4	4~6	6~8

焊嘴的倾角是指焊嘴与工件平面的夹角。焊嘴倾角可按工件壁厚、火焰能率、工件加热温度和材料的特性确定。低碳钢用左焊法时焊嘴倾角以30°~50°为宜,右向焊时以50°~60°为宜。气焊纯铜时,焊嘴倾角应为60°~80°时,气焊铝及铝合金时,因其熔点较低,焊嘴倾角可适当减小。

气焊虽然具有上述优点,但从根本上说,这种方法的效率低,接头质量差,不便于实现机械化和自动化,因此,薄壁焊件的焊接已逐步被钨极氩弧焊所替代,厚壁焊件的焊接已大多为熔化极气体保护焊或埋弧焊所取代。在一些特殊的应用场合,如单件小批生产,对接头质量无严格要求的焊件、无电源的施工现场以及要求预热和后热的某些材料的焊接,气焊仍有一定的应用范围。

3.2 焊条(手工)电弧焊

焊条电弧焊是利用手工操纵焊条进行焊接的一种电弧焊方法。由于电弧柱的温度高于5000℃,热量集中,其热效率大大高于气焊。按现行国家标准生产的药皮焊条均为优质焊条,所焊接头质量能够满足现代焊接工程较高的技术要求,焊条电弧焊还具有设备简单,易于操作,灵活,工艺适应性强等优点。但焊条电弧焊亦有不可忽视的缺点:焊材利用率不高,熔敷率较低,难以实现机械化和自动化,焊工劳动强度大,特别是焊工职业病发病率高,后者更是焊条电弧焊扩大应用范围的一大障碍。

目前,我国焊条制造行业已能大批量生产不同强度等级和不同质量等级的结构钢焊条、低合金高强度钢焊条、钼和铬钼耐热钢焊条、低温钢焊条、不锈钢焊条、镍和镍合金焊条、铜和铜合金焊条、铝和铝合金焊条、堆焊焊条、铸铁焊条以及特殊用途焊条。因此,焊条电弧焊可以用于除活性金属、难熔金属和低熔点金属以外的各种金属材料的焊接。

焊条电弧焊焊条药皮基本上有两种类型:一种是药皮组分以酸性氧化物为主,称为酸性药皮焊条;另一种药皮是以碱性氧化物和氟化钙为主,称为碱性药皮焊条。酸性药皮焊条的优点是电弧稳定性高,可以采用交流电焊接,焊条的工艺性好,可以完成向下立焊、单面焊双面成形工艺、焊缝外表美观等。其缺点是焊缝金属内氧、氮含量较高,氧化物夹杂较多,焊缝金属的塑性和冲击韧度较低,只能满足普通焊接结构的要求,不能用于对低温冲击韧度要求较高的焊接结构。碱性药皮焊条则相反,其电弧稳定性和工艺性不如酸性药皮焊条,必须采用直流反接电源,短弧操作,抗气孔能力较弱等,但焊缝金属的氧、氮含量较低,金属氧化物夹杂少,焊缝金属的塑性和冲击韧度较高,完全能够满足低温焊接结构对焊缝韧度的要求。碱性药皮焊条还具有低氢、抗冷裂性高的优点。因此,在锅炉、压力容器和高压管道的焊接中,都规定必须采用碱性药皮焊条。

为克服碱性药皮焊条固有的缺点,近来研制成功了铁粉低氢型焊条,不仅改善了电弧的稳定性和工艺性。可以采用交流电源焊接,而且提高了焊条的熔敷率,使碱性药皮焊条的应用范围进一步扩大。在酸性药皮焊条方面也作了不少的改进,如下行立焊焊条、深熔焊条和重力焊条等。采用这些焊条,焊接效率可成倍提高。

焊条电弧焊的主要焊接工艺参数有电流种类和极性、焊条直径、焊接电流和热输入量。

电源种类分交流和直流。交流焊接电源价格低廉、维修容易,只适用于酸性药皮焊条或铁粉焊条。直流焊接电源现有多种形式,如电动机驱动直流发电机、硅整流焊接电源、晶闸管整流焊接电源以及各种逆变式焊接电源。后两种电子控制焊接电源的性能已超过传统的机械电磁式电源,且具有能耗低和重量轻等优点,正逐渐取代电动机驱动直流发电机高能耗焊接电源。逆变式焊接电源输出的直流电,由于整流电流的波动率极小,在低电流下仍能维持电弧稳定燃烧,故特别适用于薄板、薄壁管和难焊位置的焊接。

采用直流电焊接时,按焊件和焊条正负极接法可分正接和反接。焊条接负极为正接,接

正极为反接，反接时电弧的稳定性比正接时更好。因此，碱性药皮焊条焊接时，应采用直流反接。

焊条直径主要按焊件厚度、坡口形式和焊道层次选定。焊件厚度在 4mm 以下时，应选用直径 3.2mm 以下的焊条，焊件厚度大于 4mm 时，可选用直径为 4mm 或更粗的焊条。V 形坡口的底层焊道，特别是小直径管道接缝的封底焊，应选用直径 3.2mm 或更细的焊条。

焊接电流取决于所选用的焊条直径。表 1-7 列出焊接电流与焊条直径的一般关系。实际使用的焊接电流应根据焊件壁厚、焊接位置、所焊钢种、装配间隙和坡口形式等加以调整。

表 1-7 焊接电流与焊条直径的关系

焊条直径/mm	1.6	2.0	2.5	3.2	4.0	5.0	6.0	8.0
焊接电流/A	30~40	45~65	50~80	100~130	160~220	240~320	280~350	320~400

热输入是指熔焊时，由焊接能源输入给单位长度焊缝上的热能。它取决于焊接电流、电弧电压和焊接速度，其单位是 (J/cm)。低碳钢焊接时热输入量对接头性能的影响不大。某些低合金钢和不锈钢焊接时，过大的热输入可能导致低合金钢接头强度和韧性降低，不锈钢焊接接头的耐蚀性下降，因此，必须加以控制。

尽管焊条电弧焊具有焊缝质量高，操作简便，适应性强等优点，但又存在焊接效率低、焊条利用率不高、焊工劳动强度大等致命弱点，致使在许多应用领域内为经济性更好的熔化极气体保护焊和埋弧焊所取代。焊条电弧焊应用比率将逐渐缩小，已成为整个焊接行业发展的必然趋势。不过，在近 10 年内，焊条电弧焊在一些无法采用机械化和自动化焊接方法的焊接结构和部件的焊接中仍将占有一席之地。

3.3 埋弧焊

埋弧焊是利用焊剂层下在焊丝端与焊件之间燃烧的电弧熔化母材金属和焊丝金属而形成焊缝的一种电弧焊方法。埋弧焊本来有自动与半自动两种，目前半自动埋弧焊因焊枪笨重，焊药输送故障率高等原因，在工程中的实际应用日见减少而几乎被自动埋弧焊所取代。

埋弧焊具有焊丝熔敷率高和深熔的特点，可以采用 1000A 以上的焊接电流开 I 形坡口一次焊透厚 20mm 的对接接头。因此，埋弧焊是一种高效焊接方法。厚度 5~6mm 薄板的对接缝和角接缝埋弧焊的焊接速度可达 60m/h 以上。焊接厚 20mm 以上接头时，需开不同形式的坡口，最大焊接厚度可达 350mm。

埋弧焊时，焊接熔池受到焊剂层的物理隔绝保护作用，大气中氧、氮等有害气体不易侵入焊接区，同时，熔池金属在高温下与液态熔渣产生脱氧和渗合金等冶金反应，使焊缝金属具有所要求的化学成分和力学性能。因此埋弧焊是一种高质量的焊接方法。

埋弧焊还具有便于实现机械化和自动化，无弧光刺激，劳动条件较好等优点。

埋弧焊的缺点是只适用于平焊位置的焊接，其它焊接位置必须采取特殊措施。焊接过程中不能观察到电弧的位置，故焊丝对准接缝的调整容易出现偏差。

埋弧焊由于具有上述优点，已广泛应用于锅炉、压力容器、船舶、桥梁、重型机械、建筑结构、大型管道和机车车辆等制造行业。鉴于埋弧焊用焊丝和焊剂品种的不断发展，埋弧焊已能成功地焊接碳钢、各种低合金钢、不锈钢、耐热钢、镍基合金和铜合金等。另外，还可用于耐磨或耐蚀层的堆焊。

埋弧焊焊剂按其组分的氧化性,可分为碱性焊剂、酸性焊剂和中性焊剂。

酸性焊剂主要是指高硅、高锰和高硅无锰焊剂,可与 H08A、H08MnA 和 H10Mn2 焊丝相匹配焊接各种碳素钢和低合金钢。适用交流电和直流电源。中锰、中硅、中氟焊剂系中性焊剂,与 Mn-Mo、Cr-Mo 型合金焊丝相匹配可以焊接强度级别在 600MPa 以下的各种低合金高强度钢和铬钼耐热钢。中性焊剂亦适用于交流和直流电源,但在焊接低合金高强度钢时,最好采用直流反接,以降低焊缝金属中的氢含量。低锰中硅中氟或无锰低硅高氟则属于碱性焊剂,与低合金钢、高铬不锈钢和铬镍不锈钢焊丝相匹配,可相应地焊接强度级别高于 600MPa 的高铬不锈钢及铬镍奥氏体不锈钢。焊接电源必须采用直流反接。

埋弧焊的主要焊接工艺参数有焊接电流、电弧电压和焊接速度。正确选择各焊接工艺参数是焊制优质焊缝的关键。

焊接电流通常按所要求的熔深来选择。焊接电流和熔深成正比,并可按下列关系式求得。

$$H=K_{\infty}I$$

系数 K_{∞} 取决于电流种类、极性、焊丝直径和焊剂的成分,具体数据见表 1-8。

电弧电压是决定焊缝宽度的主要焊接工艺参数。电弧电压与电弧长度成正比,电弧电压可按所要求的焊缝宽度来选择,同时还应使其与所选用的焊接电流相匹配。即随着焊接电流的加大,电弧电压应适当提高。

电弧电压与焊缝熔宽的关系列于表 1-9。

表 1-8 系数 K_{∞} 值

焊丝直径 /mm	电流种类 极性	焊剂 牌号	K_{∞} 值/(mm/100A)	
			T 形接头及开 坡口对接接头	直边对接 接头
5	交流	HJ431	1.5	1.1
2	交流	HJ431	2.0	1.0
5	直流反接	HJ431	1.75	1.1
5	直流正接	HJ431	1.25	1.0
5	交流	HJ430	1.55	1.15

表 1-9 埋弧焊电弧电压与焊缝熔宽的关系

电弧电压/V	熔宽 B/mm	
	正 极 性	反 极 性
30~32	21	22
40~42	25	28
53~55	25	33

注:焊接条件:焊丝直径 5mm, I 为 550A、 V 为 24m/h、焊剂 HJ431。

焊接速度对焊缝的熔深和熔宽都有一定的影响,随着焊接速度的增加,熔深和熔宽几乎成直线减小。选择恰当的焊接速度可以调整焊缝的成形系数。在焊接需限制热输入的高强合金钢和不锈钢时,可提高焊接速度,降低热输入。

其它焊接工艺参数如焊丝倾角、焊件倾斜度、坡口形状和间隙尺寸对焊缝的熔宽和熔深也有一定的影响。在确定上述电参数时应加以考虑。

为进一步提高焊接效率,降低焊材的消耗,近年来开发了多种埋弧焊新工艺,如双丝或多丝单面埋弧焊,采用焊剂铜衬垫。焊剂铜衬垫和焊剂石棉衬垫可以保证反面良好成形,可焊最大厚度为 20mm,已成功地用于船厂钢板的拼接。

厚度大于 80mm 的压力容器纵环缝,目前已普遍采用窄间隙埋弧焊,并已取得较好的经济效益。不管板厚多大,窄间隙坡口宽度均可取 18~22mm,采用每层二道施焊方法容易保证焊缝的质量。如焊剂的脱渣性良好,则亦可在小于 18mm 的窄间隙内完成每层单道的厚壁焊

缝。窄间隙埋弧焊时推荐采用直径 3mm 的焊丝，烧结焊剂，中等焊接电参数（ I 不超过 600A），可改善脱渣性和焊缝成形。

3.4 熔化极气体保护电弧焊

熔化极气体保护电弧焊是利用外加气体作为电弧介质并保护电弧和焊接区的电弧焊，简称气体保护焊。近年来这些方法发展十分迅速。

1. 分类

熔化极气体保护焊按所用焊丝种类可分为实心焊丝气体保护焊和药芯焊丝气体保护焊，按保护气体的成分则可分为纯 CO_2 气体保护焊、氧化性混合气体保护焊和惰性气体保护焊，按所使用的电流种类可分为直流电弧熔化极气体保护焊和脉冲电弧熔化极气体保护焊。

2. 优缺点

熔化极气体保护焊是一种高效、优质、低成本的焊接方法，设备简单，操作方便，焊接区便于观察，易于实现机械化和自动化，并且能在任何位置进行焊接。其缺点是焊接区的气体保护易受穿堂风的干扰，在野外作业时必须加设屏障，防止自然风力侵袭焊接区。

3. 应用范围

熔化极气体保护焊由于具有上述优点，目前，在我国重型机械、工程机械、船舶、锅炉、建筑工程、机床和各种车辆等制造行业得到广泛的应用，正在逐步取代低效的焊条电弧焊。

纯 CO_2 气体保护焊主要用于碳钢和低合金结构钢。惰性气体保护焊则可用于低合金高强度钢和耐热钢、不锈钢、铝及铝合金、铜及铜合金和钛、锆及其合金。采用富 Ar 混合气体保护焊可以完成优质的碳钢和低合金钢接头。药芯焊丝气体保护焊除了可焊接各种结构钢外，还可焊接不锈钢、耐热合金以及用于耐磨层堆焊。

4. 方法选择

在对上述各种熔化极气体保护焊方法进行选择时，一定要注意充分利用其各自的优点，综合分析利弊，同时应考虑经济性。纯 CO_2 气体保护焊的优点是焊接变形小，焊接热影响区窄，以短路过渡方式焊接薄板可取得满意的效果，而且成本低廉。其缺点是焊缝成形欠佳，焊接飞溅较大。按不同比例配比的 Ar+ CO_2 混合气体保护焊基本上克服了纯 CO_2 气体保护焊的缺点，焊缝成形得到改善，焊接飞溅也减少，但电弧的热量增大，焊薄板时热影响区较宽，焊接变形较大，且焊接成本高，焊枪寿命缩短。因此，在焊接 5mm 以下的薄板时，应选择纯 CO_2 气体保护焊，而不应单纯追求焊缝成形美观，而选择混合气体保护焊。同理，采用实心焊丝 CO_2 气体保护焊或混合气体保护焊所焊接头性能，已完全满足产品技术条件要求的情况下，就不必非得选用成本较高的药芯焊丝气体保护焊。对接头的力学性能和致密性提出较严格的要求时，则应优先选用易于保证焊缝质量的药芯焊丝气体保护焊。在难焊位置焊接或特殊形式接头的焊接，且要求焊接过程相当稳定以保证焊缝高质量的情况下，应当选用脉冲电弧熔化极气体保护焊。

5. 焊接材料

熔化极气体保护焊用焊接材料有保护气体和焊丝。

保护气体分惰性气体和活性气体两大类。焊接用惰性气体包括氩（Ar）、氦（He）及其混合气体。为降低熔滴和熔池金属的表面张力，改善焊缝成形而加入体积分数（ φ ）为 3% 以下 CO_2 或 O_2 的 Ar+ CO_2 ，Ar+ O_2 混合气体，虽然这种混合气体已具有轻微的氧化性，但从电

弧特性角度来看, 它仍属于惰性气体。在某些应用场合, 为使保护气体具有一定的还原性或增强电弧的穿透能力, 在惰性气体中加入体积分数为 5% 以下的氢 (H_2) 气, 而形成 $Ar+H_2$ 混合气体。

惰性保护气体及其混合气体, Ar 、 He 、 $Ar+He$ 可用于铝及铝合金, 钛、锆及其合金, 铜及铜合金的熔化极气体保护焊。 $\varphi_{Ar}99\%\sim98\%+\varphi_{H_2}1\%\sim2\%$ 或 CO_2 混合气体主要用于不锈钢的焊接。 $Ar+He$ 及 $Ar+H_2$ 混合气体可用于镍基合金、不锈钢及贵重金属的焊接。

氧化性保护气体包括纯 CO_2 、 $Ar+CO_2$ 、 $Ar+O_2$ 、 $Ar+CO_2+O_2$ 等混合气体。在混合气体中, Ar 与 CO_2 气体不同的配比可使其具有不同的性能。在 CO_2 气体中加入 Ar , 对保护气体特性影响的总趋势是提高电弧的热量和电弧的稳定性, 改善熔滴过渡特性和焊缝的成形, 减小飞溅。典型的 $Ar+CO_2$ 混合气体的配比为 1:1 和 8:2。后一种混合气体不仅可大大降低滴状过渡向喷射过渡的转折电流, 而且可用于脉冲电弧熔化极气体保护焊。 $Ar+CO_2+O_2$ 三元混合气体用于碳钢和低合金钢的焊接, 可进一步改善焊缝成形、接头质量和焊接电弧的稳定性。

CO_2 气体取容易, 成本低廉, CO_2 焊接气氛具有低氢的特点, 抗氢气孔和氢致裂纹的能力强, 适合于薄板和全位置焊接。 CO_2 气体在常温下的密度为空气的 1.5 倍, 能有效地将空气隔离, 保护焊接区。但目前我国市售 CO_2 气体大部分是工业副产品, 质量不完全满足焊接要求, 即 CO_2 气体纯度 (体积分数) 应大于 99%, O_2 的体积分数应小于 0.1%, 水分应小于 $1g/m^3$ 。在焊接重要焊接结构时, 应对生产用 CO_2 气体纯度进行检验, 不合格的 CO_2 气体不得用于生产。

CO_2 气体保护焊用焊丝应具有足够的脱氧元素, 因为在氧化性气体保护下焊接时, 焊接熔池的脱氧只能依靠焊丝中的脱氧元素, 如锰和硅等。我国常用的 CO_2 焊焊丝牌号有 $H08MnSi$ 、 $H08Mn2Si$ 、 $H04Mn2SiTi$ 、 $H10MnSiMo$ 、 $H08CrMnSiA$ 。其 Si 的质量分数为 0.6%~1.0% Mn 的质量分数为 0.8%~2.0%。为提高焊丝表面的导电性能, 通常在焊丝表面镀铜, 但镀铜层的厚度不应使熔敷金属铜的质量分数大于 0.35%。 CO_2 焊焊丝的规格有 $\phi 0.8mm$ 、 $\phi 1.0mm$ 、 $\phi 1.2mm$ 、 $\phi 1.6mm$ 、 $\phi 2.0mm$ 、 $\phi 2.5mm$ 、 $\phi 3.0mm$, CO_2 自动焊亦可采用直径大于 3.0mm 的粗焊丝。

药芯焊丝是一种在薄包层内充满细碎的药粉 (焊剂) 的复合焊丝, 虽然制造工艺比实心焊丝复杂, 但具有电弧稳定、飞溅小、焊缝成形好、致密性高和焊缝性能良好等优点, 正在不断扩大其应用范围。

药芯的成分可分钛型、钙型和钛钙型几种, 其组成与焊条药皮相似。按保护的方式, 药芯焊丝有自保护式、纯 CO_2 气体保护和 $Ar+CO_2$ 混合气体保护三种。不锈钢药芯焊丝必须采用富 Ar 混合气体保护。

6. 焊接工艺参数

熔化极气体保护焊的主要焊接工艺参数包括焊接电流、电弧电压、焊接速度、焊丝伸出长度、焊丝倾角、焊丝直径、保护气体流量和电流极性等。

(1) 焊接电流和电弧电压 焊接电流原则上按焊件的板厚和焊接位置而定。薄板和难焊位置通常选用细丝低电流, 而中厚板平焊位置则采用较粗直径的焊丝和高电流。熔化极气体保护焊时焊接电流的调节是通过改变焊丝速度实现的。不同直径的焊丝, 其送丝速度与焊接电流的关系如图 1-20 所示。

焊接电流与电弧电压之间存在严格的匹配关系,是熔化极气体保护焊的重要特点之一。图1-21示出不同直径焊丝适用的焊接电流范围及其相配的电弧电压,总的趋势是,随着焊接电流的提高,电弧电压按正比关系增加。

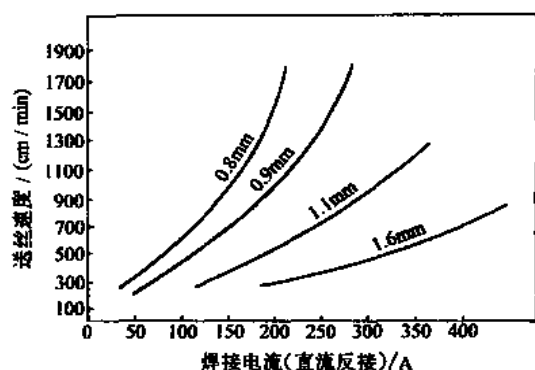


图 1-20 不同直径焊丝的送丝速度与焊接电流的关系曲线

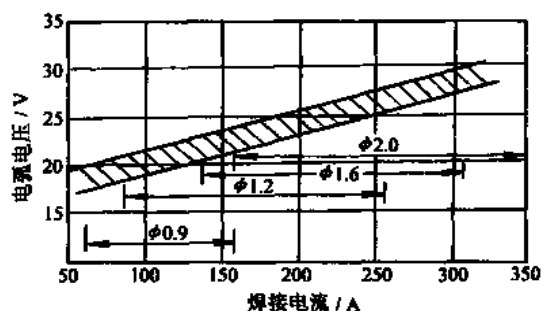


图 1-21 不同直径焊丝适用的焊接电流范围及其相配的电弧电压

(2) 焊接速度 焊接速度是影响焊缝成形系数的主要参数之一。随着焊接速度的增加,电弧超前于焊接熔池而直接作用于母材的热量增多,熔深增大,熔深达到最大值后不再增加。焊接速度降低时,单位长度上熔敷金属量增大,故熔宽增加。当焊接速度超过某一临界值时,提高焊接速度,熔宽和熔深同时减小。焊接速度主要按所要求的焊缝尺寸来调整。

(3) 焊丝伸出长度和焊丝位置 焊丝伸出长度是指焊丝伸出导电嘴端部至熔池表面的一段长度。这段焊丝在焊接过程中不仅受到电弧热的作用,而且也受到焊接电流的电阻加热,焊丝直径越小,电流密度和电阻越大,电阻加热的作用越明显。熔化极气体保护焊大多采用小直径焊丝,因此,必须考虑焊丝伸出长度对焊丝熔化特性的影响。随着焊丝伸出长度加大,焊丝熔化速度加快,熔敷率提高,但焊丝伸出长度过长,电阻加热加剧,使焊丝端部未到达熔池已接近熔化状态而导致焊丝熔化速度不稳定,最终导致焊接过程的不稳定。因此,焊丝伸出长度不宜过长,按焊丝直径的大小,适用的焊丝伸出长度范围为13~30mm,焊丝直径越小,伸出长度应越短。

焊丝轴线相对于焊缝中心线的角度和位置对焊缝形状和熔深有一定的影响。焊丝向前倾斜焊接为前倾焊法,向后倾斜为后倾焊法。当其它焊接工艺参数保持不变,焊丝由垂直位置向后倾斜时,熔深和余高增大,焊道变窄,后倾角达 25° 时,可获得最大熔深。通常后倾角为 $5^{\circ}\sim 15^{\circ}$ 。

(4) 气体流量 气体保护焊时,保护气体对焊接熔池的保护效果取决于气体流量和气流的结构形式。若焊枪结构合理,气体流量适中,从喷嘴端部流出的保护气流为挺度较好的层流结构,具有较好的保护效果。如喷嘴结构不合理,气体透镜垫残缺,气体流量过大,则气流成紊流喷出,保护效果明显降低,严重时甚至会将空气卷入焊接气氛中而造成各种焊接缺陷。当然气体流量过小亦会丧失保护效果。通常喷嘴孔径为16~22mm,气体流量为20~35L/min。焊接铝合金厚板时,应将气体流量加大至50~60L/min。

脉冲电流熔化极气体保护电弧焊的焊接工艺参数还包括与脉冲电流有关的参数,如脉冲峰值电流、维弧电流、脉冲电流持续时间和脉冲频率等。在这些参数中,脉冲峰值电流是最

重要的，它决定了脉冲电弧的能量和熔滴过渡的特征。采用脉冲电流熔化极气体保护焊的主要目的是获得稳定的喷射过渡，因此所选择的脉冲电流峰值应高于产生喷射过渡的临界电流且持续一定时间。脉冲电流持续时间（脉冲宽度）太长提高了平均有效电流，会减弱脉冲电弧的效果。持续时间太短，熔滴的喷射过渡不易稳定保持。维弧电流亦称基值电流，其作用是在脉冲间歇时间维持电弧燃烧，同时使焊丝端部产生一定的熔化量，为脉冲电流达到峰值时使熔滴快速脱落作好准备。维弧电流过大将减弱脉冲电流的作用，过小则焊丝的熔化量不足，喷射过渡将失去规律性。

脉冲间歇时间即维弧电流时间的作用是，延长焊丝预熔的时间，增大熔滴的尺寸。当脉冲频率固定，脉冲间歇时间过长或过短都会减弱脉冲电流的作用，脉冲间歇时间通常取脉冲宽度的1~1.2倍。

脉冲频率也是决定脉冲电弧能量的主要参数之一。脉冲频率与熔滴尺寸成反比，与母材金属的熔深成正比。最常用的脉冲频率为50Hz或100Hz。脉冲电流熔化极气体保护焊的其它焊接工艺参数可按普通熔化极气体保护焊的原则来选定。

3.5 气电立焊

1. 特点

气电立焊是熔化极气体保护焊的一种特殊形式，它借助水冷滑块可在立焊位置一次行程完成全厚度的焊缝，其过程实质与普通熔化极气体保护焊相同，采用纯CO₂气体或Ar+CO₂混合气体保护，填充焊丝可按对接头性能的要求，选用实心焊丝或药芯焊丝。焊接时，焊件的接缝置于垂直或接近垂直位置，特制的扁平焊枪伸入I形坡口对接接头的间隙内，并以沿接头厚度往返摆动的方式填满接缝间隙。焊丝和母材金属在电弧热的作用下形成焊接熔池。为防止液态金属流失，接缝两侧采用水冷滑块挡住，随着焊接熔池不断上升，水冷滑块同时向上移动。焊枪装在垂直行走机构上沿磁性轨道按焊接速度向上爬行完成焊接过程。气电立焊所用的焊接电源和送丝机构与普通熔化极气体保护焊设备相似。因气电立焊工作通常是以大电流、长时间连续工作方式进行，故应选用额定输出电流达500~1000A，负载持续率为100%的焊接电源。

气电立焊的优点是效率高，成本低，接缝边缘一般开I形坡口，接头性能优良，焊后可不作细化晶粒的热处理，目前已在船体合拢，大型储罐和重型建筑结构中得到推广应用。

2. 气电立焊工艺

气电立焊通常采用I形坡口，接缝间隙范围为16~22mm。为节约填充焊丝，提高焊接速度，降低焊接热输入量，亦可采用V形或双V形坡口，其特点综列于表1-10。T形接头亦可采用气电立焊法焊接，但需配置特殊形状的水冷滑块。

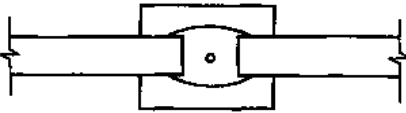
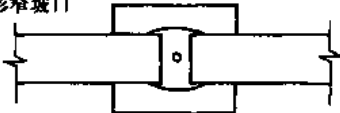
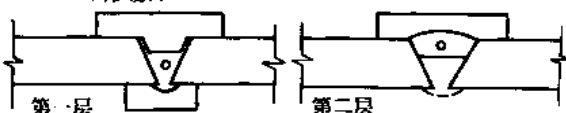
气电立焊时，焊丝从导电嘴送出后应保持一定的挺直度，避免由于旁弯与接头侧壁相碰而破坏焊接过程的稳定性。同时为使接头两侧熔透均匀，要求焊丝始终在接头的中心轴线上摆动。因此应选用直径 $\phi 1.6\text{mm}$ 以上的焊丝，以保证焊丝正确定位所要求的刚度。

气电立焊的焊接工艺参数有焊接电流、电弧电压、焊接速度、焊枪摆动、焊丝伸出长度和气体流量。

气电立焊工艺实质上是在一定宽度的间隙内作单程单道焊，焊接熔池建立后要保证间隙两侧面均匀熔合。焊接电流必须选用得当。焊接电流过小，熔池热量不足，容易造成接头两

侧熔合不良,甚至产生夹渣和未熔合。焊接电流过大,则焊接熔池上升速度加快,亦会造成接头两侧受热时间太短而出现类似的缺陷,而且还会导致焊缝表面成形不良。如采用 $\phi 1.6\text{mm}$ 的焊丝,合适的焊接电流范围为 $340\sim 380\text{A}$ 。

表 1-10 气电立焊坡口形状及其特点

坡口和滑块形状	特 点
I 形坡口 	1. 双面水冷铜滑块 2. 可从一面焊接 3. 焊接热输入较大 4. 热影响区较宽
I 形窄坡口 	1. 双面水冷铜滑块 2. 可从一面焊接 3. 焊接热输入较小 4. 热影响区较窄
V 形坡口 	1. 外侧水冷铜滑块, 内侧固定铜垫 2. 可从一面焊接 3. 熔敷金属量少 4. 热影响区较窄
V 形坡口  第一层 第二层	1. 外侧水冷铜滑块, 内侧固定铜衬垫 2. 可从一面焊接 3. 熔敷金属量少、热输入小, 热影响区窄 4. 第二层焊接时对前层有细化晶粒作用
X 形坡口  第一层 第二层	1. 外侧水冷铜滑块、内侧固定铜衬垫 2. 须从二面焊接 3. 熔敷金属量小 4. 第二层焊接时对前层有细化晶粒作用

电弧电压必须与焊接电流相匹配,但电流与电压的比例关系不同于普通的熔化极气体保护焊。随着电弧电压的提高,熔宽增加,电弧电压过高时,会出现咬边。电弧电压过低,则会造成熔合不良,焊缝成形恶化。经试验确定,焊接电流在 $340\sim 380\text{A}$ 的范围内,最佳的电弧电压为 $34\sim 37\text{V}$ 。

气电立焊时,焊接速度即为熔池的上升速度,取决于所选用的焊接电流和焊丝的熔敷率。确定焊接速度的原则是使熔池的液面离焊枪喷嘴端的距离始终保持 $5\sim 6\text{mm}$ 。

焊枪的摆动是保证侧壁均匀熔透的重要焊接工艺参数,摆动的幅度按板厚和坡口形状而定。当板厚大于 20mm 时,摆动幅度约为板厚的 0.8 倍并在每侧冷却滑块附近作适当的停留;停留时间约为 $0.8\sim 1.2\text{s}$ 。当焊接V形坡口时,开口侧停留时间较长,底部停留时间较短,可取开口侧停留时间的 $1/2$ 左右。

气电立焊时为防止熔渣飞溅而堵塞导电嘴和喷嘴口,应取较长的焊丝伸出长度。但过长

的伸出长度可能因电阻热加剧而引起焊丝爆断，增大飞溅，甚至导致焊接过程失稳。最合适的焊丝伸出长度可取 30~35mm。

气电立焊时两侧的水冷滑块可同时起机械屏障的作用，而增强气体保护的效果，因此不必加大气体的流量，而保持在 20~30L/min 就已足够了。保护气体按工艺要求，可以采用纯 CO_2 或 $\text{Ar}+\text{CO}_2$ 混合气体。

3.6 钨极惰性气体保护电弧焊

1. 特点

钨极惰性气体保护电弧焊（又称钨极氩弧焊），是一种以惰性气体作保护气体，以钨极作不熔化电极的电弧焊方法。它利用钨极与焊件之间的电弧熔化母材金属和填充丝，形成焊接熔池。在焊接过程中，填充丝可用手工或独立的送丝机送入熔池。惰性保护气体可采用氩、氦、氩-氦及氩氦混合气体。应用最普遍的惰性气体是氩气。

钨极惰性气体保护电弧焊具有下列优点：第一，惰性气体与任何金属不起化学反应；熔池液态金属几乎不发生冶金变化，可焊接各种钢材和合金；第二，电弧稳定性相当好，即使在低电流下（20~30A），电弧还能稳定燃烧，特别适用于薄壁焊件和难焊位置的焊接；第三，电弧热量较集中，熔池金属无氧化还原反应，表面张力较大，是完成单面焊双面成形打底焊的理想方法之一。

钨极惰性气体保护电弧焊也具有效率低，不宜用于厚壁焊件，成本较高等缺点。

钨极惰性气体保护电弧焊可采用直流电源和交流电源。采用直流电时可焊接碳钢、低合金钢、不锈钢、耐热、耐蚀合金、钛及其合金、镍及其合金以及铜及其合金等。采用交流电时，可焊接铝及铝合金和镁合金等。

2. 焊接工艺

（1）接头及坡口形式 钨极惰性气体保护电弧焊多用于厚度 5mm 以下的薄板焊接。接头形式有对接、搭接、角接和 T 形接。对于 1mm 以下的薄板，亦可采用卷边接头。当板厚大于 4mm 时，应开 V 形坡口。厚壁管的对接接头亦可开 U 形坡口。

（2）焊前清理 钨极惰性气体保护电弧焊时，焊前清理对于保证接头的质量具有十分重要的意义。因为在惰性气体保护下，熔化金属基本上不发生冶金反应，不能通过脱氧的方法清除各种氧化物和污染。因此，焊件坡口表面、接头两侧以及填充焊丝表面应在焊前采用有机溶剂（汽油、丙酮、三氯乙烯、四氯化碳等）擦洗，去除油污、水分、灰尘及氧化膜等。铝及铝合金表面应采用特制的化学溶液脱脂。其主要成分是磷酸三钠、碳酸钠和水玻璃。

对于表面氧化膜与基层结合力较强的材料，如不锈钢和铝合金应采用机械方法清除氧化膜。通常采用不锈钢丝刷或铜丝刷、细砂轮及砂带打磨。铝及铝合金亦可用刮刀清除氧化膜。对于大型铝合金焊件最好采用化学清理方法，溶液成分和清洗工艺参数详见表 1-11。

3. 焊接工艺参数 钨极惰性气体保护电弧焊的焊接工艺参数主要有焊接电流、电弧电压、焊接速度、钨极直径及端部形状、喷嘴直径和气体流量、喷嘴至焊件表面的距离和焊枪倾角等。

（1）焊接电流 焊接电流是决定焊缝熔深的最主要焊接工艺参数。焊接电流的选择应根据所要求的焊道熔深及钨极所能承受的电流。表 1-12 列出了各种钨极直径在不同电流种类和极性下容许的焊接电流范围。

表 1-11 铝及铝合金化学清洗工艺参数

材料种类	碱 洗			冲洗	中 和			冲洗	干 燥
	溶液 (质量分数)/%	温度 /℃	时间 /min		溶液 (质量分数)/%	温度 /℃	时间 /min		
纯铝	NaOH6~10	40~50	≤20	清水	HNO ₃ 30	室温	1~3	清水	压缩空气吹干
铝镁、铝锰合金	NaOH6~10	40~50	≤7	清水	HNO ₃ 30	室温	1~3	清水	低温烘干

表 1-12 各种钨极直径的容许焊接电流范围

钨极直径 /mm	直 流 电/A				交 流 电/A	
	正 接		反 接		纯 钨	钍钨、铈钨
	纯 钨	钍钨、铈钨	纯 钨	钍钨、铈钨		
1.6	40~130	60~150	10~20	10~20	45~90	60~125
2.0	75~180	100~200	15~25	15~25	65~125	85~160
2.5	130~230	170~250	17~30	17~30	80~140	120~210
3.2	160~310	225~330	20~35	20~35	150~190	150~250
4.0	275~450	350~480	35~50	35~50	180~260	240~350
5.0	400~625	500~675	50~70	50~70	240~350	330~460

(2) 电弧电压 电弧电压是决定焊道宽度的主要参数。但在钨极惰性气体保护焊中不宜采用较高的电弧电压,以获得良好的熔池保护。在氦气保护下焊接时,因氦气的电离度较高,相同的电弧长度具有比氩弧更高的电弧电压。电弧电压亦与钨极尖端的角度有关。钨极端部愈尖,电弧电压愈高,最常用的电弧电压范围为10~20V。

(3) 钨极直径和端部形状 钨极直径的选择取决于拟采用的焊接电流种类、极性及大小。其原则是所选定直径的钨极应在接近于最大容许电流下工作,这样电弧热量较集中,电弧稳定,熔深最大。

钨极端部的形状有尖头、平头、半球形和球形四种。尖头的钨极容许采用较高的电流。半球形端部的球面虽然较大,但放电端面积很小,故电流密度也很高。一般在小电流焊接时,宜选用小直径的钨极并将端部磨成近似20°的锐角,使电弧容易引燃和稳定。以大电流焊接时,应将钨极端部磨成大于90°的钝角或磨成带平顶的锥形,以使阴极辉点稳定,弧柱的锥度减小,加热集中。

钨极端部尺寸的要求及推荐的电流范围列于表1-13。

表 1-13 钨极尖端形状和电流范围

钨极直径 /mm	尖端直径 /mm	尖端角度 /(°)	直 流 正 接		钨极直径 /mm	尖端直径 /mm	尖端角度 /(°)	直 流 正 接	
			恒定直流/A	脉冲电流/A				恒定直流/A	脉冲电流/A
1.0	0.125	12	2~15	2~25	2.4	0.8	35	12~90	12~180
1.0	0.25	20	5~30	5~60	2.4	1.1	45	15~150	15~250
1.6	0.5	25	8~50	8~100	3.2	1.1	60	20~200	20~300
1.6	0.8	30	10~70	10~140	3.2	1.5	90	25~250	25~350

钨极端部尖度对焊缝的熔深和熔宽有一定的影响。减小尖度会增大弧柱的锥度，导致焊缝熔深减小，熔宽增大。反之，则熔深增大，熔宽缩小。

(4) 焊接速度 焊接速度对焊缝形状有一定影响，降低焊接速度，熔宽和熔深都随之增加。钨极惰性气体保护焊的焊接速度按焊件厚度和焊接电流而定。由于钨极所能承受的电流均较低，故焊接速度通常在 20m/h 以下。自动钨极惰性气体保护焊的最高焊接速度可能达到 35m/h 以上。此时应考虑焊接速度对保护气体层流形状的影响。当焊接速度过大时，保护气体层流将受到空气流的扰动而后移。严重时会使钨极端部、弧柱和熔池暴露于空气中。在这种情况下，应适当降低焊接速度，加大气体流量，调整焊炬前倾角，以保持良好的气体保护。

(5) 气体流量和喷嘴直径 为可靠地保护焊接区不受空气侵入，保护气体应有足够的流量。气体流量过小，气体从喷嘴口流出时难以形成挺度较大的层流，但流量太大，则易形成紊流而使空气卷入保护气流，影响保护效果。

能有效保护焊接区所需的最低气体流量与焊枪喷嘴的形状和尺寸存在一定的关系。随着喷嘴直径的增大，气体流量需相应增加。而喷嘴直径取决于焊件厚度和接头的形式。无论是手工钨极惰性气体保护焊，还是自动焊，当喷嘴的孔径为 $8\sim 12\text{mm}$ 时，保护气体流量应在 $5\sim 15\text{L/min}$ 范围内，当喷嘴直径增大到 $14\sim 22\text{mm}$ 时，气体流量应提高到 $10\sim 20\text{L/min}$ 。铝和铝合金厚板焊接时，气体流量应提高到 $25\sim 35\text{L/min}$ 。

另外，气体流量还与焊接环境有关。当在空气流动的场地焊接时，应按空气的流速增加气体流量，当喷嘴离焊件表面距离为 5mm 时，空气流速从 1.0m/s 提高到 2.0m/s 时，气体流量从 18L/min 增加到 40L/min ，即需增大 1 倍以上。喷嘴距离越大，空气流的影响越严重。

(6) 焊枪倾角 焊枪倾角、填充丝与焊件表面的夹角对于保证接头质量也很重要。对接和角接接头的手工和自动钨极气体保护焊时，焊枪、填充焊丝和焊件应保持图 1-22 所示的相对位置。

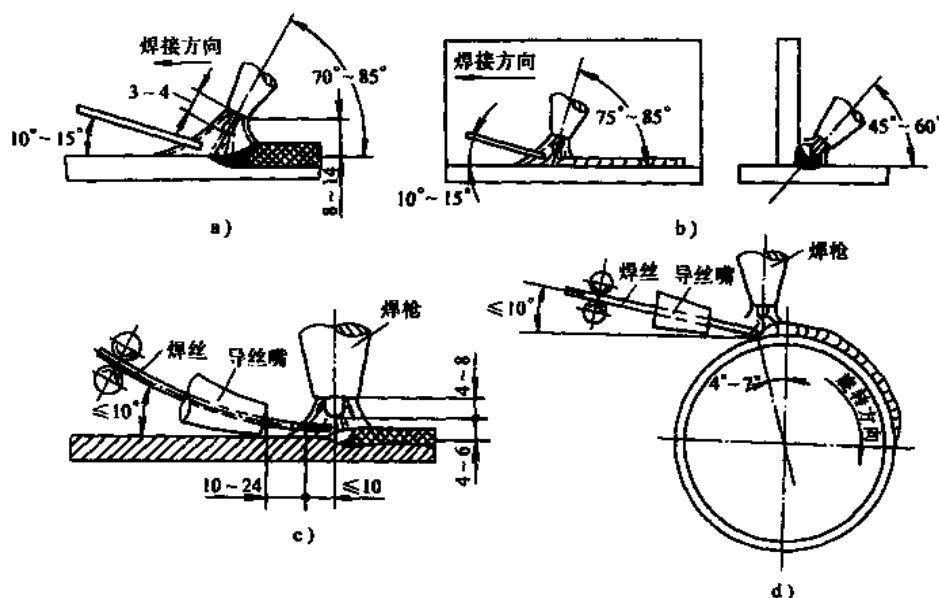


图 1-22 焊枪、填充焊丝和焊件之间正确的相对位置
a) 对接手工焊 b) 角接手工焊 c) 对接自动焊 d) 环缝自动焊

4. 脉冲电流钨极惰性气体保护焊工艺

(1) 焊接工艺参数 为在较宽的范围内控制焊接热输入和熔池尺寸, 提高其工艺适应性。可以采用低频脉冲电流。这种方法特别适用于薄板、超薄板以及全位置单面焊双面成形焊接接头。

低频直流和交流脉冲电流的波形及其参数如图 1-23 所示。调节脉冲波形各参数, 即调节脉冲电流幅值 I_P 、基本电流 I_b 、脉冲宽度 t_P 、基本电流持续时间 t_b 等可相当方便地控制焊接热输入。从而可按技术要求, 控制焊缝及热影响区的尺寸和质量。

(2) 焊接工艺参数的选择 脉冲电流钨极氩弧焊除上述四个基本参数外, 还有脉幅比 $R_A = I_P / I_b$, 脉宽比 $R_w = \frac{t_P}{t_P + t_b} \times 100\%$, 脉冲周期 $T = t_P + t_b$ 和脉冲频率 $f = \frac{1}{T}$ 。

1) 脉冲电流 鉴于脉冲电流钨极氩弧焊焊接工艺参数较多, 选择最佳焊接工艺参数有一定的难度。为简化起见, 可先按材料种类选定脉冲幅值, 然后按焊件厚度确定脉冲宽度。图 1-24 示出按材料种类及板厚确定 I_P 和 t_P 的列线图。焊接薄板时, 应选择比图示值较低的 I_P , 适当延和 t_P 。焊接厚板时, 应选择略高于图示值的 I_P , 并适当缩短 t_P 。

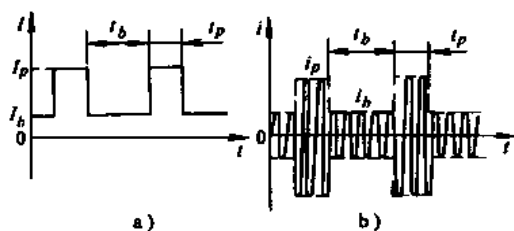


图 1-23 脉冲电流钨极氩弧焊的电流波形
a) 直流脉冲电流波形 b) 交流脉冲电流波形

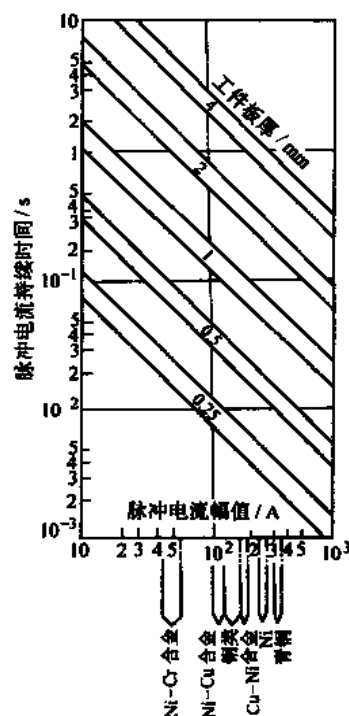


图 1-24 各种材料和板厚
适用的脉冲电流参数

2) 基本电流 基本电流 I_b 通常取脉冲幅值的 $10\% \sim 20\%$, 基本电流持续时间 t_b 为 t_P 的 $1 \sim 3$ 倍, I_b 和 t_b 应相互匹配, 以使电弧维持燃烧且熔池开始凝固。基本电流过高会降低脉冲电流的效果, 使熔池过热, 凝固时间延长, 不利于焊缝成形。

(3) 脉幅比 R_A 和脉宽比 R_w 脉幅比 R_A 和脉宽比 R_w 是决定脉冲电流钨极氩弧焊热输入量的主要参数。脉幅比越高, 即脉冲幅值 I_P 越高, 脉宽比越大, 即脉冲电流持续时间越长。在焊接对热裂敏感的材料时, 应选择较高的 R_A 和较低的 R_w 。 R_A 和 R_w 应与焊接速度相匹配, 以达到所要求的熔透深度和焊缝外形。

(4) 脉冲频率 脉冲电流钨极氩弧焊时, 焊缝是由一连串的焊点不断相互重叠而成, 基本上一个脉冲形成一个焊点。因此脉冲频率必须与焊接速度相匹配, 并应满足下列关系式:

$$L_w = v_w / 2.16f$$

式中 L_w ——焊点间距 (mm);

v_w ——焊接速度 (cm/min);

f ——脉冲频率 (Hz)。

为形成尺寸符合标准的连续焊缝, L_w 不应大于 2mm。手工和自动焊常用的脉冲频率可参照表 1-14 所列数据。

表 1-14 脉冲电流钨极氩弧焊常用脉冲频率范围

焊接方法	手 工 焊	自 动 焊			
		焊接速度/(cm/min)			
		20	28	37	42
频率 f/Hz	1~2	≥ 3	≥ 4	≥ 5	≥ 6

3.7 等离子弧焊

1. 特点

等离子弧焊是由钨极惰性气体保护焊演变而来的一种特殊焊接方法。等离子弧是由喷嘴孔道的机械压缩作用、冷气流的热收缩作用和电流的磁收缩作用而形成的。等离子弧必须采用特殊结构的焊枪才能产生。

等离子弧焊按等离子流的强度可分成三种基本形式: 穿透型等离子弧焊、熔透型等离子弧焊及微束等离子弧焊。

穿透型等离子弧焊是利用等离子弧能量密度大和等离子流穿透能力强的特点, 将焊件整个壁厚瞬间熔透, 并在熔池底部产生贯穿的小孔, 随着焊枪的前移, 小孔自动封闭, 形成全焊透的焊道。这种方法可一次焊透厚度 8mm 以下的碳钢、低合金钢和不锈钢。

熔透型等离子弧焊是在离子气流量较少, 弧柱压缩程度较小的条件下完成的焊接过程, 它只是将焊件母材金属和填充丝熔化而不产生穿透性小孔。焊缝成形过程类似于钨极惰性气体保护焊。这种方法主要用于薄板的熔透焊和厚板的多层填丝焊。

微束等离子弧焊是一种工作电流小于 30A 的熔合型等离子弧焊。采用小孔径压缩喷嘴产生微束等离子弧。最小焊接电流可达 0.1A, 主要用于金属箔和细丝的焊接。对于不锈钢箔, 可焊的最小厚度为 0.025mm。

等离子弧焊与钨极惰性气体保护焊相比具有以下优点:

1) 热量高度集中, 温度高达 30000K 以上, 电弧稳定、穿透能力强, 对于一定厚度的大多数金属均可产生锁孔效应, 焊接效率和速度明显提高。

2) 电弧挺度强, 基本成圆柱形, 弧长的变化对焊缝成形影响不大, 容许采用较高的等离子弧喷嘴间距, 可简化焊接过程的控制。

3) 焊缝的深度比大, 热影响区小, 接头质量易于保证。

等离子弧焊的缺点是设备费用较高, 焊接工艺参数的调节较复杂, 焊枪喷嘴寿命较短, 保护气体消耗量较大, 生产成本较高。

等离子弧焊已成功地用于碳钢、低合金钢、不锈钢、耐热和耐蚀合金、铜合金、镍合金和钛合金等的焊接。单层焊的极限厚度, 对于碳钢和不锈钢为 8mm, 钛及钛合金为 12mm, 镍和镍合金为 6mm。厚板多层填丝等离子弧焊的效率不及熔化极气体保护焊和埋弧焊, 实际应用较少。

2. 等离子弧焊工艺

等离子弧焊工艺与钨极惰性气体保护焊有较大的差别, 其焊接工艺参数与焊枪压缩喷嘴

的结构参数密切相关。因此,在拟定等离子弧焊工艺时,应对喷嘴的结构和尺寸有全面的了解。

(1) 压缩喷嘴结构和尺寸 压缩喷嘴的结构类型和尺寸对等离子弧的性能起着决定性的作用。压缩喷嘴的主要尺寸是喷嘴孔径 d_n 和孔道长度 l_0 , 如图 1-25 所示。

喷嘴孔径 d_n 决定了等离子弧的直径和能量密度,其尺寸与焊接电流和离子气流量存在直接的关系。在给定的焊接电流和离子气流量下, d_n 越大,压缩作用越小,但 d_n 过小,则会引起双弧,使等离子弧失稳。等离子弧电流与喷嘴孔径 d_n 之间的关系列于表 1-15。

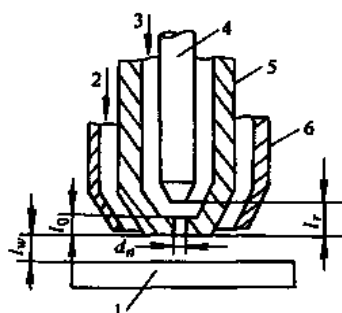


图 1-25 等离子弧焊炬结构及尺寸
 d_n —喷嘴孔径 l_0 —喷嘴孔道长度 l_1 —钨极伸出长度 l_2 —喷嘴至工件距离
 1—工件 2—保护气 3—离子气 4—钨极 5—压缩喷嘴 6—保护气罩

表 1-15 各种喷嘴孔径适用的等离子弧电流

喷嘴孔径 d_n/mm	等离子弧电流 /A	离子气流量(Ar) /(L/min)
0.8	1~25	0.24
1.6	20~75	0.47
2.1	40~100	0.94
2.5	100~200	1.89
3.2	150~300	2.36
4.8	200~500	2.83

喷嘴孔道长度 l_0 对等离子弧的压缩程度起相当重要的作用。孔道直径 d_n 给定后, l_0 增大,等离子弧的压缩程度增加。孔道长度与孔径 d_n 之比称为孔道比,它表征喷嘴孔道的压缩特性。孔道比 l_0/d_n 超过某一临界值,会导致双弧的产生。最佳孔道比与喷嘴孔径的关系列于表 1-16。

表 1-16 喷嘴孔径 d_n 与孔道比运用范围

喷嘴孔径 d_n/mm	孔道比 l_0/d_n	压缩角 / $^\circ$	等离子弧类型
0.6~1.2	2.0~6.0	25°~45°	联合弧
1.6~3.5	1.0~1.2	60°~90°	转移型弧

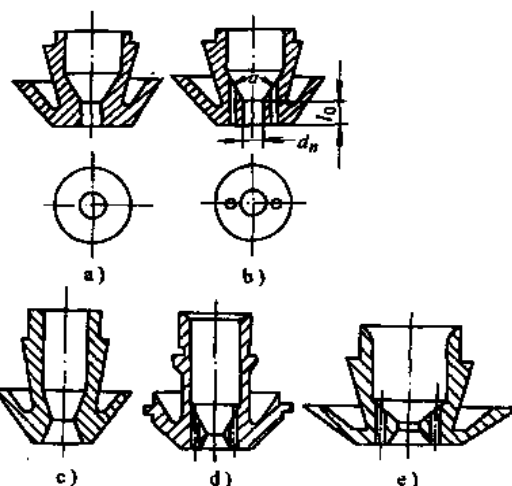


图 1-26 等离子弧焊枪喷嘴结构

a) 圆柱单孔型 b) 圆柱三孔型 c) 收敛扩展单孔型 d) 收敛扩展三孔型 e) 带压缩段收敛扩展型
 d_n —喷嘴孔道直径 l_0 —喷嘴孔道长度
 α —压缩角

常用的压缩喷嘴结构类型如图 1-26 所示。其中 a 和 b 型喷嘴的压缩孔道为圆柱形,应用最广泛。c、d 和 e 型喷嘴为收敛扩展型压缩孔道。这种形式的孔道减弱了对等离子弧的压缩作用,但可以采用较大的焊接电流而不产生双弧。另外, b、d、e 型喷嘴均为 3 孔道喷嘴,除中心主孔外,左右还有一个对称小孔,从这两个小孔喷出的离子气流将等离子弧热场变成椭圆形,可提高焊接速度和减小焊缝热影响区宽度。

喷嘴的压缩角 α 对等离子弧的压缩作用不大, 主要考虑与电极端部形状相配。压缩角通常为 $60^\circ \sim 90^\circ$, 最常用的压缩角为 60° 。

(2) 电极材料及端部形状 等离子弧焊用电极与钨极惰性气体保护焊相同, 主要采用钍钨极或铈钨极。表 1-17 列出了各种直径钨极容许的电流范围。

为便于引弧, 并提高电弧的稳定性, 电极端部应磨成 $20^\circ \sim 60^\circ$ 的锐角。采用大的焊接电流时, 大直径钨棒端部可磨成锥球形或球形以减少烧损。电极端部在焊枪喷嘴中的位置也是重要的参数, 并以内缩长度 l_r 和同轴度来表征。内缩长度 l_r 增大, 弧柱压缩程度提高。 l_r 过大会引起双弧, 通常 l_r 为 $l_0 \pm 0.2\text{mm}$ 。电极端部应与喷嘴孔道保持同轴, 电极偏心将使等离子弧偏斜, 甚至产生双弧。应经常检查并调整。

(3) 接头形式 等离子弧焊常用的接头形式为 I 形对接, 单面 V 形和 U 形坡口。厚度大于 $1.5 \sim 8\text{mm}$ 可开 I 形坡口, 采用锁孔法单面单道一次焊成。

厚度大于 8mm 的对接接头应开 V 形坡口, 与钨极氩弧焊相比, 可留较大的钝边, 开较小角度的坡口, 如图 1-27 所示。在这种 V 形坡口中焊接时, 底层焊道采用穿透型等离子弧焊接法, 填充焊道则采用熔透型等离子弧焊接法完成。

表 1-17 等离子弧焊用各种直径钨极容许的电流范围

电极直径 /mm	电流范围 /A	电极直径 /mm	电流范围 /A
0.25	≤ 15	2.4	150~250
0.50	5~20	3.2	250~400
1.0	15~80	4.0	400~500
1.6	70~150	—	—

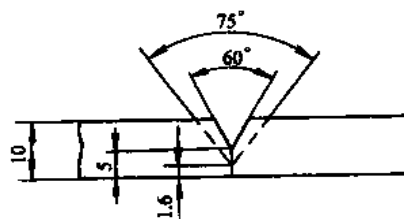


图 1-27 等离子弧焊和钨极氩弧焊坡口形状的对比

--- 钨极氩弧焊 —— 等离子弧焊

厚度在 $0.05 \sim 1.6\text{mm}$ 的焊件常用的接头形式如图 1-29 所示。这些接头均可采用熔合型等离子弧焊法焊接。

接头焊前的装配误差对接头的质量有重要影响, 通常接缝间隙不应超过金属厚度的 10% 。对于厚度小于 0.8mm 的薄板, 接缝的装配要求见表 1-18 所列数据和图 1-28。

表 1-18 厚度大于 0.8mm 薄板对接接头的装配要求

焊缝形式	间隙(最大)	钝边(最大)	压板间距 C		垫板凹槽宽 b		备 注
	A	B	最小	最大	最小	最大	
I 形对接	0.2δ	0.4δ	10 δ	20 δ	4 δ	16 δ	δ = 焊件板厚(mm)
卷边焊缝(厚 $< 0.25\text{mm}$)	0.6δ	1 δ	15 δ	30 δ	4 δ	16 δ	

(4) 离子气和保护气体 在等离子弧焊中应用最多的离子气是氢气, 适用于所有金属的焊接。为提高热输入量, 加快焊接速度, 可在 Ar 气中分别加入 H_2 和 He。如在不锈钢和镍合金焊接中, 可在 Ar 气中加入体积分数为 $5\% \sim 7\%$ 的 H_2 。焊接钛和钛合金时加入体积分数为 $50\% \sim 70\%$ 的 He 气, 可以取得较好的效果。

大电流等离子弧焊的离子气和保护气体应相同, 如两者的成分不同, 则将影响等离子弧的稳定性。最适宜的气体成分视所焊材料而异, 详见表 1-19。

小电流等离子弧焊几乎均采用 Ar 作离子气, 保护气体成分可以与离子气相同, 也可以不同。各种材料焊接时适用的保护气体列于表 1-20。焊接碳钢和低合金钢时, 亦可采用 ($\varphi_{Ar} 95\% \sim \varphi_{Ar} 80\% + \varphi_{O_2} 5\% \sim \varphi_{O_2} 20\%$) 混合气体保护, 有利于消除焊缝中的气孔, 改善焊缝表面成形。

保护气体流量与离子气流量应以适当的比例匹配。以锁孔法等离子弧焊时, 离子气流量按板厚的大小在 3~15L/min 范围内选取, 保护气流量为 15~30L/min。熔透型等离子弧焊时, 离子气流量较小, 最大不超过 0.6L/min, 保护气流量为 5~12L/min。

(5) 焊接工艺参数 等离子弧焊的焊接工艺参数主要有焊接电流、电弧电压、焊接速度和喷嘴距离。

1) 焊接电流 等离子弧焊应采用直流正接以延长钨极寿命, 稳定电弧。等离子弧的穿透能力与电流成正比。在喷嘴形状和尺寸已给定的条件下, 焊缝的熔深主要取决于焊接电流和离子气的流量。增大焊接电流或离子气流量均能使熔深明显增加, 但随着离子气流量增大到超过某一临界值, 焊缝表面的咬边会逐渐加深。因此不能无限制地增大离子气流量。为达到所要求的熔深, 主要应提高焊接电流。但焊接电流过大, 可能因锁孔直径的扩大而使熔池金属塌陷, 其次还可能引起双弧。因此应当确定焊接电流和离子气流量最佳的匹配关系。图 1-29 示出焊接电流和离子气流量对熔深的综合影响。

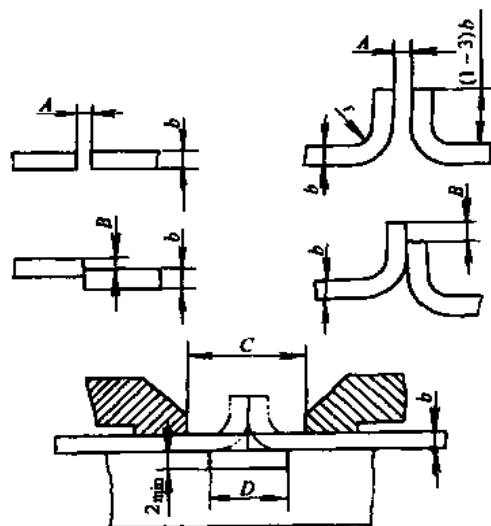


图 1-28 厚度小于 0.8mm 薄板
接头的装配要求

表 1-19 大电流等离子弧焊用离子气和保护气(体积分数) (%)

材料种类	厚度/mm	焊 接 方 法	
		穿 透 法	熔 透 法
碳钢(镇静钢)	<3.2	Ar	Ar
	>3.2	Ar	He75% + Ar25%
低合金钢	<3.2	Ar	Ar
	>3.2	Ar	He75% + Ar25%
不锈钢	<3.2	Ar, Ar92.5% + He7.5%	Ar
	>3.2	Ar, Ar95% + He5%	He75% + Ar25%
铜	<2.4	Ar	He75% + Ar25% + He
	>2.4	—	He
镍合金	<3.2	Ar, Ar92.5% + He7.5%	Ar
	>3.2	Ar, Ar95% + He5%	He75% + Ar25%
活性金属	<6.4	Ar	Ar
	>6.4	Ar + He(50—70%)	He75% + Ar25%

表 1-20 小电流等离子弧焊用保护气体(体积分数)

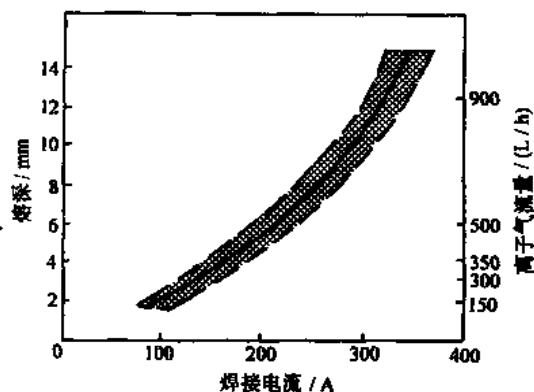
(%)

材料种类	厚度/mm	焊 接 方 法	
		锁 孔 法	熔 合 法
铝	<1.6	—	Ar, He
	>1.6	He	He
碳钢(镇静钢)	<1.6	—	Ar, He25% + Ar75%
	>1.6	Ar, He75% + Ar25%	Ar, He75% + Ar25%
低合金钢	<1.6	—	Ar, He, Ar + H ₂ 1~5%
	>1.6	He75% + Ar25%	Ar, He, Ar + H ₂ 1~5%
不锈钢	所有厚度	Ar, He75% + Ar25%	Ar, He, Ar + H ₂ 1~5%
		Ar + H ₂ 1~5%	
铜	<1.6	—	He25% + Ar75%
	>1.6	He75% + Ar25%, He	He
镍合金	所有厚度	Ar, He75% + Ar25%	Ar, He, Ar + H ₂ 1~5%
		Ar + H ₂ 1~5%	
活性金属	<1.6	Ar, He75% + Ar25%, He	Ar
	>1.6	Ar, He75% + Ar25%, He	Ar, He75% + Ar25%

2) 电弧电压 在等离子弧焊中, 电弧电压与电弧长度不存在明显的比例关系, 后者主要取决于电弧的压缩程度。由于等离子弧近似于圆柱形的, 即弧柱底部和根部直径基本相同, 不能通过控制弧长调整焊缝的宽度。在喷嘴形状和尺寸选定的情况下, 电弧电压主要由焊接电流和离子气流量所决定, 即电弧电压随焊接电流和离子气流量的增加而提高。另外, 电弧电压还与气体成分有关。如采用纯氩作离子气体, 电弧电压较低, 而采用氩氦混合气体时, 电弧电压较高。因此, 在等离子弧焊中, 电弧电压不是一个可独立调节的工艺参数。

3) 焊接速度 在等离子弧焊中, 焊接速度是控制焊缝成型的主要参数。焊接速度决定单位时间内等离子弧作用于焊缝上的热量, 故降低焊接速度, 可增加熔深, 扩大焊缝宽度。同时, 焊接速度也是影响锁孔效应的重要参数, 在其它条件不变的情况下, 增加焊接速度、锁孔直径随之减小, 降低焊接速度则会扩大锁孔直径, 直至使熔池下陷。

焊接速度主要按所焊接头的壁厚来选择, 同时应考虑焊接电流和离子气流量的作用。图 1-30 为这三个焊接工艺参数的相互匹配关系。由图 1-30 所示曲线可见, 对于穿透型焊接法, 为获得成形良好的焊缝, 随着焊接速度的提高, 必须同时提高焊接电流。如焊接电流已选定, 增大离子气流量的同时应提高焊接速度。如焊接速度已定, 增加离子气流量就应适当减小焊接电流。

图 1-29 焊接电流和离子气流量
对焊缝熔深的综合影响

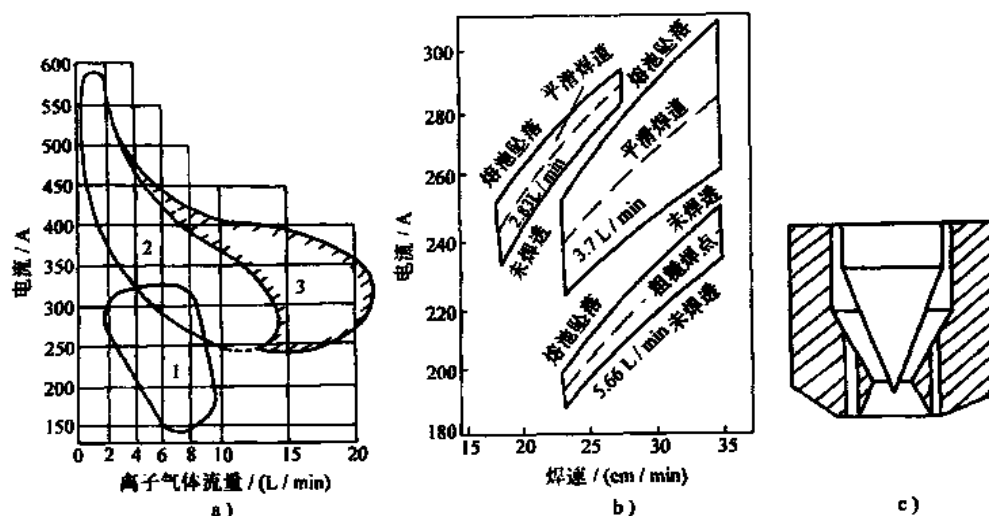


图 1-30 穿透型等离子弧焊时各参数的匹配关系

a) 焊接电流-离子气流量匹配 b) 焊接电流-焊接速度-离子气流量匹配

c) 电极在收敛扩散型喷嘴中的相对位置

1—圆柱型喷嘴 2—三孔型收敛扩散喷嘴 3—加填充金属可消除咬肉的区域

4) 喷嘴距离 喷嘴距离对焊缝熔深有一定的影响。喷嘴距离过大,会降低等离子弧的穿透能力。距离过小会造成喷嘴孔道的堵塞。喷嘴距离可按焊件壁厚和接头形式在 3~8mm 范围内选取。

5) 焊枪倾角 手工等离子弧焊时,焊枪应离垂直平面朝焊接方向倾斜 $25^{\circ}\sim 35^{\circ}$,自动焊时,焊枪倾角为 $10^{\circ}\sim 15^{\circ}$ 。以锁孔法焊接时,焊枪应与焊件表面垂直。在管子环缝对接焊时,焊枪应装在相当于时钟 11 点钟的位置,而管子按顺时针方向旋转。

6) 焊接工艺参数递增和衰减控制 纵缝焊接时,在接缝两端应装上引弧板和引出板,以使穿透的小孔先在引弧板上产生,最后在引出板上锁孔。这样对引弧和收弧的焊接工艺参数可不必采取特殊的措施。在环缝焊接时,引弧和收弧均在接缝上进行。此时应按图 1-31 所示的曲线,在引弧和收弧阶段,递增焊接电流,衰减离子气流量,以保证穿孔点和收孔点的焊缝外形符合质量要求。

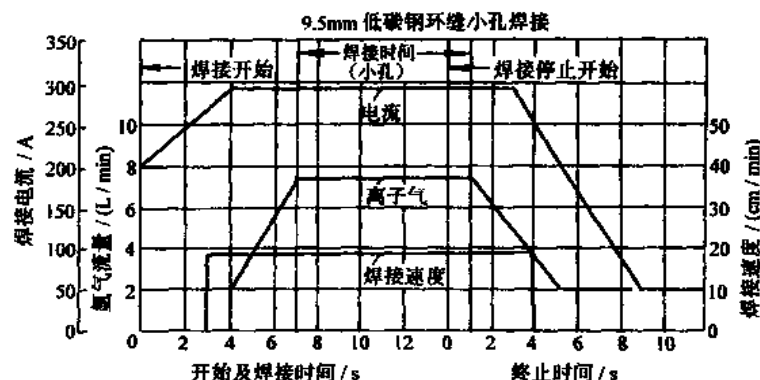


图 1-31 厚壁环缝穿透型焊接时递增焊接电流和衰减离子气流量的控制

3.8 电渣焊

1. 特点

电渣焊是利用电流通过液体熔渣所产生的电阻热熔化焊丝与母材而形成焊接熔池的一种焊接方法，可在垂直位置以一次行程完成全厚度的焊缝，是一种熔敷效率相当高的焊接方法。

由于电渣焊可产生特殊的热循环，与其它熔焊方法相比，它具有下列优点：

1) 焊接熔池体积较大，焊接区在高温停留时间较长，冷却速度缓慢，焊缝及近缝区不易形成淬硬组织和冷裂纹。故适用于焊接淬硬倾向较高的低合金钢和中合金钢，且焊前无需预热。

2) 坡口准备简单。不论焊件多厚，都可采用 I 形对接形式，焊前只要将被焊焊件装配成一定间隙的对接缝即可。接缝装配间隙也无严格的公差要求。故适用于大型结构现场安装焊缝的焊接。

3) 由于在垂直位置焊接，焊接熔池由水冷滑块强制冷却成形，容许采用较大的焊接电流和多丝、多极、宽板焊接，可以获得相当高的熔敷率，焊接效率可比埋弧焊提高 2~5 倍。

4) 由于焊接熔池在高温停留时间较长，在液态金属中溶解的气体有足够的时间逸出，冶金反应所产生的非金属夹杂物容易上浮到熔池表面，故焊缝的致密性较高，不易形成气孔和夹渣之类缺陷。

电渣焊因熔池体积大和冷却速度慢等特点，也使其具有不可忽视的缺点，如焊缝及热影响区一次晶粒粗大，焊后状态下缺口冲击韧度往往达不到产品技术条件的要求，而必须作细化晶粒的正火处理。又因其焊接热输入量大，焊缝金属的晶界偏析发展严重而导致枝晶界热裂纹。因此，在焊接碳硫含量偏上限的厚板时，必须采取相应的工艺措施防止这种热裂纹的形成。这些缺点在一定程度上阻碍了这种高效焊接法在大型重要焊接结构中的应用。

电渣焊按电极的形式，可分为丝极电渣焊、熔嘴电渣焊和板极电渣焊三种。

丝极电渣焊是采用直径 3~4mm 的实心焊丝作电极，电流通过焊丝、渣池、金属熔池到母材形成焊接回路。焊接厚 50mm 以下接头时可采用单丝，焊接大厚度接头时，可按焊件厚度分别采用双丝、三丝或更多根焊丝。每根焊丝由单独的电源供电。为获得均匀的熔宽和熔深，焊丝在焊接过程中沿厚度方向作横向摆动。

熔嘴电渣焊是将电极——熔嘴固定在接缝的间隙内，焊丝通过熔嘴中心孔送入焊接熔池。电流由熔嘴向焊丝传导。因此在焊接过程中，熔嘴和焊丝同时熔化，其熔敷率比丝极更高。熔嘴可制成直段也可弯制成各种曲线形状，可以焊接变断面焊件。熔嘴可用钢板和钢管定位焊而成，也可只使用钢管作熔嘴，并在钢管外表涂以药皮。药皮既起绝缘作用，也可起造渣和渗合金作用。

板极电渣焊是采用厚度约 10mm 的板条作电极，电流直接通过板极流向熔渣池。板极由送进机构不断送入熔池。板极按焊件厚度可由一条或多条板条组成，其长度通常为焊缝长度的 4~5 倍，不宜太长，否则易与焊件侧壁短路。因此，带极电渣焊只应用于大厚度短焊缝焊件的焊接。

电渣焊适用的钢种有各种碳素结构钢、低合金高强度钢、耐热钢和中合金钢。已在锅炉、压力容器、重型机械、冶金设备和船舶制造中得到广泛的应用。

2. 电渣焊工艺

(1) 电渣焊接头的设计及制备 电渣焊接头可具有如图 1-32 所示的各种形式, 最常用的是 I 形对接接头。接头的尺寸可参照表 1-21 所列的经验数据。

电渣焊接头边缘的加工可以采用热切割法, 因接缝装配间隙容许的公差较大, 热切割后无需修整或机械加工, 去除切割面的氧化皮后即可焊接。但低合金钢和中合金钢焊件接缝边缘切割后, 切割面应作磁粉探伤, 如发现裂纹, 应清除补焊后再焊接。

(2) 电渣焊焊接材料的选择 电渣焊用焊接材料包括焊丝、熔嘴、板极、焊剂和熔嘴涂料等。

焊丝及熔嘴 电渣焊过程中由于渣池温度较低, 焊剂加入量很少, 冶金反应微弱, 故不能通过焊剂完成脱氧和渗合金。因此, 电渣焊用碳钢焊丝应具有较低的碳含量 (其质量分数最高不超过 0.14%) 和足够的硅和锰含量。合金钢电渣焊用焊丝应具有与母材金属基本相近的合金成分, 有时为提高焊缝金属的韧性, 在焊丝中还加入适量的镍、铌、钛和钼等合金元素。常用的焊丝直径为 2.5mm 和 3.0mm 或 3.2mm。

板极和熔嘴板条材料 亦应按上述原则选用。焊接碳钢和低合金钢板极通常可采用 Q295 (09Mn2) 钢板, 厚度为 10~12mm, 熔嘴管材可采用 $\phi 10\text{mm} \times 2\text{mm}$ 的 20 钢管或其它低合金钢管。

熔嘴管涂料 应具有一定的绝缘性, 防止熔嘴管与焊件侧壁产生电接触, 熔入熔池后应建立稳定的电渣过程。涂料主要由锰矿粉、滑石粉、钛白粉、石英粉和萤石粉等组成。

电渣焊焊剂的作用与埋弧焊焊剂不同。前者的高温液态熔渣充当传递电流的载体, 并成为熔化电极和母材金属的热源。因此, 液态熔渣应具有一定的电导率, 并能维持稳定的电渣过程。但熔渣的电导率不宜过高, 否则会扩大导电区截面, 降低电流密度和渣池温度, 严重时会导致未焊透的形成。国内, 常用的电渣焊焊剂为 HJ360 和 HJ170, 但亦可采用 HJ431 焊剂。

(3) 焊接工艺参数 丝极电渣焊的焊接工艺

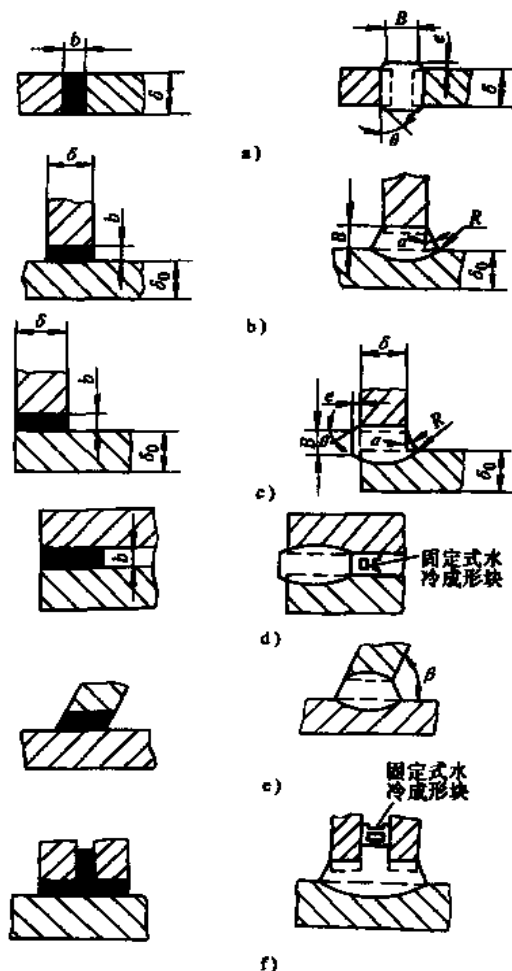


图 1-32 电渣焊接头的各种形式

a) 对接接头 b) T 字接头 c) 角接头 d) 叠接接头 e) 斜角接头 f) 双 T 字接头

表 1-21 电渣焊接头的尺寸

代号	接头尺寸/mm				备 注
δ	50~60	61~120	121~400	>400	代号适用于各种形式的接头参见图 1-32
b	24^{+2}_0	26^{+2}_0	28^{+2}_0	30^{+2}_0	
B	28 ± 1	30 ± 1	32 ± 1	34 ± 1	
e	2 ± 0.5				
θ	$\sim 45^\circ$				
R	5^{+1}_0				
α	$\sim 15^\circ$				

参数包括焊接电流 I 、焊接电压 U 、渣池深度 h 、装配间隙 c 、焊丝直径 d 、焊丝根数 n 、焊丝伸出长度、焊丝摆动速度、焊丝在滑块附近停留的时间及离滑块的距离。其中 I 、 U 、 h 、 c 是影响接头质量和效率的主要焊接工艺参数，其余为次要参数。

1) 焊接电流 焊接电流对电渣焊金属熔池的形状有较大的影响，熔池深度和宽度随焊接电流的提高而增大，但如焊接电流过大，则熔宽减小。电渣焊熔池的形状也要求具有合适的形状系数即 b/h 之比，形状系数减小到超过某一临界值，焊缝的抗裂性会大大降低。

焊接电流主要按待焊钢种、接头厚度和装配间隙来选定。待焊钢种的热裂倾向越高，装配间隙越小，每根焊丝所占的接头厚度越小，则焊接电流越低。反之，则应提高焊接电流。对于每一钢种都确定无裂纹的最高焊接电流，如对于碳钢和低合金钢的丝极电渣焊，每根焊丝的电流不宜超过 650A，最佳焊接电流为 550A。电渣焊时，焊接电流可通过改变送丝速度来调节。焊接电流与送丝速度成直线正比关系，如图 1-33 所示。

2) 焊接电压 焊接电压对电渣焊过程的稳定性及焊缝成形有较大的影响。提高焊接电压，熔宽明显增大，反之，则熔宽缩小。但如焊接电压过小，焊丝与金属熔池易短路，并发生渣池飞溅，同时还出现未熔合。焊接电压过高，则会发生渣池过热并可能在渣池表面产生电弧。

焊接电压主要按焊件的壁厚和焊接速度来选择。每根焊丝所占的壁厚越大，焊接速度越高，则焊接电压也应相应提高。常用的焊接电压范围为 40~54V。

3) 渣池深度 渣池深度也是决定渣池温度和焊缝成型的主要焊接工艺参数。随着渣池深度减小，熔宽逐渐增大，但熔池过浅，会使电渣过程不稳定。渣池深度加大，会降低熔渣的温度，还使焊丝熔化速度降低，容易发生焊丝与金属熔池的短路，引起渣池飞溅，并形成未熔合。渣池深度主要按送丝速度即焊接电流来选择。渣池深度随焊接电流的提高而增大，适用的渣池深度范围为 40~65mm。

4) 丝极直径和焊丝根数 最常用的焊丝直径为 3mm。焊丝根数取决于焊件壁厚，一根焊丝可焊的厚度范围为 50~90mm，两根焊丝为 91~200mm，三根丝为 150~250mm。三丝摆动可焊最大厚度为 400mm。

5) 焊丝伸出长度 为使导电嘴不致因渣池的辐射热而过热，焊丝应保持相当的伸出长度，通常可取 50~60mm。

6) 焊丝摆动参数 焊丝摆动参数有焊丝摆动速度、焊丝离水冷滑块的最小距离和焊丝在滑块附近的停留时间。按经验，焊丝摆动速度可在 1.0~1.2cm/s 范围内选择，焊丝离滑块的最小距离以 6~10mm 为宜，焊丝停留时间的常用范围为 3~6s。

熔嘴电渣焊的焊接工艺参数与丝极电渣焊基本相同，主要是按焊件的厚度选择熔嘴的形式和尺寸。对于厚度小于 300mm 的焊件，多采用单熔嘴，其尺寸及在接头间隙中的位置见图 1-34 和表 1-22。对于厚度大于 300mm 的焊件，则采用多熔嘴，其排列方式见图 1-35。熔嘴尺寸及在接头间隙中的位置列于表 1-23。

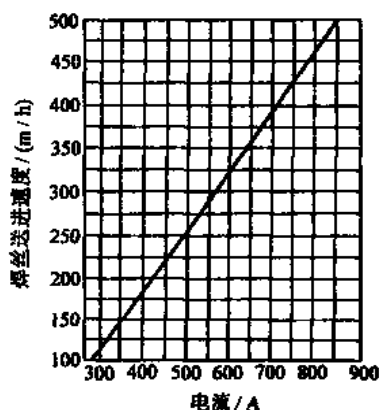


图 1-33 焊丝送进速度与焊接电流的关系

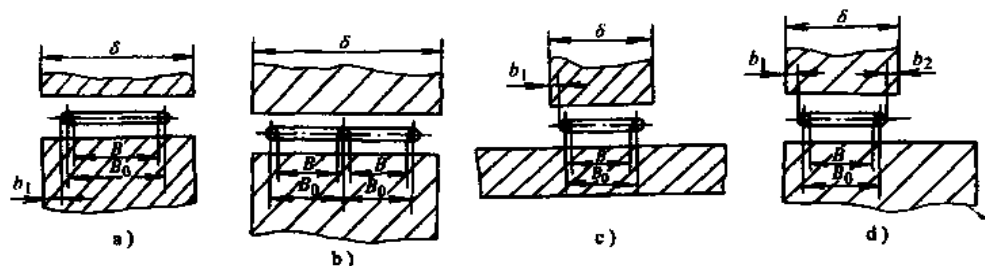


图 1-34 单熔嘴形状和尺寸及其在接头间隙中的位置

a) 对接接头中的双丝熔嘴 b) 对接接头中的三丝熔嘴 c) T 形接头中的双丝熔嘴 d) 角接接头中双丝熔嘴

表 1-22 各种接头电渣焊单熔嘴尺寸及位置

接头形式	熔嘴形式	熔嘴尺寸和位置	可焊厚度/mm
对接接头	双丝熔嘴	$B = \delta - 10$ $b_1 = 10$ $B_n = \delta - 30$ $\phi = 10$	80~160
	三丝熔嘴	$B = \frac{\delta - 50}{2}$ $b_1 = 10$ $B_0 = \frac{\delta - 30}{2}$	160~240
T 形接头	双丝熔嘴	$B = \delta - 25$ $B_n = \delta - 15$ $b_1 = 2.5$	80~130
角接接头	双丝熔嘴	$B = \delta - 32$ $b_1 = 10$ $b_2 = 2$ $B_n = \delta - 22$	80~140

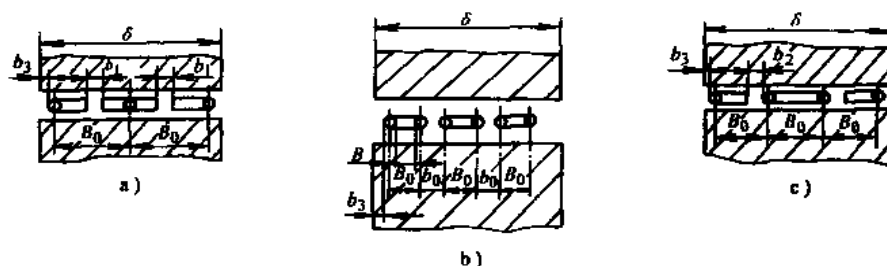


图 1-35 大厚度焊件电渣焊多熔嘴排列方式

a) 单丝熔嘴 b) 双丝熔嘴 c) 混合熔嘴

表 1-23 大厚度焊件电渣焊多熔嘴的尺寸和位置

熔嘴形式	熔嘴尺寸及位置	可焊厚度/mm
单丝熔嘴	$B_n = \frac{\delta - 20}{n - 1}$ ($B_n < 180$) $b_1 = 10 \sim 15$ $b_3 = 5$	200~400
双丝熔嘴	$b_0 = \frac{\delta - 20}{(2.6n - 1)}$ $B_0 = 1.6$ $b_0 (40 \sim 70)$ $B = B_0 - 10$ $b_3 = 5$	300~500
混合熔嘴	$B_0 = \frac{\delta - 20}{n}$ $b_2 = 15 \sim 20$ $b_3 = 5$	

熔嘴电渣焊时, 焊丝直径通常选用 3mm, 送丝速度按焊件厚度可在 80~160m/h 范围内选用, 渣池深度取 35~55mm, 焊接电压为 38~50V, 可按板厚和焊接电流而定。

3.9 电子束焊

1. 特点

电子束焊是利用聚集的高速电子流轰击焊件接缝表面所产生的热能熔化金属，并形成焊缝的一种焊接方法。它具有下列三个主要特点：

1) 功率密度高。电子束通过静电透镜和电磁透镜聚焦，焦点直径约为 $0.1\sim 1\text{mm}$ ，电子束功率的密度可达 $10^6\text{W}/\text{cm}^2$ 。

2) 控制精度高。因电子质量极小 ($9.1\times 10^{-28}\text{g}$)，可通过电场和磁场对电子束进行快速而精确的控制。

3) 电子束焊是在真空条件下 ($10^{-4}\sim 10^{-1}\text{Pa}$) 完成的，熔化金属不会产生氧化和烧损，不吸收任何气体，焊缝金属的纯度较高。

基于以上特点，真空电子束焊具有下列优点：

1) 电子束穿透能力强，焊缝深宽比可达 $50:1$ ，任何厚度的接头均可采用直边对接，单程完成全焊透焊缝。与其它熔焊方法相比，焊接效率成倍提高，且可节省填充材料和能源消耗。

2) 焊接速度快，单位焊缝长度上热输入量低，焊缝热影响区小，焊接变形量很小，可以焊接尺寸精度要求较高的焊件。

3) 焊缝质量高。在真空条件下的焊接，不仅防止了有害气体对熔化金属的污染，而且还能对熔化金属进行脱气和净化处理，特别适用于活性金属的焊接。

4) 焊接可达性好。电子束在真空中的运动几乎不受任何阻力，电子束可以全功率传到距离较远的工件表面。易于焊接其它焊接方法难以接近的接缝。

5) 跟踪接头的性能高。电子束容易通过电磁偏转系统作任一方向的偏移，可以实现形状复杂接头的自动跟踪。

真空电子束焊亦具有设备投资费用高，对接头加工装配要求严，焊件尺寸受真空室尺寸限制等缺点。

电子束焊按焊接环境的真空度可分为高真空电子束、低真空电子束和非真空电子束焊三种。

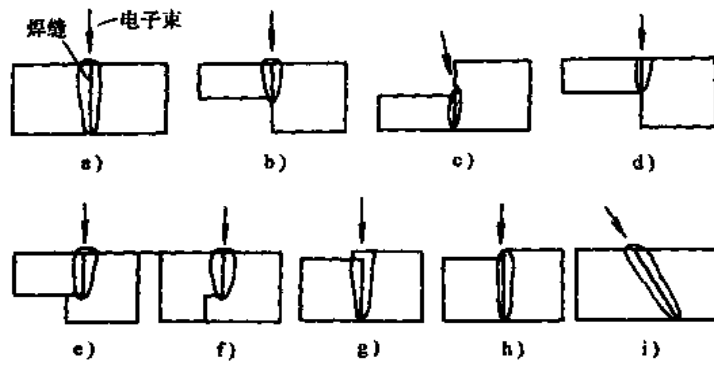
高真空电子束焊在 $10^{-4}\sim 10^{-1}\text{Pa}$ 的真空度下完成焊接过程。真空的环境使焊接熔池得到良好的保护，避免了氧化和烧损，适于焊接活性金属、难熔金属和高质量精密焊件。

低真空电子束焊是在压强为 $10^{-1}\sim 10\text{Pa}$ 的环境下进行的。在这种条件下，束流的密度和功率密度与高真空电子束焊相差不多。但抽真空时间大大缩短，可显著提高焊接生产率，适用于大批量零部件的焊接。

非真空电子束焊是在大气压下进行焊接，但电子束仍在高真空的电子枪内产生，经过一组光阑、气阻和若干级预真空小室射到焊件上。在大气中电子束会产生强烈的散射，焊缝深宽比只能达到 $5:1$ ，最大焊接厚度为 30mm 。焊接熔池需采取措施加以保护。这种方法实际应用不多。更多的是采用局部真空电子束焊接法。

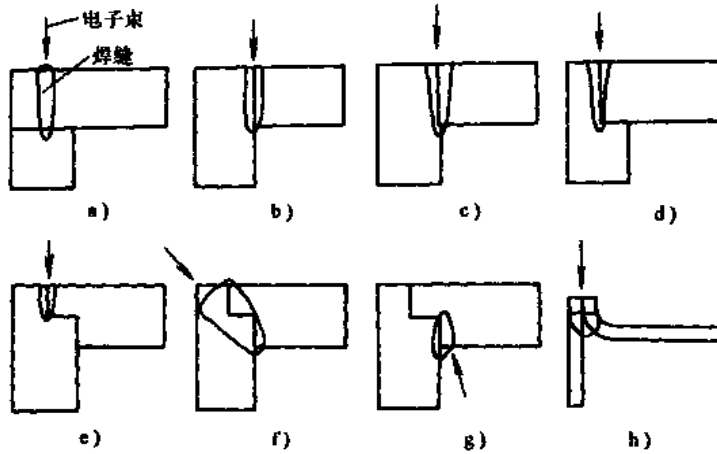
2. 电子束焊工艺

(1) 接头的设计及要求 电子束焊接头可以采用如图 1-36 所示的对接、角接、T 形接、搭接和端接。这些接头原则上都可以用于电子束焊接的一次穿透完成。如电子束的功率不足以穿透接头的全厚度，则亦可采取正反两面焊的方法来完成。



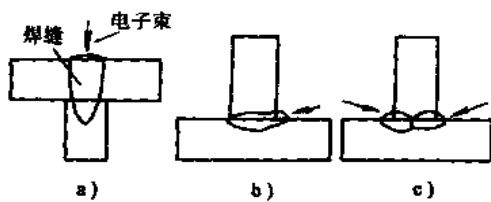
I) 电子束焊的对接接头

a) 正常对接 b) 齐平接头 c) 台阶接头 d) 锁口对接接头 e) 锁底接头 f) 双边锁底接头 g)、h) 自填充材料的接头 i) 斜对接接头



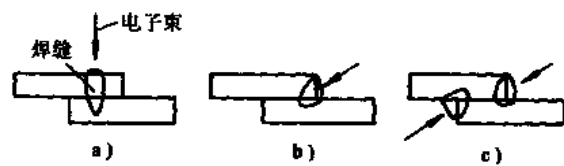
II) 电子束焊角接头

a) 熔透焊缝 b) 正常角接头 c) 锁口自对接接头 d) 锁底自对接接头 e) 双边锁底接头 f) 双边锁底斜向熔透焊缝 g) 双边锁底 h) 卷边角接



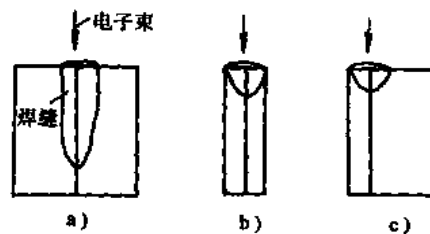
III) 电子束焊T形接头

a) 熔透焊缝 b) 单面焊 c) 双面焊



IV) 电子束焊搭接接头

a) 熔透焊缝 b) 单面角焊缝 c) 双面角焊缝



V) 电子束焊端接头

a) 厚板 b) 薄板 c) 不等厚度接头

图 1-36 电子束焊接头形式

在多层结构中,可以利用电子束深的穿透能力一次行程完成两条中心线重合的分层焊缝,如图 1-37 所示。

(2) 焊前准备 对电子束焊接的焊前准备有严格的要求它是保证电子束焊接头质量的重要工序。

焊件表面的氧化物、油污和其它异物应用化学溶剂和机械方法清除干净。电子枪零件应用丙酮清洗。清洗干燥后的焊件应立即进行焊接,防止再受污染。

待焊焊件应采用适当的夹具夹紧,使被焊端面紧密接触,接头间隙应符合要求,通常不应大于 0.13mm。板厚超过 15mm 时,最大间隙容许值为 0.25mm。非真空电子束焊时,接头最大间隙容许值为 0.8mm。

在焊接尺寸精度要求较高的焊件时,应将焊件装夹在辅助转胎上,以便准确定位。

(3) 焊前预热和焊后热处理 电子束焊也是一种快速加热和快速冷却的焊接方法,在焊接碳当量较高的低合金钢和合金钢时,亦需对焊件进行预热。对于尺寸较大的焊件,可以在真空室外进行预热,加热到预热温度后将焊件装入真空室。如焊件尺寸较小,可在真空室内用散焦电子束进行局部预热,预热结束后立即进行焊接。

对于产品技术条件要求作焊后热处理的焊件,可在焊接结束后将焊件取出送热处理炉热处理,亦可利用电子束在真空室内作局部焊后热处理。

(4) 填充材料 电子束焊时一般不加填充材料。只有在下列特殊情况下,为获得质量和成形符合要求的焊缝,才添加少量填充材料。

- 1) 接缝加工尺寸超差,间隙过大。
- 2) 焊件材料对裂纹敏感性较高。
- 3) 沸腾钢焊接时加强熔池的脱氧。

添加填充金属材料的方法是,在接缝处放置各种形式的填充金属材料。可将金属箔放在接缝间隙中间,填充丝可镶嵌在接缝间隙上部,或采用送丝机构连续地将填充丝准确地送入焊接熔池。

焊丝应含有足够的脱氧元素,如 Al、Mn 和 Si 等。

(5) 焊接工艺参数 电子束焊接工艺参数主要有电子束电流、加速电压、焊接速度和聚焦电流。

电子束焊的焊接工艺参数主要按板厚来选择。图 1-38 示出电子束热输入与板厚的关系。板厚越大,所要求的热输入越高。电子束的热输入可按下式计算

$$q = \frac{60 U_e I_e}{v}$$

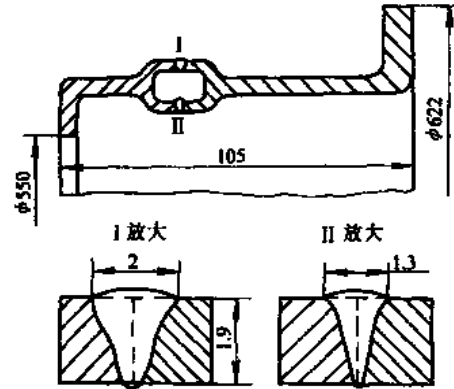


图 1-37 分层环形焊缝

A--外层焊缝 B--内层焊缝

(加速电压 125kV, 电子束流 9.3mA, 外层焊速 76cm/min, 内层焊速 73cm/min, 电子束焦点位于内、外层接头之间)

式中 q ——热输入量 (J/cm);
 U_s ——加速电压 (V);
 I_s ——电子束流 (A);
 v ——焊接速度 (cm/min)。

由上式可见,提高加速电压可使熔深加大,在其它参数保持不变的条件下,焊缝的深宽比与加速电压成正比。增加电子束流,熔深和熔宽同时增大。提高焊接速度使焊缝变窄,熔深减小。电子束的聚焦状态对熔深和焊缝成形也有很大的影响。焦点调小,可使焊缝宽度减小,熔深增加。焦点的位置调到焊件表面 1/3 板厚处时,电子束具有最大的熔透能力。

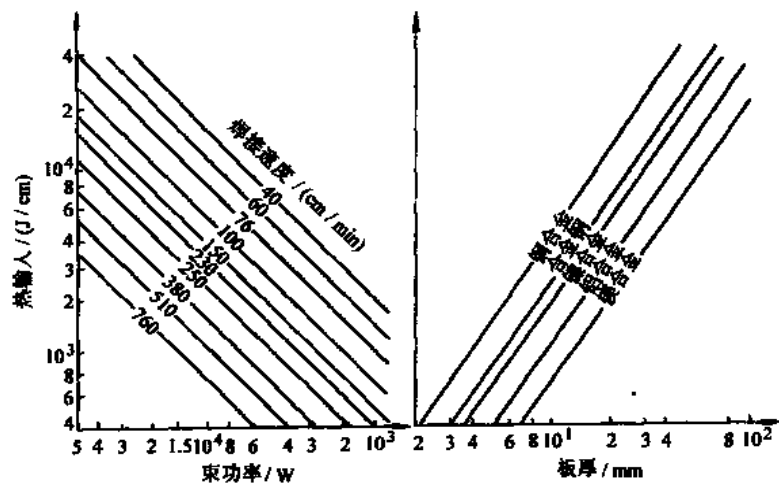


图 1-38 电子束功率、热输入和焊接速度与板厚的关系

不同厚度铝合金电子束焊工艺参数示例见表 1-24 数据。

表 1-24 铝合金电子束焊工艺参数

合金牌号	厚度 /mm	电子束功率 /kW	焊接速度 / (cm/min)	焊 接 位 置
5A06(LF6)	0.6	0.4	102	平焊,电子枪垂直
	5	1.7	120	平焊,电子枪垂直
	100	21	24	横焊,电子枪平放
	300	30	24	横焊,电子枪平放
7A04(LC4)	10	4.0	150	平焊,电子枪垂直
4047A(LD8)	18	8.7	102	平焊,电子枪垂直

3.10 激光焊

1. 特点

激光焊是利用高能量密度的激光作热源熔化被焊金属形成焊缝的一种熔焊方式。激光焊与其它熔焊方法相比,具有下列特点:

1) 激光经聚焦后具有相当高的功率密度,一般可达到 $10^5 \sim 10^{10} \text{W/cm}^2$, 因此激光焊具有深熔的特性,可一次穿透 20mm 以下的金属材料。

2) 激光焊加热区相当窄 ($<1\text{mm}$), 在相同的功率下可达到较高的焊接速度并减小焊接变形和应力。

3) 可以焊接各种金属材料和非金属材料,包括难熔金属、陶瓷和玻璃等。

4. 激光在材料中能反射和透射、在大气中可传播相当的距离而很少消散功率,可作长距离焊接或对难以接近部位的焊接。

5) 激光焊与电子束焊相比,不需要真空焊接环境,不会产生 X 射线。

激光焊的不足之处在于激光器的功率较低,目前工业用激光器的最大功率为 20kW,可焊最大厚度为 20mm,比电子束焊小得多;其次,激光焊难以焊接反射率较高的金属。

激光焊按激光器输出能量的形式可分脉冲激光焊和连续激光焊,按聚焦后光斑上的功率密度,可分熔合焊和锁孔焊两种。

当激光聚焦后,光斑的功率密度 $<10^5 \text{W/cm}^2$ 时,金属表面的加热温度不会超过其沸点,所吸收的激光能转变为热能后,通过热传导将焊件母材金属熔化而熔合成焊缝。而当光斑上的功率密度高于 10^5W/cm^2 时,金属表面的加热速度剧增,在相当短的时间内,表面温度可达到沸点而使金属气化,激光束可直接射到坑底,形成穿透性小孔。当激光束前移,熔池金属温度降低时,底部小孔自行封闭,完成锁孔焊过程。

2. 脉冲激光焊工艺

脉冲激光焊时,每个激光脉冲在焊件上形成一个焊点,主要用于微型、精密元件和微电子元件的焊接。

(1) 接头的形式 脉冲激光点焊的接头形式如图 1-39 所示。脉冲激光焊加热斑点尺寸仅为几微米,故适用于焊接金属薄片 (0.1mm 厚),薄膜 (几微米至几十微米) 和金属细丝 (0.02mm 以上)。

(2) 脉冲激光焊焊接工艺参数 脉冲激光焊的焊接工艺参数有脉冲能量,脉冲宽度和功率密度。

1) 脉冲能量和脉冲宽度 脉冲激光焊时,脉冲能量决定了金属的熔化量,而脉冲宽度则影响熔深。图 1-40 示出脉冲宽度对各种材料熔深的影响。脉冲加宽,熔深逐渐增加,当脉宽超过某一临界值时,熔深反而下降,因此,对于每种材料,都有一个可使熔深达到最大的最佳脉冲宽度。除图 1-40 中所列的材料外,钢的最佳脉冲宽度为 $5 \sim 8 \times 10^{-3} \text{s}$ 。

2) 功率密度 激光焊时功率密度取决于激光脉冲的能量 (J)、光斑直径 (cm) 和脉冲宽度 (s),其关系式如

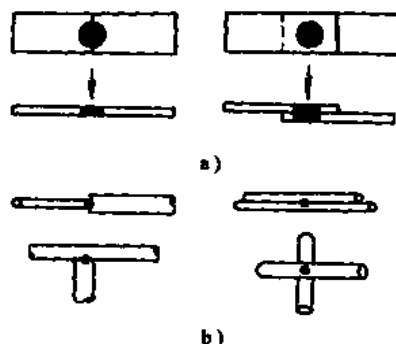


图 1-39 脉冲激光点焊的接头形式
a) 片与片的点焊 b) 丝与丝的点焊

下式

$$\rho = \frac{4E}{\pi d^2 t_p}$$

式中 ρ ——激光光斑上的功率密度(W/cm^2)；
 E ——激光脉冲的能量(J)；
 d ——光斑直径(cm)；
 t_p ——脉冲宽度(s)。

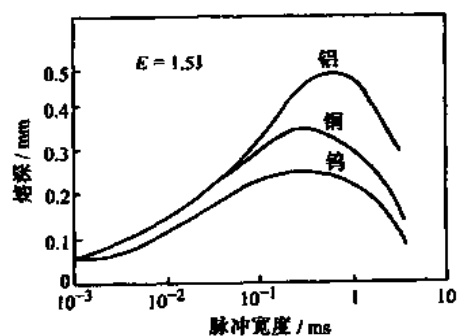


图 1-40 脉冲宽度与熔深之间的关系

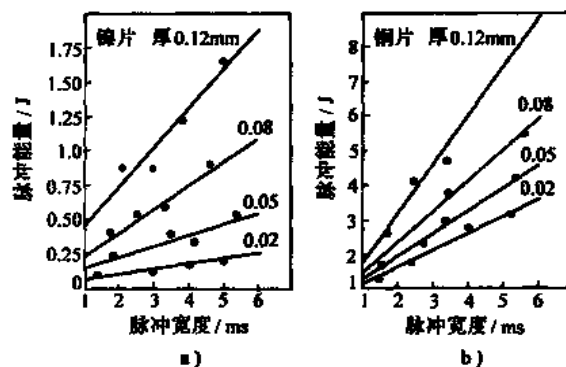


图 1-41 不同材料激光焊时脉冲能量和脉冲宽度的关系

图 1-41 示出不同厚度材料激光点焊所需的脉冲能量和脉冲宽度。从图 1-41 中可以看出， E 和 t_p 成直线关系。同时表明，随着焊件厚度的增加，激光功率密度应相应增大。

各种材料焊件的脉冲激光焊接工艺参数示例于表 1-25。

表 1-25 各种接头脉冲激光焊接工艺参数

材料名称	厚度(直径)/mm	脉冲能量/J	脉冲宽度/ms	激光器类别
镀金磷青铜+铝箔	0.3+0.2	3.5	4.3	钕玻璃激光器
不锈钢片	0.145+0.145	1.21	3.7	
纯铜箔	0.05+0.05	2.3	4	
镍铬丝+铜片	0.10+0.145	1.0	3.4	红宝石激光器
不锈钢片镍铬丝	0.145+0.10	1.4	3.2	
硅钼丝不锈钢片	0.10+0.145	1.4	3.2	

3. 连续 CO₂ 激光焊工艺

CO₂ 激光器因结构简单、输出功率范围大和能量转换效率高而被广泛应用于连续激光焊。

(1) 接头形式及装配要求 连续激光焊用接头形式如图 1-42 所示。对接接头和搭接接头装配尺寸公差要求如图 1-43 所示。

(2) 激光焊焊接工艺参数 连续激光焊焊接工艺参数包括激光功率 P 、焊接速度 v_w 、光斑直径 d 、焦点距离 ΔF 和保护气体的种类及流量。

1) 激光功率 激光功率通常指激光器的输出功率, 激光功率与熔深的关系如图 1-44 所示。熔深随激光功率的提高而增大。可以按焊件所要求的熔深和图 1-44 所示曲线大致确定所需的激光功率。

2) 焊接速度 焊接速度在不同功率下与熔深的关系如图 1-45 所示。在较低的焊接速度下, 随着焊接速度的提高, 熔深明显减小。而在焊接速度超过一定值后, 再提高焊接速度对熔深的影响逐渐减弱, 这就是说, 激光焊可以在较高的焊接速度下实现深熔焊。

3) 光斑直径 d 激光焊时, 高效深熔焊的条件是激光焦点上的功率密度必须大于 10^6 W/cm^2 。可以采取二种方法提高功率密度, 一是提高激光功率, 二是减小光斑的直径。功率密度与激光功率成线性关系, 而与光斑直径呈平方反比关系。因此减小光斑直径具有更大的效果。

4) 焦点距离 焦点距离是指工件表面离激光焦点的距离, 工件表面在焦点以内时为负焦距, 反之为正焦距, 即 $\Delta F > 0$ 。焦点距离不仅影响焊件表面激光光斑的大小, 而且影响光束的入射方向, 因而对熔深和焊缝形状有较大的影响。图 1-46 示出焦距对熔深、焊缝宽度和焊缝横截面积的影响。由图 1-46 所示曲线可见, 焦距减小到某一值后, 熔深突变, 即为产生穿透小孔建立了必要的条件。

5) 保护气体种类及流量 激光焊中的保护气体除了保护焊缝金属免受有害气体的侵袭外, 还有抑制等离子云形成的作用。在高功率密度激光焊过程中, 金属被加热气化, 在熔池上方形成金属蒸气云, 在电磁场的作用下发生离解形成等离子体, 而某些保护气体也可能被离解扩大而形成等离子云。它具有较高的吸收系数, 相当于一种屏蔽, 吸收部分激光而使熔深减小, 熔宽增加。图 1-47 示出各种气体对激光焊熔深的影响。可见 He 气具有最好的抑制等离子云的效果, 在 He 气中加入少量的 Ar 或 O₂ 可进一步提高熔深。气体流量对熔深也有一定的影响, 熔深随气体流量的增加而增大, 但过大的气体流量会造成熔池表面下陷。严重时还会产生烧穿现象。

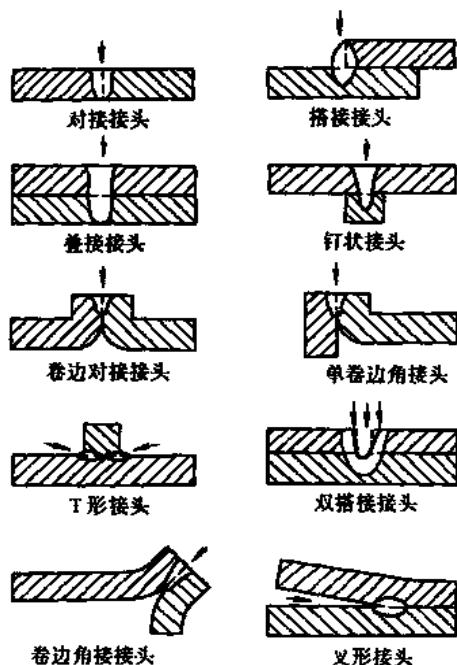


图 1-42 连续激光焊的接头形式

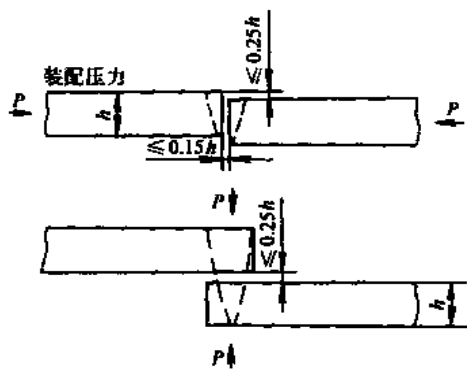


图 1-43 对接接头和搭接接头
装配尺寸公差要求

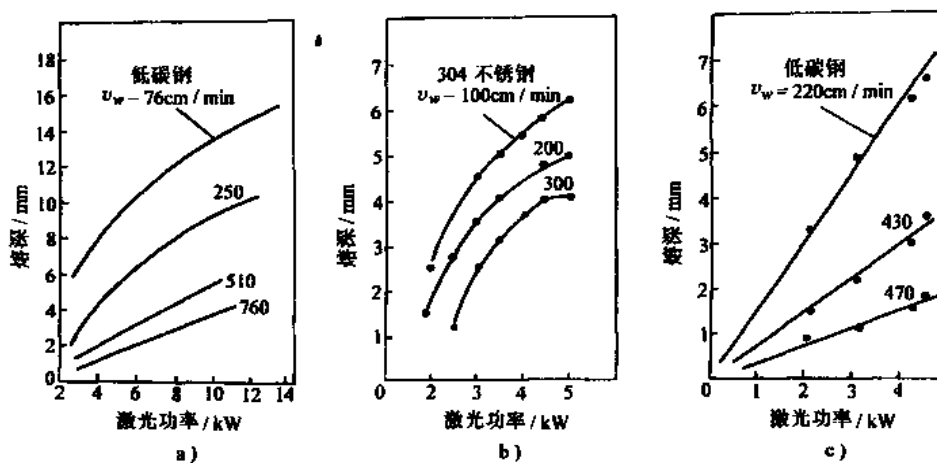


图 1-44 激光功率与不同材料熔深的关系

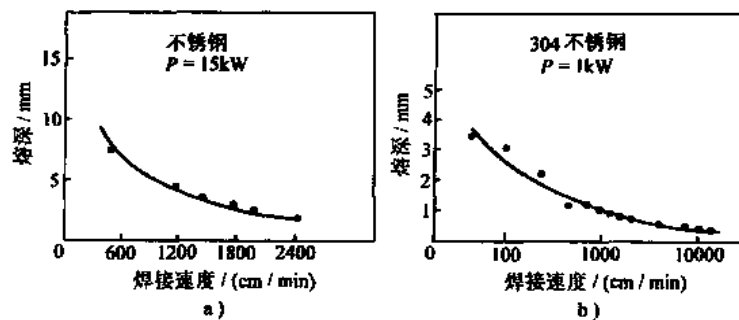


图 1-45 焊接速度对熔深的影响

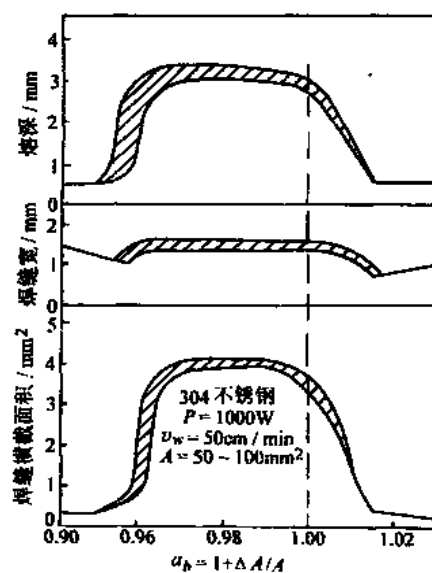


图 1-46 焦距对焊缝熔深、熔宽和横截面积的影响

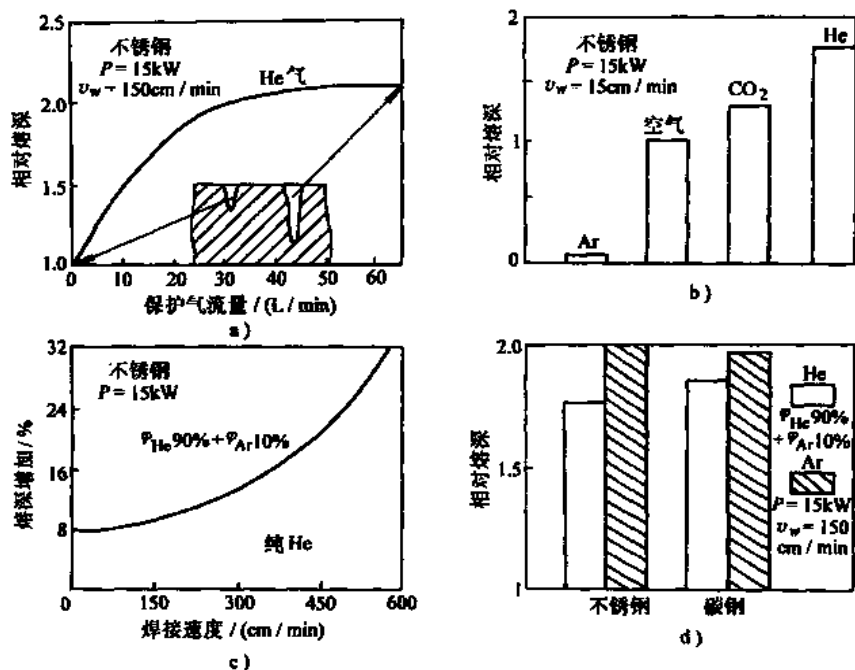


图 1-47 保护气体对熔深的影响

a) 气体流量的影响 b) 气体种类的影响 c) 混合气体的影响
d) 混合气体对不同材料的影响

3.11 电阻焊

1. 特点

电阻焊是焊件组合后,通过电极施加压力,利用电流通过接头接触面及邻近区域产生的电阻热进行焊接的方法。

电阻焊方法有点焊、凸焊、缝焊、对焊四种,点焊是以搭接接头的焊件中形成点状熔核而得名。点焊通常采用圆棒形电极,端部呈平顶锥形,焊点直径约在 2.5~5.5mm 之间,焊点间距按强度要求而定,常用于 3.0mm 以下的薄板构件。凸焊实际上是一种特殊形式的点焊。即在焊件上预制所要求尺寸的凸点,在电极压力作用下,凸点端头与相连接焊件表面接触,电流集中于凸点端部使之被加热到熔点而形成熔核。缝焊采用滚盘状电极,在待焊焊件边缘上滚动,形成一连串相互搭接的熔核组成的密封焊缝。对焊是以焊件端面作为电极,当两焊件端面相互接触时产生电阻热,将端面加热至熔化温度或红塑性状态,外加挤压力而形成接头。

电阻焊与其它焊接方法相比具有下列优点:

1) 接头质量易保证,熔核由塑性外围区所包围,与空气隔绝,不会发生氧化和吸收其它有害气体。

2) 热量集中,利用率高,加热时间很短,焊接热影响区窄,焊接变形和应力小。

3) 无需任何填充材料,焊接成本低。

4) 焊接生产率高,适用于大批量生产线作业,操作简单,易于实现机械化和自动化。

电阻焊的缺点在于接头的质量检查目前尚无可靠的无损检测方法,其次是点焊、缝焊等搭接接头的抗拉强度和疲劳强度均低于其它熔焊接头,阻碍了电阻焊在一些重要焊接结构中推广应用。

近年来, 由于电阻焊监控技术的突破性进展, 使电阻焊接头的质量有了可靠的保证, 已在航空飞行器、火箭、导弹、电子器件、汽车和家用电器等行业得到广泛的应用。

2. 点焊工艺

(1) 工艺特点 点焊通常分为双面点焊和单面点焊两大类, 双面点焊时, 电极由焊件的两侧向焊接点通电。单面点焊时, 电极由焊件的一侧向焊接点通电, 并同时形成两个焊点。为提高焊接效率, 在实际生产中广泛采用单面多点点焊, 多点点焊有两种形式、可以由一个变压器供电, 各对电极轮流压住焊件, 也可采用各对电极均由单独的变压器供电, 全部电极同时压住焊件。后一种形式具有生产率高, 焊接变形小的优点。

(2) 电极结构与材料 点焊电极由端部、主体、尾部和冷却小孔四部分组成。标准电极有五种形式, 如图 1-48 所示。电极的端面直接与焊件表面接触, 在焊接过程中反复承受高温和高压的作用, 并可能产生粘附、合金化和变形等问题, 除了电极材料以外、电极端部的尺寸和形状对此有明显的影。通常锥形电极的顶角 α 为 $\geq 120^\circ$, 以利于散热和增强抗变形能力。电极端部边缘应倒圆角 (R 为 0.75mm) 以保证焊点压痕边缘圆滑过渡, 提高接头的疲劳强度。电极端面直径 d 和球面端面半径取决于焊件厚度和所要求的熔核尺寸。

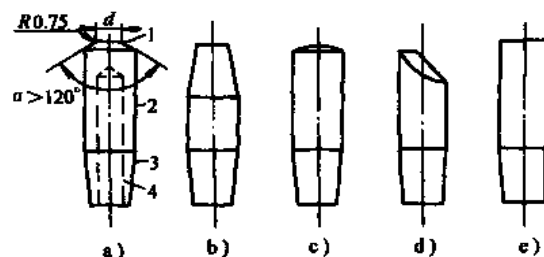


图 1-48 点焊电极的标准形状

a) 锥形电极 b) 夹头电极 c) 球面电极
d) 偏心电极 e) 平面电极
1—端部 2—主体 3—尾部
4—冷却水孔

电极材料应有足够高的电导率、热导率和高温硬度。国产电极材料已纳入航空工业标准 420~89HBS, 其中铬镍铜、铬钨镍铜和钴铬硅铜的性能较优, 其商业牌号分别为 DJ70, DJ85 和 DJ100。

(3) 点焊接头的设计 点焊通常采用搭接接头和折边接头, 如图 1-49 所示, 设计点焊结构时, 必须考虑电极的可达性、边距、搭接量、点距、装配间隙以及焊点强度等。

边距 b 的最小值取决于被焊金属的种类、板厚和焊接工艺参数。接头的搭接量通常为边距的两倍, 推荐值列于表 1-26。

点距 e 的最小值与焊件厚度、电导率、表面清洁度及熔核的直径有关。推荐的最小点距列于表 1-27。

接头的装配间隙应尽量减小。因为不均匀的间隙将使焊接压力波动, 导致各焊点强度的差异。过大的间隙还会引起严重的飞溅。容许的间隙值取决于焊件的刚度和厚度。刚度越大, 容许的间隙越小, 一般规定为 $0.1\sim 1\text{mm}$ 。

为保证接头的强度, 除熔核直径外, 熔透率和压痕深度应符合规定。熔透率的表达式为

$$\eta = h / \delta - c \times 100\%$$

式中 h ——压痕深度(mm);

δ ——板厚(mm);

c ——间隙(mm);

η ——熔透率。

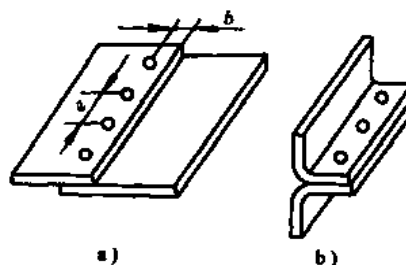


图 1-49 点焊接头的形式

a) 搭接接头 b) 折边接头

e —点距 b —边距

表 1-26 点焊接头最小搭接量

(mm)

接头最薄板厚	单 排 焊 点			双 排 焊 点		
	结构钢	不锈钢	轻合金	结构钢	不锈钢	轻合金
0.5	8	6	12	16	14	22
0.8	9	7	12	18	16	22
1.0	10	8	14	20	18	24
1.2	11	9	14	22	20	26
1.5	12	10	16	24	22	30
2.0	14	12	20	28	26	34
2.5	16	14	24	32	30	40
3.0	18	16	26	36	34	46
3.5	20	18	28	40	38	48
4.0	22	20	30	42	40	50

表 1-27 推荐的最小点距

(mm)

接头最薄板厚	最小点距			接头最薄板厚	最小点距		
	结构钢	不锈钢	轻合金		结构钢	不锈钢	轻合金
0.5	10	8	15	2.0	16	14	25
0.8	12	10	15	2.5	18	16	25
1.0	12	10	15	3.0	20	18	30
1.2	14	12	15	3.5	22	20	35
1.5	14	12	20	4.0	24	22	35

它可能在 20%~80% 之间波动, 镁合金的最大熔透率的容许值为 60%, 而钛合金则容许达 90%。点焊不同厚度的焊件时, 其最小熔透率可为接头中较薄焊件厚度的 20%, 压痕深度不应超过板厚的 15%。

(4) 焊前准备 由于点焊过程中不发生冶金反应, 故焊件表面焊前的清理显得十分重要。清理方法分机械清理和化学清理两种。常用的机械清理方法有喷砂、喷丸和抛光, 用砂轮、砂带和钢丝刷打磨等。

铝合金表面的氧化膜主要用化学方法去除。先在碱溶液中脱脂, 冲洗后将焊件放在正磷酸溶液中腐蚀, 并同时钝化处理, 最常用的钝化剂为重铬酸钾和重铬酸钠, 腐蚀后再作冲洗, 然后在硝酸溶液中作亮化处理、再次冲洗后在 75°C 的温度下干燥或用热风吹干。

铝合金的机械清理可用砂布、电动钢丝刷、刮刀等去除表面氧化膜。

镁合金亦可用化学清理, 腐蚀后再在铬酐溶液中钝化。

铜合金可在硝酸和盐酸中酸洗, 然后中和, 清水冲洗。

不锈钢焊件表面可用喷丸、抛光或酸洗方法清理。钛合金的氧化膜应在盐酸、硝酸及磷酸钠的混合溶液中进行化学清洗。

低碳钢和低合金钢最好采用喷砂和喷丸方法去除表面氧化膜。

(5) 点焊工艺参数 点焊的主要焊接工艺参数包括电极压力、焊接时间和焊接电流。对

于某些合金的点焊，还应规定预压时间、保压时间和休止时间等参数。

焊接工艺参数通常应根据焊件的材料种类和厚度来选择。首先确定电极的端面形状和尺寸，然后根据电极直径选定电极压力和焊接时间并按所要求的熔核直径确定焊接电流。

表 1-28 列出不同厚度低碳钢焊件点焊的典型焊接工艺参数。

表 1-28 低碳钢焊件点焊典型焊接工艺参数

板 厚 /mm	电极端直径 /mm	电极直径 /mm	最小点距 /mm	最小搭接量 /mm	电极压力 /kN	焊接时间 /周	焊接电流 /kA	熔核直径 /mm
0.4	3.2	10	8	10	1.15	4	5.2	4.0
0.5	4.8	10	9	11	1.35	5	6.0	4.3
0.6	4.8	10	10	11	1.50	6	6.6	4.7
0.8	4.8	10	12	11	1.90	7	7.8	5.3
1.0	6.4	13	18	12	2.25	8	8.8	5.8
1.2	6.4	13	20	14	2.70	10	9.8	6.2
1.6	6.4	13	27	16	3.60	13	11.5	6.9
1.8	8.0	16	31	17	4.10	15	12.5	7.4
2.0	8.0	16	35	18	4.70	17	13.3	7.9
2.3	8.0	16	40	20	5.80	20	15.0	8.6
3.2	9.5	16	50	22	8.20	27	17.4	10.3

3. 凸焊工艺

(1) 工艺特点 凸焊主要用于低碳钢和低合金钢冲压件的焊接，最适用的焊件厚度为 0.5~4mm。凸焊与点焊相比具有下列优点：

- 1) 生产率高，一个焊接循环可同时焊接多个焊点。
- 2) 凸点的电流密度大，可采用较低的焊接电流，能可靠地形成尺寸较小的熔核。
- 3) 凸点的位置准确，尺寸一致，各点的强度比较均匀。
- 4) 凸焊可采用大平面电极、电流密度小、散热快、电极的磨损量小。

凸焊的不足之处在于冲制凸点需附加工序，电极形状较复杂，电极压力较高，要求采用大功率的焊机。

凸焊时，电极必须随凸点的压溃而迅速下降，否则将因失压而产生飞溅，因此凸焊机应有随动性较好的加压系统。多点凸焊时，若焊接工艺参数选择不当，会引起凸点的位移，并导致接头强度的降低，为此应选用较大的电极压力和较低的焊接电流。

(2) 凸焊接头的设计 凸焊搭接接头的设计与点焊相似。通常凸焊接头的搭接量比点焊来得小。凸点的形状有圆球形和圆锥形两种，如图 1-50 所示。凸点的尺寸取决于所要求的焊点强度，表 1-29 列出典型的凸点尺寸，凸点也可以制成椭圆形，以增加熔核尺寸，提高焊点强度。螺栓、螺母、线材、管材、冲压件等都可冲制出一定形状的凸点或凸环进行凸焊。图 1-51 示出冲压件的环形凸台，可形成密封焊缝。

(3) 凸焊的焊接工艺参数 凸焊的主要焊接工艺参数有：电极压力、焊接时间和焊接电流。

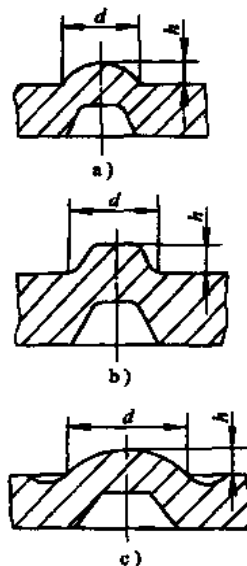


图 1-50 板材凸点形状

a) 圆球型 b) 圆锥型
c) 带环形溢出槽型

表 1-29 典型的凸点尺寸

(mm)

凸点板厚	平板厚度	凸点尺寸		凸点板厚	平板厚度	凸点尺寸	
		直径 d	高度 h			直径 d	高度 h
0.5	0.5	1.8	0.5	3.2	1.0	2.8	0.7
	2.0	2.3	0.6		4.0	4.0	1.0
1.0	1.0	1.8	0.5	4.0	2.0	6.0	1.2
	3.2	2.8	0.8		6.0	7.0	1.5
2.0	1.0	2.8	0.7	6.0	3.0	7.0	1.5
	4.0	4.0	1.0		6.0	9.0	2.0

1) 电极压力 凸焊的电极压力取决于待焊金属的性能、凸点的尺寸和需一次焊成的凸点数量。电极压力应保证在凸点达到焊接温度时将其压溃,并使两焊件接合而紧密贴合。电极压力过大会提前压溃凸点,使凸点加热温度下降而减弱接头的强度。压力过小会引起飞溅。低碳钢板凸焊时,电极压力可在 $0.8 \sim 8\text{kN}$ 范围内变动。

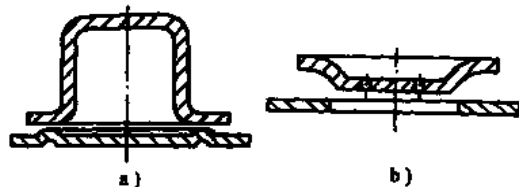


图 1-51 冲压件的环形凸台

2) 焊接时间 当焊件材料和厚度已确定,则焊接时间取决于焊接电流和凸点刚度,与焊接电流和电极压力相比,焊接时间对接头质量的影响

较小。焊接时间随焊接电流的增大而缩短。通常凸焊的焊接时间略长于点焊。低碳钢板凸焊的时间一般在 $6 \sim 25$ 周范围内。

3) 焊接电流 凸焊时,每一个焊点所需的焊接电流低于点焊。选择凸焊焊接电流的原则是,在凸点被完全压溃之前,焊接电流应使凸点熔化。因此,焊接电流应与电极压力相匹配。同时,焊接电流主要按被焊材料的性能和厚度来选择。低碳钢凸焊时,焊接电流的范围为 $5 \sim 18\text{kA}$ 。

不同厚度低碳钢板凸焊的典型焊接工艺参数列于表 1-30。

表 1-30 低碳钢板凸焊典型焊接工艺参数

板 厚 /mm	电极接触面最 小直径/mm	电极压力 /kN	焊接时间 /周	保压时间 /周	焊接电流 /kA	备 注
0.36	3.18	0.80	6	13	5	1. 按工频 50Hz 计算 2. 两板厚度比最大为 3:1 3. 电极接触面最小直径为凸点直径的两倍
0.53	3.97	1.36	8	13	6	
0.79	4.76	1.82	13	13	7	
1.12	6.35	1.82	17	13	7	
1.57	7.94	3.18	21	13	9.5	
1.98	9.53	5.45	25	25	13	
2.39	11.1	5.45	25	25	14.5	
2.77	12.7	7.73	25	38	16	
3.18	14.3	7.73	25	38	17	

4. 缝焊工艺

(1) 工艺特点 缝焊是采用滚盘电极沿接缝滚压同时通焊接电流而产生一连串相互搭接的熔核，形成连续焊缝。缝焊按滚盘转动和馈电方式可分连续缝焊、断续缝焊和步进缝焊。

连续缝焊时，滚盘连续在焊件上转动，同时连续通电完成焊接过程，这种方法的缺点是焊件表面易产生过热，电极磨损严重。一般用于高速缝焊。断续缝焊时，滚盘连续转动，电流断续通过被焊工件。在休止时间内，滚盘和焊件得到冷却，延长了滚盘的寿命，减小了热影响区宽度和焊接变形，接头质量较高。步进缝焊时，滚盘步进转动，电流在滚盘停转时通过焊件，这样改善了散热和加压条件，延长了电极寿命，提高了接头质量。

缝焊按接头形式可分为搭接缝焊、压平缝焊和垫箔对接缝焊等。搭接缝焊可用一对滚盘或一个滚盘和一根芯轴电极进行。除常用的双面缝焊外，还有单面单缝和单面双缝缝焊，如图 1-52 所示。压平缝焊是在焊接的同时将接头压平，压平缝焊接头的搭接量比普通缝焊小得多，约为板厚的 1~1.5 倍，焊后接头的厚度为板厚的 1.2~1.5 倍，焊接时应选用较大的焊接压力和连续通电。为获得稳定的焊接质量，必须精确地控制搭接量。垫箔对接缝焊是解决厚板缝焊的一种方法，焊接过程如图 1-53 所示。先将待焊焊件边缘对接组装，在接缝通过滚盘时，将两条箔带垫于滚盘和接缝之间，将箔带与接缝熔合在一起，箔带的厚度通常为 0.2~0.3mm，宽度为 4~6mm，由于箔带增大了焊接区的电阻，并减慢了散热，有利于熔核的形成。这种方法的优点是焊缝的余高平整，不易产生飞溅，电极压力可相应降低，焊接变形减小。缺点是对接缝装配精度要求较高。

缝焊具有生产率高、质量可靠和易于实现机械化和自动化，已在油桶、油箱、罐、散热片和薄壁容器等结构中得到广泛的应用。

(2) 缝焊用电极 缝焊用电极是扁平的圆形滚盘，滚盘直径一般为 50~600mm，常用的滚盘直径为 180~280mm。滚盘厚度为 10~20mm。滚盘的端面有圆柱面、球面和圆锥面三种，如图 1-54 所示。圆柱面滚盘除双侧倒角外，还有单侧倒角，以适应折边接头的缝焊，接触面宽度 w 可按焊件厚度而定。一般为 3~10mm，球面半径 R 为 25~200mm，圆柱面滚盘主要用于各种钢材和高温合金的焊接，球面滚盘因易于散热、压痕过渡均匀，常用于轻合金的焊接。

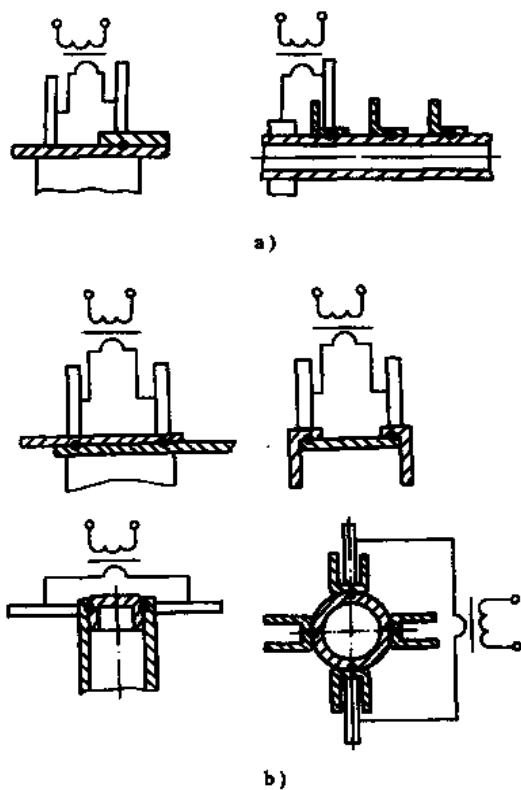


图 1-52 单面单缝和单面双缝缝焊示意图

a) 单面单缝 b) 单面双缝

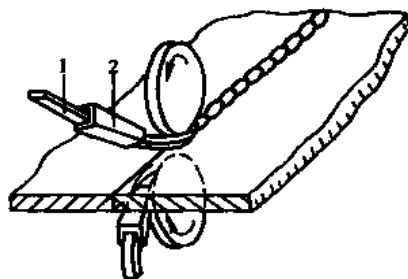


图 1-53 垫箔对接缝焊

1—箔带 2—导向嘴

滚盘在焊接时通常采用外部冷却的方式,焊接有色金属和不锈钢时,可用清洁的自来水冷却,而焊接碳钢和低合金钢时,为防止生锈,应采用质量分数为5%的硼砂的水溶液冷却。滚盘亦可采用内部循环水冷却,但结构较为复杂。

(3) 缝焊接头的设计 缝焊接头的形式,搭边宽度基本上与点焊相似,缝焊接头设计时还应考虑滚盘的适应性。在焊接曲率半径小的焊件时,应考虑因滚盘直径减小而使熔核偏移的问题。当两焊件厚度相同而滚盘的直径不同,则熔核将偏向直径较小的滚盘。为防止熔核的偏移,不应设计曲率半径过小的焊件,其次可调整滚盘直径和宽度,采用不同的滚盘材料或在滚盘与焊件间加垫片等方法。

(4) 缝焊焊接工艺参数 缝焊的焊接工艺参数主要有、焊接电流、电极压力、焊接时间、休止时间、焊接速度和滚盘直径等。

1) 焊接电流 焊接电流的大小,决定了熔核的焊透率和重叠量,焊接电流随着板厚的增加而增加,在缝焊0.4~3.2mm钢板时、适用的焊接电流范围为8.5~28kA。焊接电流还应与电极压力相匹配。在焊接低碳钢时,熔核的平均焊透率最好控制在钢板厚度的45%~50%,为获得气密性较好的焊缝,熔核的重叠量应不小于15%~20%。

缝焊时由于熔核互相重叠而引起较大的分流,因此焊接电流比点焊的电流提高15%~30%,但过大的电流,会导致压痕过深和烧穿等缺陷。

2) 电极压力 缝焊时电极的压力对熔核的尺寸和接头的质量有较大的影响,在各种材料缝焊时,电极压力至少应达到所规定的最小值,否则接头的强度会明显下降。压力过低还会使熔核产生缩孔,并因接触电阻过大而加剧滚盘的烧损,电极压力过高,会导致压痕过深,滚盘变形和损耗,应根据板厚和选定的焊接电流,确定合适的电极压力。

3) 焊接时间和休止时间 缝焊时,熔核的尺寸主要决定于焊接时间。焊点的重叠量可由休止时间来控制,在较低的焊接速度下,焊接时间和休止时间的最佳比例为1.25:1~2:1,以较高速度焊接时,焊接时间与休止时间之比应在3:1以上。

4) 焊接速度 焊接速度决定了滚盘与焊件的接触面积和接触时间,因而决定了接头的加热和散热。如以较高的速度焊接,为获得足够的热量,必须提高焊接电流,过大的焊接电流会引起焊件表面烧损和电极的粘附。焊接速度应按被焊金属种类、厚度以及对接头强度的要求而选定。在焊接不锈钢,高温合金和有色金属时,为获得致密性高的焊缝、避免飞溅,应采用较低的焊接速度,当对接头质量要求较高时,应采用步进缝焊,使熔核形成的全过程在滚盘停转的情况下完成。

低碳钢缝焊的典型焊接工艺参数见表1-31。

5. 对焊工艺

(1) 工艺特点 电阻对焊是利用电流通过两焊件整个对接端面产生的电阻热,将其连接成牢固接头的一种电阻焊方法。

电阻对焊具有生产率高、易于实现机械化和自动化、无需填充材料、生产成本低等优点,在各工业部门得到了广泛的应用。主要的焊件种类有:

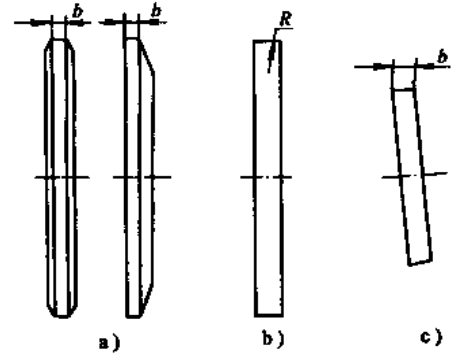


图 1-54 滚盘的外形和接触面形状

a) 圆柱面 b) 球面 c) 圆锥面

b—接触面宽度

- 1) 带钢、型材、线材、钢筋、钢轨、锅炉钢管、石油、天然气管道的接长对焊。
- 2) 汽车车轮辋、自行车、摩托车轮圈以及链环的对焊。
- 3) 汽车方向轴外壳、后桥壳体、各种连杆、拉杆以及各种特殊形状零部件的对焊。
- 4) 刀具、内燃机排气阀头部与尾部以及铝铜导电接头的对焊等。

表 1-31 低碳钢缝焊典型焊接工艺参数

板厚 /mm	滚盘尺寸/mm		电极 压力 /kN	错接 量 /mm	高 速 焊 接				低 速 焊 接			
	接触面宽 (b)	滚盘厚度 (B)			焊接时间 /周	休止时间 /周	焊接电流 /kA	焊接速度 /(cm/min)	焊接时间 /周	休止时间 /周	焊接电流 /kA	焊接速度 /(cm/min)
0.4	5.3	11	2.2	10	2	1	12.0	280	3	3	8.5	120
0.6	5.9	12	2.8	11	2	1	13.5	270	3	3	10.0	110
0.8	6.5	13	3.3	12	2	1	15.5	260	2	4	11.5	110
1.0	7.1	14	4.0	13	2	2	18.0	250	2	4	13.0	100
1.2	7.1	14	4.7	14	2	2	19.0	240	3	4	14.0	90
1.6	8.8	16	6.0	16	3	1	21.0	230	4	4	15.5	80
2.0	10.0	17	7.2	17	3	1	22.0	220	6	6	16.5	70
2.3	11.0	17	8.0	19	4	2	23.0	210	6	6	17.0	70
3.2	13.6	20	10	20	4	2	27.5	170	6	6	20.0	60

电阻对焊工艺可分电阻对焊和闪光对焊两种。其工艺程序有较大的差别。

电阻对焊过程中，两被焊焊件端面相互压紧，电流通过接触面产生电阻热，将其加热至红塑性状态，紧接着施加顶锻压力形成对接接头。闪光对焊过程中，先将两焊件端面轻微接触，当电流接通时，接触点熔化形成金属过桥，因其电流密度甚高而产生爆炸形成闪光，当对接端面全部熔化后，即闪光过程的后期对焊件施加足够高的顶锻压力，形成对接接头。

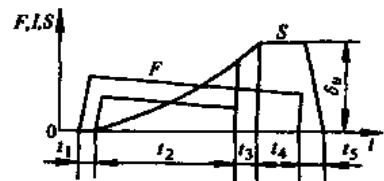
(2) 电阻对焊的焊接循环 电阻对焊的焊接循环分等压焊接循环和锻压焊接循环两种。等压焊接循环由预压时间、加热时间、顶锻时间和保压时间组成。而锻压焊接循环除上述四段周期外，还要增加顶锻通电时间，图 1-55 为这两种焊接循环的程序。

(3) 焊前准备 电阻对焊的焊前准备工作较简单，但需保证两焊件对接端面的形状和尺寸基本相同，且表面平整并与夹钳轴线成 90° 直角。焊件端面及与夹钳的接触表面应仔细清理，去除氧化皮，焊件端面的清洁程度将会直接影响到电阻对焊接头的质量，必须严格要求。

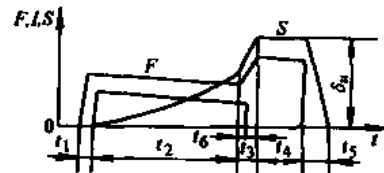
焊前的清理通常采用砂轮、钢丝刷等对焊件进行打磨去污，在批量生产中，可采用喷砂和喷丸处理。

电阻对焊时，接头的加热区暴露于大气之中，接合面往往存在较多的氧化物夹杂。因此在焊接质量要求高的焊件时，应采用氩、氢等气体保护焊接加热区。

(4) 电阻对焊的焊接工艺参数 电阻对焊的主要焊接工艺参数有焊件伸出长度、焊接电流、焊接通电时间、焊接压力和顶锻压力。



a)



b)

图 1-55 电阻对焊的焊接循环程序
 t_1 —预压时间 t_2 —加热时间 t_3 —顶锻时间 t_4 —维持时间 t_5 —夹钳复位时间 t_6 —有电流顶锻时间 F —压力 I —电流 S —动夹钳位移 δ_s —焊接余量 t —时间

1) 焊件伸出长度 l_0 即为焊件伸出夹钳电极端面的长度。伸出长度与焊件在顶锻时的稳定性以及向夹钳的散热有关。如 l_0 太长, 则在顶锻时焊件将失稳产生旁弯, 而 l_0 太短, 则因向钳口的散热加快, 使焊件冷却过于强烈而难于产生塑性变形。按生产经验, 对于低碳钢, 伸出长度与焊件直径 d 的关系: l_0 为 $(0.5 \sim 1) d$, 对于铝和黄铜, l_0 为 $(1 \sim 2) d$, 对于纯铜, l_0 为 $(1.5 \sim 2.5) d$ 。

2) 焊接电流 I_1 和焊接时间 t_1 电阻对焊时, 焊接电流与焊接时间是决定焊件的对接面加热温度和加热区宽度的主要参数。二者应在一定范围内相互匹配。以大的电流密度与短的焊接时间相配, 即所谓强参数, 小的电流密度与长的焊接时间相配, 即所谓弱参数, 这种参数类型主要按焊件的材料性质和焊件截面形状及尺寸而定。参数过强, 容易产生未焊合。参数过弱, 对接端面将发生氧化, 接合区晶粒粗大, 接头强度降低。

3) 焊接压力 F_1 和顶锻压力 F_2 焊接压力 F_1 对接合面的电阻加热和塑性变形有一定的影响。减小焊接压力会增强电阻加热, 但塑性变形量不足。因此, 在加热阶段宜采用较小的焊接压力, 并在加热后期施加较大的顶锻力 F_2 。但焊接压力不应过低, 否则会引起飞溅, 加剧端面氧化。

低碳钢棒料电阻对焊的典型焊接工艺参数见表 1-32。

表 1-32 低碳钢棒料电阻对焊典型焊接工艺参数

断面积 /mm ²	伸出长度 /mm	缩短量/mm		电流密度 /(A/mm ²)	焊接时间 /s	焊接压力 /MPa
		通电时	断电时			
25	6+6	0.5	0.9	200	0.6	10~20
50	8+8	0.5	0.9	160	0.8	
100	10+10	0.5	1.0	140	1.0	
250	12+12	1.0	1.8	90	1.5	

(5) 闪光对焊焊接循环 闪光对焊可分连续闪光对焊和预热闪光对焊两种, 其焊接循环如图 1-56 所示。连续闪光焊由闪光时间、顶锻时间、保压时间、复位时间和带电顶锻时间组成。而预热闪光焊需增加预热时间, 其中复位时间是指动夹钳由松开焊件至回原位的时间。

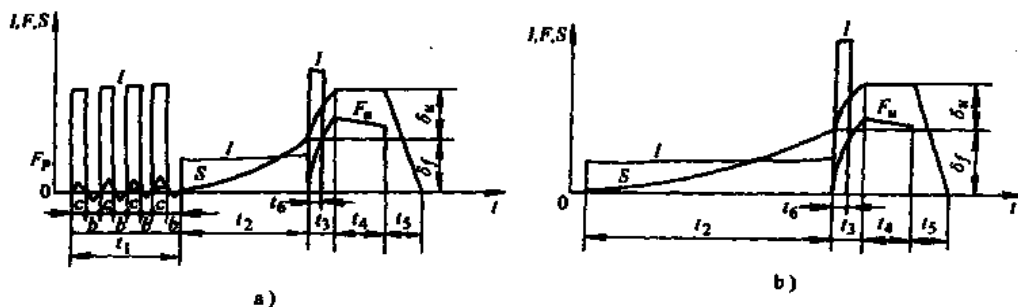


图 1-56 闪光对焊的焊接循环

a) 连续闪光对焊 b) 预热闪光对焊

t_1 —预热时间 t_2 —闪光时间 t_3 —顶锻时间 t_4 —保压时间 t_5 —复位时间 t_6 —通电顶锻时间 t —时间 F_p —预热压力 F_a —顶锻压力 I —电流 S —动夹钳位移 δ_f —闪光余量 δ_a —顶锻余量

(6) 闪光对焊的焊前准备 闪光对焊的焊前准备包括对接端面的加工和表面清理。

闪光对焊时,两焊件对接端面的几何形状和尺寸应基本相同,图 1-57 为对接接头的正确设计和错误设计的几种形式。为保证对接接头的质量,对于圆柱体焊件,两对接焊件的直径差不应超过 15%,对于方形截面的焊件或管件,截面积差不应超过 10%。

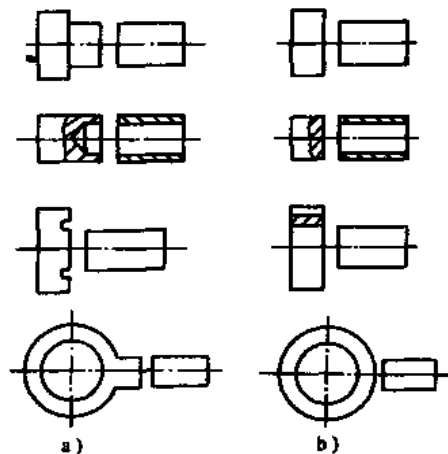


图 1-57 闪光对接接头的设计
a) 正确的 b) 不正确的

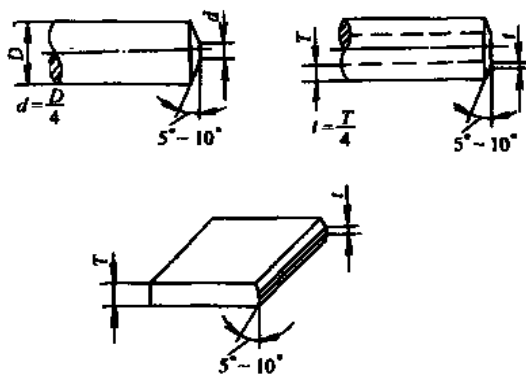


图 1-58 闪光对焊焊件端部的倒角尺寸
 $l = T/4$

对于大截面的焊件,为增大电流密度,易于激发闪光,应将其中一个焊件的端部倒角,棒料、管件和板材推荐的倒角尺寸如图 1-58 所示。

焊件毛坯的端面加工可以采用冲剪、机械加工或热切割。热切割端面若不再作机械加工,应将氧化皮清理干净。闪光对焊时,因端部金属在闪光过程中被烧掉,故对端面清理的要求不如电阻焊那样高,但对与夹钳的接触表面同样应清理干净,以保证良好的导电。

(7) 闪光对焊的焊接工艺参数 闪光对焊的焊接工艺参数主要有焊件伸出长度、闪光电流、闪光余量、闪光速度、顶锻余量、顶锻速度、顶锻压力、顶锻电流和夹钳夹持力等。

1) 焊件伸出长度 l_0 。 l_0 对焊件轴向温度分布和加热段的塑性变形为重要的影响。此外,随着 l_0 的增大,焊接回路阻抗的提高,对焊机的需用功率要相应增大。通常,对于棒材和厚壁管, l_0 为 $(0.7 \sim 1.0) d$; 对于 1~4mm 的薄板,为使顶锻时不失稳, l_0 为 $(4 \sim 5) \delta$ (δ 为板厚)。

2) 闪光电流 I_f 和顶锻电流 I_d 。 闪光电流 I_f 取决于焊件的横截面积和闪光所需的电流密度 j_f 。电流密度 j_f 与被焊金属的物理性能,闪光速度、焊件横截面积以及端面的加热状态有关。对于低碳钢,闪光电流密度 j_f 范围为 $5 \sim 15 \text{ A/mm}^2$ 。对于大截面焊件,为增加焊件的加热深度,应采用较小的闪光速度,平均闪光电流密度 j_f 一般不超过 5 A/mm^2 。

在闪光过程中,随着闪光速度 v_f 的逐渐提高和接触电阻 R_c 的逐渐减小,闪光电流密度将增大。顶锻时, R_c 消失,电流急剧增大到顶锻电流 I_d 。

焊接电流是通过焊接变压器的空载电压 U_{20} 来调节的,选定空载电压时,不仅应根据所要求闪光电流密度,还应考虑焊接回路的阻抗。

3) 闪光余量 δ_f 。 合适的闪光余量应使闪光结束时在焊件的整个端面上形成熔化金属层,同时在足够的范围内达到塑性变形温度。如闪光余量过小,则不能进入上述状态,也就不能形成质量符合要求的接头。闪光余量过大,则会延长焊接循环,降低焊接效率,还多消耗金

属材料。闪光余量还与预热有关。预热闪光焊的闪光余量比连续闪光焊小 30%~50%。

闪光余量 δ_f 主要按焊件材料的性质和所焊接头截面来选定。对于直径为 15~90mm 的棒料, 闪光余量相应为 6.5~24mm。

4) 闪光速度 v_f 为保证闪光过程的稳定并达到一定的强度, 必须达到足够大的闪光速度。但闪光速度过大, 会使加热区变窄, 难于产生塑性变形。闪光速度取决于被焊材料的成分和性能。含氧化性元素多的材料以及导电导热性较好的材料, 应选择较大的闪光速度, 例如铜和铝的平均闪光速度为 10~11mm/s, 而低碳钢的平均闪光速度仅为 1~1.5mm/s。另外, 预热闪光焊的闪光速度高于连续闪光焊。

5) 顶锻余量 δ_d 顶锻余量 δ_d 决定了顶锻过程中液态金属的挤出量和塑性变形量, 因此, 也是决定接头质量的重要参数之一。顶锻余量过小, 液态金属残留于接合面, 易形成疏松、缩孔、裂纹等缺陷。顶锻余量过大, 往往因接合区的晶粒严重扭曲而造成接头的冲击韧度降低。

顶锻余量主要按焊件的横截面积来选取。截面积越大, 顶锻余量越大。

顶锻过程中, 为防止焊件接合面的氧化, 在两焊件的端面未完全密合前仍需继续通电。这样, 顶锻余量即由通电顶锻余量和断电顶锻余量两部分所组成。一般情况下, 前者为后者的 0.5~1 倍。对于低碳钢棒料, 当焊件直径为 20~50mm 时, 顶锻余量相应为 3.5~6.5mm。

6) 顶锻速度 v_d 为防止接合面液态金属的氧化, 以及焊件散热导致挤出液态金属和塑性变形发生困难, 顶锻速度应越快越好。因此, 顶锻速度也是决定接头质量的重要参数。最小许用顶锻速度取决于焊件材料的性质、奥氏体钢的最小许用顶锻速度约为珠光体钢的 1.5 倍。导热性好的金属材料如铜和铝, 则要求具有更高的顶锻速度 (150~200mm/s)。普通碳素钢的顶锻速度则在 40~50mm/s 的范围内。

7) 顶锻压力 F_d 顶锻压力通常以单位面积的压力, 即用顶锻压强来表示。所选定的顶锻压强应保证从接合面挤出足够数量的液态金属并使接合区产生必要的塑性变形。如顶锻压强过小, 则使接合区产生的塑性变形量不足, 接头强度下降。顶锻压强过大, 则使塑性变形量剧增, 晶粒严重扭曲, 接头冲击韧度下降。

顶锻压强取决于金属材料的性能、接合区的温度分布、顶锻余量和速度, 以及焊件端面的形状等。高温强度高的金属材料应选择较大的顶锻压强, 温度梯度大的接头要求较高的顶锻压强。导热性好的金属材料如铜、铝合金等要求较大的顶锻压强 (150~400MPa)。低碳钢焊件所需的顶锻压强为 40~60MPa。

8) 预热温度和预热时间 预热闪光对焊时还应选定预热温度和预热时间。预热温度按焊件的截面积和金属材料的性能来选择, 对于低碳钢的焊接一般不超过 700~900°C。随着焊件截面积的增大, 预热温度应相应提高。

预热时间与焊机功率、焊件截面积及金属材料的性能有关。预热时间主要取决于所要求的预热温度。当棒料直径为 20~50mm 时, 低碳钢棒料的预热时间相应为 3~30s。

9) 夹钳的夹持力 F_c 夹持力 F_c 应保证顶锻时焊件在钳口内不产生滑移。夹持力 F_c 与顶锻压力 F_d 和焊件与夹钳间的摩擦系数 f 有关。即

$$F_c \geq F_d / 2f$$

通常, $F_c = (1.5 \sim 4.0) F_d$ 。

如在夹钳上装有顶撑装置, 则可大大降低夹紧力, F_c 为 $0.5 F_d$ 就足够了。

表 1-33 列出各种钢管连续闪光对焊的典型焊接工艺参数。

表 1-33 20 钢, 12Cr1MoV 及 12Cr18Ni12Ti 钢管连续闪光对焊焊接工艺参数

钢 种	规 格 /mm	空载电压 /V	伸出长度 2L /mm	闪光余量 /mm	平均闪光速度 /(mm/s)	顶锻余量 /mm	通电顶锻量 /mm
20	25×3	6.5~7.0	60~70	11~12	1.37~1.5	3.5	3.0
	32×3			11~12	1.22~1.33	2.5~4.0	3.0
	32×4			15	1.25	4.5~5.0	3.5
	32×5			15	1.0	5.0~5.5	4.0
	60×3			15	1.15~1.0	4.0~4.5	3.0
12CrMoV	32×4	6~6.5	60~70	17	1.0	5.0	4.0
12Cr18Ni12Ti	32×4	6.5~7.0	60~70	15	1.0	5.0	4.0

3.12 螺柱焊

螺柱焊是一种压力熔焊方法,是将螺柱或形状相似的紧固件利用电弧热熔化其端面,并立即向焊件挤压形成接头。螺柱焊最常用的方法是电弧螺柱焊和电容放电螺柱焊两种。

螺柱焊具有效率高、质量可靠、生产成本低和易于实现自动化等优点,已在造船、车辆、容器、锅炉、冶金设备、电力设备制造和建筑等行业得到普遍的应用。可以成功地用于焊接碳钢、低合金钢、不锈钢、铝合金和铜合金等材料。

1. 电弧螺柱焊

(1) 特点 电弧螺柱焊是在螺柱和焊件之间引燃功率较大的电弧 (500A 以上),在很短的时间内将螺柱端面和焊件表面加热到熔化状态,并立即将螺柱挤压到预定的部位。为保护熔化金属不受大气的污染,可在螺柱端面加焊剂或陶瓷圈。为使螺柱容易引弧,通常采用空载电压较高的直流电源。电弧螺柱焊的操作程序比较简单,如图 1-59 所示。

(2) 螺柱形状和陶瓷保护圈 为达到可靠的引弧并保证接头的质量,螺柱的端面应加工成特殊的形状,以便在螺栓端部表面涂敷焊剂。圆形螺柱的端部通常加工成锥形,方形截面的紧固件则加工成楔形。螺柱的长度由夹持段长度、保护圈高度和熔化量 (3~5mm) 组成,最短长度为 20mm。

保护圈有消耗性和半永久性两种形式。消耗性保护圈由陶瓷材料制成,焊后易于破碎清除、陶瓷保护圈上设计有排气孔和成形孔腔,以控制焊脚形状。半永久性保护圈采用高强度耐火材料压制而成,使用寿命为 2500~7500 次。

(3) 螺柱焊焊接工艺参数 电弧螺柱焊接头的质量主要取决于焊接热输入。热输入是焊接电流、焊接时间和电弧电压的函数。螺柱焊时,电弧电压基本保持不变,故热输入由焊接电流和焊接时间所决定,如螺柱的材料不变,焊接电

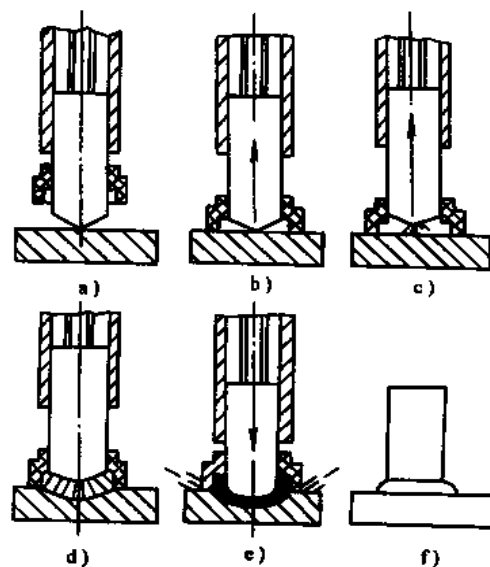


图 1-59 电弧螺柱焊的操作程序

(图中箭头表示螺柱运动方向)

流和焊接时间主要按螺柱截面来选定。图 1-60 示出各种直径的低碳钢电弧螺柱焊适用的焊接电流和焊接时间范围。

2. 电容放电螺柱焊

(1) 特点 电容放电螺柱焊 按引弧方法的不同可分为预接触法、预留间隙法和拉弧法三种。

预接触法和预留间隙法电容放电螺柱焊的焊接过程, 如图 1-61 和图 1-62 所示。

预接触法电容放电螺柱焊时, 先将螺柱凸台与焊件表面接触, 按下起动开关, 电容器的储能通过凸台迅速释放, 使凸台熔化, 产生电弧, 熔化螺柱整个端面和焊件表面, 此时将螺柱快速下压, 螺柱端面与焊件表面相互熔合。

预留间隙法是先将螺柱提起离焊件表面一定距离, 按下起动开关后, 螺柱与焊件间在加上放电电压的同时, 螺柱由焊枪加压机构向焊件靠近, 当螺柱的凸台接触焊件表面时, 电容随即放电, 熔化凸台, 建立电弧完成焊接过程。

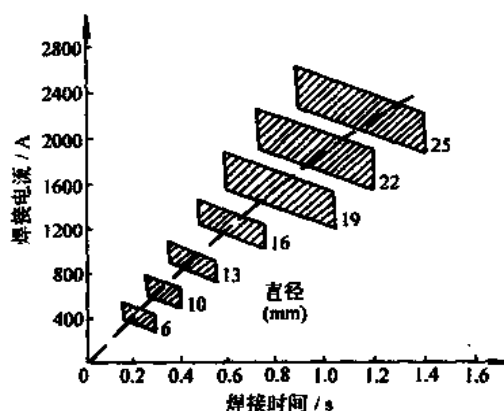


图 1-60 低碳钢电弧螺柱焊焊接电流和焊接时间适用范围

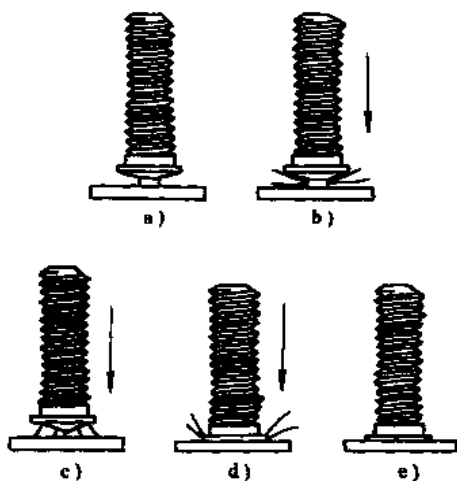


图 1-61 预接触式电容放电螺柱焊过程
(图中箭头表示螺栓运动方向)

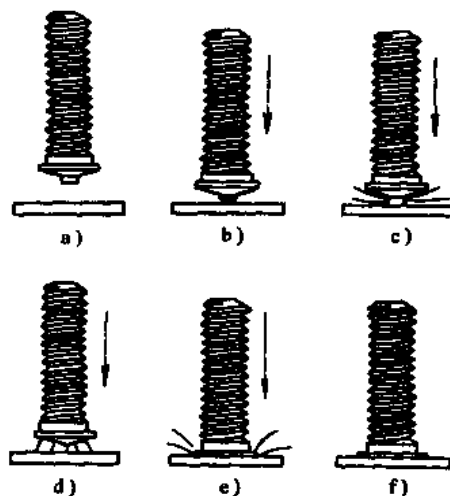


图 1-62 预留间隙或电容放电螺柱焊过程
(图中箭头表示螺栓运动方向)

拉弧式电容放电螺柱焊的焊接过程与电弧螺柱焊相似, 但焊接时间要短得多, 约为 6~15ms。

(2) 螺柱的形状和尺寸 电容放电螺柱焊的螺柱可制成任何形状, 但其端部应为圆形并加工出小凸台, 如图 1-63 所示。

因电容放电螺柱焊的焊接时间极短, 无需采取措施保护熔化金属, 而且螺柱的熔化量很少, 熔化长度一般为 0.2~0.3mm。

螺柱尺寸参考值列于表 1-34。

(3) 焊接能量 电容放电螺柱焊的焊接能量取决于充电电压、放电电流与放电时间。放电电流与充电电压成正比关系。

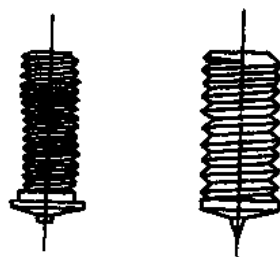


图 1-63 电容放电螺柱焊的螺柱外形

电容放电螺柱焊的充电电压值根据螺柱的材料、螺柱直径和放电方法来选择。图 1-64 示出接触式电容放电螺柱焊时，螺柱直径与充电电压的关系。螺柱直径越大，所需的放电电流越大，相应的充电电压越高。

电容放电螺柱焊的焊接电流峰值范围为 600~20000A，适用的焊接时间范围为 3~15ms。

表 1-34 电容放电螺柱尺寸参考值

(mm)					
d	M3	M4	M5	M6	M8
D	5	6	7	8	10
H	0.7	0.7	0.8	0.8	1.0

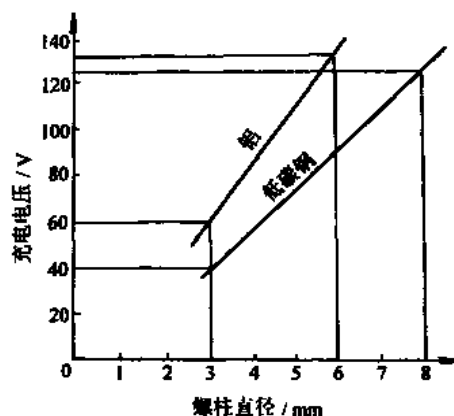
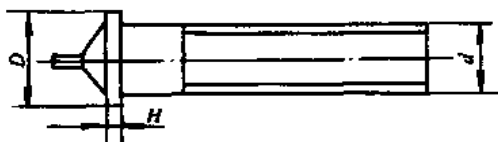


图 1-64 螺柱直径与充电电压的关系

3.13 摩擦焊

1. 方法特点

摩擦焊是利用焊件接触端面相对高速旋转运动中相互摩擦所产生的热量，使端部加热达到热塑性状态，然后迅速加压顶锻，完成焊接的一种压焊方法。其焊接过程一般包括：初始摩擦阶段；不稳定摩擦阶段；停车阶段；纯顶锻阶段；顶锻维持阶段。

摩擦焊具有下列优点：

- 1) 接头质量可靠和稳定。
- 2) 焊接生产率高。
- 3) 生产成本低，无需填充材料，能量消耗低。
- 4) 可焊接各种异种钢和异种金属。
- 5) 焊接过程易于实现机械化和自动化。

摩擦焊也存在焊件横截面局限于圆形，摩擦焊机的功率难以提高等缺点。

目前，摩擦焊已在我国石油钻探、切削刀具、汽车、拖拉机、电站锅炉、电动机、变压器、电工器材和轻工机械等制造行业得到广泛的应用。

摩擦焊按机械能输入焊件的方式，可分为连续驱动摩擦焊和惯性摩擦焊两种。

连续驱动摩擦焊的特点是焊件在整个焊接过程中以恒速旋转，其焊接过程主要分摩擦加热和顶锻焊接两个阶段，整个焊接程序如图 1-65 所示。惯性摩擦焊是先将摩擦焊机上的飞轮

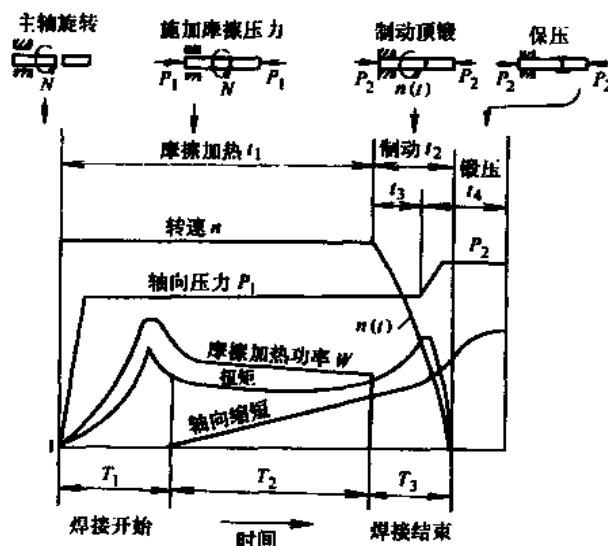


图 1-65 连续驱动摩擦焊焊接循环

加速到预定的转速,然后将飞轮脱离驱动电动机而带动焊件旋转,使焊件接触面摩擦升温至焊接温度。此时,飞轮转速很快下降直到停止转动,施加于焊件的轴向压力在整个焊接过程中保持不变。惯性摩擦焊的焊接程序,如图 1-66 所示。

2. 摩擦焊工艺

(1) 接头形式和设计 旋转式摩擦焊时,焊件端面的形状,至少应是一个圆形的横截面。各种接头的形式如图 1-67 所示。为增大焊件的接合面积,可以采用图 1-67b 所示的锥形斜面。

复式接头的设计应满足在同一转速下同时焊接两个接头的要求。当接头要求外形美观、无法清除飞边时,可以设计成带飞边凹槽的特殊形式的接头。

设计摩擦焊接头时,应使焊件具有足够的刚度,以防止加压时顶弯,并对焊件的长度和直径公差、焊件端面的垂直度、平面度和粗糙度提出相应的要求。

(2) 焊接工艺参数 摩擦焊焊接工艺参数主要有:转速、摩擦压力、摩擦时间、停车时间、顶锻延时、顶锻压力和顶锻变形量。这些参数将对接头的质量都产生重要的影响。

1) 转速与摩擦压力 对于给定直径的焊件,接合面上任一点的摩擦速度与转速成正比。对于实心圆截面焊件,接合面上的平均摩擦速度以 $2/3$ 半径圆周的线速度表示。为使接合面加热到所要求的焊接温度,平均摩擦速度必须高于极限摩擦速度,对于低碳钢,极限摩擦速度为 0.3m/s ,在实际生产中,可采用的平均摩擦速度范围为 $0.6\sim 3\text{m/s}$ 。

为使摩擦面产生足够的热量,保证摩擦面全部接触,应对焊件施加一定的摩擦压力。在稳定的摩擦阶段,随着摩擦压力的增大,摩擦扭矩增加,摩擦热功率升高,摩擦变形速度也相应加快,变形层加厚,深塑性径向增长,以形成牢固的接头。但压力过大易形成粗大而不对称的飞边。低碳钢焊接时,合适的摩擦压力范围为 $30\sim 100\text{MPa}$ 。

2) 摩擦时间 摩擦时间决定了接

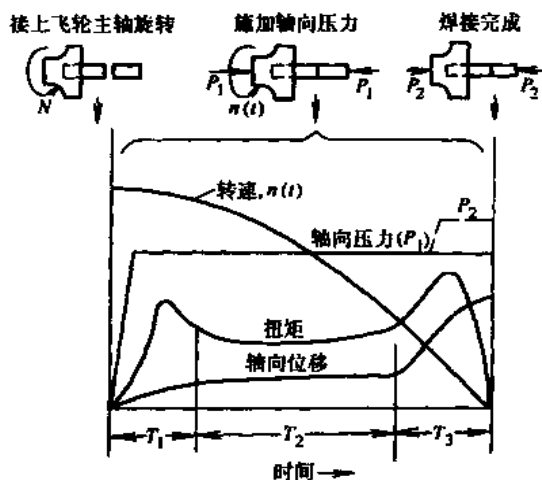


图 1-66 惯性摩擦焊焊接循环

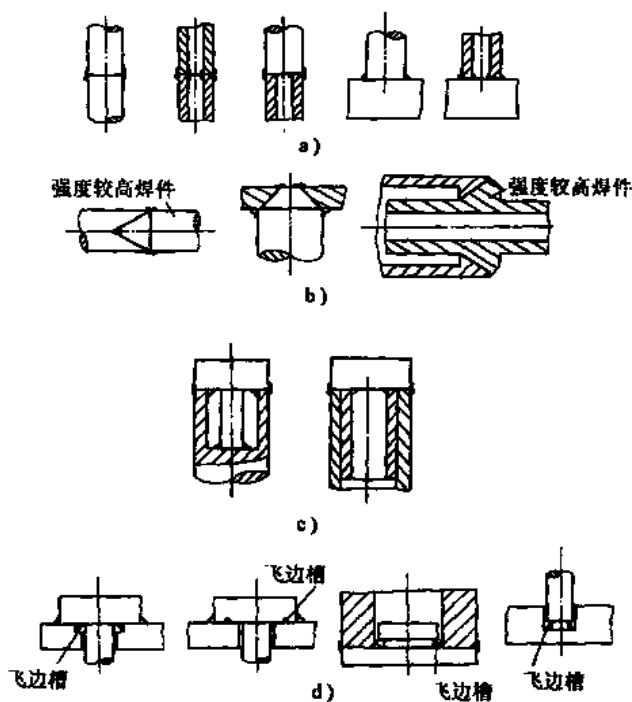


图 1-67 摩擦焊的各种接头形式

a) 普通形 b) 锥形 c) 复式 d) 特殊形

头的加热程度、轴向变形量和焊接能量的消耗。摩擦时间太短，接合面的加热不足；摩擦时间太长，接合区金属容易过热，变形量和飞边过大。确定摩擦时间的原则是，要求在加热阶段终了的瞬间，接合区沿轴向有较厚的变形层和较小的飞边，而在顶锻阶段能产生较大的轴向变形，且变形层沿焊件的径向有较大的扩展，以确保接头的质量。

连续驱动摩擦焊时，可采用两种不同的焊接加热参数：一种是强参数，即转速较低，摩擦压力大，摩擦时间短；另一种是弱参数，即转速高，摩擦压力小，摩擦时间长。通常强参数的摩擦时间只有几秒钟，而弱参数的摩擦时间可长达 40s。

3) 停车时间与顶锻延时 连续驱动摩擦焊时，在制动停车阶段，由于转速逐渐降低，摩擦压力增大，摩擦扭矩和轴向缩短速度也相应加大。为保证接头的质量，如变形层较厚，则停车时间应缩短；如变形层较薄，则停车时间应适当延长。通常制动停车时间的范围控制在 0.1~1.0s。

调整顶锻延时，可改变峰值扭矩和变形层厚度。

4) 顶锻压力与顶锻变形量 顶锻压力的作用是挤碎并排出变形层中的氧化金属和其它有害杂质，并使接合面金属经受锻压过程。顶锻变形量即为顶锻过程中焊件的轴向缩短量。

顶锻压力取决于焊件的材料种类、接合区的温度和变形层厚度、焊件材料的高温强度较高时，要求较大的顶锻压力。接合区的温度高，变形层较薄时，则可选用较小的顶锻压力。

碳钢连续驱动摩擦焊时，顶锻压力通常为摩擦压力的 2~3 倍。顶锻压力适用的范围为 100~200MPa，顶锻变形量为 1~6mm，顶锻速度范围在 10~40mm/s。

各种材料摩擦焊典型焊接工艺参数列于表 1-35。

表 1-35 各种材料摩擦焊典型焊接工艺参数

焊件材料名称或牌号	焊件直径/mm	焊 接 工 艺 参 数				备 注
		转速/(r/min)	摩擦压力/MPa	摩擦时间/s	顶锻压力/MPa	
20	φ32×4	1430	100	8.2	200	采用功率峰值控制法
45	φ25	2000	60	4	120	
45	φ60	1000	60	20	120	
不锈钢	φ25	2000	80	10	200	
高速钢+45	φ25	2000	120	13	240	
铜+不锈钢	φ25	1750	34	40	240	
铝+不锈钢	φ25	1000	50	3	100	
铝+铜	φ25	208	280	6	400	

3.14 堆焊

堆焊是在碳钢或低合金钢基体上熔敷耐磨或耐蚀金属层，或为使零部件达到所要求尺寸，用同种材料加高零部件表面的一种工艺方法。堆焊可采用上述各种熔焊方法来完成，这些堆焊方法的特点对比列于表 1-36。

堆焊具有延长产品使用寿命、降低生产费用、提高生产效率和合理利用材料等优点。堆焊不仅可应用于零部件的维修，而且还用于产品的制造，可以取得相当大的经济效益。堆焊

已广泛应用于矿山和冶金设备、农机、车辆、电站、石油化工设备、工程和建筑机械、工具以及模具的制造和修理。

表 1-36 各种堆焊方法特点的对比

堆 焊 方 法		稀释率/%	熔敷率/(kg/h)	最小堆焊厚度/mm	熔敷效率/%
氧-燃气焰堆焊	手工送丝	1~10	0.5~1.8	0.8	100
	自动送丝	1~10	0.5~6.8	0.8	100
	粉末堆焊	1~10	0.5~1.8	0.8	85~95
焊条电弧堆焊		10~20	0.5~5.4	3.2	65
钨极氩弧堆焊		10~20	0.5~4.5	2.4	98~100
熔化极气体保护堆焊		10~40	0.9~5.4	3.2	90~95
自保护药芯焊丝电弧堆焊		15~40	2.3~11.3	3.2	80~85
埋弧堆焊	单丝	30~60	4.5~11.3	3.2	95
	多丝	15~25	11.3~27.2	4.8	95
	串联电弧	10~25	11.3~15.9	4.8	95
	单带极	10~20	12~36	3.0	95
	多带极	8~15	22~68	4.0	95
等离子弧堆焊	自动送粉	5~15	0.5~6.8	0.8	85~95
	手工送丝	5~15	0.5~3.6	2.4	98~100
	自动送丝	5~15	0.5~3.6	2.4	98~100
	双热丝	5~15	13~27	2.4	98~100
电渣堆焊		10~14	15~75	15	95~100

1. 堆焊方法的选择原则

(1) 对堆焊层性能的要求 选择堆焊方法的首要原则,是使堆焊层金属完全满足所提出的技术要求。当堆焊材料选定后,堆焊金属的性能主要受基体材料稀释率的影响。从这一角度出发,应当选择稀释率最小的堆焊方法,如氧-燃气焰堆焊和等离子弧堆焊。但氧-燃气焰堆焊应考虑增碳对堆焊金属性能的影响,不宜用于铬镍不锈钢材料的堆焊。此外,氧-燃气焰堆焊的熔敷率很低,因此也不适用于批量生产的大面积堆焊。等离子弧堆焊的应用范围比氧-燃气焰堆焊大得多,但也因熔敷率较低而受到一定的限制。目前,埋弧堆焊和熔化极气体保护堆焊在工业生产中应用最广,其堆焊层性能和质量稳定可靠。

(2) 堆焊工件的结构特点 堆焊工件的外形尺寸和结构特点,是选择堆焊方法时需考虑的重要因素。可在水平位置堆焊的大型工件,如大直径容器内壁的大面积堆焊,平板堆焊,管板表面堆焊、大直径辊轴表面的堆焊以及大法兰的密封面堆焊,应采用熔敷率高的带极埋弧堆焊、多丝埋弧堆焊和电渣堆焊等方法,而小直径辊轴的表面堆焊、曲面堆焊、小直径接管的内壁堆焊以及小尺寸零部件的堆焊,则应采用熔敷率较低,熔池容易控制的堆焊方法,如熔化极气体保护电弧堆焊、焊条电弧堆焊和自保护药芯焊丝堆焊等。在堆焊后容易产生变形,但又要求保持尺寸容差的薄壁零部件,或在难焊位置堆焊薄层金属的构件,则应运用钨极氩弧堆焊。对于一些形状规则且焊前要求高温预热的部件,如高压阀门密封面的堆焊,则最好采用等离子弧堆焊,氧-燃气焰堆焊常用于小型零部件的修理。

(3) 经济性 经济性原则是现代工业生产中必须考虑的重要因素。堆焊方法的选择亦不

例外，堆焊材料选定之后，堆焊成本，主要决定于堆焊生产率。而生产率与堆焊熔敷率成正比。从这一角度出发，应尽量选用在保证稀释率最小的前提下，熔敷率最高的堆焊方法。其次，易于实现机械化和自动化，也是提高堆焊生产率的先决条件。因此，埋弧堆焊、熔化极气体保护堆焊是应优先选用的堆焊方法。

2. 堆焊工艺

堆焊工艺包括焊前准备、堆焊材料的选用和预处理、焊前预热、焊后热处理、堆焊工艺参数的选定以及操作技术。

拟定堆焊工艺的原则是：①母材稀释率达到最小；②熔敷率达到最高；③堆焊层的化学成分和性能符合预定技术要求；④堆焊层及其与基层的接合面的致密性达到规定的要求，无超过容限尺寸的任何缺陷。因此，在某种程度上，堆焊工艺要比焊接工艺更为复杂，要求更为严格。

(1) 氧-燃气焰堆焊工艺 氧-燃气焰堆焊的主要工艺问题是火焰性质的选择。通常采用碳化焰进行堆焊，氧和燃气的混合比取决于所堆焊的材料种类。铁基合金堆焊时采用两倍的碳化焰（即内焰与焰芯的长度比为2）。堆焊碳含量高的低熔点合金，如高铬铸铁或钴基合金时，应采用三倍的碳化焰。镍基合金的堆焊一般采用中性焰。

大多数钢制件堆焊可不用熔剂。堆焊铸铁件则必须使用熔剂。

堆焊耐磨合金前应将焊件预热，堆焊后作缓冷处理，这可大大降低裂纹的机率。小型工件可用大号焊炬的氧-燃气焰加热，并注意堆焊区域预热均匀、堆焊后按堆焊金属的合金成分和硬度要求确定是否需作焊后热处理及热处理制度。

(2) 焊条电弧堆焊工艺 焊条电弧堆焊工艺基本与焊条（手工）电弧焊相同，所不同的是焊条类型，预热温度和焊后热处理参数以及电流种类和极性。

堆焊用焊条现有下列几种类型：

- 1) 常温堆焊焊条。
- 2) 高温、高锰钢堆焊焊条。
- 3) 刀具、工具堆焊焊条。
- 4) 阀门堆焊焊条。
- 5) 合金铸铁堆焊焊条。
- 6) 碳化钨堆焊焊条。
- 7) 钴基合金堆焊焊条。

焊条药皮类型主要有钛钙型、钛铁矿型、低氢型和石墨型。

焊条电弧堆焊大多采用直流反接，即焊条接正极，这样熔敷率较高，而稀释率较低。焊条使用前应按焊条药皮类型进行烘干。

焊接工艺电参数的选择，应以在最低的稀释率下获得最高的熔敷率为原则。因此，应选用较低的焊接速度、适中的焊接电流和电弧电压。焊条作适当的摆动亦可减少稀释率。

预热温度可按表 1-37 所列堆焊材料的碳当量与预热温度的关系确定之。

表 1-37 堆焊材料的碳当量与预热温度的关系

$w_{CE}/\%$	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8
预热温度/ $^{\circ}\text{C}$	100	150	200	250	300

注：碳当量计算公式为： $w_{CE}=w_C+1/6w_{Mn}+1/24w_{Si}+1/5w_{Cr}+1/4w_{Mo}+1/15w_{Ni}$

按表 1-37 确定的预热温度还应按堆焊部件的刚度和堆焊面积加以修正。

(3) 埋弧堆焊工艺 埋弧堆焊是应用最广的一种堆焊方法。但堆焊工艺比其它堆焊方法较为复杂。首先丝极埋弧焊具有深熔的特点,使母材金属稀释率高,对保证堆焊层化学成分不利,必须采取相应的工艺措施。其次堆焊材料除实心焊丝外,还可采用药芯焊丝、渗合金焊剂和添加金属粉末等。由于这些堆焊材料的冶金特点不同,需选用与之相配的工艺参数。

丝极埋弧堆焊时,焊接电流和堆焊速度对稀释率,堆焊焊道宽度和厚度的影响如图 1-68 所示。提高焊接电流,稀释率、熔深和堆焊层厚度都会随之增大。在一定的范围内提高堆焊速度也会增大稀释率,因此,埋弧堆焊宜采用较低的焊速。电弧电压对稀释率的影响不大,可按对焊道宽度的要求来调整。常用的电弧电压范围为 30~35V,埋弧堆焊可用直径为 2~6mm 的焊丝,堆焊电流最好不超过 650A,堆焊速度为 6~12m/h。

对于大型工件的大面积堆焊,可采用熔敷率较高的带极埋弧堆焊,带极的宽度为 50~100mm,厚度 0.3~0.6mm。由于带极埋弧堆焊时,电弧是在带极端面从一侧向另一侧作往复移动,故稀释率比丝极埋弧焊低得多。带极埋弧焊的典型焊接工艺参数见表 1-38。

(4) 熔化极气体保护电弧堆焊工艺 熔化极气体保护电弧堆焊分为自动与手工(半自动)两种。自动堆焊可采用直径为 2~4mm 的单丝或多丝堆焊,(半自动)堆焊采用直径为 0.8~1.6mm 的焊丝。堆焊用焊丝有实心焊丝和药芯焊丝,品种繁多。药芯焊丝中包括气体保护药芯焊丝和自保护药芯焊丝两种。保护气体可采用纯 CO_2 、 $\text{Ar}+\text{CO}_2$ 和 $\text{Ar}+\text{O}_2$ 等混合气体,按堆焊材料的合金成分和对堆焊层的质量要求选定。

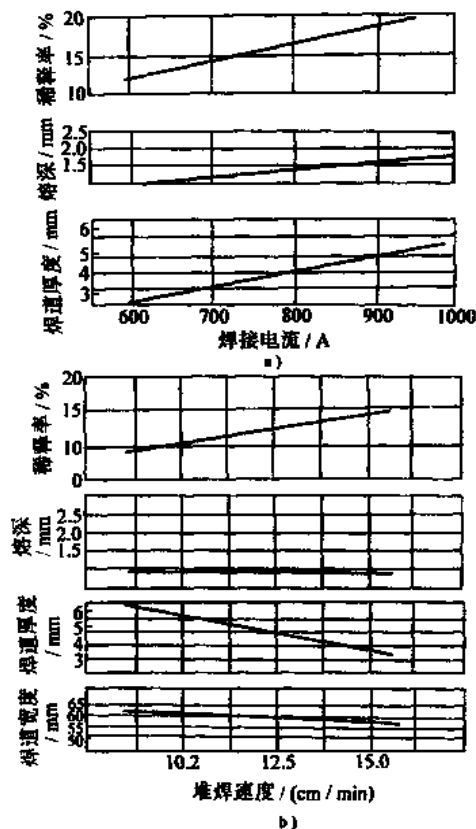


图 1-68 焊接电流和堆焊速度对稀释率、焊道宽度及厚度的影响

a) 焊接电流对稀释率、焊道宽度和厚度的影响 b) 堆焊速度对稀释率、焊道宽度和厚度的影响

表 1-38 带极埋弧堆焊典型焊接工艺参数

层 次	带极牌号	带极规格 (宽×长/mm)	堆焊电流 /A	电弧电压 /V	堆焊速度 /(m/h)	带极伸出长度 /mm	焊道搭接量 /mm
第一层	00Cr25Ni11	0.45×60	550~570	30~34	10.8~12.0	38~42	4~6
第二层以上	00Cr20Ni10	0.60×60	640~660	30~34	8.4~9.6	38~42	5~10

熔化极气体保护电弧堆焊可以采用两种不同的工艺参数。一种是采用低的焊接工艺参数,即低的堆焊电流和电弧电压,以熔滴短路过渡的形式堆焊;另一种是采用高的焊接工艺参数,即高的堆焊电流和电弧电压,以熔滴喷射过渡的形式堆焊。熔滴短路过渡通常采用细丝,堆

焊电流不超过 180A, 故熔深浅、稀释率低, 但熔敷率较低; 熔滴喷射过渡堆焊时, 如采用 $\phi 1.6\text{mm}$ 的焊丝, 堆焊电流至少为 250A, 因此, 熔深和稀释率均较高。采用这种熔滴喷射过渡的堆焊工艺时, 应选择合金成分较高的堆焊材料, 以抵消高稀释率的不利影响。当堆焊材料选择余地较小时, 则应采用短路过渡堆焊工艺。

药芯焊丝堆焊工艺具有熔深浅、稀释低的特点, 并且堆焊过程稳定, 焊道成形良好, 飞溅小。药芯焊丝, 亦包括自保护药芯焊丝堆焊, 可采用较大的堆焊电流, 达到较高的熔敷率。采用 $\phi 2.4\text{mm}$ 自保护药芯焊丝堆焊的典型工艺参数列于表 1-39。单丝自动堆焊的电流可达 300A。

表 1-39 自保护不锈钢药芯焊丝自动堆焊工艺参数

焊丝直径/mm	焊丝数/根	电弧电压/V	堆焊电流/A	堆焊速度/(m/h)	熔敷率/(kg/h)	稀释率/%	摆动频率/(次/min)
$\phi 2.4$	1	27	300~320	20.6	5.4	20	0
	2	27	600~640	6.6	13.6	12	20

(5) 钨极氩弧堆焊工艺 钨极氩弧堆焊可分手工和自动两种。手工钨极氩弧焊因熔敷率低、焊接速度慢, 主要用于形状复杂、堆焊层质量要求高的工件。自动钨极氩弧堆焊, 尤其是热丝钨极氩弧堆焊, 可在相当低的稀释率下获得较高的熔敷率。

钨极氩弧堆焊用焊丝可以是实心的光焊丝、药芯焊丝和铸造棒料, 其直径范围为 0.8~4.0mm。堆焊不锈钢、镍基合金和钴基合金等材料时, 应采用直流正接。对于一些特种不易加工的堆焊材料如碳化钨, 可以制成颗粒状填充金属, 通过保护气输送到已熔化的基体金属表面, 而碳化钨因熔点较高未完全熔化, 可与熔化的基体金属熔合形成均匀散布的堆焊层。

钨极氩弧堆焊中, 焊接电流和焊接速度是影响熔敷率和稀释率的主要工艺参数。热丝钨极氩弧焊时, 熔敷率还取决于热丝的加热电流和焊丝直径。其最高熔敷率可达 10kg/h 以上。

手工钨极氩弧堆焊的最高堆焊电流为 350A, 自动钨极氩弧堆焊的最高容许电流可达 600A, 堆焊速度范围为 5~14m/h, 热丝钨极氩弧堆焊的最高速度可达 20m/h, 采用高电流堆焊时, 可将焊枪作适当的摆动, 以进一步降低稀释率并减少裂纹倾向。

(6) 等离子弧堆焊工艺 等离子弧堆焊可分为粉末等离子弧堆焊和填丝等离子弧堆焊两种。这两种堆焊法都具有熔敷率高、熔深浅、稀释率低的优点。同时, 电弧长度的改变对等离子弧电流和焊道成形影响较小。堆焊材料的送给速度和等离子弧工艺参数可分别单独调整, 易于控制基本金属的稀释率和堆焊层表面形状。

等离子弧堆焊的主要工艺参数有等离子弧电流、送丝(粉)速度、堆焊速度和摆动幅度。合理地调整这些参数可使堆焊层的尺寸在较大范围内变化, 单道堆焊层的厚度范围为 0.80~6.5mm, 宽度范围为 4.0~40mm。

粉末等离子弧堆焊几乎可以堆焊所有的金属材料, 包括难熔金属。如铁基、镍基、钴基合金等。图 1-69 为堆焊钴基合金时, 堆焊层厚度与熔敷率及稀释

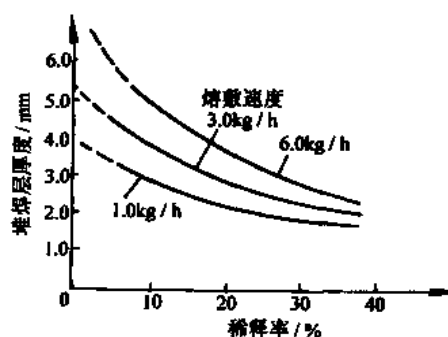


图 1-69 钴基合金粉末等离子弧堆焊时堆焊层厚度与熔敷率和稀释率之间的关系

率的关系。可见,如熔敷率给定,堆焊层越厚,则稀释率越小。另外,在相同的稀释率下,加大堆焊层厚度,则要求提高熔敷率。

填丝等离子弧焊与钨极氩弧焊相似,可填充热丝和冷丝。冷丝可用实心光焊丝和药芯焊丝。可按堆焊层尺寸的要求,填充单根焊丝或同时填充多根焊丝。热丝等离子弧堆焊中,预热焊丝的电流由独立的交流电源供电。通常是将热丝加热到 $700\sim 800^{\circ}\text{C}$ 高温,送入焊接区后由等离子弧将热丝与基体金属一起熔化,形成堆焊层。另一种方式是将热丝在送到焊接区时已被电阻加热到熔点,并熔敷在等离子弧前面的基体金属上,接着由等离子弧将所熔敷的填充金属层与基体金属熔合在一起。送丝速度和预热电源的功率,应调整到使焊丝正好送到等离子弧前开始熔化。双热丝等离子弧堆焊具有相当高的熔敷率 ($\sim 27\text{kg/h}$),适用于大型工件的大面积自动堆焊。不锈钢双热丝等离子弧堆焊的典型堆焊工艺参数见表 1-40。

表 1-40 不锈钢双热丝等离子弧堆焊工艺参数

等离子弧工艺参数			热丝加热参数			堆焊速度 /(m/h)	熔敷率 /(kg/h)	稀释率 /%
焊接电流 /A	电弧电流 /V	气流量 /(L/min)	焊丝数 /根	直径 /mm	预热电流 /A			
400	38	23.4	2	$\phi 1.6$	160	12.0	18~23	8~12
480	38	23.4	2	$\phi 1.6$	180	13.8	23~21	8~12
500	39	23.4	2	$\phi 1.6$	200	13.8	27~32	8~15
500	39	23.6	2	$\phi 2.4$	240	15.0	27~32	8~15

(7) 电渣堆焊工艺

电渣堆焊可分丝极和带极两种。因带极堆焊具有更高的熔敷率,且堆焊层平整均匀,基体金属稀释率低,而得到较广泛的应用。

电渣堆焊工艺的关键是选择一种电导率适中,并能很快建立电渣过程的焊剂。典型的熔炼焊剂成分的质量分数为: $\text{CaF}_2 49\%$ 、 $\text{CaO} 21\%$ 、 $\text{SiO}_2 21\%$ 和 $\text{Al}_2\text{O}_3 9\%$ 。在堆焊不锈钢和镍基合金层时,主要采用特制的烧结焊剂。

电渣堆焊在倾斜位置、垂直位置或水平位置上均可进行。前两种堆焊位置必须采用成形滑块或成形模。在水平位置电渣堆焊时,金属熔池处于自由状态时,堆焊金属层厚度不能过厚。当要求较厚厚度的堆焊层时,应采用多层堆焊法。

丝极电渣堆焊的堆焊工艺参数与带极电渣焊基本相同。带极电渣堆焊的工艺参数对稀释率的影响如图 1-70 所示。稀释率与焊接电压和焊接电流成反比,与焊接速度成正比。水平位置带极电渣堆焊一次堆焊的最大厚度可达 6mm。

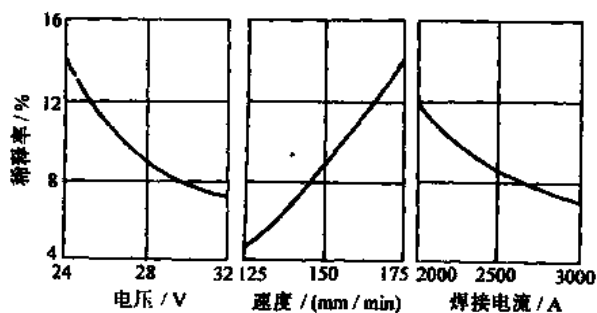


图 1-70 带极电渣堆焊工艺参数对稀释率的影响

采用宽带极 (100mm 以上) 电渣堆焊时,为获得均匀平整的堆焊层,可在带极两侧加电磁线圈,对熔池金属实行磁控,其效果相当明显。图 1-71 为磁场力对液态熔池金属的作用。

不锈钢带极电渣堆焊的典型工艺参数列于表 1-41。

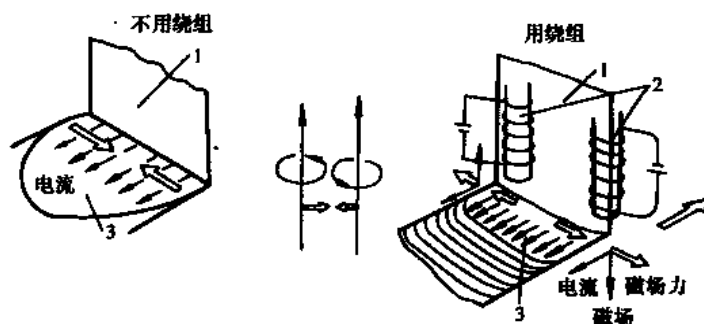


图 1-71 带极电流堆焊熔池金属的磁控原理

1—电极 2—绕组 3—熔池

表 1-41 不锈钢带极电流堆焊典型工艺参数

层 次	带极牌号	带极尺寸 /mm	堆焊电流 /A	焊接电压 /V	堆焊速度 /(cm/min)	带极伸出长度 /mm	焊道搭接量 /mm
第一层	00Cr25Ni11	0.45×60	550~570	30~34	18~20	38~42	4~6
第二层及以上各层	00Cr20Ni10	0.60×60	640~660	30~34	14~16	38~42	5~10

4 焊接工艺要素

焊接工艺要素，从广义上讲，它应包括对接头性能和致密性起决定性作用的所有工艺因素。除了以上所述的焊接方法以外，焊接工艺要素还有以下几项：

- 1) 焊接接头的形式与拘束度。
- 2) 焊前的加工和准备。
- 3) 焊件材料的种类和规格。
- 4) 焊接材料。
- 5) 焊前预热、层间温度和低温后热处理。
- 6) 焊后热处理。
- 7) 焊接能量参数。
- 8) 操作技术。
- 9) 焊后检查。

这些焊接工艺要素都应在焊接工艺评定中加以考虑，并在焊接工艺规程中作出明确的规定。

4.1 焊接接头的设计

焊接接头由焊缝、热影响区及相邻母材金属三部分组成。在一些重要焊接结构中，如锅炉、压力容器、船体结构中，焊接接头不仅是重要的连接元件，而且与所连接的部件共同承受工作压力、载荷、温度和化学腐蚀介质的作用。为此，焊接接头已成为整个金属结构不可分割的组成部分，它对结构运行的可靠性和使用寿命起着决定性的影响。

焊接接头的设计主要包括如下内容：

- 1) 确定接头的形式和位置。

- 2) 设计坡口形式和尺寸。
 - 3) 制定对接头质量的要求。
1. 焊接接头设计的基本准则

(1) 焊接接头与母材金属的等强性 等强性的含义应包括常温、高温短时抗拉强度、高温持久强度以及在交变载荷下的疲劳强度。

(2) 焊接接头与母材金属的等塑性 接头的塑性与原材料的塑性具有不同的定义。接头的塑性主要是指接头在结构中的整体变形能力。能经受结构部件在制造过程中以及运行过程中复杂的受力条件。

(3) 焊接接头的工艺性 焊接接头的工艺性即可施工性。它应布置在便于组装、焊接和检查（包括无损检测）的部位，焊接坡口形状和尺寸应适合所采用的焊接方法和工艺，具有较高的抗裂性并能防止焊接变形，应易于焊透并能避免形成其它焊接缺陷。

(4) 焊接接头的经济性 焊接是一种需消耗能量和焊接材料的工艺过程，故应尽量减少焊接接头的数量，并在保证接头性能的前提下，减薄焊缝金属的厚度。在设计焊接坡口形状时，应在保证工艺性的同时，尽量减小坡口的倾角和截面，应优先采用具有深熔特性的焊接方法，以尽可能采用 I 形坡口的对接接头的形式。

2. 受压壳体焊接接头的设计

锅炉锅筒、集箱、管道、压力容器等受压壳体上的焊接接头可按其受力状态及所处的部位分成如图 1-72a 所示的 A、B、C、D、E、F 六类。这种分类顺序并不是按其重要性和受力的高低排列的。例如 D 类焊缝受力状态的复杂性远远大于 C 类焊缝，而 F 类焊缝比 E 类焊缝更为重要。

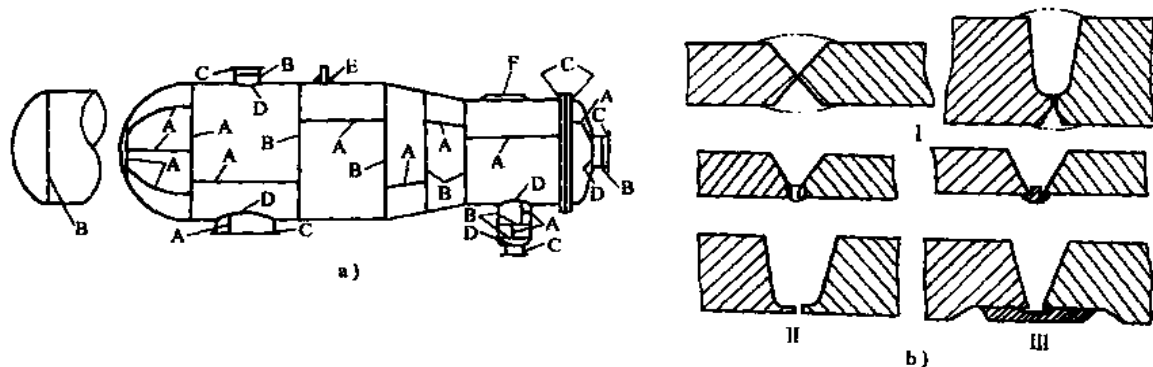


图 1-72 锅炉锅筒、集箱、管道、压力容器等受压壳体上焊接接头分类及其形式

a) 锅炉、压力容器受压壳体上焊接接头的分类 b) 受压容器 A、B 类接头的形式

I—双面对接接头 II—单面对接接头(全焊透) III—加衬垫的单面对接接头

A 类接头包括圆柱形壳体筒节的纵向对接接头、球形容器、凸形封头瓜片之间的对接接头、球形容器的环向对接头及球形封头与筒体相接的环向对接接头。大直径焊接三通支管与母管相接的对接接头。

B 类接头系指圆柱形、锥形筒节间的环向接头、接管筒节间及其与法兰相接的环向对接接头、除球形封头以外的各种凸形封头与筒体相接的环向接头。

C 类接头有法兰、平封头、端盖、管板与筒体、封头和接管相连的角接接头、内凹封头与筒体间的搭接缝，以及多层包扎容器层板间的纵向接头。

D 类接头是指接管、人孔圈、手孔盖、加强板、法兰与筒体及封头相接的 T 形线角接接头。

E 类接头包括吊耳、支撑、支座及各种内件与筒体或封头相接的角接接头。

F 类接头系在简体、封头、接管、法兰和管板表面上的堆焊层接头。

(1) A、B 类接头 锅筒、压力容器和各种储罐的 A、B 类接头，均应采用如图 1-72b 所示的全焊透双面对接接头形式，若因受结构尺寸的限制，只能从单面焊接时，也可采用单面对接接头的形式，但必须保证形成相当于双面焊的全焊透对接接头，这就要求在接头的背面加衬垫或采用单面焊双面成形的焊接工艺，如用钨极氩弧焊、等离子弧焊等。

当对接接头两侧壁厚不等，且厚度差大于较薄壳壁厚度的 $1/4$ 或 3mm 时，则应按图 1-73 所示的形式，将较厚的壳壁接头边缘削薄，其斜度至少为 $1:3$ 。

为避免相邻的焊接接头中，焊接残余应力的叠加和热影响区的重叠，A 类或 B 类接头之间的距离至少应保持为壁厚的 3 倍，且不小于 100mm。对于壁厚大于 20mm 的压力容器壳体上，应尽量避免十字形接头。同理，在 A、B 类接头上及其附近不应直接开管孔，如因管孔过于密集或受结构尺寸的限制，必须在这两类接

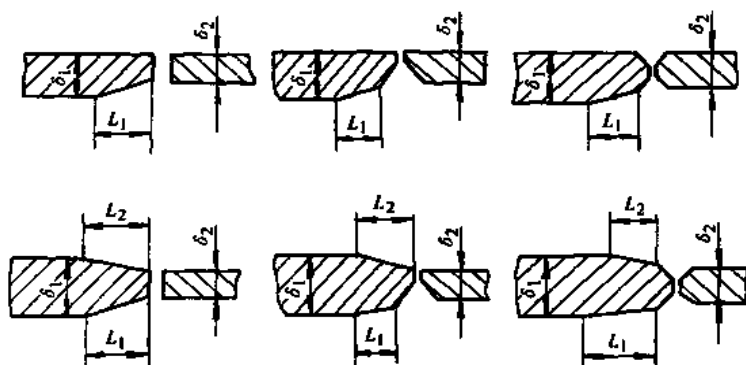


图 1-73 不等厚壳体对接接头边缘的削薄形式

$$L_1, L_2 \geq 3(\delta_1 - \delta_2)$$

头上开管孔时，则必须对开孔区附近的焊缝作 100% X 射线探伤或超声波探伤，如壳体壁厚大于 50mm，则在焊接接管之前，应将开孔区附近的焊缝作消除应力处理。

，容器简体和封头上的 A、B 类接头，应布置在不直接受弯曲应力作用的部位。如受压部件加载后发生弯曲而使焊缝根部集中产生弯曲应力，则不应采用单面焊局部焊透对接接头或直角角接焊缝。

A、B 类焊接接头应按容器的等级或工作参数作全部或局部的 X 射线探伤或超声波探伤，局部探伤时，其检查长度不得少于所检焊缝长度的 20%，且不得小于 250mm，T 形相交接头的部位必须作无损检测。

所有 A、B 类接头均应由制造厂在投产前完成焊接工艺评定试验，以检验按该焊接工艺规程焊接的接头，其性能是否符合设计要求。

上述各种对接接头的坡口形式和尺寸可参见 GB985—88 和 GB986—88 标准。

(2) C 类接头 C 类接头主要用于法兰与简体或接管的连接。因法兰的厚度通常比壳体或接管的壁厚大得多，这类接头不要求采用全焊透的接头形式，可以采用如图 1-74 所示的局部焊透 T 形接头。对于工作压力较低的小直径接管法兰，可以采用 I 形坡口的角焊缝来连接，但必须在法兰的内外两面进行封焊。这样既可防止法兰的焊接变形，又可保证法兰所要求的刚度，对于平封头、端盖、管板与简体间相接的角焊缝，因工作应力较高且复杂，应采用全焊透的 T 形角接接头。对这种接头也要求作超声波探伤。为减小角焊缝焊趾部位的应力集中，角焊缝的表面应按要求加工成圆角，圆角半径 r 最小为接管壁厚的 0.25 倍，但不小于 4.5mm。

(3) D 类接头 在锅筒和压力容器中，D 类接头的受力状态比 A、B 类接头复杂得多，因此应选择最合理而又可靠的接头形式。

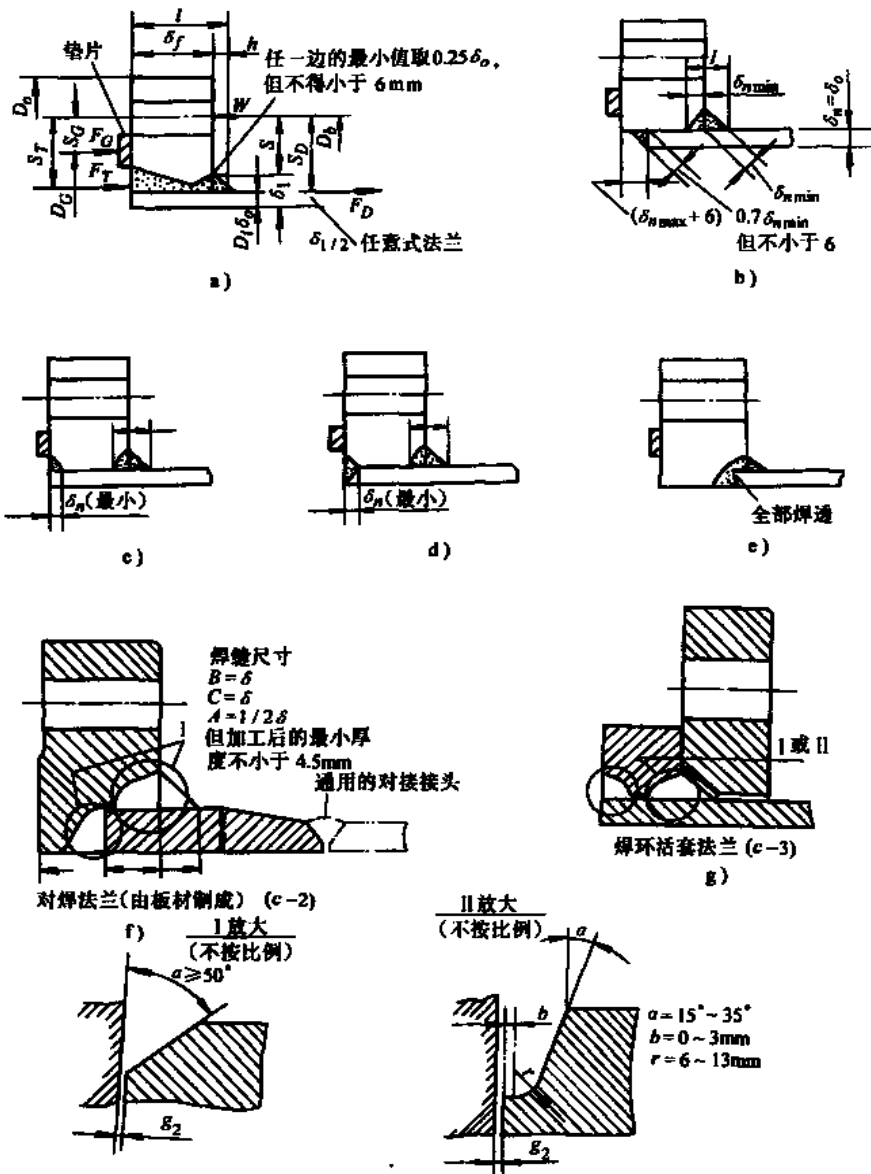


图 1-74 C 类接头的各种典型形式

目前,最常用的 D 类接头形式有插入式接管全焊透 T 形接头、插入式接管局部焊透 T 形接头、带补强圈插入式接管 T 形接头、骑坐式接管角接接头以及小直径法兰和接管的角接接头。其典型的形式和坡口形状如图 1-75、图 1-76、图 1-77 和图 1-78 所示。

1) 插入式接管全焊透 T 形接头 从力学角度分析,这种接头形式工作最可靠,使用寿命最长。高温、高压和低温压力容器、承受交变载荷,或低合金高强度钢制容器上直径大于 100mm 的接管,均应采用这种

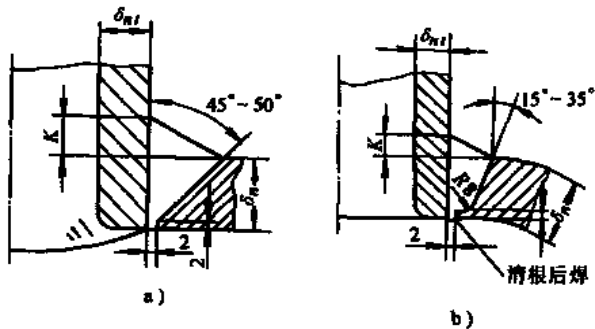


图 1-75-1 插入式接管全焊透 T 形接头典型形式

全焊透 T 形接头形式 (图 1-75-I)。在设计这类接头时,壳体壁厚和接管壁厚应整体均匀增厚,并充分利用角焊缝的余高对开孔进行补强,使接头在满足强度要求的前提下具有一定的柔性,以减小接头的拘束度,提高抗裂性。如要求接头具有较高的低周疲劳强度或抗低温脆断能力,应将接管的端部内棱角和角焊缝外表面加工成圆角,以降低应力集中系数。这种形式的接头焊后应按要求作超声波探伤或 X 射线探伤以便对接头的质量实行有效的控制。

2) 插入式接管局部焊透 T 形接头 在中低压常温容器中,允许采用插入式接管局部焊透 T 形接头,其坡口形状、尺寸和倾角以及焊缝高度尺寸的要求见图 1-75 II。其中图 1-75 II a 和图 1-75 II b 形接头适用于厚度小于 20mm 的薄壁容器,且接管的壁厚小于容器壳壁的 1/2。图 1-75 II b 形接头中,孔边缘加工成近似 45° 坡口,以增加焊缝的熔透深度,但焊缝根部尚存在未焊透的部分,只能用于低碳钢制低压容器中。对于壁厚为 20~50mm 的容器,应采用图 1-75 II c、d 和 e 形双面开坡口的局部焊透的 T 形接头。如要求较大的焊缝厚度,则应采用图 1-75 II e 形接头。

3) 带补强圈插入式接管 T 形接头 这种接头只适用于低碳钢薄壁容器的大直径接管。补强圈对容器壳体的开孔虽有一定的补强作用。但因 T 形接头的焊缝厚度差不多增加了一倍,这不仅加大了焊接工作量,而且还提高了接头的拘束度,焊接缺陷的几率也明显增高。由于这类接头无法进行射线探伤或超声波探伤,焊缝质量的控制较为困难,因此要慎重选用。但在满足强度要求的前提下,适当地减小焊缝截面和高度、可在一定程度上减轻其不利的方面。

4) 骑座式接管角接接头 这种形式的接头具有拘束度低、焊缝截面小的优点,其缺点是接管角焊缝的收缩应力垂直于壳体钢板的厚度方向,而容易引起壳体开孔部位的层状撕裂。这就要求采用抗层状撕裂性高的钢板制造壳体,使其在厚壁容器中的应用有一定的局限性。这种接头形式比较适用于壁厚 30~60mm 中等厚度的压力容器,接管直径的适用范围为 32~250mm。图 1-76 为几种常用的接头形式,其中图 1-77a 和图 1-77b 形接头适用于厚壁接管,焊后加工接管的内壁,去除根部未焊透。图 1-77c 形接头一般用于内径小于 100mm 的接管。图 1-77d 形接头常用于直径小于 50mm,壁厚小于 6mm 的接管。图 1-77e 形接头可用于内径大于 50mm,且小于 150mm,壁厚大于 6mm 的厚壁接管。

为防止这种环向封闭的局部焊透角接焊缝根部出现裂纹,应使接缝在焊接过程中有自由收缩的余地,在接管装配时,应将管端与管座台肩之间留出 1.6mm 的间隙。为便于装配,保

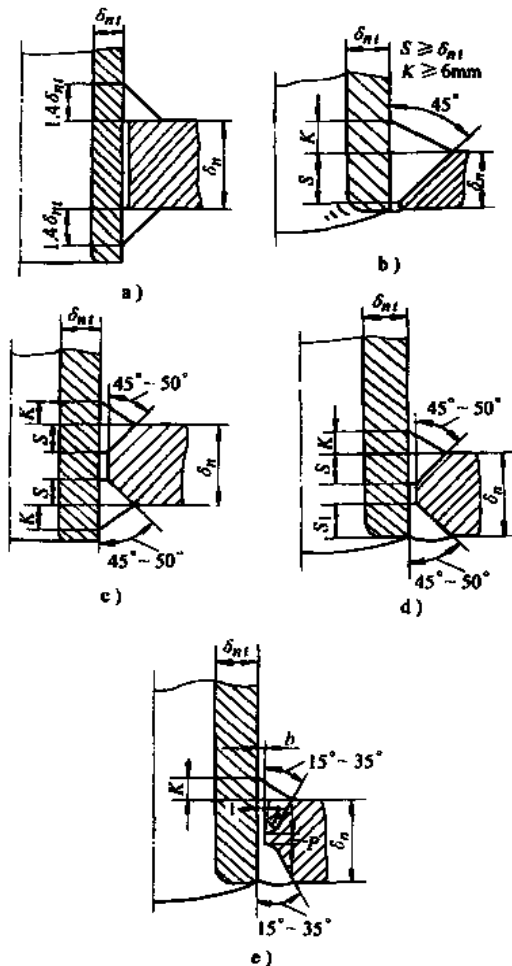


图 1-75-I 局部焊透 T 形接头典型形式

证规定的间隙, 可将管座台肩加工成斜面。

5) 小直径法兰和接管角接接头 公称直径小于 76mm 的法兰盘、内螺纹管接头和直管接头可采用图 1-78 所示的角接接头形式, 直接与壳体相焊。除了低压薄壁容器可选用 aI 形坡口的角接接头之外, 其余形式的接头均要在接管端部或壳体开孔边缘开一定深度的坡口。对于图 1-76d、e、f 形接头, 管接头插入壳体的深度至少应等于接管的壁厚且不小于 6.5mm。

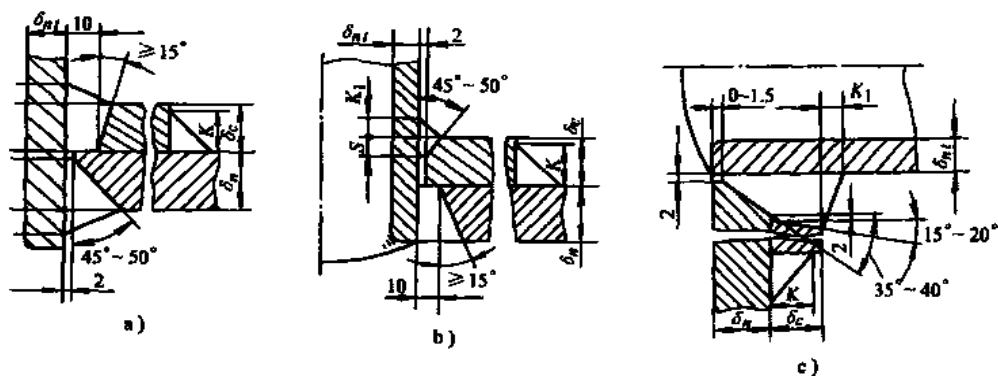


图 1-76 带补强圈插入式接管 T 形接头形式

- a) 当 $\delta_c \leq 8\text{mm}$ 时, $K = \delta_c$; $\delta_c > 8\text{mm}$ 时, $K = 0.7\delta_c$, 且不小于 8mm; $K_1 \geq 1/3\delta_{n1}$, 且不小于 6mm
 b) 当 $\delta_c \leq 8\text{mm}$ 时, $K = \delta_c$; $\delta_c > 8\text{mm}$ 时, $K = 0.7\delta_c$, 且不小于 8mm; $K_1 \geq 6\text{mm}$ $S = 2/3n$
 c) 当 $\delta \leq 8\text{mm}$ 时, $K = \delta_c$; $\delta_c > 8\text{mm}$ 时, $K = 0.7\delta_c$, 且不小于 8mm; $K_1 \geq 1/3\delta_m$, 且不小于 6mm

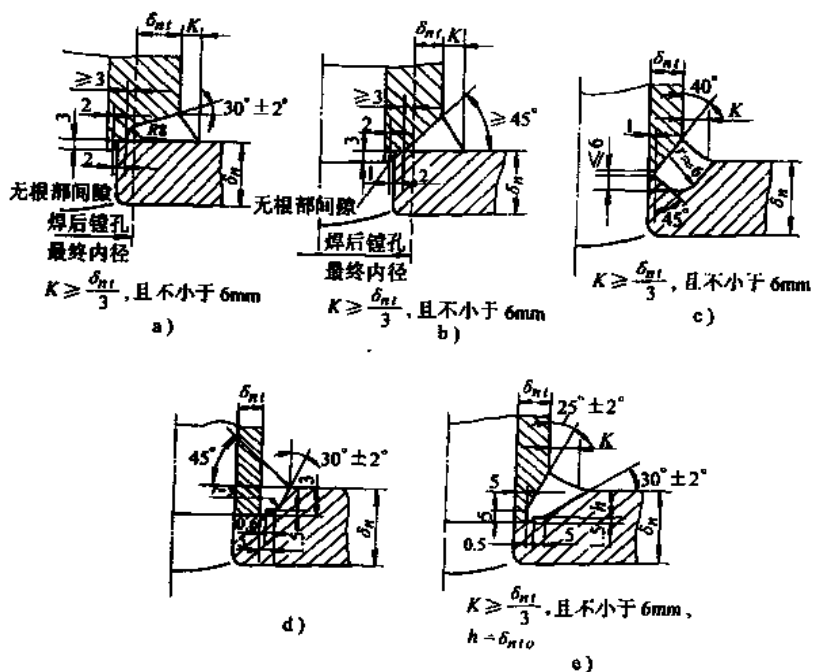


图 1-77 骑坐式接管角接接头的典型形式

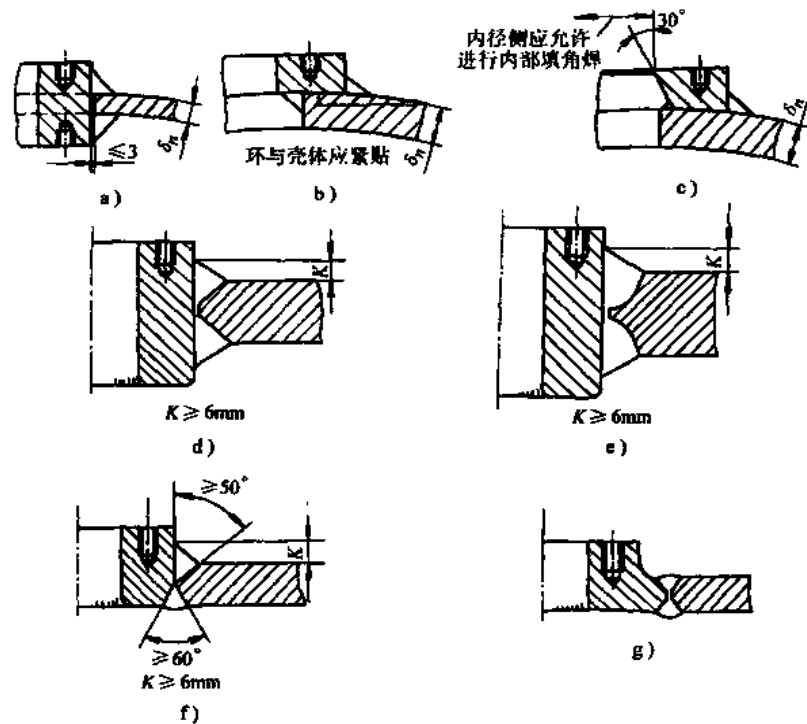


图 1-78 小直径法兰和接管角接接头的典型形式

在常温厚壁容器中,直径小于 50mm 的管接头也可采用如图 1-78d、e 形角接接头与壳体相焊,但必须保证简图上所标注的焊缝尺寸。这种情况下,不允许采用开 I 形坡口的单面焊角接接头。这些角接接头如用于低合金钢制容器,应对角焊缝表面及热影响区作磁粉探伤。对于高压或低温容器,推荐采用图 1-78g 形全焊透对接接头。

(4) E 类接头 非受压部件与受压部件(筒体、封头、接管)相连接的 E 类接头,主要采用搭接和角接形式。立式容器裙座与封头的连接是典型的搭接接头。其余附件与壳体连接的焊缝大多采用角接接头。附件与壳体连接焊缝的形式如图 1-79 所示。吊耳、支架、角撑等承载部件与壳体的连接应采用双面开坡口的全焊透角焊缝,单侧角焊缝的厚度应为承载件连接处厚度的 0.7 倍,但不得小于 6mm。加强肋之类无强度要求的联系焊缝可采用开 I 形坡口的双面角焊缝。角焊缝的厚度应等于加强肋厚度的 0.7 倍,且不小于 6mm。如承载件与厚度超过 100mm 的厚壁壳体相焊,为防止焊缝底部产生的层状撕裂,则应在焊前将连接部位的壳体表面加工出一定深度的凹槽,并采用与壳体材料等强、塑性较好的焊条作预堆焊。堆焊层厚度至少为 20mm,堆焊层表面应与壳体表面平齐,用砂轮修磨平整后,再将承载件与堆焊层相焊,如壳体材料和承载件材料为低合金结构钢,焊后应对焊缝及热影响区作表面磁粉探伤。

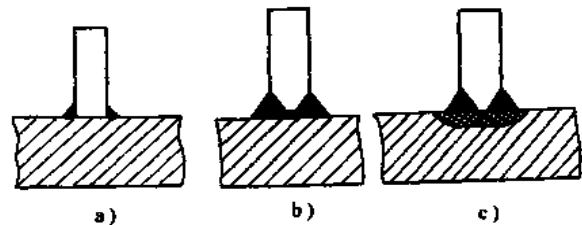


图 1-79 附件与壳体连接焊缝的形式

a) 不开 I 形坡口角接 b) 开坡口全焊透角接 c) 预堆焊角接

4.2 焊接结构用材料

焊接结构用材料是拟定焊接工艺规程的基本依据之一,也是决定焊接接头性能的主要因素之一。现代的焊接结构都是以等强、等韧性和等塑性原则设计的,即对接头性能的要求等

同于所焊材料相应标准规定的下限值。因此,所焊材料的各项性能又是评定焊接接头性能的基准。每个焊接工艺人员,除了应掌握结构材料的焊接性外,必须全面了解结构材料的力学性能以及与焊接有关的其它各项性能,如冷、热加工性能,热处理性能以及在各种工作条件和介质作用下的性能。

1. 焊接结构材料的种类

当前,焊接结构已扩大应用于各工业部门,在各类焊接结构中采用的结构材料已超出百余种。其中最常用的结构材料种类综列于表 1-42。

表 1-42 常用的焊接结构材料种类

材料类型	材料种类	合金系列	强度等级/MPa	焊接性
一、结构钢	1. 碳素结构钢	低碳: $w_C \leq 0.25\%$ 中碳: $w_C 0.25 \sim 0.60\%$ 高碳: $w_C \geq 0.60 \sim 1.0\%$	315~510 450~645 675~1080	良好 尚可 差
	2. 低合金高强度钢			
	2.1 热轧与正火钢	C-Mn, C-Mn-V C-Mn-Nb, C-Mn-Ti Mn-Mo-Nb Mn-Mo-V	431~588 510~734	尚可 尚可
	2.2 热处理强化钢	Mn-Ni-Mo Mn-Mo-V-N, Mn-Mo-Nb Mn-Mo-Nb-B, Ni-Cr-Mo-V Mn-Cr, Ni-Mo-V-B	590~1029	尚可
	3. 超高强度钢			
	3.1 低合金超高强度钢	Cr-Mn-Si-Al Cr-Mn-Si-Ni	657~1862	较差
	3.2 中合金超高强度钢	Cr-Mo-V-Si	1750~2070	差
	3.3 高合金超高强度钢	Cr-Ni-Al	1400~2100	尚可
	沉淀硬化高强度钢	Cr-Ni-Mo-Al		
	马氏体时效钢	Ni-Co-Mo-Ti-Al Cr-Ni-Mo-Ti-Al		
二、特种结构钢	1. 耐热钢			
	2.1 低合金耐热钢	Cr-Mo, Cr-Mo-V, Cr-Mo-W-V	410~740	尚可
	2.2 中合金耐热钢	Cr-Mo, Cr-Mo-V, Cr-Mo-W-V	414~833	差
	2.3 高合金耐热钢	Cr-Ni, Cr-Ni-Ti, Cr-Ni-Nb, Cr-Ni-Mo	363~1515	尚可到差
	2. 低温钢	Mn, Ni, Mn-V, Mn-Nb	392~794	尚可
	3. 不锈钢			
	3.1 马氏体不锈钢	Cr	412~588	差
	3.2 铁素体不锈钢	Cr-Al, Cr-Mo	368~451	尚可
	3.3 奥氏体不锈钢	Cr-Ni, Cr-Ni-Mo, Cr-Ni-Ti	481~637	良好
	3.4 铁素体-奥氏体不锈钢	CrNiMo, CrNiMoSi	538~588	尚可
三、有色金属	1. 铝及其合金	Al, Al-Mg, Al-Cu, Mg Al-Ni, Al-Fe, Al-CuSi-Mn	90~470	尚可
	2. 铜及铜合金	Cu, CuZn, CuSn, CuAl	313~980	尚可
	3. 镍及镍合金	Ni, Ni-Cu, Ni-Cr Ni-Mo, Ni-Cr-Fe, Ni-Cr-Mo	400~1000	良好
	4. 钛及钛合金	Ti, Ti-Al, Ti-Al-V, Ti Ti-Al-Sn, Ti-Mo-V, Cr-Al	340~1320	良好

在我国,表 1-42 中各种材料的化学成分和力学性能基本都已标准化。这些标准的名称及编号列于表 1-43。

表 1-43 材料标准名称及其编号

序 号	标 准 名 称	编 号	备 注
1	碳素结构钢	GB700-88	
2	优质碳素结构钢	GB699-88	
3	船体用结构钢	GB712-88	
4	压力容器用碳素钢和低合金钢厚板	GB6654-86	
5	低温压力容器用低合金钢厚板技术条件	GB3531-1996	
6	低合金结构钢	GB1591-94	
7	锅炉用碳素钢和低合金钢板	GB713-86	
8	低中压锅炉用无缝钢管	GB3087-82	
9	高压锅炉用无缝钢管	GB5310-1995	
10	结构用不锈钢无缝钢管	GB/T14975-1994	
11	不锈钢酸及耐热钢厚板技术条件	GB3281-82	
12	不锈钢酸及耐热钢薄板技术条件	GB3280-82	

2. 结构材料的焊接性

金属材料的焊接性包括三方面的内容：即工艺焊接性、使用焊接性和焊接适应性。工艺焊接性系指材料在特定的工艺条件下，形成完整的焊接接头的能力，通常以材料对焊接缺陷的敏感性，以及所采取的工艺措施的复杂程度来评定材料的工艺焊接性。使用焊接性是指所形成的焊接接头能否满足产品技术条件的要求，以及在长期服役过程中稳定可靠工作的能力。焊接适应性是指材料本身对焊接工艺过程的适应程度，即材料在特定的焊接工艺条件下形成无缺陷、性能与母材金属相当的焊接接头的可能性。影响材料焊接性的因素是多方面的。它首先取决于材料本身的化学成分、合金含量、热处理状态和冶炼方法；其次，它与所采用的焊接方法的热过程和冶金过程有关；第三，它还取决于焊接结构的刚度和接头的厚度，即取决于焊接结构的拘束度。

材料的焊接性可以通过焊接性试验来确定。对于已积累大量实验资料和数据的结构材料，如碳素钢和低合金结构钢，可以采用计算方法，按钢材的实际化学成分，接头形式和其它有关的数据确定钢材的焊接性等级。

焊接性试验有直接试验法和间接试验法两种。直接试验法是模拟产品接头形式、拘束度和相应的工艺条件进行的试验、间接试验法是采用小型试样在热模拟试验机上进行模拟焊接热和应变循环的试验。按评定指标的内容，焊接性试验方法可分为最高硬度法、冷裂试验法、高温裂纹试验法和再热裂纹试验法。对于新研制的金属材料应采用直接或间接的试验法测定其焊接性。对于已纳入国家标准的常用材料和钢种，按现代的焊接性计算方法，已可以足够的精确度确定钢材的焊接性等级。

(1) 钢材冷裂性的计算方法 钢材冷裂性计算方法有两种：一种是硬度法，另一种是氢含量法。硬度法的基本原理是，假设热影响区硬度如低于某一临界值，则裂纹就不会产生。这可以通过控制冷却速度低于某一临界值来达到，而临界冷却速度取决于钢的淬硬性，也就是焊接热影响区形成淬硬组织的倾向。它可以形成一定硬度等级的组织所需的冷却速度来表征。钢的淬硬性越高，临界冷却速度越低。大量的实验数据和生产经验证明，如果热影响区的维氏硬度低于 350HV，则即使采用高氢含量的焊条焊接，角焊缝热影响区也不会出现裂纹。如果采用低氢型焊条焊接，则热影响区硬度容许提高到 400HV，而不致出现裂纹。但需强调指出，投入运行的焊接接头中，这样高的硬度是不容许的，它将导致产生应力腐蚀裂纹的危险，诱发脆性断裂或其它形式的提前失效。这种硬度计算法的缺点是，未明确考虑氢含量和接头

拘束度对焊接裂纹的作用。因此,它只适用于确定单层角焊缝的裂纹倾向和焊接性等级。

氢含量计算法的原理是,假设焊接接头冷却到 50°C 后,其中残留的平均氢含量不超过某一临界值,则不会出现裂纹,而临界平均氢含量取决于钢的成分和接头拘束度。这种计算方法主要是以高拘束度局部焊透的开坡口焊缝试验结果为基础的,并以相当于根部焊道的低热输入量熔敷试验焊道,热影响区基本处于淬硬状态。因此,这种方法特别适用于淬硬性较高的低合金高强度钢。采用这种计算方法的先决条件是,要求预先测定(或计算)接头的拘束度和焊接熔池中起始氢含量。

1) 硬度算法 第一步按下列公式计算钢种的碳当量。

$$CE = 1w_C + 1/6w_{Mn} + 1/6w_{Si} + 1/5w_{Cr} + 1/5w_{Mo} + 1/5w_V + 1/15w_{Ni} + 1/15w_{Cu}$$

钢的化学成分可通过下列途径获取:

- ① 钢厂的质量证书。
- ② 钢厂提供的典型化学成分。
- ③ 标准规定的化学成分(取最大值)。
- ④ 使用单位的复验结果。

第二步按求得的碳当量,从图 1-80 所示的曲线确定相应于 350HV 和 400HV 硬度的临界冷却速度 R_{c40} (°C/s)。临界冷却速度越高,则钢材的焊接性越好。

2) 氢含量算法 首先按钢材的实际化学成分,根据下列公式求得成分指数 P_{cm}

$$P_{cm} = 1w_C + 1/30w_{Si} + 1/20w_{Mn} + 1/20w_{Cu} + 1/60w_{Ni} + 1/20w_{Cr} + 1/15w_{Mo} + 1/10w_V + 5/20w_B$$

将焊缝金属实际可能达到的氢含量分为三个等级。水银法测定的扩散氢含量小于 5mL/100g 为超低氢,扩散氢含量小于 10mL/100g 为低氢,10mL/100g 以上为高氢。综合考虑成分指数和氢含量,可将钢材的焊接性划分为 7 个等级,列于表 1-44。若进一步考虑接头的拘束度和板厚,则可求得防止裂纹所要求的最低预热温度和层间温度。

(2) 钢材热裂指数计算方法 钢材在焊接过程中的热裂倾向可采用下列热裂指数计算公式进行评定。若按钢材的实际化学成分计算的热裂指数 $H_{th} > 3.6$, 则表明该钢种在一定的工艺条件下会产生热裂纹。

$$H_{th} = \frac{C \left(S + P + \frac{Si}{2S} + \frac{Ni}{100} \right) \times 10^3}{3Mn + Cr + Mo + V}$$

由上式可见,C 含量和 S、P 等杂质和 Si、Ni 合金元素属于促使热裂纹形成的有害元素,而 Mn、Cr、Mo、V 等合金元素则能阻止热裂纹的形成。焊接热裂纹主要是由冶金因素引起的,只要将焊缝金属中的 C、S、P 含量控制在临界值以下,并将促使热裂形成的合金元素限制在容许范围内,即可防止热裂的形成。对于普通碳钢和低合金钢,焊缝金属中 C 的质量分数不应超过 0.15%,S 和 P 的质量分数不应超过 0.02%,合金元素 Nb 的质量分数不应超过

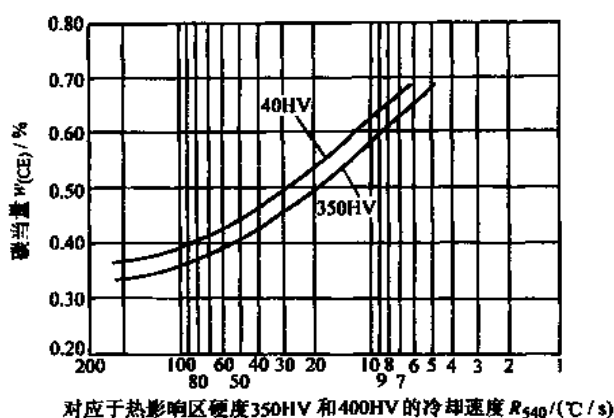


图 1-80 对应于 350HV 和 400HV 硬度的临界冷却速度

0.03%, Ni 的质量分数不宜超过 1.5%, 其它合金元素则有利抑制焊缝热裂纹的形成。因此, 在某种程度上, 焊接热裂纹问题比冷裂纹较易解决。对钢材焊接性的评级基本上是按照钢的冷裂倾向进行的。

表 1-44 冷裂指数与氢含量及成分指数的关系

氢含量(水银法测定)	冷裂敏感指数				
	成分指数 $P_{cm}/\%$				
	<0.18	<0.23	<0.28	<0.33	<0.38
H_1	A	B	C	D	E
H_2	B	C	D	E	F
H_3	C	D	E	F	G

注: 冷裂敏感性指数为: $12P_{cm} + \log_{10}H$

$A=3.0$, $B=3.1\sim3.5$, $C=3.6\sim4.0$, $D=4.1\sim4.5$, $E=4.6\sim5.0$, $F=5.1\sim5.5$, $G=5.6\sim7.0$

$H_1=5\text{mL}/100\text{g}$, $H_2=10\text{mL}/100\text{g}$, $H_3=30\text{mL}/100\text{g}$

(3) 钢材的焊接性分等 在焊接工艺评定工作中, 为避免不必要的重复, 将焊接性和强度级别基本相等的各种钢材归为一类, 同一类不同钢号的工艺评定可相互通用。例如美国 ASME 锅炉与压力容器法规, 就是按照这一原则将钢材的其它金属材料分类并冠以 P 编号。几十年实际使用的经验证明, 这种分类方法是可行而有效的。其前提是所焊的钢种必须是得到 ASME 锅炉与压力容器法规认可的, 并已积累多年的焊接实际经验, 对其焊接性及焊接工艺已有较全面的了解。在我国各制造工业中目前尚未建立完整的法规体系, 钢材的认可工作也未纳入正规, 因此对钢材焊接性的分类还缺乏坚实的基础。根据作者所掌握的资料和积累的经验, 对在锅炉和压力容器中最常用的钢种, 可按上述原则就其焊接性分为如表 1-45 所示的 8 类 15 个等级。多年来的锅炉与压力容器焊接接头工艺评定试验证明, 这种分类方法基本上是合理的。

表 1-45 锅炉与压力容器钢按焊接性的分类

类别号	级别号	钢 号
I	I-1	Q215, Q235, 10
	I-2	Q255, 20, 20g, 20R
II	II-1	09Mn2VDR, 06MnNbDR, 09MnTiCuXtDR
	II-2	16MnR, 16MnDR, 19Mn6, SM53C, 16MnRC
III	III-1	15MnVR, 15MnVg, 15MnVRC, Q390, 15MnTi
	III-2	15MnVNR, 20MnMo, CF-62
IV	IV-1	15MnMoVN, 18MnMoNbR, 14MnMoVg, 13MnNiMoNbR, 13MnNiMo54
V	V-1	16Mo, 15Mo
	V-2	12CrMo, 15CrMoR, 13CrMo44, SA387-12
VI	VI-1	12Cr1MoV, 12Cr2Mo1R, SA387-22, 10CrMo910
	VI-2	10Cr5Mo, 12Cr2MoWVTiB, 12Cr3MoVTiB
VII	VII-1	1Cr18Ni9Ti, 1Cr18Ni9, 00Cr19Ni11 (00Cr18Ni10)
	VII-2	0Cr18Ni12Mo2Ti, 1Cr18Ni12Mo2Ti, 00Cr17Ni14Mo2, 00Cr19Ni13Mo3 (00Cr17Ni14Mo3)
VIII	VIII-1	0Cr13, 1Cr13, 1Cr17Ni2
	VIII-2	1Cr17, 0Cr17Ti, 1Cr17Ti, 1Cr25Ti

4.3 焊接材料

1. 焊接材料的类别

焊接材料按其作用可分为焊接填充材料和焊接辅助材料两大类。焊接填充材料是焊缝金属的主要组成部分，它直接决定了焊接接头的各项性能。焊接辅助材料的作用则有好多种。一种是焊接过程中只起保护焊接熔池的作用，不参与任何冶金反应，例如惰性气体和无氧焊剂等。另一种是既有保护作用，又参与焊接过程的冶金反应，例如，大多数埋弧焊焊剂、 CO_2 保护气体及其混合气体。还有一种是在参与冶金反应的同时，成为焊缝金属的一部分，例如可熔衬环和添加铁粉的焊剂等。

焊接填充材料现有下列各种形式：药皮焊条、实心焊丝、药心焊丝、焊带、填充金属粉末等。焊接辅助材料有焊剂、保护气体和可熔衬垫等。其中大多数焊接材料对接头的力学性能以及耐热、耐蚀性能起着决定性的作用，或产生重大的影响。因此，它是焊接工艺评定中必须考虑的要害之一。

2. 对焊接材料的基本要求

焊接材料首先应对焊接区提供良好的保护，防止各种有害气体的侵入，并通过适当的冶金反应将焊缝金属合金化，使焊缝金属具有较高的抗裂性和符合要求的各项性能。

在一些重要的焊接结构中，由于按等强原则进行设计，对接头的性能提出了较高的要求，原则上应与焊件母材金属等强、等塑（韧）和等耐蚀性。

焊接接头的等强性应理解为焊缝金属的强度不低于母材金属标准规定的下限值。这里所指的强度应包括常温、高温和持久强度。实际上，焊缝金属的强度值与母材金属相应强度值完全相等是不可能的，另外，母材金属和焊缝金属的金相组织不同，其屈服比也有明显的差异，很难使焊缝金属的抗拉强度和屈服点同时达到母材金属标准的规定值，按现行大多数焊接结构设计标准，按强度极限选取的许用应力低于按屈服点选取的许用应力。因此，可只按抗拉强度指标考核焊缝金属的强度。

对于高温、高压部件，应当按最高设计温度下的强度指标评定焊缝金属的强度，而不必强求室温强度同时达到母材金属的规定指标。

等塑（韧）性是指焊缝金属的塑性和韧性不低于母材金属标准规定的塑性和韧性指标的下限值。这里所指的塑性包括常温、低温和高温的塑性和韧性。同时应在各种冷热加工过程中具有足够的变形能力，并保证经多次热处理和长期高温运行后，焊缝金属的塑性和韧性不低于母材金属标准规定的最低值。

等耐蚀性是指焊缝金属的抗氢能力，耐化学腐蚀的稳定性、抗氧化性和耐应力腐蚀能力，不低于母材金属标准或产品技术条件规定的相应指标。为实现这一要求，首先应选择合金成分不低于母材金属的焊接材料，并考虑焊接热和应变过程对接头耐蚀性的影响。因此，焊缝金属的合金成分往往略高于母材金属，而碳含量则应控制在低于母材金属的极限值以下。

3. 影响焊缝金属性能的因素

(1) 气体对焊缝金属性能的影响 在焊接过程中，空气中的氧、氮以及焊条药皮或焊剂组分在高温下分解产生的一氧化碳、二氧化碳和氢，都会不同程度地进入焊接区，与熔化金属发生反应。在这些气体中，氧、氮和氢对焊缝金属的性能会产生最不利的影响。

1) 氧的影响 氧在钢中有一定的溶解度, 当氧含量超过溶解度时, 则以氧化铁和硅酸盐的形式存在。这些夹杂物会严重地降低钢的强度、塑性和韧性, 如图 1-81 曲线所示。氧化物还可能与硫化物形成低熔点共晶体夹杂物, 加剧焊缝金属的冷脆性和热裂敏感性, 溶于熔化金属中的氧会与碳及氢发生作用, 而生成不溶于钢中的一氧化碳和水汽, 导致焊缝金属中气孔的形成。为降低焊缝中的氧含量应采取相应的措施, 首先应选择适当的焊接材料, 加强对焊接区的保护作用; 其次应通过焊条药皮或焊剂与熔化金属的脱氧反应, 去除氧气; 第三是仔细清除焊件和焊丝表面的水分和污染物。

各种熔焊方法由于所采用的焊接材料不同, 保护和脱氧效果有较大的差别。表 1-46 列出了各种焊接方法焊接的焊缝金属中的含氧量。其中氩弧焊焊缝金属的含氧量最低。

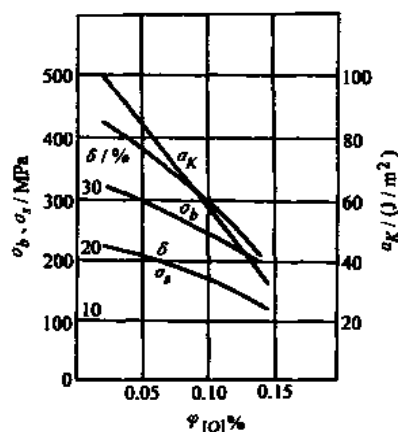


图 1-81 氧对低碳钢力学性能的影响

表 1-46 各种焊接方法焊接的焊缝金属中的含氧量

焊接方法		焊缝金属中的 $\varphi_{O_2}/\%$	焊接方法	焊缝金属中的 $\varphi_{O_2}/\%$
焊条电弧焊	钛钙型焊条	0.05~0.07	电渣焊	0.01~0.02
	低氢型焊条	0.02~0.03	CO ₂ 气体保护焊	0.02~0.07
埋弧焊		0.03~0.05	氩弧焊	0.0017

2) 氮的影响 氮在高温下可以原子形式溶于钢中, 而在常温下, 氮在钢中的溶解度很低, 当温度从高温向低温下降时, 溶解度会发生突变, 并以气泡形式向外逸出。因此, 氮是焊缝中形成气孔的主要因素之一。在焊接过程中, 由于焊缝金属的冷却速度很快, 部分氮会过饱和固溶于铁素体中, 在一定的温度条件下, 氮以针状氮化物的形式析出, 并分布于晶界和晶粒内部, 使钢的强度提高, 塑性和韧性急剧下降, 如图 1-82 曲线所示。当钢中固溶氮含量较高时, 在室温以上和 300°C 以下的温度范围内, 氮会逐渐脱溶与铁结合成稳定的针状氮化铁而产生所谓时效脆性现象。

为降低焊缝金属中的氮含量, 除了加强对焊接区的保护外, 还可在焊接材料中加入 Ti、Zr、Nb 和 Al 等对氮有较强亲和力的元素, 这些合金元素生成的氮化物均以弥散状态分布于晶内, 不致产生如氮化铁那样的有害影响。

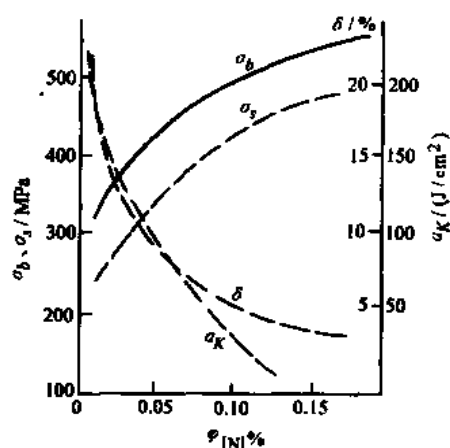


图 1-82 氮含量对低碳钢力学性能的影响

表 1-47 列出几种常用焊接方法焊接的焊缝金属中的氮含量。其中埋弧焊由于焊剂对空气的隔离作用较强, 焊缝金属中的氮含量最低。

3) 氢的影响 焊接气氛中的氢来源于焊条药皮、焊剂中的水分、有机物、附着在焊丝和

焊件表面的油污和水分, 这些污染物在电弧高温的作用下, 分解出氧和氢, 并以原子或离子状态溶入熔化金属中。氢在金属中的溶解度随着温度的降低而急剧下降。由于焊接熔池的冷却速度相当快, 在焊缝金属的凝固过程中, 只有一部分氢逸出, 部分氢则残留在凝固的焊缝金属中。由于氢原子的半径很小, 即使在常温下, 也能在金属的晶格间自由扩散, 这部分氢称为扩散氢。如氢聚集到金属的微观缺陷及非金属夹杂物与基体金属的空隙中, 会结合成氢分子。这种氢分子的半径较大, 不能再自由扩散, 这部分氢称为残余氢。焊缝金属中残余氢的含量较少, 大部分是扩散氢。表 1-48 列出了各种焊接方法焊接的碳钢焊缝金属中的氢含量典型数据。

表 1-47 各种焊接方法焊接的焊缝金属中的氢含量

焊 接 方 法		焊缝金属中的 $\varphi_{H_2}/\%$	焊 接 方 法	焊缝金属中的 $\varphi_{H_2}/\%$
焊条电弧焊	钛钙型焊条	0.015	CO ₂ 气体保护焊	0.008~0.015
	低氢型焊条	0.010	埋弧焊	0.0068
埋弧焊		0.002~0.007		

表 1-48 各种焊接方法焊接的碳钢焊缝金属中的氢含量

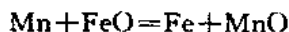
焊 接 方 法		扩散氢含量 mL/100g	焊 接 方 法	扩散氢含量 mL/100g
焊条电弧焊	酸性焊条	20~30	埋弧自动焊	2.0~5.0
	低氢型焊条	2.50~4.8	CO ₂ 气体保护焊	1.0~1.5

氢对焊缝金属的性能会产生种种不利的影响。若在高温液态焊缝金属内溶解了大量的氢, 则可能在焊缝中引起气孔, 残留的氢会使金属变脆。在碳钢和低合金钢焊缝金属中, 当氢含量较高时, 氢在显微空隙处的聚集量会明显增多, 氢脆倾向加剧。当焊缝金属经受拉伸变形时, 会在金属内部出现大小不等的局部断裂, 这些断裂面通常为圆形, 呈银白色, 故称之为“白点”或“鱼眼”。

在低合金高强度钢焊接接头中, 氢是促使焊缝金属及热影响区冷裂纹的主要因素之一。因此在低合金高强度钢和超高强度钢焊接时, 必须选用低氢型碱性药皮焊条或碱性埋弧焊焊剂。将焊缝金属中的氢含量降低到 5mL/100g 以下, 可有效地防止冷裂纹的形成。

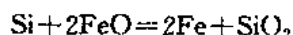
(2) 冶金反应的作用 为获得优质的焊缝金属, 除了采取各种措施加强焊接区的保护外, 还需利用焊条药皮、埋弧焊剂或填充焊丝中的合金成分在熔滴过渡过程中以及液态熔池中进行脱氧、脱氮、脱硫和脱磷等冶金反应。

1) 脱氧反应 已溶于焊缝金属中的氧, 主要通过脱氧元素的冶金反应加以去除。在焊接材料中最常用的脱氧元素有 Mn, Si, Ti 和 Al 等。锰的脱氧反应为



MnO 呈碱性, 不溶于铁, 能与酸性氧化物 SiO₂ 等形成复合硅酸盐, 浮于熔池表面形成熔渣。

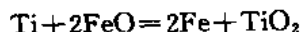
硅的脱氧反应为:



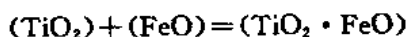
Si 的脱氧作用较强, 但 SiO₂ 的熔点较高, 粘度大, 不利于脱渣。因此, 通常采用硅锰联

合脱氧。将锰和硅的比例控制在 3~7 之内，可形成复合硅酸盐 ($\text{MnO} \cdot \text{SiO}_2$)。

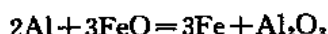
钛的脱氧反应为：



钛的脱氧作用比锰、硅强烈，反应产物 TiO_2 不溶于铁，而 TiO_2 可与 FeO 按下列反应结合成钛酸盐，浮于熔池表面。



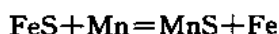
铝的脱氧反应为：



铝的脱氧作用虽很强烈，但脱氧后形成的 Al_2O_3 熔点很高，容易形成夹渣。铝的脱氧会引起气体突然膨胀而产生飞溅。

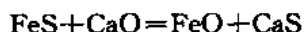
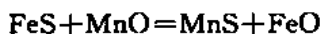
2) 脱氮反应 氮是一种活度较低的气体、与其它元素的反应较弱。降低焊缝金属中氮含量的主要手段是，加强对焊接区的隔离和保护。在某些情况下，可通过焊条药皮或焊剂，加入 Ti, Al 和 Zr 等氮化物形成元素。这些元素能比铁优先与氮结合成稳定的氮化物 TiN 、 AlN 等。

3) 脱硫反应 硫是焊缝金属中最有害的元素之一。将焊缝金属中的硫含量降低到无害的水平，是焊接冶金的主要任务之一。在焊接材料中，最常用的脱硫元素是锰，其脱硫反应式为



硫化锰不溶于金属而成为熔渣。

熔渣组分中的 MnO 、 CaO 和 CaF_2 也可按下列反应与 FeS 相互作用而脱硫



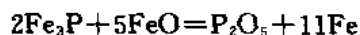
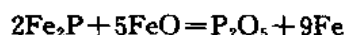
这两种脱硫反应都会产生 FeO ，故在脱硫的同时必须进行脱氧处理。

CaF_2 的脱硫反应是通过氟与硫形成挥发性化合物而去硫、 CaF_2 还能与 SiO_2 相互作用而形成 CaO ，加强了脱硫作用。

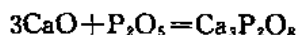
酸性焊条药皮中的主要成分是 SiO_2 和 TiO_2 等酸性氧化物，无萤石 (CaF_2) 成分，故脱硫能力较弱。碱性焊条药皮中含有大量的萤石、大理石和铁合金，熔渣中碱性氧化物的比例较大，脱硫能力较强。

4) 脱磷反应 焊接熔池中的磷主要来源于焊条药皮或焊剂组分。焊接过程中的脱磷反应主要按下列顺序进行。

首先是 FeO 与 Fe_2P 相互作用而生成 P_2O_5 ：



P_2O_5 在高温下不稳定，容易分解，必须利用碱性氧化物 CaO 与 P_2O_5 结合成稳定的磷酸盐：



磷酸盐不溶于金属而进入熔渣，为使脱磷反应较为完全，在熔渣中应同时存在足够数量的 CaO 和 FeO 。在碱性熔渣中，虽然 CaO 含量较多，但 FeO 含量较低，脱磷效果不很显著。控制焊缝金属中的磷含量还需靠严格限制各种焊接材料中的磷含量来达到。

(3) 焊缝金属的合金化 为使焊缝金属达到产品技术条件所要求的各项性能, 应在焊接过程中向熔池金属添加适量的合金元素, 即进行合金化处理。合金化处理之所以必要, 是因为:

1) 焊接材料中合金元素, 可能由于熔滴过渡过程中被氧化和蒸发而部分烧损;

2) 为防止焊接裂纹的形成, 一般采用碳含量比母材金属低的焊丝, 这可能使焊缝金属的强度降低。为使焊缝金属的强度与母材等强, 必须对焊缝金属作渗合金处理, 以提高其力学性能。

3) 为使焊缝金属具有某种特殊性能, 如为提高奥氏体钢焊缝金属的耐蚀性, 而对焊缝金属添加 Nb 和 Mo 等合金元素。

向焊缝金属添加合金元素有三种方式: 一是通过合金焊丝或焊条芯; 二是通过焊条药皮或焊剂; 三是通过药芯焊丝。在焊条药皮、药芯以及焊剂中, 常用的合金剂有锰铁、硅铁、铬铁、钼铁、钛铁、铌铁和硼铁等。

在各种焊接材料中, 合金剂的利用率可以用合金过渡系数来表征:

$$\eta = \frac{C_F}{C_T}$$

式中 η ——合金元素的过渡系数(%);

C_F ——纯焊缝金属中某一合金元素的实际含量(g);

C_T ——该合金元素在焊接材料中的原始总含量(g)。

影响合金元素过渡系数的因素较多, 其中最主要的是熔渣的碱度和合金元素本身的氧化能力。例如钛的氧化能力最强, 最易烧损, 过渡系数最小; 而钨、钼、镍等元素的氧化能力较弱, 过渡系数就高。熔渣碱度对合金元素实际过渡系数的影响可见表 1-49 所列数据。

表 1-49 药皮类型对合金元素过渡系数的影响

药皮类型	焊条牌号	合金元素过渡系数/%				
		C	Mn	Si	Cr	Mo
钛钙型	J422	—	4~8	50~60	50~60	70~80
低氢碱性型	J507	44~55	40~55	35~50	55~65	80~90

4. 焊接材料的选择原则

焊接材料的选择是一项较复杂的工作, 由于焊接结构的制造工艺各异, 焊接方法不同, 需考虑的因素众多。对于一些重要的焊接结构和焊接接头按等强性原则设计的焊接结构, 首先应当按对焊接接头性能的要求选择焊接材料, 即以确保焊接接头与焊件母材金属的等强性, 等塑(韧)性和等耐蚀性为原则。其次应当全面考虑焊接结构部件的所有制造工艺对接头性能可能产生的影响, 如冷冲压、剪切、冷校、冷卷、热卷、热校及各种热处理。第三必须考虑每种焊接方法的冶金特点, 它将直接关系到焊接材料的选配。

(1) 制造工艺的影响 在大多数的焊接结构制造中, 焊件毛坯件的冷作加工是最常用的加工工艺之一。在这种情况下, 焊缝金属不仅应具有与母材金属基本相等的强度, 而且应有良好的塑性, 能经受住冷作加工中较大的变形量, 因此必须选用塑性足够的焊接材料。薄板结构、薄壁容器焊后无需作消除应力处理, 大多是以焊后状态的形式投入运行, 故应按焊后状态的接头性能要求选择焊接材料。薄板结构的另一个特点是, 如选用深熔焊接方法, 则可

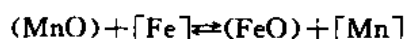
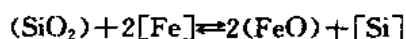
采用 I 形坡口的直边对接接头形式。在这种情况下,母材金属在焊缝中所占的比率仅在 50% 以上。则在低合金钢板焊接时,由于接头在焊接过程中的冷却速度较快,即使选用合金元素含量比母材金属稍低的焊丝,也能保证接头的强度不低于母材金属,且能改善接头的塑性和韧性。例如厚度在 14mm 以下的 Q345 (16Mn) 钢,埋弧焊时可采用 H08MnA 焊丝、而不应选用 H10Mn2 焊丝。

厚壁构件焊接时则出现另一种情况。首先厚壁构件必须采用热加工方法成形,如热冲压、热卷和热矫等,热加工的温度通常要求达到钢材的正火温度或高于正火温度。这样焊缝也随焊件经受高温加热,甚至是多次的加热。热加工后焊件的冷却速度比焊接过程的冷却速度低得多,使焊件的母材金属及其焊接接头的强度性能明显下降,可能会大大低于焊后状态的接头强度。为使经热加工的焊接接头强度性能仍能符合等强的要求,必须选择合金成分较高的焊丝,如 19Mn5 钢厚板电渣焊和埋弧焊时,应选用 H10MnMo 焊丝。

厚壁构件焊接后通常要求作消除应力处理。消除应力处理的温度是在 A_{c1} 点以下,金属组织不发生重结晶,对于碳素钢和碳锰钢,在这一温度范围内的加热和冷却不会导致母材和接头强度的降低。但对于通过热处理强化提高强度的低合金钢,消除应力处理、特别是长时间的加热会明显降低接头的强度。对于这些钢材的焊接,亦应选用合金成分较高的焊丝和焊条。如 13MnNiMoNb 高强度钢的埋弧焊应选用 Mn、Ni 含量均比母材高的 H08Mn2NiMo 焊丝。对于一些以钒铌等碳化物形成元素强化的低合金钢,消除应力处理可能会急剧恶化接头的韧性,对某些 Cr、Mo、V 含量较高的低合金钢还可能导致再热裂纹的形成。为解决这一问题,应选用不含合金元素 V、其它合金元素含量较高的焊丝。例如 14MnMoV 钢的埋弧焊应选用 H10Mn2NiMo 焊丝。

(2) 焊接方法的冶金特点 在选择焊接材料时,必须充分考虑每种焊接方法的冶金特点。焊条电弧焊时,其冶金特点主要取决于所选用焊条的药皮类型,低氢型碱性药皮焊条能通过熔渣的冶金反应达到较完全的脱氧、脱硫,保证合金元素具有较高的过渡系数,焊缝金属的氢含量较低。在一些重要的焊接结构中,对于强度和冲击韧度要求较高的接头,以及对冷裂倾向较高的低合金钢接头,均应选用相应强度级别的低氢型碱性药皮焊条。

在选择埋弧焊焊接材料时,应特别注意各类焊剂的冶金反应对焊缝金属成分的影响。在低碳钢及低合金钢埋弧焊时,通常选用 HJ431 之类高锰、高硅焊剂。通过熔渣与金属之间的反应,会对熔池金属进行增硅与增锰:



由图 1-83 曲线可见,焊剂中的 SiO_2 含量越高,增硅量越高。HJ431 焊剂的 SiO_2 的质量分数为 40%~44%,增硅的质量分数可达 0.1%~0.2%。

焊缝金属中适量的硅对于脱氧,防止气孔的产生都是必要的。但过量的硅会使焊缝金属的塑性和韧性降低。严重时还会导致厚壁焊缝中冷裂纹的形成。对于低碳钢和低合金钢焊缝金属,合金元素 Mn/Si 比是决定其韧性的主要因素之一。图 1-84 的曲线清楚表明,不同强度

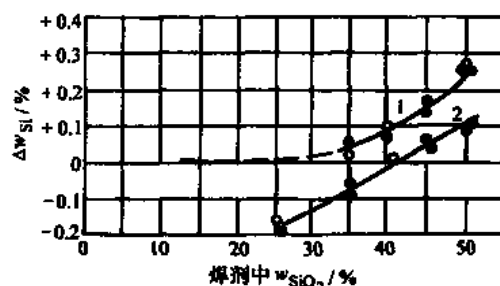


图 1-83 焊剂中 SiO_2 含量与焊缝金属增硅量的关系

1—焊丝中 w_{Si} 为 0 2—焊丝中 w_{Si} 为 0.8%

等级的焊缝金属,其韧性与 Mn/Si 比的关系。总的趋势是 Mn/Si 比越高,焊缝金属的韧性越高。当 Mn/Si 比小于 2 时,焊缝金属的韧性将明显下降,由此必须限制焊缝金属中的硅含量。这关系到焊丝与焊剂的选配问题。为保持焊缝金属适当的硅含量,应选配 H08A 或 H08MnA 等低硅焊丝。如选用 H10MnSi 或 H08Mn2Si 等高硅焊丝与 HJ431 焊剂相配,则焊缝金属的 Mn/Si 比可能在 1.0~1.5 之间,其韧性会大大下降。因此,这种选配方式是不可取的。如必须采用硅含量较高的焊丝,则应选用 SiO_2 的质量分数小于 30% 的焊剂与之相配。

在电渣焊过程中,熔渣和熔池金属之间虽也产生与埋弧焊相同的硅锰置换反应,但其强烈程度远低于埋弧焊,且焊剂的更新率低,也影响冶金反应的进程。在普通碳钢焊接时,如选用 H08A 沸腾钢焊丝,焊缝金属的实际硅含量由于母材混合比较高,其质量分数可能接近于 0.15%,因此可以选用 H10MnSi 和 H08Mn2Si 等高硅焊丝,将焊缝金属中硅的质量分数提高到 0.3%~0.4% 较为适宜。这一方面可加速熔池金属的脱氧,减少其余合金元素的烧损,另一方面硅作为一种强化元素可提高焊缝金属的强度。在合金钢电渣焊时,可选用硅的质量分数为 0.3%~0.5% 的合金钢焊丝,有利于确保焊缝金属的强度。

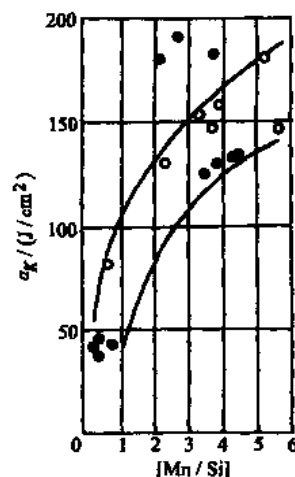


图 1-84 焊缝金属的 Mn/Si 比与焊缝韧性的关系

在气体保护焊中,不再发生熔渣与熔化金属之间的冶金反应。当保护气体为氧化性气体时,如 CO_2 及其混合气体,如不采取脱氧措施,钢中的 Fe 将被大量氧化成 FeO ,为此必须采用 Si 和 Mn 等脱氧元素较高的合金焊丝,如 GB/T8110-1995 标准中的 ER-49-1 (H08Mn2Si) 和 ER50-2 (H08MnSi) 焊丝。焊丝中的 Mn 和 Si 元素在焊接过程中参与 FeO 的还原反应而部分被烧损,一部分过渡到焊缝金属中,形成硅锰适中的焊缝金属。在低合金高强度钢和耐热钢 CO_2 气体保护焊时,亦应选用硅的质量分数最低为 0.45% 的合金焊丝。在氧化性较弱的富 Ar 混合气体中焊接时,应采用硅的质量分数为 0.3%~0.6%,锰的质量分数为 0.4%~0.7% 的合金焊丝,以使焊缝金属具有足够高的韧性。在惰性气体保护焊中,不产生氧化与还原反应,填充焊丝和母材金属实际上是一种重熔过程。因此惰性气体保护焊时,不宜采用 H08A 等沸腾钢焊丝作填充金属,否则在重熔过程中,焊丝中残留的气体会析出而形成气孔。由于焊件坡口表面和焊丝表面多少会残留一些氧化物,为获得致密的焊缝金属,惰性气体保护焊应选用硅锰适中的焊丝如 ER50-2 (GB/T8110-1995)。

5. 焊接材料的选用

各种结构材料用焊接材料主要按上述原则及产品技术条件,对接头性能的具体要求选用。对于每一个钢种、合金和有色金属用焊条、焊丝与焊剂的选配以及焊丝与保护气体的选配,详见本书第二章有关节段。

4.4 预热、层间温度和低温后热处理

焊前预热是防止厚板构件、低合金和中合金钢接头焊接裂纹产生的最有效的措施之一,是决定接头致密性和性能的重要因素。它的有利作用在于:

1) 可改变焊接过程的热循环,降低焊接接头各区的冷却速度,遏制或减少了淬硬组织的形成。

2) 减小焊接区的温度梯度, 降低焊接接头的内应力, 并使其分布均匀。
3) 扩大焊接区的温度场, 使焊接接头在较宽的区域内处于塑性状态, 减弱了焊接应力的不利影响。

4) 改变焊接区应变集中部位, 降低残余应力峰值。

5) 延长焊接区在 100°C 以上温度的停留时间, 有利于氢从焊缝金属中逸出。

1. 预热温度的确定

确定焊件的预热温度应综合考虑下列几个主要因素:

1) 被焊钢材的实际含碳量和合金含量, 即实际的碳当量。

2) 焊件的结构形状和接头的拘束度。

3) 所选用焊接材料的扩散氢含量。

4) 所拟定的焊接工艺及操作技术。

5) 焊件和周围环境温度。

6) 施工条件和焊接环境的相对湿度。

某种钢材焊接所需的最低预热温度通常采用焊接性试验法来确定, 对于焊接工程结构, 大都采用计算方法确定。

(1) 碳当量算法 它是一种最简单的经验算法, 是以大量的试验结果为基础, 将钢中的碳及合金含量概算成可表征钢材淬硬性的单一值, 即碳当量。碳当量的计算目前均采用国际焊接学会推荐的计算公式为

$$CE = 1w_C + 1/6w_{Mn} + 1/6w_{Si} + 1/5w_{Cr} + 1/5w_{Mo} + 1/5w_{V} + 1/15w_{Ni} + 1/15w_{Cu}$$

图 1-85 为碳当量与最低预热温度之间的关系。如已知被焊钢材的化学成分, 求得碳当量, 很容易从图示曲线上查得所要求的预热温度。这种算法适用的合金成分 (质量分数) 范围如下:

C 0.10%~0.30%、Mn 0.3%~2.0%、Si 0.05%~0.5%、
Cr 0.10%~3.0%、Ni 0.5%~3.0%、Mo 0.30%~1.8%

适用的厚度范围为 10~30mm, 对于更厚的钢材应按经验加以修正。

预热温度简化的计算公式

$$t_P = 210C_{eq} - 25$$

式中 t_P ——预热温度(°C);

C_{eq} ——钢材实际碳当量。

在计算钢材的碳当量时, 应按钢的实际化学成分而不应按钢的标准成分计算, 因为按钢材上下限成分计算的碳当量可能有较大的偏差。

碳当量计算法的缺点是未考虑到焊接材料的氢含量和接头的拘束度。

(2) 预热温度的精确算法 预热温度精确算法是一种冷裂指数算法。其公式为: $p_w = p_{cm} + 1/60w_H + K/400$

$$P_{cm} = 1w_C + 1/30w_{Si} + 1/20w_{Mn} + 1/20w_{Cu} + 1/60w_{Ni} \\ + 1/20w_{Cr} + 1/15w_{Mo} + 1/10w_V + 5w_B$$

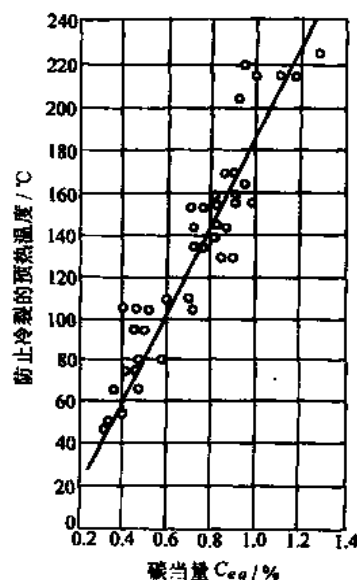


图 1-85 碳当量与最低预热温度的关系

$$C_{eq}(\text{日本}) = 1w_C + 1/6w_{Mn} + 1/24w_{Si} \\ + 1/40w_{Ni} + 1/5w_{Cr} + 1/4w_{Mo}$$

式中 P_{cm} ——合金成分指数;

H ——氢含量(mL/100g);

K ——拘束度[kN/(mm·mm)]。

这种算法综合考虑了钢材的碳当量、焊缝金属的扩散氢含量和焊接接头的拘束度。

预热温度的计算程序如下:首先按所焊钢材的实际化学成分算出 P_{cm} 值。如同一焊件由几批不同炉号的钢材制成,则应按其中最高的合金成分计算。焊缝金属的氢含量可按每批焊条进厂验收检验的实测数据,或按焊条药皮类型、强度等级和焊条烘干保存条件取经验数据,如表 1-50 所列的典型数据。接头的拘束度可按接头的形式、板厚计算求得或直接从有关的图表中查到。

表 1-50 焊缝金属内扩散氢含量的统计数值

(mL/100g)

焊条型号	经烘干,保管符合要求	在高湿度下焊接或焊条保管不符合要求	超低氢级抗潮焊条
E5015	5.0	7.0	2.0
E6015	3.0	5.0	1.5
E7015	2.0	4.0	1.5

将 P_{cm} 、 H 和 K 三项计算值相加得 P_w 值。按计算的冷裂指数 P_w 值,从图 1-86 所示的曲线可查到不同板厚和焊接热输入量下的最低预热温度。

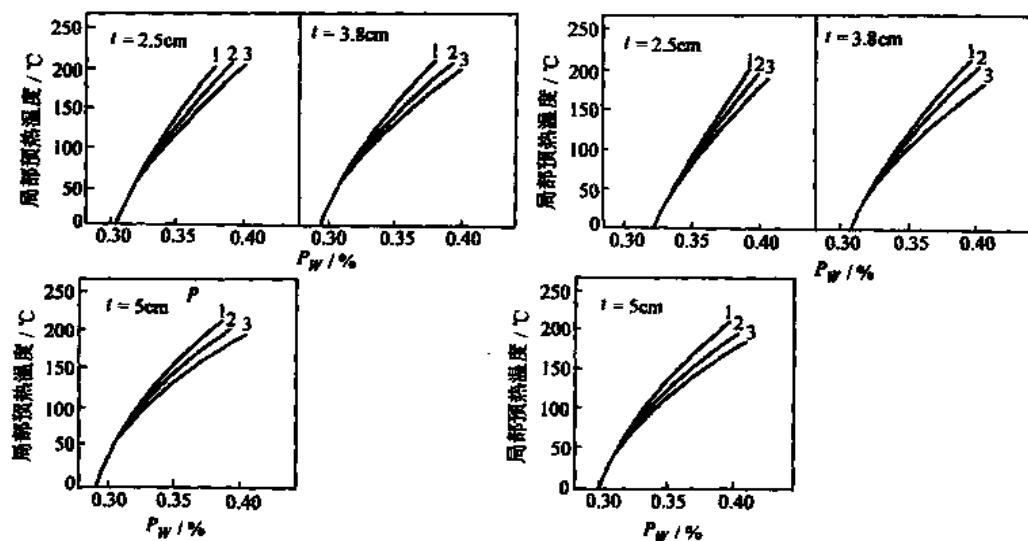


图 1-86 P_w 值与局部预热温度的关系

a) 焊接热输入量 17000J/cm, 预热宽度 $2b$ 为 200mm

b) 焊接热输入量 30000J/cm, 预热宽度 $2b$ 为 200mm

1—单气体喷嘴 2—多气体喷嘴 3—电加热器

预热温度的另一种确定方法是先按所焊钢材的实际成分计算求出碳当量指数 P_{cm} , 再按表 1-50 所列的关系, 按焊缝金属的实际氢含量确定冷裂敏感性等级。最后按接头的拘束度等级和板厚由表 1-51 所载数据查得最低预热温度。

表 1-51 不同接头拘束度下的最低预热温度和层间温度

接头拘束度等级	板厚/mm	最低预热和层间温度/℃						
		冷裂敏感性等级						
		A	B	C	D	E	F	G
低	<9.5	<18	<18	<18	<18	60	140	150
	10~19	<18	<18	18	60	100	140	150
	20~38	<18	<18	18	80	110	140	150
	39~76	18	18	40	95	120	140	150
	>76	18	18	40	95	120	140	150
中	<9.5	<18	<18	<18	<18	70	140	160
	10~19	<18	<18	18	80	115	145	160
	20~38	18	18	75	110	140	150	160
	39~76	18	80	110	130	150	150	160
	>76	95	120	140	150	160	160	160
高	<9.5	<18	<18	18	40	110	150	160
	10~19	<18	18	65	105	140	160	160
	20~38	18	85	115	140	150	160	160
	39~76	115	130	150	150	160	160	160
	>76	115	130	150	150	160	160	160

(3) 预热温度的修正 在实际生产中,接头的冷却过程不仅取决于预热温度和焊接热输入量,而且在很大程度上受环境温度、焊道长度和层数、层间温度以及预热参数——预热时间、预热宽度和预热方法的影响。局部预热区的宽度至少为壁厚的 6 倍,但接头每侧的加热宽度不得小于 100mm。预热应延续到焊接工作开始,这样才能起到预热的作用。加热方法可采用气体火焰喷嘴和电加热器(包括感应加热、远红外加热和燃油喷嘴加热法等。从加热均匀性来看,电加热法优于火焰加热。焊件的加热可分整体和局部两种。如有条件采用整体加热,则可适当降低预热温度。按上列算法确定的预热温度是指焊件焊前必须达到的温度,而在焊接过程中不必始终保持该预热温度,焊件容许自然冷却。如在焊接过程中连续对焊件进行加热,保持规定的预热温度,则冷裂指数 P_w 与预热温度的关系如图 1-87 所示,即在相同的焊接热输入量下可大大降低预热温度。

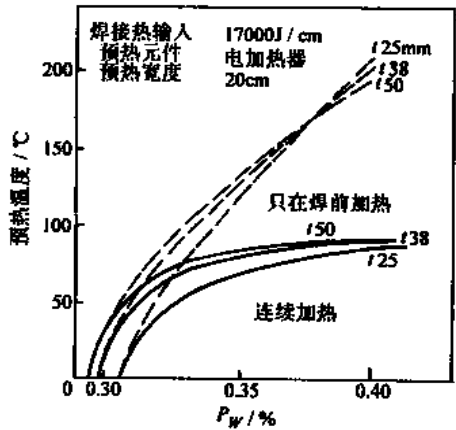


图 1-87 焊接过程连续加热时 P_w 与预热温度的关系

在厚壁焊接接头的多层多道焊时,如焊接热输入量足够高,则可利用焊接热,将焊件保持接近于预热温度的层间温度,直到焊接工作全部结束。在这种情况下, P_w 值与预热温度之间成图 1-88 所示关系。与单道焊相比,预热温度有明显下降。

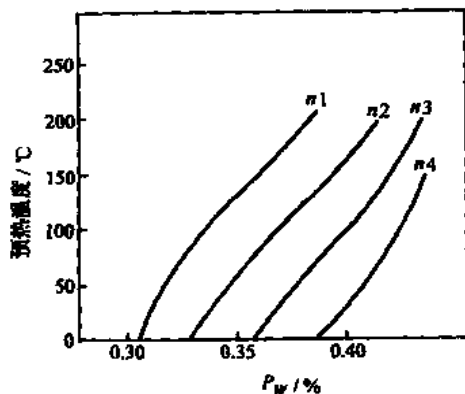


图 1-88 多层多道焊时 P_w 与最低预热温度的关系
板厚 25mm, 焊接热输入为 17000J/cm
预热宽度为 200mm, 层间温度 150°C, η —焊道数

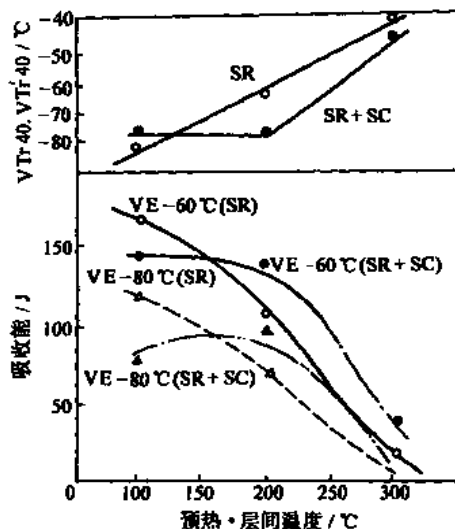


图 1-89 预热温度对 2.25Cr-1Mo 钢埋弧焊焊缝金属冲击韧度和脆性转变温度的影响
SR—消除应力处理 SC—一步冷处理

应当指出,焊前的预热温度不宜过高,要求适中。预热温度的提高犹如焊接热输入的増加,在降低焊接区冷却速度的同时,会延长过热区在高温下停留的时间,使晶粒长大,导致焊接接头的强度和冲击韧度下降,图 1-89 为预热温度对 2.25Cr-1Mo 钢埋弧焊焊缝金属韧性的影响。在调质高强度钢焊接时,预热温度对接头性能的影响更为明显。

2. 低温后热处理

低温后热处理是指焊接结束后,将焊件或整条焊缝立即加热到 150~250°C 温度范围,并保持一段时间。这种工艺简称为后热。为区别于焊后消氢处理和消除应力处理,将其定名为低温后热处理。

低温后热处理的作用是首先降低接头在低温转变区的冷却速度,其作用比预热更为显著。其次是后热可延长接头在 100°C 以上温度区间的停留时间,使焊缝金属的氢有充分的时间向外扩散。第三,后热可使焊缝及近缝区因热应变而受到压应力的作用。这样,在焊缝金属氢扩散阶段,可从根本上消除导致冷裂纹形成的力学因素,后热结束时,焊缝金属内的氢已降低到临界含量以下,消除了氢致裂纹的必要条件。

后热主要用于焊前预热不足以防止冷裂纹的形成,以及焊接性较差的低合金钢高拘束度接头。后热的温度和时间取决于被焊钢的冷裂敏感性、焊接材料的氢含量和接头的拘束度。图 1-90 为焊缝金属和焊接接头的氢含量与后热温度和时间关系。后热温度越高,保温时间越长,去氢效果越明显。在实际生产中常用的后热温度为 150~250°C,保温时间可按壁厚计算,

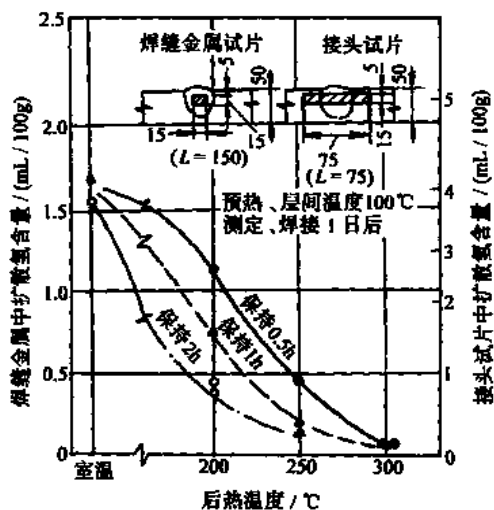


图 1-90 后热参数与 Mn-Mo-Ni 钢多层埋弧焊焊缝金属氢含量的关系

每毫米为 1min,但至少不应小于 30min。低温后热处理也常用于某些难以进行预热的低合金钢焊件,以改善焊工的工作环境和减轻劳动强度。

低温后热处理也有其局限性。对于强度级别高于 650MPa、壁厚大于 80mm 的接头,后热并不是可靠的防裂措施。

3. 消氢处理

在强度等级高于 650MPa 和合金总的质量分数大于 3% 的低合金钢和中合金钢厚壁多层焊缝中,经常会产生横向于焊缝的延迟冷裂纹。业已查明,这种裂纹起因于多道焊缝中氢在焊缝表层下的富集。焊缝道数越多,富集区的氢含量越高,会大大超过临界氢含量。实测结果表明,对于 2.25Cr-1Mo 钢厚壁接头多道埋弧焊缝,焊前作 200°C 高温预热,并在焊接过程中保持相同的层间温度,表层下 10mm 处的氢含量可达到 4.3mL/100g 以上,并随板厚的增加,氢含量会逐渐提高。

为了消除氢在焊缝表层下的富集,防止由此引起的横向延迟裂纹,可将焊件或整条焊缝在 300°C 以上温度加热一段时间,即进行消氢处理。因为在 300°C 以上温度下,氢的扩散速度明显加快,30min 短时消氢处理可使富集区的氢的体积分数降低 30%,如提高消氢处理的温度,延长消氢的时间,氢含量还可进一步降低。消氢处理推荐的温度为 300~400°C,消氢时间为 1~2h。消氢处理必须在焊接结束后立即进行,否则就起不到消氢的效果。在某些情况下,消氢处理还可代替低合金钢厚壁焊件的中间消除应力处理,可以取得相近作用的效果。

4.5 焊后热处理

在现代焊接结构中,焊后热处理已不仅是简单的消除应力处理,还包括固溶处理、水调质处理(淬火+回火),空气调质处理(正火+回火)回火处理,退火处理,消除应力处理和时效处理等。

1. 固溶处理

固溶处理是将焊件加热到 950°C 以上的高温,保温一定时间后,将工件放入水中激冷。这种热处理主要用于奥氏体不锈钢,其目的是将焊缝金属和热影响区内形成的碳化物全部溶解于固溶体,并使二次脆性相(σ -相)转变为奥氏体,恢复接头由于不利的热经历而丧失的塑性和韧性以及耐蚀性。固溶处理的缺点是,焊件变形较大,表面会形成较厚的氧化皮,使其应用受到很大的限制,只有一些形状简单的焊件或半成品才进行这种热处理。对于加稳定化元素的奥氏体不锈钢,常以 800~900°C/空冷的稳定化处理来代替,可以取得与固溶处理相似的效果。它可以消除冷作硬化,焊接高温热循环等对不锈钢产生的不利影响。几种常用奥氏体不锈钢固溶处理推荐的温度列于表 1-52。

表 1-52 常用奥氏体不锈钢固溶处理的推荐温度 (°C)

钢 号	固溶处理温度	钢 号	固溶处理温度
0Cr19Ni9 AISI201、202、301	1010~1120	1Cr18Ni9Ti 0Cr18Ni11Ti	954~1065
0Cr23Ni13 0Cr17Ni12Mo2 00Cr19Ni13Mo3	1040~1120	0Cr18Ni11Nb	980~1065

2. 水调质处理

水调质处理是一种发挥钢材综合性能的工艺方法,厚度在 50mm 以下的中薄板通常在出厂前由钢厂完成调质处理。即钢板的供货状态为调质处理状态。焊件是在室温或在不高于调质回火温度下作成形加工,焊后只需作消除应力处理。但在厚壁焊件的制造中,焊件必须采用热卷、热冲压等成形工艺,而热成形的温度大大高于调质回火温度,可使调质效果完全丧失。因此,厚壁焊件的调质处理总是拼接缝和热成形后进行。在这种情况下,水调质处理也可算作是一种焊后热处理。

水调质是一种复合热处理,由淬火和回火两种热处理组成。钢的淬火温度一般取 A_{c3} 点以上 $30\sim 50^{\circ}\text{C}$,对于经细晶粒处理的钢材,则可在较高的温度下淬火。焊件的激冷可采用喷淋水柱或浸入水池中进行。

水调质处理的效果取决于钢材本身的淬透性、焊件的入水温度和淬火时的冷却速度。钢的淬透性与钢的成分有关,而淬火时的冷却速度则取决于所采用的淬火介质是油,还是水或盐水。油的冷却速度较慢,盐水的冷却速度最快。在浸入淬火时,冷却速度还取决于工件和水的相对体积以及淬火介质循环的速度。淬火工艺的其它重要参数还有:奥氏体化的温度和时间,工件出炉到入水的时间间隔,焊件表面的状态(氧化皮的厚度)、淬火介质的温升和淬火时间等。

淬火处理后的回火温度和时间对接头的性能有很大的影响。通常利用回火参数 $[P]=T(20+\log t)\times 10^{-3}$ 作综合评定。

式中 T ——实际的回火温度($^{\circ}\text{C}$);

t ——回火时间(h)。

根据评定结果确定最佳的回火温度和保温时间。评定程序详见下节。

3. 正火加回火处理(空气调质)

厚壁焊件的电渣焊拼焊接头,需经热卷、热冲压成形,并作正火处理,以细化电渣焊接头各区的晶粒或调整经高温(980°C 以上)热成形部件的母材金属和焊缝金属的性能。

钢的正火温度可取 A_{c3} 点以上 $30\sim 50^{\circ}\text{C}$ 。过高的正火温度会导致晶粒长大,降低正火处理的温度效果。正火处理的保温时间通常按焊件壁厚 $1\sim 2\text{min/mm}$ 计算。保温结束后,将焊件放在平静的空气中冷却。大型厚壁焊件,为保证钢材和接头的强度性能,可放在强迫流动的气流中冷却。某些常用钢材正火温度推荐范围列于表 1-53。

表 1-53 常用钢材焊接接头正火温度范围

钢 号	正火温度范围 / $^{\circ}\text{C}$	保温时间 /(min/mm)	钢 号	正火温度范围 / $^{\circ}\text{C}$	保温时间 /(min/mm)
Q235.20	890~930	1.0	13MnNiMo54	900~950	2.0
Q345(16Mn),19Mn6	900~940	1.0	12CrMo,15CrMo	900~940	1.5
Q390(15MnV,15MnTi)			20CrMo	910~960	1.5
Q420(15MnVN)	910~950	1.0	12Cr1MoV	930~960	2.0
14MnMoV,15MnMoVN	920~950	2.0	2.25Cr1Mo,10CrM910	900~940	1.5
18MnMoNb			SA387-22		

厚壁构件高温正火处理时,由于焊件表面和心部的冷却速度不同,会产生较高的内应力,故正火后应紧接着作回火处理。合金成分较高的低合金钢单作正火处理,钢材和接头的性能往往达不到要求,而只有经回火处理后,才能达到符合要求的综合力学性能。这种回火处理的主要目的是改善钢材和接头的组织和性能。图 1-91 为一种典型的回火曲线,可见,回火过程基本可分成四个阶段; I——加热段; II——均热段; III——保温段; IV——冷却段。在大型焊件回火处理时,为达到均匀加热,需要控制加热速度。按焊件形状复杂程度的不同,加热速度可在 $50 \sim 150^{\circ}\text{C}/\text{h}$ 范围内选取。在冷却阶段,若焊件自回火温度直接空冷,亦会引起一定的内应力,对于形状复杂的焊件,应适当控制冷却速度。

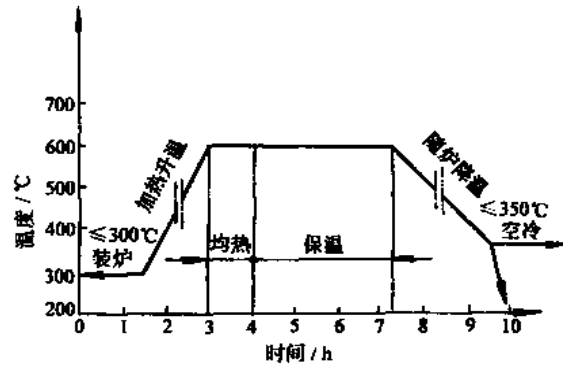
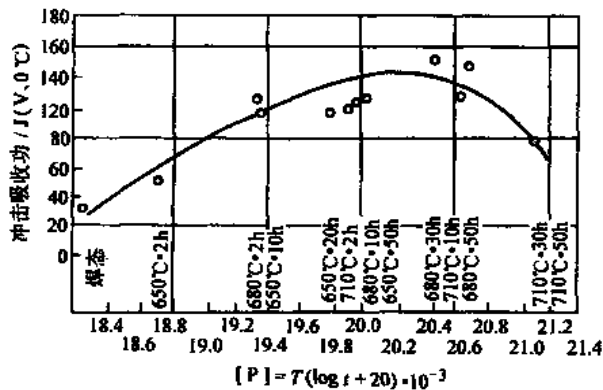
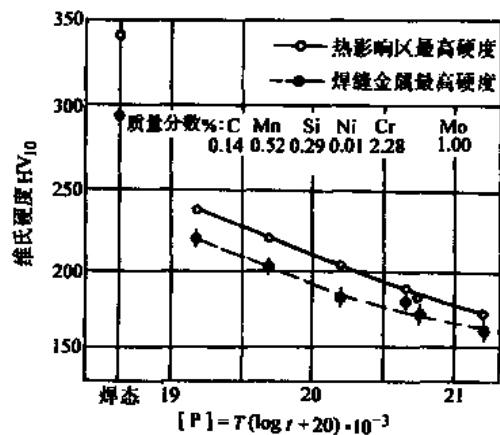


图 1-91 焊件的典型回火曲线

对于某些合金钢,如低合金、中合金耐热钢等,回火处理是保证接头具有常温、高温和持久强度性能及韧性的重要手段。这类钢的焊接接头,其回火参数 $[P]$ 值范围在 $18 \sim 22 \times 10^{-3}$ 之间。对于每种钢均有一个最佳 $[P]$ 值,也就是有一个最佳的回火温度和保温时间。图 1-92 示出 $1\frac{1}{4}\text{Cr}-5\text{Mo}$ 钢焊缝金属的冲击韧性及回火参数 $[P]$ 之间的关系。曲线表明,当回火参数在 $20.0 \sim 20.6 \times 10^{-3}$ 的范围内时,焊缝金属的冲击韧性最高。回火参数对焊缝金属的强度性能亦存在一定的关系。图 1-93 和图 1-94 分别为回火参数和回火制度对合金钢焊缝金属硬度和蠕变强度的影响。随着回火参数的提高,焊缝金属的硬度逐渐下降,强度值也相应下降。这说明,即使是合金成分较高的合金钢,也不能无限的提高回火温度或延长保温时间。从图 1-94 所示曲线不难看出,合理的回火制度能显著地提高焊缝金属的蠕变强度。

图 1-92 $1\frac{1}{4}\text{Cr}-0.5\text{Mo}$ 焊缝金属的
韧性及回火参数 $[P]$ 的关系图 1-93 $2\frac{1}{4}\text{Cr}-1\text{Mo}$ 铬钢钢焊接接头硬度
与回火参数 $[P]$ 的关系

对于那些对回火温度不敏感的碳钢和低合金钢,可将回火处理和消除应力处理合为一个工序进行。表 1-54 列出几种常用合金钢的最佳回火温度。

表 1-54 常用合金钢焊接接头的最佳回火温度范围

钢 号	最佳回火温度 °C	保温时间 (min/mm)	钢 号	最佳回火温度 °C	保温时间 (min/mm)
Q345(16Mn), 19Mn6	580~620	3.0	12CrMo	640~660	4.0
Q390(15MnV, 15MnTi) Q420(15MnVN)	620~640	3.0	15CrMo	660~680	4.0
14MnMoV, 15MnMoVN	640~660	4.0	20CrMo	670~690	4.0
18MnMoNb	620~640	4.0	12Cr1MoV	710~730	5.0
13MnNiMo54	580~620	3.0	2.25Cr1Mo, 10CrMo910 SA387-22	650~670	4.0

4. 消除应力处理

在厚壁焊件中, 焊接残余应力可以达到相当高的水平, 可能导致整个焊接结构的提前失效, 如发生脆性断裂、应力腐蚀裂纹等。因此对于壁厚超过一定界限的焊接结构, 焊后应作消除应力处理。

消除应力处理的定义是, 将焊件均匀地以一定的速度加热到 Ac_1 点以下足够高的温度, 保温一段时间后随炉均匀地冷却到 $300\sim 400^\circ\text{C}$, 最后将焊件空冷。实际上, 消除应力处理是一种退火工艺, 故亦称消除应力退火。对于某些钢种, 消除应力处理温度与回火温度大致重合, 因此, 消除应力处理亦兼有回火的作用。如单纯为消除焊件的焊接残余应力, 则消除应力处理的温度可在较宽的范围内选择, 并应控制在该种钢的回火温度以下, 以避免丧失回火处理所达到的优良性能。

焊件消除应力处理的作用有下列几点:

- 1) 消除焊缝金属中的氢气, 提高焊接接头的抗裂性和韧性。
- 2) 降低焊接接头中的残余应力, 消除冷作硬化, 提高接头抗脆断和耐应力腐蚀的能力。
- 3) 改善焊缝及热影响区的金相组织, 使淬硬组织经受回火处理而提高接头各区的塑性。
- 4) 降低焊缝及热影响区的硬度, 提高切削加工性能。
- 5) 对于耐热钢, 可稳定焊缝及热影响区的碳化物, 提高接头的高温持久强度。
- 6) 稳定焊接结构的形状, 消除焊件在焊后机械加工和使用过程中的畸变。

对于具有二次硬化倾向的合金钢, 不适当的消除应力处理会产生相反的效果, 并能导致焊缝金属和热影响区发生脆变和再热裂纹倾向。应当通过试验确定最佳的消除应力处理温度。表 1-55 对比了各种常用低合金钢的应变脆化和消除应力脆变的敏感程度。现行制造规程规定的消除应力处理温度范围为 $530\sim 620^\circ\text{C}$ 。

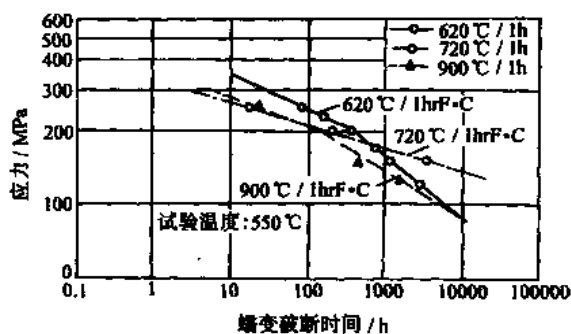


图 1-94 回火温度对 2.25Cr-1Mo 钢焊缝金属蠕变强度的影响

表 1-55 各种常用低合金钢消除应力脆变敏感性等级

钢 号	合 金 系 列	对应脆化及再热 裂纹敏感性	对热脆变的敏感性	类 别
Q345(16Mn)St+E36, 19Mn6	C-Mn	—	—	I
15MnNi63	MnNi	— Δ	× Δ	I
St+E43-51	MnNiV	××(×)	××(×××)	
St+E43-47	MnNiTi	×	×××(××)	
20MnMoNi55	MnMoNi	Δ	Δ	II
13MnNiMoNb54	MnMoNiNb	×	××	
15MnMoNiV53	MnMoNiV	×××	×××	
15MnNiMoV53		××	××	
17MnMoV64	MnMoV	×××	×××	
22NiMoCr37	Ni-Mo-Cr	×××	× Δ	IV
15NiCuMoNb5	NiCuMoNb	××(×××)	××	V

注：—无敏感性 ×—敏感性低 ××中等敏感性 ×××—高敏感性 Δ—最佳化

消除应力处理可采取整体处理或局部处理两种方法。整体处理是将整个焊接结构放入炉内加热，而局部消除应力处理是利用气体火焰、工频加热装置、电加热器和远红外加热元件等进行局部加热、加热带的宽度可取焊件厚度的 8 倍，但不少于 200mm，或按下式计算求得

$$b=5\sqrt{DN\delta}$$

式中 b ——加热区宽度(mm)；

DN ——焊件的公称直径(mm)；

δ ——壁厚(mm)。

在大型厚壁结构中，为防止焊接裂纹的形成，对于下列焊缝要求作中间消除应力处理，即在焊接结构部分焊缝焊完后或焊缝焊接一部分后进行的消除应力处理。

- 1) 厚壁高拘束度接头焊完后在静置过程中有较大的冷裂危险。
- 2) 母材金属或焊缝金属的常温脆性较高，整个结构所有接头一次性连续焊完后，可能产生自发的脆性断裂。
- 3) 焊件形状复杂或焊缝集中引起的附加应力和塑性应变，可能引起结构部件的局部破坏。
- 4) 复杂的、高拘束度交叉焊缝。

中间消除应力处理的温度通常比最终消除应力处理的温度低 20~30℃，保温时间可按实际已焊成的焊缝厚度计算。

5. 时效处理

在弥散硬化不锈钢和耐热钢的焊接中，为保证接头的力学性能和韧性与母材金属基本相等，最好按所焊钢种的具体成分，将焊件作弥散硬化所要求的完整热处理：即固溶处理、马氏体转变水冷处理、时效硬化处理；或者固溶处理、奥氏体调整处理、马氏体低温处理和时效硬化处理。对于大型和形状较复杂的焊件，焊后很难作固溶处理等高温热处理，一种习惯的做法是焊前先将焊件毛坯作固溶处理，焊后作时效硬化处理。

时效硬化实际上是一种低温回火处理，即在 454~620℃ 的温度范围内加热 3h 后空冷。其

作用是消除应力并使马氏体回火,析出金属间化合物,进一步提高强度和韧性。

对于某些残余奥氏体弥散硬化钢,在时效处理之前,需增加一道调整处理,即将焊件加热到 $704\sim 815^{\circ}\text{C}$ 保温 $2\sim 4\text{h}$ 后空冷,其目的是促使在已形成的马氏体上或在 δ -铁素体边界上沉淀碳化物,并使部分残余奥氏体转变为马氏体。

4.6 焊接能量参数

焊接能量参数是指焊接电流、电弧电压和焊接速度。在焊接对焊接热循环不敏感的钢材时,焊接能量参数的大小对焊接接头的性能不会产生明显的影响,主要依据所要求的熔深和焊缝形状来选择。在焊接各种合金钢时,焊接能量参数将对接头的性能和致密性产生较大的影响而成为焊接工艺要素之一,焊接能量参数通常以热输入(线能量),即熔焊时,由焊接能源输入给单位长度焊缝上的热能来表征。它决定了焊缝和热影响区的冷却速度,由此也决定了低合金钢和中合金钢焊接接头的淬硬程度、氢的扩散速度以及焊接残余应力水平,最终影响到接头的冷裂倾向。因此,在中、低合金钢焊接时,采用焊接热输入高的焊接方法,如埋弧焊和电渣焊等,由于延长了 $t_{8/5}$ 冷却时间而提高了接头的抗冷裂性。但对于某些合金钢来说,过高的热输入可能明显地降低接头的冲击韧度和强度。图1-95为焊接热输入对某种低合金高强度钢接头性能的影响。焊接热输入从 10kJ/cm 增加到 25kJ/cm ,接头的抗拉强度从 640MPa 下降到 560MPa ,屈服点的下降更加严重。在某些低合金钢中,当焊接热输入高于 5kJ/cm 时,焊接接头的冲击韧度会产生一定程度的回复,这是由于随着焊接热输入的提高,接头的拘束度逐渐减少,应变时效相应降低。

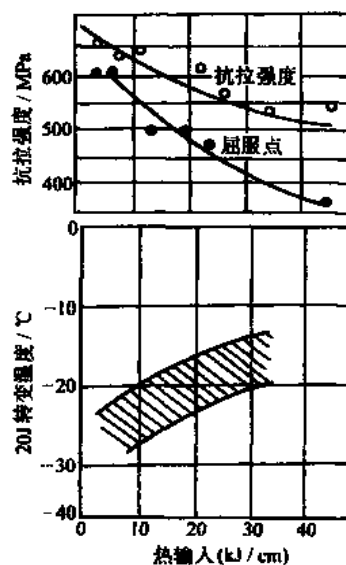


图1-95 焊接热输入对低合金高强度钢接头性能的影响

在铬镍奥氏体不锈钢的焊接中,过高的焊接热输入会扩大近缝区的敏化温度区间并延长了在高温的停留时间,最终将导致接头热影响区耐蚀性的降低。对于含铌稳定元素的铬镍不锈钢,高的热输入还可能导致焊缝热裂纹的形成。因此,对于这类钢,应在保证接头各层焊缝良好熔合的前提下,采用尽可能低的焊接热输入,即以较低的焊接电流和较高的焊接速度施焊。

4.7 焊接操作技术

焊接操作技术包括焊接位置、焊接顺序、运条方式、焊丝摆动参数、焊道层数和清根方法等。对于大多数结构材料和大多数焊接方法来说,操作技术对接头的性能不会产生明显的影响,但对焊件的质量,如焊接变形、各种焊接缺陷的形成,焊接应力的分布等产生一定的影响。对于埋弧焊、熔化极气体保护焊以及钨极惰性气体保护焊等焊接方法,由多层焊改成单层焊以及由单丝改成多丝,由于焊接热输入发生较大的变化,对接头的力学性能和其它性能会产生较明显的影响。

在一些特种焊接方法中,如电子束、激光焊、摩擦焊等操作技术可能成为重要的工艺参数。在电子束焊中,电子束的摆动参数、电子束轴线相对于焊件的倾角、真空度、电子枪阴

极形状和尺寸、单面焊、双面焊和修饰焊道等都对接头的性能起重要的作用。

在摩擦焊中，焊件的旋转速度、摩擦压力、旋转能量和顶锻量都是决定接头性能的操作技术要素。

在各种堆焊方法中，某些操作技术参数，如堆焊层数、焊丝摆动参数和焊丝根数等由于直接影响堆焊层的母材金属的稀释率，因而也直接影响堆焊层的化学成分和性能，应将其看作重要的工艺因素之一。

在焊接某些敏感于焊接热的钢材时，应将改变焊接热输入的操作技术参数作为重要工艺参数来考虑。如在低合金高强度钢中，运条方式、摆动参数和焊缝层数都会明显影响接头的冲击韧度。在奥氏体不锈钢焊接中，必须采用窄焊道技术，焊接过程中不应摆动焊条，以提高焊道的冷却速度，确保接头的耐蚀性。

4.8 焊后检验

焊件的焊后检验可分两大类，一类是破坏性检验，另一类是非破坏性检验。

破坏性检验是指直接从产品的焊接接头上取样，进行各种理化性能的检验。从接头取样后，产品的完整性即被破坏。如产品为小直径管件，则可直接从产品管件的焊接接头中取样，抽检率按产品的制造规程的要求，抽样后可按产品图样的结构形状和尺寸规定，将管件重新焊接。在一些大型焊接结构中，如压力容器、钢结构、船体等，不可能也不容许从产品的焊接接头中取样，不然就损坏了结构部件的完整性。在这种情况下，只能单独焊制产品试样板，代表产品的焊接接头进行破坏性检验。

焊接接头理化性能检验项目包括：拉伸试验、冷弯试验、冲击试验、金相检验、硬度试验、化学成分分析；和晶间腐蚀试验。

对于每种焊接接头的具体检验项目，则按产品制造规程的要求进行。

非破坏性检验是采用各种物理手段检验焊接接头的致密性，而不破坏焊接结构完整性的检验方法。在焊接结构中常用的非破坏性检验的方法有以下几种：外观检查、射线探伤、超声波探伤、磁粉探伤、渗透探伤、水压试验和泄漏试验。

1. 非破坏检验范围

对于重要的焊接结构，原则上应对所有的强度焊缝作 100% 的无损检测，以查明焊接接头中任何不容许存在的焊接缺陷。在焊接质量持续稳定的前提下，为缩短制造周期，降低产品的检验成本，可以按结构重要性等级，适当减少焊缝的无损探伤比率。例如碳钢和碳锰钢制 I、II 类容器，主焊缝无损探伤比率可降到 20%。但焊缝交叉部位必须作无损探伤，其余抽检部位可由检查人员确定，如在检查中发现超过标准容许的缺陷时，则应在缺陷延长部位加探。如仍发现不容许的缺陷存在，则应对该焊缝作 100% 的射线探伤或超声波探伤。各类焊接结构的制造规程对焊接接头无损探伤比率和焊缝质量要求都有明确的规定。由于射线和超声波两种无损探伤方法对各类焊接缺陷的探测灵敏度不同，如射线探伤对气孔、夹渣和未焊透等缺陷的探测灵敏度较高，而超声波则对裂纹和夹渣等线形缺陷较为灵敏。因此应针对焊接结构所焊的不同钢种和工作条件，选择适用的探伤方法。例如对于有冷裂倾向的低合金高强度钢焊件，应当首先采用超声波探伤法，以发现可能存在的任何形式的裂纹。对于一些重要的焊接结构，最好采用综合探伤法，即对所检焊接接头同时采用两种以上的探伤方法。或者在焊接构件制造的不同阶段，采用不同的探伤方法，以最大限度地提高缺陷探测几率。

1990年颁布实施的《压力容器安全技术监察规程》第86条对此作出了如下规定:

1) 压力容器壁厚小于等于38mm时,其对接焊缝应选用射线探伤;由于结构等原因,确实不能采用射线探伤时,可选用超声波探伤。对标准抗拉强度大于等于540MPa的材料,且壳体厚度大于20mm的钢制压力容器,对接焊缝除作射线探伤外,应增加局部超声波探伤。

2) 压力容器壁厚大于38mm时,其对接焊缝如选用射线探伤,则每条焊缝还应进行局部超声波探伤;如选用超声波探伤,则每条焊缝还应进行局部射线探伤,其中应包括所有T形接头连接部位。

3) 对要求探伤的角接接头和T形接头,如不能进行射线或超声波探伤时,应作表面探伤。

4) 有色金属制压力容器对接焊缝,应选用射线探伤。

焊缝射线探伤和超声波探伤缺陷评定标准,可参照相应的国家标准:GB3323-87《钢熔化焊对接接头射线照相和质量分级》和GB11345-89《钢焊缝手工超声波探伤方法和探伤结果分级》。

对于焊缝表面和近表面的缺陷,可采用磁粉探伤或渗透探伤检查。主要用于下列钢种和接头的表面检查。

1) 屈服点大于400MPa的高强度钢及厚度大于16mm的铬钼低合金钢制压力容器接管、法兰、加强圈与筒体或封头相接的角焊缝,装配临时定位焊缝,大型钢结构角焊缝和焊后需作调质处理的焊缝,其表面应作100%的磁粉检验。

2) 屈服点大于400MPa的高强度钢容器,在水压试验后应对焊缝表面作20%的磁粉探伤检查。

3) 当焊件采用对消除应力处理裂纹较敏感的钢材制造时,在消除应力处理后,应对应力集中较大的角焊缝及其它高拘束度焊缝作100%的磁粉探伤。

4) 不锈钢焊缝、不锈钢复合钢板接头,当对裂纹控制有严格要求时,应对填充层、过渡层和盖面层焊缝表面作100%或局部的渗透探伤。

5) 热交换器管子-管板的角焊缝,应作渗透探伤。

焊缝磁粉检验方法及缺陷评定标准,可参照JB/T6061-92《焊缝磁粉检验方法和缺陷磁痕的分级》以及GB150的有关规定。

2. 破坏性检验范围

在一些重要焊接结构制造中,如锅炉、压力容器、大型承载金属结构等,为检验产品焊接接头的性能是否符合设计要求,需焊制代表产品焊缝的焊接试板,原则上按照焊缝的类别、焊接方法,各焊制产品试板一付,或直接从产品上按一定的比例截取试样。

以蒸汽锅炉为例,1996年颁发实施的《蒸汽锅炉安全技术监察规程》对产品检查试件的数量和要求作了如下规定:

1) 每个锅筒的纵环焊缝应各做一块检查试板,当环缝的焊接工艺和材料与纵缝相同时,可只做纵缝检查试板,免做环缝检查试板。

2) 对于批量生产的额定蒸汽压力小于或等于1.6MPa的锅炉,在质量稳定的情况下,允许同批生产(同钢号、同焊接材料和工艺)的每10个锅筒做纵环缝试板各一块。

3) 集箱和管道的对接接头,当材料为碳钢时,可免做检查试件;当材料为合金钢时,在同钢号、同焊接材料、同焊接工艺、同热处理设备和参数的情况下,按每批产品焊接接头数

的1%，焊制模拟检查试件。

4) 受热面管子的对接接头，当材料为碳素钢时（接触焊对接接头除外），可免做检查试件，当材料为合金钢时，在同钢号、同焊接材料、同焊接工艺、同热处理设备和参数的情况下，从每批产品上切取0.5%的接头数作为检查试件。如在产品接头上直接切取检查试件确有困难的，如锅筒和集箱上的管接头与管子连接的对接接头，膜式壁管子对接接头等，可焊接模拟的检查试件。

3. 接头破坏性检验方法与要求

产品焊接试板按以上要求焊接后，如产品焊后需作消除应力处理或其它热处理，则试板亦应随产品一起热处理。当随产品热处理有困难时，也可按产品的热处理制度作模拟热处理。然后按产品技术条件或有关规程从产品试板上截取所要求的试样，取样部位如图1-96所示。试样毛坯的截取最好采用机械加工方法，如加工条件所限，亦可采用热切割法取样，但必须留出必要的气割余量，并将气割面的热影响区全部加工掉。各种试样的试验要点分述如下。

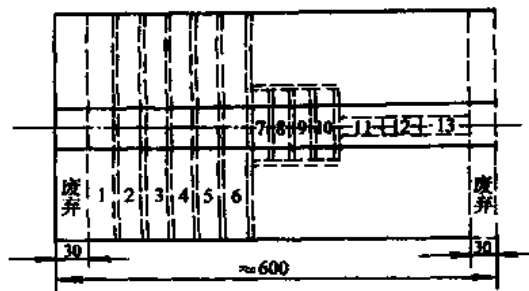


图 1-96 产品焊接试板取样部位

1、2—拉伸 3、5—面弯 4、6—背弯 7、8、9—冲击
10—金相 11、12、13—焊缝金属拉伸

(1) 拉伸试验 拉伸试验可分别采用纯焊缝金属拉伸试样和接头拉伸试样，测定焊缝金属或接头的抗拉强度、屈服点、断面收缩率和伸长率。焊缝金属拉伸试样通常沿焊缝的轴线截取，而焊接接头的拉伸试样则横向于焊缝截取。这两种试样的形状和尺寸，应分别按 GB2652—89《焊缝及熔敷金属拉伸试验方法》和 GB2651—89《焊接接头拉伸试验方法》标准进行。在焊接接头的拉伸试验中，如要求精确测定接头的屈服点值，也可采用圆棒试样。这种试样的缺点是直径较小。对于厚板接头，必须沿试件的厚度方向截取多个拉伸试棒。但在截取和加工试样时，大部分金属被切除，不能完全地测定全厚度接头的强度性能。如取全厚度接头板状拉伸试样，则可克服上述缺点。在接头的拉伸试样中，无论是圆棒试样，还是板状试样都不能测出接头实际的伸长率。因为接头的各组成部分，焊缝、热影响区和母材金属不可能具有完全相同的强度，当接头试样的三个区域同时受到拉力作用时，必然在强度稍低的区域首先产生塑性变形，随着拉力的提高，试样的塑性变形大部分产生于该区域直至形成缩颈后断裂。由此可见，接头拉力试样各区的塑性应变是不均匀的，其伸长率不能真实地反映接头各区的实际塑性，因而也不应将其定为验收指标，不能沿用均一材料的伸长率合格标准。

这两种试样的形状和尺寸，应分别按 GB2652—89《焊缝及熔敷金属拉伸试验方法》和 GB2651—89《焊接接头拉伸试验方法》标准进行。在焊接接头的拉伸试验中，如要求精确测定接头的屈服点值，也可采用圆棒试样。这种试样的缺点是直径较小。对于厚板接头，必须沿试件的厚度方向截取多个拉伸试棒。但在截取和加工试样时，大部分金属被切除，不能完全地测定全厚度接头的强度性能。如取全厚度接头板状拉伸试样，则可克服上述缺点。在接头的拉伸试样中，无论是圆棒试样，还是板状试样都不能测出接头实际的伸长率。因为接头的各组成部分，焊缝、热影响区和母材金属不可能具有完全相同的强度，当接头试样的三个区域同时受到拉力作用时，必然在强度稍低的区域首先产生塑性变形，随着拉力的提高，试样的塑性变形大部分产生于该区域直至形成缩颈后断裂。由此可见，接头拉力试样各区的塑性应变是不均匀的，其伸长率不能真实地反映接头各区的实际塑性，因而也不应将其定为验收指标，不能沿用均一材料的伸长率合格标准。

焊缝金属和焊接接头的高温短时强度性能，可采用两头带螺纹的圆棒试样测定，试验温度通常取产品的最高工作温度。

(2) 弯曲试验 焊接接头或焊缝金属的弯曲试验用来测定接头或焊缝金属本身的塑性变形能力。接头的弯曲试验，严格地说，它不是一种力学性能试验，而是一种工艺性能试验。因为金属的塑性是以伸长率来表征的，而弯曲角与弯曲试样受拉面的伸长率并不成直接的对应关系。特别是在接头的横向弯曲试样中，由于焊缝金属和母材金属的强度不等，弯曲过程中，试样受拉层的塑性变形会集中于强度较低的区域而导致提前开裂。因此对于焊缝与母材金属强度差较大的接头，如奥氏体钢与低合金钢接头，应当采用纵向弯曲试样，以使接头试样弯

曲时, 接头各区产生较均匀的塑性变形。

焊接接头的弯曲试样按试样截取方式的不同, 可分纵向弯曲试样和横向弯曲试样两种: 按弯曲试样的受拉面在焊缝中的所处位置不同, 可分为面弯、背弯和侧弯。在面弯试样中, 试样弯曲受拉面是焊缝的表层, 而背弯试样的受拉面是焊缝的底层, 在侧弯试样中, 则是接头的横截面受弯。侧弯试样通常加工成全厚度的弯曲试样, 以测定整个接头的塑性变形能力。全焊缝金属的弯曲试样一般只采用纵向弯曲试样。在不锈钢堆焊层的焊接工艺试验和产品焊接试板的检验中, 均要求作全焊缝金属的弯曲试验。

上述各种弯曲试样的形状和尺寸以及试验方法, 可参照 GB2653—89《焊接接头弯曲及压扁试验方法》标准进行。

表 1-56 焊接接头弯曲试样弯曲角合格标准

焊接工艺	钢 种	弯轴直径 D	支点距离	弯曲角度 /(°)
双面焊	碳钢、奥氏体钢	3δ	5.2 δ	180
	其它合金钢			100
单面焊	碳钢、奥氏体钢	3δ	5.2 δ	90
	其它合金钢			50

注: δ 为试样厚度 (mm)

弯曲试验结果的合格标准各国有关的制造规程的要求不一。如美国 ASME《锅炉与压力容器法规》第九卷的有关条款规定, 当弯轴直径为 3 倍试样厚度时, 不分钢种, 合格标准均为 180° 的弯曲角。我国 1996 年颁发的《蒸汽锅炉安全技术监察规程》第 101 条则按钢种, 规定了不同的合格标准, 而且还对双面焊和单面焊有所区分 (参见表 1-56)。作者认为, 这种分等的合格标准不尽合理, 且无必要作为焊接结构的钢材, 无论是碳钢, 还是合金钢, 都要经受相同的加工工艺, 都应具有相同的塑性变形的能力, 应当对其规定相同的合格标准。

试样弯到上列角度后, 其受拉面上如出现长度大于 1.5mm 的横向裂纹或缺陷, 或出现长度大于 3mm 的纵向裂纹或缺陷, 则该试样评为不合格。

(3) 冲击试验 冲击试验亦称缺口韧性试验。采用这种试验可测定焊接接头各区金属的韧性, 其大小用冲击韧度表示, 以冲击吸收功 (J) 来表征, 它是一种评定接头抗脆断能力的判据。焊接接头冲击试验方法和试样的形状及尺寸已列入国家标准 GB2650—89《焊接接头冲击试验方法》。

焊接接头冲击试样有两种形式的缺口。一种是 U 形缺口, 其底部圆弧的 R 为 1mm; 另一种是 V 形缺口, 其缺口尖端圆弧的 R 为 0.25mm。其中 V 形缺口在试验时的受力状态较接近于焊接缺陷的受力状态, 较 U 形缺口更能真实地反映接头实际的抗脆断能力。尤其是对于低合金高强度钢, 采用 U 形缺口的冲击试样, 往往不能测定出接头实际的脆性转变温度。因为在这种 U 形缺口冲击试样中, 其冲击吸收功在很大程度上取决于钢材的屈服点, 较高的冲击吸收功并不表征接头具有较高的抗脆断的能力。因此, 目前大多数重要焊接结构的制造规程都明确规

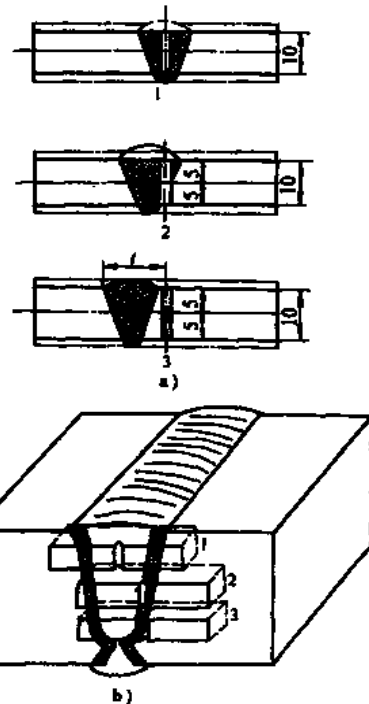


图 1-97 冲击试样截取部位和缺口方位

a) 薄板焊接接头 b) 厚板焊接接头

1—焊缝金属 2—熔合线

3—热影响区

定采用 V 形缺口冲击试样。

焊接接头冲击试样的缺口位置, 可按要求开在焊缝金属、熔合区和热影响区。对于厚壁焊缝可以在焊缝表层, 中心部位和底层分层取样。缺口的轴线应垂直于焊缝表面, 平行于焊缝的侧面, 这可减弱焊缝金属的枝晶组织对试验数据离散值的影响。冲击试样从试板中截取的部位和缺口的位置如图 1-97 所示。

焊接接头各区的缺口冲击韧度不应低于母材金属标准规定的下限值。对于低温容器, 接头各区 V 形缺口试样, 在最低工作温度下的冲击韧度不应低于 $35\text{J}/\text{cm}^2$ 。

(4) 硬度试验 在焊接结构的最终检验中, 除了一些特殊用途的产品以及耐磨堆焊层外, 一般不要求作硬度试验。在新钢种的焊接工艺试验和焊接工艺评定试验中, 对接头各区的硬度测定是必要的。焊接接头硬度试验方法及要求可参照 GB2654—89《焊接接头及堆焊金属硬度试验方法》标准。焊接接头硬度合格标准按焊接结构的用途而定, 特殊用途的焊接结构和耐磨堆焊层的硬度合格标准, 可按相应的产品技术条件的规定。对于一般的焊接结构, 目前已公认的准则是接头各区的硬度不应超过 280HBS 。

焊接接头的硬度, 可以采用洛氏、布氏和维氏硬度试验机测定, 硬度测定试样通常利用宏观或微观金相磨片, 便于测定接头各区的硬度, 硬度试样的测试表面应与试验机的支承面相互平行, 表面粗糙度至少达到 $R_a 3.2\mu\text{m}$ 。维氏硬度试样表面粗糙度至少为 $R_a 1.6\mu\text{m}$ 。硬度测点的分布位置在焊缝横截面上, 原则上可按图 1-98 所示的标线确定。

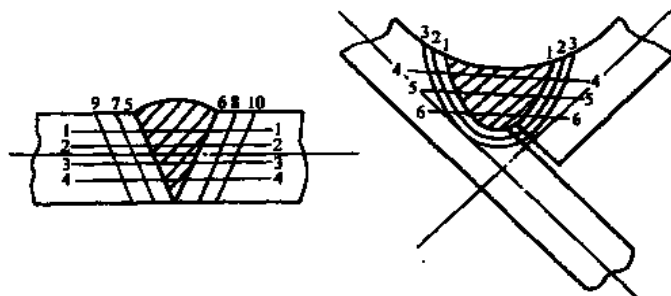


图 1-98 焊接接头硬度测点分布位置

硬度试验时, 为了获得正确的试验结果, 必须注意测点之间的距离。布氏硬度试验时, 相邻压痕中心的间距, 不应小于压痕直径的 4 倍。

洛氏硬度试验时, 压痕间距不应小于 3mm 。维氏硬度试验时, 间距不应小于压痕对角线的 2.5 倍。

(5) 金相检验 焊接接头的金相检验是对产品接头无损探伤的补充, 主要用来检查焊接接头横剖面上的内部缺陷。对于具有淬硬倾向的合金钢, 应当作微观金相组织的分析, 以检查接头各区是否存在不容许的淬硬马氏体组织。

在大多数焊接结构的质量检查中均未提出金相检验的要求。通常只是在焊接工艺评定试验中要求作金相试验。但在我国现行的《蒸汽锅炉安全技术监察规程》第 106 条明确规定, 当焊件材料为合金钢时, 下列焊缝应进行金相检验:

1) 工作压力大于或等于 3.8MPa 的锅筒对接焊缝, 工作压力大于或等于 9.8MPa 或壁温大于 450°C 的集箱、受热面管子和管道的对接焊缝。

2) 工作压力大于或等于 3.8MPa 的锅筒, 集箱上管接头的角焊缝。

金相检验包括宏观金相检验和微观金相检验, 试样制备要求及试验方法分述如下:

1) 宏观金相检验 焊接接头的宏观金相检验试样, 按图 1-96 从产品焊接试板或工艺评定试板上截取, 试样的宽度应包括完整的焊缝和热影响区。试样的表面应经铣或刨平并磨光, 使表面粗糙度达到 $R_a 1.6\mu\text{m}$ (∇) 以上, 然后采用按钢材成分配制的试剂腐蚀受检表面, 经过

规定时间的浸蚀后,冲洗掉试样表面的腐蚀产物,吹干受检面,用肉眼或10倍以下放大镜观察接头各区。宏观金相检验的合格标准,应按产品的技术要求而定,表1-57列出了蒸汽锅炉受压部件焊接接头宏观金相检验的合格标准。

对于易从产品上直接取样的焊接接头,例如在连续生产线上生产的小直径管道对接接头,可以采用接头的断口检查来代替宏观金相检验,以缩短检验时间。断口检查的合格标准与宏观金相检验相同。

表 1-57 宏观金相检验合格标准

壁厚 δ /mm	$\delta \leq 6$	$\delta > 6$
缺陷种类		
裂纹	无	
未熔合	无	
未焊透	无,对于单面焊接头其深度不大于15% δ ,且不小于1.5mm;总长不大于10%焊缝长	
内凹	深度不大于10% δ 且不大于1mm	深度不大于20% δ ,且不大于2mm
单个气孔	不大于1.5mm	不大于4mm
单个灰渣	不大于25% δ	不大于20% δ ,且不大于4mm
密集气孔和灰渣	无	每平方厘米内直径大于0.8mm的气孔及灰渣不超过5个,气孔和夹渣的总面积不超过3mm ² 。相邻缺陷的间距,如超过最大缺陷长度的5倍按单个缺陷计

2) 微观金相检验 焊接接头的微观金相检验是,在放大100~2000倍的显微镜下完成的,它可以发现接头各区可能存在的显微缺陷,观察到金相组织的细微变化,它是焊接试验研究中不可缺少的检验项目。由于金相磨片的制备比较费时,在产品焊接试板的常规检验中只是对合金钢焊件才要求作微观金相检验。在焊接工艺评定试验中,通常不要求作微观金相检验。

(6) 晶间腐蚀试验 在不锈钢耐酸钢制管道,压力容器和其它设备中,要求对产品接头作晶间腐蚀试验,对于在产品技术条件中明确规定耐蚀性要求的焊件,焊接工艺评定的试板也应作晶间腐蚀试验。从焊接试板中截取晶间腐蚀试样的方法见图1-99。按照焊件工作介质腐蚀性的严重程度,可以采用不同的晶间腐蚀方法。这些试验方法的名称,试剂的成分、试验结果的评定准则和适用范围综列于表1-58。

表 1-58 焊接接头晶间腐蚀试验方法评定准则和适用范围

试验名称	试验方法	评定准则	适用范围
C法:草酸电解浸蚀试验	试剂:100g草酸溶解于900mL蒸馏水中,试剂倒入不锈钢容器10~15mL,并接通电流,试样为阳极,容器为阴极,电流按每平方米1A计,试验温度20~25℃,试验时间1.5min	用金相显微镜观察试样浸蚀部位,放大150~500倍。评定等级为Ⅲ级: Ⅰ级晶界无腐蚀沟,铁素体已显现 Ⅱ级晶界有不连续的腐蚀沟,铁素体被腐蚀 Ⅲ级晶界有连续的腐蚀沟,铁素体被严重腐蚀	适用于对其它试验方法的筛选

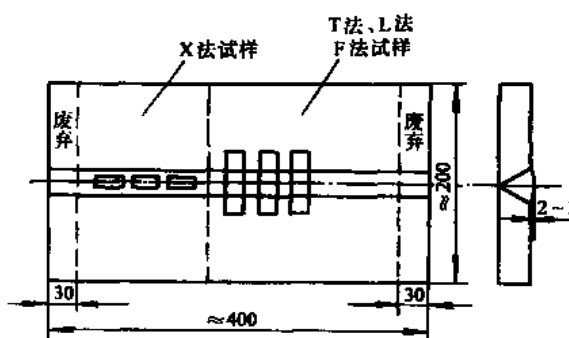


图 1-99 焊接试板晶间腐蚀试样截取方法

(续)

试验名称	试验方法	评定准则	适用范围
T法:铜屑、硫酸铜和硫酸煮沸试验	试剂:100g硫酸铜溶解于1000mL蒸馏水中,加100mL硫酸,加适量铜屑倒入锥形烧瓶中试样放在铜屑上煮沸24h	腐蚀试验后,将试样弯曲,厚度小于或等于1mm时,弯曲角180°压头直径等于试样厚度。试样厚度大于1mm时,弯曲角90°,压头直径为5mm。 弯曲后用10倍放大镜检查,发现晶间腐蚀裂纹评为不合格	各种铬镍不锈钢焊接接头
L法:硫酸铜和硫酸煮沸试验	试剂:100g硫酸铜溶解于1000mL蒸馏水中,加100mL硫酸,试样放在小玻璃球或玻璃棉上,煮沸24h		各种对晶间腐蚀要求较低的不锈钢焊接接头
F法:氟化钠和硝酸恒湿试验	试剂: $w_{H_2SO_4}$ 为25% w_{NaF} 溶于593mL蒸馏水中,溶液量按试样面积每平方厘米不少于5mL。试验温度70°C		各种含钼不锈钢焊接接头
X法:煮沸硝酸试验	试剂: w_{HNO_3} 为65±0.5%的溶液量,按试样表面积每平方厘米不少于10mL。煮沸周期48h,总共试验三个周期	按公式 $S=0.182 \frac{\Delta m}{Ad}$ 计算腐蚀速度。 式中 S ——腐蚀速度(mm/年); ΔW_m ——每周试样失重(g); A ——试样表面积(m ²); d ——试样密度(g/cm ³) 评定级别:1. $S \leq 0.60$ (mm/年) 2. $0.6 < S \leq 1.0$ 3. $1.0 < S \leq 2.0$ 4. $S > 2.0$ 合格级别按相应的产品技术条件,如发现刀状腐蚀,则评为不合格	对接头耐蚀性要求特别高的焊接接头

第 2 章 各种材料的焊接工艺

1 碳素钢的典型焊接工艺

1.1 低碳钢的焊接

低碳钢因含碳量较低, 焊接性较好。常用低碳钢的化学成分及力学性能见表 2-1。

1. 低碳钢的焊接特点 低碳钢几乎能采用所有的各种焊接工艺方法进行焊接, 不需要采用特殊工艺措施即可获得优质的焊接接头。

表 2-1 常用低碳钢的化学成分及力学性能

钢号	化学成分 (质量分数) /%					力学性能				
	C	Si	Mn	P	S	屈服点/MPa	抗拉强度/MPa	伸长率/%	收缩率/%	冲击吸收功/J
Q215 A	0.09~0.15	≤0.30	0.25~0.55	≤0.045	≤0.056	≥215	335~410	≥31	—	(20℃)
Q215 B	0.12~0.20	≤0.30	0.30~0.70	≤0.045	≤0.045	≥215	335~410	≥31	—	27
Q235 B	0.12~0.20	≤0.30	0.30~0.70	≤0.045	≤0.045	≥235	375~460	≥26	—	27
Q235 C	≤0.18	≤0.30	0.35~0.80	≤0.040	≤0.040	≥235	375~460	≥26	—	27
08	0.05~0.12	0.17~0.37	0.35~0.65	≤0.035	≤0.040	200	330	33	60	
10F	0.07~0.14	≤0.07	0.25~0.50	≤0.040	≤0.040	190	320	33	55	
10	0.07~0.14	0.17~0.37	0.35~0.65	≤0.035	≤0.040	210	340	31	55	
15F	0.12~0.19	≤0.07	0.25~0.50	≤0.040	≤0.040	210	360	29	55	
15	0.12~0.19	0.17~0.37	0.35~0.65	≤0.040	≤0.040	230	380	27	55	
20F	0.17~0.24	≤0.07	0.25~0.50	≤0.040	≤0.040	230	390	27	55	
20	0.17~0.24	0.17~0.37	0.35~0.65	≤0.040	≤0.040	350	420	25	55	
25	0.22~0.30	0.17~0.37	0.50~0.80	≤0.040	≤0.040	280	460	23	50	
20g	≤0.21	0.15~0.30	0.35~0.65	≤0.035	≤0.035	225~245 (16~60mm)	400~540	26~23 (16~60mm)	—	27
22g	≤0.26	0.17~0.37	0.60~0.90	≤0.035	≤0.035	≥265	420~560	24	—	27
20R	≤0.22	0.15~0.30	0.35~0.80	≤0.035	≤0.035	215~245 (6~60mm) 195 (60~100mm)	400~530 390~520	26~23 (16~60mm) 22	—	27 27
脱氧 碳素 钢	A B D E	≤0.22 ≤0.21 ≤0.21 ≤0.18	0.10~0.35 0.60~1.0 0.60~1.10 0.70~1.20	≥2.5C ≤0.040 ≤0.040		235	400~490	22		27

2. 低碳钢焊接材料的选用

(1) 焊条 焊接低碳钢时大多使用 E43×× 系列焊条, 因为低碳钢结构通常使用 GB700—88 的 Q235 牌号钢材制造, 这类钢材的抗拉强度为 375~460MPa, 而 E43×× 系列焊条熔敷金属的抗拉强度不小于 420MPa, 在力学性能上正好与之匹配。这一系列焊条有多种型号, 可按照焊接接头与母材金属等强度的原则, 选择强度级别相当的焊条, 常用的几种典型低碳钢焊接用焊条可按表 2-2 选用。

表 2-2 常用的几种典型低碳钢焊接焊条选用表

钢 号	焊条型号及牌号	
	一般焊接结构	重要焊接结构
Q215, Q235, 08, 10, 15, 20	E4313 E4303 E4301 E4320	E4316 E4315 E5016 E5015
	J421 J422 J423 J424	J426 J427 J506 J507
25, 20g, 22g, 20R	E4316 E4315	E5016 E5015
	J426 J427	J506 J507

(2) 二氧化碳气体保护焊焊丝 焊接碳钢用气体保护焊焊丝已制定新的国家标准 GB/T8110—1995,《气体保护电弧焊用碳钢、低合金钢焊丝》, 标准内容等效采用美国 AWS 气体保护焊焊丝标准。碳钢气体保护焊焊丝型号为 ER49-1, ER50-2, 至 ER50-7。焊丝商品牌号为 MG49-1, MG50-3 至 MG50-6 等。其标准成分见表 2-3。国产碳钢药芯焊丝的成分及熔敷金属典型力学性能数据见表 2-4。

表 2-3 碳钢气体保护焊焊丝标准化学成分 (摘自 GB/T8110—1995)

焊丝 牌号	焊丝 型号	化学成分 (质量分数) /%					
		C	Si	Mn	S	P	其它元素
MG49-1	ER49-1	≤0.11	0.65~0.95	1.80~2.10	≤0.030	≤0.030	C≤0.20, Ni≤0.30, Cu≤0.50
MG49-G	ER49-G	≤0.15	0.55~1.10	1.40~1.90	≤0.030	≤0.030	Ti 微量
	ER50-2	≤0.07	0.40~0.70	0.90~1.40	≤0.035	≤0.025	Ti 0.05~0.15, Zr 0.02~0.12, Al 0.05~0.15
MG50-3	ER50-3	0.06~0.15	0.45~0.75	0.90~1.10	≤0.035	≤0.025	Cu≤0.50
MG50-4	ER50-4	0.07~0.15	0.65~0.85	1.00~1.50	≤0.035	≤0.025	Cu≤0.50
	ER50-5	0.07~0.19	0.30~0.60	0.90~1.40	≤0.035	≤0.025	Al≤0.50~0.90
MG50-6	ER50-6	0.06~0.15	0.80~1.15	1.40~1.85	≤0.035	≤0.025	Cu≤0.50
	ER50-7	0.07~0.15	0.50~0.80	1.50~2.00	≤0.035	≤0.025	Cu≤0.50
MG50-F	ER50-G	≤0.15	0.40~1.00	0.85~1.60	≤0.030	≤0.030	Cu≤0.50

(3) 低碳钢埋弧焊用焊丝和焊剂 低碳钢埋弧焊一般选用实心焊丝 H08A 或 H08E, 这些焊丝可与高锰高硅低氟熔炼焊剂 HJ430、HJ431、HJ433 或 HJ434 配合, 如果焊剂为无锰、低锰或中锰型, 则焊丝应选用 H08MnA 或 H10Mn2 等焊丝。HJ430 焊剂与 HJ431 相比, 有如下特点: ① CaF₂ 和 MnO 含量较高, 因而抗铁锈、抗气孔能力较强; ② 由于 CaF₂ 较多, 有害气体略多; ③ 熔渣熔点较低, 粘度较低, 因而不利于小直径筒体环缝的焊接 (熔渣容易沿筒体下滴); ④ 电弧稳定性较差。

HJ430 焊剂在焊前需 250℃ 烘焙 2h, HJ431 焊剂则需 300℃ 烘焙 2h。烘干后焊剂中水的质量分数都不得超过 0.1%。目前, 烧结焊剂的应用也日益广泛, 有的烧结焊剂附加铁粉, 可以在衬垫上进行单面焊双面成形, 焊缝美观, 效率较高。

表 2-4 常用低碳钢药芯焊丝牌号化学成分力学性能

焊丝牌号	焊缝金属化学成分 (质量分数) / %								焊缝金属力学性能			
	C	Mn	Si	Al	S	P	Cr	Ni	抗拉强度 σ_b /MPa	屈服点 σ_s /MPa	伸长率 δ_5 / (%)	冲击试验 温度 /°C 冲击吸 收功 J (V 形)
YJ501-1	—	≤ 1.75	≤ 0.90	—	≤ 0.03	≤ 0.04	—	—	≥ 500	≥ 410	≥ 22	-40 ≥ 27
YJ501Ni-1	—	≤ 1.75	≤ 0.90	—	≤ 0.03	≤ 0.04	—	≤ 0.50	≥ 500	≥ 410	≥ 22	-40 ≥ 47
YJ502-1	≤ 0.10	≤ 1.75	≤ 0.90	—	≤ 0.03	≤ 0.04	—	—	≥ 500	≥ 410	≥ 22	0 ≥ 27
YJ502R-1	≤ 0.10	≤ 1.75	≤ 0.90	—	≤ 0.03	≤ 0.04	—	—	≥ 500	≥ 410	≥ 22	-40 ≥ 27
YJ502R-2	≤ 0.10	≤ 0.90	≤ 0.3	—	≤ 0.03	≤ 0.04	—	Ti ≤ 0.3	≥ 500	≥ 410	≥ 22	-40 ≥ 27
YJ507-1	≤ 0.10	≤ 1.75	≤ 0.90	—	≤ 0.03	≤ 0.04	—	—	≥ 500	≥ 410	≥ 22	-30 ≥ 27
YJ507Ni-1	≤ 0.12	≤ 1.75	≤ 0.90	—	≤ 0.03	≤ 0.04	—	≤ 0.50	≥ 500	≥ 410	≥ 22	-30 ≥ 27
YJ507TiB-1	≤ 0.12	≤ 1.60	≤ 0.75	B ≤ 0.005	≤ 0.035	≤ 0.04	Ti ≤ 0.04	0.35~1.0	≥ 500	≥ 410	≥ 22	-40 ≥ 47
YJ507-2	—	≤ 1.75	≤ 0.90	≤ 1.80	≤ 0.03	≤ 0.04	—	≤ 0.50	≥ 500	≥ 410	≥ 22	0 ≥ 27
YJ507G-2 ^①	—	≤ 1.75	≤ 0.90	≤ 1.80	≤ 0.03	≤ 0.04	≤ 0.20	≤ 0.50	≥ 500	≥ 410	≥ 22	-30 ≥ 27
YJ507R-2	—	≤ 1.75	≤ 0.90	≤ 1.80	≤ 0.03	≤ 0.04	—	—	≥ 497	≥ 414	≥ 22	-30 ≥ 27
YJ507D-2	—	≤ 1.75	≤ 0.90	≤ 1.80	≤ 0.03	≤ 0.04	—	≤ 0.50	≥ 500	—	—	—

① 其成分质量分数 (%) 为: Mo ≤ 0.30 , V ≤ 0.03 。

几种低碳钢埋弧焊常用焊接材料的选用见表 2-5。

(4) 电渣焊用焊丝和焊剂 电渣焊熔池温度比埋弧焊低, 焊接过程中焊剂更新量又少, 所以焊剂中 Si、Mn 的还原作用较弱。为此, 低碳钢电渣焊时, 往往选用中锰高硅中氟熔炼焊剂 HJ360 与 H10Mn2 或 H10MnSi 焊丝配合, 也可以用高锰高硅低氟焊剂 (如 HJ431) 与 H10MnSi 配合使用。

表 2-5 几种低碳钢埋弧焊常用焊接材料的选用

钢 号	埋弧焊焊材选用	
	焊 丝	焊 剂
Q235	H08A	HJ430 HJ431
Q255	H08A	
Q275	H08MnA	
15、20	H08A、H08MnA	HJ430 HJ431 HJ330
25、30	H08MnA、H10Mn2	
20g 22g	H10Mn2	
	H08MnA、H10MnSi	
20R	H08MnA	

3. 低碳钢焊接工艺要点

1) 焊前清除焊件的表面铁锈、油污和水分等杂质, 焊条、焊剂必须烘干。

2) 角焊缝、对接多层焊的第一层焊缝及单道焊缝要避免深而窄的坡口形式, 以防止出现未焊透和夹渣等缺陷。

3) 焊件的刚度增大, 焊缝的裂纹倾向也增大, 因此焊接刚度大的结构件时, 宜选用低氢碱性焊条, 焊前预热或焊后消除应力热处理措施, 预热及回火温度见表 2-6。

4) 在严寒冬天或类似的气温条件下焊接低碳钢结构时, 由于焊接的冷却速度快, 产生裂纹的倾向增大, 特别是焊接厚度大的刚性结构时更是如此。为避免裂纹的产生, 除采用低氢型焊接材料和焊前预热、焊接保持层间温度外, 还应在定位焊时加大电流, 减慢焊接速度, 适当增大定位焊缝的截面和长度, 必要时可采取预热措施。低碳钢在低温环境下焊接时, 预热温度见表 2-7。

表 2-6 常用低碳钢刚性结构的
焊前预热及回火温度

钢 号	材料厚度 /mm	预热温度 /°C	回火温度 /°C
Q235、Q235F、08、 10、15、20	≈50		
	50~90	>100	600~650
25、20g、22g	≈40	>50	600~650
	>60	>100	600~650

表 2-7 常用低温环境下低碳钢焊接的
预热温度

环境温度/°C	焊件厚度/mm		预热温度/°C
	梁柱、桁架	管道、容器	
-30°C 以下	<30	<16	100~150
-20°C 以下		17~30	100~150
-10°C 以下	35~50	31~40	100~150
0°C 以下	51~70	51~50	100~150

1.2 中碳钢的焊接

1. 中碳钢的焊接特点

焊接结构中常用的中碳钢化学成分及力学性能见表 2-8。中碳钢中碳的质量分数 w_C 为 0.3%~0.60%，随着含碳量的增加，焊接性逐渐变差。中碳钢焊接的主要问题是焊接热影响区容易产生硬而脆的马氏体组织，易于开裂。这种淬硬倾向随着钢中含碳量增加而增大。当焊件的刚度较大或焊接材料、焊接参数选择不当时，容易产生冷裂纹。多层焊的第一层焊缝，由于相当数量的母材金属会熔合到焊缝中，使焊缝金属含碳量及硫、磷杂质含量增高，容易产生热裂纹。这种热裂纹在弧坑处更为敏感。

表 2-8 中碳钢的化学成分及力学性能

钢 号	化学成分 (质量分数) /%							力学性能		
	C	Si	Mn	S	P	Cr	Ni	σ_s /MPa	σ_t /MPa	δ_5 /%
30	0.27~0.35	0.17~0.37	0.50~0.80	≤0.04	≤0.04	0.025	0.025	500	300	21
35	0.32~0.40	0.17~0.37	0.50~0.80	≤0.04	≤0.04	0.025	0.025	540	320	20
40	0.37~0.45	0.17~0.37	0.50~0.80	≤0.04	≤0.04	0.025	0.025	580	340	19
45	0.42~0.50	0.17~0.37	0.50~0.80	≤0.04	≤0.04	0.025	0.025	610	360	16
50	0.47~0.55	0.17~0.37	0.50~0.80	≤0.04	≤0.04	0.025	0.025	640	380	14
ZG270—500	0.32~0.40	0.20~0.45	0.50~0.80	≤0.05	≤0.05	—	—	500	280	16
ZG310—570	0.42~0.52	0.20~0.45	0.50~0.80	≤0.05	≤0.05	—	—	580	320	12
ZG340—640	0.52~0.62	0.20~0.45	0.50~0.80	≤0.05	≤0.05	—	—	640	380	14

2. 中碳钢焊接材料的选用

应当尽量选用低氢型焊接材料，因为低氢焊条具有一定的脱硫能力，熔敷金属塑性和韧性良好，扩散氢量少，所以，无论对热裂纹或氢致冷裂纹来说，焊缝抗裂性都较高。

在某些情况下,也可以采用钛铁矿型或钛钙型焊条,但一定要采取严格的工艺措施,例如认真控制预热温度和尽量减少母材金属的熔深(减少焊缝金属的含碳量),方能获得满意结果。

在特殊情况下,亦可采用铬镍不锈钢焊条焊接。这时不需预热,而焊缝奥氏体金属塑性良好,可使热影响区处于压应力状态,避免热影响区产生冷裂纹。如果选用碳钢焊条或低合金钢焊条,而焊缝与母材金属并不要求等强时,可以选用强度等级稍低的低氢焊条。通常,焊条强度等级可以比母材强度等级低一档,如,母材金属为 490MPa 级,则焊条可用 J426 或 J427,以代替 J506 和 J507 焊条。中碳钢焊接用焊条举例见表 2-9。

表 2-9 中碳钢焊接用焊条举例

钢 号	焊 条 牌 号		
	要求等强的构件	不要求等强的构件	特种情况
35	J506 J507	J422、J423	A102、A302 A307、A402 A407
ZG270—500	J556 J557	J426、J427	
45	J556 J557	J422、J423、J426、J427、J506	
ZG310—570	J606 J607	J507	
55	J606 J607	J422、J423、J426、J427、J506、J507	
ZG340—640			

3. 中碳钢的焊接工艺要点

一般情况下,中碳钢焊接需要预热和控制层间温度,以降低焊缝和热影响区的冷却速度,从而防止产生硬而脆的马氏体组织。预热温度取决于碳含量,母材金属厚度、结构刚度、焊条类型和工艺方法。通常情况下,35 和 45 钢的预热温度可为 150~250℃,若含碳量更高,或厚度较大,或刚度较大时,则预热温度应提高到 250~300℃。焊后最好立即进行消除应力热处理,特别是大厚度焊件,大刚度结构件和在动载荷或冲击载荷工作的焊件更应如此。消除应力回火温度一般为 600~650℃。预热及焊后回火温度见表 2-10。

表 2-10 中碳钢焊接的预热及焊后回火温度

钢 号	焊件厚度 /mm	操 作 工 艺		焊条类别	说 明
		预热、层间温度/℃	消除应力回火温度/℃		
30.	~25	>50	600~650	非低氢型焊条	1. 局部预热的坡口两侧的加热范围为 150~200mm 2. 焊接过程中可以锤击焊缝金属,以减小残余应力
				低氢型	
				低氢型	
35.	>25~50	>100		非低氢型焊条	
		>150		低氢型	
	>50~100	>150		低氢型	
45.	~100	>200		低氢型	

为减少母材金属熔入焊缝中的比例,焊接接头最好开 U 形或 V 形坡口。焊接时宜采用直流反极性及其小参数。多层焊时,第一道焊缝易出现裂纹,应选用小直径焊条,小电流,低焊接速度。

焊接完成后,如果不可能立即消除应力,则应进行后热,以便于氢的逸出。后热温度应略高于预热温度。后热保温时间为 1~2h,视焊件厚度而定。

1.3 高碳钢的焊接

1. 高碳钢的焊接性

高碳钢的含碳量比中碳钢更高，更容易产生硬而脆的高碳马氏体，所以淬硬倾向和裂纹敏感性都很大，焊接性很差。因此，这类钢不用于制造焊接结构，而多半用于高硬度或耐磨部件或零件，此外还用于焊补修理。为了获得高硬度或耐磨性，高碳钢零件一般都需要经过热处理，即焊接前应经过退火，以减少裂纹倾向，焊后再进行热处理，以达到高硬度和耐磨要求。

2. 高碳钢焊接材料的选用

焊接材料通常不用高碳级，具体情况可根据钢材的含碳量、几何形状和使用条件等，选用合适的填充金属。要求做到焊缝金属的性能与母材金属的性能完全相同较为困难。这些钢材的抗拉强度大多在 675MPa 以上，所选用的焊接材料视产品设计要求而定。要求强度高时，一般用 J707 或 J607 焊条；要求不高时可用 J506 或 J507 等焊条；或者分别选用与上述强度等级相当的低碳合金钢焊条或填充金属。所有焊接材料都应当是低氢型的。也可以用铬镍奥氏体钢焊条焊接，其牌号与焊接中碳钢用的不锈钢焊条相同，这时焊前可不必预热。

3. 高碳钢焊接工艺要点

高碳钢焊接时应先进行退火，方可焊接。采用结构钢焊条焊接时，焊前必须预热，其温度一般为 250~350℃ 以上。焊接过程中还需要保持不低于预热温度的层间温度。焊后焊件保温，并立即送入 650℃ 的炉中进行消除应力热处理。

2 低合金结构钢的焊接工艺

低合金结构钢简称低合金钢。可按强度等级分类，见表 2-11。

表 2-11 低合金结构钢的强度等级

强度等级	抗拉强度 σ_b /MPa	屈服点 σ_s /MPa	典型钢号
I	400~550	≤ 310	A441、A633A、12CrMo、15CrMo
II	500~600	≥ 350	Q345 (16Mn)、19Mn5、A299、SPV32、36
III	520~680	360~420	Q390 (15MnV)、A533-A、SPV46、SM53-B
IV	550~750	≥ 420	Q420 (15MnVN)、13MnNiMoNb、SPV、A533-C
V	700~1000	500~750	14MnMoV、A710-A1-B、A533C-3
VI	750~1200	760~1000	14MnMoVN、A517-A、A514-A

注：表中 A411、A633-A、SPV32、A533-A、SPV46、SM53-B、S533-C、A710-A1-B、A533C-3、A517-A、A514-A 等均为国外钢号，下同。

2.1 低合金结构钢的焊接特点

1. 热影响区的淬硬倾向

低合金结构钢在焊后冷却过程中，热影响区容易形成淬火组织——马氏体，使近缝区的

硬度提高，塑性下降。结果导致焊后发生裂纹，或者结构在较小载荷下，也可能产生脆性破坏。

2. 冷裂纹敏感性 低合金钢的焊接裂纹主要是冷裂纹。

为防止冷裂纹的产生，主要从以下三个方面采取工艺措施。其一是选择合适的焊接材料。应使焊缝金属强度与母材金属相匹配，选用碱性低氢型焊条和碱性较高的焊剂。焊前要严格进行烘干，焊丝应仔细去除油污，以减少氢的来源。其二是提高预热温度，以减缓焊后冷却速度。其三焊后及时进行热处理，可改善焊接接头的组织，减小残余应力，加速氢向焊缝外扩散。同时还应注意拟定合理的焊接工艺参数和焊接顺序。

3. 热裂纹及再热裂纹倾向

采用高热输入焊接方法焊接高拘束度接头，例如厚板的电渣焊、埋弧焊和大功率熔化极气体保护焊时，焊接接头中也会出现各种形式的热裂纹。在一些含碳化物形成元素较多，并能产生沉淀硬化的低合金高强度钢和热强钢厚壁接头中，往往会在焊件作焊后消除应力处理时，沿焊接过热区形成再热裂纹。对于一些在高温高压下长期运行的焊件，在服役较长一段时期后，接头内亦有可能出现再热裂纹。这种裂纹具有明显的晶间分布的特征，其起源部位往往在接头的应力集中区，如焊缝根部的未焊透或角焊缝的焊趾处。

2.2 低合金结构钢用焊接材料

低合金钢用的焊接材料包括焊丝、焊剂和焊条。

1. 低合金结构钢用焊接材料的选用原则

1) 总的原则是，要根据产品设计对焊缝性能的要求选择焊接材料。

承载和受压焊接部件所用的焊接材料，一般都是按与母材金属等强性原则选用的。而非承载部件的焊缝，钢结构部件上的联系焊缝，则可采用比母材金属强度低一级的焊接材料。这里所说的等强性应理解为焊缝金属的强度不低于母材金属标准规定的下限。在高温下工作的焊接结构，应当按照结构最高设计温度下的温度来选择焊接材料，而不必强求室温强度。

在低合金钢接头中，应保证焊缝金属具有不低于母材金属的韧性，这比保证强度更为重要。低合金钢强度等级越高，接头因韧性不足而产生脆性断裂的危险性越大。焊缝金属的韧性取决于它的化学成分和金相组织，另外还受到焊接工艺参数、焊后热处理参数、工作温度和时间的影响。低合金钢焊缝金属按其合金成分和杂质含量，可能会产生消除应力处理脆变、蠕变脆化和回火脆性等现象。因此，焊缝金属的等韧性原则应理解为在焊后状态，各种热处理状态和接头经长时间运行后焊缝金属均具有与母材金属相当的韧性水平。

低温用钢、耐蚀钢及镀层钢焊接时，所选用的焊接材料，还应保证焊缝金属具有相应的特殊性能，如低温韧性和耐腐蚀性能等。

2) 工艺条件的影响。大部分钢结构和壁厚小于 30mm 的容器，焊后可不必作消除应力处理。因此，焊缝金属在焊后状态的性能能满足上述要求就可以了。除电渣焊缝以外，所有各种熔焊接头的冷却速度都较快，对于一些合金成分较低的焊缝金属，往往具有与母材金属相等的强度性能。尤其是使用开 I 形坡口的直边对接自动焊，母材金属在焊缝中所占的比率较大，即使采用合金元素含量比母材金属低的焊丝，也能保证接头的强度不低于母材金属。例

如 Q345 (16Mn) 钢可采用 H08MnA 焊丝, 而不必选用 H10Mn2 焊丝。另外角接接头焊接时的冷却速度大于对接接头, 因此 Q345 (16Mn) 钢角接时, 应采用合金成分较低的 H08A 焊丝与 HJ431 焊剂组合, 以便满足综合力学性能要求, 如果选用合金成分偏高的 H08MnA 或 10Mn2 焊丝。则会造成角焊缝的塑性偏低。

在厚壁容器制造中, 则是另一种情况。首先厚壁筒体必须采用热卷方法成形, 而热卷温度一般要求达到钢材的正火温度或高于正火温度。这样筒体纵缝必然随筒体经受正火处理。其次是某些热冲压件, 需经过多次冲压才能最终成形, 从而经受多次的正火处理。正火的冷却速度要比焊接冷却速度低得多, 正火后所形成的组织虽然是细晶粒的, 但强度性能比焊后状态的焊缝金属低不少, 严重的可能低一个强度级别 (100MPa)。因此, 在制造过程中需经受正火处理的焊缝, 应选用合金成分高一级的焊丝或焊条。如 19Mn6 钢厚板应采用 H10Mn2Mo 或 H10MnMo 焊丝进行电渣焊和埋弧焊。

3) 焊件的结构特点与产品的重要性 对于厚板、拘束度大的以及冷裂倾向高的焊接结构, 应选用超低氢焊接材料, 以提高抗裂性能。焊接厚板、大拘束度焊件时, 第一层打底焊缝最容易产生裂纹, 此时可选用强度稍低、塑性、韧性良好的低氢或超低氢焊接材料。对于重要的焊接产品, 如海上采油平台、压力容器及船舶等, 为确保产品使用的可靠性, 焊缝应具有优良的低温冲击韧度和断裂韧性, 故应选用高韧性焊接材料, 如高碱度焊剂等。

2. 低合金结构钢用焊接材料的选用

各种焊接方法常用低合金钢焊接材料, 如焊条、焊丝、焊剂和保护气体, 可按表 2-12 选用。这里需要说明的是, 对于同一级别低合金钢往往列出了两种不同牌号的焊条和焊丝, 这并不意味着哪两种焊条或焊丝可任意代用, 而应按焊接结构的制造工艺选择一种合适的焊条或焊丝。例如, 当采用 14MnMoV 或 13MnNiMo54 高强度厚板制造压力容器壳体时, 根据对壳体性能要求的不同, 可采取如下两种的热处理方法: 一种是正火+回火; 另一种是淬火+回火。如壳体的纵缝采用电渣焊完成, 则电渣焊焊缝随壳体采用与之相同的热处理。在对接头强度性能要求相同的情况下, 采用前一种热处理方法时, 由于正火冷却速度较慢, 需选用合金成分较高的 H10Mn2NiMoA 焊丝。同时, 为了保证钢材在正火状态下的韧性, 焊丝中应含有一定数量的镍。后一种热处理方法是调质处理, 钢材和焊缝金属的韧性和强度都可得到相应的提高, 故可选用合金成分较低的 H10Mn2Mo 焊丝。焊条电弧焊用焊条, 埋弧焊焊丝的选用, 亦可按相同的原则处理, 凡焊后需经热冲压、热卷和高温回火的焊件, 都应选取强度高一级的焊条或焊丝。其次是许多低合金高强度钢的强度指标是按钢板的厚度分等的。随着钢板的增厚, 强度等级相应降低。而焊缝金属的强度与被焊钢材厚度的关系不大, 特别是多道焊缝, 其强度性能主要取决于焊接过程中的热参数。如对于 18MnMoNb 钢, 标准规定, 当板厚超过 95mm 时, 抗拉强度指标由 650MPa 降为 600MPa。因此, 在焊接厚度大于 95mm 的 18MnMoNb 钢厚板构件时, 可选用 E60 级焊接材料; 而厚度小于 95mm 的 18MnMoNb 钢, 则应选用 E70 级焊接材料。

对于不同强度等级合金钢之间的异种钢接头, 可按两者之中强度级别较低的一种选用焊接材料。如由 Q345 (16Mn) 钢与 14MnMoV 钢构成的异种钢接头可选用 E5015 焊条焊接。但焊接工艺参数, 如预热、后热温度以及消除应力处理温度, 则应按强度级别较高的钢种考虑。

表 2-12 常用低合金钢焊接材料选用表

序号	钢材牌号	焊条型号	焊条电渣焊		埋弧焊		电渣焊		气体保护焊		备注
			国标	牌号	焊丝	焊剂	焊丝	焊剂	焊丝	保护气体	
1	Q345(16Mn)	E50	E5015	J507	H10Mn2 H08MnMo	HJ431	H10MnMo	HJ360	ER50-6	CO ₂	ER50-4
2	19Mn6		E5016	J506		HJ350					
3	SM508N		E5018	J50Fe		SJ301	H10Mn2Mo	HJ431		Ar+CO ₂	
4	Q390(15MnV)	E55	E5515-G	J557 J556	H08MnMo H08Mn2Mo	HJ350	H10MnMo	HJ360	ER50-6	CO ₂	ER50-4 ER55-D2
5	Q420(15MnVN)					SJ301	H10Mn2Mo	HJ431	ER55-D2	Ar+CO ₂	
6	25Mn										
7	20MnMo	E60	E6015-1D	J607	H08Mn2Mo	HJ350	H10Mn2NiMo	HJ360	ER55-D2	CO ₂	ER55-D2
8	13MnNiMoNb					HJ250	H10Mn2Mo	HJ360		Ar+CO ₂	
9	18MnMoNb					SJ101					
10	13MnNiMo54	E70	E7015-D2	J707	H08Mn2Mo H08Mn2NiMo	HJ250	H10Mn2NiMo	HJ360	ER55-D2Ti	CO ₂	ER55-D2Ti
11	20MnMoNb					SJ101	10Mn2Mo	HJ431		Ar+CO ₂	
12	14MnMoV										
13	15MnMoVN (调质状态)	E80	E8015-D3	J807	H08Mn2NiMo	HJ250	H10Mn2MoNiV	HJ360	ER55-D2Ti	CO ₂	ER55-D2Ti
14	14MnMoVN (调质状态)					SJ101		HJ431		Ar+CO ₂	
15	15Mo3									CO ₂	
16	12CrMo	E50-A1	E5015-A1	R107	H08MnMo	HJ350	---	---	ER55-D2	Ar+CO ₂	ER55-D2
17	12CrMo	E55-B1	E5515-B1	R207	H10CrMo	HJ350	---	---	ER55-B2Mn	Ar+CO ₂	ER55-B2Mn
18	13CrMo44	E55-132	E5515-132	R307	H12CrMo	HJ350	H12CrMo	HJ360	ER55-B2Mn	CO ₂	ER55-D2
19	20CrMo					SJ301				Ar+CO ₂	
20	12Cr1MoV										
21	13CrMoV42	E55-132-V	E5515-B ₂ -V	R317	H08CrMoV	HJ350	H12CrMoSiMoV	HJ360	ER55-B2MnV	Ar+CO ₂	ER55-B2MnV
22	2.25Cr-1Mo	E60-B3 E-55-B3-VWB	E6015-B3	R407	H08Cr3MnMoA	HJ350	H10Cr3MnMoA	HJ431	ER62-B3 ER62-B3WVNbB	Ar+CO ₂	ER62-B3 ER62-B3WVNbB
23	12Cr2MoWVTiB		E5515-B3-VWB	R347	H08Cr2MoWVNbB	HJ250		HJ360			

2.3 低合金结构钢的焊接方法选择

目前用于低合金钢的焊接方法可分成两类：一类是高温输入焊接法，它是在常规的焊接坡口内以相当高的熔敷率填满焊缝金属，如单丝和多丝埋弧焊以及电渣焊等；另一类是低温输入焊接法，并将接头设计成焊缝截面最小的窄间隙坡口形式。属于第二类的焊接方法有焊条电弧焊、钨极氩弧焊、熔化极气体保护焊及窄间隙埋弧焊等。对于许多低合金结构钢来说，高的热输入会引起焊缝金属和热影响区的晶粒粗大，加之在低的冷却速度下所发生的其它冶金变化，可能对接头的断裂韧性产生不利影响。具有再热裂纹倾向的低合金钢，其热影响区组织对再热裂纹的敏感性可能提高。使用第二类焊接方法，虽然熔敷率较低，但由于焊缝截面大大减小，可显著缩短焊接周期，节约大量的焊接材料，保证焊接接头具有优良的性能。其不利的一面是对焊接设备和操作技能提出了较高的要求。

2.4 低合金结构钢的焊前准备与焊接工艺参数的选择

低合金结构钢的焊前准备工作包括坡口的制备，焊接区的清理和焊接材料的处理等。

1. 焊接坡口制备

焊接坡口的几何形状、尺寸、制备方法，会直接影晌到低合金钢接头的质量和经济性。在设计焊接坡口时，首先应避免采用焊不透或局部焊透的坡口形式。因为焊缝根部缺口往往是各种裂纹的起源区。其次是尽量减少焊缝的横截面积，以降低接头的残余应力，同时也可以减少焊接材料的消耗量，提高生产效率降低劳动强度。如图 2-1 所示。U 形坡口与 V 形坡口相比，U 形坡口的加工比较费时，但焊缝截面可显著减少，在厚板结构中应优先考虑采用 U 形坡口。

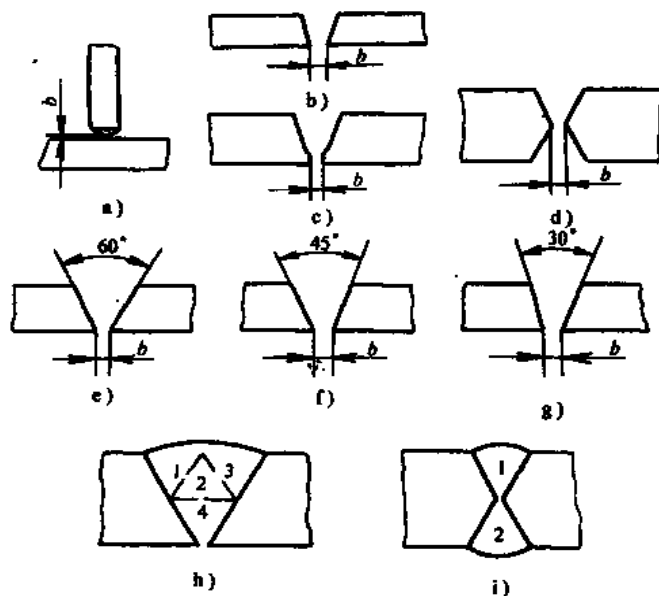


图 2-1 各种焊接接头坡口形式

低合金钢开坡口时,可采用火焰切割、等离子弧切割和机械加工等方法。热切割和电弧气刨具有与焊接相似的热过程,热影响区的冷却速度甚至比焊接热影响区更快,热切割边缘会形成一定深度的淬硬层。

为了防止产生切割裂纹,屈服点超过 500MPa 或合金总的质量分数量大于 3% 的低合金钢,当板厚大于 50mm 时,切割前应将钢板切割区预热到 100°C 以上;切割后采用磁粉探伤对切割表面进行表面裂纹检查。低合金钢接头坡口背面采用电弧气刨清根时,气刨前应对工件进行预热。预热温度应比该种钢焊条电弧焊所要求的预热温度高 50°C。

2. 焊接区的清理

低合金钢接头焊接区的清理是一项不可忽视的工作,它是建立低氢环境的主要环节之一。钢材的淬硬倾向越大,对焊接区清理的要求亦越高。焊接边缘和坡口表面不应有氧化皮、锈斑、油脂及其它污染物。焊前还必须清除焊接区钢板表面的吸附水分,特别是在相对湿度较高的环境下焊接时,更应注意这点。可以采用无水乙醇擦洗坡口表面或使用火焰喷嘴加热焊接边缘的办法,以消除表面吸附水分。

若直接在焊件切割边缘和切割坡口上焊接的接头,则焊前必须清理干净切割面的氧化皮和熔化金属的飞刺,必要时可用砂轮打磨。如切割坡口面凹槽深度超过 1mm 或几何形状不规则,应采用砂轮打磨修整。

如果焊件表面未经喷丸、喷砂等预处理,则在焊缝两侧的内外表面必须用砂轮打磨至露出金属光泽。焊条电弧焊接头的打磨区要求每侧为 20mm,埋弧焊为 30mm,电渣焊为 40mm。

3. 焊接材料的处理

在低合金钢焊接中,为防止产生焊接冷裂纹和保证接头的性能,通常均选用低氢型碱性药皮焊条,但碱性药皮焊条、熔炼型和烧结型焊剂容易吸潮,如不作适当的处理,消除过高的水分含量,则达不到低氢的效果。焊条在相对湿度 80% 的环境下保存一昼夜,水分含量将提高 4 倍以上。因此,焊条和焊剂在使用之前,应按技术条件的规定或生产厂推荐的规范进行烘干。对于强度级别高的焊条应随用随取。表 2-13 列出了常用低合金钢焊条和焊剂的典型烘干制度。

表 2-13 常用低合金钢焊条和焊剂的烘干制度

焊条牌号	焊剂牌号	烘干温度 /°C	烘干时间 /h	保存温度 /°C
J502、J503、R102、R202、R302	—	150~205	1~2	50~80
J506、J507、J607、J707、J807、J857、R307、R317、R407、R447	—	350~400	1~2	120~150
	HJ350、HJ250	400~450	2~3	120~150
	SJ101、SJ301 (烧结型)	300~350	2~3	120~150

在阴雨、闷热和湿度较大的气候条件下,尤其是在现场作业时,如采用强度级别在600MPa以上的低氢型焊条施焊,应采用焊条保温筒。

在低合金钢焊接工艺细则中,应规定焊条(焊剂)的烘干和保存制度,其中包括:

- 1) 焊条贮存仓库环境温度和湿度。
- 2) 焊条(焊剂)在烘干炉内摆放位置。
- 3) 检测焊条(焊剂)烘干温度的仪表精度。
- 4) 最佳烘干温度和时间。
- 5) 焊条烘干后的保存条件和时间限制。

4. 焊接工艺参数的选择

焊接工艺参数包括能量参数、温度参数和操作参数三部分。能量参数是指焊接电流、电弧电压和焊接速度。操作参数主要由焊接位置、焊接顺序、焊接方向和焊道层次等参数组成。温度参数则包括预热温度、层间温度和后热温度。碳素钢焊接时,能量参数主要是依据所要求的熔透性能和焊缝成形来选择。在低合金钢焊接时,还应考虑其对接头性能的影响。接头的冷却速度直接取决于热输入的高低。增加热输入会导致焊缝金属冷却减慢,并由此形成粗大的晶粒,使强度和韧性都降低。对于合金成分较高的焊缝金属,还可能形成不利的高温转变组织。

因此正确地选择焊接工艺参数可使焊缝金属和热影响区的性能达到最佳化。

2.5 低合金结构钢的焊后热处理

低合金结构钢接头在焊完一部分或全部焊完后,或在整个焊接结构的所有接头焊完后,按技术要求作焊后热处理。一般情况下焊后热处理的形式有下列几种:

1. 消除应力退火热处理

为消除焊接残余应力的有害影响,对于厚度超过一定界限的焊接构件,焊后应作消除应力处理。例如,在压力容器壁厚超过表2-14所列的界限时,就必须按钢种和实际壁厚进行消除应力处理。消除应力热处理是指将焊件均匀地以一定的速度加热到 A_{c1} 点以下足够高的温度,保温一段时间后随炉均匀地冷却到300~400℃,最后将焊件移到炉外空冷。

表 2-14 压力容器需作消除应力处理的厚度界限

钢 号	容器最大壁厚/mm	
	不预热	预热 100℃ 以上
Q345 (16Mn), 19Mn5	<30	>34
15MnV, 15MnVN, 15MnTi	<28	>32
14MnMoV, 18MnMoNb, 13MnNiMo54	—	>20
12CrMo, 15CrMo, 2 ¹ / ₄ Cr1Mo	—	>10
12Cr1MoV	—	>6

对于具有二次硬化倾向的低合金钢, 不适当的消除应力处理会产生相反的作用, 导致焊缝金属和热影响区产生消除应力脆化和再热裂纹倾向。消除应力处理可采取整体处理或局部处理两种方法。整体处理是将整个焊接结构放入炉内加热; 而局部消除应力处理利用气体火焰、工频加热装置、电加热器和远红外加热元件等进行局部加热, 加热带的宽度可取焊件厚度的 8 倍, 但至少为 200mm。

在下列情况下, 焊接结构中的某些焊缝应作中间热处理。所谓中间热处理是指焊接结构部分焊缝焊接后, 或一条焊缝焊完一半后进行的热处理。

- 1) 全厚度焊接接头焊完后在静置过程中有形成冷裂纹的危险。
- 2) 母材或焊缝金属的脆性倾向较高, 接头完全冷却后可能会发生脆性断裂。
- 3) 焊件形状复杂或焊缝集中引起的附加应力, 以及塑性应变可能引起结构局部破坏。
- 4) 复杂的交叉焊缝在最后封闭连接之前。

中间消除应力处理的加热温度通常比最终热处理的温度低 $20\sim 30^{\circ}\text{C}$, 保温时间按实际焊成的焊缝厚度计算。

2. 正火加回火热处理 (空气调质)

低合金钢厚板, 在电渣焊之后, 或者热校、热成形之后, 需作正火热处理, 以细化电渣焊接头各区的晶粒或调整经高温热成形的部件母材和焊缝金属的性能。钢材的正火温度应选在该种钢的 A_{c3} 点以上 $30\sim 50^{\circ}\text{C}$, 但过高的正火温度会导致晶粒长大, 降低正火处理的效果。经细晶粒处理并以碳化物形成元素合金化的钢材, 正火温度可略高于上列温度, 正火保温时间可适当延长, 以使碳化物充分溶解, 冷却后形成均一的显微组织。正火处理的保温时间通常按 $1\sim 2\text{min/mm}$ 计算, 保温结束后将焊件放在平静的空气中冷却。对于大型厚壁焊件, 为保证焊件的强度性能, 亦可将焊件放在强迫流动的气流中冷却。但必须注意冷却的均匀性。

厚壁构件高温空冷正火处理时, 由于焊件表面和心部的冷却速度不同, 会产生较高应力。对于形状复杂的构件, 正火引起的内应力更为严重, 故正火后应紧接着作回火处理。合金成分较高的低合金钢正火处理后, 只有再经回火处理即所谓空气调质处理后, 才能达到符合要求的综合性能。在这种情况下回火处理的目的主要是改善钢材和接头的组织和性能。对于一些不敏感于回火制度的低合金钢, 如 Q345 (16Mn)、Q390 (15MnTi、15MnV) 钢等, 可将回火温度和消除应力处理合为一个工序进行。另外, 在回火处理的实际操作中, 为严格控制回火温度, 应在焊件表面装接热电偶, 以避免炉温与焊件温差引起的失控。

3. 水调质处理 (或淬火+回火处理)

水调质处理是一种发挥低合金钢潜在综合性能的先进工艺方法。当钢材的屈服点达到或超过 500MPa 时, 在正火状态下, 钢材的韧性会出现不稳定, 冲击韧性往往达不到技术标准的要求。这显然是由于为获得强度而增加各种强化合金元素, 导致形成对韧性不利的显微组织所致。因此迫使人们采用水调质处理方法, 以提高钢材的强度同时改善韧性。

调质热处理, 淬火温度一般取钢材 A_{c3} 点以上 $30\sim 50^{\circ}\text{C}$, 对于经细晶粒处理的钢材, 则可在更高的温度下淬火。焊件的急冷可采用喷淋水柱或浸入水池中进行。一般钢的调质处理是在钢板出厂前由钢厂完成的。在制造厂焊接时钢板已处于调质状态, 焊后只需按板厚作消

除应力处理即可，但在厚壁容器制造中，筒体和封头必须采用热卷或热冲压工艺成形，这样水调质处理必须在筒体纵缝和封头拼接焊成后进行。在后一种情况下，水调质处理也就成为一种焊后热处理工艺。

水调质处理的效果取决于钢材本身的淬透性、焊件入水温度和淬火时的冷却速度。

应当根据钢材的淬透性来选择淬火时的冷却速度。焊件在淬火时的冷却速度又取决于采用何种淬火介质，是油、水还是盐水。油的冷却速度较慢，而盐水冷却速度最快。其它重要的淬火工艺参数还有奥氏体化的温度和时间，焊件出炉到入水的时间间隔，焊件表面的状态（氧化皮的厚度），淬火介质的温升和淬火时间等。对于每种低合金钢来说，达到所要求强度所需的临界冷却速度，可利用该钢种的连续冷却组织转变图来确定。淬火处理后的回火温度和时间对钢材和焊缝金属的性能有很大的影响。通常利用回火参数作综合评定，其关系式如下：

$$[P] = T(20 + 10gt) \times 10^{-3}$$

式中 T ——实际的回火温度(°C)；

t ——回火时间(h)；

$[P]$ ——回火参数。

根据评定结果选择最佳的回火温度和保温时间。

2.6 低合金结构钢的焊后检验

低合金钢焊接接头的焊后检查与普通碳钢接头相比，要严格得多。目前，在低合金钢焊接结构中常用的无损检测法有射线探伤（X光、γ射线）、超声波探伤，渗透探伤和磁粉探伤等。前两种方法用于检查焊接接头的内部缺陷。后两种方法用于检查接头的表面缺陷。对于一些重要焊接结构，应采用综合探伤法，即对同一个焊接接头同时采用几种探伤方法。或者在结构制造的不同阶段采用不同的探伤方法，以最大限度地提高缺陷的探测几率。焊后检查的第二个问题是根据焊接结构的工作条件和钢材的焊接特性选定焊接缺陷的评定标准。

在低合金钢接头焊后检查时，还应考虑这种钢的焊接特点，制定合理的检查程序。对于具有延迟裂纹倾向的焊接接头，应规定在焊接工作全部结束后经过48h再进行焊缝的无损探伤。在对再热裂纹敏感的低合金钢接头检查时，应规定在焊后和消除应力处理后分别对接头作无损探伤。鉴于表面裂纹对结构的安全构成极大的威胁，故在低合金钢焊缝及其热影响区表面都应作表面磁粉探伤。低合金钢接头的强度越高，裂纹敏感性越大，无损检测，包括磁粉探伤的检查几率亦应相应提高。为此，合金钢焊接接头的焊后检查，在焊接工艺规程中，应规定如下内容：

- 1) 采用何种探伤方法。
- 2) 探伤与焊接工序或热处理工序的先后次序和相隔时间。
- 3) 探伤次数。
- 4) 探伤抽检率。
- 5) 判废标准。

2.7 常用低合金结构钢的典型焊接工艺

1. Q345 (16Mn) 钢的焊接

通常 Q345 (16Mn) 钢板厚在 30mm 以下的焊件焊前可不必预热。但 16Mn 钢的淬硬倾向比低碳钢稍大, 所以在低温下或在大刚度、大厚度结构上焊接时, 为防止出现冷裂纹, 仍需采取预热措施。

(1) 焊前准备 钢板可采用火焰切割、等离子弧切割下料, 板厚 90mm 以下, 切割边缘不必预热。90mm 以上钢板切割起始点应预热 100~120℃。采用电弧气刨准备坡口时, 厚 30mm 以上的钢板, 气刨前应预热至 100~150℃。

(2) 焊条电弧焊工艺 可采用 V 形或 U 形坡口。

适用焊条: E5003 (J502)、E5001 (J503)、E5016 (J506)、E5015 (J507)、E5018 (J507Fe)。

焊条烘干温度: E5003, E5001, 120~150℃/1h, E5016, E5015, 350~400℃/2h。

焊接工艺参数: 使用 $\phi 4$ mm 焊条时, 焊接电流 I 为 160~180A, 电弧电压 U 为 21~22V; 使用 $\phi 5$ mm 焊条时, 焊接电流 I 为 210~240A, 电弧电压 U 为 23~24V。

预热温度: 使用 E5001, E5003 酸性药皮焊条时, 板厚超过 20mm, 预热至 100℃ 以上。使用 E5015、E5016、E5018 碱性药皮焊条时, 板厚超过 32mm, 预热至 100℃ 以上。

(3) 埋弧焊工艺 可采用 I 形、V 形和 U 形坡口。适用焊丝: H08MnA, H10Mn2。

适用焊剂: HJ431、HJ350、SJ301。

焊剂烘干温度: HJ431、250~300℃/2h, SJ301, 300~350℃/2h。

焊接工艺参数: 使用 $\phi 4$ mm 焊丝时, 焊接电流 I 为 600~680A, 电弧电压 U 为 34~38V, 焊接速度 v 为 20~30m/h; 使用 $\phi 5$ mm 焊丝时, 焊接电流 I 为 650~720A, 电弧电压 U 为 36~40V, 焊接速度 v 为 25~32m/h。

预热温度: 板厚大于 50mm, 预热温度为 100~120℃。焊后热处理, 对钢结构, 接头最大厚度超过 50mm 的重要承载部件, 焊后需作消除应力处理, 温度 600~650℃, 保温时间 2.5min/mm。压力容器的预热焊部件, 壁厚 $\delta > 34$ mm, 不预热焊部件, 壁厚大于 30mm 时, 要求作焊后消除应力处理。最佳消除应力处理温度为 600~620℃。保温时间 3min/mm, 加热速度为 150~200℃/h 左右。

(4) 电渣焊工艺 接缝间隙 (29 $\pm$ 3)mm。板厚 δ 为 30~70mm 的 I 形接头, 采用 H08Mn2Si 焊丝。板厚 $\delta > 70$ mm 时, 采用 H10MnMo 焊丝。

适用焊剂: HJ360 或 HJ431。

焊剂烘干温度: HJ360 为 250~300℃/h; HJ431 为 250℃/2h。

焊接工艺参数: 焊丝直径为 $\phi 3$ mm。板厚 30~60mm 时, 使用单丝; 板厚 65~100mm, 使用双丝; 板厚 100mm 以上使用三丝。

焊后热处理: 910~930℃, 保温时间为 1min/mm, 空冷。正火热处理后进行超声波探伤, 合格后在 610~630℃ 作回火处理。

德国钢种 19Mn6 钢与 Q345 (16Mn) 钢属于同一类碳锰钢, 其碳含量高于 Q345 (16Mn) 钢, 故焊接性略差于 16Mn 钢。我国使用的 19Mn6 钢, 多半是厚板, 为保证接头的强度应选用强度等级高一级的焊接材料, 但焊接工艺参数基本相同。

2. 13MnNiMoNb 钢厚板的焊接

13MnNiMoNb 钢以 Mn、Mo、Nb 为合金元素，屈服点大于 392MPa，是中温厚壁压力容器用钢。该钢具有较好的综合力学性能（特别是中温力学性能），可于 450℃ 以下的各种温度下工作。

(1) 焊前准备 用火焰切割厚 80mm 的钢板时，在切割前起点周围 100mm 处，应预热至 100℃ 以上。不作机械加工的切割边缘，焊前应作表面磁粉探伤。采用电弧气刨清根或制备焊接坡口，气刨时应将焊件预热至 150~200℃。气刨后表面应采用砂轮打磨清理。

(2) 焊条电弧焊工艺 可采用 V 形或 U 形坡口。

适用焊条 E6015 (J607)，E6016 (J606)。

焊条烘干温度：350~400℃/2h。

焊接工艺参数：使用 $\phi 4$ mm 焊条时，底层焊道焊接电流 I 为 140A，电弧电压 U 为 23~24V、填充焊道焊接电流 I 为 160~170A，电弧电压 U 为 23~24V；使用 $\phi 5$ mm 焊条时，填充焊道的焊接电流： I 为 220~230A，电弧电压 U 为 23~24V。

焊前预热温度：板厚大于 10mm 时，应预热 150~200℃。并保持层间温度不低于 150℃。焊后作消氢处理；板厚大于 90mm 时，焊后应立即进行 350~400℃/2h 的消氢处理。

焊后消除应力处理，对于钢结构，厚度大于 30mm 的承载部件，焊后需作消除应力处理。对于受压容器，不预热焊时任何厚度的受压部件，预热焊时厚度大于 20mm 的受压部件，焊后都必须作消除应力处理。最佳的消除应力处理温度范围为 600~620℃。

(3) 埋弧焊工艺 可采用 I 形、V 形和 U 形坡口。适用焊丝 H08n2Mo，适用焊剂 HJ350、SJ101。焊剂烘干温度 HJ350 焊剂：350~400℃/2h；SJ101 焊剂：300~350℃/2h。焊接工艺参数：焊丝直径为 $\phi 4$ mm，焊接电流 I 为 600~650A，电弧电压 U 为 36~38V，焊接速度 v 为 25~30m/h。

焊前预热温度：板厚 $\delta > 20$ mm 时，预热至 150~200℃。保持层间温度不低于 150℃，消氢处理和焊后消除应力处理制度同焊条电弧焊。

焊后应 100% 作超声波探伤并作 25% 的射线探伤，所有焊缝及热影响区表面作磁粉探伤。消除应力处理后作超声波复探和表面磁粉探伤抽查。

(4) 电渣焊工艺 焊缝间隙为 (30~35) mm，适用焊丝 H10Mn2NiMo，用于 80mm 以上厚板；H10Mn2Mo 用于厚 80mm 以下的钢板。

适用焊剂：HJ360，HJ431。电渣焊接工艺参数与 16Mn 钢的电渣焊相同。

焊后正火处理温度：930℃ $\pm$ 10℃，保温时间 1.5min/mm。

回火处理温度：640℃ $\pm$ 10℃，保温时间为 2min/mm。

消除应力处理温度：600~620℃，保温时间 3min/mm。

电渣焊焊缝经正火处理后，作 100% 的超声波探伤。

3 耐热钢的焊接工艺

耐热钢按其合金成分不同，可分为低合金（合金的质量分数为 5% 以下），中合金（合金的质量分数为 5%~12%）和高合金（合金的质量分数为 12% 以上）耐热钢。在我国常用的耐热钢已有 30 余种之多，表 2-15 列出了最常用的十余种耐热钢的化学成分和力学性能的标准值。

表 2-15 常用耐热钢化学成分、力学性能

钢种牌号	化学成分(质量分数)/%										力学性能					备注
	C	Si	Mn	P	S	Mo	Cr	Ni	V	厚度/mm	σ_b /MPa	σ_s /MPa	δ /%	φ /%	a_{K1} /(J/cm ²)	
15CrMo	0.12~0.18	0.17~0.37	0.40~0.70	≤0.035	≤0.035	0.40~0.55	0.80~1.10	—	—	≤25	≥440	≥225	≥20	—	20℃ ≥49	U形缺口
20CrMo	0.17~0.24	0.17~0.37	0.40~0.70	≤0.035	≤0.035	0.15~0.25	0.80~1.10	—	—	—	≥882	≥686	≥12	50	20℃ ≥98	U形缺口
12Cr1MoV	0.08~0.15	0.17~0.37	0.40~0.70	≤0.035	≤0.035	0.25~0.35	0.90~1.20	—	—	≤25	≥440	≥255	≥19	—	20℃ ≥49	横向试样
14MnMoV	0.10~0.18	0.20~0.50	1.20~1.60	≤0.04	≤0.04	0.40~0.65	—	—	—	30~115	≥637	≥490	≥16	—	20℃ ≥68	U形缺口
13MnNiMoNb	≤0.15	0.10~0.50	1.0~1.60	≤0.025	≤0.025	0.25~0.40	0.20~0.40	0.6~1.0	Nb 0.01~0.03	—	≥570	≥390	≥18	—	20℃ ≥49	—
5Cr-0.5Mo	≤0.15	≤0.50	0.30~0.60	≤0.030	≤0.030	0.45~0.65	0.40~0.60	—	—	—	≥414	≥206	≥30	—	—	—
7Cr-0.5Mo	≤0.15	0.50~1.00	0.30~0.60	≤0.030	≤0.030	0.45~0.65	6.0~8.0	—	—	—	≥414	≥206	≥30	—	—	—
9Cr-1Mo	≤0.15	0.25~1.00	0.30~0.60	≤0.030	≤0.030	0.90~1.10	8.00~10.00	—	—	—	≥414	≥206	≥30	—	—	—
9Cr-1MoV	0.08~0.12	0.20~0.50	0.30~0.60	≤0.020	≤0.010	0.85~1.08	8.00~9.5	Nb 0.060~0.100	0.18~0.25	—	≥586	≥414	≥20	—	—	—
9Cr-2Mo	≤0.08	≤0.50	0.30~0.70	≤0.030	≤0.030	1.8~2.2	8.00~1.00	—	—	—	≥510	≥294	≥25	—	—	—
1Cr12	≤0.15	≤0.50	≤1.00	≤0.035	≤0.035	—	11.5~13.0	—	—	—	≥441	≥206	≥20	—	—	—
1Cr13	≤0.15	≤1.00	≤1.00	≤0.035	≤0.035	—	11.5~13.5	—	—	—	≥441	≥206	≥20	—	—	—
0Cr11Ti	≤0.08	≤1.00	≤1.00	≤0.035	≤0.030	—	10.50~11.75	—	—	—	≥363	≥177	≥22	—	—	—
1Cr17	≤0.12	≤0.75	≤1.00	≤0.035	≤0.035	—	16.0~18.0	—	—	—	≥451	≥206	≥22	—	—	—
0Cr19Ni9	≤0.08	≤1.00	≤2.00	≤0.035	≤0.035	—	18.0~20.0	8.00~10.50	—	—	≥520	≥206	≥40	—	—	—
1Cr18Ni9Ti	≤0.12	≤1.00	≤2.00	≤0.035	≤0.030	Ti≥5	17.0~19.0	8.00~11.00	—	—	≥520	≥206	≥40	—	—	—
0Cr18Ni13Si4	≤0.08	3.00~5.00	≤2.00	≤0.035	≤0.030	—	15.0~20.0	11.5~15.0	—	—	≥520	≥206	≥40	—	—	—

3.1 对耐热钢焊接接头性能的基本要求

对耐热钢焊接接头性能的基本要求取决于所焊设备的运行条件，制造工艺过程和焊接结构的复杂性。为保证耐热钢焊接结构在高温、高压和各种腐蚀介质条件下长期安全的运行，焊接接头性能应满足下列几点要求：

1. 接头的等强度

耐热钢焊接接头不仅应具有与母材金属基本相等的室温和高温短时强度，而且更重要的是应具有与母材金属相近的高温持久强度。

2. 接头的抗氧化性

耐热钢焊接接头应具有与母材金属基本相同的抗氢性和高温抗氧化性。为此，焊缝金属的合金成分和含量应与母材基本一致。

3. 接头的组织稳定性

耐热钢焊接接头在制造过程中，特别是厚壁接头将经受长时间多次热处理，在运行过程中将长期受高温、高压的作用，接头各区不应产生明显的组织变化及由此引起的脆变或软化。

4. 接头的抗脆断性

虽然耐热钢焊接结构大多数是在高温下工作，但对于压力容器和管道，要求完工后在常温下作工作压力为 1.5 倍压力的水压试验。在受压设备准备投运或检修后，都要经历冷启动过程。因此，耐热钢焊接接头亦应具有一定的抗脆断性。

5. 接头的物理均一性

耐热钢焊接接头应具有与母材金属基本相同的物理性能，接头材料的线膨胀系数和热导率直接决定了接头在高温运行过程的热应力。

3.2 低合金耐热钢的典型焊接工艺

1. 低合金耐热钢用焊接材料的选用

低合金耐热钢焊接材料的选用原则是，焊缝金属的合金成分与强度性能应基本上与母材金属相应指标一致，或应达到产品技术条件提出的最低性能指标。但是，如焊件在焊后需退火、正火或热成形等热处理或热加工，则应选择合金成分或强度级别较高的焊接材料。为提高焊缝金属的抗热裂能力，焊接材料中碳的总含量应控制在略低于母材金属的碳含量。甚至于在某些耐热钢焊条和焊丝中碳的质量分数规定在 0.05% 以下，例如 AWSA5.5 中的 E8018-B2L 和 E9018-B3L 焊条。

我国常用低合金耐热钢焊接材料，可按表 2-16 选用。其中包括我国现行的焊条标准，以及世界公认的美国焊接学会 AWS 焊材标准所列的各种低合金耐热钢焊条、埋弧焊焊丝、焊剂和气体保护焊焊丝。

在合金耐热钢焊接中，选用低氢型碱性药皮焊条和碱性焊剂，是防止焊接接头产生裂纹的主要措施之一。但碱性的焊条药皮、焊剂都容易吸潮，而焊接材料中的水分是焊接气氛的主要来源，故使用前应加以烘干。表 2-17 列出常用低合金耐热钢焊条和焊剂的典型烘干温度。

表 2-16 低合金耐热钢的焊接材料选用表

钢 种	钢 号		焊条电弧焊 (SMAW)		埋弧焊 (SAW)		气体保护焊 MIG/MAG/TIG	
	国标 (GB)	ASTM (DIN)	牌 号	标准号 (AWS)	牌 号	标准号 (AWS)	型 号	标准号 AWS
C-0.5Mo	—	A-204-A, B, C A-209-T1 A-209-P1 (15Mo3)	R102 R017	E5003-A1 E5015-A1 (E7015-A1)	H08MnMoA+HJ350	GB1300-77 (F7P0-FA1-A1)	ER55-D2	ER-80S-G
0.5Cr-0.5Mo	12CrMo	A387-2 A213-T2 A335-P2	R202 R207	E5503-B1 E5515-B1 (E8015-B1)	H10MoCrA+HJ350	GB1300-77 F9P2-EG-G	ER55-B2Mn	ER-80S-G
1Cr-1.5Mo 1.25Cr-0.5Mo	15CrMo	A213-T12 A199-T11 A335-T11, 12 A387-11, 12	R307	E5515-B2 (E8015-B2)	H08CrMoA+HJ350	GB1300-77 (F9P2-EG-B2)	ER55-B2Mo	ER-80S-B ₂
1.0Cr-0.5MoN	12Cr1MoV	(13CrMoV42)	R317	E5515-B2-V	H08CrMoV+HJ350	GB1300-77	H08CrMoSiMoV ER55-B2MnV	—
2.25Cr-1Mo	(Cr2Mo)	A387-22 A199-T22 A213-T22 A335-P22 (10CrMo910)	R407	E6015-B3 (E9015-B3)	H08Cr3MoMoA+HJ350	(F8P2-EG-B3)	ER55-B2Mn	ER90S-B ₂
2Cr-MoWVTiB	12Cr-2MoWVTiB	—	R347	E5515-B ₃ VWB	H08Cr2MoWVNbB+HJ250	—	ER62-B3WVNbB	—
Mn-Mo	14MnMoV 18MnMoNb	A302-A, B	J606 J607	E6016-D1 E6015-D1 (E9016-D1) (E9015-D1)	H08Mn2MoA+HJ350 (SJ101)	GB1300-77 (F8A6-FG-A4)	ER55-B2Mn	ER80S-D2
Mn-Ni-Mo	13MnNiMoNb	A302-C, D A533-A, B, C D-1 A508-2, 3 (13MnNiMo54)	J607Ni	E6015-G (E9015-G)	H08Mn2NiMo+HJ350 (SJ101)	— (F9P4-EG-G)	ER55C1	ER80S-Ni1

表 2-19 各国制造法规对省略焊后热处理焊件最大厚度的规定 (mm)

钢 种	HPS ^① WES ^②	ISO ^③ TC11	ASME ^④ VIII	ASME III	ANSI ^⑤ B31.3	BS ^⑥ 5500	PS 2633
0.5Mo	$\frac{16}{20}$	20	19	0	19	20	12.5
1Cr-0.5Mo 1 $\frac{1}{4}$ Cr-1/2Mo	$\frac{13}{16}$	15	19	0	13	0	12.5
2 $\frac{1}{4}$ Cr-1Mo	$\frac{8}{6}$	0	19	—	13	0	0

①日本高压(技术)协会标准; ②日本焊接工程标准; ③国际标准组织; ④美国机械工程师学会; ⑤美国国家标准协会; ⑥英国标准。

表 2-20 列出各国制造法规规定的最低焊后热处理温度。从表 2-20 中不难看出, 各国法规所要求的最低热处理温度有较大的差别, 这首先与各法规所遵循的设计准则、材料标准、工艺评定准则不同有关。其次法规所规定的最低热处理温度并不一定是最佳热处理温度, 它应根据设备的运行条件、材料的供货状态、焊接工艺评定试验来选定。英国 BS 标准已考虑了上述原则。该标准根据材料应达到的性能, 如最大程度的软化, 最高常温抗拉强度和最高的蠕变强度等, 规定了不同的热处理温度。

表 2-20 各国制造法规要求的最低焊后热处理温度 (°C)

标准 热 处 理 温 度 /°C 钢 种	ANSI B31.1	ASME VIII	BS 3351	BS 5500	JIS ^⑤ B8243	ISO TC11	推荐温度
0.5Mo	600~650	≥595	650~680	650~680	≥600	580~620	600~620
0.5Cr-0.3Mo	600~650	≥595	—	—	≥600	620~660	620~640
1Cr-0.5Mo	700~750	≥595	630~670	630~670 ^① 650~700 ^②	≥680	620~660	640~680
1 $\frac{1}{4}$ Cr-1/2Mo	—	≥595	630~670	630~670 ^③ 650~700 ^②	≥680	620~660	640~680
2 $\frac{1}{4}$ Cr-1Mo	700~750	≥680	680~720 ^④ 700~750 ^②	630~670 ^④ 680~720 ^① 700~750 ^②	≥680	625~700	680~670
1Cr-Mo-V	—	—	—	—	—	—	720~740
2Cr-MoWVTiB	—	—	—	—	—	—	760~780

①以提高蠕变强度为主; ②以软化焊缝区为主; ③以提高高温性能为主; ④以提高常温抗拉强度为主; ⑤JIS 为日本工业标准。

3. 常用低合金耐热钢典型的焊接工艺

(1) 15CrMo 钢的焊接 该钢的焊接性能较好, 其它加工性能尚可。在火电厂锅炉、管道中应用较为广泛, 用它可制造 530°C 高压锅炉过热器管、蒸汽导管、联箱和石化容器等。

焊接材料的选用时, 焊条电弧焊可采用 R307 焊条。施焊时选用直流反接, 短弧焊接。熔

化极气体保护焊应采用 H08CrMnSiMo 焊丝。埋弧焊焊剂为 HJ350, 焊丝为 13CrMoA。焊条和焊剂在使用前应按规定进行高温烘干。当焊件壁厚大于 20mm 时, 应预热至 120°C 以上。焊接过程中, 焊件应保持层间温度不低于最低预热温度 (120°C)。

(2) 12Cr1MoV 钢的焊接工艺 12Cr1MoV 钢是在 Cr-Mo 合金的基础上, 加入了质量分数为 0.15%~0.3% 的钒的耐热钢。这种钢具有较高的热强性, 其极限工作温度为 580°C。虽然其合金成分高于 15CrMo 钢, 但因含碳量较低, 焊接性与 15CrMo 钢相差不多。12Cr1MoV 钢焊件超过 10mm 厚时, 焊前应做 150°C 以上的预热。

12Cr1MoV 钢焊条电弧焊时可选用 R317 焊条。埋弧焊时选用 H08CrMoV 焊丝配 HJ350 焊剂。气体保护焊时可采用 H08CrMnSiMoV 焊丝和富氢混合气体。焊条和焊剂必须严格烘干, 并保持低氢的焊接条件。焊件的层间温度不应低于规定的最低预热温度。焊件厚度超过 60mm 时, 焊后应立即作消氢处理。厚度大于 6mm 的 12Cr1MoV 钢高温高压管件焊后应做 730~750°C 热处理。

(3) 2 $\frac{1}{4}$ Cr1Mo 抗氢钢的焊接工艺 2.25Cr1Mo 钢是高压加氢裂化装置中最常用的一种抗氢钢。这种钢的合金的质量分数接近 4%, 其淬硬倾向较高, 焊条电弧焊热影响区的冷裂敏感性较高。150°C 以下的低温预热不足以防止冷裂纹的形成, 而必须采取 200°C 以上的高温预热措施。但是过高的预温度又可能导致厚壁焊缝热裂纹的形成。在实际生产中, 采用 150°C 预热和 150°C 后热才解决了上述矛盾。

2 $\frac{1}{4}$ Cr1Mo 钢的焊条电弧焊可选用 R407 焊条。埋弧焊可用 H10Cr3MoMnA 配 HJ350 焊剂。电渣焊丝为 H12Cr3MoMnA。焊条和焊剂在使用前必须经高温烘干。焊条药皮和焊剂中水分的质量分数应控制在 0.4% 以下。焊接过程中, 保持层间温度不低于 150°C 是十分重要的。厚壁焊缝焊接中断时, 必须将焊件立即后热至 200°C 以上。壁厚超过 50mm 的焊条电弧焊和埋弧焊焊缝, 焊后应立即作消氢处理。消氢处理温度应在 350~400°C 范围内。加热时间视壁厚而定, 一般不应小于 2h。

2 $\frac{1}{4}$ Cr1Mo 钢电渣焊时应尽量防止焊接过程中断而形成焊缝断头。万一因设备故障而中断焊接时, 必须在电渣焊缝未冷却至室温之前将焊缝割掉, 否则很容易在断头的凹口处产生横向撕裂, 造成整个工件的报废。2 $\frac{1}{4}$ Cr1Mo 钢的电渣焊接头应在 910~930°C 温度下作正火处理。正火后在 650°C $\pm$ 10°C 的温度下进行回火处理。容器最后的消除应力处理温度为 650°C $\pm$ 10°C。

3.3 中合金耐热钢的典型焊接工艺

1. 中合金耐热钢焊接材料的选配

中合金钢焊材的设计原则是: 在保证接头与母材相同的高温蠕变强度和抗氧化性的前提下改善其焊接性, 即提高其抗裂性。首先为保证接头的高温强度, 焊缝金属必须具有与母材相当的铬、钼含量。

中合金耐热钢焊接材料在我国至今尚未完成标准化, 在国外已有几种最近研制成功的新型中铬钢焊材纳入标准。表 2-21 综列出焊接中合金耐热钢常用的标准型和非标准型焊材的牌号及其化学成分。

所有中合金钢焊条和焊剂均应是超低氢型的, 熔敷金属按甘油法测定的扩散氢含量应低于 5mL/100g。焊材的保管、烘干处理等要求与低合金耐热钢焊材相同。

表 2-21 中合金耐热钢常用焊接材料的牌号及其化学成分

适用钢种	焊条(焊丝) 标准型号	焊材牌号	化学成分(质量分数)/%								其它
			C	Mn	Si	Cr	Mo	V	S	P	
5Cr-0.5Mo	E1-5MoV-15	R507	≤0.12	0.50~ 0.90	≤0.50	4.5~ 6.0	0.40~ 0.70	0.10~ 0.35	≤0.030	≤0.030	—
5Cr-MoV VTiB	—	R517A	≤0.12	0.50~ 0.80	≤0.70	5.0~ 6.5	0.60~ 0.80	0.25~ 0.40	≤0.015	0.020	W0.25~0.45 Nb0.04~0.14
7Cr-1Mo 9Cr-1Mo	E1-9Mo-15	R707	≤0.15	0.50~ 1.0	≤0.50	8.5~ 10.0	0.70~ 1.00	—	≤0.02	≤0.035	—
	—	CM-9M	≤0.12	0.50~ 1.6	≤0.35	8.0~ 10.0	1.8~ 2.2	—	≤0.02	≤0.030	Ni0.4~0.9
	—	CM-9MT (T2G)	≤0.12	0.50~ 1.30	≤0.35	8.0~ 10.0	1.8~ 2.2	—	≤0.02	≤0.030	—
	—	W-CM9M (SAW)	≤0.12	0.90~ 1.60	≤0.35	8.0~ 10.0	1.8~ 2.2	—	≤0.02	≤0.030	Ni≤0.4
9Cr-1MoV	—	HCM95	0.05~ 0.08	0.8~ 1.2	≤0.50	8.0~ 9.5	0.85~ 1.1	0.2~ 0.3	≤0.010	≤0.020	Ni0.4~0.7 Nb<0.05
12Cr-1MoWV	E1-11MoVNi-15	R807	≤0.15	0.50~ 1.0	≤0.50	9.5~ 11.5	0.60~ 0.90	0.20~ 0.40	≤0.03	≤0.035	Ni0.6~0.9
	E2-11MoVNiW-15	R817	≤0.15	0.50~ 1.0	≤0.50	9.5~ 12.0	0.80~ 1.10	0.20~ 0.40	≤0.03	0.035	Ni0.4~1.10 W0.4~0.70

2. 中合金耐热钢的焊前预热和焊后热处理

各种中合金耐热钢焊前的预热温度可根据抗裂性试验结果来确定。

焊件实际的预热温度应根据接头的拘束度、焊接方法、焊接热输入和焊缝金属的扩散氢含量等加以适当调整。如采用低氢焊接方法和大的热输入焊接,则实际使用的预热温度可略低于插销冷裂试验测定的预热温度,而在焊接高拘束度接头或焊缝金属扩散氢含量较高时,则应适当提高预热温度。

各国压力容器和管道制造法规,对中合金耐热钢规定的最低预热温度列于表 2-22。

表 2-22 各国法规对中合金耐热钢规定的最低预热温度

法规名称	ASME VIII		BS5500		ANSI B31.3		BS3351 (低氢型焊条)		推荐温度	
	厚度 /mm	温度 /°C	厚度 /mm	温度 /°C	厚度 /mm	温度 /°C	厚度 /mm	温度 /°C	厚度 /mm	温度 /°C
5Cr-0.5Mo	≤13 >13	150 204	所有 厚度	200	所有 厚度	175	所有 厚度	200	≥6	200
7Cr-0.5Mo	所有 厚度	204	所有 厚度	200	所有 厚度	175	所有 厚度	200	≥6	250
9Cr-1Mo 9Cr-2Mo	所有 厚度	204	所有 厚度	200	所有 厚度	175	所有 厚度	200	≥6	250
12Cr1MoV	—	—	—	—	—	—	—	—	所有 厚度	250~300°C 400~500°C

各种中合金耐热钢焊件焊后热处理的最佳规范可通过系列回火试验来确定。

世界各国压力容器和管道制造法规对中合金耐热钢规定的焊后热处理温度列于表 2-23。

表 2-23 各国制造法规规定的中合金耐热钢焊后热处理温度范围 (°C)

法规名称	ANSI B31.3	BS3351	ISOTC11	ASME VIII	推荐温度
钢 种	温度	温度	温度	温度	
5Cr-0.5Mo	705~760	710~760	670~740	≥ 677	700~740
5CrMoWVTiB	--	--	--	--	760~780
9Cr-1Mo	705~760	710~760	--	> 677	720~740
9Cr-2Mo	--	--	--	--	710~730
9Cr-1Mo	--	--	--	--	740~760
12Cr-1MoV	--	--	--	--	760~780

3. 中合金耐热钢的焊接工艺

中合金耐热钢焊接工艺规程的具体内容与低合金耐热钢基本相同。所不同的是,必须明确规定焊接结束后焊件在冷却过程中容许的最低温度以及到焊后热处理的时间间隔。这两个工艺参数对于保证中合金耐热钢接头的致密性和韧性是十分重要的。在焊接工艺评定中,应将这两个工艺参数视作重要参数。同时应注意焊接工艺评定试板的条件尽可能与焊接现场施工条件接近。试板的厚度应基本上等于产品接头厚度。试板焊后热处理的保温时间应按产品接头的实际厚度计算。评定试板焊接过程中预热温度和焊后热处理温度应正确测定。

(1) X20CrMoV121 中合金耐热钢典型焊接工艺 X20CrMoV121 耐热钢的平均 w_{Cr} 为 12%, 合金成分含量较高, 具有相当高的抗氧化性和热强性能。按照最新标准, 这种钢还含有 w_{Ni} 为 0.3%~0.8%。母材的供货状态为 1050°C 正火加 760°C 回火。采用 Thermanit MTS4 型焊丝和焊条完成了手工氩弧焊和焊条电弧焊, 均可达到理想的焊接接头性能指标。

(2) 9Cr1MoV (ASTMA213-T91) 中合金耐热钢典型焊接工艺 ASTM A213-T91 钢是 9Cr-1MoV 型钢的典型钢种之一。焊接接头焊条电弧焊时采用 CW-95 焊条, 埋弧焊则采用 W-CM95 焊丝, 并配用 B-9CM 焊剂。焊条电弧焊和埋弧焊预热和层间温度均为 200~250°C。焊条电弧焊焊接接头焊后热处理工艺参数为 750°C $\pm$ 10°C/5h。埋弧焊接头的热处理参数为 750°C $\pm$ 10°C/10h。

3.4 高合金耐热钢的典型焊接工艺

高合金耐热钢与低、中合金耐热钢相比, 具有独特的物理性能。众所周知, 对钢的焊接性产生重大影响的物理性能有: 线膨胀系数, 热导率和电阻率。与碳钢相比, 奥氏体耐热钢的线膨胀系数较高, 热导率较低, 导致焊件变形较为严重, 焊接过程中需适当加以控制。低的热导率要求采用较低热输入焊接奥氏体耐热钢。

马氏体型耐热钢的焊接性在很大程度上受淬硬性的影响, 防止焊接冷裂纹是最主要的。铁素体型耐热钢焊接时, 由于不发生同素异型转变而使重结晶区晶粒长大, 结果是接头的韧性降低。奥氏体型耐热钢焊接性的主要问题是其对热裂纹的敏感性较高, 而弥散硬化型耐热钢的焊接性与弥散过程中的强化机制有关。

1. 马氏体耐热钢的焊接工艺

(1) 焊接特点 当马氏体耐热钢的 w_{Cr} 在 12% 以上时, 它在空冷条件下即能淬硬, 冷裂的

倾向很大,故这类钢的焊接性很差。

为了避免冷裂纹及改善焊接接头力学性能,应采取预热、后热和焊后立即高温回火等措施。

(2) 焊前预热 焊接马氏体耐热钢,特别在使用与母材同成分的焊接材料时,为防止冷裂,焊前需预热。预热温度一般选在 $200\sim 320^{\circ}\text{C}$,最好不高于马氏体开始转变温度。碳含量是确定预热温度的最主要因素。随含碳量增高,预热温度应适当提高。选择预热温度时应考虑的其它因素还有:材料厚度、填充金属的种类、焊接方法、拘束度等。当 $w_{\text{C}}\leq 0.1\%$ 时,可不预热,或视壁厚预热至 200°C ;当 w_{C} 为 $0.1\%\sim 0.2\%$ 时,预热 $200\sim 260^{\circ}\text{C}$ 。在特别苛刻的情况下可采用更高的预热温度,如预热至 $400\sim 450^{\circ}\text{C}$ 。当 $w_{\text{C}}>0.2\%$ 时,需要保持层间温度。

(3) 焊后回火前的温度 焊件焊后不应以焊接温度直接升温进行回火处理。对于刚度小的构件,可以冷至室温后再回火。对于大厚度的结构,特别当含碳量较高时,需采用较复杂的工艺:焊后冷至 $100\sim 150^{\circ}\text{C}$,保温 $0.5\sim 1.0\text{h}$,然后加热至回火温度。

(4) 焊后热处理 焊后热处理包括回火和完全退火。只有为了得到最低硬度,如焊后需机械加工时,才采用完全退火。退火温度为 $830\sim 880^{\circ}\text{C}$,保温 2h 后炉冷至 595°C ,然后空冷。这时形成的粗大碳化物需要较长时间的固溶才能溶解。高铬马氏体耐热钢一般在淬火+回火的调质状态下焊接,焊后经高温回火处理,使焊接接头具有良好的力学性能。如果在退火状态下焊接,焊后仍会出现不均匀的马氏体组织,整个焊件还需经过调质处理,使接头具有均匀的性能。

回火温度不应在 $475\sim 550^{\circ}\text{C}$,在这个温度回火的钢韧性很低。

马氏体耐热钢焊态的组织一般为马氏体,有时也会产生一些中温转变产物贝氏体组织。当有贝氏体存在时,回火的保温时间必须延长,因为贝氏体组织比马氏体组织稳定,难于分解,只有延长回火的保温时间,才能保证贝氏体转变为回火索氏体组织。

(5) 马氏体耐热钢的焊接方法 常用的焊接方法有焊条电弧焊、气体保护电弧焊、电阻焊等。焊条电弧焊是最常用的焊接方法。采用与母材金属同成分焊条焊接时,需预热及焊后热处理。主要用低氢型焊条,如 E1-13- $\times\times$, E0-13-5Mo- $\times\times$ 型以及相当于 E1-13- $\times\times$,加 $w_{\text{N}}0.6\%\sim 1.2\%$ 的焊条。焊前焊条要经过高达 $350\sim 400^{\circ}\text{C}$ 的高温烘烤,以便彻底除去水分,减少扩散氢含量和降低冷裂纹敏感性。用小的热输入,防止过热。

也常用 Cr19Ni10、Cr25Ni13、Cr26Ni21 型奥氏体焊条焊接马氏体耐热钢。含合金元素高的焊条,焊接接头塑性较好。用奥氏体焊条焊接的接头,一般在焊后状态使用。视焊件厚度,焊前可作不预热或仅作低温预热。

钨极氩弧焊用于薄壁件焊接,氩弧焊时冷裂倾向较小,薄件可不预热,厚件预热 $120\sim 200^{\circ}\text{C}$,焊后仍需高温回火。

CO_2 焊接时,焊接接头含氢量低,冷裂倾向比焊条电弧焊小,可用较低的预热温度。

2. 铁素体耐热钢的焊接工艺

(1) 铁素体耐热钢焊接特点 采用普通方法生产的高铬铁素体耐热钢含有质量分数约 0.1% 的碳以及少量的氮,如 1Cr17、1Cr17Ti、1Cr17Mo2Ti、1Cr25Ti、1Cr28 等,对热作用敏感,焊接接头塑性和韧性较低,焊接大刚度接头时还会产生裂纹,焊接性较差。焊接高铬铁素体耐热钢时应注意的主要问题是焊接接头脆性问题。

这类钢很容易在 400~600°C 范围内长期加热, 并缓慢冷却时出现 475°C 脆性。含铬量越高, 脆化越严重。

这类钢在 500~900°C 范围内长期加热时, 易产生 σ 相析出脆化。它可直接从铁素体 δ 相产生, 也可从奥氏体 γ 相转形成。铁素体组织有利于 σ 相的形成, 因为铁素体富铬且易于铬的扩散, 凡是铁素体形成元素都能促进 σ 相形成。

这类耐热钢加热到 950°C 以上时, 则晶粒急剧长大, 并且不能用热处理的方法重新细化晶粒, 晶粒粗化的结果使钢材脆化, 常温下的冲击韧性很低, 特别是含铬量高的铁素体 (如 Cr25 等) 更为突出。如果加上焊件的拘束度, 非常容易在室温时产生裂纹。

归纳起来, 铁素体耐热钢焊接的主要问题是, 焊接热影响区的脆化 (包括熔合区附近热影响区的晶粒长大而引起的韧性下降, 475°C 脆性、 σ 相析出脆化)、裂纹倾向较大以及室温时韧性较低等。

(2) 铁素体耐热钢的焊接方法 普通高铬铁素体耐热钢可采用焊条电弧焊、气体保护焊、埋弧焊、等离子弧焊、电子束焊等熔焊方法。在采用同质焊接材料, 特别在拘束度大时, 很易产生裂纹。为防止产生裂纹, 改善接头塑性, 以焊条电弧焊为例, 可以采用下列工艺措施:

1) 预热 100~150°C 左右, 使材料在韧性较高的状态下焊接。对含铬量较高的铁素体钢, 预热温度相应要高些, 有时甚至达到 200~300°C。

2) 根据对焊接接头性能的不同要求, 可以选用与母材相近的铁素体铬钢焊条, 也可选用奥氏体钢焊条, 常用的铁素体耐热钢焊条见表 2-24。

表 2-24 铁素体耐热钢用的焊条

钢 号	对接头性能的要求	焊 条		预热及热处理
		牌 号	合金系统	
Cr17 Cr17Ti	耐硝酸 耐 热	Cr302	Cr17	预热 120~200°C 750~800°C 回火
Cr17 Cr17Ti Cr17Mo2Ti	提高焊缝塑性	A207	18~1Mo2	不预热, 焊后不热处理
Cr25Ti	抗氧化性	A307	25~13	不预热 760~780°C 回火
Cr28 Cr28Ti	提高焊缝塑性	A402 A412	25~20 25~20Mo2	不预热, 焊后不热处理

3) 焊接时尽可能减少焊接接头在高温下的停留时间, 应采用小的焊接热输入, 高的焊接速度及尽量减少焊条的横向摆动, 以窄焊道进行焊接, 控制层间温度, 前一道焊缝冷却到预热温度后才允许焊接下一道焊缝, 以防止焊接接头过热。多层焊时控制层间温度应高于 150°C, 以减少高温脆化和 475°C 脆性。

4) 铁素体耐热钢的焊接接头经受不起严重撞击, 因此必须注意吊运和安放。

5) 为了使焊接头的组织均匀化, 从而提高其塑性和韧性, 焊后应进行 750~800°C 退火处理。退火后应快冷、防止出现 σ 相及 475°C 脆性, 以得到均匀的铁素体组织。

3. 奥氏体耐热钢的焊接工艺

奥氏体耐热钢具有较好的焊接性, 可以采用所有的熔焊方法焊接。在拟定奥氏体耐热钢焊接工艺时应考虑其特殊的物理性能, 即低的热导率、高电阻率、高的线膨胀系数以及高度致密的表面保护膜等。此外, 奥氏体耐热钢含有大量对氧亲和力较高的元素, 因此不论采用何种弧焊方法, 都必须利用焊剂、焊条药皮和惰性保护气体对焊接熔池和高温区作良好的保护, 以使影响热强性能的基本合金元素保持在所要求的范围内。由于奥氏体钢、特别是纯奥氏体钢对焊接热裂纹的敏感性较高, 故应严格控制焊材中的碳、硫、磷等有害杂质含量。

奥氏体耐热钢焊接填充材料的选择原则是，在无裂纹的前提下保证焊缝金属的热强性与母材金属基本相等。这就要求其合金成分大致与母材金属成分匹配。同时应考虑焊缝金属内铁素体含量的控制。对于长期在高温下运行的奥氏体钢焊件，焊缝金属内的铁素体的体积分数不应超过 5%，在铬和镍的体积分数均大于 20% 的高铬镍耐热钢中，为获得抗裂性高的纯奥氏体组织，可选用锰的质量分数为 6%~8% 的焊接填充材料。表 2-25 列出我国常用奥氏体耐热钢焊条和焊丝牌号及其相配的母材钢号。

表 2-25 奥氏体耐热钢用焊条和焊丝

钢 号	焊 条		埋弧焊焊丝	气体保护焊焊丝
	标准型号	牌 号		
0Cr18Ni9	E0-19-10-16	A101, A102	H0Cr19Ni9	H0Cr19Ni9
1Cr18Ni9Ti	—	A112, A132	H1Cr19Ni10Nb	H0Cr19Ni9Ti
0Cr18Ni11Ti	E0-19-10-Nb-16	A132	H1Cr19Ni10Nb	H0Cr19Ni9Ti
0Cr18Ni11Nb	E0-19-10-Nb-15	A137		H1Cr19Ni10Nb
0Cr18Ni13Si4	E0-18-12-Mo2-16 E0-18-12Mo2-V-16	A201	H0Cr19Ni11Mo3	H0Cr19Ni11Mo3
		A202		
		A232		
1Cr20Ni14Si2	E1-23-13Mo2-16	A312	H1Cr25Ni13	H1Cr25Ni13
0Cr23Ni13	E1-23-13-16	A302	H1Cr25Ni13	H1Cr25Ni13
0Cr25Ni20	E2-26-21-16	A402	H1Cr25Ni20	H1Cr25Ni20
	E2-26-21Mo2-16	A412		
0Cr17Ni12Mo2	E0-18-12Mo2-16	A201	H0Cr19Ni11Mo3	H0Cr19Ni11Mo3
		A202	H0Cr25Ni13Mo3	H0Cr25Ni13Mo3
0Cr19Ni13Mo3	E0-19-13-Mo3-16	A242	焊剂 HJ260 SJ601	保护气体的体积分数/% Ar, Ar+O ₂ 1% Ar+CO ₂ 2%~3%

奥氏体耐热钢焊接时，为减少焊接收缩变形，在坡口设计中应尽量缩小焊缝的截面，V 形坡口张开角通常不应大于 60°。当焊件板厚大于 20mm 时，应尽量采用 U 形坡口。

(1) 焊条电弧焊工艺 奥氏体耐热钢焊条电弧焊时，由于其电阻率较高，焊条夹持端易于受电阻热的作用而提前发红，故应选择合适的焊接电流，或选用耐发红的奥氏体钢焊条。

奥氏体耐热钢焊条电弧焊应采用窄焊道技术，以加快焊道的冷却速度，焊道宽度不应超过焊条芯直径的 4 倍，多层焊缝每层焊道的厚度不应大于 3mm，由于铬镍奥氏体钢的熔点较低，焊缝熔深很浅，因此，坡口侧壁和焊道层间的清渣对于防止夹渣是十分重要的。为便于清渣，要求焊道表面光滑并向坡口侧壁圆滑过渡，为此，最好选用工艺性能良好的钛钙型药皮焊条。为防止焊缝中气孔的形成，奥氏体钢药皮焊条在使用前应适当烘干。待焊坡口表面应仔细清理。

(2) 熔化极惰性气体保护焊工艺 奥氏体钢的熔化极惰性气体保护焊与焊条电弧焊相比，具有一系列的优点。对于厚 20mm 以下的奥氏体耐热钢应优先采用自动或手工（半自动）熔化极惰性气体保护焊，当采用这种方法焊接时，由于氩弧的热量比 CO₂ 电弧高得多，需

注意加强焊枪喷嘴的冷却。手工(半自动)焊适用的焊丝直径为 $\phi 0.6 \sim 1.6\text{mm}$;自动焊适用的焊丝直径为 $\phi 2.0 \sim 3.0\text{mm}$ 。焊接电源可使用平特性的直流电源或直流脉冲电源。通常焊丝接正极,即直流反极性。保护气体可使用纯氩, $\text{Ar} + \text{O}_2$ 或 $\text{Ar} + \text{CO}_2$ 混合气体, 纯氦或 $\text{He} + \text{Ar} + \text{CO}_2$ 等混合气体。在 Ar 气中加入体积分数为 1% 的 O_2 , 或体积分数为 2%~3% 的 CO_2 , 并使保护气体具有微弱的氧化性, 但可在很大程度上减小熔滴的表面张力, 易于实现喷射过渡, 提高电弧的稳定性, 改善熔化金属的润湿性和焊缝的成形。

奥氏体耐热钢熔化极气体保护焊时, 可选择比碳钢焊时较低的电流和电压。在 $\text{Ar} + \text{CO}_2$ 保护气体下, 采用直径 $\phi 1.2 \sim \phi 2.0\text{mm}$ 的焊丝, 喷射过渡的电流范围为 180~380A, 电弧电压相应为 25~33V。喷射过渡电弧可焊接的最小厚度为 3mm。适用的厚度范围为 6~25mm。短路过渡焊接则采用直径 $\phi 0.8 \sim \phi 1.2\text{mm}$ 的焊丝, 相应的焊接电流范围为 50~225A, 电弧电压范围为 17~24V。由于焊接热输入量低, 宜于焊接厚 3mm 以下的薄板。表 2-26 列出奥氏体耐热钢熔化极气体保护焊典型的焊接工艺参数。

表 2-26 奥氏体耐热钢熔化极气体保护焊典型焊接参数

板厚 /mm	熔滴形式	接头和坡口形式	焊丝直径 /mm	焊接电流 /A	电弧电压 /V	焊速 /(mm/min)	焊道数
3.2	喷射	I 形坡口(带衬垫)	1.6	200~250	25~28	500	1
6.4		60°V 形 1.6mm 钝边	1.6	250~300	27~29	380	2
9.5			1.6	275~325	28~32	500	2
12.7			2.4	300~350	31~32	150	3~4
19		90°V 形 1.6mm 钝边	2.4	350~375	31~33	140	5~6
25		90°V 形 1.6mm 钝边	2.4	350~375	31~33	120	7~8
1.6	短路	角接或搭接	0.8	85	21	450	1
1.6		I 形对接		85	22	500	
2.0		角接或搭接		90	22	350	
2.0		I 形坡口对接		90	22	300	
2.5		角接或搭接		105	23	380	
3.2		角接或搭接		125	23	400	

(3) 钨极惰性气体保护焊 奥氏体耐热钢的钨极惰性气体保护焊, 按对焊缝质量要求的不同, 可采用氩、氦或其混合气体。单层焊或根部焊道焊接时, 焊缝背面应通相同的气体保护或特制的成形气体。焊接电源通常采用恒定的直流电, 正极接, 也可采用频率范围为 0.5~20Hz 的低频脉冲直流电。在焊接奥氏体钢时, 推荐采用高频引弧或电容放电引弧技术, 避免接触引弧, 以防止焊缝金属的渗钨。填充焊丝可以采用与熔化极气体保护焊相同成分的焊丝。或 w_s 为 0.3~0.5%, 其它合金成分与母材相同的焊丝。手工氩弧焊时, 适用的焊丝直径为 1.6~2.5mm, 自动氩弧焊填充丝直径为 0.8~1.2mm。

为获得优质的焊接接头, 焊材表面和焊接区的清理是十分重要的。焊材和坡口表面的油污一般用丙酮等溶剂擦洗清除。污染严重的焊件需浸泡在乳液溶剂中清理, 然后再在氯化溶

液中蒸汽脱脂，如氧化皮较厚，则可用砂轮打磨、喷丸处理等机械方法清理。

(4) 埋弧焊 埋弧焊通常用于厚 5mm 以上的奥氏体耐热钢。埋弧焊的特点是热输入量高，熔池尺寸较大，冷却和凝固速度较慢。这些因素对奥氏体耐热钢均产生不利的影响，加剧了合金元素的偏析，促使形成粗大的初次结晶，导致焊缝金属和近缝区热裂敏感性的提高。为提高抗裂性，应选用硅、硫、磷含量低，锰含量高的焊丝，为减少从焊剂向焊缝金属增硅，应选用中性或碱性焊剂。

奥氏体钢埋弧焊时，因其电阻较高，应选择比碳钢焊接时低 20% 的焊接电流。同理，应按要求调整焊丝伸出长度。伸出长度过大，或焊嘴接触不良，都会造成焊丝熔化速度不均和焊缝成形不佳。

埋弧焊时母材的稀释率可在 10%~75% 范围内变化。为控制焊缝金属的成分，应选择合理的坡口形状和尺寸以及恰当的规范参数，以使母材的稀释率限制在 40% 以下。奥氏体耐热钢埋弧焊时限制焊缝金属的冷却速度，对于控制铁素体含量十分重要。为此要严格控制层间温度，最好不超过 150°C，对于一些特殊要求的焊件还应采取加速冷却措施。另一种办法是采用细焊丝和小电流、各种规格的奥氏体钢焊丝适用的电流范围列于表 2-27。

(5) 焊后热处理 对奥氏体耐热钢焊件，当壁厚超过 20mm 时，有时应考虑作适当的焊后热处理。

奥氏体耐热钢接头焊后热处理的目的可归结为：1) 消除焊接残余应力，提高结构尺寸的稳定性；2) 提高接头的蠕变强度；3) 消除不合适的热加工所形成的 σ 相。奥氏体钢接头的焊后热处理，按处理的温度，可分为低温、中温和高温焊后热处理。加热温度在 500°C 以下的低温热处理对接头的力学性能不会发生重大的影响。其作用主要是降低残余应力峰值，提高结构尺寸的稳定性。加热温度在 550~800°C 之间的中温热处理主要是消除奥氏体耐热钢接头中的残余应力，以提高其抗应力腐蚀的能力。但在这一温度区间，会大量析出 σ 相和碳化物，从而显著地降低接头的韧性。因此，对于碳含量较高或铁素体含量较多的奥氏体钢焊缝应尽量避免采用中温热处理。对于某些超低碳铬镍钢奥氏体耐热钢，800~850°C 的中温热处理可提高接头的蠕变强度和塑性。

加热温度在 900°C 以上的高温热处理可溶解焊缝金属或热影响区内形成的碳化物和 σ 相，以恢复接头由于不利的热加工而丧失的力学性能，为获得全奥氏体组织可作固溶处理，其温度可在 954~1120°C 温度范围内。

加热温度在 900°C 以上的高温热处理可溶解焊缝金属或热影响区内形成的碳化物和 σ 相，以恢复接头由于不利的热加工而丧失的力学性能，为获得全奥氏体组织可作固溶处理，其温度可在 954~1120°C 温度范围内。

表 2-27 奥氏体钢埋弧焊时，焊丝直径与焊接电流的关系

焊丝直径/mm	适用电流范围/A	焊丝直径/mm	适用电流范围/A
2.5	140~500	5.0	400~800
3.2	220~600	6.0	550~900
4.0	340~700	8.0	700~1000

4 不锈钢的焊接工艺

铬和铬镍不锈钢按其碳含量和合金成分的不同，可分为铁素体型、马氏体型、奥氏体型、奥氏体-铁素体型。我国焊接工程中最常用的不锈钢化学成分列于表 2-28。从中不难看出，铬和铬镍不锈钢的主要合金成分与高合金耐热钢类同，只是碳含量、稳定化元素和某些合金元素略有不同，因此其焊接特点十分相近，主要差别在于对不锈钢焊接接头的基本质量要求是，确保接头各区的耐蚀性不低于母材。在拟定焊接工艺时，应从保证接头的耐蚀性为原则，采取相应的措施，选择适用的焊接材料和工艺参数。

表 2-28 不锈钢的牌号和化学成分(摘自 GB/T1220-1992)

类型	序号	牌 号	化 学 成 分 (质量分数)/%										其 它
			C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	Cu	N	
奥氏体	1	1Cr17Mn6Ni5N	≤0.15	≤1.00	5.50~7.50	≤0.060	≤0.030	3.50~5.50	16.00~18.00	—	—	≤0.25	—
	2	1Cr18Mn8Ni5N	≤0.15	≤1.00	7.50~10.00	≤0.060	≤0.030	4.00~6.00	17.00~19.00	—	—	≤0.25	—
	3	1Cr18Mn10Ni5Mo3N	≤0.10	≤1.00	8.50~12.00	≤0.060	≤0.030	4.00~6.00	17.00~19.00	2.8~3.5	—	0.20~0.30	—
	4	1Cr17Ni7	≤0.15	≤1.00	≤2.00	≤0.035	≤0.030	6.00~8.00	16.00~18.00	—	—	—	—
	5	1Cr18Ni9	≤0.15	≤1.00	≤2.00	≤0.035	≤0.030	8.00~10.00	17.00~19.00	—	—	—	—
	6	Y1Cr18Ni9	≤0.15	≤1.00	≤2.00	≤0.20	≥0.15	8.00~10.00	17.00~19.00	①	—	—	—
	7	Y1Cr18Ni9Se	≤0.15	≤1.00	≤2.00	≤0.20	≤0.060	8.00~10.00	17.00~19.00	—	—	—	Se≥0.15
	8	0Cr18Ni9	≤0.07	≤1.00	≤2.00	≤0.035	≤0.030	8.00~11.00	17.00~19.00	—	—	—	—
	9	00Cr19Ni10	≤0.030	≤1.00	≤2.00	≤0.035	≤0.030	8.00~12.00	18.00~20.00	—	—	—	—
	10	0Cr19Ni9N	≤0.08	≤1.00	≤2.00	≤0.035	≤0.030	7.00~10.50	18.00~20.00	—	—	0.10~0.25	—
	11	0Cr19Ni10NbN	≤0.08	≤1.00	≤2.00	≤0.035	≤0.030	7.50~10.50	18.00~20.00	—	—	0.15~0.30	Nb≤0.15
	12	00Cr18Ni10N	≤0.030	≤1.00	≤2.00	≤0.035	≤0.030	8.50~11.50	17.00~19.00	—	—	0.12~0.22	—
	13	1Cr18Ni12	≤0.12	≤1.00	≤2.00	≤0.035	≤0.030	10.50~13.00	17.00~19.00	—	—	—	—
	14	0Cr23Ni13	≤0.08	≤1.00	≤2.00	≤0.035	≤0.030	12.00~15.00	22.00~24.00	—	—	—	—
	15	0Cr25Ni20	≤0.08	≤1.00	≤2.00	≤0.035	≤0.030	19.00~22.00	24.00~26.00	—	—	—	—
	16	0Cr17Ni12Mo2	≤0.08	≤1.00	≤2.00	≤0.035	≤0.030	10.00~14.00	16.00~18.50	3.00	—	—	—
	17	1Cr18Ni12Mo2Ti ^②	≤0.12	≤1.00	≤2.00	≤0.035	≤0.030	11.00~14.00	16.00~19.00	1.80~2.50	—	—	Ti 5×(C%-0.02)~0.80
	18	0Cr18Ni12Mo2Ti	≤0.08	≤1.00	≤2.00	≤0.035	≤0.030	11.00~14.00	16.00~19.00	1.80~2.50	—	—	Ti 5×C%-0.70
	19	00Cr17Ni14Mo2	≤0.030	≤1.00	≤2.00	≤0.035	≤0.030	12.00~15.00	16.00~18.00	3.00	—	—	—
	20	0Cr17Ni12Mo2N	≤0.08	≤1.00	≤2.00	≤0.035	≤0.030	10.00~14.00	16.00~18.00	3.00	—	0.10~0.22	—
	21	00Cr17Ni13Mo2N	≤0.030	≤1.00	≤2.00	≤0.035	≤0.030	10.50~14.50	16.00~18.50	3.00	—	0.12~0.22	—
	22	0Cr18Ni12Mo2Cu2	≤0.08	≤1.00	≤2.00	≤0.035	≤0.030	10.00~14.50	17.00~19.00	1.20~2.75	0.00~2.50	—	—

(续)

类型	序号	牌 号	化 学 成 分 (质量分数)/%											其 它
			C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	Cu	N		
奥氏体	23	00Cr18Ni14Mo2Cu2	≤0.030	≤1.00	≤2.00	≤0.035	≤0.030	12.00~16.00	17.00~19.00	1.20~2.75	0.00~2.50	—	—	
	24	00Cr19Ni13Mo3	≤0.08	≤1.00	≤2.00	≤0.035	≤0.030	11.00~15.00	18.00~20.00	0.00~4.00	—	—	—	
	25	00Cr19Ni13Mo3	≤0.030	≤1.00	≤2.00	≤0.035	≤0.030	11.00~15.00	18.00~20.00	0.00~4.00	—	—	—	
	26	1Cr18Ni12Mo3Ti [®]	≤0.12	≤1.00	≤2.00	≤0.035	≤0.030	11.00~14.00	16.00~19.00	0.02~3.50	—	—	Ti 5×(C%-0.02)~0.80	
	27	00Cr18Ni12Mo3Ti	≤0.08	≤1.00	≤2.00	≤0.035	≤0.030	11.00~14.00	16.00~19.00	0.02~3.50	—	—	Ti 5×C%-0.70	
	28	00Cr18Ni16Mo5	≤0.040	≤1.00	≤2.00	≤0.035	≤0.030	15.00~17.00	16.00~19.00	0.04~6.00	—	—	Y15(C%-0.02)~0.80	
	29	1Cr18Ni9Ti [®]	≤0.12	≤1.00	≤2.00	≤0.035	≤0.030	8.00~11.00	17.00~19.00	—	—	—	Ti≥5×C%	
	30	00Cr18Ni10Ti	≤0.08	≤1.00	≤2.00	≤0.035	≤0.030	9.00~12.00	17.00~19.00	—	—	—	Nb≥10×C%	
	31	00Cr18Ni11Nb	≤0.08	≤1.00	≤2.00	≤0.035	≤0.030	9.00~13.00	17.00~19.00	—	—	—	—	
	32	00Cr18Ni9Cu3	≤0.08	≤1.00	≤2.00	≤0.035	≤0.030	8.50~10.50	17.00~19.00	—	3.00~4.00	—	②	
奥氏体-铁素体	33	00Cr18Ni13Si4	≤0.08	3.00~5.00	≤2.00	≤0.035	≤0.030	11.50~15.00	15.00~20.00	—	—	—	②	
	34	00Cr26Ni5Mo2	≤0.08	≤1.00	≤1.50	≤0.35	≤0.30	3.00~6.00	23.00~28.00	0.00~3.00	—	—	②	
	35	1Cr18Ni11Si4AlTi	0.10~0.18	3.40~4.00	≤0.80	≤0.035	≤0.030	10.00~12.00	17.50~19.50	—	—	—	Al 0.10~0.30 Ti 0.40~0.70	
	36	00Cr18Ni5Mo3Si2	≤0.030	1.30~2.00	1.00~2.00	≤0.035	≤0.030	4.50~5.50	18.00~19.50	0.50~3.00	—	—	—	
	37	00Cr13Al	≤0.08	≤1.00	≤1.00	≤0.035	≤0.030	③	11.50~14.50	—	—	—	Al 0.10~0.30	
	38	00Cr12	≤0.030	≤1.00	≤1.00	≤0.035	≤0.030	③	11.00~13.00	—	—	—	—	
	39	1Cr17	≤0.12	≤0.75	≤1.00	≤0.035	≤0.030	③	16.00~18.00	—	—	—	—	
	40	Y1Cr17	≤0.12	≤1.00	≤1.25	≤0.060	≤0.15	③	16.00~18.00	①	—	—	—	
铁素体	41	1Cr17Mo	≤0.12	≤1.00	≤1.00	≤0.035	≤0.030	③	16.00~18.00	0.75~1.25	—	—	—	
	42	00Cr30Mo2 [®]	≤0.010	≤0.40	≤0.40	≤0.030	≤0.020	—	28.50~32.00	0.50~2.50	—	≤0.015	—	
	43	00Cr27Mo [®]	≤0.010	≤0.40	≤0.40	≤0.030	≤0.020	—	25.00~27.50	0.75~1.50	—	≤0.015	—	
	44	1Cr12	≤0.15	≤0.50	≤1.00	≤0.035	≤0.030	③	11.50~13.00	—	—	—	—	
马氏体	45	1Cr13	≤0.15	≤1.00	≤1.00	≤0.035	≤0.030	③	11.50~13.50	—	—	—	—	
	46	0Cr13	≤0.08	≤1.00	≤1.00	≤0.035	≤0.030	③	11.50~13.50	—	—	—	—	

(续)

类型	序号	牌 号	化 学 成 分 (质量分数)/%										其 它
			C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	Cu	N	
马 氏 体 型	47	Y1Cr13	≤0.15	≤1.00	≤1.25	≤0.080	≥0.15	③	12.00~14.00	①	—	—	—
	48	1Cr13Mo	0.08~0.18	≤0.60	≤1.00	≤0.035	≤0.030	③	11.50~14.00	0.30~0.60	—	—	—
	49	2Cr13	0.16~0.25	≤1.00	≤1.00	≤0.035	≤0.030	③	12.00~14.00	—	—	—	—
	50	3Cr13	0.26~0.35	≤1.00	≤1.00	≤0.035	≤0.030	③	12.00~14.00	—	—	—	—
	51	Y3Cr13	0.26~0.40	≤1.00	≤1.25	≤0.060	≥0.15	③	12.00~14.00	①	—	—	—
	52	3Cr13Mo	0.28~0.35	≤0.80	≤1.00	≤0.035	≤0.030	③	12.00~14.00	0.50~1.00	—	—	—
	53	4Cr13	0.36~0.45	≤0.60	≤0.80	≤0.035	≤0.030	③	12.00~14.00	—	—	—	—
	54	1Cr17Ni2	0.11~0.17	≤0.80	≤0.80	≤0.035	≤0.030	1.50~2.50	16.00~18.00	—	—	—	—
	55	7Cr17	0.60~0.75	≤1.00	≤1.00	≤0.035	≤0.030	③	16.00~18.00	④	—	—	—
	56	8Cr17	0.75~0.95	≤1.00	≤1.00	≤0.035	≤0.030	③	16.00~18.00	④	—	—	—
沉 淀 硬 化 型	57	9Cr18	0.90~1.00	≤0.80	≤0.80	≤0.035	≤0.030	③	17.00~19.00	④	—	—	—
	58	11Cr17	0.95~1.20	≤1.00	≤1.00	≤0.035	≤0.030	③	16.00~18.00	④	—	—	—
	59	Y11Cr17	0.95~1.20	≤1.00	≤1.25	≤0.060	≥0.19	③	16.00~18.00	④	—	—	—
	60	9Cr18Mo	0.95~1.10	≤0.80	≤0.80	≤0.035	≤0.030	③	16.00~18.00	0.40~0.70	—	—	—
	61	9Cr18MoV	0.85~0.95	≤0.80	≤0.80	≤0.035	≤0.030	③	17.00~19.00	0.00~1.30	—	—	V0.07~0.12
沉 淀 硬 化 型	62	0Cr17Ni4Cu4Nb	≤0.07	≤1.00	≤1.00	≤0.035	≤0.030	3.00~5.00	15.50~17.50	—	3.00~5.00	—	Nb0.15~0.45
	63	0Cr17Ni7Al	≤0.09	≤1.00	≤1.00	≤0.035	≤0.030	6.50~7.75	16.00~18.00	—	≤0.50	—	Al0.75~1.50
	64	0Cr15Ni7Mo2Al	≤0.09	≤1.00	≤1.00	≤0.035	≤0.030	6.50~7.50	14.00~16.00	0.00~3.00	—	—	Al0.75~1.50

① 可加人 $w_{Mo} \leq 0.60\%$;

② 必要时,可加人上表以外的合金元素;

③ 允许 $w_{Ni} \leq 0.60\%$;④ 可以加人 $w_{Mo} \leq 0.75\%$;⑤ 00Cr30Mo2.00Cr27Mo 允许含有 $w_{Ni} \leq 0.50\%$ 镍,而 $w_{Ni} + w_{Cu} \leq 0.50\%$,必要时,可加人上表以外的合金元素;

⑥ 此牌号除专用外,一般情况下不得使用

4.1 不锈钢焊接接头的耐蚀性

不锈钢的主要腐蚀形式有均匀腐蚀（表面腐蚀）、晶间腐蚀、点蚀、缝隙腐蚀和应力腐蚀裂纹等。均匀腐蚀是指接触腐蚀介质的金属整个表面产生腐蚀的现象。铬和铬镍不锈钢由于铬的钝化作用，对氧化性酸和大气均有较好的耐均匀腐蚀性能。对于非氧化性酸，高铬镍奥氏体不锈钢具有较高的耐蚀性。

晶间腐蚀是一种起源于金属表面沿晶界深入金属内部的腐蚀现象，在腐蚀介质作用下，奥氏体不锈钢和铁素体不锈钢都有一定的晶间腐蚀倾向。

为防止奥氏体钢的晶间腐蚀，可以采取下列措施，采用超低碳（ $w_C < 0.03\%$ ）的母材和焊接填充材料，或采用含有稳定化元素 Ti 和 Nb 的铬镍不锈钢，焊后作固溶处理或稳定化处理消除晶界的贫铬现象。铁素体钢的晶间腐蚀，可以通过 650~815℃ 的短时退火，使铬快速扩散从而降低晶界附近的贫铬程度而加以消除。

点蚀是指在金属材料表面尺寸小于 1mm 的穿孔性或坑蚀性的宏观腐蚀，主要是由材料表面钝化膜的局部破坏引起的。

缝隙腐蚀是各种接头连接处缝隙内产生的斑点状或溃疡性蚀坑。消除缝隙腐蚀的最根本的措施是，从结构设计上改进接头的形式，消除所有机械缝隙。适当增加钢中的铬、钼含量也可以改善抗缝隙腐蚀的能力。

应力腐蚀裂纹是一种在拉应力与电化学介质共同作用下，因阳极溶解过程引起的断裂。应力腐蚀的一个最重要的特点是腐蚀介质与材料的组合有选择性。在不锈钢材料中，增加 Ni 和 C 的含量可提高奥氏体不锈钢耐应力腐蚀的能力，而增加 Nb、Ti、Mo、N 等元素，则容易引起应力腐蚀。因此焊后消除应力处理和选择对应力腐蚀不敏感的材料是防止不锈钢焊件应力腐蚀的有效措施。

4.2 不锈钢的典型焊接工艺

1. 铁素体不锈钢的焊接工艺

高铬铁素体不锈钢可采用焊条（手工）电弧焊、气体保护焊、埋弧焊、等离子弧焊和电子束焊等熔焊方法。由于高铬钢的塑性较低，焊接热影响区晶粒粗大以及碳、氮化合物在晶界的集聚，焊接接头的塑性和韧性很低，裂纹的敏感性较高。

为防止裂纹的产生，改善接头的塑性和耐蚀性，在焊接工艺上应采取下列措施：

- 1) 焊前将焊件预热到 150℃ 以上，层间温度保持不低于预热温度。
- 2) 采用小的热输入、窄焊道焊接技术，防止在 450℃ 以上温度停留时间过长。
- 3) 焊后进行 750~800℃ 的退火处理，使碳化物球化，铬分布均匀，可恢复耐蚀性和改善接头的塑性。退火后快冷，可防止 σ -相析出和 475℃ 脆性。

- 4) 采用奥氏体钢焊条焊接，焊前不必预热，焊后可不作热处理。

铁素体不锈钢的焊接材料原则上应选用合金含量与母材相近的焊条或焊丝，以保证焊接接头的均质性、只有在焊前无法预热、焊后难于焊后热处理的情况下，才选用合金成分较高的奥氏体不锈钢填充金属。铁素体不锈钢常用的同质焊接材料的成分见表 2-40 和表 2-41。

2. 奥氏体不锈钢的焊接工艺

奥氏体不锈钢具有较好的焊接性，可以采用手工电弧焊、埋弧焊、惰性气体保护焊和等

离子弧焊等熔焊方法,在焊后状态,接头具有相当好的塑性和韧性。但当以较高的热输入量焊接奥氏体不锈钢时,焊接接头的热裂倾向较高,其耐蚀性亦会下降。

为防止奥氏体不锈钢焊接热裂纹的产生,可从焊材的选用和焊接工艺方面采取相应措施。

1) 选用 S、P 含量特别低的焊接材料。

2) 通过选用合金成分适当的焊材,调整焊缝金属的成分和焊缝金属的 Ni 含量 ($w_{Ni} < 15\%$),以使焊缝金属内的 δ 相铁素体的体积分数控制在 $3\% \sim 8\%$ 。或选用 w_{Mn} 为 $4\% \sim 6\%$ 的焊接材料,可防止纯奥氏体焊缝金属中热裂纹的产生。

3) 在工艺上采取措施,加快熔池的冷却速度,如采用小线能量焊接,在焊缝背面通压缩空气或喷水加速冷却。

为保证奥氏体不锈钢焊接接头的耐蚀性,在焊材选择方面,应选用超低碳型焊条或焊丝,或选用稳定化合金元素足够的焊条或焊丝。焊缝金属中 Ti 或 Nb 含量取决于焊缝中的 C 含量,并应满足 $Ti(C-0.02) > 8.5$ 的关系式。但焊缝金属中过高的 Nb 含量会导致热裂纹的形成。

在焊接工艺方面,采用小的热输入量、加速冷却同样是提高接头耐蚀性的有效措施。在焊接过程中,还应注意控制层间温度不超过 150°C 。

在焊前准备和坡口加工中应十分重视焊接区,坡口表面和焊材表面的清洁度,任何污染都会导致焊缝金属的增碳而降低接头的耐蚀性。在焊接对接头耐蚀性要求较高的不锈钢焊件时,焊接区、坡口表面和焊丝表面应用丙酮或去油能力强的其它溶剂擦洗干净。

在设计不锈钢焊件坡口形状和尺寸时,应充分考虑奥氏体不锈钢较大的热膨胀系数会加剧接头的变形,应适当减小 V 形坡口角度。当板厚大于 10mm 时,应尽量选用焊缝截面较小的 U 形坡口。

奥氏体不锈钢焊接材料的选用原则上,应使焊缝金属的合金成分与母材成分基本相同。尽量降低焊缝金属中的碳含量和 S、P 等杂质含量。奥氏体不锈钢常用焊条和焊丝成分列于表 2-29 和表 2-30。

表 2-29 不锈钢焊条熔敷金属的化学成分 (质量分数)

(%)

化学成分 焊条型号	C	Cr	Ni	Mo	Mn	Si	P	S	Cu	其它
E1-13- $\times\times$	0.12	11.0~13.5	0.60	0.50	1.0	0.9	0.035	0.03	0.5	—
E0-13-5Mo- $\times\times$	0.06	11.0~12.5	4.0~5.0	0.40~0.70						
E0-17- $\times\times$	0.10	15.0~18.0	0.60	0.50						
E0-19-10- $\times\times$	0.08	18.0~21.0	10~11.0	0.50	0.5~2.5	0.9	0.035	0.03	0.5	—
E00-19-10- $\times\times$	0.04	18.0~21.0	10~11.0	0.50	0.5~2.5	0.9	0.035	0.03	0.5	—
E0-19-10Nb- $\times\times$	0.08	18.0~21.0	10~11.0	0.50	0.5~2.5	0.9	0.035	0.03	0.5	Nb8×C~1.0
E0-19-10Mo2- $\times\times$	0.08	18.0~21.0	9.0~12.0	2.0~3.0	0.5~2.5	0.9	0.035	0.03	0.5	—
E00-19-10Mo2- $\times\times$	0.04	18.0~21.0	9.0~12.0	2.0~3.0	0.5~2.5	0.9	0.035	0.03	0.5	—
E0-18-12Mo2- $\times\times$	0.08	17.0~20.0	11.0~14.0	2.0~2.5	0.5~2.5	0.9	0.035	0.03	0.5	—
E00-18-12Mo2- $\times\times$	0.04	17.0~20.0	11.0~14.0	2.0~2.5	0.5~2.5	0.9	0.035	0.03	0.5	—
E0-18-12Mo2Nb- $\times\times$	0.08	17.0~20.0	11.0~14.0	2.0~2.5	0.5~2.5	0.9	0.035	0.03	0.5	Nb8×C~1.0

(续)

化学成分 焊条型号	C	Cr	Ni	Mo	Mn	Si	P	S	Cu	其它
E0-19-13Mo3-XX	0.08	18.0~21.0	12.0~14.0	3.0~4.0	—	—	—	—	0.5	—
E00-19-13Mo3-XX	0.04	18.0~21.0	12.0~14.0	3.0~4.0	—	—	—	—	0.5	—
E00-23-13-XX	0.04	22.0~25.0	12.0~14.0	0.50	—	—	—	—	0.5	—
E1-23-13Mo2-XX	0.12	22.0~25.0	12.0~14.0	2.0~3.0	—	—	—	—	0.5	—
E00-23-13Mo2-XX	0.04	22.0~25.0	12.0~14.0	2.0~3.0	—	—	—	—	0.5	—
E1-23-13Nb-XX	0.12	22.0~25.0	12.0~14.0	0.50	—	—	—	—	0.5	Nb0.70~1.0
E1-26-21Nb-XX	0.12	25.0~28.0	20.0~22.0	0.50	1.0~2.5	0.75	0.030	0.030	0.5	Nb0.70~1.0
E1-26-21Mo2-XX	0.12	25.0~28.0	20.0~22.0	2.0~3.0	1.0~2.5	0.75	0.030	0.030	0.5	—

注: 1. 表中单值均为最大值

2. 焊条型号中XX表示代号 15 及 16

表 2-30 不锈钢焊丝化学成分

焊丝牌号	化 学 成 分 (质量分数) / %								
	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	其它
H1Cr13	≤0.12	≤0.50	≤0.60	≤0.03	≤0.02	—	11.50~13.50	—	—
H0Cr14	≤0.06	0.30~0.70	0.30~0.70	≤0.03	≤0.02	≤0.60	13.0~15.0	—	—
H1Cr17	≤0.10	≤0.50	≤0.60	≤0.03	≤0.02	—	15.50~17.0	—	—
H0Cr21Ni10	≤0.06	≤0.60	1.0~2.5	≤0.03	≤0.02	9.0~11.0	19.5~22.0	—	—
H00Cr21Ni10	≤0.03	≤0.60	1.0~2.5	≤0.03	≤0.02	9.0~11.0	19.5~20.0	—	—
H1Cr24Ni13	≤0.12	≤0.60	1.0~2.5	≤0.03	≤0.02	12.0~14.0	23.0~25.0	—	—
H1Cr24Ni13Mo2	≤0.12	≤0.60	1.0~2.5	≤0.03	≤0.02	12.0~14.0	23.0~25.0	2.0~3.0	—
H0Cr26Ni21	≤0.15	0.20~0.59	1.0~2.5	≤0.03	≤0.02	20.0~22.5	25.0~28.0	—	—
H0Cr26Ni21	≤0.08	≤0.60	1.0~2.5	≤0.03	≤0.02	20.0~22.5	25.0~28.0	—	—
H0Cr19Ni13Mo3	≤0.08	≤0.60	1.0~2.5	≤0.03	≤0.02	11.0~14.0	18.0~20.0	2.0~3.0	—
H00Cr19Ni13Mo3	≤0.03	≤0.60	1.0~2.5	≤0.03	≤0.02	11.0~14.0	18.0~20.0	2.0~3.0	—
H0Cr20Ni14Mo3	≤0.06	≤0.60	1.0~2.5	≤0.03	≤0.02	13.0~15.0	18.5~20.5	3.0~4.0	—
H0Cr20Ni10Ti	≤0.06	≤0.60	1.0~2.5	≤0.03	≤0.02	9.0~10.5	18.5~20.5	—	Ti 9×C%~1.0
H0Cr20Ni10Nb	≤0.08	≤0.60	1.0~2.5	≤0.03	≤0.02	9.0~11.0	19.0~21.5	—	Nb 10×C%~1.0
H1Cr21Ni10Mn6	≤0.10	0.20~0.60	5.0~7.0	≤0.03	≤0.02	9.0~11.0	20.0~22.0	—	—

奥氏体不锈钢接头焊条电弧焊、埋弧焊、钨极氩弧焊和熔化极气体保护焊典型的焊接工艺参数, 分列于表 2-31, 表 2-32, 表 2-33, 和表 2-34。

表 2-31 不锈钢板对接接头焊条电弧焊典型焊接工艺参数

板厚 /mm	坡口形式	坡口尺寸			焊接 位置	焊缝 层数	焊条直径 /mm	焊接电流/A	焊接速度 /(mm/min)	备 注
		间隙 /mm	钝边 /mm	角度 /(°)						
3	直边对接	2	—	—	平焊	2	3.2	80~110	100~140	背面清焊根
		2	—	—		2	3.2	90~110	140~160	

(续)

板厚 /mm	坡口形式	坡口尺寸			焊接 位置	焊缝 层数	焊条直径 /mm	焊接电流/A	焊接速度 /(mm/min)	备 注
		间隙 /mm	钝边 /mm	角度 /(°)						
5	直边对接 V形坡口	3	—	—	平焊	2	3.2	80~110	120~140	背面清焊根
		2	2	75		2	3.2	90~110	140~180	
6	V形坡口	0	2	80		4	3.2, 4	90~140	160~180	
		2	2	75		3	3.2, 4	90~140	140~160	
9	V形坡口	0	3	80		4	4	130~140	140~160	
		2	2	75		4	3.2, 4	90~140	140~160	
12	V形坡口	0	4	80		5	4, 5	140~180	120~180	
		2	2	75		4	3.2, 4	90~140	130~160	

表 2-32 不锈钢薄板对接接头钨极氩弧焊典型焊接工艺参数

板厚 /mm	坡口形式	坡口尺寸/mm		焊接 位置	焊缝 层数	钨极直径 /mm	填充丝直径 /mm	焊接电流/A	焊接速度 /(mm/min)	氩气流量 (L/min)	备 注
		间隙	钝边								
1	直边对接	0	—	平焊	1	1.6	1.0	50~80	100~120	4~6	单面焊
2.4	直边对接	0~1	—		1	1.6	1~2	80~120	100~120	6~10	
3.2	直边对接	0~2	—		2	2.4	2~3.2	105~150	100~120	6~10	双面焊
4	直边对接	0~2	—		2	2.4	3.2~4	150~200	100~150	6~10	
6	V形坡口	0~2	—		3	2.4	3.2~4	150~200	100~150	6~10	背面清焊根
6	V形坡口	0	2.0		3	2.4	3.2~4	140~160	120~160	6~10	加气垫
6	V形坡口	1.6	1.6~2		3	1.6 2.4	2.6~3.2 2.6~3.2	110~150 150~200	60~80 100~150	10~16	加可熔衬环

表 2-33 不锈钢板对接接头埋弧焊焊接工艺参数

板厚 /mm	坡口形式	坡口尺寸			焊丝直径 /mm	焊缝层数	焊接电流/A	电弧电压/V	焊接速度 (mm/min)	备 注
		间隙/mm	钝边/mm	角度						
6	直边对接	0~2	—	—	4.0	1	400	28	800	铜衬垫
						2	450	30	700	
9	直边对接	0~2	—	—	4.0	1	550	29	700	
						2	600	30	600	
12	直边对接	0~2	—	—	4.0	1	600	30	600	
						2	700	32	500	
16	双V形坡口	0~2	6	80°	4.0	1	500	32	500	
						2	650	32	400	
20	双V形坡口	0~2	7	80°	4.0	1	600	32	500	
						2	600	32	400	
						3	800	32	400	

表 2-34 不锈钢板对接接头熔化极气体保护焊焊接工艺参数

板厚 /mm	坡口形式	坡口尺寸		焊接 位置	焊缝 层数	焊丝直径 /mm	焊接电流 /A	电弧电压 /V	焊接速度 /(mm/min)	气体流量 (L/min)	备 注
		间隙	钝边								
6	直边对接	0~2	—	平焊	2	1.6	220~260	23~26	300~500	14~18	背面清根
	V形坡口	0~2	2		2	1.6	220~260	23~26	300~500	14~18	背面清根
	U形坡口	0~1	2		2	1.6	220~260	23~26	300~500	14~18	钨极氩弧焊封底
12	V形坡口	0~2	2		5	1.6	240~280	24~27	200~350	14~18	背面清根
	U形坡口	0~1	2		5	1.6	240~280	24~27	200~350	14~18	钨极氩弧焊封底
	V形坡口	0~2	2		6	1.6	220~260	23~26	200~400	14~18	背面清根

5 镍及镍合金的焊接工艺

纯镍与镍基合金具有优良的耐蚀、耐热性能，常用的镍及其合金的化学成分列于表 2-35。

表 2-35 镍基耐蚀合金化学成分 (质量分数) (%)

合 金	Ni	C	Mn	Fe	S	Si	Cu	Cr	Al	Ti	Nb	Mo	其它
镍 200	99.5	0.08	0.2	0.2	0.005	0.2	0.1	—	—	—	—	—	—
镍 201	99.5	0.01	0.2	0.2	0.005	0.2	0.1	—	—	—	—	—	—
镍 205	99.5	0.08	0.2	0.1	0.004	0.08	0.08	—	—	0.03	—	—	Mg0.05
镍 211	95.0	0.1	4.8	0.4	0.008	0.08	0.1	—	—	—	—	—	—
镍 220	95.5	0.04	0.1	0.05	0.004	0.03	0.05	—	—	0.03	—	—	Mg0.05
镍 230	95.5	0.05	0.08	0.05	0.004	0.02	0.05	—	—	0.003	—	—	Mg0.06
镍 270	99.98	0.01	<0.001	0.003	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	—	<0.001	—	Co<0.001	Mg<0.001
达曼镍 301	96.5	0.2	0.2	0.3	0.005	0.5	0.1	—	4.4	0.6	—	—	—
极曼镍 300	98.5	0.2	0.2	0.3	0.005	0.2	0.1	—	—	0.4	—	—	Mg0.4
蒙乃尔 400	66.5	0.2	1.0	1.2	0.01	0.2	31.5	—	—	—	—	—	—
蒙乃尔 401	42.5	0.05	1.6	0.4	0.008	0.1	余	—	—	—	—	—	—
蒙乃尔 R405	66.5	0.2	1.0	1.2	0.04	0.2	31.5	—	—	—	—	—	—
蒙乃尔 K500	66.5	0.1	0.8	1.0	0.005	0.2	29.5	—	2.7	0.6	—	—	—
蒙乃尔 502	66.5	0.05	0.8	1.0	0.005	0.2	28.0	—	3.0	0.2	—	—	—
因康镍 600	76.0	0.08	0.5	8.0	0.008	0.2	0.2	15.5	—	—	—	—	—
因康镍 601	60.5	0.05	0.5	14.1	0.007	0.2	0.5	23.0	1.4	—	—	—	—
因康镍 625	61.0	0.05	0.2	2.5	0.008	0.2	—	21.5	0.2	0.2	3.6	9.0	—
因康镍 718	52.5	0.04	0.2	18.5	0.008	0.2	0.2	19.0	0.5	0.9	5.1	3.0	—
因康镍 X-750	73.0	0.04	0.5	7.0	0.005	0.2	0.2	15.5	0.7	2.5	1.0	—	—
哈斯特洛依 C	余	≤0.03	≤1.0	≤7.0	≤0.02	≤0.07	—	15~17	—	—	—	16~18	—
哈斯特洛依 C-276	余	≤0.02	≤1.0	≤7.0	≤0.02	≤0.05	—	15~17	—	—	—	16~18	—
哈斯特洛依 N	余	0.4~ 0.07	≤0.6	≤4	≤0.02	≤0.10	—	6~8	—	0.4~ 1.10	—	12~13	—
因康洛 800	32.5	0.05	0.8	46.0	0.008	0.5	0.4	21.0	0.4	0.4	—	—	—
因康洛 801	30.0	0.05	0.8	44.5	0.008	0.5	0.2	20.5	—	1.5	—	—	—
因康洛 802	32.5	0.5	0.8	46.0	0.008	0.4	—	21.0	—	—	—	—	—
因康洛 804	41.0	0.05	0.8	25.4	0.008	0.4	0.2	29.5	0.3	0.6	—	—	—
因康洛 825	42.0	0.03	0.5	30.4	0.02	2.2	2.2	21.5	0.1	0.9	—	3.0	—

5.1 镍基合金的焊接特点

因为镍具有单相组织，焊接时存在与焊接奥氏体不锈钢相类似的问题，如焊接热裂纹的

倾向、焊缝气孔、焊接接头的晶间腐蚀倾向等等。

1. 焊接热循环的影响

在焊接的热作用下,焊缝和基本金属容易过热,造成晶粒粗大,使接头力学性能和耐腐蚀性能下降。

2. 焊接热裂纹的产生

镍及镍基合金焊接时,焊缝可能产生宏观裂纹、微裂纹或二者同时存在的裂纹。

与 304L 不锈钢相比,镍基合金具有高的焊接热裂敏感性。在弧坑易产生大口裂纹。晶间液膜是引发镍基合金单相奥氏体凝固裂纹的最主要的冶金因素。耐蚀合金中硫的质量分数均在 0.005% 的水平,配用焊丝硫的质量分数也在 0.005% 的水平,手工焊条堆焊金属硫的质量分数要求达到 0.015%~0.020% 的水平。含硫均需严格控制。必须防止上述有害元素的混入,焊前彻底清洗是必需的工序,特别是对含有硫或铅的一些污染应彻底清除。提高锰含量能扩大一些有害元素(如磷等)的溶解度极限。因而提高焊接材料的锰含量和焊接材料的纯度,减少或抑制焊条药皮与焊剂中有害元素的过渡均是有益的。正确选用与母材匹配的焊接材料是防止焊接热裂纹的重要措施。采用合理的装配与焊接次序,选用较小的热输入量,及时填满弧坑等工艺措施对防止热裂纹均是有效的,能显著提高单相奥氏体合金焊缝的抗热裂能力。

单相奥氏体焊缝中如有相当数量的微细一次碳化物、硼化物等第二相质点,也可阻挡晶格缺陷的集聚,起到阻滞裂纹形成的作用。镍基焊接材料中含有较高数量的 Nb、Ti、W、Cr、Mo 和 Mn 等,或同时加入多种元素。这有利于防止热裂纹的形成。

3. 对气孔的敏感性

镍基合金特别是合金元素含量低的工业纯镍,蒙乃尔合金等的固液相温度间距小,流动性偏低,在焊接快速冷却的凝固条件下,极易产生焊缝气孔。在焊前必需清除坡口及其近区的杂质、各种涂料油漆等,其目的之一就是防止焊缝气孔。有时,钨极氩弧焊镍基合金时,可向氩气中特殊加入体积分数 5% 的氢气,增加保护气体的还原性,以消除或减少焊缝中的气孔。

4. 焊接区的腐蚀倾向

Ni-Mo 系的哈斯特洛依 A 与 B 合金焊接接头在盐酸、硫酸介质中使用时,在焊缝附近出现刀状腐蚀;Ni-Mo 合金通过敏化温度区(1200~1300℃和 600~900℃)时,沿晶界有富钼相的析出,造成 Mo 贫化区,导致晶间腐蚀。为改进 Ni-Mo 合金焊接接头的耐晶间腐蚀性能,还必须降低碳、硅和铁的含量,同时增加 w_v 为 1.5% 或 w_{Nb} 为 1.5%,这样既可消除高温敏化区,又能使中温敏化区向时间增长的方向移动。当 w_v 高到 2%,就足以保证 Ni-Mo 合金焊接区不产生晶间腐蚀。

新型 Ni-Cr-Mo-Cu 耐蚀合金具有优异的抗氢氟酸性能,焊接性优良,焊接区耐蚀性和母材相同。

5.2 镍基合金的典型焊接工艺

在焊接镍基合金时,除需正确选择合适的焊接方法,焊接材料及有关焊接工艺参数外,应注意以下几个共性的问题。

1. 焊前应严格清理

清洁是成功焊接镍基合金的重要条件之一。铅、硫、磷和某些低熔点元素能增加镍及其

合金的焊接裂纹倾向。在焊件加热或焊接前,必须完全清除这些杂质。如果没有预热的要求,清理接头两侧各 50mm 的范围、包括钝边和坡口。清理方法取决于被清理物质的种类。

车间污物、油脂可用蒸汽脱脂或用丙酮及其它无毒溶液去除。对于不溶解漆和其它杂物,可用氯甲烷、碱等清洗剂或特殊专用合成剂清洗。标记墨水一般可用甲醇清除。被压入焊件表面的杂质,可用磨削、喷丸或盐酸溶液(10%的体积分数)清洗并用清水洗净。

2. 常用焊接接头形式

镍基合金熔焊与钢相比有低熔透性的特点。一般不宜采用大的热输入来增加熔透性,以防止药皮过热,使脱氧元素过多烧损以及焊接熔池过分搅动而导致的焊缝成形不良。为了保证接头的熔透,接头形式应注意选用较大的坡口角度和较小的钝边。药皮焊条电弧焊接头与钨极氩弧焊坡口宜选用图 2-2 所示的形式。埋弧焊与熔化极气体保护焊坡口,则宜采用图 2-3 所示形式。

厚度小于 2.4mm 镍基合金板对接可用 I 形坡口,厚度大于 2.4mm 镍基合金板必须采用 V、U 或 J 字形坡口,还须配用衬垫或是用钨极氩弧焊打底。应特别注意防止出现不均匀的熔透,以避免产生裂纹或气孔。单面焊根部不规则的熔透,还容易产生应力集中而促使在某些介质中的腐蚀。厚度大于 9.6mm 镍基合金板,宜采用双面 V 形或双面 U 形坡口形式。双面坡口比单面坡口节约焊接材料,缩短焊接时间,还适当减少焊接残余应力。

角接和搭接接头不能用于高应力集中的结构,特别是不宜用于高温下或包括有温度循环的工作条件。采用角接头时焊根应当焊透。搭接接头则须采用两面焊缝。

3. 预热和焊后热处理

轧制镍基合金一般不需焊前预热,但当母材温度低于 15℃ 以下时,应对接头两侧 250~300mm 宽的区域加热到 15~20℃,以免湿气冷凝导致焊缝气孔。一般不推荐焊后热处理,虽然有时为保证使用中不发生晶间腐蚀或应力腐蚀需要热处理。

镍基合金通常是在固溶状态下施焊。对于经过弯曲、冷拔或其它复杂成形的沉淀强化合金,在焊前必需作退火热处理。铝钛强化镍基合金在焊后和沉淀强化处理之前,须先作固溶处理,消除焊接残余内应力,以防止随后在时效温度以上工作时,在焊接热影响区产生裂纹。对于结构复杂的沉淀强化镍基合金,为了有效地减少焊接应力,焊前的预热可能是有利的,但

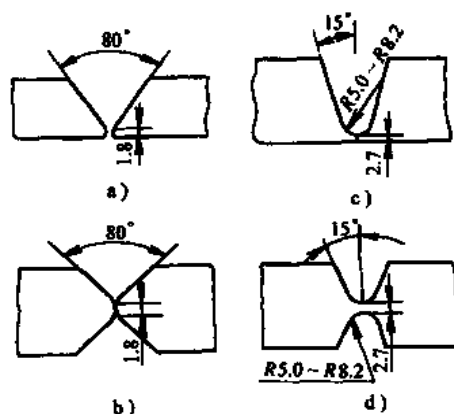


图 2-2 焊条电弧焊、TIG 焊镍基合金典型坡口形式

a) V 形坡口 b) 双 V 形坡口 c) U 形坡口 (带钝边) d) 双 U 形坡口

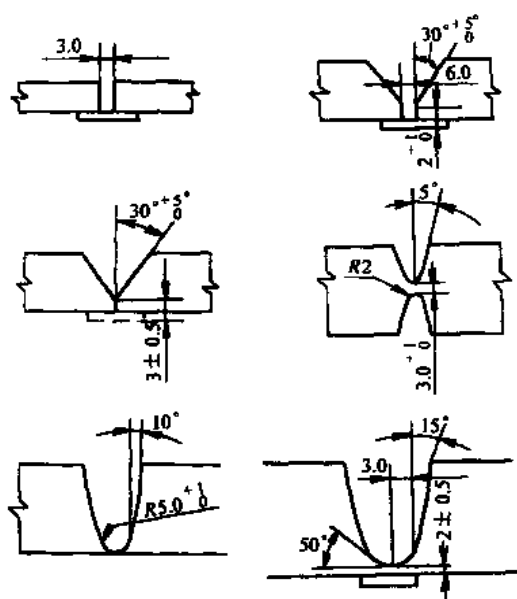


图 2-3 埋弧焊、MIG 焊镍基合金典型坡口形式

预热不能代替焊后热处理。

铸造镍基耐蚀合金的焊接需要预热 100~250℃，以期减少焊缝的裂纹倾向。焊后还需要消除应力，如锤击或退火。铸件在焊前若能进行固溶处理，可消除铸造应力并使组织均匀化，有利于提高焊接质量。

4. 镍基合金的钨极气体保护电弧焊工艺要点

钨极氩弧焊时焊丝直径的大小应取决于被焊母材金属的厚度。焊接过程中焊丝加热端必须处于气体保护的状态，不能用来搅动熔池。在保证不接触钨极的条件下，应用尽可能短的电弧长度施焊。按板材厚度选用合适的焊接速度，以保证足够的熔透、焊缝宽度与焊缝致密性。焊接速度过低或过高时均容易产生气孔。单面焊完全焊透需要用带凹形槽的铜衬垫，通以保护气体。为加强焊接区的保护效果也可在焊嘴后侧加一辅助输送保护气的拖罩。

钨极惰性气体保护电弧焊用焊丝成分大多与母材相当。但焊丝中一般多加入一些合金元素，以补偿某些元素的烧损以及控制焊接气孔和热裂纹。镍和镍基耐蚀合金的钨极惰性气体保护电弧焊常用镍基合金焊丝及化学成分列于表 2-36 中。

表 2-36 常用镍基合金焊丝及化学成分 (质量分数)

(%)

焊丝牌号	AWS 标准型号	主 要 成 分											
		Ni	C	Mn	Fe	S	Si	Cu	Cr	Al	Ti	Nb	Mo
镍 31	ERNi-3	96.0	0.06	0.3	0.1	0.005	0.4	0.02	—	—	3.0	—	—
蒙乃尔 60	ERNiCu-7	65.0	0.03	3.5	0.2	0.005	1.0	27.0	—	—	2.2	—	—
蒙乃尔 67	ERCuNi	31.0	0.03	0.8	0.5	0.005	0.1	67.5	—	—	0.3	—	—
因康镍 62	ERNiCrFe-5	74.0	0.02	0.1	7.5	0.005	0.1	0.03	16.0	—	—	2.2	—
因康镍 69	ERNiCrFe-7	73.0	0.02	0.6	6.5	0.007	0.3	0.05	15.2	0.7	2.5	0.8	—
因康镍 82	ERNiCr3	72.0	0.02	3.0	1.0	0.007	0.2	0.04	20.0	—	0.6	2.5	—
因康镍 601	—	60.5	0.05	0.5	14.1	0.007	0.2	0.5	23.0	1.4	—	—	—
因康镍 625	—	61.0	0.05	0.2	2.5	0.008	0.2	—	21.5	0.2	0.2	3.0	9.0
因康镍 718	ERNiCrMo6	52.5	0.04	0.2	18.5	0.007	0.3	0.07	18.6	0.4	0.9	5.0	3.1
因康洛依 65	—	42.0	0.03	0.7	30.0	0.007	0.3	1.7	21.0	—	1.0	—	3.0

5. 镍基耐蚀合金的焊条电弧焊焊接工艺要点。

焊条电弧焊焊接镍基耐蚀合金常用的接头坡口形式如图 2-2 所示。根据应用工况要求，材料与结构选用合适的接头坡口形式、焊条牌号、焊条直径以及有关焊接参数。除必须遵循前述镍基合金焊接共同要点外，还须特别注意药皮焊条的保管与使用前的烘干、焊条的摆动与再引弧技术的应用。

使用前，焊条应在密封的防潮容器中贮存。吸潮焊条应在 320℃×1h 或者是 200℃×2h 的条件下烘干后再用。

由于镍基耐蚀合金焊接熔池流动性较差，为防止产生未熔合、气孔等缺陷，一般要求在焊接过程中适当摆动焊条，以将熔化金属送到坡口中合适的位置。焊缝接头再引弧时应用反向引弧技术，以利于焊接接头处焊缝平滑，并抑制气孔的产生。

如蒙乃尔镍基合金的焊接时合金在液态下吸收大量气体，极易出现密集的气孔。因此焊接时应以减少气孔为出发点。焊接时应尽量减少外界空气的侵入，因此应采用短弧焊。为了保证电弧的稳定燃烧需采用反极性。采用大电流有利于气体的排出。根据实际经验，直径为 4mm 的焊条适用电流为 160~200A；直径为 3mm 的焊条，适用电流为 80~100A。

焊缝的起弧和收尾处电弧不太稳定，易出现气孔，所以应尽可能使用引弧板和熄弧板。

焊前坡口两侧应打磨光亮，去油。焊条使用前应在 300℃下烘干 2h。

表 2-37 镍基合金焊条熔敷金属的化学成分

焊条牌号	GB 标准 型号	AWS 标 准型号	化学成分(质量分数)/%											
			C	Si	Mn	Fe	Nb	Al	Ti	Cu	S	P	Ni	
Ni102	ENi-0	—	≤0.06	≤1.5	≤2.5	≤4.5	≤2.5	≤0.5	≤1.5	—	≤0.015	≤0.015	≥92	
Ni112	ENi-0	ENi-1	~0.04	—	~1.5	~3.0	~1.0	—	~0.5	—	≤0.005	≤0.005	≥92	
Ni202	ENiCu-7	ENiCu-7	≤0.12	≤1.5	≤4.0	≤2.5	≤2.5	≤0.75	≤1.0	余量	≤0.015	≤0.02	62~69	
Ni207	ENiCu-7	ENiCu-7	≤0.15	≤1.5	≤4.0	≤2.5	≤2.5	—	—	余量	≤0.015	≤0.02	62~69	
Ni307	ENiCrMo-0	—	~0.05	—	—	≤7	3~5	—	—	—	—	—	Cr~15 Mo2~6 ~70	
Ni307A	ENiCrFe-3	ENiCrFe-3	≤0.10	≤1.0	5.0~9.5	≤10.0	1.0~2.5	—	≤1.0	≤0.5	≤0.015	≤0.03	≥59.0	Cr13~17.0
Ni307B	ENiCrFe-3	ENiCrFe-3	≤0.10	≤1.0	5.0~9.5	≤10.0	1.0~2.5	—	≤1.0	≤0.5	≤0.015	≤0.03	≥59.0	Cr13~17.0
Ni327	ENiCrMo-0	—	≤0.05	≤0.75	1.0~5.0	4.0~8.0	1.5~5.5	—	—	—	≤0.015	≤0.04	余量	Cr13~17.0 Mo3~7.5
Ni347	ENiCrFe-0	—	0.04	0.13	4.65	5.92	2.58	0.06	—	—	≤0.003	≤0.004	余量	Cr18.55 Co0.02
Ni357	ENiCrFe-2	ENiCrFe-2	≤0.10	≤0.75	1.0~3.5	≤12.0	0.5~3.0	—	—	≤0.50	≤0.02	≤0.03	≥62	Cr13~17.0 Mo0.5~2.5

焊条涂料的配制也应从减少气孔出发。因此焊条涂料应该具有脱氧能力。涂料配方的质量分数为： TiO_2 40%、 CaF_2 20%、 NaF 12%、 Mn 15%、 Ti 8%、 Al 5%。该配方的焊条工艺性能良好，引弧容易，燃烧稳定，熔渣熔点及粘度较合适，脱渣容易，焊缝成形美观、无咬边、裂纹等缺陷。焊缝的力学性能 σ_b 为490~560 (MPa)，弯曲角为180°，耐腐蚀性能良好。

蒙乃尔与不锈钢焊接时，采用蒙乃尔焊条，焊接性能良好，焊缝致密，焊缝的抗拉强度 σ_b 为515 (MPa)，弯曲角为180°；而用不锈钢焊条时，则易出现裂纹。其原因是当用不锈钢焊条焊接时，焊缝以铁为主，同时也会从蒙乃尔一侧渗入少量的铜，铜与铁形成低熔点共晶因而出現裂纹。焊条熔敷金属成分列于表 2-37，而熔敷金属力学性能列于表 2-38。

表 2-38 镍基焊条熔敷金属力学性能

焊条牌号	GB 标准 型号	AWS 标 准型号	力 学 性 能					备 注
			σ_b /MPa	σ_s /MPa	δ_5 /%	φ /%	a_{KV} /J	
Ni102	ENi-0	—	≥ 410	—	≥ 20	—	—	保证值
Ni112	ENi-0	ENi-1	≥ 410	—	—	—	—	
Ni202	ENiCu-7	ENiCu-7	≥ 480	—	≥ 30	—	—	
Ni207	ENiCu-7	ENiCu-7	≥ 480	—	≥ 30	—	—	
Ni307	ENiCrMo-0	—	≥ 620	—	≥ 20	—	—	
Ni307A	ENiCrFe-3	ENiCrFe-3	≥ 550	—	≥ 30	—	—	
Ni307B	ENiCrFe-3	ENiCrFe-3	≥ 550	—	≥ 30	—	118	值例 保证值
Ni327	ENiCrMo-0	—	≥ 620	—	≥ 20	—	—	
Ni347	ENiCrFe-0	—	690	440	38.5	48.5	110	
Ni357	ENiCrFe-2	ENiCrFe-2	≥ 550	—	≥ 30	—	—	

6. 镍基合金埋弧焊工艺要点

镍基合金包括固溶强化镍基合金，对于埋弧焊具有较好的焊接性，特别是厚板的焊接。焊接 20mm 以上厚板时，宜采用 U 形坡口和双 U 形坡口。

埋弧焊用镍基合金焊丝牌号和成分与气体保护焊丝相同。常用的焊丝直径为 1.2~2.4mm，细丝用于焊接薄板，而厚板焊接常用 $\phi 2.4$ mm 的焊丝。

镍基合金埋弧焊常用的焊剂牌号为 IncoHax4、IncoHax5 和 IncoHax6。4 号焊剂是与因康镍 62、82、625 焊丝相匹配的专用焊剂。可相应焊接因康镍 600 合金，因康洛依 800 及因康镍 601、625 及因康洛依 825 合金。5 号焊剂与蒙乃尔 60、67 焊丝相配，可用于埋弧堆焊蒙乃尔 400、404 合金，与 67 号焊丝相配还可焊接铜镍合金。6 号焊剂可与镍 61 焊丝相配用于堆焊及镍 200、201 对接接头的埋弧焊。

埋弧焊焊剂的烘干制度为 580~680 °C/2h。

镍基合金埋弧焊典型焊接参数列于表 2-39。

表 2-39 镍基合金埋弧焊典型焊接参数

母材牌号	焊丝牌号	焊剂牌号	焊丝伸出 长度/mm	焊丝直径 /mm	焊接电流/A	电弧电压/V	焊接速度 /(m/h)	极性
镍 200	镍 61	IncoHux6	22~25	$\phi 1.6$	250	28~30	15~18	反接极
蒙乃尔 400	蒙乃尔 60	IncoHux5	22~25	$\phi 1.6$	260~280	30~33	18~20	反接极
因康镍 600	因康镍 82	IncoHux4	22~25	$\phi 1.6$ 或 $\phi 2.4$	250 250~300	30~33	12~17	反接极

6 钛及钛合金的焊接工艺

钛及钛合金具有优良的耐蚀性、小的密度、高的比强度及较好的耐热性、加工性。

工业上常用的钛及钛合金属牌号和化学成分列于表 2-40。其力学性能列于表 2-41。

表 2-40 钛及钛合金的牌号和化学成分(摘自 GB/T3620.1-1994)

合金 牌 号	化学成分组	化 学 成 分 (质 量 分 数) / %															杂 质 不 大 于						
		主 要 成 分															O	H	其它元素				
		Ti	Al	Sn	Mo	V	Cr	Fe	Mn	Zr	Pd	Ni	Cu	Nb	Si	B			Fe	C	N	单	总和
TAD	锻法钛	余量	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.03	0.03	0.01	0.015	0.05	—	—
TA0	工业纯钛	余量	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.15	0.10	0.03	0.015	0.15	0.1	0.4
TA1	工业纯钛	余量	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.25	0.10	0.03	0.015	0.20	0.1	0.4
TA2	工业纯钛	余量	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.30	0.10	0.05	0.015	0.25	0.1	0.4
TA3	工业纯钛	余量	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.40	0.10	0.05	0.015	0.30	0.1	0.4
TA4	Ti-3Al	余量	2.0~ 3.0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.30	0.10	0.05	0.015	0.15	0.1	0.4
TA5	Ti-4Al- 0.005B	余量	3.3~ 4.7	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.005	0.30	0.10	0.04	0.015	0.15	0.1	0.4
TA6	Ti-5Al	余量	4.0~ 5.5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.30	0.10	0.05	0.015	0.15	0.1	0.4
TA7	Ti-5Al- 2.5Sn	余量	4.0~ 6.0	2.0~ 3.0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.50	0.10	0.05	0.015	0.20	0.1	0.4
TA7 EL1	Ti-5Al- 2.5Sn (EL1)	余量	4.50~ 5.75	2.0~ 3.0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.25	0.05	0.035	0.0125	0.12	0.05	0.3
TA9	Ti-0.2Pd	余量	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.12~ 0.25	—	—	—	—	0.25	0.10	0.03	0.015	0.20	0.1	0.4
TA10	Ti-0.3Mo- 0.8Ni	余量	—	—	0.2~ 0.4	—	—	—	—	—	—	—	0.6~ 0.9	—	—	—	0.30	0.08	0.03	0.015	0.25	0.1	0.4
TB2	Ti-5Mo- 5V-8Cr- 3Al	余量	—	—	4.7~ 5.7	4.7~ 5.7	7.5~ 8.5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.30	0.05	0.04	0.015	0.15	0.1	0.4
TB3	Ti-3.5Al- 10Mo-8V- 1Fe	余量	2.7~ 3.7	—	9.5~ 11.0	7.5~ 8.5	—	0.8~ 1.2	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.05	0.04	0.015	0.15	0.1	0.4

(续)

合金 牌号	化学成分组	化 学 成 分(质 量 分 数)/%																杂质不大于					
		主 要 成 分																其它元素					
		Ti	Al	Sn	Mo	V	Cr	Fe	Mn	Zr	Pd	Ni	Cu	Nb	Si	B	Fe	C	N	H	O	单	总和
TC4	Ti-4Al-7Mo-10V-2Fe-1Zr	余量	3.0~4.5	—	6.0~7.8	9.0~10.5	—	1.5~2.5	—	0.5~1.5	—	—	—	—	—	—	—	0.05	0.04	0.015	0.20	0.1	0.4
TC1	Ti-2Al-1.5Mn	余量	1.0~2.5	—	—	—	—	—	0.7~2.0	—	—	—	—	—	—	—	0.30	0.10	0.05	0.012	0.15	0.1	0.4
TC2	Ti-4Al-1.5Mn	余量	3.5~5.0	—	—	—	—	—	0.8~2.0	—	—	—	—	—	—	—	0.30	0.10	0.05	0.012	0.15	0.1	0.4
TC3	Ti-5Al-4V	余量	4.5~6.0	—	—	3.5~4.5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.30	0.10	0.05	0.015	0.15	0.1	0.4
TC4	Ti-6Al-4V	余量	5.5~6.8	—	—	3.5~4.5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.30	0.10	0.05	0.015	0.20	0.1	0.4
TC6	Ti-6Al-1.5Cr-2.5Mo-0.5Fe-0.3Si	余量	5.5~7.0	—	2.0~3.0	—	0.8~2.3	0.2~0.7	—	—	—	—	—	—	0.15~0.40	—	—	0.10	0.05	0.015	0.18	0.1	0.4
TC9	Ti-6.5Al-3.5Mo-2.5Sn-0.3Si	余量	5.8~6.8	1.8~2.8	2.8~3.8	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.2~0.4	—	0.40	0.10	0.05	0.015	0.15	0.1	0.4
TC10	Ti-6Al-6V-2.5Sn-0.5Cu-0.5Fe	余量	5.5~6.5	1.5~2.5	—	5.5~6.5	—	0.35~1.0	—	—	0.35~1.0	—	—	—	—	—	—	0.10	0.04	0.015	0.20	0.1	0.4
TC11	Ti-6.5Al-3.5Mo-1.5Zr-0.3Si	余量	5.8~7.0	—	2.8~3.8	—	—	—	—	0.8~2.0	—	—	—	—	0.20~0.35	—	0.25	0.10	0.05	0.012	0.15	0.1	0.4
TC12	Ti-5Al-4Mo-4Cr-2Zr-2.5Nb	余量	4.5~5.5	1.5~2.5	3.5~4.5	—	3.5~4.5	—	—	1.5~3.0	—	—	—	0.5~1.5	—	—	0.30	0.10	0.05	0.015	0.20	0.1	0.4

表 2-41 钛及钛合金的一般力学性能 (摘自 GB/T-3620-1994)

牌 号	半成 品 种 类	试 样 状 态	试 验 温 度 /℃	屈服强度	抗拉强度	弹性模量	伸 长 率		断 面 收	冲击韧 度 α_K / (J/cm ²)	持久强度		蠕变极限	硬 度 (HBS)
				$\sigma_{0.2}$	σ_b	E	δ_5	δ_{10}	缩 率 ψ		$\sigma_{b/100}$	$\sigma_{0.2/100}$		
				MPa		MPa	(%)		MPa					
TA1	棒材	退火	室温	—	420	—	35 ^①	—	59	105	—	—	—	
TA2	棒材	退火	室温	—	540	—	31 ^①	—	56	90	—	—	—	
			350	—	—	—	—	—	—	195	95	—		
			400	—	—	—	—	—	—	180	70	—		
			450	—	—	—	—	—	—	100	30	—		
TA3	棒材	退火	室温	—	630	—	24 ^①	—	53	80	—	—	—	
TA4	锻件 (截面 70mm 以下)		—196	1120	1230	—	14 ^②	—	31	40	—	—	—	
			—100	840	910	—	18 ^②	—	38	50	—	—	—	
			20	640	730	—	22 ^②	—	49	80	—	—	—	
			100	500	590	—	25 ^②	—	52	110	—	—	—	
			200	360	420	—	28 ^②	—	60	140	—	—	—	
			300	320	370	—	26 ^②	—	66	180	—	—	—	
TA5	板材 (厚 12 mm)	退火	20	650	700	126~137	15	—	40	60	—	—	—	
			200	465	550	119	16 ^②	—	40	—	—	—	—	
			300	385	450	107	15.6 ^②	—	50	—	—	—	—	
			400	300	400	104	15.7 ^②	—	58	—	—	—	—	
			500	300	380	98	13.5 ^②	—	58.5	—	—	—	—	
TA6	棒材 ($\phi 10$ mm~ $\phi 20$ mm)	退火	20	830	900	—	—	8.5	36	30~50	—	—	—	
			350	—	—	—	—	—	—	—	400 (> 100h)	—		
	板材		20	690	800	105	—	15	—	30~50	—	—	—	
			350	360	460	81.5	—	18	—	—	—	—	—	
			450	350	430	70	—	14	—	—	—	—	—	
			500	350	—	—	—	—	—	—	200	—	—	
			—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
TA7	板、棒	退火	20	650~850	750~950	105~120	—	8~15	—	40	—	—	200~300	
			—80	920	1025	—	14	—	—	—	—	—	—	
			—196	1127	1240	—	20 ^②	—	31	—	—	—	—	
			—253	1290	1570	—	17.5 ^②	—	9.2	—	—	—	—	
			350	340~460	500~600	78.5	24	—	—	—	450~500	300	—	
			500	300~400	450~520	58.5	20	—	—	—	200	50	—	
TB2		淬火 + 时效	350	—	—	—	—	—	—	持久强度持久时间		—	—	
										/MPa	/h			
										1050	310 (未断) 170 196			
										1080	188 149 141			
										1100	153 170 52			

(续)

[illegible]

(续)

牌号	半成品 种类	试样 状态	试验 温度 /℃	屈服强度	抗拉强度	弹性模量	伸长率		断面收 缩率 ϕ	冲击初 度 a_K / (J/cm ²)	持久强度	蠕变极限	硬度 (HBS)
				$\sigma_{0.2}$	σ_b	E	δ_5	δ_{10}			$\sigma_{b/100}$	$\sigma_{0.2/100}$	
				MPa		MPa	(%)				MPa		
TC6	棒材 模锻件	淬火+ 时效	20	1000	1100	115	12	—	35	40	—	—	—
			100	800	870	104.5	14%	—	—	—	—	—	—
			200	610	740	95	15%	—	—	—	—	—	—
			300	560	650	90	14%	—	—	—	—	—	—
			400	490	600	85.5	14%	—	—	—	—	—	—
			450	470	580	83	—	14	—	—	600	306	—
			500	420	560	80	—	15	—	—	550	165	—
									360	53	—		
TC9	棒材	退火	20	1030	1200	118	11	6	28.5	—	—	—	—
			300	740	990	103	14	10	52	—	—	—	—
			400	720	900	101	13	7	53	—	—	—	—
			500	660	870	95	14	7	56	—	≥ 650	280~300	—
			550	620	810	89	15	8	57	—	≥ 450	120~150	—
TC10	棒材 (直径 22 mm)	退火	20	1060	1100~ 1150	108.3	10~14	—	30~47	>35	—	—	—
			250	743	913	100	12	—	52	—	—	—	—
			350	714	880	98	15	—	52	—	—	—	—
			400	—	—	—	—	—	—	—	$\sigma_b/150=800$	—	—
			450	600	800	90	19	—	68	—	$\sigma_b/150>550$	—	—
			500	—	700	—	23	—	73	—	—	—	—

注：1. 试验的持久时间为 21~24h，试样为棒材。

2. 表列性能数据为实测值，往往比标准规定的性能高，但这些数值不能作为设计依据，设计时应按标准数值考虑。

3. 国家标准规定的钛及钛合金板、棒、线、管材的标准性能数值，可查阅手册内有关章节。

① $\delta(L=5.65\sqrt{F_0})$

② 未注明 δ_5 、 δ_{10} 。

6.1 钛及钛合金的焊接性

1. 化学元素对钛的影响

钛的化学活性强 在 400℃以上的高温（固态）下极易被空气、水分、油脂氧化及污染，由表面吸收入氧、氮、氢、碳等杂质，以致降低焊接接头的塑性和韧性。

(1) 氧的影响 氧在钛的 α 相和 β 相中都有很高的溶解度，并能形成间隙固溶相，使钛的晶格严重扭曲，从而提高钛及钛合金的硬度和强度，但塑性却显著降低。为了保证焊接接头的性能，除了在焊接过程中严防焊缝及热影响区发生氧化外，同时还应限制基本金属及焊丝中的含氧量。

(2) 氮的影响 在 700℃以上的高温下，氮和钛发生剧烈的作用，形成脆硬的氮化钛 (TiN)，而且氮与钛形成间隙固溶体时所引起晶格歪扭程度，比同量的氧引起的后果更为严重。因此，氮损害钛的变形抗力，降低钛的塑性。

(3) 碳的影响 碳对钛的变形能力的影响比氧和氮为小。一般钛材中的碳的质量分数限制在 0.1% 以下, 若钛材中碳的质量分数高达 0.28% 时, 接头的性能会变得很脆。

(4) 氢的影响 氢是稳定 β 相的元素, 在 β 相中有较大的溶解度, 而在 α 相中的溶解度很小, 大约只有 0.002% 的体积分数, 溶于 α -Ti 中的氢, 随着温度的下降, 以 γ 相 (TiH_2) 形式析出。所析出的 γ 相呈片状, 断裂强度很低, 在金属中起到微裂纹作用。在 α 钛合金中存在微量的氢就可形成 γ 相, 使合金的塑性特别是冲击韧性降低。

为了避免钛合金焊缝中出现氢脆, 焊接时要严防氢的侵入, 首先要限制基体金属及焊丝中的氢的体积分数 $< 0.015\%$; 其次可适当采取焊缝合金化措施。如向焊缝添加铝、锡等合金元素, 以增加氢在 α -Ti 中的溶解度, 或添加 β 稳定元素钼、钒等, 使合金的室温组织中残留少量 β 相, 以便有较多的氢溶解于 β 相中, 也可减少钛合金焊缝的氢脆倾向。对于质量要求高的焊件, 可将焊件和焊丝放入 $800 \sim 900^\circ\text{C}$ 的真空退火炉 (真空度 $0.013 \sim 0.0013\text{Pa}$, 保温 $5 \sim 6\text{h}$) 中进行脱氢处理。经脱氢处理后, 焊缝金属中的氢的体积分数降至 0.0012% 以下, 从而提高接头的塑性和韧性。

2. 钛的裂纹倾向

由于钛及钛合金中硫、磷、碳等杂质很少, 晶界上低熔点共晶不易形成, 结晶温度区间窄, 加之焊接凝固时收缩量小, 因此出现焊接热裂纹的可能性较小。但如果母材和焊丝质量不合格, 杂质含量超标, 则有可能出现焊接热裂纹。

焊接时, 如保护不良或 $\alpha + \beta$ 合金中含 β 稳定元素较多, 会出现热应力裂纹和冷裂纹。加强焊接保护, 防止有害杂质污染和焊前预热、焊后缓冷可以减少甚至消除热应力裂纹和冷裂纹。

钛合金焊接时, 热影响区可能出现延迟裂纹, 这主要是由氢引起的。焊接时由于熔池和低温区母材中氢向热影响区扩散, 引起热影响区氢的集聚。加上此处不利的应力状态, 而导致裂纹。

3. 焊缝气孔形成倾向

气孔是钛及钛合金焊接时最常见的焊接缺陷。

氢气是引起气孔的主要原因。

为防止气孔的产生, 必须采取以下措施:

- 1) 严格控制基本金属、焊丝、氢气中氢、氧、氮等杂质气体的含量。
- 2) 彻底清除焊件表面, 焊丝表面上的氧化皮及油污等有机物。对接端面如不能进行铣、刨、刮、削等机械加工, 最好临焊前进行酸洗, 酸洗后用净水冲洗、烘干。酸洗到焊接的时间一般不应超过 2h, 否则需要放到洁净、干燥的环境中贮存。
- 3) 正确选择焊接工艺参数, 增加熔池停留时间便于气泡逸出, 可有效地减少气孔。
- 4) 用等离子弧焊代替钨极氩弧焊可以减少气孔。这是由于等离子弧焊的熔池温度高, 对熔池前沿的焊接坡口热清理作用大及气体逸出过程快的缘故。
- 5) 对钛丝进行真空处理。这不仅可降低焊丝的含氢量, 而且能改善焊丝的表面状态。
- 6) 焊前在坡口端面进行机械加工, 去掉残留的切痕。
- 7) 对熔池施以良好的气体保护, 控制好氢气的流量及流速, 防止产生紊流现象。在钨极氩弧焊填丝焊接时, 可采取焊丝离熔池一定高度送入, 使焊丝熔化后不直接进入熔池, 而是在电弧区下落, 起到熔滴净化去气作用, 也可明显减少气孔。

8) 应保持低的氩气露点, 焊枪上通氩气的管道不宜采用橡皮管, 而最好用尼龙软管。

6.2 钛及钛合金的典型焊接工艺

如前所述, 钛及钛合金化学活性强, 与氧、氮、氢的亲合力大, 故通用的焊条电弧焊、气焊和 CO_2 保护焊均不能适用于钛及钛合金的焊接。焊接钛及钛合金的方法, 最常用的为手工及自动钨极氩弧焊, 其次是自动熔化极氩弧焊、等离子弧焊、真空电子束焊等。

1. 钨极氩弧焊焊接工艺

(1) 焊前准备 焊件和焊丝表面清理的质量对焊接接头的力学性能有很大的影响, 清理质量不高时, 往往在钛板及钛丝表面上生成一层灰白色的吸气层, 并导致形成裂纹和气孔。钛板及钛材可用机械清理及化学清理两种方法。

1) 机械清理 对于焊接质量要求不高或酸洗有困难的焊件, 可用细砂纸或不锈钢丝刷擦拭, 但最好用硬质合金刮刀刮削钛板待焊边缘表面, 当刮削深度达 0.025mm 时, 氧化膜层已基本被刮除。

2) 化学清理 在焊前除了先用丙酮或乙醇、四氯化碳、甲醇等溶剂擦拭钛板坡口及其两侧 (各在 50mm 以内)、焊丝表面、工夹具与钛板相接触的部分外, 还应彻底清除钛板、焊丝表面的水分、手印痕迹、油污、灰尘和氧化物等污物。已经清洗的钛板和焊丝放置时间不宜过长, 为保持焊件坡口处的清洁, 可用塑料布将坡口及其两侧覆盖住, 若发现有污物, 最好再用丙酮或乙醇在焊件边缘进行擦洗。

清洗过的焊丝应置于温度在 150~200℃ 的烘干箱内保温, 做到随用随取。取用钛丝时, 需戴清洁的白手套。

(2) 焊接材料的选择 氩气应为一级氩气, 其纯度 (体积分数) 为 99.99%, 露点在 -40℃ 以下, 杂质总的质量分数 $<0.02\%$, 相对湿度 $<5\%$, 水分的质量分数 $<0.001\%$ 。

当氩气瓶中的压力降至 0.981MPa 时, 应停止使用, 以防止降低钛材焊接接头的质量。

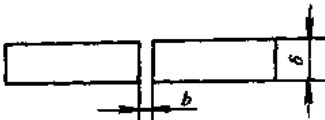
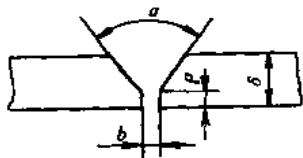
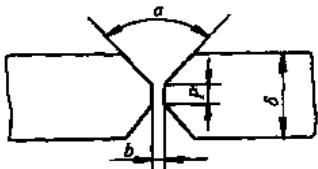
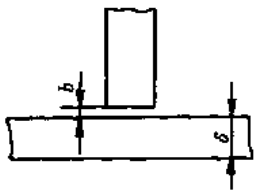
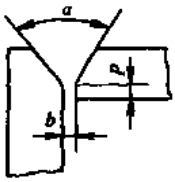
钛及钛合金手工钨极氩弧焊用的焊丝, 原则上应选择与基本金属成分相同的钛丝。常用的焊丝牌号有 TA1、TA2、TA3、TA4、TA5、TA6 及 TC3 等, 这些焊丝均以真空退火状态供应。真空退火的规范: 真空度 0.13~0.013Pa, 退火温度 900~950℃, 保温时间 4~5h。

为提高钛焊缝金属的塑性, 可选用强度比基体金属稍低的焊丝。例如焊接 TA7 及 TC4 等钛合金时, 可选用纯钛焊丝。此时, 由于改变了焊缝的组分 (焊缝中的 α 相增多), 可使接头的塑性显著提高。又如焊接 TC4 时, 也可选用 TC3 焊丝, 以改善接头塑性。

(3) 焊接坡口形式的选择 其原则是尽量减少焊接层数和填充金属。随着焊接层数的增多, 焊缝累积吸气量增加, 以致影响到接头的塑性。钛材的坡口形式及尺寸列于表 2-42。V 形坡口是一种常用坡口, 采用此种坡口可简化焊缝背部的保护。V 形坡口的钝边宜小, 在单面焊时, 甚至可不留钝边, 坡口角度在 60~65° 之间。

钛板的坡口可在刨边机、普通刨床或铣床上加工。对于较厚的钛板, 可用等离子弧切割, 但用这种方法切割钛合金板材时, 易出现钛板边缘硬度增高的倾向, 给随后的机械加工带来困难, 所以最好采用刨、铣等加工工艺。对于小型球型封头、螺旋桨叶片、环向接头等形状较复杂的焊件坡口, 可用锉刀进行手工加工。钛管端面的坡口, 可用电动刮刀刮削或车床加工。

表 2-42 钛及钛合金手工氩弧焊的坡口形式

接头形式	坡 口 形 式	板厚 δ /mm	坡口尺寸		
			间隙 b /mm	钝边 P /mm	角度 $^\circ$
I 形坡口 对接		≤ 1.5 1.6~2.5	0~0.5	—	—
V 形坡口		3~5	0~1.0	0.5~1.5	60~65
对称双 V 形坡口		10~30	1.0~1.5	1.5~2.0	60~65
T 形 角接		≥ 0.5	0~1.0	—	—
V 形坡口 角接		2.0~3.0	0~0.5	0.5~1.0	50~60

(4) 定位焊及装配 为了减少焊接变形, 焊前可在接头坡口间进行定位焊, 一般定位焊的间距为 100~150mm, 其长度约 10~15mm。定位焊所用的填充焊丝、焊接工艺参数及气体保护条件与产品接头焊接时相同。在每次停弧时, 应延时关闭氩气。

(5) 焊接区的气体保护措施 基于钛对空气中的氧、氮、氢等气体具有很强的亲和能力, 要求在焊接过程中采用良好的气体保护措施, 以确保焊接熔池及温度超过 350℃ 的热影响区 (包括焊件的正面和反面) 与空气完全隔绝。

焊缝正面的保护。钛焊缝的气体保护效果除与氩气纯度、流量、喷嘴与焊件间距离, 焊接接头形式, 穿堂风等因素有关外, 还取决于焊炬、喷嘴的结构形式和尺寸。钛的热导率低、焊接熔池尺寸较大, 因此, 钛及钛合金氩弧焊时, 焊枪的气保护性能要高于铝和不锈钢, 喷

嘴孔径也应增大,以扩大气体保护区的面积。当喷嘴已不足以保护焊缝和近缝区高温金属、需附加拖罩,一般喷嘴和拖罩做成一体。焊接直缝用平直的拖罩,环缝用弧形拖罩。

焊缝反面保护,常采用在局部密闭气腔或整个焊件(指封闭的圆形焊件)内充满氩气,以及在焊缝背部设置通氩气的垫板等方法。只要保护良好,容易获得成形良好的背面焊缝。在多数情况下背面保护可以采用类似拖罩的结构。为了加强钛焊缝的冷却,垫板材料宜选用纯铜,必要时在垫板上开孔通水冷却。垫板上成形槽的深度和宽度要适当,否则不利于氩气的流通和贮存。

焊缝和近缝区颜色是保护效果的标志。银白色表示保护效果最好,黄色为轻微氧化,一般是允许的。表面颜色应符合表 2-43 规定。

表 2-43 焊缝和热影响区的表面颜色

焊缝级别	焊 缝				热 影 响 区			
	银白、浅黄	深 黄	金 紫	深 蓝	银白、浅黄	深 黄	金 紫	深 蓝
一 级	允许	不允许	不允许	不允许	允许	不允许	不允许	不允许
二 级		允许				允许	允许	
三 级			允许					允许

(6) 焊接参数的选择 既要防止焊缝在电弧热的作用下出现晶粒粗化的倾向,又要避免焊后冷却过程中形成脆硬组织。纯钛及所有的钛合金焊接时,都有晶粒粗化(长大)的倾向,其中尤以 β 钛合金最为显著,而晶粒长大后难以用热处理方法细化,所以焊接工艺参数的选择主要着重于防止晶粒粗化,常推荐采用较小的焊接热输入。

焊接参数选择不适当时,容易在焊缝中形成缺陷,要避免选用过大的焊接电流,以防止焊缝金属氧化,形成气孔及引起晶粒长大。在焊接 2mm 厚纯钛板时,由于基体金属中氢含量较高,在不加钛丝时,焊缝中就会产生气孔,而选用添加钛丝焊接时,气孔数量就显著减少。

氩气流量的选择以达到良好的焊缝表面色泽为准,过大的流量不易形成稳定的层流,并且增大焊缝的冷却速度,在焊缝表面层出现较多的 α 相,以致引起微裂纹。拖罩中的氩气流量不足时,焊缝表面呈现出不同的氧化色泽;而流量过大时,将对主喷嘴的气流产生干扰作用。焊缝背面的氩气流量也不能太大,否则会影响到正面第一层焊缝的气体保护性能。表 2-44、表 2-45 分别为钛及钛合金板的手工、自动钨极氩弧焊典型焊接工艺参数。

表 2-44 钛及钛合金板手工钨极氩弧焊的典型焊接工艺参数

板厚 /mm	坡口形式	钨极直径 /mm	焊接层数	焊丝直径 /mm	焊接电流 /A	氩气流量/(L/min)			喷嘴孔径 /mm	备 注
						主喷嘴	拖罩	背面		
0.5	I形	1.5	1	1.0	30~50	8~10	14~16	6~8	10	对接接头间隙 0.5mm,也可不加钛 丝,间隙 1.0mm
1.0	坡口对 接	2.0	1	1.0~2.0	40~50	8~10	14~16	6~8	10	
1.5		2.0	1	1.0~2.0	60~80	10~12	14~16	8~10	10~12	
2.0		2.0~3.0	1	1.0~2.0	80~110	12~14	16~20	10~12	12~14	
2.5		2.0~3.0	1	2.0	110~120	12~14	16~20	10~12	12~14	

(续)

板厚 /mm	坡口形式	钨极直径 /mm	焊接层数	焊丝直径 /mm	焊接电流 /A	氩气流量/(L/min)			喷嘴孔径 /mm	备 注
						主喷嘴	拖罩	背面		
3.0	开 V 形	3.0	1~2	2.0~3.0	120~140	12~14	16~20	10~12	14~18	坡口间隙 2~3mm, 钝边 0.5mm 焊缝反面衬铜垫板 坡口角度 60°~65°
3.5	坡口对	3.0~4.0	1~2	2.0~3.0	120~140	12~14	16~20	10~12	14~18	
4.0	接	3.0~4.0	2	2.0~3.0	130~150	14~16	20~25	12~14	18~20	
5.0		3.0~4.0	2	2.0~3.0	130~150	14~16	20~25	12~14	18~20	
6.0		4.0	2~3	3.0	140~180	14~16	20~25	12~14	18~20	
7.0		4.0	2~3	3.0~4.0	140~180	14~16	25~28	12~14	20~22	
8.0		4.0	3~4	3.0~4.0	140~180	14~16	25~28	12~14	20~22	
10.0	对称	4.0	4~6	3.0~4.0	160~200	14~16	25~28	12~14	20~22	坡口角度 60°, 钝边 1mm、坡口角度 55°, 钝边 1.5~2.0、间隙 1.5mm
13.0	双 V 形	4.0	6~8	3.0~4.0	220~240	14~16	25~28	12~14	20~22	
20.0	坡口	4.0	12	4.0	200~240	12~14	20	10~12	18	
22.		4.0	6	4.0~5.0	230~250	15~18	18~20	18~20	20	
25.		4.0	15~16	3.0~4.0	200~220	16~18	26~30	20~26	22	
30.		4.0	17~18	3.0~4.0	200~220	16~18	26~30	20~26	22	

表 2-45 钛及钛合金的自动钨极氩弧焊典型焊接参数

板厚 /mm	坡口形式	成形槽垫板		钨极直径 /mm	焊丝直径 /mm	焊接电流 /A	焊接电压 /V	焊接速度 /(m/h)	氩气流量/(L/min)			焊接层数
		宽度/mm	深度/mm						主喷嘴	拖罩	反面	
1.0	直边对接	5	0.5	1.6	1.2	70~100	12~15	18~22	8~10	12~14	6~8	1
1.2	直边对接	6	0.7	2.0	1.2	100~120	12~15	18~22	8~10	12~14	6~8	1
1.5	直边对接	5	0.7	2.0	1.2~1.6	120~140	14~16	22~24	10~12	14~16	8~10	1
2.0	直边对接	6	1.0	2.5	1.6~2.0	140~160	14~16	20~22	12~14	14~16	10~12	1
3.0	直边对接	7	1.1	3.0	2.0~3.0	200~240	14~16	19~21	12~14	16~18	10~12	1
4.0	V 形 60°	1.3	3.0	3.0	3.0	200~260	14~16	19~20	14~16	18~20	12~14	2
6.0	V 形 60°	—	—	4.0	3.0	240~280	14~18	18~22	14~16	20~24	14~16	3
10.0	V 形 60°	—	—	4.0	3.0	200~260	14~18	19~22	14~16	18~20	12~14	3
13.0	双 V 形 60°	—	—	4.0	3.0	220~260	14~18	20~25	14~18	18~20	12~14	4

操作过程中可加焊丝或不加焊丝,一般第一层均不加焊丝,从第二层起加焊丝。如发现送丝机构不太稳定或操作条件受限制时,则可采用手动送丝的方法。

手工氩弧焊时,焊丝与焊件间应尽量保持最小的夹角(10°~15°)。焊丝沿着熔池前端有节奏地送入熔池,在某些情况下,为增大熔池,也可间断地加入焊丝。向焊接熔池添加焊丝时,要防止破坏喷嘴出口处的层流,同时焊丝的送进要平稳、均匀,不得将焊丝端部移出氩气保护区外。

焊枪的移动方向按左向焊法。焊枪基本上不作横向摆动,当需要摆动时,频率要低,摆幅也不宜太大,以防止脱离氩气的保护。

偶然断弧及焊缝收尾处要继续通氩气保护,直到焊缝及热影响区金属冷却至 350℃ 以下时方可移开焊枪。氩气延时闭合时间正比于焊接电流值,焊接电流达 300A 时,氩气延时闭合时间选择 20~30s,在不装有引出板的条件下(如管子对接焊)可用电流衰减的方法逐渐填满弧坑。

2. 等离子弧焊接工艺

由于纯钛在液态下的表面张力大, 因此宜采用锁孔效应等离子弧焊技术, 常用以焊接 10mm 以内的纯钛板。

等离子弧焊法的热输入大, 热量集中, 在焊接过程中需加强焊接区的保护和冷却速度。

纯钛等离子弧焊时的气体保护方式与钨极氩弧焊法相同。等离子弧焊枪应合理进行设计, 需要焊接熔池及其周围处于 350℃ 以上的金属得到良好的保护。

为了降低保护气体的速度, 可在焊枪底部放置 3~4 层叠制的铜丝网。(0.154~0.1mm/cm²) 使氩气流形成层流, 从而达到良好的气体保护效果。在焊接过程中应严防由穿堂风吹散氩气流, 而使保护效果变坏。如果发现焊缝表面的颜色变蓝时, 应立即停止焊接, 检查气体保护效果。

等离子弧焊时, 焊接速度的选择也很重要, 焊接速度太慢, 焊件易被烧穿; 焊速增快、焊缝变窄。焊接速度超过 400mm/min 时、气体保护效果明显减弱。表 2-46 为工业纯钛的等离子弧自动焊典型工艺参数。

表 2-46 工业纯钛的等离子弧焊典型焊接工艺参数

板厚 /mm	喷嘴 孔径 /mm	钨极 直径 /mm	焊接电流 /A	电弧 电压 /A	氩气流量/(L/min)			焊接速度 /(m/h)	焊丝 直径 /mm	备 注
					离子 气流	主喷嘴 气流	反面保 护气流			
0.6	1.6	2.0	27	17	0.8	13	10	19.2	—	喷嘴与焊件间距离 3~6mm
0.8	1.6	2.0	35	18	0.1	13	10	15.6	—	喷嘴与焊件间距离 3~6mm
2	2.5	3.0	70~80 脉冲电流	—	1.8	18	12	—	—	拖罩气流 24L/min, 基值电流 20~30A
5	3.8	5.0	200	—	5	20	25	20.0	1.0	送丝速度 1.5m/min, 钨极内缩 1.9mm
6	6.0	4.0	180~220	18~20	—	11~12	6~8	12~21.5	—	钨极与焊件间距 4mm, 采用两层焊接
8	6.0	4.0	180~220	18~20	—	11~12	6~8	10~12	—	钨极与焊件间距 4mm 焊两层
10	6.0	5.0	180~300	18~20	—	8~9	8~10	8~12	—	钨极与焊件间距 4mm, 焊两层
10	3.8	5.0	250	25	6	20	25	9	1.0	送丝速度 1.5m/min, 钨极内缩 2.5mm

在焊接时只要工艺参数选择正确, 可以做到焊接过程较稳定, 电弧挺直度好, 焊缝较窄、焊透均匀, 且焊缝正反面成形美观, 从而提高焊接接头的性能。

7 铝及铝合金的焊接工艺

7.1 铝及铝合金的焊接性

铝及铝合金具有良好的耐蚀性, 较高的比强度及一定的导电性和导热性。

在铝中加入铜、镁、锰、硅、锌、钒和铬等合金元素, 可获得不同性能的合金。根据铝合金的化学成分和制造工艺, 可分成变形铝合金和铸造铝合金两大类。变形铝合金又可分为热处理强化和非热处理强化型铝合金。非热处理强化型合金(即防锈铝合金)包括铝锰和铝镁合金两类。这种合金的特点是强度中等、塑性良好、容易通过压力加工制成各种半成品, 并具有满意的焊接性, 良好的耐振性和耐腐蚀性。热处理强化型铝合金可分为硬铝、锻铝和超硬铝合金三类。工业上常用的铝及变形铝合金的化学成分、力学性能及用途列于表 2-47, 变形铝及铝合金新旧牌号对照见表 2-48。

表 2-47 常用变形铝合金化学成分、力学性能及用途

类别	代号	化学成分 (质量分数) /%					半成品 状态 ^①	力学性能 ^②			用途
		Cu	Mg	Mn	Zn	其它		σ_b /MPa	δ /%	HBS	
防锈铝合金	LF5		4.8~5.5	0.3~0.6	—	—	M	280	20	70	焊接油箱、油管、焊条、铆钉以及中载零件及制品
	LF11		1.8~5.5	0.3~0.6	—	V0.02~0.15	M	280	20	70	焊接油箱、油管、焊条、铆钉以及中载零件及制品
	LF21			1.0~1.6	—	—	M	130	20	30	焊接油箱、油管及轻载零件制品
硬铝合金	LY1	2.2~3.0	0.2~0.5		—	—	线材 cz	300	24	70	工作温度不超过 100℃ 的结构中等强度
	LY11	3.8~4.8	0.4~0.8	0.4~0.8	—	—	板材 cz	420	18	100	中等强度构件、叶片、螺栓、铆钉等
	LY12	3.8~4.9	1.2~1.8	0.3~0.9	—	—	板材 cz	470	17	105	高强度构件、肋、梁、铆钉等
超硬铝合金	LC4	1.4~2.0	1.8~2.8	0.2~0.6	5.0~7.0	Cr0.10~0.25	cs	600	12	150	结构中主要受力件,如飞机大梁桁架及起落架。
	LC9	1.2~2.0	2.0~3.0	0.15	5.1~6.1	Cr0.16~0.30	cs	680	7	190	结构中主要受力件,如飞机大梁桁架、加强框及起落架。
锻铝合金	LD5	1.8~2.6	0.4~0.8	0.4~0.8		Si0.7~1.2	cs	420	13	105	形状复杂中等强度的锻件及模锻件
	LD7	1.9~2.5	1.4~1.8			Ti0.02~0.10 Ni0.9~1.5 Fe0.9~1.5	cs	415	13	120	内燃机活塞和在高温下工作的复杂锻件,板材可做高温下工作的结构件
	LD10	3.9~4.8	0.4~0.8	0.4~1.0		Si0.6~1.2	cs	480	19	135	受重载的锻件和模锻件

① M——包铝板材退火状态; cz——包铝板材淬火自然时效状态; cs——包铝板淬火人工时效状态。

② 防锈铝合金为退火状态指标; 硬铝合金为淬火+自然时效状态指标; 超硬铝合金为淬火+人工时效状态; 锻铝合金为淬火+人工时效状态指标。

表 2-48 变形铝及铝合金新旧牌号对照表 (摘自 GB/T3190—1996)

表 A1

新牌号	旧 牌 号	新牌号	旧 牌 号	新牌号	旧 牌 号	新牌号	旧 牌 号
1A99	原 LG5	1145		2A14	原 LD10	2014	
1A97	原 LG4	1035	代 L4	2A16	原 LY16	2014A	
1A95		LA30	原 L4-1	2B16	曾用 LY16-1	2214	
1A93	原 LG3	1100	代 L5-1	2A17	原 LY17	2017	
1A90	原 LG2	1200	代 L5	2A20	曾用 LY20	2017A	
1A85	原 LG1	1235		2A21	曾用 214	2117	
1080		2A01	原 LY1	2A25	曾用 225	2218	
1080A		2A02	原 LY2	2A49	曾用 149	2618	
1070		2A04	原 LY4	2A50	原 LD5	2219	曾用 LY19、147
1070A	代 L1	2A06	原 LY6	2B50	原 LD6	2024	
1370		2A10	原 LY10	2A70	原 LD7	2124	
1060	代 L2	2A11	原 LY11	2B70	曾用 LD7-1	3A21	原 LF21
1050		2B11	原 LY8	2A80	原 LD8	3003	
1050A	代 L3	2A12	原 LY12	2A90	原 LD9	3103	
1A50	原 LB2	2B12	原 LY9	2004		3004	
1350		2A13	原 LY13	2011		3005	

(续)

新牌号	旧 牌 号	新牌号	旧 牌 号	新牌号	旧 牌 号	新牌号	旧 牌 号
3105		5A30	曾用 2103、LF16	5083	原 LF4	7A04	原 LC4
4A01	原 LT1	5A33	原 LF33	5183		7A05	曾用 705
4A11	原 LD11	5A41	原 LT41	5086		7A09	原 LC9
4A13	原 LT13	5A43	原 LF43	6A02	原 LD2	7A10	原 LC10
4A17	原 LT17	5A66	原 LT66	6B02	原 LD2-1	7A15	曾用 LC15、157
4004		5005		6A51	曾用 651	7A19	曾用 919、LC19
4032		5019		6101		7A31	曾用 183-1
4043		5050		6101A		7A33	曾用 LB733
4043A		5251		6005		7A52	曾用 LC52、5210
4047		5052		6005A		7003	原 LC12
4047A		5154		6351		7005	
5A01	曾用 2101、LF15	5154A		6060		7020	
5A02	原 LF2	5454		6061	原 LD30	7022	
5A03	原 LF3	5554		6063	原 LD31	7050	
5A05	原 LF5	5754		6063A		7075	
5B05	原 LF10	5056	原 LF5-1	6070	原 LD2-2	7475	
5A06	原 LF6	5356		6181		8A06	原 L6
5B06	原 LF14	5456		6082		8011	曾用 LT98
5A12	原 LF12	5082		7A01	原 LB1	8090	
5A13	原 LF13	5182		7A03	原 LC3		

注：1. “原”是指化学成分与新牌号等同，且都符合 GB 3190—82 规定的旧牌号。

2. “代”是指与新牌号的化学成分相近似，且符合 GB 3190—82 规定的旧牌号。

3. “曾用”是指已经鉴定，工业生产时曾经用过的牌号，但没有收入 GB 3190—82 中。

1. 铝及铝合金的焊接性

铝及铝合金具有独特的物理化学性能，因此，在焊接过程中会产生一定的困难。具体归纳为以下几点：

(1) 强氧化能力 铝对氧的亲合力很大，在空气中铝容易与氧结合生成致密的 Al_2O_3 薄膜（厚度约 $0.1\mu m$ ）。这层薄膜的熔点高达 $2050^\circ C$ ，密度 $3.95\sim 4.10kg/m^3$ ，约为铝的 1.4 倍，它会吸附水分，并在焊接过程中形成气孔、夹渣等缺陷，从而降低焊接接头的力学性能。为保证获得良好的焊接接头，在焊前需去除 Al_2O_3 薄膜，并在焊接过程中防止熔池继续受到氧化。在气焊、碳弧焊时采用气焊熔剂，当熔剂与熔池金属发生反应后，将高熔点的氧化膜溶解而被清除。在氩弧焊时氩气流隔离作用保护熔池免受氧化。

(2) 高的热裂倾向 铝的线膨胀系数为 $23.5\times 10^{-6}/^\circ C$ ，约比钢大两倍左右，凝固时的体积收缩率达 $6.5\%\sim 6.6\%$ 。因此，往往由于过大的收缩内应力而导致裂纹。

(3) 高的热导率和导电性 铝及铝合金的热导率、比热容、熔化潜热很大，热导率为 $225.3[W/(m\cdot K)]$ ，约比钢大 1 倍多。在焊接过程中大量的热能被迅速传导到基体金属内部，因此焊接铝及铝合金时比钢要消耗更多的热量。为了达到高质量的焊接接头，必须采用能量集中、功率大的热源，并采取预热等措施。

(4) 高的气孔倾向 铝及铝合金液体熔池很容易吸收气体，在高温下溶入的大量氢气，在焊后的冷却凝固过程中来不及析出在焊缝中形成气孔。

(5) 低的高温强度和塑性 在高温下铝的强度和塑性很低，以致不能支承住液体金属而使焊缝成形不良，甚至形成塌陷（或烧穿）缺陷。因此，一般情况下需要用夹具和垫板。

(6) 合金元素的蒸发和烧损 在某些铝合金中含有低沸点的合金元素如镁、锌等, 这些元素在高温火焰或电弧的作用下极易蒸发、烧损, 从而改变焊缝金属的化学成分, 同时也会降低焊接接头的性能。

2. 焊接材料的选择

铝及铝合金的焊接材料主要指填充焊丝和气焊熔剂。

(1) 焊丝 在气焊、钨极氩弧焊时, 需添加填充焊丝。填充焊丝成分与接头的力学性能、抗裂性及耐蚀性等有很大关系。在选择填充焊丝时, 必须首先考虑基本金属的成分、对接头的质量要求及施工条件, 除了应满足接头的力学性能, 耐腐蚀性能外, 还应考虑结构的刚度及抗裂性等问题。

目前, 常用的铝及铝合金焊丝与母材金属成分相近, 其标准牌号焊丝见表 2-49。较为通用的焊丝是 HS311, 这种焊丝的液态金属流动性好, 特别是凝固时的收缩率小, 因此, 具有优良的抗裂性能, 焊缝金属中的粗大的柱状晶粒少, 接头的力学性能高。根据技术要求, 焊接锻铝、超硬铝及新牌号铝合金时, 需要试制特殊牌号的焊丝。为了细化焊缝晶粒, 提高焊缝的抗裂及力学性能, 通常在焊丝中加入少量的钛、钒、锆等合金元素作为变质剂。采用氩弧焊、气焊、碳弧焊方法焊接纯铝、铝锰、铝镁、铝硅合金时, 都采用与母材金属成分相近的标准牌号焊丝。表 2-50 为各种铝材用焊丝选用表。

表 2-49 国产铝及铝合金焊丝

牌号	GB 标准 型号	抗拉强度 σ_b /MPa	化 学 成 分 (质 量 分 数) /%							
			Mn	Si	Ti	S	P	Al	Mg	Fe
HS301	SAI-3	≥ 63	—	≤ 0.3	—	—	—	≥ 99.5	—	≤ 0.3
HS311	SAISi-1	≥ 117	—	4.5~5.0	—	—	—	余量	—	≤ 0.6
HS321	SAlMn	≥ 120	1.0~1.6	≤ 0.6	—	—	—	余量	—	≤ 0.7
HS331	SAlMg-5	≥ 196	0.2~0.6	≤ 0.4	0.05~0.2	—	—	余量	4.7~5.7	≤ 0.4

表 2-50 各种铝材焊丝选用表

母材金属	L2	L3 L5	LF2	LF3	LF5	LF6	LF21	LY11	LY12
焊丝	HS301	HS301	HS331	HS331	HS331	LF14 ^①	HS321	HS311	HS311

① LF14 是在 LF6 中添加有合金元素钛 ($w_{Ti} 0.13\% \sim 0.24\%$) 的焊丝

纯铝焊丝中铁与硅之比应大于 1 (即 $Fe/Si > 1$), 以防止形成热裂纹。对具有一定耐蚀性要求的纯铝接头应选用纯度比基体金属高一级的纯铝丝。铝镁合金焊接时, 为弥补焊接过程中镁的烧损, 应采用镁的质量分数比母材金属高 1%~2% 的焊丝。标准牌号 HS311 焊丝的 w_{Mg} 在 5% 左右, 在该焊丝中还加入质量分数为 0.05%~0.25% 的钛用以细化焊缝金属的晶粒。由于 HS311 焊丝中的硅易与母材体金属中镁形成 Mg_2Si 脆性相, 以致降低焊缝金属的塑性及耐蚀性。因此一般不采用 HS311 焊丝焊接铝镁合金。

采用 HS311 焊丝焊接硬铝、超硬铝、锻铝等高强度铝合金时, 焊缝具有一定的抗裂性, 但所焊成的接头强度只有母材金属的 50%~60%。对于接头强度要求较高的产品, 应采用与基本金属成分相近的或特殊牌号的焊丝。

焊补铸铝的焊丝与母材金属成分相同。

表 2-51 列出了异种铝及铝合金焊接时建议选用的焊丝。

表 2-51 异种铝及铝合金焊接用的焊丝

母材金属组合	填充焊丝牌号	母材金属组合	填充焊丝牌号
(L2~L6) 与 LF21	LF21 或 HS311	LF21 与 ZL7	ZL7 或 HS331
LF21 与 LF2	LF3 或 HS321、HS311	LF21 与 ZL10	ZL10 或 HS331
LF21 与 LF3	LF5 或 HS331	LF21 与 ZL21	ZL21 或 HS331
LF6 与 LF11、LF5	LF6	(L1~L6) 与 LF2、LF3	HS331
LF3 与 LF5、LF11	LF5		

(2) 气焊熔剂 气焊熔剂简称为气剂。铝及铝合金的焊接质量和工艺性还取决于气焊熔剂的成分和质量。在气焊、碳弧焊过程中熔化金属表面容易氧化生成一层氧化膜。氧化膜的存在会导致焊缝产生夹杂物，并妨碍基本金属与填充金属的熔合。为保证焊接质量，需要用气剂去除氧化膜及其它杂质。铝气焊熔剂的作用有：

- 1) 溶解和彻底清除覆盖在铝板及熔池表面上的 Al_2O_3 薄膜，并在熔池表面形成一层熔融及挥发性强的熔渣。可保护熔池免受连续氧化。
- 2) 排除熔池中的气体、氧化物及其杂质物。
- 3) 改善熔池金属的流动性，以保证形成优良的焊缝。

7.2 铝及铝合金的典型焊接工艺

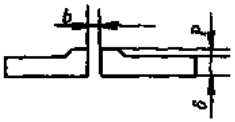
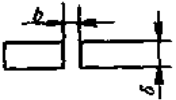
1. 气焊工艺

目前气焊主要用于焊接厚度较小，形状复杂并且对质量要求不高的铝及铝合金焊件，另外在没有氩气供应的地区或不便于使用氩弧焊时，往往采用气焊。

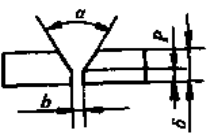
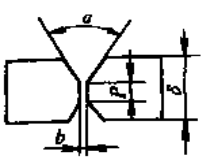
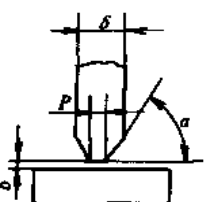
气焊的主要缺点是火焰温度低，热量不够集中，因此，热影响区宽，焊接变形量大，接头过热区的晶粒粗大等。

(1) 坡口形式 焊接接头形式以对接为最好。由于搭接、T形接、角接等接头形式，难于清除流入焊件缝隙中的残留气剂及夹渣，因此尽量不予采用，而尽可能采用对接接头的形式。铝及铝合金气焊的坡口形式见表 2-52。

表 2-52 铝及铝合金气焊的坡口形式

接头形式	坡口形式	坡 口 简 图	板厚/mm	坡口尺寸/mm			备 注
				间隙 b	钝边 P	角度 $\alpha/ (^{\circ})$	
对接	卷边		2~3	<0.5	5~6	—	不加填充焊丝
	留间隙开 I 形坡口		1~5	0.5~2	—	—	

(续)

接头形式	坡口形式	坡 口 简 图	板厚/mm	坡口尺寸/mm			备 注
				间隙 b	钝边 P	角度 $\alpha/ (^{\circ})$	
对接	V 形坡口		12~20	4~6	3~5	80 ± 5	
	双 V 形坡口		16~12	2~4	1.5~3	80 ± 5	多层焊
角接	双面 V 形坡口		12~20	0~3	3~5	60 ± 5	

在焊件反面采用带槽的垫板（用不锈钢或纯铜制成）进行对接焊时，可获得良好的反面成形，并可防止产生烧穿、凹陷等缺陷，还能提高焊接生产率。垫板的尺寸如图 2-4 所示。

不同厚度的铝板对接时，厚板一端必须加工成斜边，使其过渡到薄板一端相同厚度。

(2) 定位焊 为保证两焊件间的相对位置，可采用定位焊。定位焊的长度、间距应根据焊件厚度确定。定位焊用的填充焊丝与产品焊接时

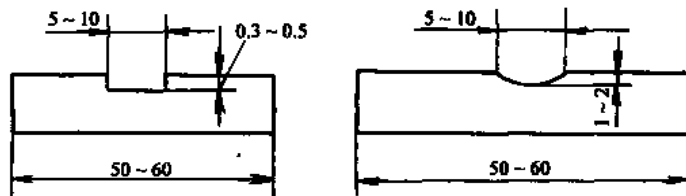


图 2-4 垫板尺寸示意图

相同。定位焊前，应在焊缝间隙内涂一层气剂。定位焊的火焰热功率比焊接火焰稍大，焊炬与焊件间的倾斜角约 50° ，大尺寸焊件的定位焊宜采用分段对称定位焊法。定位焊缝的堆高不得超过坡口深度的 $2/3$ 。

(3) 焊嘴和火焰的选择 焊嘴大小和火焰种类的选择对焊缝力学性能、焊接生产率、焊接变形量等有很大的影响。铝和铝合金气焊时，应选择中性焰或乙炔稍过量的碳化焰。乙炔量过多时，在火焰中将存在游离的氢气，以致引起气孔、焊缝疏松等缺陷。

焊嘴的大小应根据焊件厚度、坡口形式、焊接位置及焊工的技术水平高低而确定。焊嘴太小，容易形成未焊透、夹渣等缺陷；随着焊嘴尺寸的增大，接头热影响区金属的晶粒变得粗大，焊后的变形量也增加。

(4) 焊前预热 厚度大于 5mm 以上的焊件气焊时，需进行预热，预热温度在 $100 \sim 300^{\circ}\text{C}$ 间。采用预热措施可减少焊接内应力，有利于防止裂纹、气孔的产生。但过高的预热温度是

不适宜的, 因为容易导致晶粒长大, 热影响区增宽及接头性能恶化等。

(5) 气焊操作方法 铝及铝合金气焊时, 常采用左焊法, 这有利于防止熔池过热和热影响区金属晶粒长大。焊接厚度大于 5mm 的焊件时, 则用右焊法。右焊法允许以较高的温度加热焊件, 使焊件迅速熔化。此外, 也便于观察焊接熔池, 有利操作。

在焊接过程中, 焊炬、焊丝和焊件之间需保持一定的角度, 焊接 3mm 以下的薄板及薄壁管子时, 焊炬与焊件间的倾角保持在 $15^{\circ}\sim 30^{\circ}$ 间。随着焊件温度的升高, 焊炬倾角相应减小。为防止熔池温度过高而引起烧穿, 焊炬可作周期性地上下摆动。根据焊件的熔化情况和焊接速度, 应及时向熔池加入填充焊丝, 焊丝和焊件之间的倾角 $40^{\circ}\sim 45^{\circ}$ 。焊接厚度大或间隙较小的焊件时, 尽可能地将火焰压低, 以增加焊透深度。

气焊时焊接层数不宜过多, 因为多次焊接加热容易产生接头过热和气孔等缺陷, 板厚在 4mm 以下的焊件焊一层; 板厚 4~8mm 的则可焊两层。

焊接顺序的选择主要从减少焊接变形量来考虑, 一般长焊缝采用逐步反向分段焊法。焊接过程偶尔中断时, 焊炬应缓慢地离开熔池, 以防止熔池突然冷却而产生气孔等缺陷。

焊后 1~6h 以内应及时将残留的气剂、熔渣清洗掉, 因为焊后残留在焊缝表面及其附近两侧的气剂、熔渣会在使用中继续破坏铝板表面上的氧化膜保护层, 从而引起接头的严重腐蚀。

2. 手工钨极氩弧焊工艺

采用手工钨极氩弧焊焊接铝及其合金时通常采用交流电源。

交流电源具有高的热效率、较高的钨极载流能力, 并可借助“阴极净化作用”清除铝板焊接部位表面上的氧化膜。

手工钨极氩弧焊的接头形式有对接、搭接、角接和 T 形接头等。对接接头的坡口形式及尺寸主要由焊件厚度确定。大于 3mm 的焊件需加工成 V 形坡口; 厚度超过 14mm 的焊件宜开双 V 形坡口 (采用双面焊接)。双面 V 形坡口的焊后变形量比 V 形坡口小, 并有利于提高焊接生产率, 缺点是铲修焊根比较困难。坡口角度、钝边和间隙三者相互关系应按下列原则确定。钝边相同, 而坡口角度较小, 间隙应增大; 坡口角度大, 而钝边较小时, 间隙可适当减小, 以防烧穿。接头装配用的定位焊缝一般设在坡口反面, 环缝对接接头宜采用对称定位焊, 并要求定位焊缝具有均匀的熔透深度。

正确地选择手工钨极氩弧焊工艺参数是保证焊接接头质量的重要因素, 手工钨极氩弧焊的工艺参数包括钨极直径、焊接电流、电弧电压、氩气流量、喷嘴孔径、钨极伸出喷嘴的长度、喷嘴与焊件间的距离、接头坡口形式、预热温度等。表 2-53 列出纯铝、铝镁合金手工钨极氩弧焊的典型焊接工艺参数。

表 2-53 纯铝、铝镁合金手工钨极氩弧焊的典型焊接工艺参数

板材厚度 /mm	焊丝直径 /mm	钨极直径 /mm	预热温度 / $^{\circ}\text{C}$	焊接电流 /A	氩气流量 /(L/min)	喷嘴孔径 /mm	焊接层数 (正面/反面)	备 注
1	1.6	2	—	45~60	7~9	8	正 1	卷边焊 卷边或单面对接焊 对接焊
1.5	1.6~2.0	2	—	50~80	7~9	8	正 1	
2	2~2.5	2~3	—	90~120	8~12	8~12	正 1	
3	2~3	3	—	150~180	8~12	8~12	正 1	
4	3	4	—	180~200	10~15	8~12	1~2/1	
5	3~4	4	—	180~240	10~15	10~12	1~2/1	

(续)

板材厚度 /mm	焊丝直径 /mm	钨极直径 /mm	预热温度 /°C	焊接电流 /A	氩气流量 /(L/min)	喷嘴孔径 /mm	焊接层数 (正面/反面)	备 注
6	4	5	—	240~280	16~20	14~16	1~2/1	V 形坡口对接
8	4~5	5	100	260~320	16~20	14~16	2/1	
10	4~5	5	100~150	280~340	16~20	14~16	3~4/1~2	
12	4~5	5~6	150~200	300~360	18~22	16~20	3~4/1~2	
14	5~6	5~6	180~200	340~380	20~24	16~20	3~4/1~2	
16	5~6	6	200~220	340~380	20~24	16~20	4~5/1~2	
18	5~6	6	200~240	360~400	25~30	16~20	4~5/1~2	
20	5~6	6	200~260	360~400	25~30	20~22	4~5/1~2	
16~20	5~6	6	200~260	300~380	25~30	16~20	2~3/2~3	双 V 形坡口对接
22~25	5~6	6~7	200~260	360~400	30~35	20~22	3~4/3~4	

3. 熔化极氩弧焊工艺

中等和大厚度铝及铝合金板材接头已广泛应用自动和手工(半自动)熔化极氩弧焊。与钨极氩弧焊相比,其电弧穿透力强,生产率高,焊接速度可成倍提高,大大减少焊接接头的变形。

自动(半自动)熔化极氩弧焊的主要工艺参数有:焊丝直径、焊接电流、电弧电压、焊接速度、氩气流量、焊枪倾角、焊丝伸出长度、喷嘴孔径和喷嘴距离等。

在确定焊接工艺参数时,首先按焊件厚度选择焊丝直径,坡口尺寸及焊接电流。自动熔化极氩弧焊时为减少气孔的敏感性,应选用较粗的焊丝和较大的焊接电流以及较低的电压(27~31V),使焊丝端部的熔滴呈亚喷射过渡。氩气的流量取决于喷嘴孔径和焊接电流。自动焊焊枪喷嘴内径通常为26~32mm。手工(半自动)焊焊枪喷嘴内径为20~24mm。喷嘴至焊件表面的距离应保持在12~22mm之间。

纯铝、铝镁合金及硬铝的自动熔化极氩弧焊典型焊接工艺参数列于表2-54。厚6mm以下铝板对接可开I形坡口,直边对接;间隙小于0.5mm,厚度大于8mm的铝板,需开V形坡口。当坡口钝边较厚时,应加大坡口角度至100°左右,以利于改善焊缝成形,防止气孔产生。

表 2-54 纯铝、铝镁合金和硬铝的自动熔化极氩弧焊典型焊接工艺参数

铝材牌号	焊丝牌号	板材厚度/mm	坡口形式	坡口尺寸			焊丝直径/mm	焊接电流/A	电弧电压/V	焊接速度/(m/h)	氩气流量/(L/min)	备 注
				钝边/mm	坡口角/°	间隙/mm						
LF5	SAIMg5	5	直边对接	—	—	—	2.0	240	21~22	42	28	单面焊双面成形
L2、L3	L2	6	直边对接	—	—	0~0.5	2.5	230~260	26~27	25	30~35	双面焊各一层
		8		4	100	0~0.5	2.5	300~320	26~27	24~28	30~35	
		10		6	100	0~1	3.0	310~330	27~28	18	30~35	
		12		8	100	0~1	3.0	320~340	28~29	15	30~35	
		14		10	100	0~1	4.0	380~400	29~31	18	40~45	
		16	V 形	12	100	0~1	4.0	380~420	29~31	17~20	40~45	
		20		16	100	0~1	4.0	450~500	29~31	17~19	50~60	
		25		21	100	0~1	4.0	490~550	29~31	—	50~60	
		28~30	双 V 形	16	100	0~1	4.0	560~570	29~31	13~15	50~60	

(续)

铝材牌号	焊丝牌号	板材厚度/mm	坡口形式	坡口尺寸			焊丝直径/mm	焊接电流/A	电弧电压/V	焊接速度(m/h)	氩气流量/(L/min)	备 注
				钝边/mm	坡口角/°	间隙/mm						
LF2 LF3	LF3 LF5	12	V 形	8	120	0~1	3.0	320~350	28~30	24	30~35	双面焊各一层
		18		14	120	0~1	4.0	450~470	29~30	18~19	50~60	
		20		16	120	0~1	4.0	450~470	28~30	18	50~60	
		25		16	120	0~1	4.0	490~520	29~31	16~18	50~60	
LY11	SA1Si5	50	双 V 形或 双 U 形	6~8	75	0~0.5	4.2	450~500	24~27	15~18	50	

各种厚度铝板手工(半自动)熔化极氩弧焊典型工艺参数列于表 2-55。可采用左焊法操作,以提高可见度。氩弧焊枪与垂直平面倾角为 $15^{\circ} \sim 20^{\circ}$ 。喷嘴端部与焊件表面间距应保持在 14~22mm,焊丝伸出长度为 10~25mm。定位焊应设在坡口反面,定位焊缝长约 40~60mm。与纯铝相比,相同厚度的铝锰、铝镁合金,焊接电流应降低 20~40A,氩气流量则增加 10~15L/min。

表 2-55 纯铝板对接手工(半自动)熔化极氩弧焊典型焊接工艺参数

板厚/mm	坡口形式	坡 口 尺 寸			焊丝直径/mm	焊接电流/A	电弧电压/V	氩气流量/(L/min)	喷嘴孔径/mm	备 注
		间隙/mm	钝边/mm	坡口角/°						
6	直边对接	0~2	—	—	2.0	230~270	26~27	20~25	20	在衬垫上单层焊
8	V 形	0~0.2	2.0	70°	2.0	240~280	27~28	25~30	20	正面二层,反面一层
10		0~0.2	2.0	70°	2.0	280~300	27~29	30~36	20	正面二层,反面一层
12		0~0.2	3.0	70°	2.0	280~300	27~29	30~35	20	正反面各一层
14		0~0.3	4.0	90~100	2.5	300~330	29~30	35~40	22~24	正反面各一层
16		0~0.3	4.0	90~100	2.5	300~340	29~30	40~50	22~24	正面二层,反面一层
18		0~0.3	4.0	90~100	2.5	360~400	29~30	40~50	22~24	正面二层,反面一层
20~22		0~0.3	4.0	90~100	2.5 3.0	400~420	29~30	50~60	22~24	正面二层,反面一层
25		0~0.3	4.0	90~100	2.5 3.0	420~450	30~31	50~60	22~24	正面二层,反面一层

4. 熔化极脉冲氩弧焊工艺

熔化极脉冲氩弧焊是在直流电上叠加一定频率脉冲电流的特种焊接工艺,脉冲电流的频率范围为 30~120Hz,可按所要求的熔滴过渡形式选取,最常用的脉冲频率为 50Hz 或 100Hz。熔化极脉冲氩弧焊可利用脉冲峰值电流强迫熔滴过渡,这样可在较低的有效电流下实现熔滴喷射过渡,同时可以控制熔池的体积和形状,防止液态金属溢流。因此可用于焊接铝合金薄板,薄壁管及全位置焊缝。

熔化极脉冲氩弧焊工艺参数有脉冲电流 I_p 、基值电流 I_b 、脉冲时间 t_p 、焊丝直径、送丝速度和焊接速度等。脉冲时间亦可以脉宽比表示,通常取 25%~50%。对于全位置焊缝应选择较小的脉宽比,以保证电弧的挺直度。在焊接对热裂倾向较大的铝合金时,亦应选择较小的脉宽比。熔化极脉冲氩弧焊可采用直径较粗的焊丝($\phi 1.6\text{mm}$)焊接薄板,利于保证接头的质量。对于厚 3~6mm 的铝板可用 I 形坡口直边对接焊,容易实现单面焊双面成形工艺。厚度

大于 6mm 的铝板需开坡口, 底层焊缝亦可完成单面焊双面成形、纯铝和铝镁合金手工 (半自动) 熔化极脉冲氩弧焊的典型工艺参数列于表 2-56。

表 2-56 纯铝、铝镁合金手工 (半自动) 熔化极脉冲氩弧焊典型焊接工艺参数

铝材牌号	板厚/mm	焊丝牌号	焊丝直径/mm	脉冲电流/A	基值电流/A	电弧电压/V	脉冲频率/Hz	氩气流量/(L/min)	喷嘴孔径/mm
L4	1.6	L4	1.0	110~130	20	18~19	50	18~20	16
L4	3.0	L4	1.2	140~160	20	19~20	50	20	16
LF3	1.8	LF3	1.0	120~140	20~25	18~19	50	20	16
LF5	4.0	LF5	1.2	160~180	20~25	19~20	50	20~22	16

8 铜及铜合金的焊接工艺

铜及其合金具有优良的导电性、导热性、耐腐蚀性和加工成形性。在工业生产中应用的铜及铜合金的种类很多, 通常可分为纯铜、黄铜、青铜和白铜四大类。

纯铜是 w_{Cu} 不低于 99.5% 的工业纯铜。用于焊接结构的铜材, 要求其 w_{Al} 不超过 0.03%, w_{Bi} 不超过 0.003%, w_{O_2} 和 w_S 分别不超过 0.03% 和 0.01%。我国生产的纯铜种类、牌号及化学成分列于表 2-57。

表 2-57 工业用纯铜的化学成分 (质量分数) (%)

组别	牌 号	代号	主要成分			杂 质 (不 大 于)					
			Cu (不小于)	P	Mn	Bi	Pb	S	P	O	总量
纯铜	一号铜	T1	99.95	—	—	0.002	0.005	0.005	0.001	0.02	0.05
	二号铜	T2	99.90	—	—	0.002	0.005	0.005	—	0.06	0.10
	三号铜	T3	99.70	—	—	0.002	0.01	0.01	—	0.1	0.30
无氧铜	一号无氧铜	TU1	99.97	—	—	0.002	0.005	0.005	0.003	0.003	0.03
	二号无氧铜	TU2	99.95	—	—	0.002	0.005	0.005	0.003	0.003	0.05
	磷脱氧铜	TP1	99.50	0.01~0.04	—	0.003	0.01	0.01	—	0.01	0.49
	锰脱氧铜	TP2	99.60	—	0.1~0.3	0.002	0.007	0.005	0.003	—	0.30

黄铜是铜锌二元合金。黄铜按其成分和冶炼工艺可分压力加工黄铜和铸造黄铜两大类。常用黄铜的化学成分列于表 2-58。

表 2-58 工业常用黄铜的化学成分 (质量分数) (%)

组别	牌 号	化 学 成 分								
		Cu	Zn	Sn	Mn	Al	Si	Ni+Co	其它	杂质≤
压力加工黄铜	H68	67.0~70.0	余量	—	—	—	—	—	—	0.3
	H62	60.5~63.5	余量	—	—	—	—	—	—	0.5
	H59	57.0~60.0	余量	—	—	—	—	—	—	0.9
	HPb59-1	57.0~60.0	余量	—	—	—	—	—	Pb0.8~1.9	0.75
	HSn62-1	61.0~63.0	余量	0.7~1.1	—	—	—	—	—	0.3
	HMn58-2	57.0~60.0	余量	—	1.0~2.0	—	—	—	—	1.2
	HFe59-1-1	57.0~60.0	余量	0.3~0.7	0.5~0.8	0.1~0.4	—	—	Fe0.6~1.2	0.25
	HSi80-3	79.0~81.0	余量	—	—	—	2.5~4	—	—	1.5

(续)

组别	牌号	化 学 成 分								杂质 $\leq$
		Cu	Zn	Sn	Mn	Al	Si	Ni+Co	其它	
铸造青铜	ZHAlFeMn 66-6-3-2	64~68	余量	—	1.5~2.5	6~7	—	—	Fe2~4	2.1
	ZHMnFe 55-3-1	53~68	余量	—	3~4	—	—	—	Fe0.5~1.5	2.0
	ZHSi80-3	79~81	余量	—	—	—	2.5~4.5	—	—	2.8
	ZHMn58-2-2	57~60	余量	—	1.5~2.5	—	—	—	Pb1.5~2.5	2.5

青铜是除铜锌、铜镍合金以外所有铜合金的总称,亦分压力加工青铜和铸造青铜两种。工业上常用青铜的牌号及化学成分列于表 2-59。白铜是铜和镍的合金。焊接结构中采用的白铜是 w_{Ni} 分别为 10%, 20%, 30% 的铜合金。白铜不仅具有较好的综合力学性能,而且其导热性接近于碳钢而易于焊接,焊前无需预热。但对磷、硫等杂质很敏感,热裂倾向较高,焊接时要严格限制杂质含量。

表 2-59 工业常用青铜的化学成分(质量分数)

(%)

组别	牌号	化 学 成 分								杂质 $\leq$
		Cu	Zn	Sn	Mn	Al	Si	Ni+Co	其它	
压力加工青铜	QSn6.5-0.4	余量	—	6.0~7.0	—	—	—	—	P0.3~0.4	0.1
	QAl9-2	余量	—	—	1.5~2.5	8.0~10.0	—	—	—	1.7
	QBe2.5	余量	—	—	—	—	—	0.2~0.5	Be2.3~2.6	0.5
	QSi3-1	余量	—	—	1.0~1.5	—	2.75~3.5	—	—	1.1
铸造青铜	ZQSnP10-1	余量	—	9~11	—	—	—	—	P0.8~1.2	0.75
	ZQSnZnPb 6-6-3	余量	5~7	5~7	—	—	—	—	Pb2~4	1.3
	ZQAlMn9-2	余量	—	8~10	1.5~2.5	8~10	—	—	—	2.8
	ZQAlFe9-4	余量	—	—	—	8~10	—	—	Fe2~4	2.7

8.1 铜及铜合金的焊接特点

1. 铜及铜合金的焊接性

(1) 高的热导率 常温下纯铜的热导率比碳钢约大 8 倍,将纯铜焊件局部加热到熔化温度需大量热量,因此,在焊接时要采用能量集中的热源,否则热量将被很快散失。纯铜焊接时对焊件应进行预热,即使是热能较集中的熔化极氩弧焊以及等离子弧焊也同样需要预热。

(2) 高的热裂敏感性 各种铜材总含有一定量杂质而形成低熔共晶。焊缝在凝固状态或热影响区存在低熔共晶薄膜,都可能在焊接应力作用下引起热裂纹。当焊缝中的 w_{Cu_2O} 为 0.2% 以上或 w_{Pb} 超过 0.03%、 w_{Bi} 超过 0.005% 时,就可能出现热裂纹。为防止裂纹应采取相应的冶金措施:

①严格限制杂质含量;②在焊丝中加入适量硅、锰、磷等元素,增强焊缝脱氧能力;③选用能获得双相组织的焊丝。

(3) 高的气孔倾向 铜焊缝金属中的气孔主要由氢气引起的。当纯铜中含有一定的氧或在纯铜中溶解有 CO 气体时,也可能由水气及由一氧化碳与氧反应生成 CO₂ 气体引起气孔。铜合金焊接时的气孔形成倾向比纯铜要大得多。一般气孔分布在焊缝中心及接近熔合线处。

(4) 接头性能恶化倾向 在铜合金焊接时,或多或少地会发生铜的氧化及合金元素的蒸发和烧损现象。而低熔点的合金元素(如锌、锡、铅、铝、镉等)氧化、烧损后,不仅降低了合金元素的含量,而且还会形成脆硬的夹杂物(如铝氧化后生成的 Al₂O₃,锡氧化后生成的 SnO₂ 等)和气孔等低熔点的共晶及各种焊接缺陷,可能导致焊接接头强度、塑性、耐腐蚀性及导电性的降低。铜及铜合金熔焊过程中,焊缝和热影响区的晶粒严重长大,在一定程度上影响到接头的力学性能。

为改善接头的性能,除尽量减弱热作用,焊后进行消除应力处理外,还应控制焊缝的杂质含量,并通过合金化对焊缝金属作变质处理。

2. 焊接方法的选择

熔焊方法是铜及其合金最常用的焊接方法。除了传统的气焊、碳弧焊、焊条电弧焊和埋弧焊外,目前更多地采用热量集中的钨极和熔化极气体保护焊以及等离子弧焊等。焊接方法的选择原则是综合考虑被焊材料的成分、厚度和结构特点,总的来说,应选择热效率高和热量集中的熔焊法。根据材料厚度,薄板宜采用钨极氩弧焊、焊条电弧焊和气焊,中板和厚板则应优先采用埋弧焊、熔化极气体保护焊。

3. 焊接材料的选择

铜及铜合金的焊接材料主要是指填充焊丝、焊条及气焊熔剂。

(1) 填充焊丝 在气焊、碳弧焊、手工钨极氩弧焊时,需用手工添加填充焊丝。焊丝的牌号、成分与焊接工艺性,接头力学性能及耐蚀性能等有很大的关系。在选择填充焊丝时,首先必须考虑基本金属的牌号、板材厚度、产品结构及施工条件等因素。

为防止熔池金属发生氧化,在铜及铜合金焊丝中通常加入钛、锆、铝、硅、锰、磷等脱氧元素,这些元素对氧、氮的亲合力很大,因此可显著降低焊缝中气体的含量,并提高电弧焊时的电弧稳定性。在铜及铜合金焊缝中如含有少量钛($w_{Ti}0.12\% \sim 0.25\%$),即可达到细化焊缝金属晶粒的作用,从而提高焊缝金属的强度及塑性。

在气焊和钨极氩弧焊时,若采用与母材金属成分相近的填充焊丝,所焊成的焊缝中应无气孔、裂纹及其它缺陷。为防止裂纹的产生,获得良好的焊缝成形,焊丝中铅、铋、锑、硫等杂质的质量分数应小于 0.1%。

含磷的焊丝具有良好的脱氧能力,但过多的磷过渡入焊缝金属时,将引起接头导电性的显著降低,纯铜焊接接头的导电性应接近基本金属的导电性,因此有导电性要求的纯铜焊件,不宜选用含磷的焊丝,一般选择纯度较高的纯铜丝。铜及铜合金焊丝的牌号、化学成分列于表 2-60。

表 2-60 铜及铜合金焊丝

牌 号	GB 标准型号	主要化学成分(质量分数)/%	熔点/°C	主 要 用 途
HS201 (SCu-2)	HSCu	Sn~1.1 Si~0.4 Mn~0.4 Cu 余量	1050	纯铜氩弧焊或气焊(配用焊剂 CJ301),埋弧焊(配用焊剂 HJ431 或 HJ150)
HS202 (SCu-1)	—	P~0.3 Cu 余量	1060	纯铜气焊或碳弧焊

(续)

牌 号	GB 标准型号	主要化学成分(质量分数)/%	熔点/°C	主 要 用 途
HS220 (SCuZn-2)	HSCuZn-1	Cu~59 Sn~1 Zn 余量	886	黄铜气焊或惰性气体保护焊
HS221 (SCuZn-3)	HSCuZn-3	Cu60 Sn~1 Si~0.3, Zn 余量	890	黄铜气焊、碳弧焊、钎焊等 白铜、铜、灰铸铁等
HS222 (SCuZn-4)	HSCuZn-2	Cu~58 Sn~0.9 Si~0.1 Fe~0.8 Zn 余量	860	黄铜气焊、碳弧焊、钎焊铜、白铜、灰铸 铁等
HS224 (SCuZn-5)	HSCuZn-4	Cu~62 Si~0.5 Zn 余量	905	黄铜气焊、碳弧焊、钎焊铜、白铜、灰铸 铁等

(2) 气焊熔剂 在气焊、碳弧焊时,熔池金属的表面容易氧化生成氧化亚铜(Cu_2O),由于氧化亚铜的存在,往往引起焊缝气孔、裂纹、夹渣等缺陷。气焊、碳弧焊通用的熔剂主要由硼酸盐、卤化物或它们的混合物组成,见表 2-61。

表 2-61 铜和铜合金气焊及碳弧焊用熔剂

牌 号		主要组分(质量分数)/%						熔点 /°C	应 用 范 围
		Na ₂ B ₄ O ₇	H ₃ BO ₃	NaF	NaCl	KCl	其它		
定型	CJ301	16.5~18.5	76~79	—	—	—	AlPO ₄ 4~5.5	650	铜和铜合金气焊 钎焊
	CJ401	—	—	7.5~9	27~30	49.5~52	LiCl 13.5~15	560	青铜焊
非定型	1	20	70	10	—	—	—	—	铜和铜合金的气焊 及碳弧焊通用
	2	56	—	—	22	—	K ₂ CO ₃ 22	—	
	3	68	10	—	20	—	碳粉 2	—	
	4	LiCl 15	—	KF 7	30	45	Na ₂ CO ₃ 3	—	青铜气焊用

(3) 焊条 焊条电弧焊用铜焊条分为纯铜、青铜两类,目前应用较多的青铜焊条。青铜焊条除了可用于焊接各种青铜、黄铜外,还可以用于轴承等磨损和海水腐蚀零件的堆焊,以及容易产生裂纹的铸铁件的焊补等。焊条包括焊条芯和药皮两部分。焊条芯是一般氧乙炔气焊、氩弧焊用的标准牌号填充焊丝;而药皮由各种化合物组成。焊条药皮应具有良好的熔渣流动性,电弧稳定性,使焊缝获得良好的成形,一定的力学性能和耐蚀性能,并能达到还原氧化铜、不易吸潮、金属飞溅少、脱渣容易等要求。常用的铜焊条牌号、化学成分及力学性能见表 2-62。

表 2-62 铜焊条的牌号、化学成分及力学性能

焊条 牌号	GB 标准 型号	AWS 标准 型号	力学性能		主要化学成分(质量分数)/%						
			σ_b /MPa	δ_5 /%	Si	Mn	Sn	Cu	Al	Fe	P
T107	ECu	ECu	≥ 170	≥ 20	≤ 0.5	≤ 3.0	—	> 95.0	—	≤ 0.50	≤ 0.30
T207	ECuSi-B	ECuSi	≥ 270	≥ 20	2.5~4.0	≤ 3.0	≤ 1.5	> 92.0	≤ 0.5	—	≤ 0.30

(续)

焊条 牌号	GB 标准 型号	AWS 标准 型号	力学性能		主要化学成分 (质量分数) /%						
			σ_b /MPa	δ_5 /%	Si	Mn	Sn	Cu	Al	Fe	P
T227	ECuSn-B	ECuSn-C	≥ 270	≥ 12	—	—	7.9~9.0	余量	≤ 0.5	—	≤ 0.30
T237	ECuAl-C	—	≥ 390	≥ 15	≤ 1.0	≤ 2.0		余量	6.5~10.0	≤ 1.5	≤ 0.02
T307	ECuNi-B	ECuNi	≥ 350	≥ 20	≤ 0.5	≤ 2.5	Ni 29~33.0	余量	Ti ≤ 0.5	≤ 2.5	≤ 0.020

注：药皮类型为低氢型，直流反接。

4. 焊前准备

焊前准备主要是指焊前对焊件及焊接材料的清理和坡口形式设计、坡口加工两项准备工作。在焊前必须清理掉焊丝表面和铜板坡口两侧 30mm 以内的油脂、水分、氧化物及其它夹杂物，一般采用汽油、无水乙醇等溶剂擦拭，或将焊丝、焊件置于质量分数为 10% 的氢氧化钠水溶液中脱脂，溶液的加热温度为 30~40℃，然后用清水冲洗干净。

铜及铜合金的焊接坡口形式 3mm 以下的纯铜焊件气焊、焊条电弧焊、手工钨极氩弧焊时，可用卷边焊，卷边的高度 1.5~2.0mm，卷边焊时背面必须焊透；大于 3mm 的铜材可以采用 I 形对接或 V 形坡口对接焊；厚度大于 20mm 的铜板一般加工成双 V 形坡口。纯铜、青铜碳弧焊时，如果在反面衬以垫板，即使厚度达到 10mm 的板材，也可用 I 形坡口，而留较大的间隙（4~6mm），实现单面焊双面成形工艺。坡口加工用风铲或刨边机，但无论采用哪种加工方法，都应保证坡口边缘的平直度及坡口角度等尺寸的准确性。

8.2 铜及铜合金的典型焊接工艺

1. 气焊工艺

气体火焰（主要是氧乙炔焰）热源的特点是，温度低、能量密度小、热能分散，使焊件受热面积大、变形严重。但气焊工艺简单、使用灵活，因此比较适用于薄铜件的焊接，铜件的修补或不重要的构件的焊接上。铜及铜合金气焊的几个工艺要素是：

(1) 焊接材料的选用 气焊各种铜及铜合金所用的焊丝和熔剂可按表 2-71 及表 2-72 选用。从表中可看到，均含有锰、磷、铝、钛等微量脱氧剂。表中所列这些焊丝相互有一定的互换性。焊丝直径的选择根据焊件厚度和火焰功率来决定。气焊必须使用熔剂。使用时可用水把熔剂调成糊状涂在焊道上或涂于焊丝上，用火焰烤干后即可施焊。

(2) 焊接参数的选择 铜的热导率高，一般要选用比焊碳钢时大 1~2 倍的火焰能量进行焊接。火焰能量主要通过选用焊炬及焊嘴号和调节可燃气体的流量来控制。磷脱氧铜的气焊焊接工艺参数可参考表 2-63 来选择。黄铜和青铜的热导率比纯铜低，其参数可相应地减小。焊接纯铜和青铜时严格要求使用中性火焰。氧化焰会造成焊缝氧化和合金元素的烧损。还原焰又会提高焊缝含氢量而引起气孔。焊接黄铜时可以使用弱氧化焰。因为此时会因焊缝表面被生成的氧化锌复盖和加强脱氢，而改善锌的蒸发及对气孔的敏感性。

(3) 操作技术 气焊主要适用于薄板的焊接。一般采用左焊法操作。此时火焰对工件起到一定的预热作用。焊接时尽量采用快的焊接速度。为了提高火焰能量的利用率和增加焊透深度，焰芯离工件不大于 6mm，并尽量采用焊件与水平成 7°~10° 的上坡焊接。薄铜件的焊接绝大多数是悬空焊。对长焊缝焊前必须留有合适的收缩量，以保证焊接过程两焊件间的间隙

均匀一致，并要先用定位焊点牢再焊接。定位焊的间距和收缩量因板厚不同凭经验确定。对长焊缝还应采用分段退焊法以减少变形。气焊一般不开坡口，可利用调整间隙来控制焊透程度。

表 2-63 磷脱氧铜的气焊工艺参数

板厚 /mm	填充焊丝 /mm	根部间隙 /mm	乙炔流量 / (L/min)	预热气流量 / (L/min)	焊炬及焊嘴号
1.5	1.6	无	4	无	H01-2 焊炬, 4~5 号焊嘴
3.0	2.0	1.5	6	无	H01-6 焊炬、3-4 号焊嘴
4.5	3.0	2.0	8	12	H01-12 焊炬、1-2 号焊嘴
6.0	4.0	3.0	12	12	H01-12 焊炬、2-3 号焊嘴
9.0	5.0	4.5	14	16	H01-12 焊炬、3-4 号焊嘴
12.0	6.0	4.5	16	16	H01-12 焊炬、3-4 号焊嘴

(4) 预热及焊后热处理 为了减少焊接内应力，防止裂纹、气孔、未焊透等缺陷的产生，纯铜气焊时一般需预热。对薄板、小尺寸焊件的预热温度为 $400\sim 500^{\circ}\text{C}$ ，厚壁焊件预热温度需提高至 $600\sim 700^{\circ}\text{C}$ 。黄铜和青铜的预热温度可适当降低。为了细化接头晶粒，改善接头的力学性能，对受力件或较重要的铜焊件必须采取焊后锤击，以及后热处理等工艺措施。薄铜件焊后可立即沿焊缝两侧的 100mm 范围内进行锤击。5mm 以上中厚铜件需加热至 $500\sim 600^{\circ}\text{C}$ 后进行锤击，然后再加热至 $500\sim 600^{\circ}\text{C}$ 在水中急冷。黄铜则应在焊后进行 500°C 左右的退火处理。经过这样处理的铜接头性能可接近母材金属水平。

2. 碳弧焊工艺

碳弧焊是不熔化极电弧焊的一种。电弧功率比气体火焰大，热量比较集中。因此在提高生产率、减少焊件受热变形和防止接头过热方面都比气焊有明显的优点。碳弧在空气中燃烧生成的大量 CO 还原性气体，虽然对熔池有一定的防氧化作用，但碳极烧损太快，影响电弧的稳定性，并限制采用大的电流密度。因此碳弧焊只适用于焊接一些不重要的中薄板铜件，而且已逐渐被金属极电弧焊所取代。

碳弧焊用的电极有碳极和石墨极两种。一般直径为 $10\sim 20\text{mm}$ ，长度均在 $200\sim 500\text{mm}$ 。石墨极允许使用的电流密度 ($2\sim 6\text{A}/\text{mm}^2$) 比碳极 ($1\sim 2\text{A}/\text{mm}^2$) 高。为减少电极烧损，增加电弧稳定性，电极端至夹头的长度应控制在 $100\sim 150\text{mm}$ 之间。电极端部 30mm 的一段磨成 $20\sim 30^{\circ}$ 锥角，随着电极的烧损及时进行修整。

碳弧区的 CO 气氛不足以保护熔池和焊丝的氧化，焊接时仍需使用含脱氧剂的焊丝和熔剂（见表 2-61）。熔剂的加入形式与气焊相同。焊件厚度不超过 5mm 时，可用 I 形坡口，也可以不预热。厚度超过 5mm 后，可以随厚度的增加分别采用 V 形和双 V 形坡口，间隙和钝边为 $2\sim 3\text{mm}$ ，坡口角为 $60^{\circ}\sim 80^{\circ}$ 。预热温度也应随焊件厚度在 $400\sim 600^{\circ}\text{C}$ 范围内变化，黄铜件可降至 $300\sim 500^{\circ}\text{C}$ ，单面施焊时，反面必须施加石墨或不锈钢成形垫板或焊剂垫。

铜及铜合金的碳弧焊接采用直流电源正接法。尽量选用 $35\sim 45\text{V}$ 的较高电压（长弧），以避免大量 CO 对熔池产生有害作用。焊接黄铜时弧长要适当缩短，以减少锌的烧损。焊件含锌越高，弧长越短，纯铜碳弧焊的焊接工艺参数见表 2-64。

表 2-64 纯铜碳弧焊的焊接工艺参数

厚度/mm	焊丝直径/mm	电极直径/mm		焊接电流/A	电弧电压/V	预热温度/°C
		碳板	石墨板			
1~2	2	15	12	140~180	32~38	200~300
2~5	2~3	15	12	220~300	32~38	200~300
6~8	4	18	15	320~380	35~40	300~400
9~10	5	22	18	450~550	40~42	300~400

3. 手工钨极氩弧焊

目前手工钨极氩弧焊已成为铜合金的主要焊接方法之一。由于该焊接方法具有电弧稳定、能量集中、保护效果好、操作灵活等优点，它已逐步取代气焊、碳弧焊和焊条电弧焊。特别适合于中、薄板和小件的焊接和补焊。几乎所有牌号的铜合金都可以使用此种方法进行焊接。

(1) 填充焊丝的选择 手工钨极氩弧焊主要通过焊丝来调节焊缝的成分及力学性能：一般纯铜氩弧焊的填充焊丝有 HS201、HS202 纯铜焊丝、硅青铜焊丝、锡青铜焊丝。对于焊接质量要求不高的产品，也可用不含脱氧元素的普通纯铜丝，但需要添加气焊熔剂 CJ301。在焊前用无水乙醇（酒精）将 CJ301 调成糊状后涂刷于焊件坡口表面，然后施焊。对于高强度黄铜，采用硅青铜焊丝或铝青铜焊丝进行焊接，如 HSCuAl、HSCuZn、ERCuSi 等。

(2) 保护气体的选择 在相同的焊接电流下，氦弧和氩弧的功率分别为氩弧的 3 倍和 1.5 倍。从提高电弧的热效率角度，可在保护气体中加少量氮气和氢气。但多数情况下选用氩气作为焊接各种铜合金的保护气体。在一些特殊情况下，如焊接纯铜或高热导率铜合金焊件，或不允许预热及要求获得较大的熔深时，可采用 $\varphi_{Ar}70\%$ 与 $\varphi_{He}30\%$ 氩或加氮的混合气。在焊接铝青铜时，为了加强对熔池的保护和脱氧，有时采用氩气与涂熔剂联合保护的办法，可收到较理想的效果。

(3) 预热温度的选择 厚度在 4mm 以下的一般焊件可以不预热。4~12mm 厚的纯铜需预热至 200~450℃，青铜与白铜可降至 150~200℃，硅铜、磷青铜可不预热，并严格控制层间温度低于 100℃。但补焊大尺寸的黄铜和青铜铸件时，一般需预热 200~300℃。如采用 Ar+He 混合保护气焊接铜或铜合金可以不预热。

(4) 焊接工艺参数的选择 一般铜及铜合金的手工钨极氩弧焊均采用直流正极性。此时焊件可获得较高的热量和较大的熔深。但对铍青铜、铝青铜，采用交流电源比直流电源更有利于破除表面氧化膜，使焊接过程稳定。硅青铜的流动性较差，可以采用手工氩弧焊在立焊和仰焊位置焊接。焊接纯铜和青铜的焊接工艺参数见表 2-65 和表 2-66。

表 2-65 纯铜的手工钨极氩弧焊焊接工艺参数

板厚/mm	钨极直径/mm	焊丝直径/mm	焊接电流/A	Ar 气流量 / (L/min)	预热温度/°C	备注
0.3~0.5	1	—	30~60	8~10	不预热	卷边接头
1	2	1.6~2.0	120~160	10~12		
1.5	2~3	1.6~2.0	140~180	10~12		
2	2~3	2	160~200	14~16		

(续)

板厚/mm	钨极直径/mm	焊丝直径/mm	焊接电流/A	Ar 气流量 / (L/min)	预热温度/℃	备注
3	3~4	2	200~240	14~16	不预热	单面焊双面成形
4	4	3	220~260	16~20	300~350	双面焊
5	4	3~4	240~320	16~20	350~400	
6	4~5	3~4	280~360	20~22	450~500	
10	5~6	4~5	340~400	20~22		
12	5~6	4~5	360~420	20~24		

表 2-66 青铜和白铜的手工钨极氩弧焊接工艺参数

材料	板厚/mm	钨极直径 /mm	焊丝直径 /mm	焊接电流/A	Ar 气流量 / (L/min)	焊速 /mm/min	预热温度 /°C	备 注
铝青铜	≤1.5	1.5	1.5	25~80	10~16	—	不预热	I 形接头
	1.5~3.0	2.5	3	100~130	10~16	—		
	3.0	4	4	130~160	16	—		
	5.0	4	4	150~225	16	—	150	V 形接头
	6.0	4~5	4~5	150~300	16	—		
	9.0	4~5	4~5	210~330	16	—		
	12.0	4~5	4~5	250~325	16	—		
锡青铜	0.3~1.5	3.0	—	90~150	12~16	—	—	卷边焊
	1.5~3.0	3.0	1.5~2.5	100~180	12~16	—	—	I 形接头
	5	4	4	160~200	14~16	—	—	V 形接头
	7	4	4	210~250	16~20	—	—	
	12	5	5	260~300	20~24	—	—	
硅青铜	1.5	3	2	100~130	8~10	—	不预热	I 形接头
	3	3	2~3	120~160	12~16	—		
	4.5	3~4	2~3	150~220	12~16	—		
	6	4	3	180~250	16~20	—		V 形接头
	9	4	3~4	250~300	18~22	—		
	12	4	4	270~330	20~24	—		
白铜	<3	4~5	3	300~310	12~16	130	—	I 形对接, 材料牌号 B10
	3~9	4~5	3~4	300~310	12~16	150	—	V 形坡口, B10
	<3	4~5	3	270~290	12~16	130	—	I 形对接, 牌号 B30
	3~9	4~5	5	270~290	12~16	150	—	V 形坡口, B30

4. 焊条电弧焊

焊条电弧焊在铜和铜合金的焊接中原则上不推荐采用, 原因是焊缝金属中氧含量高, 锌蒸发严重, 易产生气孔、接头强度低。不过对于部分青铜和白铜, 采用焊条电弧焊工艺亦可获得性能符合要求的接头。

(1) 焊条的选用 基本按焊件母材的成分。对于黄铜,一般选用青铜焊芯的焊条,如 T207 和 T227。焊条使用前应经 $200\sim 250\text{ }^{\circ}\text{C}/2\text{h}$ 烘干。

(2) 预热温度的选择 纯铜的预热温度按材料的厚度在 $300\sim 600\text{ }^{\circ}\text{C}$ 范围内选择,黄铜的预热温度范围为 $200\sim 400\text{ }^{\circ}\text{C}$,锡青铜和硅青铜的预热温度和层间温度不应超过 $200\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。铝青铜的预热温度应不低于 $250\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

(3) 焊接工艺参数 各种铜合金的焊条电弧焊都应采用直流反接,高的预热温度、小的焊接电流、快的焊接速度、短弧等焊接工艺参数。焊道尽量窄而薄、焊接时焊条不应摆动、在宽坡口内的焊道,焊条摆动宽度不宜大于焊条直径的 2 倍。铜和铜合金焊条电弧焊典型规范数据列于表 2-67。

表 2-67 铜及铜合金焊条电弧焊典型焊接工艺参数

材料名称	板厚/mm	坡口形式	焊条直径/mm	焊接电流/A	材料名称	板厚/mm	坡口形式	焊条直径/mm	焊接电流/A	备 注
纯铜	2	I 形	3.2	110~150	铝青铜	2	I 形	3.2	60~90	焊接电流可按下式计算 $I \approx (3.5-4) d$ d —为焊条直径 (mm), 厚板可按 $5d$ 计算。
	3		3.2~4	120~200		4	I 形	3.2~4	120~150	
	4		4	150~220		6	V 形	5	230~250	
	5	V 形	4~5	180~300		8		5~6	250~280	
	6		4~5	200~350	锡青铜	12	V 形	5~6	280~300	
	8		5~7	250~380		1.5		3.2	60~100	
	10		5~7	250~380		3		3.2~4	80~150	
黄铜	2	I 形	2.5	50~80		4.5	V 形	3.2~4	150~180	
	3		3.2	60~90		6		4~5	200~300	
						12		6	300~350	
					白铜	6~7	I 形	3.2	110~120	平焊
						6~7	V 形	3.2	100~115	仰焊

(4) 焊后处理 为改善接头的性能、减小焊接内应力,焊后应对焊缝和接头各区进行锤击。对接头性能要求较高的焊件,焊后应作高温热处理。如磷青铜焊后应作 $500\text{ }^{\circ}\text{C}$ 消除应力处理。铝青铜厚板、焊后需经 $600\text{ }^{\circ}\text{C}$ 退火处理。

5. 埋弧焊工艺

铜和铜合金的埋弧焊具有熔深大、生产率高、变形小等明显优点。20mm 厚以下的焊件可以不预热,并不开坡口焊接,接头质量优异,适用于中厚板长焊缝的焊接。铜和铜合金的埋弧焊工艺应按下列原则拟定。

(1) 焊剂的选择 铜和铜合金埋弧焊焊剂应采用氧化性较低的 HJ260、HJ150 焊剂及氟化物焊剂。选用无氧氟化物焊剂可获得导热、导电性与母材相同的焊缝。与青铜焊丝相配焊接黄铜、铝青铜和铬青铜时可获得力学性能满意的接头。

(2) 焊接参数 厚度小于 20mm 的铜及铜合金可以直边对接单面焊或双面焊。厚 20mm 以上的接头应开 U 形坡口或双 V 形坡口。焊接纯铜时,应选用较大的焊接电流和较高的电弧电压,以获得有利的焊缝系数。焊接黄铜时,则应选用较小的焊接电流和较低的电弧电压,以减少锌的蒸发烧损。黄铜和青铜焊丝的熔化速度与焊丝伸出长度有关,通常应取 20~40mm。

铜和铜合金埋弧焊时,20mm 以下的焊件可不预热,20mm 以上应局部预热至 $300\sim 400\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。典型的焊接工艺参数列于表 2-68。

表 2-68 铜和铜合金埋弧焊典型焊接工艺参数

材料名称	板厚/mm	坡口形式	焊丝直径 /mm	焊接电流 /A	电弧电压 /V	焊接速度 /(m/h)	备 注
纯铜	5~6	直边对接	2.0	500~550	38~42	45~40	
	10~12		3.0	700~800	40~44	20~15	
	16~20		4.0	800~1000	45~50	12~8	
	25~30	U 形坡口	4.0	1000~1100	45~50	8~6	
	35~40		5.0	1200~1400	48~55	6~4	
	16~20	单面焊双面成形	4.0	850~1000	45~50	12~8	
黄铜	4	直边对接	1.5	180~200	24~26	20	单面焊
	4		1.5	140~160	24~26	25	双面焊
	8		1.5	360~380	26~28	20	单面焊
	8		1.5	260~300	28~30	22	背面封底焊
	12		2.0	450~470	30~32	25	单面焊
	18		3.0	650~700	32~24	30	背面封底焊
10		2.0	450	35~36	25	焊剂垫、双面焊	
铝青铜	15	V 形坡口	3.0	550	35~36	25	第一道
	15		3.0	650	36~38	20	第二道
	15		3.0	650	36~38	25	封底焊缝
	26	双 V 形坡口	4.0	750	36~38	25	第一道
			4.0	800	36~38	20	第二道

埋弧焊时由于焊接热输入大,焊接熔池体积较大,为防止液态金属流失并使焊缝反面成形,无论是单面焊还是双面焊都应采用衬垫。常用的衬垫有石墨衬板、不锈钢衬板和焊剂垫。对于热导率较低的白铜则需选用铜衬垫。为保证焊缝两端都具有良好的成形,应在焊件接缝端部装上铜质引弧板和收弧板,也可采用石墨作引弧板和收弧板,其尺寸一般取 $100\text{mm} \times 100\text{mm} \times \delta\text{mm}$ (焊件厚度)。

6. 熔化极气体保护焊工艺

熔化极气体保护焊具有电弧功率大、熔敷效率高、焊速快、焊接变形小和接头质量高的优点,推荐用于中、大厚度铜及铜合金接头的焊接。

熔化极气体保护焊用焊丝基本上与钨极氩弧焊焊丝成分相同。焊前的预热温度与钨极氩弧焊相近。因熔化极气体保护焊电弧功率较大,特别是采用氮气作保护气体时,可适当降低预热温度。

熔化极气体保护焊适用的坡口形式及尺寸与钨极氩弧焊相似。因熔化极气体保护焊可选用大电流,电弧穿透能力强,可适当加大钝边的尺寸和减小坡口角度。

铜及铜合金熔化极气体保护焊焊接参数的选择原则是尽量提高焊丝的电密度,以使熔滴过渡达到喷射状态,这样焊接电弧相当稳定、焊缝成型良好。但在难焊位置,如立焊和仰焊应适当降低焊接电流。

铜和铜合金自动和手工(半自动)熔化极氩弧焊的典型焊接参数列于表 2-69 和表 2-70 及表 2-71。

表 2-69 纯铜自动熔化极氩弧焊焊接工艺参数

板厚 /mm	坡口 形式	坡口尺寸			焊丝直径 /mm	焊接电流 /A	电弧电压 /V	焊接速度 /(m/h)	Ar 气流量 /(L/min)	焊缝 层数	预热温度 /°C
		间隙/mm	钝边/mm	角度/(°)							
3	I	0	—	—	1.6	300~350	25~30	40~45	16~20	1	—
5		0~1	—	—	1.6	350~400	25~30	30	16~20	1~2	100
6		0~2	—	—	2.5	450~480	25~30	30	20~25	1	100
8	V	0	3	70~90	1.6	400~425	32~34	30	16~20	2	250
8		0~2	1~3	70~90	2.5	460~480	32~35	25	25~30	2	250~300
9		0	2~3	80~90	2.5	500	25~30	21	25~30	2	250
10		0	2~3		2.5~3	480~500	32~35	20~23		2	400~500
12		0	3	80~90	2.5~3	550~650	28~32	18	25~30	2	450~500
20		1~2	2~3	70~80	4	700	28~30	23~25	25~30	2~3	600
22~30		1~2	2~4	80~90	4	700~750	32~36	20	30~40	2~3	600

表 2-70 纯铜手工(半自动)熔化极氩弧焊典型焊接工艺参数

焊件厚度/mm	预热温度/°C	焊接电流/A	送丝速度/(m/min)	氩气流量/(L/min)	焊丝直径/mm
6	150	280~300	4.0	22~24	1.6
8	200	300~320	4~5	24~26	1.6
14	350~400	340~360	6	28~32	
25	500~600	360~400	7	30~34	

表 2-71 铜合金自动熔化极气体保护焊典型焊接工艺参数

材料 名称	板厚 /mm	坡口形式	焊丝直径 /mm	预热温度 /°C	焊接电流 /A	电弧电压 /V	焊接速度 /(m/h)	氩气流量 /(L/min)	备 注
加工黄铜	3	I 形	1.6	—	275~285	25~28	32~34	16	—
	9	V 形	1.6	—	275~285	25~28	20~25	16	三层
	12	V 形	1.6	—	275~285	25~28	16~18	20~25	五层
锡青铜	1.5	I 形	0.8	—	130~140	25~26	—	16	
	3		1.0	—	140~160	26~27	—	16	
	6	V 形	1.0	—	165~185	27~28	—	—	—
	9		1.6	100~150	275~285	28~29	—	18	
	12		1.6	200~250	315~335	29~30	—	18	
铝青铜	3	I 形	1.6	—	260~300	26~28	32~36	20	
	6	60°V 形	1.6(2.0)	150	280~320	26~28	32~36	20	
	9	60°V 形	1.6	150	300~330	26~28	—	20~25	
	10	90°双 V 形 (钝边 4~5mm)	4.0	200	450~550	32~34	20~22	50~55	
	12	70°V 形	1.6	200	320~380	26~28	—	30~32	
	16	75°双 V 形	2.5	200	400~440	26~28	18~20	30~35	

(续)

材料名称	板厚/mm	坡口形式	焊丝直径/mm	预热温度/°C	焊接电流/A	电弧电压/V	焊接速度/(m/h)	氢气流量/(L/min)	备 注
铝青铜	18	70°V形	1.6	200	320~350	26~28	—	30~35	
	24	75°形	2.5	300	450~500	28~30	18~20	40~45	
硅青铜	3	I形 (钝边 2.0, 间隙 2.0)	1.6 (2.0)	—	180~200	26~27	—	18~20	
	5	60°V形 (钝边 2.0mm, 间隙 2.0mm)	2.0 (2.5)	—	280~340	29~30	—	20~25	背面加铜衬垫
	12	60°V形 (钝边 4mm, 间隙 2.0mm)	2.5	—	320~340	27~28	—	22~26	
	20	双 V 形坡口 (钝边 4mm, 间隙 2.0mm)	2.5	—	350~380	27~28	—	26~30	
加工白铜	3	I形	1.6	—	280	24~28	—	16	
	6		1.6	—	270~330	24~28	—	16	
	9	V形	1.6	—	300~330	24~28	—	16	
	12		1.6	—	350~400	24~28	—	20	

第3章 焊接工艺规程及焊接工艺评定

1 焊接工艺管理概述

在现代焊接结构生产企业中，科学的焊接工艺管理是确保产品焊接质量的前提，其主要内容有以下15项：

- 1) 产品图样的工艺性审查。
- 2) 焊接工艺方案的编制。
- 3) 焊接新材料、新工艺和新设备试验。
- 4) 产品焊缝识别卡的编制。
- 5) 焊接工艺规程的编制。
- 6) 焊接工艺评定与焊工考核。
- 7) 焊材采购规范和验收标准的编制。
- 8) 企业焊接标准和产品焊接技术条件编制。
- 9) 焊接工艺守则的编制。
- 10) 专用焊接设备操作规程的编制。
- 11) 焊接材料、焊接设备管理制度的制定。
- 12) 焊接材料及辅料消耗定额的制定。
- 13) 产品焊接质量事故的分析及报告的编写。
- 14) 焊接工艺规程执行状况的监督。
- 15) 数控焊接与切割装置计算机程序的编制。

1.1 焊接工艺管理的程序

以焊接为主导制造技术的焊接结构制造厂，其焊接工艺管理的完整程序如图3-1所示。对于不自行设计而直接采用设计院（所）图样制造产品的工厂，可以不作产品图样的工艺性审查和产品焊接技术条件的制定，产品结构的焊接工艺性应由设计单位负责，焊接工艺方案可直接按订货合同图样制定。对于结构较简单，未采用新材料、新工艺而采用成熟焊接工艺焊接的产品，可直接进入焊接工艺规程的编制和焊接工艺评定阶段。如所焊产品的母材金属、焊材及焊接工艺，均已经过焊接工艺评定合格或制造法规容许免作焊接工艺评定的，可只按接头的形式和壁厚编制相应的焊接工艺规程。图3-1中以虚线示出这种程序的简化。

在制造大型焊接结构的企业中，焊接工艺管理程序的第一步应根据国家颁布的产品制造法规，或有关的国家标准或安全技术监察规程等结合所生产的产品结构、生产厂的工艺装备和加工方法、工艺布局 and 检测手段等，编制企业的焊接技术条件及相应的焊接标准（如焊接坡口标准、焊接材料选用标准）作为产品图样工艺性审查，焊接工艺方案制定以及其它工艺文件编制的依据。

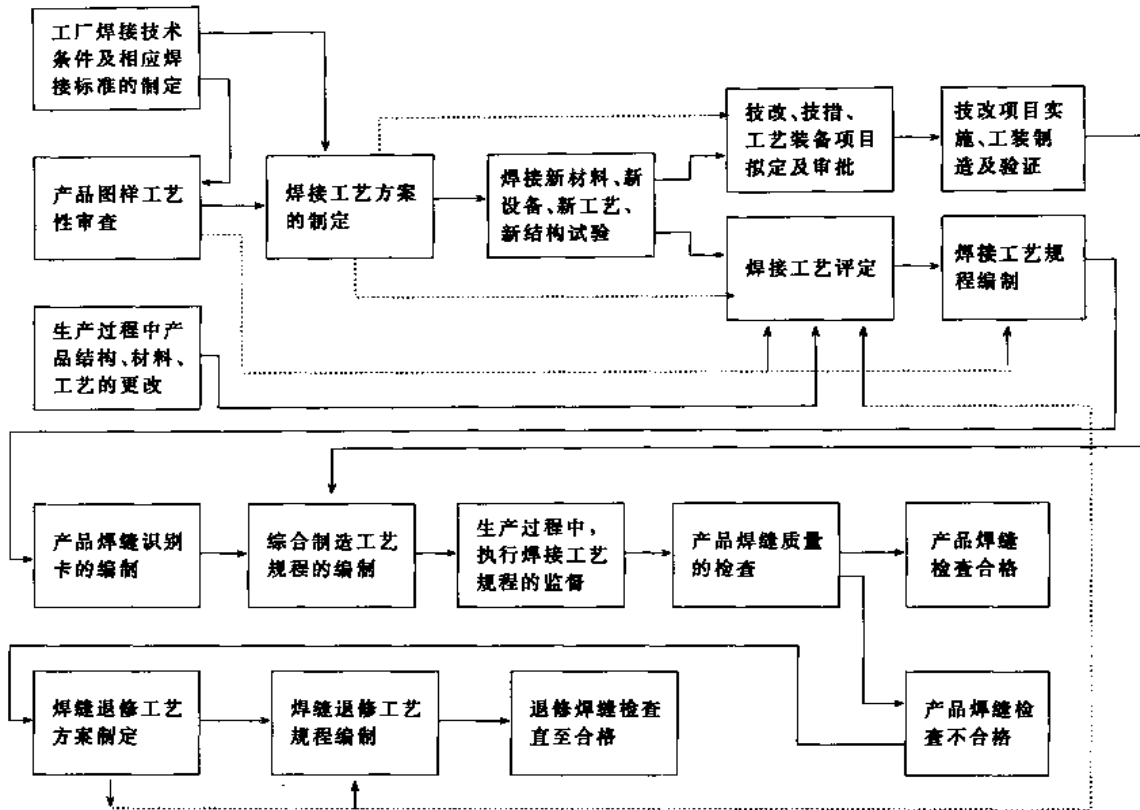


图3-1 焊接工艺管理的程序

1.2 焊接工艺管理的主要环节

1. 产品图样的焊接工艺性审查

对于自行独立设计产品的企业, 施工设计图样的焊接工艺性审查是保证产品焊接质量不可缺少的环节, 图样工艺性审查的依据是相关的国家标准、制造法规和安全技术监察规程、企业的产品焊接技术条件和焊接专业标准。工艺性审查的主要内容有: ①焊接结构选材的正确性和合理性 (禁止焊接性能低劣的材料用于重要承载部件和受压部件); ②异种钢接头用材在焊接工艺、热处理制度和力学性能方面的匹配性; ③接头位置的可见度、可达性和可检查性 (包括无损探伤); ④焊接坡口的标准化, 特别是新设计接头形式和坡口形状及尺寸的工艺性 (抗裂性、拘束度)、经济性和合理性; ⑤焊材选配的正确性; ⑥接头性能合格指标要求的确切性和合法性。

焊接工艺性审查的书面意见需经主任工程师审核, 并转送设计部门作为修改施工设计图样的依据。

2. 产品焊接工艺方案的编制

对于大型或结构复杂的新产品, 应根据经总工程师审批的产品施工图编制完整的焊接工艺方案。其编制原则是在确保焊接质量的前提下, 尽可能地采用既经济又合理的焊接工艺, 并同时体现科学性和先进性。在工艺方案的编制中应全面考虑产品的技术要求、接头性能、产品结构特点、所选钢种的基本特性、生产车间现有的工艺装备、所积累的生产经验、焊工的

技能水平、文明生产条件和劳动保护设施等。

焊接工艺方案应包括下列主要内容：

1) 按产品焊接节点的接头类型和壁厚，所用钢材的特性，拟定初步设想的焊接工艺流程，如原材料（钢板、管子、锻件、铸件）预处理、毛坯切割下料工艺、焊接坡口形式及其加工方法、焊接方法、焊接材料、焊接工艺参数和焊接顺序、焊前焊后热处理方法及制度、焊后无损检验方法和抽查率、水压试验和焊缝表面的后处理等。

2) 按所选用的结构材料和拟采用的焊接工艺，提出焊接新材料、新工艺试验项目和焊接工艺评定项目。

3) 按产品结构和接头的技术要求，提出需配制的焊接新设备和工艺装备以及需立项的技改措施。

4) 按拟采用的新工艺、新材料和新设备提出焊工培训项目。

5) 焊接工艺方案的综合经济指标分析。

焊接工艺方案应经工厂有关技术部门讨论，有关人员审核，最后由企业总工程师批准。

3. 焊接试验研究

在企业焊接试验室完成的焊接试验研究，主要是为产品焊件接头焊接工艺规程的编制提供可靠的实验数据和资料。焊接试验研究应包括新钢种的焊接性试验、新焊接材料的研制、新的焊接方法和工艺试验、焊接新设备的调试验证、焊接接头的可靠性及使用性能试验，以及旨在提高产品焊接质量，延长使用寿命和降低制造成本的其它焊接工艺试验。

焊接试验研究项目通常来源于：①产品焊接工艺方案；②新产品开发项目；③工厂重大技术改造和工艺改革项目；④生产过程中重大质量事故的分析；⑤产品投运后焊接质量的反馈信息；⑥用户提出的试验项目。

焊接试验研究的立项经总工程师批准后，应编制详细的试验研究课题执行计划书。其主要内容应包括：①课题来源、立项依据；②本课题在国内外的研究现状及目前还存在的主要问题；③要求达到的目标；④本课题的主攻方向及内容；⑤试验方法、程序、检测手段、所要求测定的数据；⑥所需试验设备和仪器仪表；⑦经济效益分析；⑧计划进度；⑨经费预算等。

试验研究课题完成后，应由课题负责人编写试验研究报告。报告内容除如实记载试验方法、条件、过程、实测数据和试验结果外，还应阐明研究人员对试验研究结果的分析和解释以及据此引出的相应结论。

新材料的焊接性试验研究完成后，除按上述要求编写详尽的研究报告外，应将主要试验条件和试验结果，概括性的结论意见填入《金属焊接性试验报告》中，见表 3-1，并按规定的程序审批后，作为正式工艺文件分发到各有关部门，为焊接工艺人员编制焊接工艺设计书或焊接工艺规程提供可靠的试验依据。

4. 焊接工艺评定

焊接工艺评定是控制重要焊接结构的质量不可缺少的主要环节之一。在我国，一些重要产品的制造法规、安全技术监察规程都对此作了明确的规定。如 1996 年版的《蒸汽锅炉安全技术监察规程》中第 64 条规定：“采用焊接方法制造、安装、修理和改造锅炉受压元件时，施焊单位应制定焊接工艺指导书并进行焊接工艺评定，符合要求后才能用于生产”。当前，焊接工艺评定工作的正确性和合法性已成为考核任何一家焊接结构生产企业质量控制和保证有效

性的主要依据。焊接工艺评定的目的在于验证按所设计的焊接工艺规程焊接的接头,其致密性和理化性能是否符合产品设计的技术要求。

焊接工艺评定的主要程序如下:①按产品施工图或新产品焊接工艺方案和产品制造过程中出现的结构,材料、工艺的重大更改以及焊缝返修长度超过产品焊接技术条件规定的返修提出必要的焊接工艺评定项目;②按经审批同意的焊接工艺评定项目编制焊接工艺设计书;③编制焊接工艺评定试验计划;④焊接工艺评定试板的焊接;⑤按对产品接头性能的要求,检验焊接工艺评定试板。⑥按检验结果填写焊接工艺评定报告。评定报告应经有关人员审定,最后由总工程师批准,评定报告的正本存于焊接工艺部门,作为编制焊接工艺规程的依据。

表 3-1 金属焊接性试验报告 I

编号: _____													工厂研究课题号: _____												
试验项目名称 _____																									
试验结果适用范围 _____																									
材料牌号 _____ 规格 _____ 热处理状态 _____																									
试验材料实际成分(质量分数)%	C	Si	Mn	Cr	Mo	Ni	V	Nb	S	P	其它	碳当量 CE/%													
	碳当量公式 $CE = 1w_C + \frac{1}{6}w_{Mn} + \frac{1}{5}w_{Cr} + \frac{1}{5}w_{Mo} + \frac{1}{5}w_{Ni} + \frac{1}{15}w_{Nb} + \frac{1}{15}w_{Cu}$																								
试验材料力学性能	σ_s /MPa	σ_b /MPa	δ /%	ϕ /%	弯曲/°	σ_s (350℃)/MPa	σ_b (450℃)/MPa	A_K /J																	
								20℃	0℃	-20℃	-40℃														
落锤试验结果	20℃	0℃	-10℃	-20℃	-30℃	-40℃	-50℃	-60℃	无塑性转变温度																
热影响区最高硬度测定结果	预热温度/℃				20	100	150	200	过热区显微组织照片																
	最高硬度(HV ₁₀)																								
	热影响区金相组织																								
热敏感试验结果	单道焊条电弧焊热影响区冲击吸收功/J						K形坡口焊条电弧焊热影响区冲击吸收功/J																		
	20℃		0℃		-20℃		20℃		0℃		-20℃														
插销冷裂试验结果	试 验 条 件															临界断裂应力 σ_{cr} /MPa	σ_{cr}/σ_s 比 值								
	试验温度/℃	焊条型号	焊缝金属氢含量/(mL/100g)			$t_8/5$	t_{100}																		

(续)

	试验条件	裂纹率/%	热影响区组织及 HV ₁₀	裂纹宏观照片
Y形坡口对接 拘束裂纹试验				
热裂试验	试验条件	裂纹率/%	临界应力/MPa	热裂纹指数计算值 $H_{cr} = \frac{C \left(S + P + \frac{Si}{25} + \frac{Ni}{100} \right) \times 10^3}{3Mn + Cr + Mo + V} \leq 3.6$
再热裂纹试验	试验条件	裂纹率/%	断裂时间/min	再热裂纹指数计算值 $\Delta G = 1w_{Cr} + 3.3w_{Mo} + 8.1w_V - 2 \leq 0$
课题负责人 鉴定结论				
主管科长 鉴定意见				
编 制		审 核		审 定

5. 焊接工艺规程的编制

焊接工艺规程是焊接结构生产单位必须自行编制的重要工艺文件。工艺规程必须经过焊接工艺评定试验证实其正确性和合理性。因此,编制焊接工艺规程的主要依据是相对应的焊接工艺评定报告。对于某些焊接结构(例如钢结构)亦可按相应的制造法规的规定,当所焊结构采用法规认可的母材金属、焊接材料和焊接工艺时,所编制的焊接工艺规程可以免作焊接工艺评定。焊接工艺规程应按接头形式、厚度范围、钢种、焊接材料种类、焊接方法、焊后热处理方法和制度,以及重要的焊接工艺参数分别编制,同时也应在焊接工艺规程中详细规定有关的次要焊接工艺参数,如操作技术参数,以指导焊工实际施焊产品接头。

对于焊接结构的主要承载焊接接头原则上都应编制相应的焊接工艺规程。例如在锅炉、压力容器,下列部件的焊接接头即属于此列:

- 1) 锅炉、压力容器受压部件上的所有焊接接头,包括接管、人孔、手孔加强板与壳体相接的焊缝。
- 2) 非受压部件与受压部件相焊的焊接接头,如支座圈、支撑板、吊挂板及其它附件与受压壳体的焊接接头。
- 3) 重要受力件,如锅筒吊杆、起吊钩等拼接焊缝。

4) 重要钢结构, 如板梁、立柱等结构元件中的对接和角接焊缝, 以及其它有特殊要求的结构件中的焊接接头。

非承载焊缝、联系焊缝和在结构中不起强度作用的焊缝, 可以不必为其编制单独的焊接工艺规程, 这种焊缝的焊接, 可以按通用焊接工艺规程或焊接工艺守则的规定进行。

焊接工艺规程的作用, 除了指导焊工正确选用焊接材料、工艺参数和操作技术外, 也是制定产品部件焊接材料消耗定额、编制部件综合制造工艺规程和焊接接头质量检查的依据。

6. 产品焊缝识别卡的编制

产品焊缝识别卡或产品部件焊缝识别卡是, 以产品 (部件) 结构简图和表格的方式, 按焊缝的类别 (如压力容器中的 A、B、C、D、E、F 类焊缝) 标出焊缝在产品上的位置及相应的编号, 列出每条焊缝相对应的焊接工艺规程编号、焊接方法、母材金属和焊接位置代号。其格式见表 3-2。

表 3-2 产品焊缝识别卡

编 号: _____

JIC NO

产品名称		制造流程图编号 PEC No		各 类 接 头 数 量					
产 品 技 术 特 性				A 类接头		C 类接头		E 类接头	
产品规格		主壳体材质		B 类接头		D 类接头		F 类接头	

产品焊缝编号及分布位置示意图

编 制		日 期		审 核		日 期		
焊 缝 编 号	焊接工艺规程编号 WPSNo	要求的焊工资格代号		备 注	焊 缝 编 号	焊接工艺规程编号 WPSNo	要求的焊工资格代号	
		焊接方法	焊接位置				焊接方法	焊接位置
		材料	位置				材料	位置
编 制		日 期		审 核		日 期		

产品焊缝识别卡是一种辅助性的工艺文件，主要作用是帮助焊工、检查员和车间管理人员正确施工、检查和组织生产。

7. 焊接材料采购规范的编制

正确采购焊接材料对于确保产品的焊接质量至关重要。焊接材料的采购必须遵循严格的程序，并应有相应的技术文件为依据。

通用的常规焊接材料，可以按相应的国家标准采购。而对于一些有特殊要求的或未列入相应国家标准的焊接材料，则应按照焊接材料采购规范订购。焊接材料的采购规范，应由本企业的焊接工艺部门按产品技术条件对焊缝提出的各项具体要求，以及新型焊接材料研制报告来编制。其内容应包括：编制依据，遵循的相关标准，焊接材料的化学成分，力学性能或其它性能（耐蚀性、耐热性、抗氧化性和耐磨性等）指标的具体要求和合格标准，焊接材料的规格，表面状态，供货热处理状态以及包装形式等技术要求。采购规范应按焊接材料品种牌号编制。

焊接材料采购规范的格式可参照表 3-3。编成后应经有关部门审核会签，最后由企业总工程师批准。采购部门必须严格按采购规范的要求订购焊接材料，检查部门亦应按采购规范验收该种焊接材料。

表 3-3 焊接材料采购规范

名称: _____			
日期: _____		有效期: _____	
编号: _____			
焊材名称及牌号 (型号)			
规格			
适用范围			
化学成分 (质量分数) 要求/%			
尺寸公差			
表面要求			
力学性能要求			
包装要求			
标记及编号	1. 型号、牌号 _____ 2. 订货号 (合同号) _____ 3. 炉号 _____ 4. 规格 _____ 5. 生产日期 _____ 6. 产品批号 _____ 7. 检查编号 _____ 8. 采购规范编号或标准号 _____		
有关标准			
质量证书			
验收标准及项目			
编制		审核	
日期		日期	
校对		批准	
日期		日期	

8. 产品焊接技术条件的编制

在生产大型重要焊接结构的企业中,如锅炉、压力容器、船舶、重型机器等制造厂应当编制本厂所生产产品的焊接技术条件。例如在一些大型锅炉制造厂,应当编制锅炉受压部件焊接技术条件。它是工厂纲领性的技术文件,用以指导设计、工艺、生产,检查人员全面掌握产品焊接技术要求。它也是工厂有关部门编制各种制造技术条件、综合工艺规程、焊接工艺守则及焊接工艺规程的依据。其主要内容有以下几部分:

(1) 总则 其中规定本技术条件的适用范围、编制依据及用途。

(2) 原材料 规定对焊接结构用原材料的基本要求,对工厂首次采用的原材料应要求作全面的焊接性和焊接工艺试验,规定原材料代用的审批程序和责任。

(3) 焊接材料 规定焊接材料验收入库的程序以及所依据的标准、本厂首次采用的新型焊接材料必须完成的试验项目、焊接材料代用的审批程序和焊接材料管理的要求。

(4) 焊工 对焊工的培训、考证、焊工钢印和管理提出相应的技术要求。

(5) 焊接接头 规定所应遵守的相应焊缝标准、各部件应采用的焊接坡口形式、焊缝布置原则及新设计坡口形式及尺寸的审批程序。

(6) 焊前准备 规定焊接坡口加工方法和质量要求、坡口表面及两侧清理方法及要求、接头的装配公差,不等厚接头边缘的削薄要求、焊接材料烘干和清理要求以及装配定位焊要求。

(7) 焊前预热 按钢种规定要求预热的壁厚界限,预热温度及预热方法、范围及检测方法。

(8) 焊接工艺 规定焊接工艺规程应包括的各项内容以及工艺评定的要求。本厂首次采用的新焊接方法和新工艺应完成的必要工艺试验及新工艺投入生产使用前的验证程序。

(9) 焊后热处理 规定各种焊接部件焊后应进行的热处理形式、厚度界限、热处理温度范围及保温时间、局部热处理的加热方法和加热带宽度,对冷作加工件和铸钢件焊前或焊后的热处理要求,合金钢焊件焊后热处理的特殊要求,产品试板随炉热处理的要求和热处理过程的检查程序。

(10) 焊接接头的质量检查 规定各部件焊接接头目视检查和无损检验的要求和范围、适用的探伤方法、检验程序和合格标准。规定各部件焊接试件(板)的数量、试件焊制技术要求、检验项目和合格标准。

(11) 焊接缺陷的返修和补焊 规定超标焊接缺陷的返修方法和补焊工艺要求及修补焊缝的各项检验要求。

(12) 质量检验报告及证书 对经质量检验合格的焊件,规定了焊接接头质量检验报告和证书。

9. 焊接工艺守则的编制

焊接工艺守则是一种通用性的工艺文件,亦可称其为通用焊接工艺。它是对焊接工艺规程的补充,其内容比焊接工艺规程详尽得多,对焊工的指导作用更系统、更全面,在实际生产中,也是焊工必须遵守的焊接工艺文件之一。焊接工艺守则可以按焊接方法、所焊材料,特种焊接工艺和特种产品部件来编写。以焊接方法工艺守则为例,其内容应包括:编制依据,适用范围,焊接方法概述,焊前准备的具体要求和实施方法,焊接材料的选用,质量要求,使用前的处理和保管方法以及正确的使用方法,焊接工艺程序,焊接工艺参数及其选择,典型

工艺参数示例,不同厚度、不同接头形式的焊接工艺参数的数据表,不同焊接位置的操作技术,焊接顺序,防止变形的措施,典型产品部件焊接工艺实例,焊后检查方法、程序和合格标准。

10. 其它焊接工艺文件的编制

专用焊接设备操作规程,焊接材料、焊接设备管理制度,数控焊接与切割装置计算机程序等其它焊接工艺文件,也是指导焊工、管理生产不可缺少的环节,以确保焊接生产节奏平稳和产品的焊接质量。随着焊接生产过程机械化和自动化程度的不断提高,这些焊接工艺文件的作用将显得越来越重要。

对于一些质量要求十分严格的,特别重要的焊接结构,如核反应堆容器、高温高压厚壁容器、高强度和超高强度厚壁重载焊件,要求填写焊接工艺参数实测记录表。焊接上列重要产品的每一个工位都必须如实记录所规定的焊接工艺参数,以备核对检查。目前一些先进的自动焊设备均配备焊接工艺参数的自动检测记录仪,可以随机监控或按预定的程序实行实时监控或闭环控制,可消除各种人为和环境因素,持续稳定地确保产品的焊接质量。

2 焊接工艺规程及其编制

2.1 焊接工艺规程的定义

按照美国 ASME 锅炉与压力容器法规第九卷 QW-200.1 条款,对焊接工艺规程可作如下定义:焊接工艺规程是一种经评定合格的书面焊接工艺文件,以指导按法规的要求焊制产品焊缝。具体地说,焊接工艺规程可用来指导焊工和焊接操作者施焊产品接头,以保证焊缝的质量符合法规的要求。

焊接工艺规程必须由生产该焊件的企业自行编制,不得沿用其它企业的焊接工艺规程,也不得委托其它单位编制用以指导本企业焊接生产的焊接工艺规程。因此,焊接工艺规程也是技术监督部门检查企业是否具有按法规要求生产焊接产品资格的证明文件之一,目前已成为焊接结构生产企业认证检查中的必查项目之一。因而焊接工艺规程是企业质量保证体系 and 产品质量计划中最重要的质量文件之一。

2.2 焊接工艺规程的内容

焊接工艺规程是指导焊工按法规要求焊制产品焊缝的工艺文件。因此一份完整的焊接工艺规程,应当列出为完成符合质量要求的焊缝所必需的全部焊接工艺参数,除了规定直接影响焊缝力学性能的重要工艺参数以外,也应规定可能影响焊缝质量和外形的次要工艺参数。具体项目包括:焊接方法,母材金属类别及钢号,厚度范围,焊接材料的种类、牌号、规格,预热和后热温度,热处理方法和制度,焊接工艺电参数,接头形式及坡口形式,操作技术和焊后检查方法及要求。对于厚壁焊件或形状复杂的易变形的焊件还应规定焊接顺序。如焊接工艺规程编制者认为有必要,也可列入对按法规焊制焊件有用的其它工艺参数,如加可熔衬垫或其它焊接衬垫等。

在生产受劳动部安全监督的焊接结构或生产法规产品的企业中,焊接工艺规程必须以相应的工艺评定报告为依据。而且当每个重要焊接工艺参数的变化超出法规规定的评定范围时,需重新编制焊接工艺规程,并应有相应的工艺评定报告作为支持。

2.3 焊接工艺规程的编制程序

对于一般的焊接结构和非法规产品,焊接工艺规程可直接按产品技术条件、产品图样、工厂有关焊接标准,焊接材料和焊接工艺试验报告以及已积累的生产经验数据编制焊接工艺规程,经过一定的审批程序即可投入使用,无需事先经过焊接工艺评定。

对于受监督的重要焊接结构和法规产品,每一份焊接工艺规程必须有相应的焊接工艺评定报告作为支持,即应根据已评定合格的工艺评定报告来编制焊接工艺规程。如所拟定的焊接工艺规程的重要焊接工艺参数,已超出本企业现有焊接工艺评定报告中规定的参数范围,则该焊接工艺规程必须按下节所规定的程序进行焊接工艺评定试验。只有经评定合格的焊接工艺规程才能用于指导生产。

焊接工艺规程原则上是以产品接头形式为单位进行编制。如压力容器壳体纵缝、环缝、筒体接管焊缝、封头人孔加强板焊缝都应分别编制一份焊接工艺规程。如容器壳体纵、环缝采用相同的焊接方法、相同的重要工艺参数,则可以用一份焊接工艺评定报告作为支持纵、环缝两份焊接工艺规程。如某一焊接接头需采用两种或两种以上焊接方法焊成,则这种焊接接头的焊接工艺规程应以相对应的两份或两份以上的焊接工艺评定报告为依据。

焊接工艺规程的格式见表3-4。这种格式,仅作为推荐格式,每一个企业可根据自己的经验设计符合本企业实际需要的格式。但任何格式都必须便于焊工使用和保管。

表 3-4 焊接工艺规程

编 号: _____		工艺评定书编号: _____	
WPS NO		PQR NO	
焊接方法: _____ 产品零部件名称举例: _____			
接头坡口形式			
适用范围	1. 母 材 类别号 _____ 组 号 _____ 与 类别号 _____ 组 号 _____ 相焊 P-No _____ G-No _____ P-No _____ G-No _____ 钢 号: _____ 与 钢 号: _____ 相焊		
	2. 厚度范围 对接 _____ 角接 _____ 堆焊 _____		
	3. 管子直径范围 对接 _____ 角接 _____		
焊接材料	电极牌号及规格 _____ 焊 剂 牌 号 _____		
	焊条牌号及规格 _____ 保 护 气 体 _____ 流 量 _____ L/min		
	焊丝牌号及规格 _____ 背面成形气体 _____ 流 量 _____ L/min		
	焊 带 及 规 格 _____ 尾部保护气体 _____ 流 量 _____ L/min		

(续)

焊 前 准 备						
最小预热温度 _____ C 最大层间温度 _____ C 后 热 _____ C/h 消 氢 _____ C/h	焊 后 热 处 理	1. 不热处理 _____ 2. 按热处理工艺卡 _____ 3. 按综合工艺卡 _____ 4. 按 本 规 程 _____ 				
会 签 单 位	焊 接 程 序 及 焊 接 工 艺 参 数					
	操 作 技 术	1. 焊接位置 平焊 _____ 立焊 _____ 横焊 _____ 仰焊 _____ 全位置 _____ 2. 多丝焊或单丝焊 单丝 _____ 多丝 _____ 3. 锤击有无 有 _____ 无 _____ 不规定 _____ 4. 无摆动焊或摆动焊 摆动 _____ 不摆动 _____ 不规定 _____ 5. 清根方法 _____ 6. 其 它 _____				
	焊 后 检 查					
	注					
编 制			审 核		审 定	

焊接工艺规程的编写应当遵循下列原则:

- 1) 名词术语标准化和通用化。焊接工艺规程中所用的名词术语应统一采用国家标准 GB/T 3375—94《焊接术语》中规定的名词术语、不应采用本企业的习惯用语。
- 2) 用词简洁、明瞭、易懂,切忌用词模糊不清、含意不确切。
- 3) 书写字迹应工整,简体字应符合规范,数字不连写,不准涂改。
- 4) 插图描绘要符合制图标准,尺寸及公差应标注清晰、正确。焊接顺序和焊道层次可用数字标注,焊接方向可用箭头表示。
- 5) 物理量名称及符号应符合国家标准 GB 3102.1~8—93,计量单位应采用法定计量单位。

2.4 焊接工艺规程的编写方法

焊接工艺规程大多数选用表格的形式,格式确定后在一段较长的时期内不会作改动,可将其铅印成空白表格。因此,编写焊接工艺规程实际上是逐行填写空格。各栏填写方法及要点分述如下:

1. 编制单位名称

编制单位的名称应以醒目的字体印在焊接工艺规程的表头,这一方面表明所编写的焊接工艺规程只适用于该企业,另一方面也显示焊接工艺规程是企业的重要质量文件,企业管理者对其正确性负全部责任。编制单位名称不应用简称,必须用全称。

2. 焊接工艺规程编号

为便于管理和检索,每份焊接工艺规程应加以编号。编号可以是简单的顺序数字,也可以是汉语拼音字母加顺序数字组合编号。在编号的后面应填上编写日期。如该份焊接工艺规程要求相应的焊接工艺评定报告作为支持,则应在相应的空格上填写该焊接工艺评定报告的编号。

3. 焊接工艺规程修改本的编写

焊接工艺规程在执行过程中,如所焊焊缝质量达不到技术要求或焊接工艺不尽合理,生产成本较高,则应及时修改焊接工艺规程。如修改的工艺参数为重要工艺参数,而且该焊接工艺规程用于受监督的产品,则该焊接工艺规程需重作焊接工艺评定。然后,根据该焊接工艺评定报告新编另一份焊接工艺规程。这种情况不必加修改编号,而应对新的焊接工艺规程重新编号。如修改的工艺参数为次要参数,或虽修改重要参数而不要求作焊接工艺评定,则可将该焊接工艺规程直接修改,并加修改编号。因焊接工艺规程不允许作任何涂改,需修改的焊接工艺规程应重新填写。

4. 焊接方法

焊接方法是焊接工艺的重要参数之一。焊接方法的名称必须正确填写,并注明焊接过程自动化的等级,注明手工、机械化或自动焊接。按照现代的观点和 ASME 法规的定义,自动焊接是指焊接过程全部由焊机完成,包括焊接时各种电参数的自动调整,焊接操作工只需按起动按钮即可。而目前在工厂中使用的所谓自动焊机实际上是一种机械焊机,在焊接过程中仍需要操作工按焊缝的层次和接缝的几何形状加以调整,其自动化等级仅属于机械化等级。

在一些大型企业中,焊接方法的名称可以采用英文缩写,但必须符合美国 AWS 的名词术语标准,不能沿用其它国家的习惯缩写或自行杜撰。

5. 焊接接头

焊接接头应写出确切的接头名称,并按施工图样的要求绘出坡口详图,注明坡口的主要尺寸及公差、接缝装配尺寸及公差,便于专职检查员对焊件的坡口加工尺寸和装配质量进行检查。焊缝符号、名称、标注方法应符合相应的国家标准。坡口尺寸中也应标出根部装配间隙及公差。如采用衬垫,也应标出衬垫的尺寸及其与焊件的装配间隙要求。

6. 母材金属

母材金属的填写方法可分下列几种情况:

(1) 采用标准材料 当采用国家标准所列的材料时,则可填写标准钢号或牌号及其所属的分类号(参见下节说明)。例如所焊钢材为 Q235-C,其分类号为 I-1,填写方式为:钢号 Q235-C,分类号 I-1。

(2) 采用 ASME 法规材料 当采用 ASME 法规材料时,则可填写该种材料的标准号和牌号及其所属的 P 类别号和组别号。例如所焊钢材的标准号为 SA213,牌号为 T2,据 ASME 锅炉与压力容器法规第九卷表 QW-422 查得该钢号的 P 类别号为 3,组别号为 1。填写方式为:SA213-T2,分类号 P3-1。

(3) 采用非标准材料 当采用非标准材料和非法规材料时,除了填写材料牌号外,还应列出该种材料的化学成分和力学性能。如使用单位已对该种材料完成全面的焊接性试验,并已确定该种材料的焊接性等级,则可按该种材料的焊接性和力学性能为其归类和分组。如未完成上述工作,则可暂将分类号组别号空缺。

如所焊接头为异种材料接头,则应将所焊接头两种不同材料的牌号,或标准号、分类号及组别号一并列出。

(4) 母材金属厚度范围 为合理扩大焊接工艺规程的适用范围,在母材金属厚度一格中应当填写厚度范围,而不该只填写产品图样对该种接头所规定的厚度。但厚度范围不是任意选定的,对于需要焊接工艺评定报告支持的焊接工艺规程,其厚度范围可按工艺评定试板的厚度及焊接工艺评定标准规定的母材金属厚度有效范围而定。例如按照《蒸汽锅炉安全技术监察规程》附录 A 评定母材厚度有效范围的规定,当试板厚度 $t \geq 8\text{mm}$ 时,母材金属厚度有效范围为 $0.75 \sim 1.5t$ 。如试板厚度为 10mm ,则该焊接工艺规程的母材金属厚度适用范围为 $7.5 \sim 15\text{mm}$ 。如按美国 ASME 锅炉与压力容器法规第九卷 QW-451 表的规定,当试板厚度为 10mm 时,相应的母材金属厚度适用范围为 $5 \sim 20\text{mm}$ 。如焊接工艺规程无需相应的焊接工艺评定报告的支持,则母材金属厚度范围可根据本企业所积累的生产经验而定。其原则是在所定的厚度范围内按该焊接工艺规程焊接时焊接工艺重要参数不会有超出容许范围的变动。

(5) 管件直径范围 当焊件由板材制成时,母材金属一栏中只需按以上原则,填写母材金属的厚度范围。而当焊件由管材制成时,则应标出适用的直径范围,因为管子的直径是考核焊工技能的重要参数之一。

7. 填充金属

填充金属包括焊条、气体保护焊焊丝(实心或药芯)埋弧焊焊丝、焊剂及可熔衬垫。填充金属一栏的填写方式可按下列原则:

(1) 焊条型号及牌号 当采用已列入国家标准的焊条时,可填写该种焊条的标准型号以及相对应的焊条牌号。如抗拉强度为 500MPa 级低氢钠型焊条,其标准型号为 E5015,相对应的牌号为 J507。我国现行的焊接工艺评定标准对焊接填充材料未作分类、分组,故不必填写

分类号和分组号。

当采用美国 ASME 法规认可的焊条时,则应填写 ASME 标准号、AWS 标准牌号及其相对应的 F 组别号和 A 分类号(参见下节说明)。例如采用低氢型铁粉碳钢焊条,其 AWS 标准牌号为 E7018,对应的 ASME 标准号为 SFA-5.1, F 类别为 4, A 类别号为 1。

当采用非标准和非法规的焊条时,除了写明焊条的非标准牌号外,还应列出熔敷金属的实际化学成分和力学性能。

(2) 气体保护焊焊丝 当采用国家标准焊丝时,可填写国家标准规定的焊丝牌号。最近,对气体保护焊丝国家已颁布了新的国家标准,即 GB/T8110—95《气体保护电弧焊用碳钢、低合金钢焊丝》。其中对焊丝的牌号作了很大的改动。如 CO_2 气体保护焊碳钢焊丝,以前用的牌号为 H08Mn2Si,现改为 ER50-6,新牌号中 ER 表示焊丝,50 表示熔敷金属的强度等级为 500MPa,尾数 6 表示焊丝的合金成分的级别。在老标准向新标准过渡期间,为便于焊工和生产管理人员识别,最好将新老标准的焊丝牌号一并列出或将老标准牌号加括号,如 ER50-6 (H08Mn2Si)。关于分类号和分组号的处理与焊条相同。

当采用 ASME 法规认可的焊丝时,应写明 ASME 焊丝标准号和焊丝的牌号,同时还应填写该种焊丝的分类号。例如抗拉强度 500MPa 级气体保护焊碳钢焊丝,ASME 标准号为 SFA5.18,焊丝牌号为 ER70S-6,相应的 F 分类号为 6, A 类别号为 1,碳钢气体保护焊药芯焊丝,ASME 标准号为 SFA5.20,焊丝牌号为 E71T-1,相应的 F 分类号为 6, A 类别号为 1。

当采用非标准和非法规焊丝时,填写方法与焊条相似。

(3) 埋弧焊填充材料 埋弧焊填充材料焊丝和焊剂是一起使用的,其表示方法亦应采用组合法。我国碳素钢埋弧焊用焊剂标准 GB5293—85 规定了组合表示方法。如 HJ403-H08MnA,其含义为采用所列焊剂—焊丝组合焊接时,焊缝金属的抗拉强度大于 410MPa, -30°C 温度下的冲击韧度不低于 $34\text{J}/\text{cm}^2$ 。这种表示方法未反映出实际使用的焊剂商品牌号,而多种焊剂与一种焊丝组合焊接时,都可达到上列性能指标。因此在焊接工艺规程中,在填写所用焊剂-焊丝标准型号的同时,还应写明焊剂的商品牌号,如 HJ-431、HJ250、HJ330 等。

当采用 ASME 法规认可的埋弧焊填充材料时,则应填写该种组合填充材料的 ASME 标准号及焊剂—焊丝组合型号。如焊缝金属抗拉强度大于 500MPa 的碳钢埋弧焊剂-焊丝组合表示法为: SFA5.17, F7A4-EH14 (EH14 焊丝相当于我国 H10Mn2 焊丝),其相对应的 F 分类号为 6, A 类别号为 1。

当采用非标准或非法规填充材料时,除了写明焊剂牌号和焊丝型号外,还应填写焊缝金属实际化学成分的范围及力学性能数据。

(4) 填充材料的规格 在焊接工艺规程填充材料一栏中应写明该工艺规程所用各种填充材料的直径。药皮焊条标焊芯直径,实心焊丝、药芯焊丝标出外径,焊剂应标出颗粒度。可熔衬垫应注明全尺寸。

8. 保护气体

气体保护焊所用的保护气体可按其用途分别填写。通常可分喷嘴保护气体、拖罩保护气体、背面成形气体,在等离子弧焊中还有离子气。目前在生产中应用的保护气体种类较多,单一保护气体有 CO_2 、Ar、He、 H_2 等,混合气体种类更多,最常用的有 $\text{CO}_2 + \text{Ar}$ 、 $\text{CO}_2 + \text{O}_2 + \text{Ar}$ 、 $\text{Ar} + \text{He}$ 、 $\text{Ar} + \text{H}_2$ 、 $\text{Ar} + \text{N}_2$,成形气体也可采用 $\text{N}_2 + \text{H}_2$ 。当采用混合气体时,应标明气体的混合比,如 $\varphi_{\text{Ar}}80\%$ 与 $\varphi_{\text{CO}_2}20\%$ 混合,正确的填写方式应为: $\varphi_{\text{Ar}}80\% + \varphi_{\text{CO}_2}20\%$ 。

保护气体流量以 L/min 为单位, 应填写每种保护气体的最低流量。当焊接工艺规程适用于不同厚度的工件时, 则应标出合适的保护气体流量范围, 由焊工按所焊焊件厚度合理选择。

9. 预热及层间温度

预热温度通常填写工艺所要求的最低预热温度。对于过高的预热温度可能降低接头的力学性能的材料, 则应规定预热温度的范围, 即预热温度上限值应加以限制。

层间温度通常对于厚壁焊缝多层焊才作规定, 薄板单层焊或双面单道焊可不填写。对于冷裂和再热裂纹敏感的钢材应规定最低层间温度, 而对热敏感的材料, 如奥氏体不锈钢、镍基合金和调质高强度钢等, 则应规定最高层间温度。

在低合金高强度钢厚壁接头焊接时, 为防止延迟裂纹的形成, 对于某些钢种要求焊后保温一段时间, 则应规定最低的保温温度和保温时间。对于某些延迟裂纹倾向较高的合金钢厚壁接头, 焊后保持预热温度往往还不能可靠地防止延迟裂纹, 则应根据钢材的焊接性和工艺试验报告, 填写后热温度和后热时间。对于壁厚大于 80mm, 对氢致延迟裂纹敏感的钢材, 还应规定消氢处理温度和保温时间。

10. 焊后热处理

对于焊后需作热处理的接头, 应在焊后热处理一栏中写明: 焊后热处理的名称 (固溶处理、水调质、正火、正火+回火、回火、消除应力处理, 时效处理等), 热处理温度范围以及保温时间范围, 对于升温速度和降温速度有特殊要求的焊件, 则应注明所要求的升温速度和降温速度。

对于要求严格控制热处理温度的焊件, 除了规定热处理温度容许偏差外, 还应注明热处理时焊件温度实测方法及要求, 如将热电偶直接接在焊件适当部位的表面。

11. 焊接能量参数

对于各种常用电弧焊接方法, 在焊接能量参数一栏中列有焊接电流种类、极性、焊接电流范围, 焊接电压范围及焊接速度等。对于脉冲电弧焊, 还应列出脉冲频率、峰值电流、基本电流和脉宽比等工艺参数。

对于电阻焊, 除了焊接电流外, 还应列出通电时间和电极压力或顶锻力。在摩擦焊中, 焊接工艺能量参数应包括转速、摩擦压力、摩擦时间和顶锻压力。

电子束焊的焊接能量参数为加速电压 (kV), 电子束流 (mA), 焊接速度 (cm/min)。激光焊接分脉冲激光焊和连续激光焊, 脉冲激光焊的能量参数为脉冲能量 (J) 和脉冲宽度 (ms)。连续激光焊的能量参数是激光功率 (kJ)、焊接速度 (cm/min) 和光斑直径 d 。

填入焊接工艺规程的上列能量参数范围均不应超过焊接工艺评定报告和焊接工艺评定标准容许的范围。无需焊接工艺评定报告支持的焊接工艺规程, 则可根据本企业的焊接工艺守则或有关试验报告, 确定能量参数的适用范围。

对于厚壁多层焊接接头, 尤其是采用两种或两种以上不同的焊接方法, 或各层焊道焊接能量参数差异较大的接头, 应单独列表, 填写每层焊道的焊接方法、填充金属规格和焊接能量参数的适用范围。

12. 操作技术

操作技术一栏应列出焊接位置、焊接方向、焊接顺序、运条方式、焊丝摆动参数、焊丝伸出长度、焊道层次、焊丝根数、焊前清理和层间清理方法、焊缝背面清根方法、锤击方法, 焊件及焊枪倾角、丝间距离等。

在大多数情况下,操作技术不是焊接工艺的重要参数。但对某些焊件,操作技术对焊接质量仍起重要的作用。如正确的焊接顺序可防止或减少焊件的变形;焊丝摆动参数对保证焊缝良好的熔合和焊道的成形起决定性的作用;焊前和层间清理,焊缝背面清根方法对消除焊缝的各种缺陷也相当重要。因此,操作技术一栏的各参数仍应认真填写,根据所积累的生产经验和有关的工艺试验报告规定适用的范围。对于操作技术参数为重要参数的某些焊接方法,如电子束焊、螺柱焊、摩擦焊、电阻焊和堆焊等,则应根据焊接工艺评定报告或有关的工艺试验报告确定其适用范围。

2.5 焊接工艺规程的可用性及有效性

焊接工艺规程是指导焊工按相应技术标准或法规要求焊制产品的重要工艺文件,也是证明一个企业具有按国家标准或法规制造合格产品能力的主要文件之一。因此,焊接工艺规程应按规定的程序审批。对于重要的焊接结构或有特殊要求的产品,焊接工艺规程最好经技术监督部门或用户代表签字认可。

焊接工艺规程应作为质量文件加以严格管理,并分发到有关生产班组、机台、检查站,以便焊工、生产管理人员和检查员遵照执行。

焊接工艺规程原则上长期有效,即使有关的国家标准、监督规程以及 ASME 法规修改再版,已有的焊接工艺规程继续有效。而新的焊接工艺规程则应按最新版本的有关标准和法规的要求编制。

3 焊接工艺评定及其基本要求

3.1 焊接工艺评定的定义

焊接工艺评定是通过对接头的力学性能或其它性能的试验证实焊接工艺规程的正确性和合理性的一种程序。每家承包商或制造焊接结构的企业都应按国家有关标准、监督规程或国际通用的法规,如 ASME 锅炉与压力容器法规第九卷和 AWS D1.1 钢结构焊接法规,自行组织并完成焊接工艺评定工作。任何承包商和制造厂不准将焊接工艺评定的关键工作,如焊接工艺规程设计书的编制、评定试板的焊接等委托另一个单位完成。但如果本企业因设备或检测手段不完备,可将试件的下料和坡口加工、试板的无损检验、试板取样及加工、力学性能试验及其它性能的检验等委托其它单位完成,但承包商或制造厂仍应对整个工艺评定工作及试验结果负全部责任。

3.2 焊接工艺评定的程序

1. 锅炉、压力容器焊接工艺评定程序

焊接工艺评定的程序按照产品的类型和等级而定,对于自行设计的大型焊接结构,其程序如下:

(1) 焊接工艺评定立项

1) 焊接工艺评定按焊接工艺方案立项。对于重大的结构新颖的产品,通常要求编制焊接工艺方案,其中包括该产品结构需完成的焊接工艺评定项目。因此,产品焊接工艺方案经企业总工程师批准后,其中所列的焊接工艺评定项目即可列入工作计划。

2) 按新产品施工图立项。对老结构新型号或结构相似工作参数不同的新产品,由于无需编制焊接工艺方案,可按新产品施工图,根据所采用的新材料、新焊接方法和壁厚范围提出焊接工艺评定项目。

3) 按产品制造过程中的重大更改立项。在产品制造过程中可能出现结构、材料和工艺的重大更改,焊接工艺规程需重新编制,则对重要工艺参数变更后的焊接工艺规程需重新作焊接工艺评定。

(2) 下达焊接工艺评定任务书 焊接工艺评定立项后,通过审批程序,根据产品的技术条件编制焊接工艺评定任务书。其内容应包括,产品订货号、接头形式、母材金属牌号及规格,对接头性能的要求,检验项目和合格标准。其推荐格式参见表 3-5。

表 3-5 焊接工艺评定任务书

任务书编号 _____

任务来源												
产品名称						产品令号						
部(组)件名称						部(组)件图号						
零件名称						焊接方法						
被评接头	母材钢号	母材类组别		规格			接头形式					
母材力学性能												
	钢号	试件规格	屈服点 σ_s /MPa	抗拉强度 σ_b /MPa	冲击吸收功 (A_{KV})/J	伸长率 δ_5 /%	收缩率 φ /%	冷弯角 ($D=3S$)/(°)	标准			
产品												
试件												
评定标准												
试件无损检查项目 外观 ☐ MT ☐ PT ☐ RT ☐ UT												
试件理化性能试验项目												
项 目	拉 伸		弯 曲			冲击	金 相		硬度	化学分析		
	接头	全焊缝	面弯	背弯	侧弯		宏观	微观				
试样数量												
补充试验项目(不作考核)												
性能试验合格标准(按试件母材)												

要求完成日期: _____

制订 _____ 日期 _____ 校对 _____ 日期 _____

(3) 编制焊接工艺规程设计书 按照焊接工艺评定任务书提出的条件和技术要求编制焊接工艺规程设计书。设计书的格式与焊接工艺规程相似。但比较简单。在设计书中,原则上只要求填写所要评定的焊接工艺的所有重要参数,而焊接工艺的次要参数,尤其是操作技术参数可列也可不列,由编制者自行决定。但为便于正式焊接工艺规程的编制,大多数焊接工艺规程设计书都列出焊接工艺的次要参数,特别是那些对评定试板焊接质量有较大影响的次要参数。

(4) 编制焊接工艺评定试验执行计划 该执行计划的内容应包括为完成所列焊接工艺评定试验的全部工作,从试板备料、坡口加工、试板组焊、焊后热处理、无损探伤和理化检验等的计划进度、费用预算、负责单位、协作单位分工及要求。

(5) 评定试板的焊接 试板的焊接应由考试合格的熟练焊工,按焊接工艺规程设计书规定的各种工艺参数焊接。试板焊接过程中应监控并记录焊接工艺参数的实测数据。次要工艺参数一般可不作记录,如负责工艺评定试验的工程师认为有必要,也可记录试板焊接过程中各参数的实际使用范围,供编制正式焊接工艺规程时参考。如试板要求作焊后热处理,则应记录热处理过程中试板的实际温度和保温时间。如热处理设备装备自动温度记录仪,则可利用打印机记录纸的复印件。

(6) 评定试板的检验 焊接工艺评定试板原则上不作无损探伤,应在试板焊接后或焊后热处理之后直接取样。

对评定试板的检验项目,我国现行焊接工艺评定标准规定都要作无损探伤。而美国 ASME 锅炉与压力容器法规第九卷焊接工艺评定标准则不要求试板作无损探伤。作者认为,后者所以无此要求有三层含义,第一,焊接工艺评定试板的焊接,该标准规定应由考试合格的熟练焊工完成,按理,试板不应出现不容许的缺陷;第二,焊接工艺评定试验的主要目的是检验焊接接头的力学性能,耐蚀性和耐磨性等而不是检验焊接缺陷;第三,万一焊工因操作不当而引起焊接缺陷,则弯曲试样仍可发现各种焊接缺陷,同时该法规第 QW-163 条弯曲试样的合格标准中明确规定。弯曲过程中如发现未熔合、夹渣或其它内部缺陷,则该试样评为不合格。

评定试板的检验项目按接头的类别规定如下:

1) 开坡口对接接头 检验项目有拉伸和弯曲试验。弯曲试样分横向和纵向两种。横向弯曲还分面弯和背弯,当接头厚度大于 10mm 时,可用侧弯代替面弯和背弯。纵向弯曲试样还分面弯和背弯。

如产品技术条件要求焊接接头作冲击韧度试验,则焊接工艺评定试板亦应取焊缝金属和热影响区冲击试样。

2) 角接头 角接头原则上只作横剖面的宏观检查。

3) 电阻焊接头 电阻焊接头应作焊缝横剖面的宏观检查、剪切试验和剥离试验。

4) 螺柱焊接头 螺栓焊接头应作锤击或弯曲试验,扭转试验或拉伸试验以及螺柱接头横剖面的宏观金相检验。

5) 耐蚀堆焊层 耐蚀堆焊层应作表面着色探伤、弯曲试验和堆焊层的化学成分分析。

6) 耐磨堆焊层 耐磨堆焊层应作表面着色探伤、硬度测定、耐磨堆焊层接头横剖面宏观金相检查以及堆焊层的化学成分分析。

(7) 编写焊接工艺评定报告 完成下列所要求的试验项目,且试验结果全部合格后,即

可编写焊接工艺评定报告,其推荐格式参见表 3-6。焊接工艺评定报告的内容大体上分成两大部分。第一部分是记录焊接工艺评定试验的条件,包括试板材料牌号、类别号、接头形式、焊接位置、焊接材料、保护气体、预热温度、焊后热处理制度、焊接能量参数;第 2 部分是记录各项检验结果,其中包括拉伸、弯曲、冲击、硬度、宏观金相,着色试验和化学成分分析结果等。

表 3-6 焊接工艺评定书

编号 No _____		设计书编号 No _____									
评定项目 焊接方法 _____ 自动化等级 _____ 焊缝编号 _____ 技术标准 _____											
接头坡口形式		焊接层次(顺序)									
母材	检验编号 _____		钨极型号 _____ 直径 _____								
	牌 号 _____	规 格 _____ 类 别 _____									
化学成分 (%)	C	Si	Mn	P	S						
力学性能	σ_b /MPa	σ_s /MPa			δ_5 /%			A_K /J			
焊材	检验编号 _____										
	焊丝牌号 _____		焊丝规格 _____		焊丝型号 _____		焊剂牌号 _____				
化学成分 (%)	C	Si	Mn	P	S						
焊条	焊条牌号 _____		焊条规格 _____		焊条型号 _____		检验编号 _____				
熔敷金属 化学成分 (%)	C	Si	Mn	P	S						
保护气体 _____		流量 _____		其它气体 _____		流量 _____					
预热及焊后热处理 预热温度 _____ 层间温度 _____ 后热温度 _____ 时间 _____ 消氢温度 _____ 时间 _____ 中间热处理温度 _____ 时间 _____ 焊后热处理温度 _____ 时间 _____											

(续)

焊接工艺参数

 电流种类 _____ 极性 _____ 焊接电流 I _____ 电弧电压 U _____ 焊接速度 v _____

操作技术

性能检验结果

拉伸试验

检验报告编号 _____

试样编号	试样形式	σ_b /MPa	σ_s /MPa	断裂位置	

定向弯曲

检验报告编号 _____

试样编号	试样形式	弯轴直径/mm	弯曲角/ (°)	检验结果
		$d=a$		

冲击韧性试验

检验报告编号 _____

试样编号	缺口形式	缺口位置	试验温度/℃	A_K /J

硬度试验结果 (HV₁₀^①)

检验报告编号 _____

焊 缝	热 影 响 区	母 材

金相检验结果

检验报告编号 _____

宏 观	微 观	其 它 检 验

无损探伤检验结果

检验报告编号 _____

焊工 _____ 钢印号 _____ 焊工合格证号 _____

评定结论 合格

编 制	校 对	审 核	审 定
日 期	日 期	日 期	日 期

注：母材、焊丝、焊条中化学成分“%”均指该化学成分的质量分数（ω%）全稿同。

①HV₁₀表示试验力为98N，下同。

编写焊接工艺评定报告最重要的原则是如实记录,无论是试验条件和检验结果都必须是实测记录数据,并应有相应的记录卡和试验报告等原始证据。焊接工艺评定报告是一种必须由企业管理者代表签字的重要质保文件,也是技术监督部门和用户代表审核企业质保能力的主要依据之一。因此,编写人员必须认真负责,一丝不苟,如实填写,不得错填和涂改。报告应经有关人员校对和审核。

焊接工艺评定试验可能由于接头某项性能不符标准要求而失败。在这种情况下,首先应分析失败的原因,然后重新编制焊接工艺规程设计书,重复进行上述程序,直至评定试验结果全部合格。

2. 船舶结构焊接工艺评定程序^①

船舶结构焊接工艺评定工作已实行多年,已成为船舶建造中控制焊接质量的有效手段并积累了相当多的经验,已形成一套较完整的焊接工艺评定的程序。目前,各造船厂由于组织机构不一,工艺评定程序可能有一定差别,但以下基本评定程序是应共同遵循的:

1) 由造船厂设计所或有关技术部门根据产品的设计结构、材料、接头形式、所采用的焊接方法及钢板的厚度范围以及生产过程中焊接工艺的重大更改,提出焊接工艺评定项目并开列工艺评定试验申请单。

2) 由该厂焊接研究所或焊接技术部门,根据工艺评定项目申请单编写试验计划书送交验船师审批。同时开列下料清单,交监造师备料。

3) 工艺评定试验计划书经批准后,加工试板,领取试验用焊接材料。根据试验用料的检验号、炉批号和焊接材料检验号核对合格证或质保书。

4) 烘干焊接材料、组装试板,将试板编号。准备工作就绪后,请验船师到试验现场,在试板上打验船师钢印予以确认。焊接试验全过程由焊接工程师监督进行。试板焊完后请验船师检查焊缝外形,并对焊缝外形拍照存档。

5) 将焊接试板送无损探伤室检验,检验合格后,请验船师在探伤报告上签字确认。如检验不合格,则重焊试板。

6) 根据力学性能测试项目,在焊接试板上划试样线并编号。

7) 请验船师到场监督试板钢印转移到每只试样上的过程。

8) 将试样毛坯送理化试验所或试样加工单位,按要求加工试样。

9) 将面弯、背弯试样的受拉面作打磨,棱边按要求倒角。冲击试样加工过程中需二次请验船师监督钢印的转移。

10) 试样加工后,请验船师到理化试验室监督力学性能试验,试样试验后拍外观照片备案,力学性能试验报告送交验船师签字确认。

11) 各项检验和力学性能试验合格后,由负责工艺评定试验的焊接工程师编写焊接工艺评定报告,经校对、审核、会签和审定程序后,将评定报告送交验船师审批。

12) 工艺评定报告经审批后,该报告的正本存档,副本存焊接技术部门备查。同时应将焊接工艺评定试验报告交申请部门——造船设计所。

焊接工艺评定试板的检验结果中可能某项性能不会格,则应及时分析原因,与验船师协商,根据船规的要求重复取样。若因工艺、材料等因素造成工艺评定失败,则应向造船设计

^① 本节由江南造船(集团)公司黄海谷、张林同志编写。

所及时反馈信息,重复上述试验程序,调整工艺参数后重焊试板,直至工艺评定试验的所有项目全部合格。

随着船舶新产品的不断开发,焊接工艺评定项目将日见增多,对焊接工艺评定的科学管理也会提出更高的要求。为简化检索程序,缩短核查时间,应将评定报告的内容,包括报告编号、项目名称、焊接方法、钢号及厚度、接头形式、焊接材料等输入计算机。编制出一份报告总目录,以备有关人员查阅并提供质量管理部门随时审查。

4 焊接工艺评定规则

焊接工艺评定工作是企业重要的质保活动,因此必须规范化。我国已制定了多种焊接工艺评定标准,它们是《蒸汽锅炉安全技术监察规程》,部颁标准 JB4420—89《锅炉焊接工艺评定》,JB4708—89《钢制压力容器焊接工艺评定》以及 JB/T6963—93《钢制件熔化焊工艺评定》(参见本书附录 A 焊接工艺评定标准内容对比)。这些标准基本上都是按照美国 ASME 锅炉与压力容器法规第九卷《焊接与钎焊评定》编制的。基于国内专业技术标准将逐渐与国际标准接轨,本节所述的焊接工艺评定规则,其主要根据是美国 ASME 锅炉与压力容器法规第九卷“焊接与钎焊评定”的有关规定,以及适用于普通钢结构的美 国 AWS D1.1—96“钢结构焊接法规”有关章节的规定。

4.1 锅炉与压力容器焊接工艺评定规则

锅炉与压力容器的焊接工艺评定立项的必要性,原则上按焊接工艺重要参数来确定。任何一种重要参数不同于原焊接工艺规程的规定,或其变化超过了法规所容许的范围都必须作相应的焊接工艺评定试验。焊接工艺评定项目以接头形式分类,并以下列三种基本接头形式作为评定试件的接头形式,其包容了产品结构中可能出现的各种接头形式。

1) 开坡口全焊透对接接头,可用于评定所有开坡口的全焊透对接接头和角接接头,包括开坡口的全焊透 T 形接头。

2) 开坡口局部焊透对接接头,可用于评定所有开坡口的局部焊透对接接头和角接接头,包括开坡口局部焊透的 T 形接头。

3) 不开坡口的角接接头,可用于评定所有不开坡口的角接接头,包括接管与筒体的角焊缝。

在锅炉与压力容器制造中,制造法规并不对产品结构上的所有焊缝提出焊接工艺评定的要求,而只有下列焊缝必须作焊接工艺评定试验。

1) 在焊接受压部件上各种形式的接头。

2) 在非受压承载焊接部件上的各种形式的接头,如与受压部件相接的所有永久性或临时性吊耳和加强板连接的焊缝。

3) 非受压且基本不承载的部件(如加大换热面的附件——鳍片、绝热层支撑销钉等)与受压部件相接的焊缝按下列原则确定:

①如采用手工、或机械化焊接方法,应作角焊缝焊接工艺评定试验。

②如采用全自动焊接方法,则不必作焊接工艺评定。

按焊接工艺重要参数确定焊接工艺评定立项的规则,分述如下:

1. 焊接方法

从一种焊接方法改用另一种焊接方法,应作焊接工艺评定试验。适用于锅炉与压力容器的焊接方法有:气焊、焊条电弧焊、埋弧焊、熔化极气体保护焊、钨极气体保护焊、等离子弧焊、电渣焊、激光焊、电子束焊、闪光对接焊、感应加热压力焊、电阻焊、铝热压焊、气压焊、惯性及连续驱动摩擦焊、螺柱电弧焊和螺柱电阻焊。

在实际焊件的同一条焊缝上,如采用两种或两种以上不同的焊接方法,或不同的重要工艺参数焊接时,则可按每种焊接方法所焊的母材,金属厚度分别对试件进行焊接工艺评定。也可以实际焊件焊缝拟使用的组合焊接方法或焊接工艺焊接同一付工艺评定试件。但每一种焊接方法,或焊接工艺所焊的焊缝金属厚度均应满足能取出所要求的拉伸和弯曲试样的要求。

对于焊条电弧焊、钨极气体保护焊、熔化极气体保护焊、等离子弧焊和埋弧焊,或这些方法的组合,如已完成的焊接工艺评定采用厚度大于 13mm 的试件,则该焊接工艺评定报告可与另一种焊接方法的工艺评定报告联用于同一条实际焊件的焊缝,包括根部焊道。

2. 母材金属类别

在锅炉与压力容器中所用母材金属的种类繁多,如以母材金属的钢号或材料的牌号进行评定,则评定的工作量十分大,且无此必要性。为了减少这种无实际意义的重复评定,美国 ASME 法规的作法是,将法规认可的标准材料,按其化学成分,力学性能和焊接性加以分类,即将合金成分相近、强度级别和焊接性接近的材料归入一类,并标以 P 分类号。在同一类母材金属中,又按强度和冲击韧度的等级进行分组,并将分组号标在分类号的后面,例如 SA106-A 碳钢属于第 1 类第 1 组,其分类组别号的表示方法为 P1-1。最新版的 ASME 法规已将在锅炉和压力容器使用的近 1000 种钢材分成 23 类 52 组。这种对母材金属的分类是以大量的材料焊接性试验和焊接工艺试验数据以及多年的实际生产经验为基础的。因此,列于同一类的各种母材金属,如拟采用的焊接工艺规程中,其它的焊接工艺重要参数相同或在容许范围之内,则采用某种母材金属完成的焊接工艺评定也适用于同一类母材中的其它牌号材料。换句话说,同一类母材金属的焊接工艺评定报告可互相通用。例如 SA106-B 和 SA-36 碳素结构钢同属于 P-1 类,如采用相同的焊接方法、焊接材料以及相近的焊接工艺参数进行焊接,且焊件厚度在工艺评定标准容许的范围之内,则 SA-36 钢的焊接工艺规程可以根据已完成的 SA-106-B 钢的焊接工艺评定报告来编写,而不必对 SA-36 钢再作一次焊接工艺评定试验。表 3-7 列出了美国 ASME 法规第九卷焊接工艺评定标准中典型钢种的分类分组实例。表 3-8 具体规定了各类母材金属相互组焊时,工艺评定试件所用母材与所评定的母材类别之间的通用原则。

表 3-7 焊接工艺评定中母材的分类示例

P-No 分 类号 No	组别号 No	钢材 标准号	型号或 钢号	统一编号	产品形式	最低标准抗拉 强度/(ksi)①	合金系统	备 注
1	1	SA-106	A	K02501	无缝管	48	C-Si	
1	1	SA-106	B	K03006	无缝管	60	C-Si	
1	1	SA-36	—	K02600	板材	58	C-Mn-Si	
1	2	SA-106	C	K03501	无缝管	70	C-Si	
1	2	SA-299	—	K02803	板材	75	C-Mn-Si	
1	2	SA-508	1a	—	锻件	70	C-Mn-Si	
1	3	SA-333	10	—	无缝管	80	C-Mn-Si	
1	3	SA-537	CL. 2	K02400	板材	70~80	C-Mn-Si	
1	3	SA-672	D80	K02400	板材	80	C-Mn-Si	

(续)

P-No 分 类号№	组别号 №	钢材 标准号	型号或 钢号	统一编号	产品形式	最低标准抗拉 强度/(ksi)①	合金系统	备 注
3	1	SA-213	T2	K11547	无缝管	60	0.5Cr-0.5Mo	
3	1	SA-335	P1	K11547	无缝管	55	C-0.5Mo	
3	1	SA-387	Gr. 2 CL. 1	K12143	板材	55	0.5Cr-0.5Mo	
3	2	SA-204	B. C	K12020	板材	70	C-0.5Mo	
3	2	SA-672	H75	K12021	有缝管	75	Mn-0.5Mo	
3	3	SA-302	C	K12039	板材	80	Mn-0.5Mo-0.5Ni	
3	3	SA-533	B-2	K12539	板材	90	Mn-0.5Mo-0.5Ni	
3	3	SA-508	CL. 2	K12766	锻件	80	0.75Ni-0.5Mo-0.3Cr-V	
3	3	SA-672	H80	K12022	有缝管	80	Mn-0.5Mo	
4	1	SA-202	A	K11742	板材	75	0.5Cr-1.25Mn-Si	
4	1	SA-213	T12	K11562	无缝管	60	1Cr-0.5Mo	
4	1	SA-335	P11	K11597	无缝管	60	1.25Cr-0.5Mo-Si	
4	1	SA-387	11-2	K11789	板材	75	1.25Cr-0.5Mo-Si	
4	2	SA-423	I	K11535	无缝及有缝管	60	0.75Cr-0.5Ni-Ca	
4	3	A-668	K6	—	锻件	100	C	
5	1	SA-182	F3V	K31830	锻件	85	3Cr-1Mo-0.25V	
5A	1	SA-182	F21	K31545	锻件	75	3Cr-1Mo	
		SA-213	T22	K21590	无缝管	60	2.25Cr-Mo	
		SA-387	21-1	K31545	板材	60	3Cr-1Mo	
5B	1	SA-182	F5	K41545	锻件	70	5Cr-0.5Mo	
		SA-335	P9	K81590	无缝管	60	9Cr-1Mo	
	2	SA-182	F91	—	锻件	85	9Cr-1Mo-V	
		SA-199	T91	—	无缝管	85	9Cr-1Mo-V	
		SA-335	P91	—	无缝管	85	9Cr-1Mo-V	
		SA-387	91-2	—	板材	85	9Cr-1Mo-V	
5C	1	SA-336	F3V	K31830	锻件	85	3Cr-1Mo-0.25V	
		SA-542	C-4	K31545	板材	85	3Cr-1Mo	
	3	SA-542	B-3	K21590	板材	95	3Cr-1Mo	
	4	SA-542	A-1	K21590	板材	105	2.25Cr-1Mo	
	5	SA-542	C-2	K31545	板材	115	3Cr-1Mo	
6	1	SA-268	TP410	S41000	无缝管	60	13Cr	
	2	SA-182	F429	S42900	锻件	60	15Cr	
		SA-240	Type429	S42900	板材	65	15Cr	
	3	SA-182	F66	S41026	锻件	110	13Cr-0.5Mo	
		SA-217	CA15	J91150	铸件	90	13Cr	
	4	SA-182	F6NM	S41500	锻件	115	13Cr-4.5Ni-Mo	
		SA-240	—	S41500	板材	115	13Cr-4.5Ni-Mo	
		SA-487	CA6NM-B	J91540	铸件	100	13Cr-4Ni	

(续)

P-No 分 类号 No	组别号 No	钢材 标准号	型号或 钢号	统一编号	产品形式	最低标准抗拉 强度/(ksi)①	合金系统	备 注
7	1	SA-268	TP405	S40500	无缝管	60	12Cr-1Al	
	2	SA-182	F430	S43000	锻件	60	17Cr	
		SA-240	Type439	S43035	板材	65	17Cr-Ti	
8	1	SA-213	TP304	S30400	无缝管	75	18Cr-8Ni	
		SA-213	TP316	S31600	无缝管	75	16Cr-12Ni-2Mo	
		SA-240	Type317L	S31703	板材	75	18Cr-13Ni-3Mo	
	2	SA-213	Type309H	S30909	无缝管	75	23Cr-12Ni	
		SA-240	Type310S	S31008	板材	75	25Cr-20Ni-S	
	3	SA-213	TP201	S20100	无缝管	95	17Cr-4Ni-6Mn	
		SA-240	Type202	S20200	板材	90	18Cr-5Ni-9Mn	
		SA-358	XM-19	S22100	有缝管	100	22Cr-13Ni-5Mn	
	4	SA-213	S31725	S31725	无缝管	75	19Cr-15Ni-4Mo	
9A	1	SA-203	A	K21703	板材	65	2.5Ni	
9B	1	SA-203	E	K32018	板材	70	3.5Ni	
9C	1	SA-352	1-C4	J41500	铸件	70	4.5Ni	
10A	1	SA-225	C	K12524	板材	105	Mn-0.5Ni-V	
		SA-487	1-A	J03004	铸件	85	Mn-V	
10B	1	SA213	T17	K12047	无缝管	60	1Cr-V	
10C	1	SA612	—	K02900	板材	81	C-Mn-Si	
10F	1	SA487	2-A	J13005	铸件	85	Mn-0.25Mo-V	
10H	1	SA240	S31200	S31200	板材	700	25Cr-6Ni-Mo-N	
10I	1	SA240	S44635	S44635	板材	90	25Cr-4Ni-4Mo-Ti	
10J	1	SA240	S44700	S44700	板材	80	29Cr-4Mo	
10K	1	SA240	S44800	S44800	板材	80	29Cr-4Mo-2Ni	
11A 11B	1	SA-333	8	K81340	管材	100	9Ni	
		SA-353	—	K81340	板材	100	9Ni	
	2	SA-645	—	K41583	板材	95	5Ni-0.5Mo	
	3	SA487	4-B	J13047	铸件	105	0.5Ni-0.5Cr-0.25Mo-V	
	4	SA533	B-3	K12539	板材	100	Mn-0.5Mo-0.5Ni	
	5	SA543	B-3	K42338	板材	90	3Ni-1.75Cr-0.5Mo	
	1	SA517	A	K11856	板材	105	0.5Cr-0.25Mo-Si	
	2	SA517	E	K21604	板材	115	1.75Cr-0.5Mo-Cu	
	3	SA517	F	K11576	板材	105	0.75Ni-0.5Cr-0.5Mo-V	
	4	SA517	B	K11630	板材	105	0.5Cr-0.2Mo-V	
	5	A514	O	K11662	板材	110	1Cr-0.2Mo-Si	
	6	SA517	J	K11625	板材	105	C-0.5Mo	
	8	SA517	P	K21650	板材	105	1.25Ni-1Cr-0.5Mo	
	9	A514	Q	—	板材	100-110	1.3Ni-1.3Cr-0.5Mo-V	
	10	SA543	B-2	K42338	板材	115	3Ni-1.75Cr-0.5Mo	

① ksi 为 klbf/in 的缩写, 1klbf/in=6.89476kPa, 下同。

表 3-8 工艺评定试件母材类别及评定所通用的母材类别

工艺评定试件所用母材	评定所通用的母材
某一 P-No 的材料与相同 P-No 的任何一种材料相焊	该 P-No 所属的任一种材料间的接头
某一 P-No 的材料与另一种 P-No 的任何一种材料相焊	第一种 P-No 所属的任一种材料与第二种 P-No 所属的任一种材料
P-3 类的某一种钢材与 P-3 类任一种钢材相焊	P-3 类所属任何一种钢材与 P-3 或 P-1 类所属任一种钢材
P-4 类的某一种钢材与 P-4 类的任一种钢材相焊	P-4 类所属任何一种钢材与 P-4、P-3 或 P-1 类所属任一种钢材间的接头
P-5A 类的某一种钢材与 P-5A 类的任一种金属相焊	P-5A 类所属任何一种钢材与 P-5A、P-4、P-3、P-1 类所属的任一种钢材间的接头
P-5A、P-4、P-3 类任一种钢材与 P 类别号较小的任一种钢材相焊	P-5A、P-4、P-3 类所属任一种钢材与类别号较小的任一种钢材间的接头
任一种未纳标归类的材料与相同的未归类材料相焊	该种未纳标归类的材料与其本身相焊
任一种未纳标归类的材料与任一种 P-No 类材料相焊	该种未纳标归类的材料与相同 P-No 的任一种材料相焊
任一种未纳标归类的材料与另一种未纳标归类的材料相焊	第一种未纳标归类的材料与第二种未纳标归类的材料相焊

由于我国的材料系列与美国材料系列存在很大的差别,且尚未推行法规材料的认可体制,因此很难直接引用美国 ASME 法规节九卷所列的材料分类表。如果设计图样中规定采用 ASME 法规材料,则完全可按表 3-8 所列的材料分类通用原则,确定焊接工艺评定立项的必要性。

当采用国产标准材料时,可按上述原则并对照 ASME 法规相近钢种的化学成分和强度级别,将国产标准材料进行分类分组。以上列举的我国焊接工艺评定标准都对国产钢材的分类作了探索和尝试,但有的不够全面,有的不符合分类原则。因为从焊接工艺评定角度对材料分类是一项十分复杂和细致的工作,而且需要积累大量基础资料才能达到完整、正确。在现阶段,对于已掌握大量实验数据并积累多年生产经验的常用钢种,可以做到较正确的分类和分组。对于有关数据尚不充分,生产经验不足的钢种和材料,则要求在焊接工艺评定之前完成必要的焊接性试验。在掌握较充分的实验资料后,将其逐步归类。

3. 母材金属的厚度和焊缝金属厚度

母材金属和焊缝金属的厚度在一定程度上决定了接头的性能。这一方面是因为,随着厚度的增加,母材本身的强度性能会发生变化;另一方面焊接区的冷却速度决定于接头的壁厚,壁厚越大,冷却速度越快,接头强度性能越高。因此,对于特定的焊接工艺参数,母材或焊缝金属的厚度有一定的适用范围。适用范围的大小与所采用的焊接方法有关。对于常用焊接方法,如焊条电弧焊、钨极氩弧焊、熔化极气体保护焊和埋弧焊等,开坡口对接接头试板评定结果可适用于母材厚度为试板厚度 2 倍的产品接头。而角焊缝的评定试验结果,则可适用于所有母材厚度和所有角焊缝尺寸。

在下列情况下,焊接工艺评定的母材厚度适用范围减小到试板厚度的 1.1 倍。

- 1) 单道焊或多道焊焊缝,每层焊道的厚度大于 13mm 时。
- 2) 采用短路过渡熔化极气体保护焊,且评定试板的厚度小于 13mm 时。
- 3) 试件焊后热处理的温度超过上临界转变温度时。

对于焊条电弧焊、埋弧焊、钨极气体保护焊和熔化极气体保护焊多道焊缝，当接头厚度大于 200mm 时，焊接工艺评定适用的母材厚度范围为试件厚度的 1.33 倍。

对于不等厚对接接头，焊接工艺评定的母材厚度适用范围按下列规定处理：

1) 对接接头中较薄组件的厚度应符合上述适用范围。

2) 对接接头中，较厚组件的厚度对于不要求缺口冲击韧度的材料，其最大厚度不受限制。对于要求缺口冲击韧度的材料，较厚组件的厚度应在上述范围之内。如焊接工艺评定试件的厚度大于 38mm，则其最大厚度亦可不受限制。

4. 焊接填充金属

按美国 ASME 法规第九卷的规定，焊接填充金属与母材金属相似，可以按材料的类别、合金成分、强度等级和品种等归类。按焊接填充金属的品种和标准号、焊条药皮类型、焊丝-焊剂组合，可将碳钢和合金钢焊接填充金属分成 6 类，铝及铝合金焊材分成 4 类，铜和铜合金焊材归成 1 类，并标以 F-No 分类号，详见表 3-9。对于各种钢材的焊接填充金属可按焊缝金属的化学成分分成表 3-10 所示的 12 类，并标以 A-No 分类号，填充金属的分类与母材金属的分类相似，其目的在于减少焊接工艺评定的工作量。即属于同一类的焊接填充金属可以相互通用。采用属于某种 F-No 或 A-No 焊接填充金属完成的焊接工艺评定报告适用于相同 F-No 或 A-No 类所属任一种焊接填充金属。

表 3-9 各种焊接填充金属的分类 (F-No)

类别号 F-No	ASME 标准号	AWS 型 号
	碳钢和合金钢	
1	SFA-5.1 及 5.5	E××20, E××24, E××27, E××28
2	SFA-5.1 及 5.5	E××12, E××13, E××14
3	SFA-5.1 及 5.5	E××10, E××11
4	SFA-5.1 及 5.5	E××15, E××16, E××18, E××48
4	SFA-5.4 (奥氏体钢除外)	E××15, E××16
5	SFA-5.4 (奥氏体钢)	E××15, E××16
6	SFA-5.2	R×
6	SFA-5.17	F××-E××
6	SFA-5.9	ER××
6	SFA-5.18	ER××S-×
6	SFA-5.20	E××T-×
6	SFA-5.22	E×××T-×
6	SFA-5.23	F××-E×××-×, F××-EC×××-×及 F××-F×××-×N, F××-EC×××-×N
6	SFA-5.25	FES××-E×××××-EW
6	SFA-5.26	EG××T×××
6	SFA-5.28	ER-×××-×及 E-×××-×
6	SFA-5.29	E××T×-×
6	SFA-5.30	IN××××

(续)

类别号 F-No	ASME 标准号	AWS 型 号
	铝及铝合金	
21	SFA-5.10	ER1100
22	SFA-5.10	ER5554, ER5356, ER5556, ER5183, ER5654
23	SFA-5.10	ER4043, ER4047, ER4145
24	SFA-5.10	R-SC51A, R356.0
	铜及铜合金	
31	SFA-5.6	E Cu
31	SFA-5.7	ER Cu
31	SFA-5.27	ER Cu

表 3-10 各种钢材焊缝金属化学成分的分类 (A-No)

类别号 A-No	熔敷金属种类	化学成分(质量分数)% ^①					
		C	Cr	Mo	Ni	Mn	Si
1	低碳钢	0.15	—	—	—	1.60	1.00
2	碳-铝钢	0.15	0.50	0.40~0.65	—	1.60	1.00
3	铬(w_{Cr} 0.4%~2%)钢	0.15	0.40~2.00	0.40~0.65	—	1.60	1.00
4	铬(w_{Cr} 2.0%~6%)钢	0.15	2.0~6.0	0.40~1.50	—	1.60	2.00
5	铬(w_{Cr} 6%~10.5%)钢	0.15	6.0~10.50	0.40~1.50	—	1.20	2.00
6	马氏体铬钢	0.15	11.0~15.0	0.70	—	2.00	1.00
7	铁素体铬钢	0.15	11.00~30.00	1.00	—	1.00	3.00
8	铬-镍钢	0.15	14.50~30.00	4.00	7.50~15.00	2.50	1.00
9	铬-镍钢	0.30	25.0~30.0	4.0	15.0~37.0	2.50	1.00
10	4 镍钢(w_{Ni} 4%以下)	0.15	—	0.55	0.8~4.00	1.70	1.00
11	锰钢	0.17	—	0.25~0.75	0.85	1.25~2.25	1.00
12	镍-铬-铝钢	0.15	1.50	0.25~0.80	1.25~2.80	0.75~2.25	1.00

① 单一值为最大值。

在焊接填充金属方面沿用美国 ASME 法规的分类原则我国已具备了一定的有利条件。如焊条电弧焊用药皮焊条, 气体保护焊用焊丝以及埋弧焊用焊丝及焊剂等新国标已等效采用美国 AWS 相应的标准。目前还有埋弧焊和电渣焊用焊丝尚未制定新国标, 一旦等效采用美国 AWS 埋弧焊和电渣焊焊丝标准的新国标问世, 则可完全采用美国 ASME 法规的焊接填充金属分类法, 从而进一步简化焊接工艺评定工作。

我国现行几种焊接工艺评定标准中对焊接填充金属的规定差异较大, 与美国 ASME 法规相比, 过于严格, 大多以焊接填充金属牌号作为确定焊接工艺评定立项必要性的依据。在这种情况下, 作者认为, 一种较合理的办法是凡是已等效采用美国 AWS 相应标准的焊接填充材料, 可按 ASME 法规的规定加以归类和编号, 并按照 F 和 A 分类号对焊接填充金属进行焊接工艺评定, 而对于尚未等效采用美国 AWS 相应标准的焊接填充材料, 则暂按焊接填充材料的

牌号进行评定。

关于各种焊接方法所用焊接填充材料可能产生的变化详见 5.2 节。

5. 预热和焊后热处理

预热温度可以看作焊接能量参数，它直接决定焊接接头的冷却速度，对接头的力学性能产生一定的影响，在防止接头冷裂方面起重要作用。当预热温度比原定的预热温度降低 50℃ 以上时，需作焊接工艺评定试验。对于某些钢材，过高的层间温度会降低接头的强度和冲击韧度。如最高层间温度比原定层间温度高 50℃ 以上，则看作超过容许的范围，而必须作焊接工艺评定。如焊接接头焊后需作上临界转变温度以上的热处理，或奥氏体材料焊后需作固溶处理，则最高层间温度不受限制。

对于碳钢和低合金钢焊接接头，如需作下列焊后热处理，则应分别作焊接工艺评定：

- 1) 由焊后热处理改成不作热处理。
- 2) 在下临界转变点以下温度的焊后热处理。
- 3) 在上临界转变点以上温度的焊后热处理。
- 4) 在上临界转变点以上温度焊后热处理加下临界转变点以下温度的热处理，如正火+回火或淬火+回火。
- 5) 在上下临界转变点之间的焊后热处理。

对于其它材料还包括在特定温度范围内的焊后热处理。

在焊后热处理过程中，热处理温度和保温时容许变化的范围视所处理的材料特性而定。通常热处理温度和保温时间的变化不应超过原定热处理温度和保温时间的 $\pm 20\%$ 。在焊接工艺评定试验中，试板的焊后热处理保温时间不得少于产品实际热处理总保温时间的 80%。

6. 气体

在使用燃气和保护气体的焊接方法中，出现下列情况之一时，则需作焊接工艺评定：

- 1) 气焊时，改变燃气的种类，例如从乙炔改成丙烷。
- 2) 气体保护焊时，改变单一保护气体的种类，或由单一的保护气体改成混合气体，或改变混合气体的配比，或取消保护气体（如采用自保护药芯焊丝）。
- 3) 焊接铬合金钢（包括含铬低合金钢）时，取消背面成形气体，或将其从惰性气体改成活性气体。
- 4) 焊接铬含量较高 ($w_{Cr} > 2.25\%$) 的合金钢时，取消拖罩保护气，或改变拖罩保护气成分，或减少拖罩保护气流量 10% 以上。
- 5) 等离子弧焊时，除考虑以上变化外，如离子气和保护气的成分和流量改变，流量改变的容许范围视所焊材料而定，一般不应大于 10%。
- 6) 电子束焊接时，焊接环境从真空改成惰性气体保护或反之。

7. 电参数

对于焊条电弧焊、埋弧焊、熔化极气体保护焊、钨极氩弧焊、等离子弧焊、气电立焊等焊接方法，电参数被看作是补加的重要参数，它主要对接头的冲击韧度产生较大的影响。当出现下列情况之一时，须作焊接工艺评定。

- 1) 焊接热输入或单位焊缝长度上熔敷焊缝金属体积的增加超过原评定的极限值，其容许偏差范围视所焊材料特性而定。在焊接对热输入热不敏感的材料（如碳钢和低合金钢）时，热输入容许变化范围为 20%，而对热输入较敏感的材料（如低合金调质钢、奥氏体不锈钢等），

热输入容许偏差的上限为 10%。

2) 焊接电流种类和极性的改变。熔化极气体保护焊时, 熔滴过渡形式的变化为重要参数, 即从喷射过渡、熔滴过渡或脉冲喷射过渡改成短路过渡或反之。

采用上列各种焊接方法堆焊时, 堆焊第一层的热输入或单位焊缝长度上熔敷金属的体积为重要参数, 其容许偏差的上限为 10%。即热输入的变化超过原评定热输入上限值的 10%, 需作焊接工艺评定。

电渣焊接时, 焊接电流或热输入的变化超过原评定值的 $\pm 15\%$ 为重要参数。

电子束焊接时, 下列电参数的改变均视作重要参数的变化:

- 1) 电子束流强度的变化超过 $\pm 5\%$ 。
- 2) 电子束电压的变化大于 $\pm 2\%$ 。
- 3) 焊接速度的变化超过 $\pm 2\%$ 。
- 4) 电子束聚焦电流的变化大于 $\pm 5\%$ 。
- 5) 电子枪与焊件距离的变化超过 $\pm 5\%$ 。
- 6) 电子束摆动长度或宽度的变化大于 $\pm 20\%$ 。
- 7) 电子束脉冲频率的任何变化。

激光焊接时, 下列重要电参数超过原评定值, 则需作焊接工艺评定:

- 1) 激光束脉冲频率和脉冲宽度的任何变化。
- 2) 由脉冲激光焊改成连续激光焊。
- 3) 激光束能量密度和透镜焦距的改变。

4) 激光束功率变化大于 2%; 焊接速度的变化大于 2%, 光点尺寸变化大于 2%, 透镜与焊件距离的变化大于 5%。

螺柱焊接时, 电参数发生下列变化则视作重要参数:

- 1) 燃弧时间改变大于 $\pm 1/10s$ 。
- 2) 焊接电流变化大于 $\pm 10\%$ 。
- 3) 焊接电源从一种型号改成另一种型号。

电阻焊接时, 需考虑的重要电参数如下:

- 1) 电极形状或尺寸的变化以及电极材料从一种类型改成另一种类型。
- 2) 增加或取消电流递增或衰减, 或者电流递增或衰减的时间或幅值的变化超过 10%。

3) 电极压力、焊接电流或焊接周期时间的变化大于 5%。如上列三参数中只有一个参数有变化, 其余两个参数保持在原评定的范围内, 则该参数的变化容许超过 10%。

4) 焊接电源从交流改成直流或相反; 直流电源增加或取消脉冲电流。当采用脉冲直流电时, 脉冲幅值、宽度或脉冲频率的变化超过 5%。

5) 从同步定时改成非同步定时。

8. 操作技术

对于几种常用的电弧焊方法, 操作技术参数绝大多数为次要参数。但在埋弧焊、熔化极气体保护焊, 钨极氩弧焊和等离子弧焊中, 从多道焊改成单道焊以及由单丝改成多丝, 这些参数应作为补加重要参数, 因其将影响接头的冲击韧度。等离子弧焊时, 从熔透型技术改为锁孔型技术或反之, 亦作为补加重要参数。对于一些特殊的焊接方法, 操作技术参数可能上升为重要参数。

在电渣焊和气电立焊中,焊丝摆动宽度、摆动频率,或焊丝在两侧的停留时间以及由单丝改为多丝应看作是重要参数。因为这些参数的变化会改变或增大焊接热输入而明显改变接头的力学性能。

在电子束焊、激光焊、电阻焊、摩擦焊以及螺柱焊中,操作技术参数大部分是重要参数。

在电子束焊和激光焊中,重要的操作技术参数有:

- 1) 束流摆动参数的变化。
- 2) 束流轴线相对于焊件倾角的变化。
- 3) 焊道表面增加修饰焊道。
- 4) 从单面焊改成双面焊或反之。

在电子束焊中,真空室的绝对压力增大超过原评定的上限值以及电子枪丝极形状和尺寸的变化亦为重要参数。在激光焊中由单道焊改为多道焊也是重要参数。

在电阻焊中,下列操作技术参数为重要参数:

- 1) 焊前或焊后挤压力的变化超过 10%。
- 2) 电极压紧时间的变化大于 10%。
- 3) 焊前母材金属清理方法的改变,例如从机械清理改成化学清理或改成浸蚀清理或反之。
- 4) 从一种电阻焊形式改成另一种形式,或改进电阻焊设备,包括制造厂名的变换、控制盘、型号、电功率、电源种类或加压方法的改变。

在摩擦焊中,重要的操作技术参数有:

- 1) 焊件外表面的线速度变化超过原评定外表面线速度值的 $\pm 10\%$ 。
- 2) 挤压力的变化超出原评定值的 $\pm 10\%$ 。
- 3) 旋转能量的变化超出原评定值的 $\pm 10\%$ 。
- 4) 顶锻量的变化超过原评定值的 $\pm 10\%$ 。

在螺柱焊中,螺柱焊枪型式改变以及螺柱提升高度变化大于 $\pm 0.8\text{mm}$ 。

4.2 钢结构焊接工艺评定规则

至今,我国尚未专为钢结构制定焊接工艺评定标准。现代钢结构正向大型化、重型化承载结构发展,因此在钢结构元件、组件和部件投产之前以及整体组焊之前完成相应的焊接工艺评定是十分必要的。在美国,早在 1928 年,AWS 编制出版了“建筑结构熔焊和气割法规”,以后几经修改演变成包括动载结构在内的“钢结构焊接法规”。下述钢结构焊接工艺评定规则主要根据美国 AWS 钢结构焊接法规 ANSI/AWS D1.1-96 最新版的有关规定。

按照 AWS“钢结构焊接法规”,可将焊接工艺规程分成两大类:一类是免作评定的焊接工艺规程,或称通用焊接工艺规程,只要规程的各项内容均在法规规定的范围之内,则该焊接工艺规程可以免作焊接工艺评定试验。另一类焊接工艺规程,必须按法规的有关规定作焊接工艺评定试验,以证明该工艺规程的正确性。这类焊接工艺规程规定的各重要工艺参数只要有一项超出了法规容许的范围,必须重作焊接工艺评定。

1. 通用焊接工艺规程的限定条件

钢结构制造厂或承包商所编制的焊接工艺规程如符合下列条件,可以将该焊接工艺规程列为通用焊接工艺规程而免作焊接工艺评定。

- (1) 焊接方法 可以免作焊接工艺评定的通用焊接方法有焊条电弧焊、埋弧焊、熔化极

气体保护焊（短路过渡熔化极气体保护焊除外）和药芯焊丝气体保护焊。法规容许采用其它焊接方法。但必须经过焊接工艺评定试验。

(2) 母材金属和填充金属 AWS 法规明确规定，如所制造的钢结构，采用表 3-11 所列的 52 种牌号的钢材和相匹配的标准焊接填充金属，则可免作焊接工艺评定。这些钢种的抗拉强度范围为 310~620MPa，基本上可满足各种钢结构的需要，这些钢号均符合美国相应的钢材标准，并为 AWS 所认可。所列的焊接填充材料均为 AWS 标准焊接材料，相应的标准编号为：焊条电弧焊药皮焊条 AWS A5.1 或 A5.5；埋弧焊焊剂和焊丝 AWS A5.17 或 A5.23；熔化极气体保护焊焊丝 AWS A5.18；药芯焊丝 AWS A5.20 或 A5.29。

表 3-11 免作评定及强度匹配的母材-填充金属组合

类别	钢材标准要求			填充金属要求		
	钢号 ^{①②}	最低屈服点	抗拉强度	焊材标准号及型号 ^{③④}	σ_s /MPa	σ_b /MPa
		MPa	MPa			
I	ASTM A36 ^⑤	250	400~550	焊条(手工)电弧焊		
	ASTM A53-B	240	415(min)	AWSA5.1 或 A5.5 ^⑥		
	ASTM A106-B	240	415(min)	E60××	345	425(min)
	ASTM A131-A,B,CS,D DS,E	235	400~490	E70××	415	495(min)
				E70××-×	390	480(min)
	ASTM A139-B	241	414(min)	埋弧焊		
	ASTM A381-Y35	240	415(min)	AWSA5.17 或 A5.23 ^⑦		
	ASTM A500-A -B	228	310(min)	F6××-E×××	330	415~550
		290	400(min)	F7××-E×××或	400	485~660
	ASTM A501	250	400(min)	F7××-E××-××		
	ASTM A516-55 -60	205	380~515	熔化极气体保护焊		
		220	415~550			
	ASTM A524-I -1	240	415~586			
		205	380~550	AWS A5.18		
	ASTM A529	290	415~585	ER70S-×	415	495(min)
		205	340(min)	药芯焊丝电弧焊		
	ASTM A570-30	205	340(min)			
	ASTM A570-33	230	360(min)			
	ASTM A570-36	250	365(min)			
	ASTM A570-40	275	380(min)		345	425(min)
	ASTM A570-45	310	415(min)		415	495(min)
	ASTM A570-50	345	450(min)			
	ASTM A573-65	240	450~530			
	ASTM A573-58	220	400~490		400	490~620
	ASTM A709-36 ^⑧	250	400~550			
	API5L-B -X42	240	415			
		290	415			
	ABS-A,B,D,CS,DS	—	400~490			
	ABS-E		400~490			

(续)

类别	钢材标准要求			填充金属要求		
	钢号 ^{①②}	最低屈服点	抗拉强度	焊材标准号及型号 ^{③④}	σ_s /MPa	σ_b /MPa
		MPa	MPa			
I	ASTM A131-AH32,DH32	315	470~585	焊条电弧焊		
	EH32			AWS A5.1 或 A5.5 ^⑤		
	H36,DH36,EH36	350	490~620	E7015,E7016		
	ASTMA441	275~345	415~485	E7018,E7028	415	495(min)
	ASTMA516-65	240	450~585	E7015-X,E7016-X	390	480(min)
	-70	260	485~620	E7018-X		
	ASTMA537-1	310~345	450~620	埋弧焊		
	ASTMA572-42	290	415min	AWSA5.17 或 A5.23 ^⑥		
	ASTM A572-50	345	450min	F7×X-E×X×X 或 F7×X-E×X-X×X	400	485~660
	ASTM A588(100mm 以下)	345	485min	熔化极气体保护焊		
	ASTM A595-A	380	450min	AWS A 5.18 ^⑦	415	495(min)
	-B,-C	415	480min	ER70S-X		
	ASTM A-606	310~340	450min			
	ASTM A607-45	310	410min	药芯焊丝电弧焊		
	-50	345	450min			
	-55	380	480min	AWS A5.20 ^⑧		
	ASTM A618-1b, I, II	315~345	450min	F7×T-X	415	495(min)
	ASTM A633-A	290	430~570	(-2,-3,-10,-GS 除外)		
	-C,D	345	485~620	AWS A5.29		
	(65mm 以下)					
	ASTM A709-50	345	450min	E7×T×-X	400	490~620
	-50W	345	485min			
	ASTM A710-A-2(>50mm)	380	450min			
	ASTM A808(65mm 以下)	290	415min			
II	API 2H-42	290	430~550			
	-50	345	485min			
	API 5L×52	360	455~495			
	ABS AH32,DH32,EH32 ^⑨	315	490~620			
	AH36,DH36,EH36	350	490~620			
II	ASTM A572-60	415	515min	焊条电弧焊 AWSA5.5 ^⑩		
	-65	450	550min	E8015-X,E8016-X		
	ASTM A537-2	315~415	550~690	E8018-X	460	550
	ASTM A633-E	380~415	515~690	埋弧焊 AWSA5.23 ^⑪		
				F8×X-E×X-X×X	470	550~690

(续)

类别	钢材标准要求			填充金属要求		
	钢号 ^{①②}	最低屈服点	抗拉强度	焊材标准号及型号 ^{③④}	σ_s /MPa	σ_b /MPa
		MPa	MPa			
Ⅱ	ASTM A710-A-2($\leq 50\text{mm}$)	415~450	495(min)	熔化极气体保护焊 AWSA5.28 ^⑤ ER80S-X ^⑥	470	550
	ASTM A710-A-3($> 50\text{mm}$)	415~450	485(min)	药芯焊丝电弧焊 AWSA 5.29 ^⑤ E8XTX-X	470	550~690

- ① 在由不同类别母材组成的接头中,可以使用下列填充金属的任何一种,与较高强度母材匹配的或与较低强度母材匹配的低氢熔敷金属的填充金属,预热应符合对较高强度类母材的要求。
- ② 按照所使用的钢匹配 API 标准 2B (改制的钢管)。
- ③ 当焊缝需经消除应力处理,焊缝金属中 wv 的不应超过 0.05%。
- ④ 在交变载荷结构中,当焊接厚度大于 25.4mm 的 A-36 或 A709-36 钢时只应采用低氢焊条。
- ⑤ 特殊的焊接材料和焊接工艺规程(例如 E80X-X-X 低氢焊条)可以要求与母材的缺口冲击韧度匹配(对于承受冲击载荷或低温的工作条件)或要求具有耐大气腐蚀和耐候性能。
- ⑥ 型号为 ERTOS-1B 焊丝在 A5.28-79 标准已重新归入 ER80S-02,当焊接 I 和 II 类钢时,在 1981 年以前编制的并规定 A5.18, ER70S-1B 的免作评定的焊接工艺规程,可以改用 AWS A5.28-79 ER80S-D2 焊丝。
- ⑦ 在 ANSI/AWS A5.5, A5.23, A5.28 或 A5.29 标准中的 B3, B3L, B4, B4L, B5, B5L, B6, B6L, B7, B7L, B8, B8L 或 B9 类合金填充金属在焊后状态使用时,不是免作评定的填充金属。

(3) 最低预热温度和层间温度 通用焊接工艺规程规定的预热温度和层间温度,应符合表 3-12 所列法规要求。对于钢结构来说,预热主要是为了防止冷裂的形成,而不必考虑对接头力学性能的影响。如接头由两种合金成分不同的钢材组成,则应取其中较高的预热温度。对于单层开坡口焊缝或角焊缝的平行焊丝或多丝埋弧焊,最低预热温度和层间温度可按热影响区最高硬度来确定。对于最低抗拉强度不超过 415MPa 的钢材,热影响区的最高硬度不大于 225HV,对于最低抗拉强度大于 415MPa,但不超过 485MPa 的钢材,最高硬度不应超过 280HV。按照硬度测定确定的预热温度应得到授权工程师的认可。

表 3-12 可免作评定的最低预热温度和层间温度

类别	钢 号		焊接方法	焊接节点的最大厚度	最低预热和层间温度
				mm	C
A	ASTM A36	ASTM A516	采用非低氢焊条的电弧焊	3~19	—
	ASTM A53-B	ASTM A524-I, II			
	ASTM A106-B	ASTM A529		19~38	66
	ASTM A131-A,B	ASTM A570			
	CS,D,DS,E	ASTM A573-65		38~63.5	107
	ASTM A139-B	ASTM A709-36			
	ASTM A381-Y35	API 5L-B,X42		63.5 以上	150
	ASTM A500-A,B	ABS-A,B,D,CS,DS,E			
	ASTM A501				

(续)

类别	钢 号		焊接方法	焊接节点的最大厚度	最低预热和层间温度
				mm	℃
B	ASTM A36	ASTM A570	采用低氢焊条的电弧焊	3~19	—
	ASTM A53-B	ASTM A572-42,50		19~38	10
	ASTM A106-B	ASTM A573-65		38~63.5	66
	ASTM A131-A,B,CS,D	ASTM A588	埋弧焊	63.5 以上	107
	DS,E	ASTM A595-A,B,C			
	AH32,36,EH32,36	ASTM A606			
	DH32,36	ASTM A607-45,50,55	熔化极气体保护焊		
	ASTM A139-B	ASTM A618-1 b, 1, 1	药芯焊丝电弧焊		
	ASTM A381-Y35	ASTM A633-A,B			
	ASTM A441	C,D			
	ASTM A500-A,B	ASTM A709-36,50,50W			
	ASTM A501	ASTM A808			
	ASTM A516-55,60,65,70	API5L-B			
	ASTM A524-1, 1	-X42			
	ASTM A529	API-2H-42,-50			
	ASTM A537-1, 1	ABS-AH32,36			
		DH32,36			
		EH32,36			
		ABS-A,B,D,CS,DS,E			
C	ASTM A572-60,65		采用低氢焊条的电弧焊,埋弧焊,熔化极气体保护焊,药芯焊丝电弧焊	3~19	10
	ASTM A633-E			19~38.1	66
	API5L-X52			38.1~63.5	107
				63.5 以上	150
D	ASTM A710-A			不预热	

注:当母材的温度低于0℃时,母材至少应预热到21℃,在焊接过程中保持该最低温度。

当所拟定的工艺得到授权工程师的认可后,这种硬度测定可以中断。

(4) 焊接工艺参数 焊接电流、电弧电压和焊接速度等能量参数应在原评定合格的焊接工艺规程规定的范围之内。其中最大容许的焊接电流,对于焊条电弧焊,熔化极气体保护焊和药芯焊丝气体保护焊不应超过焊条或焊丝制造厂推荐的电流范围。对于单丝埋弧焊,角焊缝的最大焊接电流不应超过1000A,开坡口焊缝根部焊道和填充层焊道的最大焊接电流不应超过600A。对于平行焊丝埋弧焊、角焊缝,留间隙或不留间隙开坡口焊缝根部焊道,以及开坡口焊缝的填充层焊道的最大焊接电流相应为1200A、700A、900A和1200A,开坡口焊缝盖面层焊道和多丝埋弧焊的焊接电流可不加限制。

除了限制焊接电流以外,对各种焊接方法、焊接位置和焊接接头形式还限制了容许采用的最大焊条芯或焊丝的直径,如表3-13所示。

表 3-13 对免作评定的焊接工艺规程的要求

焊接参数	焊接位置	焊缝形式	焊条电弧焊	埋 弧 焊			熔化极气体保护焊 药芯焊丝电弧焊
				单丝	并列焊丝	多丝	
焊条/焊丝 最大直径 /mm	平焊	角焊缝① 开坡口焊缝① 根部焊道	8.0 6.4 4.8	6.4			3.2
	横焊	角焊缝 开坡口焊缝	6.4 4.8	6.4 按评定试验要求			3.2
	立焊	所有焊缝	4.8②				2.4
	仰焊	所有焊缝	4.8②				2.0
最大焊接 电流/A	所有焊接位置	角焊缝	在 填 充 金 属 制 造 厂 推 荐 的 范 围 之 内	1000	1200	不限	在填充金属制造 厂推荐的范围之内
	所有焊接位置	带间隙开坡口 焊缝根部焊道		600	700		
		不带间隙开坡口 焊缝根部焊道			900		
		开坡口焊缝 填充焊道			1200		
		开坡口焊缝 盖面焊道		不限			
根部焊道 最大厚度 /mm	平焊	所有的焊缝	9.5	不限			9.5
	横焊		8.0				4.8
	立焊		12.7				12.7
	仰焊		8.0				8.0
填充焊道最 大厚度/mm	所有焊接位置	所有的焊缝	4.8	6.4	不限		6.4
单道角焊 缝最大尺寸 /mm	平焊	角焊缝	9.5	不限			12.7
	横焊		8.0	8.0	8.0	12.7	9.5
	立焊		12.7				12.7
	仰焊		8.0				8.0
单层焊道最 大宽度/mm	所有焊接位置(熔化极气保 焊,药芯焊丝电 弧焊)平焊,横 焊(埋弧焊)	根部间隙> 12.7 或每一焊 层宽度 W		分道 焊层	焊丝侧 向错开或 分道焊层	分道 焊层	分道焊层
				如 W> 16 分道 焊层	如 W> 16 用串列焊 丝分道焊层	如 W> 12.7 分 道焊层	见注 3

注: 1. 关于不涂油漆暴露于大气的 A588 钢的焊接参见 3.7.3。

2. 关于宽/深比容限参见 3.7.2。

3. 在平焊, 横焊或仰焊位置焊接板材时, 当焊层宽度 $W > 16\text{mm}$, 应用分道焊层, 在板材立焊位置或管材 5G 或 6G 位置, 当宽度 $W > 25\text{mm}$ 时, 应用分道焊层。

4. 短路过渡熔化极气体保护焊不是免作评定的焊接方法。

①除根部焊道以外; ②对于 $E \times 14$ 和低氢焊条为 4.0mm。

(5) 坡口和焊缝尺寸 AWS 钢结构焊接法规强制性规定, 免作评定的焊接工艺规程中所采用的坡口和焊缝尺寸必须符合表 3-14 和表 3-15 的规定。其中按焊接方法、焊接位置和接头形式详细规定了坡口形式、尺寸及其容差以及最小和最大的焊缝尺寸。局部焊透单 V 形或双 V 形, 单面斜坡口, J 字形和 U 形坡口焊缝的最小焊缝尺寸应符合表 3-16 的规定。

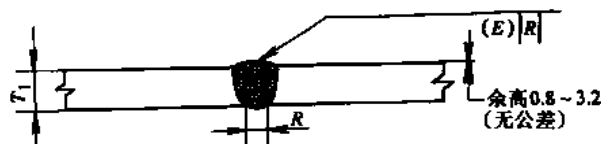
表 3-14 免作评定的局部焊透开坡口焊接接头 (单位: mm)

直边对接焊缝(1)								
对接接头(B)								

焊接方法	接头代号	母材厚度		坡口尺寸			容许的焊接位置	焊缝尺寸 (E)	备注
		$T_{1\max}$	T_2	根部间隙	公差				
					按详图	装配后			
手工 电弧焊	B-P1a	3.2	—	0~1.6	+1.6, -0	±1.6	所有位置	$T_1-0.8$	B
	B-P1c	6.4	—					$T_1/2$	B, D

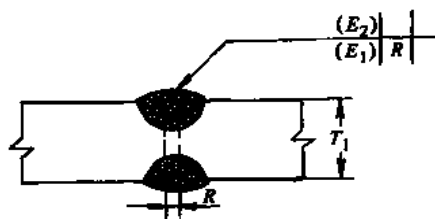
直边对接焊缝(1)

对接接头(B)



直边对接焊缝(1)

对接接头(B)



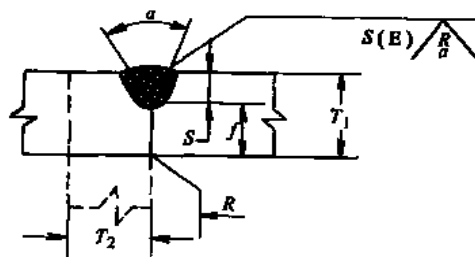
$E_1 + E_2$ 不必超过 $3T_1/4$

焊接方法	接头 代号	母材厚度		坡口尺寸			容许的焊 接位置	焊缝总尺寸 ($E_1 + E_2$)	备 注
		$T_{1\max}$	T_2	根部间隙	公 差				
					按详图	装配后			
手工 电弧焊	B-P1b	6.4	—	$R = \frac{T_1}{2}$	+1.6, -0	±1.6	所有位置	$3/4T_1$	D

单面 V 形坡口焊缝(2)

对接接头(B)

直角接头(C)



焊接方法	接头 代号	母材厚度		坡口尺寸			所容许的 焊接位置	焊缝尺寸 (E)	备 注
		T _{1 min}	T ₂	根部间隙 R 钝 边 f 坡口角 α	公 差				
					按详图/mm	装配后/mm			
手工电弧焊	BC-P2	6.4	不限	R0 f0.8min α60°	0, +1.6 +不限, -0 +10°, -0°	+3.2, -1.6 ±1.6 +10°, -5°	所有位置	S	B、D、E、 N

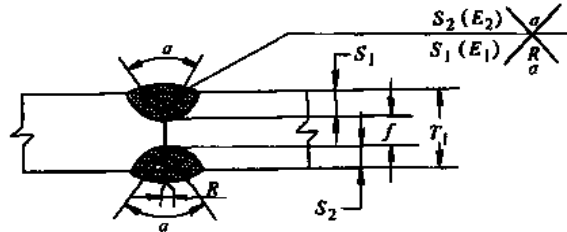
B, D, E, N

(续)

焊接方法	接头 代号	母材厚度		坡口尺寸			所容许的 焊接位置	焊缝尺寸 (E)	备 注
		T_1 min	T_2	根部间隙 R 钝 边 f 坡口角 α	公 差				
					按详图/mm	装配后/mm			
熔化极气保焊 药芯焊丝电 弧焊	BC-P2-GF	6.4	不限	R0 f3.2min $\alpha=60^\circ$	0, +1.6 +不限, -0 +10°, -0°	+3.2, -1.6 ± 1.6 +10°, -5°	所有位置	S	A,B,E N
埋弧焊	BC-P2-S	11	不限	R0 f6.4min $\alpha=60^\circ$	± 0 +不限, -0 +10°, -0°		平焊位置		B,E,N

双 V 形坡口焊缝 (3)

对接接头 (B)



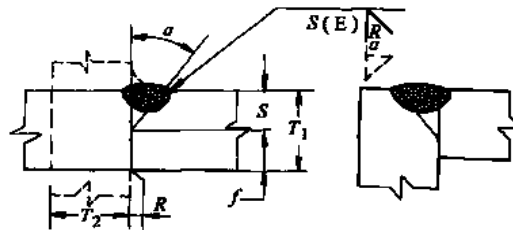
焊接方法	接头 代号	母材厚度		坡口尺寸			所容许的 焊接位置	焊缝总尺寸 (E_1+E_2)	备 注
		$T_{1\text{mm}}$	T_2	根部间隙 R 钝 边 f 坡口角 α	公 差				
					按详图	装配后			
手工电弧焊	B-P3	12.7	—	$R0$ $f3.2_{\text{min}}$ $\alpha 60^\circ$	$+1.6, -0$ $+不限, -0$ $+10^\circ, -0^\circ$	$+3.2, -1.6$ ± 1.5 $+10^\circ, -5^\circ$	所有位置	S_1+S_2	D,E, MP,N
熔化极气保焊 药芯焊丝电 弧焊	B-P3-GF	12.7	—		$+3.2, -1.6$ ± 1.5 $+10^\circ, -5^\circ$	A,E MP,N			
埋弧焊	B-P3-S	19	—	$R0$ $f6.0_{\text{min}}$ $\alpha 60^\circ$	± 0 $+不限, -0$ $+10^\circ, -0^\circ$	$+1.5, -0$ ± 1.5 $+10^\circ, -5^\circ$	平焊位置		E,MP, N

单斜面坡口 (4)

对接接头 (B)

T 形接头 (T)

直角接头 (C)



(续)

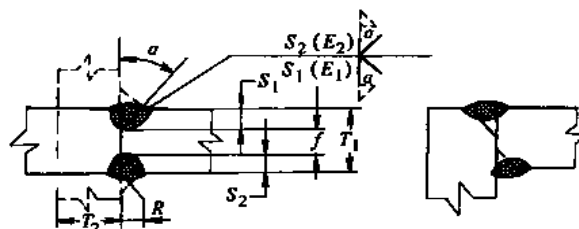
焊接方法	接头 代号	母材厚度		坡口尺寸			所容许的 焊接位置	焊缝尺寸 (E)	备 注	
		T ₁	T ₂	根部间隙 R 钝 边 f 坡口角 α	公 差					
					按详图	装配后				
手工电弧焊	BTC-P4	不限	不限	R0 f3.2 _{min} α45°	+1.6, -0 不限 +10°, -0°	+3.0, -1.6 ±1.6 +10°, -5°	所有位置	S-3.0	B,D,E J,N,V	
熔化极气保焊 药芯焊丝电 弧焊	BTC-P4-GF	6.4 _{min}						平焊,横焊 立焊,仰焊	S S-3.2	A,B,E J,N,V
埋弧焊	TC-P4-S	11 _{min}			R0 f6.4 _{min} α60°	±0 +不限, -0 +10°, -0°	+1.6, -0 ±1.6 +10°, -5°	平焊	S	B,E,J N,V

双斜面坡口焊缝(5)

对接接头(B)

T形接头(T)

直角接头(C)

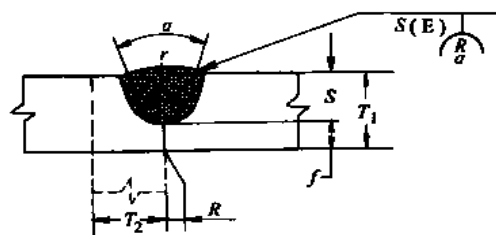


焊接方法	接头 代号	母材厚度		坡口尺寸			所容许的 焊接位置	焊缝总尺寸 (E_1+E_2)	备 注
		T_1	T_2	根部间隙 R 钝 边 f 坡口角 α	公 差				
					按详图	装配后			
手工电弧焊	BTC-P5	8.0 _{min}	不限	$R0$ $f3.2_{min}$ $\alpha 45^\circ$	+1.6, -0 不限 +10°, -0°	+3.2, -1.6 ±1.6 +10°, -5°	所有位置	S_1+S_2 -6.0	D, E, J MP, N V
熔化极气保焊 药芯焊丝电 弧焊	BTC-P5-GF	12.7 _{min}					平、横焊	S_1+S_2	A, E, J MP, N V
							立、仰焊	S_1+S_2 -6.0	
埋弧焊	TC-P5-S	19 _{min}		$R0$ $f6.4_{min}$ $\alpha 60^\circ$	±0 +不限, -0 +10°, -0°		平焊	S_1+S_2	E, J MP, N, V

单面 U 形坡口焊缝(6)

对接接头(B)

直角接头(C)

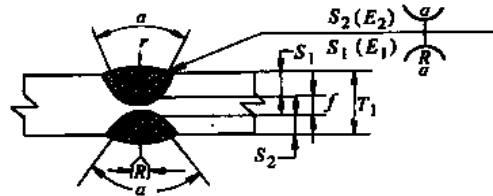


(续)

焊接方法	接头 代号	母材厚度		坡口尺寸			所容许的 焊接位置	焊缝尺寸 (E)	备 注
		T ₁	T ₂	根部间隙 R 钝 边 f 坡口半径 r 坡口角 α	公 差				
					按详图	装配后			
手工电弧焊	BC-P6	6.4 _{min}	不限	R0 f1 _{min} r6 α45°	+1.6, -0	+3.0, -1.6	所有位置	S	B, D, E N
熔化极气体保 护焊 药芯焊丝电 弧焊	BC-P6-GF			R0 f3.2 _{min} r6.4 _{mm} α45°	+不限, -0 +6.4, -0° +10, -0°	±1.6 ±1.6 +10°, -5°			A, B, E N
埋弧焊	BC-P6-S	11.0 _{min}		R0 f6 _{min} α20°			平焊		B, E, N

双面 U 形坡口焊缝(7)

对接接头(B)



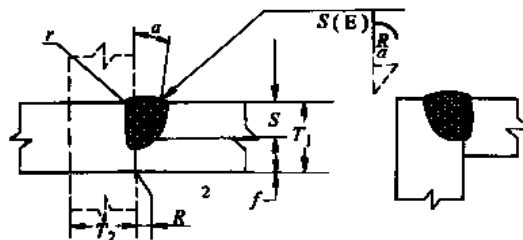
焊接方法	接头 代号	母材厚度		坡口尺寸		所容许的 焊接位置	焊缝总尺寸 (E_1+E_2)	备 注	
		T_1 min	T_2	根部间隙 R 钝 边 f 坡口半径 r 坡口角 α	公 差				
					按详图				装配后
手工电弧焊	B-P7	12.7	—	$R0$ $f3.2_{min}$ $r6.4$ $\alpha45^\circ$	+1.6, -0 +不限, -0 +6.4, -0 +10°, -0°	+3.0, -1.6 ± 1.6 ± 1.6 +10°, -5°	所有位置	D, E MP, N	
熔化极气保焊 药芯焊丝电 弧焊	B-P7-GF			$R0$ $f3.2_{min}$ $r6.4$ $\alpha20^\circ$	± 0 +不限, -0 +6.4, -0 +10°, -0°	+1.6, -0 ± 1.6 ± 1.6 +10°, -5°		平焊	A, E, MP, N
埋弧焊	B-P7-S	19.0							E, MP, N

单面 J-形坡口焊缝(8)

对接接头(B)

T 形接头(T)

直角接头(C)



(续)

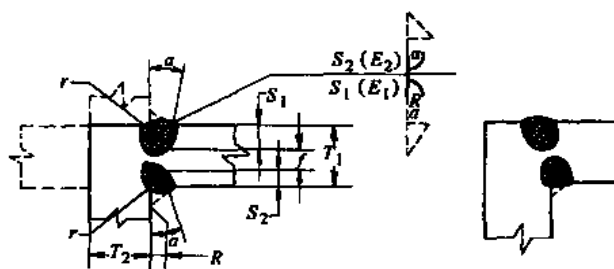
焊接方法	接头 代号	母材厚度		坡口尺寸			所容许的 焊接位置	焊缝尺寸 (E)	备 注
		T_1 min	T_2	根部间隙 R 钝 边 f 坡口半径 r 坡口角 α	公 差				
					按详图	装配后			
手工电弧焊	TC-P8 ^①	6.4	不限	$R0$ $f3.0_{\min}$ $r10$ $\alpha45^\circ$	$+1.6, -0$ $+不限, -0$ $+6.4, -0$ $+10^\circ, -0^\circ$	$+3.2, -1.6$ ± 1.6 ± 1.6 $+10^\circ, -5^\circ$	所有位置	S	D, E, J N, V
手工电弧焊	BC-P8 ^②			$R0$ $f3.0_{\min}$ $r10$ $\alpha30^\circ$					D, E, J N, V
熔化极气体保 护焊 药芯焊丝电 弧焊	TC-P8-GF ^③			$R0$ $f3.0_{\min}$ $r10$ $\alpha45^\circ$					A, E, J N, V
熔化极气体保 护焊 药芯焊丝电 弧焊	BC-P8-GF			$R0$ $f3.0_{\min}$ $r10$ $\alpha30^\circ$					A, E, J N, V
埋弧焊	TC-P8-S ^④	11.0	不限	$R0$ $f6.0_{\min}$ $r13$ $\alpha45^\circ$	± 0 $+不限, -0$ $+6.4, -0$ $+10^\circ, -0^\circ$		平焊		E, J, N V
埋弧焊	TC-P8-S ^⑤	11.0		$R0$ $f6.0_{\min}$ $r13$ $\alpha20^\circ$					E, J, N, V

双面J形坡口焊缝(9)

对接接头(B)

T形接头(T)

直角接头(C)



焊接方法	接头 代号	母材厚度		坡口尺寸			所容许的 焊接位置	焊缝总尺寸 (E_1+E_2)	备 注
		T_1 min	T_2	根部间隙 R 钝 边 f 坡口半径 r 坡口角 α	公 差				
					按详图	装配后			
手工电弧焊	BTC-P9⑥	12.7	不限	$R0$ $f3.2_{\min}$ $r10$ $\alpha45^\circ$	$+1.6, -0$ $+不限, -0$ $+6.0, -0$ $+10^\circ, -0^\circ$	$+3.0, -1.6$ ± 1.6 ± 1.6 $+10^\circ, -5^\circ$	所有位置	S_1+S_2	D, E, J MP, N, V

(续)

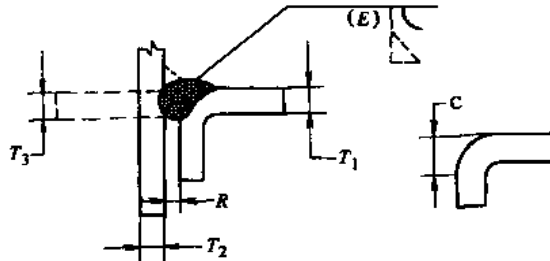
焊接方法	接头 代号	母材厚度		坡口尺寸			所容许的 焊接位置	焊缝总尺寸 (E_1+E_2)	备 注
		T_1 mm	T_2	根部间隙 R 钝 边 f 坡口半径 r 坡口角 α	公 差				
					按详图	装配后			
熔化极气体保 护焊 药芯焊丝电 弧焊	BTC-P9-GF ²	6.4	不限	$R0$ $f3.2_{\min}$ $r10$ $\alpha30^\circ$	$+1.6, -0$ $+不限, -0$ $+6.4, -0$ $+10^\circ, -0^\circ$	$+3.0, -1.6$ ±1.6 ±1.6 $+10^\circ, -5^\circ$	所有位置	S_1+S_2	A, J, MP, N V
埋弧焊	C-P9-S	19.0		$R0$ $f6.4_{\min}$ $r13$ $\alpha20^\circ$	±0 $+不限, -0$ $+6.4, -0$ $+10^\circ, -0^\circ$	$+1.6, -0$ ±1.6 ±1.6 $+10^\circ, -5^\circ$	平焊		A, E, J N, V
埋弧焊	C-P9-S ²			$R0$ $f6.4_{\min}$ $r13$ $\alpha20^\circ$	±0 $+不限, -0$ $+6.4, -0$ $+10^\circ, -0^\circ$	$+1.6, -0$ ±1.6 ±1.6 $+10^\circ, -5^\circ$			E, J MP, N, V
埋弧焊	T-P9-S			$R0$ $f6.4_{\min}$ $r13$ $\alpha45^\circ$	±0 $+不限, -0$ $+6.4, -0$ $+10^\circ, -0^\circ$	$+1.6, -0$ ±1.6 ±1.6 $+10^\circ, -5^\circ$			E, J MP, N

喇叭形坡口焊缝(10)

对接接头(B)

T形接头(T)

直角接头(C)



焊接方法	接头 代号	母材厚度			坡口尺寸			所容许的 焊接位置	焊缝尺寸 (E)	备 注
		T_1 min	T_2	T_3 min	根部间隙 R 钝边 f 弯曲 半径 C ^③	公 差				
						按详图	装配后			
手工电弧焊	BTC-P10	4.8	不限	T_1	R0	+1.6, -0	+3.2, -1.6	所有位置	0.6T ₁	D, J, N Z
熔化极气体保 护焊 药芯焊丝电 弧焊	BTC-P10-GF			T_1	f4.6 _{min} C1.5T _{1min}	+不限, -0 -0, +不限	+不限, -1.6 -0, +不限			A, J, N Z
埋弧焊	T-P10-S	12.7	12.7 _{min}	N/A	R0 f13 _{min} C1.5T _{1min}	±0 +不限, -0 -0, +不限	+1.6, -0 +U, -1.6 -0, +不限			平焊

① 适用于内直角接头；

② 适用于外直角接头；

③ 对于冷变形矩形管，尺寸 C 不受限制，参见以下规定：

喇叭形坡口焊接接头的有效焊缝尺寸，在 ASTM A500 冷变形材料上完成了试验，其尺寸“ C ”等于 T_1 ，名义半径为 $2t$ 。随着半径的增加，尺寸“ C ”亦增大，转角曲率可以不一定是圆周与侧边切线的 $1/4$ 。转角尺寸“ C ”可能小于转角半径。

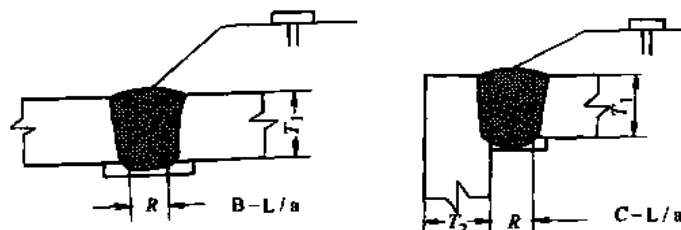
表 3-15 免作评定的全焊透开坡口接头

(单位: mm)

直边对接焊缝(1)

对接接头(B)

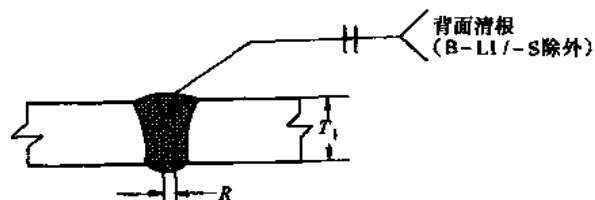
直角接头(C)



焊接方法	接头 代号	母材厚度		坡口尺寸		所容许的 焊接位置	气体保护 (药芯焊丝 电弧焊)	备 注	
		T_{1max}	T_2	根部间隙 R	公 差				
					按详图				装配后
手工电弧焊	B-L1a	6.4	—	T_1	+1.6, -0	+6, -1.6	所有位置	—	D, N
焊条电弧焊	C-L1a		不限	T_1				—	
药芯焊丝电 弧焊 熔化极气体 保护焊	B-L1a-GF	9.5	—	T_1					

直边对接焊缝(1)

对接接头(B)

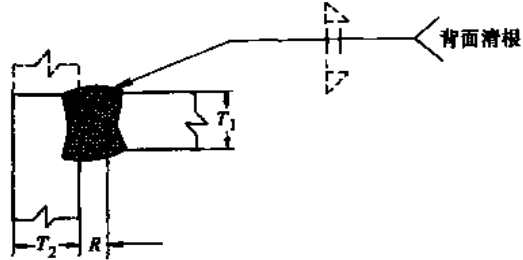


焊接方法	接头 代号	母材厚度		坡口尺寸		所容许的 焊接位置	气体保护 (药芯焊丝 电弧焊)	备 注	
		$T_{1\max}$	T_2	根部间隙 R	公 差				
					按详图				装配后
手工电弧焊	B-L1b	6.4	—	$\frac{T_1}{2}$	+1.6, -0	+1.6, -3	所有位置	—	C, D, N
熔化极气体 保护焊 药芯焊丝电 弧焊	B-L1b-GF	9.5	—	0~3				A, C, N	
埋弧焊	B-L1-S	16.0	—	0	±0	+1.6, -0	平焊	—	N
	B-L1a-S		—	0				—	C, N

直边对接焊缝(1)

T形接头(T)

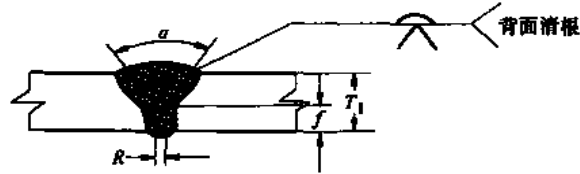
直角接头(C)



焊接方法	接头 代号	母材厚度		坡口尺寸			所容许的 焊接位置	气体保护 (药芯焊丝 电弧焊)	备 注
		$T_{1\max}$	T_2	根部间隙 R	公 差				
					按详图	装配后			
手工电弧焊	TC-L1b	6.4	不限	$\frac{T_1}{2}$	+1.6, -0	+1.6, -3	所有位置	—	C,D,J
熔化极气体保 护焊 药芯焊丝电 弧焊	TC-L1-GF	9.5		0~3	+1.6, -0	+1.6, -3	所有位置	自保护	A,C,J
埋弧焊	TC-L1-S			0	±0	+1.6, -0	平焊	—	C,J

单面 V 形坡口焊缝(2)

对接接头(B)

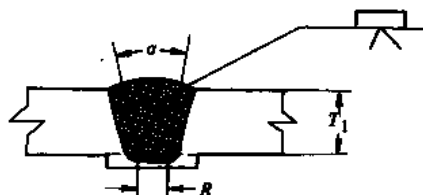


焊接方法	接头 代号	母材厚度		坡口尺寸			所容许的 焊接位置	气体保护 (药芯焊丝 电弧焊)	备 注
		T_1	T_2	根部间隙 R 钝 边 f 坡口角 α	公 差				
					按详图	装配后			
手工电弧焊	B-U2	不限	—	$R0\sim3$	+1.6, -0	+1.6, -3	所有位置	—	C,D,N
熔化极气体 保护焊 药芯焊丝电 弧焊	B-U2-GF		—	$f0\sim3$ $\alpha60^\circ$	+1.6, -0 +10°, -0°	不限 +10°, -5°		自保护	A,C,N
埋弧焊	B-L2C-S	大于 12.7~25.4	—	$R0$ $f6_{\max}$ $\alpha60^\circ$	$R=\pm0$ $f=+0,-f$ $\alpha=+10^\circ,$ -0°	+1.6, -3 ±1.6 +10°, -5°	平焊	—	C,N
		大于 25.4~38		$R0$ $f13_{\max}$ $\alpha60^\circ$				—	
		大于 38~50.8		$R0$ $f16_{\max}$ $\alpha60^\circ$				—	C,N

(续)

单面 V 形坡口焊缝(2)

对接接头(B)

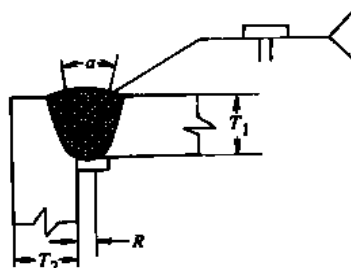


公 差	
按详图	装配后
$R+1.6, -0$	$+6, -1.6$
$\alpha+10^\circ, -0^\circ$	$+10^\circ, -5^\circ$

焊接方法	接头代号	母材厚度		坡口尺寸		所容许的焊接位置	气体保护 (药芯焊丝电弧焊)	备 注
		T_1	T_2	根部间隙 R	坡口角 α			
手工电弧焊	B-U2a	不限	—	6	45°	所有位置	—	D, N
				10	30°	平、立、仰	—	
				13	20°	—	—	
熔化极气体保护焊 药芯焊丝电弧焊	B-U2a-GF	不限	—	5	30°	平、立、仰	气体保护	A, N
				10	30°	—	自保护	
				6	45°	平、立、仰	自保护	
埋弧焊	B-L2a-S	50.8 _{max}	—	6	30°	平焊	—	N
埋弧焊	B-U2-S	不限	—	16	20°		—	

单面 V 形坡口焊缝(2)

直角接头(C)



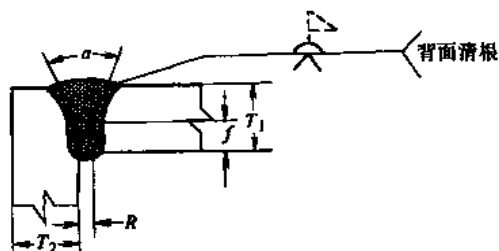
公 差	
按详图	装配后
$R+1.6, -0$	$+6, -1.6$
$\alpha+10^\circ, -0^\circ$	$+10^\circ, -5^\circ$

焊接方法	接头 代号	母材厚度		坡口尺寸		所容许的 焊接位置	气体保护 (药芯焊丝 电弧焊)	备 注	
		T_1	T_2	根部间隙 R	坡口角 α				
手工电弧焊	C-U2a	不限	不限	6	45°	所有位置	—	D,N	
				10	30°		—	D,N	
				13	20°		—	D,N	
熔化极气体 保护焊 药芯焊丝 电弧焊	C-U2a-GF			5	30°		气体保护	A	
				10	30°			自保护	A,N
				6	45°				A,N
埋弧焊	C-L2a-S	50.8 _{max}		6	30°	平焊	—	N	
	C-U2-S	不限		16	20°		—		

(续)

单面 V 形坡口焊缝(2)

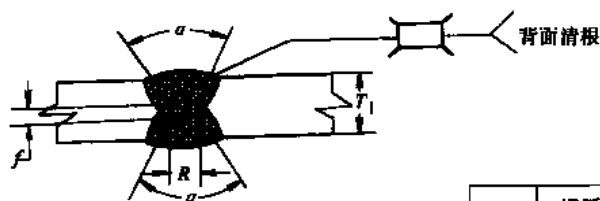
直角接头(C)



焊接方法	接头代号	母材厚度		坡口尺寸			所容许的焊接位置	气体保护 (药芯焊丝 电弧焊)	备 注
		T ₁	T ₂	根部间隙 R 钝 边 f 坡口角 α	公 差				
					按详图	装配后			
焊条电弧焊	C-U2	不限	不限	R0~3	+1.6, -0	+1.6, -3	所有位置	—	C, D, J N
熔化极气体 保护焊 药芯焊丝 电弧焊	C-U2-GF			f0~3 α60°	+1.6, -0 +10°, -0°	不限 +10°, -5°		自保护	A, C, J N
埋弧焊	C-U2b-S			R0~3 f6 _{max} α60°	±0 +0, -6 +10°, -0°	+1.6, -0 ±1.6 +10°, -5°	平焊	—	C, J, N

双 V 形坡口焊缝(3)

对接接头(B)



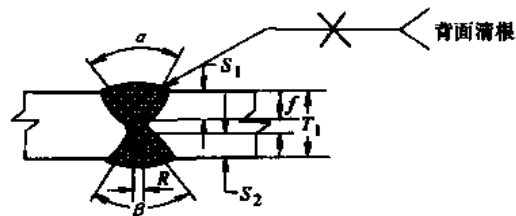
 背面清根		公 差	
		按详图	装配后
		$R=\pm 0$	$+6, -0$
		$f=\pm 0$	$+1.6, -0$
		$\alpha=+10^{\circ}, -0^{\circ}$	$+10^{\circ}, -5^{\circ}$
垫片	埋弧焊	± 0	$+1.6, -0$
	焊条电弧焊	± 0	$+3, -0$

[illegible]

(续)

双面 V 形坡口焊缝(3)

对接接头(B)



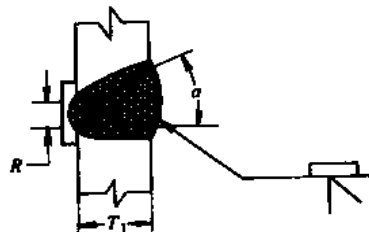
只适用于 B-U3C-S

T_1		S_1
min	max	
50.8	63.5	35
63.5	76.2	44
76.2	92.1	54
92.1	101.6	60
101.6	120.7	70
120.7	139.7	83
139.7	158.8	95
对于 $T_1 > 158.8$ 或 $T_1 \leq 50.8$ $S_1 = 1.5(T_1 - 6)$		

焊接方法	接头 代号	母材厚度		坡口尺寸			所容许的焊 接位置	气体保护 (药芯焊丝 电弧焊)	备 注
		T_1	T_2	根部间隙 R 钝边 f 坡口角 α	公 差				
					按详图	装配后			
焊条电弧焊	B-U3b	不限	—	$R0\sim3$	$+1.6,-0$	$+1.6,-3$	所有位置	自保护	C、D、 M、N
熔化极气体 保护焊 药芯焊丝 电弧焊	B-U3b-GF			$f0\sim3$ $\alpha=\beta=60^\circ$	$+1.6,-0$ $+10^\circ,-0^\circ$	不限 $+10^\circ,-5^\circ$			A、C M、N
埋弧焊	B-U3c-S	不限	—	$R0$	$+1.6,-0$	$+1.6,-0$	平焊	—	C、M、N
				$f6\text{min}$ $\alpha=\beta=60^\circ$	$+6,-0$ $+10^\circ,-0^\circ$	$+6,-0$ $+10^\circ,-5^\circ$			
				S_1 参见上表, $S_2=T_1-(S_1+f)$					

单斜面坡口焊缝(4)

T形接头(B)

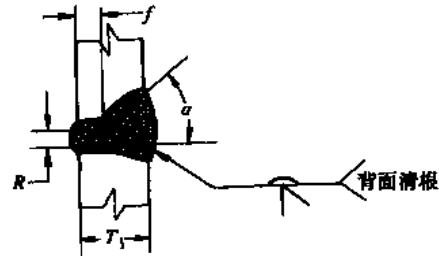


公 差	
按详图	装配后
$R = +1.6, -0$	+6, -1.6
$\alpha = +10^\circ, -0^\circ$	+10°, -5°

焊接方法	接头 代号	母材厚度		坡口尺寸		所容许的焊 接位置	气体保护 (药芯焊丝 电弧焊)	备 注
		T ₁	T ₂	根部间隙 R	坡口角 α			
焊条电弧焊	B-U4a	不限	—	6	45°	所有位置	—	Br、D、N
				10	30°		—	Br、D、N
熔化极气体 保护焊 药芯焊丝 电弧焊	B-U4a-GF		—	5	30°		气体保护	A、Br、N
				6	45°			自保护
				10	30°	平焊	A、Br、N	

单斜面坡口焊缝(4)

对接接头(B)

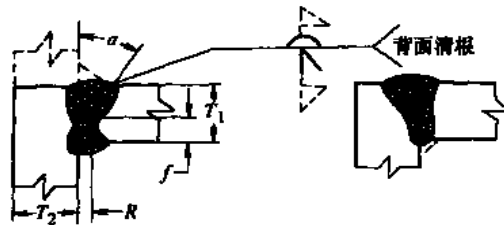


焊接方法	接头 代号	母材厚度		坡口尺寸			所容许的 焊接位置	气体保护 (药芯焊丝 电弧焊)	备 注
		T_1	T_2	根部间隙 R	公 差				
					按详图	装配后			
焊条电弧焊	B-U4a	不限	—	$R0\sim3$ $f0\sim3$ $\alpha45^\circ$	$+1.6, -0$	$+1.6, -3$	所有位置	—	Br、C、D、 N
熔化极气体 保护焊 药芯焊丝 电弧焊	B-U4b-GF	不限	—		$+1.6, -0$ $+10^\circ, 0^\circ$	不限 $+10^\circ, -5^\circ$		自保护	A、Br、C、 N

单斜面坡口焊缝(4)

T形接头

直角接头(C)



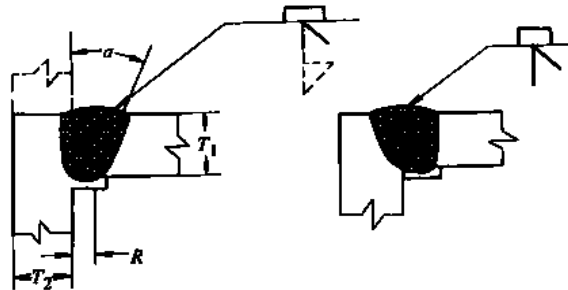
焊接方法	接头 代号	母材厚度		坡口尺寸			所容许的 焊接位置	气体保护 (药芯焊丝 电弧焊)	备 注
		T_1	T_2	根部间隙 R 钝边 f 坡口角 α	公 差				
					按详图	装配后			
焊条电弧焊	TC-U4b	不限	不限	$R0\sim3$	$+1.6, -0$	$+1.6, -3$	所有位置	—	C、D、J N、V
熔化极气体 保护焊 药芯焊丝 电弧焊	TC-U4b-GF			$f0\sim3$ $\alpha45^\circ$	$+1.6, -0$ $+10^\circ, -0^\circ$	不限 $+10^\circ, -5^\circ$		自保护	A、C、J N、V
埋弧焊	TC-U4b-S			$R0$ $f6\max$ $\alpha60^\circ$	±0 $+0, -3$ $+10^\circ, -0^\circ$	$+1.6, -0$ ±1.6 $+10^\circ, -5^\circ$	平焊	—	C、J、N V

(续)

单斜面坡口焊缝(4)

T形接头(T)

直角接头(C)



公 差	
按详图	装配后
$R+1.6, -0$	$+6, -1.6$
$\alpha+10^\circ, -0^\circ$	$+10^\circ, -5^\circ$

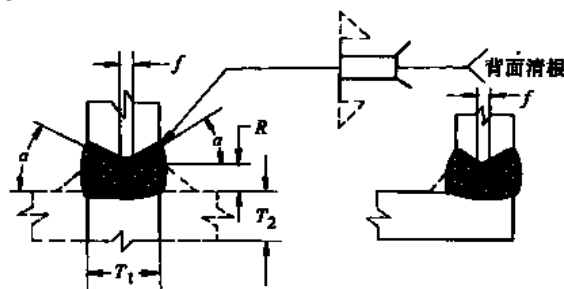
焊接方法	接头代号	母材厚度		坡口尺寸		所容许的焊接位置	气体保护 (药芯焊丝电弧焊)	备 注
		T_1	T_2	根部间隙 R	坡口角 α			
焊条电弧焊	TC-U4a	不限	不限	6	45°	所有位置	—	D、J、N、V
				10	30°	平、立、仰	—	D、J、N、V
熔化极气体保护焊 药芯焊丝 电弧焊	TC-U4a-GF	不限	不限	5	30°	所有位置	气体保护	A、J、N、V
				10	30°	平焊	自保护	A、J、N、V
				6	45°	所有位置		A、J、N、V
埋弧焊	TC-U4a-S	不限	不限	10	30°	平焊	—	J、N、V
				6	45°			

双斜面坡口焊缝(5)

对接接头(B)

T形接头(T)

直角接头(C)

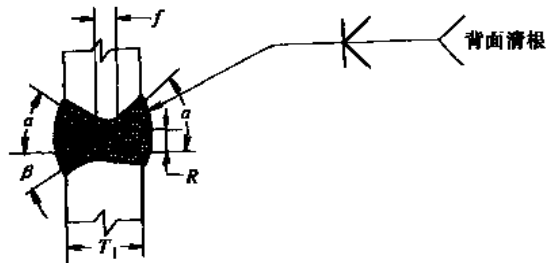


公 差	
按详图	装配后
$R+0$	$+6, -0$
$f+1.6, -0$	± 1.6
$\alpha+10^\circ, -0^\circ$	$+10^\circ, -5^\circ$
垫片	$+1.6, -0$
	$+3, -0$

焊接方法	接头代号	母材厚度		坡口尺寸			所容许的焊接位置	气体保护	备 注
		T_1	T_2	根部间隙 R	钝边 f	坡口角 α			
焊条电弧焊	B-U5b	不限 垫片=3×R	不限	6	0~3	45°	所有位置	—	Br、C D、M、N
	TC-U5a	不限 垫片=6×R	不限	6				—	C、D、J
				10		30°	平、仰位置	—	M、N、V

双斜面坡口焊缝(5)

直角接头

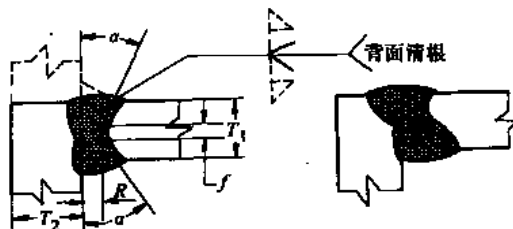


焊接方法	接头 代号	母材厚度		坡口尺寸			所容许的焊 接位置	气体保护 (药芯焊丝 电弧焊)	备 注
		T_1	T_2	根部间隙 R 钝边 f 坡口角 α	公 差				
					按详图	装配后			
手工电弧焊	B-U5a	不限	—	$R0\sim3$	$+1.6, -0$	$+1.6, -3.0$	所有位置	—	Br, C, D, M, N
熔化极气体 保护焊	B-U5-GF	不限	—	$f0\sim3$	$+1.6, -0$	不限		A, Br, C, M, N	
药芯焊丝 电弧焊				$\alpha 45^\circ$ $\beta 0^\circ\sim 15^\circ$	$\alpha+\beta=$ $+10^\circ, 0^\circ$	$\alpha+\beta=$ $+10^\circ, -5^\circ$			自保护

双斜面坡口焊缝(5)

T形接头(T)

直角接头(C)



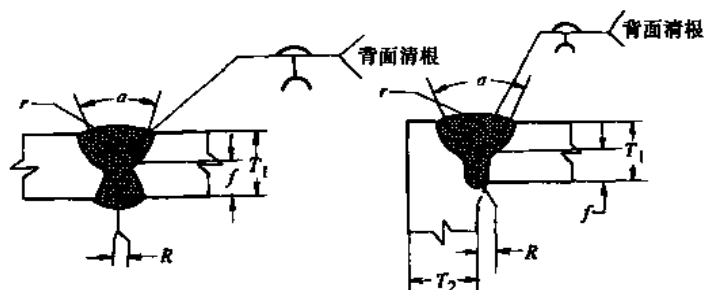
焊接方法	接头 代号	母材厚度		坡口尺寸			所容许的焊 接位置	气体保护 (药芯焊丝 电弧焊)	备 注
		T ₁	T ₂	根部间隙 R 钝边 f 坡口角 α	公 差				
					按详图	装配后			
手工电弧焊	TC-U5b	不限	不限	R0~3	+1.6, -0	+1.6, -3	所有位置	—	C、D、J、 M、N、V
熔化极气体 保护焊 药芯焊丝 电弧焊	TC-U5-GF			f0~3	+1.6, -0	不限		自保护	A、C、J M、N、V
				α45°	+10°, -0°	+10°, -5°			
埋弧焊	TC-U5-S			R0 f5 _{max} α60°	±0 +0, -5 +10°, -0°	+1.6, -0 ±1.6 +10°, -5°	平焊	—	C、J、M N、V

(续)

单 U 形坡口焊缝(6)

对接接头(B)

直角接头(C)

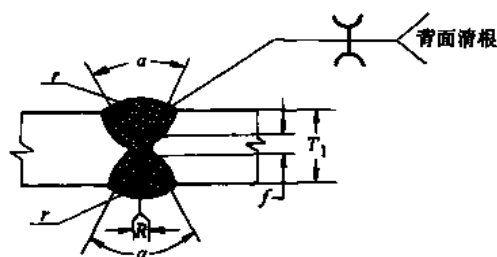


公差	
按详图	装配后
$R+1.6, -0$	$+1.6, -3$
$\alpha+10^\circ, -0^\circ$	$+10^\circ, -5^\circ$
$f\pm 1.6$	不限
$r+3, -0$	$+3, -0$

焊接方法	接头代号	母材厚度		坡口尺寸				所容许的 焊接位置	气体保护 (药芯焊丝 电弧焊)	备 注
		T_1	T_2	根部间隙 R	坡口角 α	钝边 f	坡口半径/ r			
焊条电弧焊	B-U6	不限	不限	0~3	45°	3	6	所有位置	—	C、D、N
					20°			平、仰位置	—	C、D、N
	C-U6				45°			所有位置	—	C、D、J、N
					平仰位置			—	C、D、J、N	
熔化极气体 保护焊 药芯焊丝 电弧焊	B-U6-GF				20°			所有位置	自保护	A、C、N
	C-U6-GF								自保护	A、C、J、N

双面 U 形坡口焊缝(7)

对接接头(B)



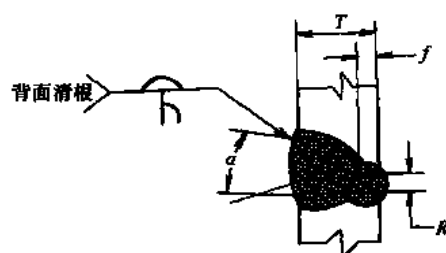
公差	
按详图	装配后
B-U7 和 B-U7-GF	
$R+1.6, -0$	$+1.6, -3$
$\alpha+10^\circ, -0^\circ$	$+10^\circ, -5^\circ$
$f\pm 1.6, -0$	不限
$r+6, -0$	± 1.6
B-U7-5	
$R\pm 0$	$+1.6, -0$
$f+0, -6$	± 1.6

焊接方法	接头代号	母材厚度		坡口尺寸			所容许的 焊接位置	气体保护 (药芯焊丝 电弧焊)	注
		T_1	T_2	根部间隙 R	坡口角 α	钝边 f	坡口半径/ r		
手工电弧焊	B-U7	不限	—	0~3	45°	3	6	所有位置	C、D、M、N
				0~3	20°	3		平、仰位置	C、D、M、N
埋弧焊	B-U7-S	不限	—	0		6 _{max}		平焊	C、M、N
熔化极气体 保护焊 药芯焊丝 电弧焊	B-U7-GF	不限	—	0~3		3		所有位置	A、C、M、N

(续)

单面J形坡口焊缝(8)

对接接头(B)



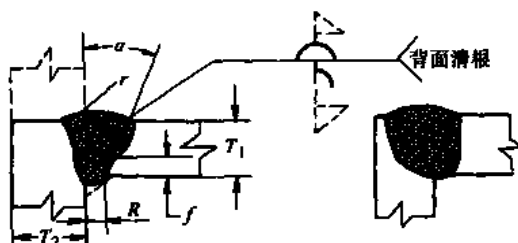
公差	
按详图	装配后
$R+1.6, -0$	$+1.6, -3$
$\alpha+10^\circ, -0^\circ$	$+10^\circ, -5^\circ$
$f+1.6, -0$	不限
$r+6, -0$	± 1.6

焊接方法	接头代号	母材厚度		坡口尺寸				所容许的 焊接位置	气体保护 (药芯焊丝 电弧焊)	注
		T_1	T_2	根部间隙 R	坡口角 度 α	钝边 f	坡口半径 r			
焊条电弧焊	B-U8		—		45°			所有位置	—	Br, C, D, N
熔化极气体 保护焊 药芯焊丝 电弧焊	B-U8-GF	不限	—	0~3	30°	3	10	所有位置	自保护	A, Br, C, N

单面J形坡口焊缝(8)

T形接头(T)

直角接头(C)

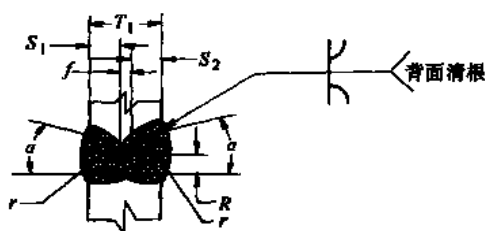


公差	
按详图	装配后
$R+1.6, -0$	$+1.6, -3$
$\alpha+10^\circ, -0^\circ$	$+10^\circ, -5^\circ$
$f+1.6, -0$	不限
$r+6, -0$	± 1.6

焊接方法	接头代号	母材厚度		坡口尺寸				所容许的 焊接位置	气体保护 (药芯焊丝 电弧焊)	注
		T_1	T_2	根部间隙 R	坡口角 度 α	钝边 f	坡口半径 r			
焊条电弧焊	TC-U8a							所有位置	—	C, D, J, N, V
								平、仰位置	—	
熔化极气体 保护焊 药芯焊丝 电弧焊	TC-U8a-GF	不限	不限	0~3	45°	3	10	所有位置	自保护	A, C, J, N, V

双面J形坡口焊缝(9)

对接接头(B)



公差	
按详图	装配后
$R+1.6, -0$	$+1.6, -3$
$\alpha+10^\circ, -0^\circ$	$+10^\circ, -5^\circ$
$f+1.6, -0$	不限
$r+3, -0$	± 1.6

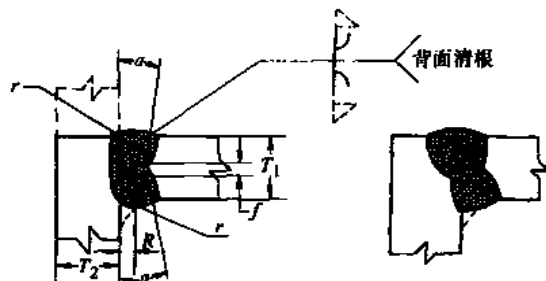
焊接方法	接头代号	母材厚度		坡口尺寸				所容许的 焊接位置	气体保护 (药芯焊丝 电弧焊)	备注
		T_1	T_2	根部间隙 R	坡口角 度 α	钝边 f	坡口半径 r			
焊条电弧焊	B-U9		—		45°				—	Br, C, D, M, N
熔化极气体 保护焊 药芯焊丝 电弧焊	B-U9-GF	不限	—	0~3	30°	3	10	所有位置	自保护	A, Br, C, M, N

(续)

双面J形坡口焊缝(9)

T形接头(T)

直角接头(C)



公差	
按详图	装配后
$R+1.6, -0$	$+1.6, -3$
$\alpha+10^\circ, -0^\circ$	$+10^\circ, -5^\circ$
$f+1.6, -0$	不限
$r=+3, -0$	± 1.6

焊接方法	接头代号	母材厚度		坡口尺寸				所容许的 焊接位置	气体保护 (药芯焊丝 电弧焊)	注
		T_1	T_2	根部间隙 R	坡口角 α	钝边 f	坡口半径 r			
焊条电弧焊	TC-U9a				45°			所有位置	—	C,D,J M,N,V
								平、仰焊	—	
熔化极气体 保护焊 药芯焊丝 电弧焊	TC-U9a-GF	不限	不限	0~3	30°	3	10	所有位置	自保护	A,C,J M,N,V

表 3-14 和表 3-15 的注:

接头形式代号

B——对接接头 C——直角接头 T——T形接头 BC——对接或直角接头 TC——T形或直角接头

BTC——对接、T形或直角接头

母材厚度和熔透代号

L——有限厚度(全焊透) U——不限厚度(全焊透) P——局部焊透

焊缝类型代号

1——直边对接焊缝 2——单面V形坡口焊缝 3——双面V形坡口焊缝 4——单斜面坡口焊缝 5——双斜面坡口焊缝 6——单面U形坡口焊缝 7——双面U形坡口焊缝 8——单面J形坡口焊缝 9——双面J形坡口焊缝 10——喇叭形坡口焊缝

焊缝尺寸代号

 R ——根部间隙 α, β ——坡口角度 f ——钝边 r ——J形或U形坡口半径 S, S_1, S_2 ——局部焊透开坡口焊缝, 坡口深度 E, E_1, E_2 ——局部焊透开坡口焊缝, 相应于 S, S_1, S_2 尺寸的焊缝尺寸

接头的代号

小写字母, 例如 e, g, a, b, c 等用于区分在不同情况下具有相同接头代号的那些接头

表 3-14 和表 3-15 表注

A——短路过渡熔化极气体保护焊和钨极氩弧焊均需作评定试验。

B——接头只从单面焊接。

Br——承受交变载荷的构件中这些接头局限于横焊位置。

C——在焊接第二面之前, 背面清根至无缺陷的金属。

D——焊条(手工)电弧焊接头详图可以用于免作评定的熔化极气体保护焊。(短路过渡熔化极气体保护焊除外)和药芯焊丝电弧焊。

E——最小焊缝尺寸(E)如表 3-14 中所列, S 按图样规定。J——在静载结构中, 如角焊缝用于直角接头和 T 形接头的加强开坡口焊缝, 这些焊缝尺寸应等于 $1/4T_1$, 但不必超过 10mm, 交变载荷结构的直角和 T 形接头的开坡口焊缝应以等于 $1/4T_1$ 的角焊缝加强, 但不大于 10mm。

- M--- 双面开坡口焊缝的坡口可以具有不等的深度,但较浅的坡口深度应不小于所连接的较薄部件厚度的 $1/4$ 。
- Mp--- 如双面坡口焊缝符合附注 E 的规定,则可以具有深度不等的坡口,焊缝尺寸 E 分别适用于每面坡口。
- N--- 所连接二部件的定向对于对接接头,可在 $135^\circ \sim 180^\circ$ 之间变化,对于直角接头为 $45^\circ \sim 135^\circ$,对于 T 形接头为 $45^\circ \sim 90^\circ$ 。
- V--- 对于直角接头,如坡口的基本形状不变,并留有足够的边缘余量防止边缘过量的熔化,则外坡口可在任一部件或二个部件上加工。
- Z--- 焊缝尺寸 E 是以平齐焊接的接头为基础的。

表 3-16 免作评定的局部焊透开坡口焊缝的最小焊缝尺寸 (mm)

所连接较厚部件的母材厚度	最小焊缝尺寸	所连接较厚部件的母材厚度	最小焊缝尺寸	所连接较厚部件的母材厚度	最小焊缝尺寸
3.2~4.8	2	12.7~19.0	6	57.1~152	13
4.8~6.4	3	19.0~38.1	8	152 以上	16
6.4~12.7	5	38.1~57	10		

注:焊缝尺寸不必超过较薄部件厚度者除外。

在这方面,AWS 钢结构焊接法规比 ASME 锅炉与压力容器法规较为严格,但这是在钢结构制造中免作焊接工艺评定的必要前提。

这里必须强调指出,我国各钢结构生产企业在沿用 AWS 法规有关免作焊接工艺评定的上述规定时,必须结合企业现有的技术状况和生产经验,否则必将导致产品焊接质量的失控。须知,美国 AWS 钢结构法规是结合美国大多数钢结构生产企业的技术水平,材料质量保证和产品质量监控手段现状制订的,经过 70 余年的演变,积累了相当丰富的生产经验。而我国大多数钢结构生产企业的现状与美国的先进技术水平差距很大。例如,AWS 法规将埋弧焊,熔化极气体保护焊以及药芯焊丝电弧焊等焊接方法列为可免作焊接工艺评定的传统焊接方法,因为在美国的钢结构生产企业中这些焊接方法已被视为相当成熟的,实际生产中应用已有 10 余年甚至几十年的成功经验。而在我国,大多数钢结构生产企业中,有的可能在生产中刚刚开始实际应用,有的可能把这些焊接方法列为新工艺推广项目在小范围内试用,也有的甚至尚未采用这些焊接方法生产钢结构。对于这些企业切不可草率直接沿用 AWS 法规免作焊接工艺评定的条款,对于工厂首次采用或使用经验尚不充分的焊接方法,仍应结合企业具体情况,按标准有关规定完成相应的焊接工艺评定试验。同样,国产钢材和焊材的质量保证和认证方面与国际先进国家相比也有较大差距,必须慎重对待。

2. 工艺评定规则

AWS 法规对焊接工艺评定的要求原则上与 ASME 法规第九卷的规定相似,但在某些方面的处理方法有些不同。ASME 法规对工艺评定试板接头性能的考核,偏重于力学性能,焊缝的致密性不是工艺评定试验的重点。而 AWS 法规则兼顾了接头的力学性能和致密性,对评定试板的检查包括了无损探伤并作为必查项目。对于某些焊接方法的重要工艺参数变化时,可以不作力学性能检查,但必须作无损探伤,以证明接头的致密性。在焊接工艺重要参数方面二者的定义也不同。ASME 法规把焊接位置、坡口形状和焊缝尺寸、焊件和焊丝的倾角,以及立焊方向看作是次要参数,而 AWS 法规则将上述参数视作重要参数。

钢结构焊接工艺评定的原则是,除了上述法规认可的通用焊接工艺规程以外,如所有下列焊接工艺重要参数的变化超过法规容许范围的,则该焊接工艺规程需作评定试验。

(1) 焊接方法 法规容许钢结构生产中采用下列各种焊接方法:焊条电弧焊、埋弧焊、熔

化极气体保护焊、钨极氩弧焊、药芯焊丝电弧焊、电渣焊和气电立焊。从一种焊接方法改用另一种焊接方法，或每种焊接方法的重要工艺参数的变化超过原评定合格的范围，需对该焊接工艺规程作评定试验。

(2) 母材金属 如钢结构焊接部件所用的母材金属不是法规认可的钢材，即采用未列入表 3-11 和表 3-12 的钢号，则与该种钢材有关的焊接工艺规程应作工艺评定。

(3) 焊接填充金属和电极 焊接填充材料强度级别的提高，从低氢型焊条改成高氢型焊条或改用非标准焊条、焊丝或焊丝-焊剂组合的变动，在钨极氩弧焊中，增加或取消填充丝，从添加冷丝改成添加热丝或反之，钨极直径的改变以及采用非标准钨极；在埋弧焊中添加或取消附加铁合金粉末或粒状填充金属或焊丝段，增加其添加量以及采用合金焊剂时，焊丝直径的任何变更；以及在各种机械和自动焊接法中焊丝根数的变化等均视作焊接工艺重要参数的改变，均应作焊接工艺评定。

在电渣焊和气电立焊中，填充金属或熔嘴金属成分的重要变化，熔池挡板从金属型改成非金属型或反之，从可熔挡板改成不可熔挡板或反之，实心非熔挡板任何横截面尺寸或面积的减小大于原有挡板的 25%，实心的非熔挡板改为水冷挡板或反之，熔嘴金属芯横截面的变化大于 30%，加焊剂方式的改变（如由药芯改为磁性焊丝或外加焊剂），焊剂成分包括熔嘴涂料成分的改变，焊剂配料成分的变化大于 30% 等均为重要工艺参数。上列重要参数超过规定范围应作工艺评定。

(4) 预热和层间温度 法规按钢种和板厚规定了最低的预热温度和层间温度如表 3-12 所示。如预热温度和层间温度降低值超过下列规定，则应通过工艺评定试验。对于焊条电弧焊、埋弧焊、熔化极气体保护焊和药芯焊丝电弧焊为 14℃；对于钨极氩弧焊为 55℃。对于要求缺口冲击韧度的焊接接头，层间温度不应比规定值高 55℃ 以上。

(5) 焊后热处理 对于法规认可的常用弧焊方法焊接的接头，增加或取消焊后热处理，对于电渣焊和气电立焊接头，改变焊后热处理的加热温度范围及保温时间，均应作工艺评定试验。

(6) 焊接电参数 重要的焊接电参数包括：焊接电流、电流种类和极性，熔滴过渡形式、电弧电压、焊丝送进速度、焊接速度和热输入。这些参数的变量如超过下列容许极限，则应作焊接工艺评定试验。其中每种直径焊条或焊丝的变量，对于焊条电弧焊不应超过焊条制造厂所推荐的上限值；对于埋弧焊、熔化极气体保护焊和药芯焊丝电弧焊不应超过原评定值的 10%；对于钨极氩弧焊不应超出 25%。埋弧焊接时，当使用合金焊剂或焊接淬火-回火钢时，电流种类和极性的变化以及熔化极（包括药芯焊丝）气体保护焊时熔滴过渡形式的变化均被看作重要参数。电弧电压的变量对于焊条电弧焊不应超过焊条制造厂推荐的上限值；对于埋弧焊、熔化极气体保护焊不应超过 7%；对于钨极氩弧焊不应超过 25%。对于各种机械焊接方法，焊丝的送进速度不应大于原评定值的 10%。在不要求控制热输入的情况下，焊接速度的变量对于埋弧焊、熔化极气体保护焊和钨极氩弧焊相应不得超过 15%、25% 和 50%。当要求控制热输入时，热输入的增加不应超过原评定值的 10%。对于电渣焊和气电立焊，焊接电流的增或减不应超过 20%，电压增或减不应大于 10%，焊丝送进速度的变化不超过 40%，焊接速度的增或减不大于 20%。

(7) 保护气体 在各种气体保护焊中，保护气体从一种气体改用另一种保护气体或改用混合气体，或改变混合气体的配比或取消气体保护，或使用非标准保护气体均看作是重要参

数的变。对于熔化极气体保护焊,药芯焊丝电弧焊和钨极氩弧焊,保护气体总流量如相应增加 20%、超过 25% 和 50%,或相应减少 10% 超过 10% 和 20%,则需通过焊接工艺评定试验。对于气电立焊,保护气体总流量变化的容限比为 25%,采用混合保护气体时,任何一种气体混合比的变化不应大于总流量的 5%。

(8) 坡口形式和尺寸 坡口形式的改变,例如从单 V 形改成双 V 形,从直边对接改成开坡口,或坡口的截面积的增加或减小比原评定值大 25%,或取消背面衬垫以及坡口尺寸的变化,即坡口角减小、间隙减小和钝边增加超过了法规有关条款规定的容限值,则需作焊接工艺评定试验。但全焊透开坡口接头的工艺评定适用于所有通用焊接工艺规程所采用的各种坡口,包括局部焊透开坡口的接头形式。

(9) 焊接位置 焊接工艺评定试验的焊接位置分平焊、立焊、横焊和仰焊,工艺评定的焊接位置只适用于相对应的产品焊接位置。从一种焊接位置改成另一种焊接位置需通过焊接工艺评定。电渣焊和气电立焊时,接头垂直度偏差不应大于 10° 。焊条电弧焊和气体保护焊立焊时,焊接方向从向上立焊改成向下立焊或反之,亦应看作重要工艺参数的变动。

(10) 母材金属的规格 母材金属的规格对于板结构只考虑母材金属厚度,对于管结构应同时考虑管径和壁厚。当采用全焊透开坡口焊缝进行工艺评定试验时,对于板材接头,试板厚度小于 25mm,其适用范围为 $3.0 \sim 2t$ (t 为试板厚度),试板厚度如大于 25mm,其适用范围的上限不受限制。对于管材接头试件的规格分两种,一种名义直径小于 610mm,另一种是大于 610mm,适用的产品焊件外径为等于和大于试件管径的所有规格。壁厚的适用范围,壁厚小于 10mm 的试件为 $3.0 \sim 2T$,壁厚为 10~19mm 的试件为 $T/2 \sim 2T$,壁厚大于 19mm 的试件为 10mm~无限大。对于电渣焊和气电立焊,工艺评定有效的壁厚范围为 $0.5 \sim 1.1T$ 。对于焊条电弧焊、气体保护焊和埋弧焊,任何厚度或管径的全焊透开坡口焊缝的评定,适用于所有尺寸的角焊缝或任何厚度的局部焊透开坡口焊缝。当采用局部焊透焊缝评定时,其适用范围按坡口深度而定。如试板坡口深度为 3.0~10mm,其适用范围为 $3.0 \sim 2h$ (h 为坡口深度),如试板坡口深度为 10~25mm,则适用范围为 3.0mm~任何厚度,当以 T 形接头试板评定角焊缝时,如试验角焊缝为单道,其尺寸为产品结构中所规定的最大角焊缝尺寸,则可适用于任何厚度的板厚,适用于尺寸为单道试验角焊缝的最大尺寸及更小的尺寸。如以产品结构中所规定的最小尺寸多道角焊缝为试验角焊缝,则可适用于任何厚度的板厚及焊缝尺寸为多道试验角焊缝最小尺寸及更大的尺寸。当以管件 T 形接头评定角焊缝时,其适用范围与板材相同,只是将板厚改成管壁厚。

(11) 操作技术参数 对于几种常用的焊接方法,操作技术参数不是重要工艺参数。但在一些特种的焊接方法中,需将下列操作技术参数看作重要参数:多丝埋弧焊纵向和侧向丝间距变化大于原评定值的 10% 或 3mm,焊丝倾角增加或减少大于 3° ,焊丝与焊接方向直角偏差大于 5° 。

4.3 船体结构焊接工艺评定规则

船体结构的焊接工艺评定在国内尚未制定相应的标准。目前各船厂基本上按照国际通用的船建法规中的有关章节的规定完成焊接工艺评定工作。例如德国劳埃德船建法规等。由于船建法规的编写方法另成体系,很难直接引用,故以摘录的方式将有关焊接工艺评定的规则列于附录 B 中,以供参考。

5 焊接工艺参数

由上节焊接工艺评定规则中可知,焊接工艺评定的必要性基本上是按焊接工艺重要参数的变化来决定的。因此,正确判断哪些焊接工艺参数是重要参数就成为确定焊接工艺评定立项必要性的前提。问题在于焊接工艺参数对焊接工艺评定的重要程度不是固定不变的,一种焊接工艺参数在这种焊接方法中是重要参数,在另一种焊接方法中,可能变成次要参数,对这种母材金属是重要参数,对另一种母材金属可能是次要参数。可见弄清楚重要和次要工艺参数的真正含义显得十分必要。

5.1 焊接重要参数、补加参数和次要参数

各种焊接工艺参数按其对于焊接工艺评定的重要程度,可以分为重要参数、补加重要参数和次要参数。其定义如下:

1. 重要参数

明显影响焊接接头力学性能(缺口韧度除外)的焊接工艺参数,如焊接方法、母材金属的类别号、填充金属分类号、预热和焊后热处理等工艺参数的变化。

2. 补加重要参数

明显影响焊接接头缺口冲击韧度的焊接工艺参数,如焊接方法、向上立焊还是向下立焊、热输入、预热温度和热处理制度的变化。

3. 次要参数

基本上不影响接头力学性能的工艺参数,如接头的形式、背面清根或清理方法等。

所有的焊接工艺参数可以按接头、母材金属、填充金属、焊接位置、预热、焊后热处理、气体、电参数和操作技术分成九大类。在每一类中按照焊接方法有多种不同的工艺参数,为叙述的方便起见,以下按焊接方法以表格形式列出工艺评定中应考虑的重要参数,补加重要参数和次要参数。

5.2 焊接工艺参数的分类

1. 锅炉与压力容器焊接工艺评定的工艺参数

(1) 气焊 气焊工艺参数的分类详见表 3-17。

表 3-17 气焊工艺参数

参数的类别	工艺参数名称及变量	重要参数	补加重要参数	次要参数
接头	1. 改变坡口形式	—	—	✓
	2. 增加或取消衬垫	—	—	✓
	3. 改变衬垫的成分	—	—	✓
	4. 改变根部间隙	—	—	✓
母材金属	1. 改变母材分类号	✓	—	—
	2. 母材厚度超过评定的范围	✓	—	—
	3. 改变铬钼钢组别号	✓	—	—
填充金属	1. 改变填充丝规格	—	—	✓
	2. 改变填充金属类别	✓	—	—
	3. 改变填充金属的合金类别	✓	—	—
	4. 改变填充金属标准型号	✓	—	—

(续)

参数的类别	工艺参数名称及变量	重要参数	补加重要参数	次要参数
焊接位置	1. 改变或增加焊接位置	—	—	✓
预 热	1. 降低预热温度 $>50^{\circ}\text{C}$	—	—	✓
焊后热处理	1. 改变焊后热处理方法	✓	—	—
气体	1. 改变燃气种类	✓	—	—
操作技术	1. 由窄焊道改为摆动焊	—	—	✓
	2. 改变火焰特性	—	—	✓
	3. 左焊法改为右焊法或反之	—	—	✓
	4. 改变清理方法	—	—	✓
	5. 增加或取消锤击	—	—	✓

注：符号“✓”表示该参数或变量属于重要参数，补加重要参数或次要参数，下同。

(2) 焊条电弧焊 焊条电弧焊工艺参数的分类及变量见表 3-18。

表 3-18 焊条电弧焊工艺参数

参数类别	工艺参数名称及变量	重要参数	补加重要参数	次要参数
接头	1. 改变坡口形式	—	—	✓
	2. 取消衬垫	—	—	✓
	3. 改变根部间隙	—	—	✓
	4. 增加或取消非金属或可熔金属衬环	—	—	✓
母材金属	1. 改变材料的组别号	—	✓	—
	2. 母材厚度超过有冲击韧度要求的厚度极限	—	✓	—
	3. 母材厚度大于 200mm	✓	—	—
	4. 母材厚度超过评定的范围	✓	—	—
	5. 焊道厚度大于 13mm	✓	—	—
	6. 母材类别号改变	✓	—	—
	7. 改变铝青铜的组别号	✓	—	—
填充金属	1. 改变焊条的类别号	✓	—	—
	2. 改变焊条的合金类型	✓	—	—
	3. 改变焊条的直径	—	—	✓
	4. 焊条直径大于 6.4mm	—	✓	—
	5. 改变焊条标准型号	—	✓	—
	6. 改变焊缝的厚度超过评定的范围	✓	—	—
	7. 改变焊条标准型号末位数字或代号	—	—	✓
焊接位置	1. 增加焊接位置	—	—	✓
	2. 焊接位置改成向上立焊	—	✓	—
	3. 盖面层修饰层和根部焊道向上，向下立焊	—	—	✓
预 热	1. 预热温度降低大于 50°C	✓	—	—
	2. 改变焊后保温	—	—	✓
	3. 提高层间温度大于 50°C	—	✓	—
焊后热处理	1. 改变焊后热处理方法	✓	—	—
	2. 改变热处理温度和保温时间超过容许范围	—	✓	—
	3. 接头厚度超过评定范围	✓	—	—

(续)

参数类别	工艺参数名称及变量	重要参数	补加重要参数	次要参数
电参数	1. 热输入大于评定值	—	✓	—
	2. 改变电流种类和极性	—	✓	✓
	3. 电流变化未超出容许范围	—	—	✓
操作技术	1. 由窄焊道技术改成摆动焊	—	—	✓
	2. 改变焊前清理方法	—	—	✓
	3. 改变清根方法	—	—	✓
	4. 增加或取消锤击	—	—	✓

(3) 埋弧焊 埋弧焊的典型工艺参数的分类及变量见表 3-19。

表 3-19 埋弧焊工艺参数

参数类别	工艺参数名称及变量	重要参数	补加重要参数	次要参数
接头	1. 改变坡口形式	—	—	✓
	2. 取消衬垫	—	—	✓
	3. 改变根部间隙	—	—	✓
	4. 增加或取消非金属或非熔金属衬垫	—	—	✓
母材金属	1. 改变母材组别号	—	✓	—
	2. 母材厚度超过有冲击韧度要求的厚度极限	—	✓	—
	3. 母材和接头厚度超过 200mm	✓	—	—
	4. 母材厚度超过评定的范围	✓	—	—
	5. 焊道厚度超过 13mm	✓	—	—
	6. 改变母材的类别号	✓	—	—
	7. 改变铬钼钢的组别号	✓	—	—
填充金属	1. 改变填充金属的类别号	✓	—	—
	2. 改变填充金属的合金类型	✓	—	—
	3. 改变焊丝的直径	—	—	✓
	4. 改变焊丝/焊剂标准型号	✓	—	—
	5. 合金焊剂成分的变化	✓	—	—
	6. 增加或取消附加填充金属	✓	—	—
	7. 增加或取消粉末填充金属	✓	—	—
	8. 增加粉末填充金属量	✓	—	—
	9. 改变粉末填充金属的合金含量	✓	—	—
	10. 改变焊剂的牌号	—	—	✓
	11. 改变焊缝金属的厚度超过评定的范围	✓	—	—
	12. 改变填充金属的商品牌号或标准型号末位数字和代号	—	—	✓
	13. 改变焊剂的种类	✓	—	—
	14. 改变焊丝/焊剂标准型号	—	✓	✓
	15. 使用非标准焊剂	✓	—	—
焊接位置	1. 增加焊接位置 (由平焊改成横焊)	—	—	✓
预 热	1. 降低预热温度大于 50℃	✓	—	—
	2. 改变焊后保温	—	—	✓
	3. 层间湿度提高大于 50℃	—	✓	—

(续)

参数类别	工艺参数名称及变量	重要参数	补加重要参数	次要参数
焊后热处理	1. 改变焊后热处理方法	✓	—	—
	2. 改变焊后热处理温度和保温时间超过已评定的范围	—	✓	—
	3. 接头的厚度超过评定的范围	✓	—	—
电参数	1. 热输入大于评定的范围	—	✓	—
	2. 改变电流的种类和极性	—	✓	✓
	3. 电流和热输入的变化未超出容许范围	—	—	✓
操作技术	1. 由窄焊道改成摆动焊缝			✓
	2. 改变清理方法			✓
	3. 改变清根方法			✓
	4. 改变摆动参数			✓
	5. 改变焊丝伸出长度			✓
	6. 由多道焊改成单道焊		✓	✓
	7. 由单丝改成多丝		✓	✓
	8. 改变多丝焊的焊丝间距			✓
	9. 增加或取消锤击			✓

(4) 熔化极气体保护焊 熔化极气体保护焊 (包括实心焊丝和药芯焊丝气体保护焊) 工艺参数的分类及变量列于表 3-20。

表 3-20 熔化极气体保护焊 (含药芯焊丝) 工艺参数

参数类别	工艺参数名称及变量	重要参数	补加重要参数	次要参数
接头	1. 改变坡口形式	—	—	✓
	2. 取消衬垫	—	—	✓
	3. 改变根部间隙	—	—	✓
	4. 增加或取消非金属或可熔金属衬垫	—	—	✓
母材金属	1. 改变母材的组别号	—	✓	—
	2. 母材厚度超过有冲击韧度要求的厚度极限	—	✓	—
	3. 母材厚度和焊缝厚度超过 200mm	✓	—	—
	4. 母材厚度超过评定的范围	✓	—	—
	5. 焊道厚度超过 13mm	✓	—	—
	6. 母材厚度超过短路过渡焊接法的厚度极限	✓	—	—
	7. 改变母材的类别号	✓	—	—
	8. 改变铬钼钢的组别号	✓	—	—
填充金属	1. 改变填充金属类别号	✓	—	—
	2. 改变填充金属的合金类型	✓	—	—
	3. 改变焊丝的直径	—	—	✓
	4. 改变焊丝的标准型号	—	✓	—
	5. 由实心焊丝或金属粉芯焊丝改成药芯焊丝	✓	—	—
	6. 增加或取消附加填充金属	✓	—	—
	7. 增加或取消金属粉填充金属	✓	—	—
	8. 改变金属粉添加量	✓	—	—
	9. 改变金属粉填充金属的合金成分	✓	—	—
	10. 改变焊缝金属的厚度超过已评定的范围	✓	—	—
	11. 焊缝金属厚度超过短路过渡焊接法的厚度极限	✓	—	—
	12. 改变焊丝的标准型号和商品牌号	—	—	✓

(续)

参数类别	工艺参数名称及变量	重要参数	补加重要参数	次要参数
焊接位置	1. 增加焊接的位置	—	—	✓
	2. 从任何一种位置改成向上立焊位置	—	✓	—
	3. 盖面层修磨层和根部焊道向上、向下立焊	—	—	✓
预 热	1. 降低预热温度大于 50℃	✓	—	—
	2. 改变焊后保温方式	—	—	✓
	3. 提高层间温度大于 50℃	—	✓	—
焊后热处理	1. 改变焊后热处理方法	✓	—	—
	2. 改变热处理温度和保温时间超过已评定的范围	—	✓	—
	3. 母材的厚度已超过评定的范围	✓	—	—
气 体	1. 增加或取消拖罩保护气或改变其成分	—	—	✓
	2. 从单一保护气改成混合气体或改变其配比	✓	—	—
	3. 在规定的范围内改变保护气流量	—	—	✓
	4. 增加或取消背面成形气体, 改变其成分或在规定的范围内改变其流量	—	—	✓
	5. 铬钼钢和高铬钢焊接时, 取消背面成形气体或改变成形气体的成分	✓	—	—
	6. $w_{Cr} > 2.25\%$ 的合金钢焊接时, 取消拖罩保护气、改变其成分或流量降低 10% 以上	✓	—	—
电参数	1. 热输入增加大于评定的范围	—	✓	—
	2. 改变熔滴过渡的形式	✓	—	—
	3. 改变电流种类和极性	—	✓	✓
	4. 电流和热输入的变化未超过容许的范围	—	—	✓
操作技术	1. 由窄焊道改成摆动焊	—	—	✓
	2. 改变喷嘴, 保护罩的尺寸	—	—	✓
	3. 改变焊前清理方法	—	—	✓
	4. 改变清根方法	—	—	✓
	5. 改变摆动参数	—	—	✓
	6. 改变焊丝伸出长度	—	—	✓
	7. 由多道焊改成单道焊	—	✓	✓
	8. 由单丝改成多丝焊	—	✓	✓
	9. 改变多丝焊焊丝间距	—	—	—
	10. 由手工焊、改成机械焊或自动焊	—	—	✓
	11. 增加或取消锤击	—	—	✓

(5) 钨极惰性气体保护焊 钨极惰性气体保护焊的典型工艺参数及其变量综列于表 3-21。

表 3-21 钨极惰性气体保护焊工艺参数

参数类别	工艺参数名称及其变量	重要参数	补加重要参数	次要参数
接 头	1. 改变坡口形式	—	—	✓
	2. 增加背面成形气体或改变其成分	—	—	✓
	3. 增加根部间隙	—	—	✓
	4. 增加或取消非金属或可熔金属衬垫	—	—	✓
母材金属	1. 改变母材的组别号	—	✓	—
	2. 母材厚度超过有冲击韧度要求的厚度极限	—	✓	—
	3. 母材厚度和焊缝厚度超过 200mm	✓	—	—
	4. 母材厚度超过了评定的范围	✓	—	—
	5. 改变母材的类别号	✓	—	—
	6. 改变铬钼钢的组别号	✓	—	—

(续)

参数类别	工艺参数名称及其变量	重要参数	补加重要参数	次要参数
填充金属	1. 改变填充焊丝的规格	—	—	✓
	2. 改变填充金属的类别号	✓	—	—
	3. 改变填充金属的合金类型	✓	—	—
	4. 改变填充金属的标准型号	—	✓	—
	5. 增加或取消填充金属	✓	—	—
	6. 增加或取消可熔衬环	—	—	✓
	7. 由实心焊丝或金属粉芯焊丝改成药芯焊丝	✓	—	—
	8. 改变焊缝金属的厚度超过已评定的范围	✓	—	—
	9. 改变焊丝的标准型号和商品牌号	—	—	✓
焊接位置	1. 增加焊接位置	—	—	✓
	2. 从任一位置改成向上立焊位置	—	✓	—
	3. 盖面层、修饰层和根部焊道向上立焊改为向下立焊或反之	—	—	✓
预 热	1. 预热温度降低 $>50^{\circ}\text{C}$	✓	—	—
	2. 提高层间温度 $>50^{\circ}\text{C}$	—	✓	—
焊后热处理	1. 改变焊后热处理方法	✓	—	—
	2. 改变焊后热处理的温度和保温时间超过评定的范围	—	✓	—
	3. 母材厚度超过评定的范围	✓	—	—
气 体	1. 增加或取消掩罩的保护气或改变其成分	—	—	✓
	2. 从单一保护气改成混合气体或改变其配比	✓	—	—
	3. 在规定的范围内改变保护气流量	—	—	✓
	4. 增加或取消背面成形气体或改变其成分, 或在规定的范围内改变其流量	—	—	✓
	5. 铬钼钢和高铬钢焊接时, 取消背面成形气体或改变成形气体的成分	✓	—	—
	6. 焊接 $w_{Cr}>2.25\%$ 的合金钢时, 取消掩罩保护气, 改变其成分或流量降低 10% 以上	✓	—	—
电参数	1. 热输入增加大于评定的范围	—	✓	—
	2. 增加或取消叠加脉冲电流	—	—	✓
	3. 改变电流的种类和极性	—	✓	✓
	4. 电流和热输入的变化未超过容许值	—	—	✓
操作技术	1. 由窄焊道技术改成摆动焊	—	—	✓
	2. 改变喷嘴、保护罩的尺寸	—	—	✓
	3. 改变焊前清理方法	—	—	✓
	4. 改变背面清根方法	—	—	✓
	5. 改变摆动参数	—	✓	—
	6. 由多道焊改成单道焊	—	✓	—
	7. 由单丝焊改成多丝焊	✓	—	—
	8. w_{Cr} 为 2.25% 合金钢焊接时, 由密封工作舱内焊接改成舱外焊接	—	—	✓
	9. 多丝焊接时的丝间距的改变	—	—	✓
	10. 由手工焊改成机械焊或自动焊	—	—	✓
	11. 增加或取消锤击	—	—	✓

(6) 等离子弧焊 等离子弧焊的典型工艺参数及其变量综列于表 3-22。

表 3-22 等离子弧焊工艺参数

参数类别	工艺参数名称及其变量	重要参数	补加重要参数	次要参数
接 头	1. 改变坡口形式	—	—	✓
	2. 增加衬垫或改变其成分	—	—	✓
	3. 增加根部间隙	—	—	✓
	4. 增加或取消非金属或可熔金属衬垫	—	—	✓
母材金属	1. 改变母材的组别号	—	✓	—
	2. 母材厚度超过有冲击韧度要求的厚度极限	—	✓	—
	3. 母材厚度的改变超过了评定的范围	✓	—	—
	4. 改变母材的类别号 (采用熔透型等离子弧焊接碳钢和低合金钢时, 高类别号母材的评定适用于低类别号的母材)	✓	—	—
	5. 铬钼钢和高铬钢焊接时, 改变母材的组别号	✓	—	—
填充金属	1. 改变填充金属的规格	—	—	✓
	2. 改变填充金属的类别号	✓	—	—
	3. 改变填充金属的合金类型	✓	—	—
	4. 改变填充金属的标准型号	—	✓	—
	5. 增加或取消填充金属	✓	—	—
	6. 增加或取消可熔衬垫	—	—	✓
	7. 由实心焊丝或金属粉芯焊丝改用药芯焊丝	✓	—	—
	8. 增加或取消附加的金属粉末	✓	—	—
	9. 改变金属粉末的添加量	✓	—	—
	10. 改变金属粉末的合金成分	✓	—	—
	11. 改变焊缝金属的厚度超过已评定的范围	✓	—	—
	12. 改变焊丝标准型号的末位数字或代号或改变商品牌号	—	—	✓
焊接位置	1. 增加焊接位置	—	—	✓
	2. 从任一焊接位置改成向上立焊	—	✓	—
	3. 盖面层、修饰层和根部焊道向上立焊改为向下立焊	—	—	✓
预 热	1. 预热温度降低大于 50℃	✓	—	—
	2. 层间温度提高大于 50℃	—	✓	—
焊后热处理	1. 改变焊后热处理方法	✓	—	—
	2. 改变焊后热处理温度和保温时间超过评定的范围	—	✓	—
	3. 母材厚度超过已评定的范围	✓	—	—
气 体	1. 增加或取消拖罩保护气或改变其成分	—	—	✓
	2. 改变离子气和保护气体的成分和流量	✓	—	—
	3. 增加或取消背面成形气体或改变其成分, 或在规定的范围内改变其流量	—	—	✓
	4. 焊接铬钼钢和高铬钢时, 取消背面成形气体或改变成形气体的成分	✓	—	—
	5. 焊接 $w_{Cr} > 2.25\%$ 的合金钢时, 取消拖罩保护气或改变其成分或将流量降低 10% 以上	✓	—	—

(续)

参数类别	工艺参数名称及其变量	重要参数	补加重要参数	次要参数
电参数	1. 增加热输入量大于评定的范围	—	✓	—
	2. 改变电流种类和极性	—	✓	✓
	3. 电流和热输入的变化未超过容许值	—	—	✓
	4. 改变钨极的种类和规格	—	—	✓
操作技术	1. 由窄焊道技术改成摆动焊	—	—	✓
	2. 改变喷嘴、保护罩的尺寸	—	—	✓
	3. 改变焊前清理方法	—	—	✓
	4. 改变清根方法	—	—	✓
	5. 改变摆动参数	—	—	✓
	6. 由多道焊改成单道焊	—	✓	✓
	7. 由单丝改成多丝	—	✓	✓
	8. 焊接含铬 2.25% 合金钢时, 由密封气舱内焊接改为舱外焊接	✓	—	—
	9. 由熔透焊改成锁孔焊	—	✓	—
	10. 多丝焊接时丝间距的改变	—	—	✓
	11. 增加或取消锤击	—	—	✓

(7) 电渣焊 电渣焊的典型工艺参数及其变量综列于表 3-23。

表 3-23 电渣焊的工艺参数

参数类别	工艺参数名称及变量	重要参数	补加重要参数	次要参数
接头	1. 改变坡口形式	—	—	✓
	2. 改变根部间隙	—	—	✓
	3. 增加或取消非金属或可熔金属挡块	✓	—	—
母材金属	1. 改变母材的类别号	✓	—	—
	2. 改变母材的组别号	—	✓	—
	3. 单层焊缝厚度大于 13mm	✓	—	—
	4. 改变锆钼钢和高铬钢的组别号	✓	—	—
填充金属	1. 改变填充金属的类别号	✓	—	—
	2. 改变填充金属的合金类型	✓	—	—
	3. 改变焊丝直径	—	—	✓
	4. 改变填充金属的标准型号	—	✓	—
	5. 改变焊剂种类或成分	✓	—	—
	6. 由丝极改为板极	✓	—	—
	7. 由熔嘴改成非熔嘴或相反	✓	—	—
	8. 改变填充金属标准型号的末位数字或代号, 改变其商品牌号	—	—	✓
焊后热处理	1. 改变焊后热处理方法	✓	—	—
	2. 改变焊后热处理温度和保温时间超过评定值	—	✓	—
	3. 改变母材的厚度超过评定的范围	✓	—	—
电参数	1. 焊接电流和热输入增加或减小超过原评定值的 15%	✓	—	—

(续)

参数类别	工艺参数名称及变量	重要参数	补加重要参数	次要参数
操作技术	1. 改变清理方法	—	—	✓
	2. 改变摆动参数 (摆动宽度、频率, 或停留时间)	✓	—	—
	3. 由单丝改成多丝	✓	—	—
	4. 改变丝间距	—	—	✓
	5. 增加或取消锤击	—	—	✓

2. 钢结构焊接工艺评定的工艺参数

钢结构焊接工艺评定的主要工艺参数按焊接方法综列于表 3-24。电渣焊或气电立焊的焊接工艺评定重要参数列于到表 3-25。

表 3-24 焊条电弧焊、埋弧焊、熔化极气体保护焊、药芯焊丝电弧焊和钨极氩弧焊重要参数

重 要 参 数	焊 接 方 法				
	手工电弧焊	埋弧焊	熔化极气体 保护焊	药芯焊丝 电弧焊	钨极氩弧焊
填充金属					
1. 填充金属强度级别提高	✓	—	✓	✓	—
2. 手工电弧焊焊条从低氢改为非低氢	✓				
3. 从一种焊丝或焊丝/焊剂组合改成另一种焊丝 或焊丝/焊剂组合	—	✓	—	—	✓
4. 改用非标准的焊丝、焊条或焊剂/焊丝组合	✓	✓	✓	✓	✓
5. 添加或取消填充金属	—	—	—	—	✓
6. 从填充冷丝改为填充热丝	—	—	—	—	✓
7. 填充或取消补加粉末或粒状填充金属或丝段	—	✓	—	—	—
8. 增加补加粉末或粒状填充金属或丝段的添加量	—	✓	—	—	—
9. 焊接工艺规程中导致焊缝金属重要合金元素变 化的各参数	—	✓	—	—	—
10. 焊条/焊丝名义直径的改变	增加 0.8mm	任何增加	任何增减	任何增加	增减 1.6mm
11. 焊丝数量的改变	—	✓	✓	✓	—
12. 钨极品种的改变	—	—	—	—	✓
电参数					
13. 对于每种焊条/焊丝直径, 电流的变化/%	增加到超 出规定范围	增减>10	增减>10	增减>10	增减>25
14. 电流种类 (交流或直流) 或极性以及熔滴过渡 形式 (GMAW) 的改变		使用合金 焊剂或焊接 淬火—回火 钢	✓	✓	
15. 对于每种焊条/焊丝直径, 电压的变化/%	变化超出 规定范围	增减>7	增减>7	增减>7	增减>25
16. 对于每种直径的焊丝, 送丝速度的增加/%	—		>10		—
17. 焊接速度的变化 (不要求热量控制) /%		增减>25			增减>50
18. 热输入增加/%	>10				(当要求冲 击试验时)任 何增量

(续)

重 要 参 数	焊 接 方 法				
	手工电弧焊	埋弧焊	熔化极气体保护焊	药芯焊丝电弧焊	钨极氩弧焊
保护气体					
19. 保护气体从一种单一气体改成另一种单一气体或混合气体或改变混合气体标准配比或改成无保护气体	—	—	✓	✓	✓
20. 保护气体总流量变化/%	—	—	增≥25 减≥10	增≥20 减≥10	增≥50 减≥20
21. 改用非标准保护气体			✓	✓	
埋弧焊参数					
22. 多丝焊电弧纵向间距的变化大于 10% 或 3.2mm	—	✓	—	—	—
23. 多丝焊电弧侧向间距变化大于 10% 或 3.2mm	—	✓	—	—	—
24. 平列焊丝倾角增减大于 10°	—	✓	—	—	—
25. 埋弧焊焊丝倾角大于 3°	—	✓	—	—	—
26. 埋弧焊焊丝垂直于焊接方向增减大于 5°	—	✓	—	—	—
其它参数					
27. 对于工艺评定报告记录的坡口截面, 焊道数增减大于 25%	✓	✓	✓	✓	✓
28. 焊接位置的改变	✓	✓	✓	✓	—
29. 直径或厚度或二者的变化	✓	✓	✓	✓	✓
30. 未列入工艺评定报告的母材和母材组合的变化	✓	✓	✓	✓	✓
31. 立焊从垂直向上改为垂直向下或相反	✓	—	✓	✓	✓
32. 坡口形式的改变 (如从单 V 形改成双 V 形)	✓	✓	✓	✓	✓
33. 坡口形式从直边对接改成开坡口或相反	✓	✓	✓	✓	✓
34. 坡口尺寸的变化超过规定的公差 a) 坡口角减小, b) 根部间隙减小, c) 钝边增加	✓	✓	✓	✓	✓
35. 省略衬垫或背面清根	✓	✓	✓	✓	✓
36. 降低预热温度/℃	>14				>55
37. 提高层间温度/℃	—	—	—	—	>55 有冲击要求时
38. 降低层间温度/℃	>14				>55
39. 增加或取消焊后热处理	✓	✓	✓	✓	✓

注: 1. 降低填充金属强度等级是容许的, 不必重新作焊接工艺规程的评定。

2. 对于使用合金焊剂的焊接工艺规程, 增大或减小焊丝直径要求重作焊接工艺评定。

3. 所有尺寸角焊缝的焊接速度范围, 可以通过最大尺寸的单层角焊缝和最小尺寸的多道角焊缝评定试验来确定。

4. 这些参数只是在合同文本要求控制热输入时才为重要参数。

5. 如产品焊缝坡口截面与焊接工艺评定报告的坡口截面有差别, 焊道数按截面比例增减是容许的, 不必重作评定。

表 3-25 电渣焊或气电立焊焊接工艺规程评定的重要参数

重要参数	通过力学性能试验评定	通过射线透视或超声波探伤试验评定
填充金属		
1. 填充金属或熔嘴金属成分的重大变化	✓	—
成型滑块		
2. 从金属滑块改成非金属滑块或相反	—	✓
3. 从可熔滑块改成不可熔滑块或相反	—	✓
4. 实心不可熔滑块横截面尺寸或面积减小 $>25\%$	—	✓
5. 实心不可熔滑块改成水冷滑块或相反	✓	—
填充丝的摆动		
6. 摆动速度的变化 $>4.2\text{mm/s}$	—	✓
7. 摆动在两端的停留时间 $>2\text{s}$ (为补偿接头间隙变化改变停留时间除外)	—	✓
8. 摆动幅度的变化大于 3mm	—	✓
补加填充金属		
9. 熔嘴金属芯横截面积的变化 $>30\%$	✓	—
10. 加焊剂方法的改变, 如药芯焊丝改成磁芯焊丝外加焊剂	✓	—
11. 焊剂成分, 包括熔嘴涂料的改变	✓	—
12. 焊剂添加量的改变 $>30\%$	—	✓
焊丝/填充金属的直径		
13. 焊丝直径增加或减小 $>0.8\text{mm}$	—	✓
14. 焊丝根数的改变	✓	—
焊接电流		
15. 焊接电流增减 $>20\%$	✓	—
16. 电流种类 (交流或直流) 或极性的改变	—	✓
电弧电压 (或焊接电压)		
17. 电压升或降 $>10\%$	—	✓
焊接方法		
18. 由单一焊接方法改成与其它任何一种焊接方法联用	✓	—
19. 由单层改为多层或相反	✓	—
20. 由恒流电源改为恒压电源或相反	—	✓
焊丝给送速度		
21. 焊丝给送速度增减 $>40\%$	✓	—
焊接速度		
22. 焊接速度增减 $>20\%$	—	✓
焊接保护气体 (只适用于气电立焊)		
23. 保护气体组成中任何一种组分的变化 $>$ 总流量的 5%	✓	—
24. 保护气体总流量增减 $>25\%$	—	✓

(续)

重要参数	通过力学性能试验评定	通过射线透视或超声波探伤试验评定
焊接位置		
25. 垂直位置斜倾 $>10^{\circ}$	—	✓
坡口形式		
26. 坡口横截面积增大 (对于直边对接以外的坡口)	✓	—
27. 坡口横截面积减小 (对于直边对接以外的坡口)	—	✓
28. 接头厚度的变化超出 $T=0.5\sim 1.1T$ 的范围	✓	—
29. 直边对接间隙增减 $>6\text{mm}$	—	✓
焊后热处理		
30. 焊后热处理形式的改变	✓	—

6 焊接工艺评定报告的内容

焊接工艺评定试验方法及程序将在第四章详细论述。试验完成后,需将试验结果填入焊接工艺评定报告。通常为便于对照、还应事先编制一份焊接工艺设计书作为焊接工艺评定报告的附件。其推荐格式如表 3-26 所示。

表 3-26 焊接工艺设计书

编号 No _____ 工艺评定编号 _____

评定项目 _____	
焊接方法 _____ 自动化等级 _____ 焊接位置 _____ 技术标准 _____	
接头坡口形式	焊接层次 (顺序)
对焊接接头的基本要求	
1. 力学性能	
σ_b/MPa	σ_s/MPa
$\delta_5/\%$	弯曲角度/ $^{\circ}$ ($d=a$)
冲击试验	
缺口形式	
试验温度/ $^{\circ}\text{C}$	
A_{KV}/J	
其它	
2. 其它	
母材	牌号 _____ 规格 _____ 类别 _____
焊接材料	焊条牌号 _____ 焊条规格 _____ 型号 _____ 钨极型号规格 _____ 焊剂 _____
	焊丝牌号 _____ 焊丝规格 _____ 型号 _____ 保护气 _____ 流量 _____
	其它气体 _____ 流量 _____

(续)

预热 焊后 热处理	预热温度 _____ 层间温度 _____ 后热温度,时间 _____ 消氢温度,时间 _____ 中间热处理 _____ 时间 _____ 焊后热处理 _____ 时间 _____						
	电流种类 _____ 极性 _____ 焊接电流 _____ 电弧电压 _____						
焊接工艺参数要求							
操作技术要求							
编 制		校 对		审 核		批 准	
日 期		日 期		日 期		日 期	

6.1 焊接工艺设计书的内容

焊接工艺设计书应有便于查找的编号以及相对应的焊接工艺评定报告的编号。

焊接工艺设计书应包括如下内容:

- 1) 评定项目名称。
- 2) 焊接方法和自动化等级(手工、机械化、自动)。
- 3) 试板的焊接位置。
- 4) 所依据的产品技术标准号。
- 5) 所要评定的接头和坡口形式,坡口尺寸及容差。以简图表示。
- 6) 焊接顺序和焊缝层次,以示意图表示。
- 7) 对所评定产品焊接接头性能的要求,包括强度、塑性、冲击韧度及其它性能(如耐蚀性,硬度等)。
- 8) 母材金属的牌号、规格、类别(按产品图样)。
- 9) 拟采用的焊接材料、焊条、焊丝、焊剂、钨极的牌号和规格。
- 10) 拟采用的保护气体,背面成形气体的种类、成分及流量。
- 11) 预热温度、层间温度、后热温度和消氢处理温度。
- 12) 焊后热处理种类、温度、保温时间。
- 13) 焊接电参数为焊接电流种类、极性、焊接电流和电弧电压范围。
- 14) 操作技术参数。对于常用的焊接方法可不作规定,对于特种焊接方法应作具体规定。
- 15) 编制、校对、审核和批准人员签名。

6.2 焊接工艺评定报告的各项内容

一份完整的焊接工艺评定报告应记录评定试验时所使用的全部重要参数。由表 3-6 所示

的推荐格式可见。其内容应包括下列各部分：

- 1) 评定报告编号及相对应的设计书编号。
- 2) 评定项目名称。
- 3) 评定试验采用的焊接方法，焊接位置。
- 4) 所依据的产品技术标准编号。
- 5) 试板的坡口形式、实际的坡口尺寸。
- 6) 试板焊接接头焊接顺序和焊缝的层次。
- 7) 试板母材金属的牌号、规格、类别号，如采用非法规和非标准材料，则应列出实际的化学成分化验结果和力学性能的实测数据。
- 8) 焊接试板所用的焊接材料，列出牌号、规格以及该批焊材入厂复验结果，包括化学成分和力学性能。
- 9) 评定试板焊前实际的预热温度、层间温度和后热温度等。
- 10) 试板焊后热处理的实际加热温度和保温时间，对于合金钢应记录实际的升温和冷却速度。
- 11) 焊接电参数，记录试板焊接过程中实际使用的焊接电流、电弧电压、焊接速度。对于熔化极气体保护焊和电渣焊应记录实测的送丝速度。电流种类和极性应清楚表明。如采用脉冲电流，应记录脉冲电流的各参数。
- 12) 操作技术参数，凡是在试板焊接中加以监控或检测的参数都应加以记录、其它参数可不作记录。
- 13) 力学性能检验结果，应注明检验报告的编号、试样编号、试样形式，实测的接头强度性能和抗弯性能数据。
- 14) 其它性能的检验结果，角焊缝宏观检查结果，或耐蚀性检验结果、硬度测定结果。
- 15) 评定结论。
- 16) 编制、校对、审核人员签名。
- 17) 企业管理者代表批准，以示对报告的正确性和合法性负责。

第4章 焊接工艺评定试验

1 概述

焊接工艺评定试验项目和方法原则上应完全按照我国现行的焊接工艺评定标准,完成焊接工艺评定试验的企业单位不得任意增加或缩减试验项目,也不得任意改变试验方法,否则就失去了焊接工艺评定的合法性和合理性。但是正如前一章所指出的,我国现行的几个焊接工艺评定标准,不仅内容不甚统一,试验项目各异,而且与其编制依据 ASME 锅炉与压力容器法规第九卷“焊接与钎焊评定”有较大的出入,例如 JB4420-89“锅炉焊接工艺评定”标准中规定:“厚度为 10mm 及以上筒体纵缝使用的焊接工艺,力学性能试验中应包括全焊缝金属拉伸试验”。须知,焊接工艺评定是针对产品焊接结构的某种接头,评定的对象是所采用的焊接工艺所包括的各种要素,而不是单单评定焊接材料。因此,在工艺评定试验中增加全焊缝金属拉力试验是没有必要的,而全焊缝金属抗拉强度的测定应在焊接材料入厂复验或焊接工艺试验中完成。又如在试验项目中该标准又提出对对接接头和 T 形接头增加微观金相检验,这又超出了焊接工艺评定试验的范围,焊接工艺评定试验不能替代金属材料的焊接性试验,金相微观检验是焊接性试验必须完成的检验项目,而焊接性试验报告是焊接工艺评定的主要依据之一,因此在焊接工艺评定中没有必要重复作微观金相检验。另外,该标准又在评定试验方法中增加管子/管板角焊缝试件和膜式壁角焊缝试件以及 T 形角焊缝试件,这些接头都可以归入角接接头一类来处理,而无需按锅炉部件的形状来区分。如按此原则来制定标准,锅炉部件的典型结构形式多达几百种,试件的形式也可列出数百种,导致焊接工艺评定过于繁复,且完全没有这种必要。因为对于同一类接头,尤其是角接接头、坡口的形状和尺寸不是影响接头力学性能的重要参数。在 JB4708-92“钢制压力容器焊接工艺评定”第 5.2.4 条规定“试件经外观检查 and 无损探伤后,允许避开缺陷制取试样”。首先,正如在前一章中所指出的,焊接工艺评定试板原则上不要求无损探伤,其次,焊接工艺评定试板不应存在不容许的焊接缺陷。如发现缺陷,则应将该试板评为不合格,不得再取样,而应调整工艺参数,重新焊制焊接工艺评定试板。

鉴于我国现行焊接工艺评定标准存在不少尚待修正的条款,故本章所述的焊接工艺评定试验项目和方法,完全根据美国 ASME 锅炉与压力容器法规第九卷和美国 AWS D1.1 钢结构焊接法规有关章节的规定。

2 焊接工艺评定试验项目及试验方法

焊接结构焊接工艺评定基本上可分成两类,一类是锅炉与压力容器的焊接工艺评定,另一类是钢结构。由于这两类焊接结构的工况条件差异较大,对焊接工艺评定的试验项目也提出了不同的要求,现根据上列相应的标准分述如下:

2.1 锅炉与压力容器焊接工艺评定试验项目

锅炉与压力容器焊接工艺评定试验,可按产品的接头形式分别以全焊透开坡口对接接头,

局部焊透开坡口对接接头和角接头来完成。特殊形式的接头，如螺柱焊，耐蚀、耐磨堆焊、衬里层接头及接触焊接头等则按专门条款的规定。

全焊透和局部焊透开坡口对接接头工艺评定试板尺寸，及其坡口形式及尺寸如图 4-1 所示。角接头试板的形式和尺寸如图 4-2 所示。

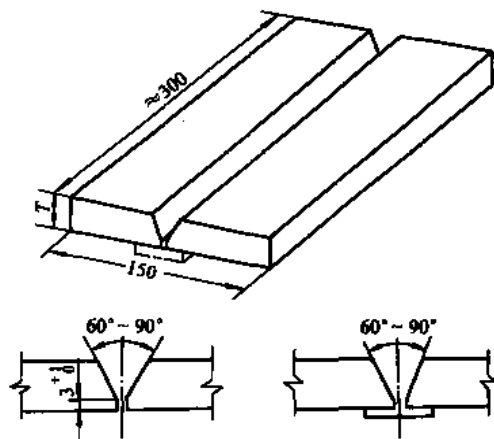


图 4-1 全焊透和局部焊透开坡口对接接头试板尺寸及坡口形式

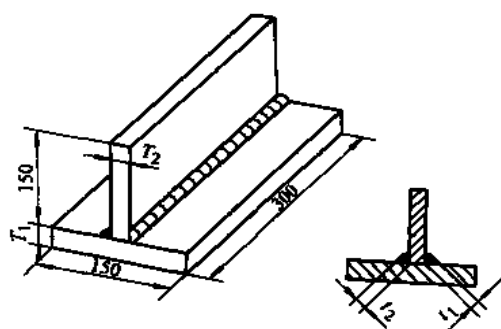


图 4-2 角接头试板的形式和尺寸

当评定焊缝坡口形状和尺寸为重要参数的焊接方法时，试件的坡口形状和尺寸应符合产品图样或焊接工艺设计书的规定。

不锈钢复合钢板焊接工艺评定试板的形状、尺寸以及坡口形式和尺寸如图 4-3 所示。

薄板电阻点焊和缝焊的试件形式如图 4-4a、b 所示。螺柱焊试件的形式如图 4-5 所示。

焊接评定试板的检验项目按试件的形式有下列几种：

- 1) 开坡口对接接头试板 拉伸、冷弯和缺口冲击韧度试验。
- 2) 角接头试板 宏观金相检验。
- 3) 不锈钢耐蚀堆焊层试件 表面渗透检查、冷弯、化学成分分析。
- 4) 硬质合金堆焊层试件 表面着色检查、表面层硬度测定、宏观金相检验、堆焊层化学成分分析。
- 5) 螺柱焊试件 锤击试验或弯曲试验、扭转试验、宏观金相检验。

1. 开坡口对接评定试板

开坡口对接试板取样的形式和数量取决于试件的材料种类和厚度。当试件由同种材料或两种强度基本相等的材料组成时，应取拉伸和横向弯曲试样，试样的数量及其所代表的母材和焊缝金属厚度范围列于表 4-1。

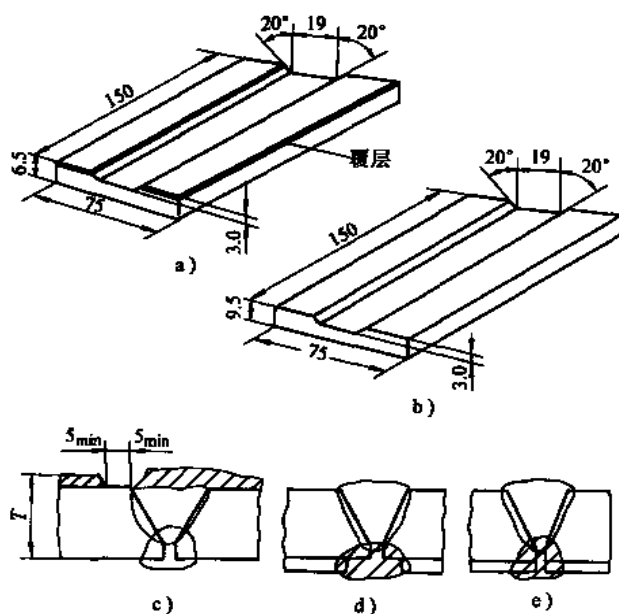


图 4-3 不锈钢复合钢板工艺评定试板形式

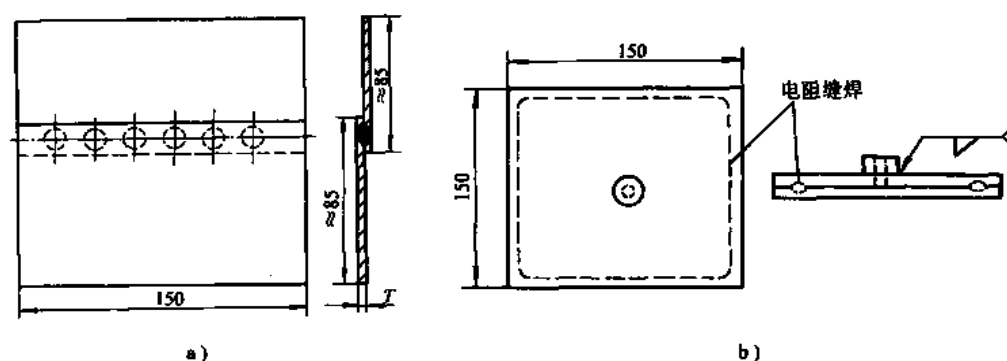


图 4-4 薄板电阻点焊和缝焊试件形状与尺寸

a) 电阻点焊试件 b) 薄板电阻缝焊试件

对于异种材料接头或两种对接材料强度相差较大的接头，应取接头拉伸试样和纵向弯曲试样、取样的数量及所代表的母材厚度及焊缝金属的厚度范围列于表 4-2。

在评定由不同母材厚度组成的产品接头时，评定试验适用的母材厚度范围按下列规定：

1) 较薄连接元件的厚度应在表 4-1 和表 4-2 规定的范围之内。

2) 如果评定试验采用 6mm 以上试板完成，则对于不要求缺口冲击韧度的各种材料，如奥氏体不锈钢、镍基合金和钛及钛合金等，较厚连接元件的最大厚度不受限制。

3) 对于其它各种材料，较厚连接元件的厚度应在表 4-1 和表 4-2 的范围之内。但如果评定试验是采用厚 38mm 以上的试板完成的，则较厚的连接元件的最大厚度不受限制。

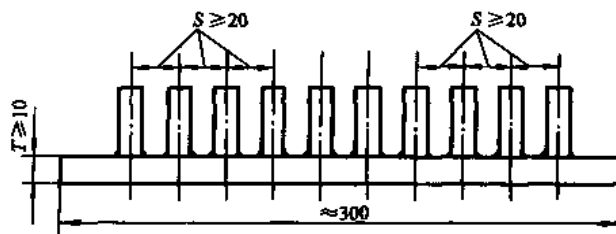


图 4-5 螺柱焊试件形式

试板宽度 $B \geq 50\text{mm}$

表 4-1 对接试件试样形式和数量及厚度极限

试件厚度 T /mm	所评定的母材厚度/mm		所评定的熔敷金属厚度/mm	试样形式和数量			
	最小值	最大值		拉 伸	侧 弯	面 弯	背 弯
<1.6	T	$2T$	$2t$	2	—	2	2
$1.6 \sim 10$	1.6	$2T$	$2t$	2	—	2	2
$>10, <20$	5	$2T$	$2t$	2		2	2
$20 \sim <38$	5	$2T$	$2t$ ($t < 20$) $2T$ ($t \geq 20$)	2	4		
38 以上	5	200	$2t$ ($t < 20$) 200 ($t \geq 20$)	2	5		

注：1. 取 4 个侧弯可代替 2 个面弯和 2 个背弯。

2. 当板厚大于 25mm 可以沿横截面取多个拉伸试样。

3. 对于特种焊接方法和工艺、母材厚度的适用范围另有规定，详见第三章焊接参数一节。

表 4-2 开坡口对接焊试件拉伸和纵向弯曲试样数量

焊接试件的厚度 T /mm	所评定的母材厚度范围		所评定的焊缝金属厚度 t 最大值	拉伸和弯曲试样形式及数量		
	最 小	最 大		拉 伸	面 弯	背 弯
<1.6	T	$2T$	$2t$	2	2	2
$3\sim 10$	1.6	$2T$	$2t$	2	2	2
>10	5	$2T$	$2t$	2	2	2

注：对于特种焊接方法和工艺，母材厚度适用范围另有规定，详见本书第三章焊接参数一节。

2. 角接评定试板

角接的评定试验，可以采用全焊透开坡口对接接头或局部焊透开坡口对接接头试板进行，并取拉伸和弯曲试样，取样数量按表 4-1 或表 4-2 所示。在这种情况下，所评定的角焊缝焊接工艺规程适用于所有的角焊缝尺寸和管子直径。

对于非受压部件的角焊缝，可以只作角焊缝评定试验，且只取宏观金相检验试样。取样的数量见表 4-3。

表 4-3 角接评定试验^①

接头形式	试板的厚度	所评定的范围	试样的形式和数量
角接（板-板）	按图 4-2a	所有母材厚度和管径焊件上的	宏观金相 5（剖面）
角接（板-管、管-管）	按图 4-2b	所有角焊缝尺寸	宏观金相 4（剖面）

① 对于合金成分较复杂的 Ni-Cr-Mo-V 和 Ni-Cr-Mo 合金钢，仍要求作开坡口对接焊工艺评定试验。

开坡口对接评定试板取样部位和取样顺序如图 4-6 所示。管子开坡口对接评定试件的取样部位和取样顺序见图 4-7。当所评定的产品焊缝要求作缺口冲击韧性试验时，应适当加长试板长度，并在试板的中部或管件的中心线位置取出缺口冲击韧性试验试样。冲击韧性试验的试样的数量为焊缝和热影响区各 3 个。

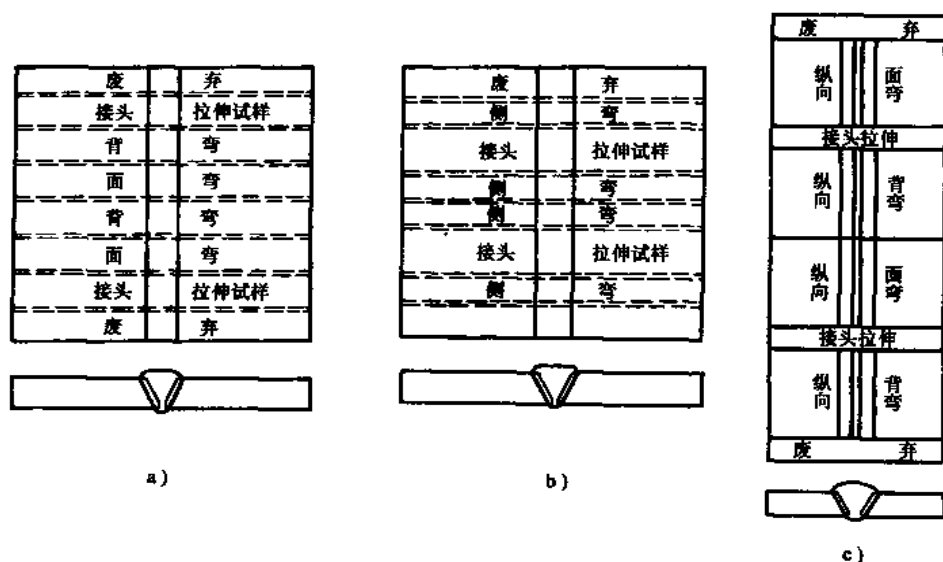


图 4-6 开坡口对接评定试板取样部位和顺序

a) 横向试样 b) 纵向试样 c) 纵向弯曲试样截取方法

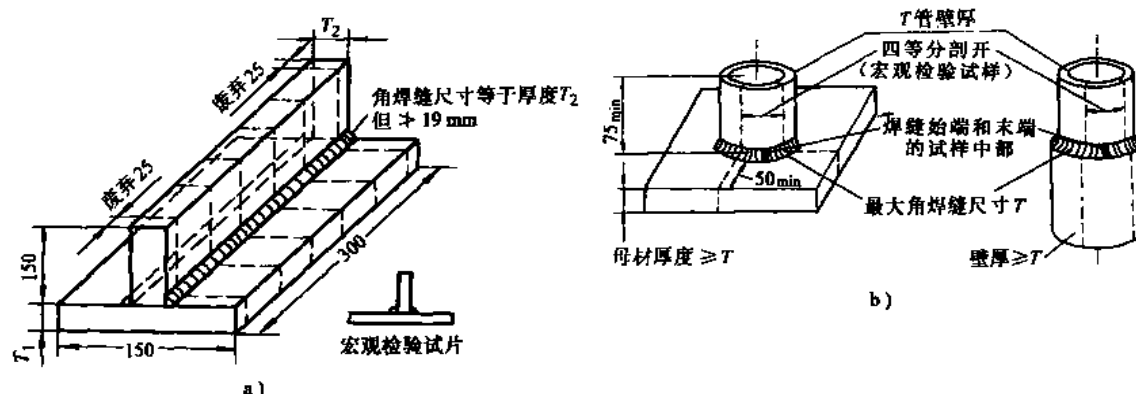


图 4-7 角接评定试件取样部位和顺序

a) 板-板角接 b) 管-板、管-管角接

 $T_1 \leq 3\text{mm}$ $T_2 \leq T_1$ 但 $\leq 3\text{mm}$

3. 耐蚀和耐磨堆焊层评定试板

耐蚀和耐磨层评定试板的尺寸至少为 $150\text{mm} \times 150\text{mm}$ ，堆焊层的尺寸：宽至少为 38mm ，长约 150mm ，当采用管子进行堆焊评定试验时，管子的长度不小于 150mm ，试件的最小直径应保证能取出所要求的各种试件。堆焊层焊道在试件的圆周上相互搭接。堆焊层的厚度应不小于焊接工艺规程的规定，试板形状和尺寸如图 4-8 所示。

耐蚀和耐磨堆焊层评定试板所要求的试样形式和数量，分别列于表 4-4 和表 4-5。从试板和管件试件上截取试样的部位和顺序分别如图 4-9 和图 4-10 所示。

不锈钢复合板焊接工艺评定试板的试验可分下列两种情况：一种是在结构的强度计算中已考虑复合板的厚度；另一种情况是在强度计算中不考虑复合板的厚度。在第一种情况下，应采用产品焊接工艺所规定的同类母材、相同的复合层金属、焊接方法和焊接填充金属。所评定的厚度范围按表 4-1 和表 4-2 的规定，复合层填充金属的最小厚度则应符合堆焊层化学成分分析的要求。

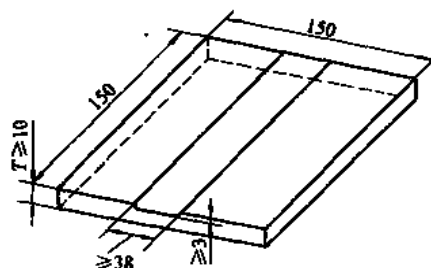


图 4-8 耐蚀和耐磨堆焊评定试板形状和尺寸

表 4-4 耐蚀堆焊层评定试件取样形式和数量 (一)

试件厚度 T/mm	所评定的母材厚度	试验项目及数量		
		渗透试验	弯曲试验	化学成分分析
25mm 以下	不限	堆焊层表面	4 (2 个平行于焊接方向 2 个垂直)	堆焊层
25mm 以上	不限	堆焊层表面	4 (2 个平行于焊接方向 2 个垂直)	堆焊层

表 4-5 耐腐堆焊层评定试件取样形式和数量 (二)

试件厚度 T/mm	所评定的母材厚度	试验项目及数量			
		渗透试验	硬度试验	宏观金相	化学成分分析
25mm 以下	$T \sim 2T$	堆焊层表面	3 点	2 (剖面)	堆焊层
25mm 以上	25mm 以上不限	堆焊层表面	3 点	2 (剖面)	堆焊层

当实际焊件接头坡口表面或接缝边缘要求预堆焊, 且预堆焊的工艺参数, 如填充金属的种类、焊接方法和焊后热处理等不同于连接焊缝所采用的焊接工艺参数, 则焊接工艺评定试板亦应按实际焊件焊缝焊接工艺规程的规定, 对坡口表面或接缝边缘进行预堆焊, 然后再完成试板的焊接。如坡口预堆焊层的厚度小于 5.0mm, 则焊接试板的焊接电流和热输入成为焊接工艺的重要参数, 焊接工艺评定试板时必需监控并作记录。试板的取样部位和试样形式及数量可按表 4-1 和表 4-2 规定。

4. 电阻焊工艺评定试件

电阻点焊或凸焊工艺评定试验, 应按焊接工艺规程所规定的焊接工艺参数, 接连焊接 10 个焊点。其中 5 个应作剪切试验, 另 5 个作宏观金相检查。电阻缝焊工艺评定试件 (图 4-4b) 由两块方形薄板组成, 其中一块薄板的中心开孔, 并焊上或钎焊上小直径接管, 然后将试件的四边按焊接工艺规程所规定的工艺参数缝焊将其封闭。其检验方法是将试件加压直至破裂。不容许在焊缝上产生裂口。另外再焊一条长至少为 150mm 的缝焊焊缝, 试件板厚与产品接头的厚度相同。焊后将试件切成六条宽度近似相等的试样, 每条试样的一个横剖面作宏观金相检验。

电阻焊设备如经过改装, 或搬迁到需改变输入电源的位置安装或作其它重大的改动时, 则需在投产前对设备进行评定, 评定试验应接连焊接 100 个焊点或 100 条缝焊缝。其中每第 5 个焊点 (焊缝) 应作剪切试验, 再切取 5 个焊点 (焊缝), 包括开头的第 5 个和末尾的第 5 个焊点作宏观金相检查, 所有试件检查合格后才能正式投入生产使用。

电阻点焊试件取样的方法及剪切试件的尺寸要求, 如图 4-11 所示。

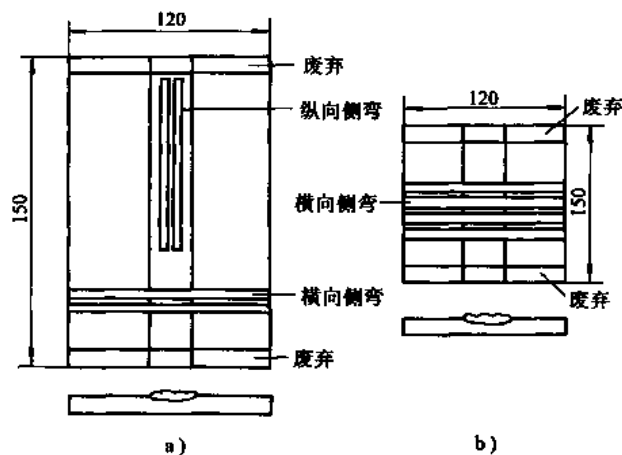


图 4-9 耐蚀堆焊层试板弯曲试样截取方法

a) 纵向弯曲 b) 横向弯曲

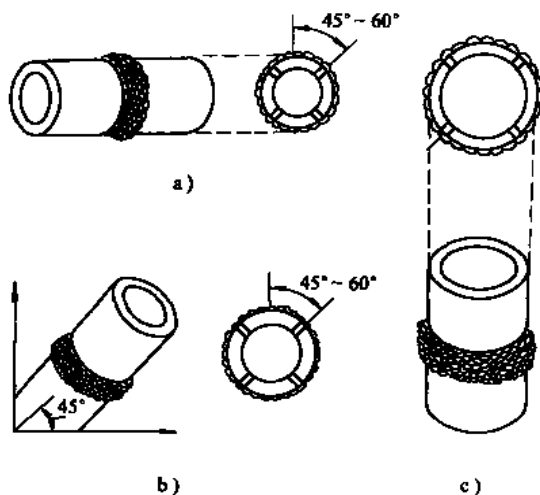


图 4-10 管子试件堆焊层弯曲试样的截取部位

a) 管子水平固定 b) 管子 45° 倾斜固定
c) 管子垂直固定

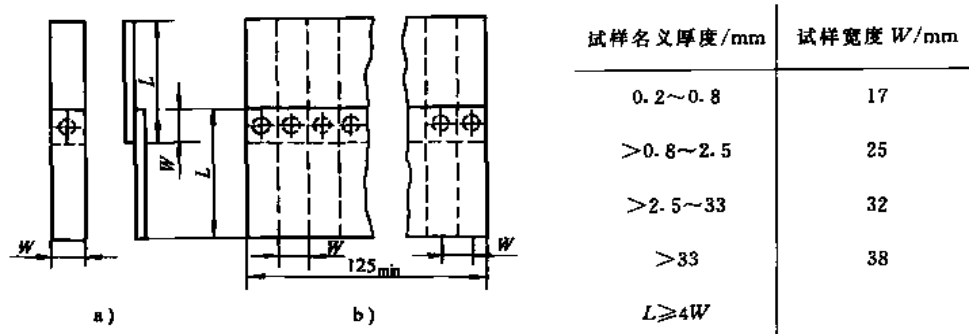


图 4-11 电阻点焊试件取样方法及尺寸要求

a) 单点剪切试样 b) 多点剪切试样 (至少为 5 点)

5. 螺柱焊缝工艺评定试验

螺柱焊缝每项焊接工艺评定试验应焊 10 个螺柱, 其中 5 个螺柱焊缝应作锤击或弯曲试验, 另 5 个作扭转强度试验。也可以采用拉伸试验代替扭转试验。

2.2 焊接工艺评定试验方法及合格标准

1. 焊接工艺评定试板焊接位置

开坡口对接接头焊接工艺评定试板, 可在图 4-12 和图 4-13 所示的位置进行焊接。角焊缝试板和试件焊接位置见图 4-14a 和 b。除了螺柱焊、表面堆焊等特种焊接方法以外, 在任何一种位置焊接的工艺评定试板的评定结果, 适用于任何其它位置焊接的接头。当对焊接接头提出冲击韧度要求时, 对于通用的几种弧焊方法, 如从任何一种位置改成垂直向上焊接位置为补加重要参数。开坡口对接焊缝和角接焊缝焊接位置的基准面及其所容许的偏差, 如图 4-15 和图 4-16 所示。

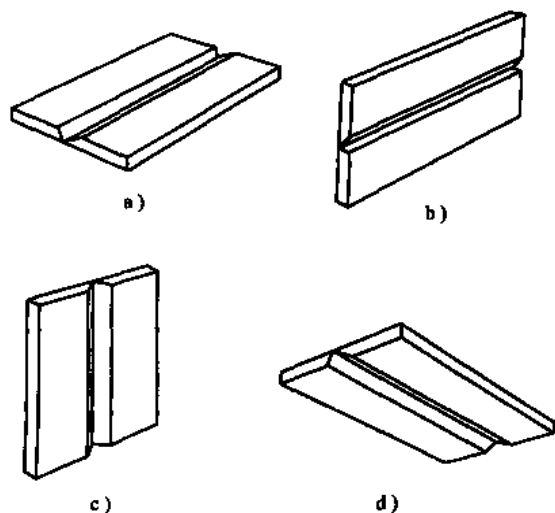


图 4-12 开坡口对接焊缝试板的焊接位置

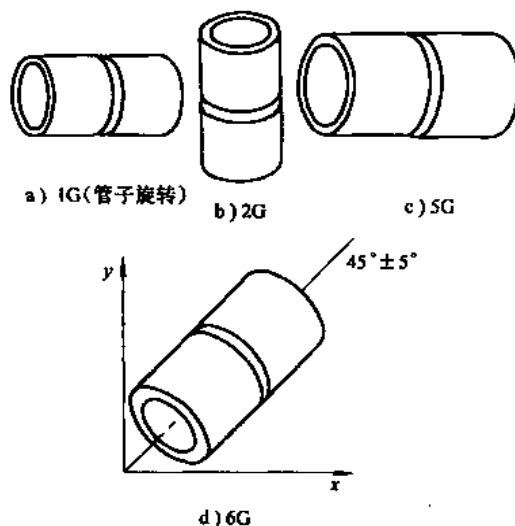
a) 试焊位置 1G b) 试焊位置 2G
c) 试焊位置 3G d) 试焊位置 4G

图 4-13 开坡口对接焊缝管试件板的焊接位置

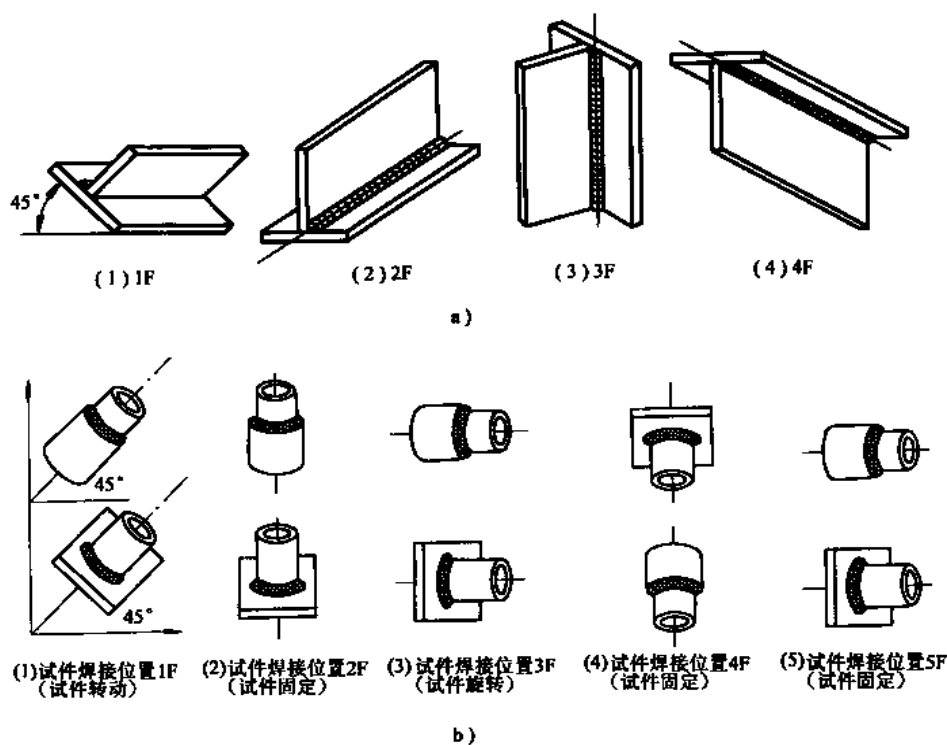
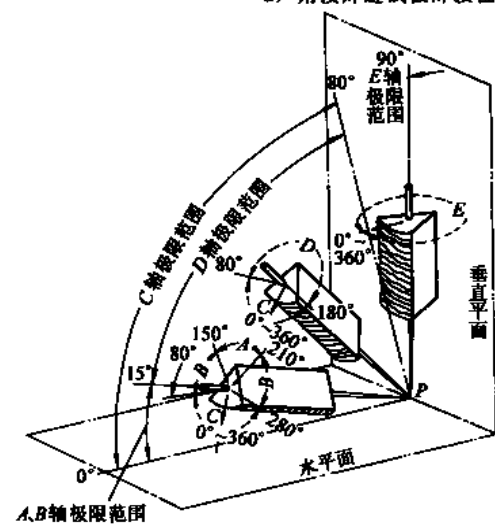
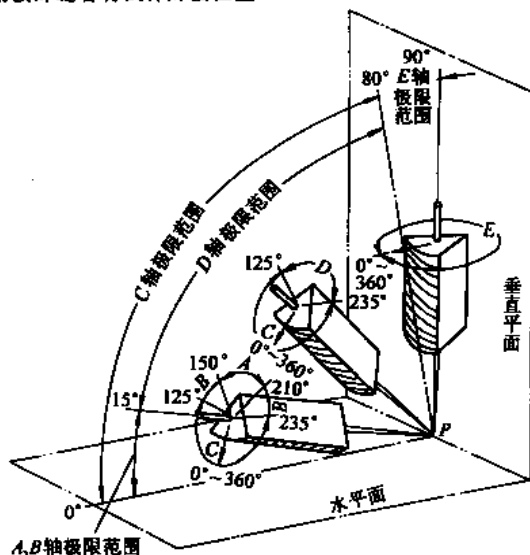


图 4-14 角接焊缝试板和管材试件的焊接位置
a) 角接焊缝试板焊接位置 b) 角接焊缝管材试件焊接位置



焊缝位置	参考轴	轴倾斜度/(°)	平面旋转角/(°)
平	A	0~15	150~210
横	B	0~15	80~150 210~280
仰	C	0~80	0~80 280~360
立	D	15~80	80~280
	E	80~90	0~360

图 4-15 开坡口对接焊缝焊接位置
基准面及容许偏差



焊缝位置	参考轴	轴倾斜度/(°)	平面旋转角/(°)
平	A	0~15	150~210
横	B	0~15	125~150 210~235
仰	C	0~80	0~125 235~360
立	D	15~80	125~235
	E	80~90	0~360

图 4-16 角接焊缝焊接位置基准面及容许的偏差

螺柱焊缝试件可在图 4-13 所示的任何位置焊接。但螺柱必须垂直于试板或试管的表面。螺柱焊缝试件的位置容许的变化范围如图 4-17 所示。

在螺柱焊工艺评定中,焊接位置从已评定的位置改为未评定的位置是一种重要参数,需重新焊接试件。

2. 力学性能试验方法

焊接工艺评定中使用的力学性能试验方法包括拉伸、弯曲、缺口冲击、扭转和剪切试验等。

(1) 拉伸试验 在焊接工艺评定的拉伸试验中,均采用焊接接头拉伸试样,从焊接试板或管子试件中取出的拉伸试样,其尺寸和要求分别见图 4-18 和图 4-19。焊接接头的拉伸试样原则上应取全厚度试样,其横截面应包括所评定的各种焊接方法和填充金属(指组合焊接法)所焊接的焊缝厚度。如因试验设备能力所限,一种办法是取全厚度侧向拉伸试样,可适当减小试样的厚度,但仍包括整个焊缝厚度,如图 4-20 所示。另一种办法是从试件的横截面上用机械加工方法取出多个拉伸试样,取样部位如图 4-21 所示。所取出的多个拉伸试样,应能测定出同一部位全厚度焊接接头的强度。也就是说,多个拉伸试样厚度的总和应等于所评定的焊接接头的实际厚度。

当要求测定焊接接头的屈服点或高温短时强度时,可采用图 4-22 所示的圆棒试样,试样的形式(如图 4-22a 型、b 型、c 型和 d 型)应尽可能接近试件的厚度。当试件厚度较大时,可沿试件的厚度方向截取多个拉伸试样,以测定接头全厚度的强度。

加工焊接接头圆棒试样时应将焊缝居试样中间,试样的两端可加工成与试验机夹具相配的任何形状或车制所要求的螺纹。

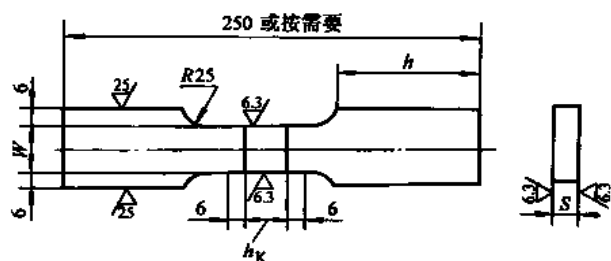


图 4-18 板材焊接接头拉伸试样形式及尺寸
S—试样厚度 (mm) W—试样受拉伸平行侧面宽度
大于或等于 25 (mm) h_K —焊缝最大宽度 (mm)
h—夹持部分长度,根据试验机夹具而定 (mm)

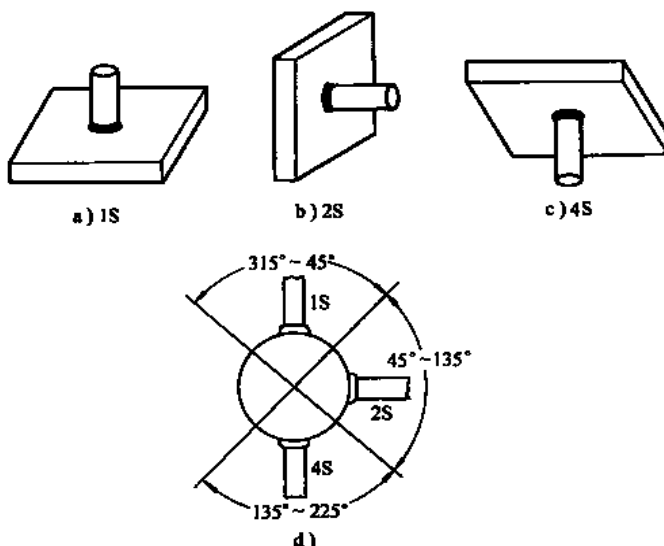


图 4-17 螺柱焊缝试件的位置及其容许的变化范围
a) 螺柱焊缝试件位置 b)、c)、d) 焊接位置的变化范围

所示。另一种办法是从试件的横截面上用机械加工方法取出多个拉伸试样,取样部位如图 4-21 所示。所取出的多个拉伸试样,应能测定出同一部位全厚度焊接接头的强度。也就是说,多个拉伸试样厚度的总和应等于所评定的焊接接头的实际厚度。

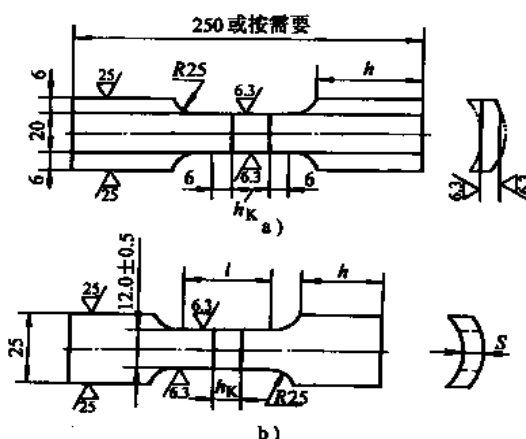


图 4-19 管材焊接接头拉伸试样
a) 适用于管径大于 76mm 的管件 b) 适用于管径
等于或小于 76mm 的管件 l—受拉伸平
行侧面长度大于或等于 $h_K + 2S$ (mm)

对于管子直径小于 76mm 的焊接试件，可以采用特制的夹钳在试验机上进行全断面拉伸。试验前只需将焊缝的高度加工到与母材平齐。试样的尺寸和夹钳形状及尺寸要求如图 4-23 所示。

螺柱焊缝试件原则上应作抗扭强度试验。当扭转试验无法实现时，也可用拉伸试验代替。焊接接头拉伸试验的程序，应按 GB-2651—89 标准“焊接接头拉伸试验方法”的规定进行。试验过程中应将试样连续加载直至拉断，接头的抗拉强度应以极限总载荷除以加载前实测的试样横截面积算得。

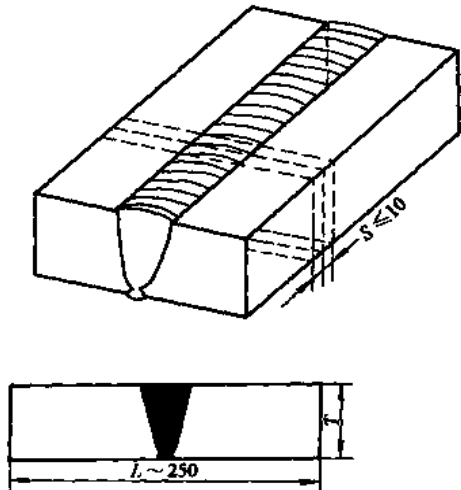


图 4-20 焊接接头全厚度侧向拉伸试样

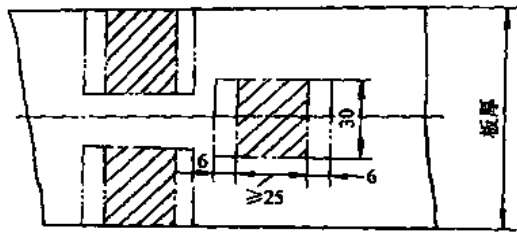
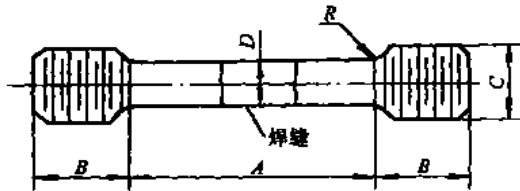


图 4-21 大厚度焊接接头拉伸试样分层取样部位



试样尺寸/mm	试样形式			
	a 型	b 型	c 型	d 型
A—缩减截面长度	≥焊缝宽+2D	≥焊缝宽+2D	≥焊缝宽+2D	≥焊缝宽+2D
D—直径	13±0.25	9.0±0.25	6.0±0.1	5.0±0.1
R—圆角半径	10.0	6.0	5.0	3.0
B—端部长度	35	28	22	13
C—端部直径	20	13	10	6.0

图 4-22 焊接接头圆棒拉伸试样的形状和尺寸

焊接接头拉伸试验的合格标准规定如下：

- 1) 对于同种母材的焊接接头，试样的抗拉强度不应低于母材标准规定的最低抗拉强度。
- 2) 对于由两种强度不同的母材组成的焊接接头，试样的抗拉强度不应低于强度较低的母材标准规定的最低抗拉强度。
- 3) 当产品的技术条件或制造规程容许采用室温强度比母材低的焊缝金属，则试样的抗拉强度不应低于该焊缝金属（填充金属）标准规定的最低抗拉强度。

4) 如试样断裂在焊缝或熔合线以外的母材上, 且试样的抗拉强度低于母材标准最低抗拉强度不超过 5%, 则该试验结果应判作合格。

(2) 弯曲试验 焊接接头的弯曲试样, 按其长度方向与焊缝轴线的相对位置, 可分成横向弯曲试样和纵向弯曲试样两种。按试样弯曲时受拉面所处的部位可分为面弯、背弯和侧弯三种。

焊接接头的弯曲试样可从试板或管子试件中切取近似于矩形截面的试样。试样的切割面应作为试样的侧面。另两面为试样的正面和反面, 其中正面的焊缝宽度较大。弯曲试样的形状和尺寸分别见图 4-24、图 4-25、图 4-26 和图 4-27。

弯曲芯轴和支承架的尺寸见图 4-28 和表 4-5。

按我国现行焊接工艺评定标准的有关规定, 焊接接头试样弯曲试验所用的弯芯直径为 $3t$, 支承间距为 $5.2t$, 弯曲角按焊接方法和钢种而不同, 而且弯曲试样的厚度, 当试板的厚度小于或等于 20mm 时, 为试板的厚度等于弯曲试样的厚度, 而当焊接试板厚度超过 20mm 时, 弯曲试样的厚度应向一面加工到 20mm。而 ASME“锅炉与压力容器法规”第九卷中规定: 弯曲试样的最大厚度为 10mm。显然, 我国标准严于美国标准, 但不尽合理且缺乏实验基础。目前大量的焊接接头弯曲试验已经证实, 当弯芯直径为 $3t$ 时, 试样弯曲到 100° 后外层纤维的最大伸长率已超过材料拉伸试验时的断裂伸长率。如试样厚度为 20mm, 则与 10mm 厚的试样相比, 试样弯曲后外层纤维的最大伸长率将提前达到材料的断裂伸长率, 尤其是当焊缝金属和母材强度相差较大时, 弯曲延伸集中于某一个区域, 更容易导致试样在未达到所要求的弯曲角时, 外层延伸已达到材料的断裂伸长率。这是我国许多焊接结构生产企业中经常出现产品焊接试板弯曲不合格的主要原因之一。看来, 有必要按照美国 ASME 法规的规定, 可修改我国焊接工艺评定标准中弯曲试验的有关规定, 以使标准更趋合理。在这方面, ASME 法规第九卷有关焊接接头弯曲试验的条款中明确规定、弯曲试验弯模的尺寸应使弯曲试样达到规定的弯曲角 (180°) 时, 外层计算的伸长率达到母材标准规定的最低伸长率, 弯曲试样外层纤维伸长率的计算公式为

$$\delta = \frac{100t}{A+t} \times 100\%$$

式中 t ——试样的厚度 (mm);

A ——弯芯的直径 (mm);

δ ——伸长率 (%)。

弯曲试样的厚度可按材料标准规定的伸长率下限, 由下式算得

$$t = \frac{A \times \delta\%}{(100 - \delta\%)}$$

由此可见, ASME 法规的上述规定有充分的理论根据和实验基础。

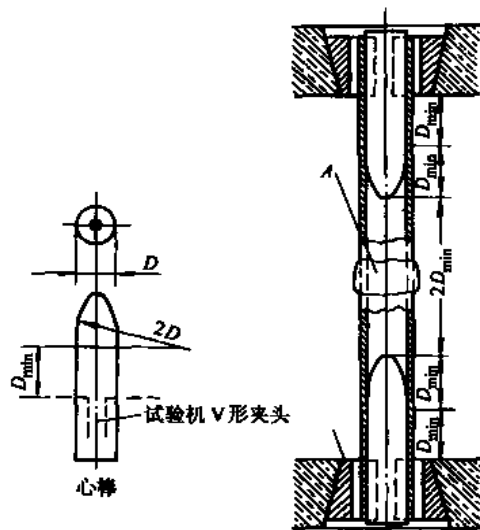


图 4-23 小直径管焊接试件全断面拉伸试样及夹钳形状

A—焊缝余高应机械加工到与母材表面平齐

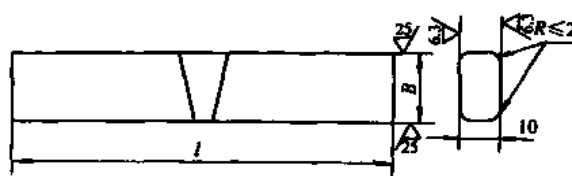


图 4-24 焊接接头侧向弯曲试样形状和尺寸

B—试样宽度 (试件厚度方向) mm $l = D + 105\text{mm}$

D—弯芯直径

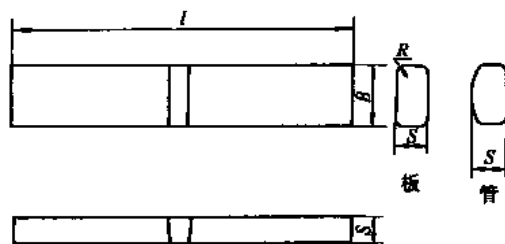


图 4-25 焊接接头横向面弯试样形状和尺寸

$l \geq 150\text{mm}$ $B=38\text{mm}$ $S=T$,
最大 10mm 圆角 $R=3\text{mm}$

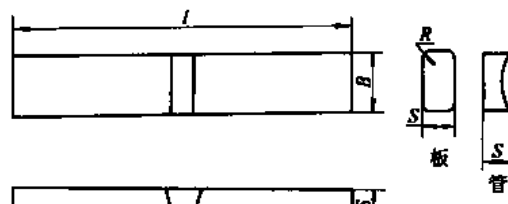


图 4-26 焊接接头横向背弯试样形状和尺寸

$l \geq 150\text{mm}$ $B=38\text{mm}$ $S=T$,
最大 10mm 圆角 $R=3\text{mm}$

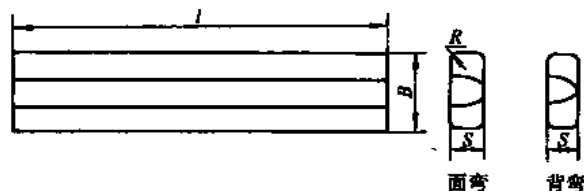


图 4-27 焊接接头纵向面弯和背弯试样形状和尺寸

$l \geq 150\text{mm}$ $B=38\text{mm}$ $S=T$,
最大 10mm 圆角 $R=3\text{mm}$

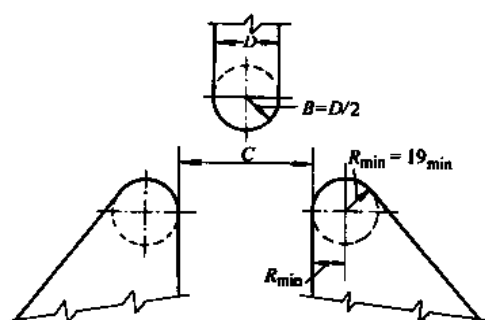


图 4-28 焊接接头弯曲试验弯芯直径和支承架尺寸

表 4-5 弯芯直径和支承间距

(mm)

材料类别	试样厚度 t	弯芯直径 D	支承间距 C	弯曲角 / ($^{\circ}$)
铝合金气焊接头、铸造铜合金	3.0	52	60	180
	<3.0	$16.5t$	$18.5t + 1.6$	
镍合金钢、铝合金	10	64	86	
	<10	$6.5t$	$8.5t + 3$	
工业纯钛	10	76	98	
	<10	$8t$	$10t + 3$	
钛合金及锆合金	10	95	117	
	<10	$10t$	$12t + 3$	
其余各类材料 (包括碳和低合金钢、奥氏体不锈钢等)	10	38	60	
	<10	$4t$	$6t + 3$	

弯曲试验的程序应按国标 GB-2653—89 标准“焊接接头弯曲及压扁试验方法”进行。试样弯曲时，应将焊缝的轴线对准弯模的中心线，使焊缝和热影响区都在试样的受弯部分。横向和纵向面弯时，应将焊缝的正面对着弯模间距放置，使其弯曲时受拉。背弯时，则使焊缝的背面受拉弯曲。侧弯时，发现表面有焊接缺陷，应将缺陷较大的侧面为弯曲试样的受拉面。

弯曲试验的合格标准，不管材料的种类均应为 180° ，即弯头应将试样一直压到与弯模底面接触，试样弯曲后，在焊缝和热影响区不容许在任何方向出现长度大于 3mm 的裂口。对于耐蚀堆焊接头的弯曲试样，在堆焊层内不容许长度大于 1.5mm 的任何方向的裂口，在接合面上不容许长度大于 3mm 的缺陷。但在弯曲试样棱角处的开裂不应作为判废的依据。

我国钢制压力容器焊接工艺评定标准中，对弯曲试验的合格标准规定为：试样弯曲到规定的角度后，其拉伸面上出现长度大于 1.5mm 的任一横向裂纹或缺陷，或长度大于 3mm 的

任一纵向裂纹或缺陷,则评为不合格,而且对不同焊接方法(单面焊、双面焊)和不同种类的钢材规定了不同的弯曲角。作者认为这样的规定也缺乏足够的理论根据,首先作为焊接结构用钢,无论是碳钢和合金钢,均应达到制造工艺,如冷卷、冷校等所要求的弯曲性能,而不可能由于采用合金钢而降低性能要求。因此无论对碳钢,还是合金钢,统一要求弯曲角为 180° 是合理的。在焊接方法上分单面焊和双面焊提出不同的弯曲角合格标准,在焊接技术日趋成熟的今天,这种分等合格标准已不切合实际,在锅炉与压力容器制造中,对受压部件的对接接头,无论是单面焊还是双面焊均要求全焊透,故对接头性能的要求不应有任何差异。在结构的强度计算中,对这两种焊缝通常考虑选用相同焊缝强度系数。即使是对于容许局部焊透的单面焊缝,对焊接接头弯曲性能的要求也应该是相同,何况在弯曲试样制备时,必须将未焊透部分全部加工掉,因此在弯曲试验时,试样实际上是一种全焊透的对接接头,而不应降低弯曲角的合格标准。

(3) 缺口冲击韧性试验 当产品技术条件或制造法规要求焊接接头作冲击韧性试验时,应从工艺评定试板中取出缺口冲击试样,试样数量为焊缝和热影响区各3个。试样的截取部位见图4-29。试样的长度方向应垂直于焊缝轴线,缺口轴线应垂直于母材的表面,平行于焊缝的侧面。焊缝冲击试样的缺口应位于焊缝侧面的中心线上,而热影响区试样的缺口应开在熔合线以外的热影响区内且紧靠熔合线。

试样的形式、尺寸和试验程序,应符合GB-2650—89国家标准“焊接接头冲击试验方法”的规定,并选用其中尖缺口的冲击试样。

缺口冲击韧度的合格标准焊缝和热影响区,三个试样冲击韧度实测冲击吸收功的平均值,应不低于所焊母材标准的规定值。可容许其中一个试样的实测冲击吸收功低于规定值,但不得低于规定值的70%。

(4) 角焊缝试样的宏观检验 角焊缝焊接工艺评定试件的检验方法为宏观检验,从板与板角接头,板与管角接头和管与管角接头试件截取宏观试片的方式如图4-7所示。从板与板角接头试件中应横向于焊缝截取5片宽度近似为50mm的宏观试片,从板与管或管与管角接试件中应横向于焊缝截取近似于四等分的宏观试片。

宏观试片受检面经机械加工和磨光后,选用适当的腐蚀剂浸蚀,直至清楚地分辨出焊缝及热影响区。

每块试片只取一个剖面进行宏观检验,同一切口的两侧不应同时作为受检面。

1) 碳钢和低合金钢的浸蚀 盐酸、等容积的盐酸和水混和。在浸蚀过程中,溶液应保持在或接近沸腾温度。试样应浸入在溶液中足够长的时间,以显露所有可能存在于横截面上的缺陷。

过硫酸铵,按重量,一份过硫酸铵加九份水,溶液应在室温下使用,并用浸透溶液的棉花团用力擦待浸蚀的表面、浸蚀过程应继续到清楚分辨焊缝组织为止。

碘酊和碘化钾 按重量,将一份碘粉(固态),二份碘化钾粉和10份水混和,溶液应在

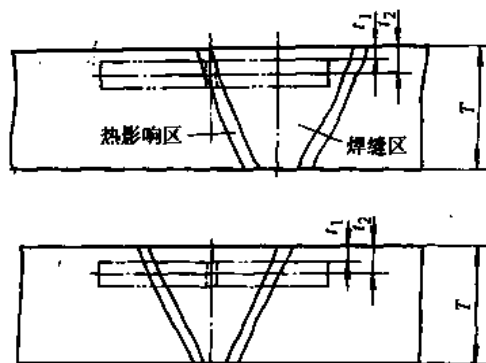


图4-29 焊缝及热影响区冲击试样
截取部位示意图

$T \geq 13\text{mm}$ 时, $t_1 \approx 1 \sim 2\text{mm}$

$T \geq 60\text{mm}$ 时, $t_2 = T/4$

室温下使用，刷洗待浸蚀表面直到清楚分辨出焊缝的外形。

按容积 1 份硝酸加 3 份水混和成溶液。注意：总是将酸倒入水中。硝酸会引起有害斑点和严重的烧伤。

酸溶液可在室温下使用，并用玻璃搅棒涂在待浸蚀的表面。试样也可放入沸腾的酸溶液中，但应在抽风良好的工作室内进行。浸蚀过程应连续足够长的周期，以显示在焊缝横剖面上可能存在的所有缺陷。

2) 铝及其铝合金的浸蚀

盐酸（浓缩）	15mL
氢氟酸（其质量分数为 48%）	10mL
水	85mL

这种溶液在室温下使用，可采用擦洗或浸入法完成浸蚀过程。

3) 铜及铜合金的浸蚀 冷态浓硝酸 采用喷注法或浸入法浸蚀数秒钟，在排烟罩下完成，用水喷洒漂洗后，以 50 : 50 浓硝酸和混合溶液重复浸蚀过程。

对于硅青铜，必须擦洗表面以清除表面白色的沉积物（ SiO_2 ）。

4) 镍和镍合金的浸蚀

材 料	配 方
镍	硝酸或莱氏腐蚀剂
低碳镍	硝酸或莱氏腐蚀剂
镍-铜	硝酸或莱氏腐蚀剂
镍-铬-铁	王水或莱氏腐蚀剂

王水和莱氏腐蚀剂配方

	王 水	莱氏腐蚀剂
浓硝酸 HNO_3	1 份	3mL
浓盐酸 HCl	2 份	10mL
硫酸铵 $(\text{NH}_4)_2(\text{SO}_4)$		1.5g
氯化铁 FeCl_3		2.5g
水		7.5mL

注：1. 为快速作用，可加热各份溶液

2. 混合溶液如下：(a) 在水中溶解 $(\text{NH}_4)_2(\text{SO}_4)$ ，(b) 在热盐酸中溶解 FeCl_3 的松土，(c) 混合上列 (a) 和 b + HNO_3

3. 浸蚀采用擦洗试样或浸入试样完成。

5) 钛的浸蚀

	氢氟酸腐蚀剂	凯氏腐蚀剂
氢氟酸（其质量分数 48%）	1~3mL	1/2mL
硝酸（浓缩）	2~6mL	2 1/2 mL
盐酸（浓缩）	—	1 1/2 mL
水	加到 100mL	加到 100mL
锆的浸蚀		
氢氟酸		3mL
硝酸		22mL
水		22mL

擦洗试样并在冷水中冲洗。

这些是通用腐蚀剂，可在室温下擦洗或浸入试样进行浸蚀。

角接头宏观试片检验的合格标准：

焊缝与热影响区应完全熔合，无任何形式的裂纹。角焊缝两焊脚长度之差不应大于 3mm。

(5) 螺柱焊缝的检验 螺柱焊缝的工艺评定，每次应焊 10 个试验螺柱焊缝，其中 5 个应

作锤击试验或弯曲试验。锤击试验时应将螺柱的 1/4 长度锤平到试件平面上。弯曲试验时，应将螺柱至少弯曲 15° ，并反弯到原始位置。弯曲试验的夹头和套管的尺寸见图 4-30。锤击或弯曲试验后螺柱焊缝表面不应有裂纹。

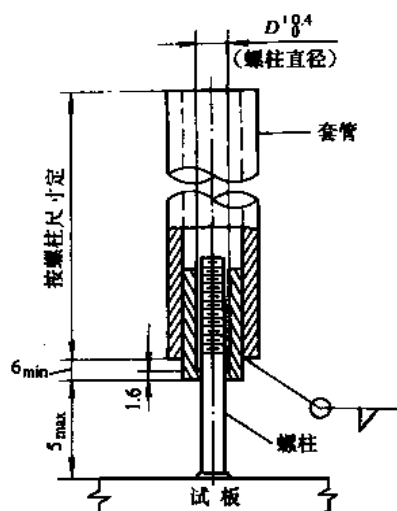


图 4-30 螺柱焊接头弯曲试验用夹头的形式和尺寸

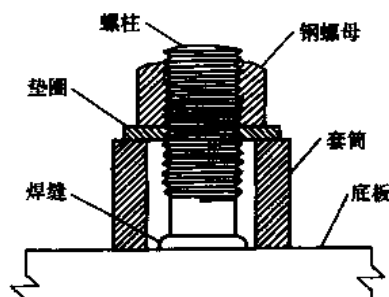


图 4-31 螺柱焊接头扭转试验装置
注：扭转装置的尺寸应与螺柱的螺纹相配，螺纹应干净，无润滑油

其余 5 个螺柱焊接头试件应作扭转试验，试验时可采用图 4-31 所示的装置。如不具备相应的试验设备，亦可用拉伸试验来代替，其所用夹具如图 4-32 所示。无头螺柱可将其未焊端头夹紧在拉力试验机的爪卡上。

螺柱焊接头扭转试验合格标准列于表 4-6。所列的试验扭矩为试验螺柱扭断以前所达到的最大扭矩，且限定螺柱材料为低碳钢。如螺柱材料为合金钢或其它材料，则产品焊接技术条件应作出相应的规定。表 4-6 中未列出螺柱名义直径，可按线性内插法确定该种规格螺柱所要求的最小试验扭矩。

螺柱接头试件拉伸试验的断裂强度，每个试验接头不应低于 240MPa，螺柱的截面应按最小螺柱外径计算。如断裂发生在光螺柱体，内螺纹螺柱段或缩颈段，则断裂强度按原始横截面积计算，当螺柱材料为合金钢或其它材料时，试验螺柱接头的断裂强度，可按产品技术条件的规定，或至少不低于螺柱体母材标准抗拉强度的 1/2。

(6) 电阻焊缝的检验 电阻焊缝的焊接工艺评定试件，应作宏观金相检验和力学性能试验。试验时需将焊缝横向剖开、抛光并腐蚀、显露焊缝金属的轮廓，用 10 倍放大镜检查。

宏观检验的合格标准为：焊核应在较薄焊件厚度的 1.25 倍内完好无缺陷。

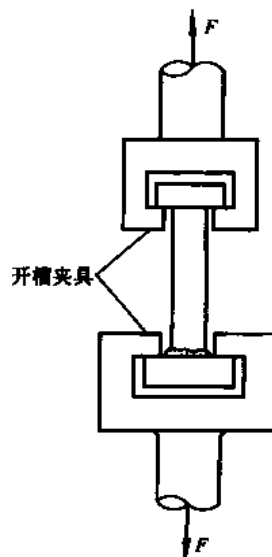


图 4-32 螺柱焊接头拉伸试验用夹具形式

表 4-6 带螺纹的碳钢螺栓所要求的试验扭矩

螺栓名义直径 /mm	螺纹规格 (英制)	最小试验扭矩 /N·m	螺栓名义直径 /mm	螺纹规格 (英制)	最小试验扭矩 /N·m
6.5	细牙	6.8	14	细牙	81.6
	粗牙	5.7		粗牙	73.4
8.0	细牙	13	16	细牙	114.3
	粗牙	11.7		粗牙	100.6
9.5	细牙	23	19	细牙	200
	粗牙	20.4		粗牙	179.5
11.0	细牙	36.7	22	细牙	318
	粗牙	32.6		粗牙	288
13	细牙	57	25	细牙	473
	粗牙	50.3		粗牙	432.5

注：公制螺纹应按螺纹的底径折算所要求的最小试验扭矩。

对于点焊，熔核的尺寸应在所连接板材之间的接合面上测量，且应等于或大于 $0.9\sqrt{t}$ ，其中 t 为较薄板材的厚度。对于凸焊，熔核尺寸不应小于凸点的原始尺寸。对于缝焊，焊缝横截面的最大宽度不应小于 $0.9\sqrt{t}$ 。

电阻焊试件的剪切试验可按图 4-12 制备试样，剪切试样的最小宽度按试件的板厚定，具体尺寸可参照表 4-7。

表 4-7 剪切试样的宽度 (mm)

较薄板材的名义厚度	试样的宽度 W (最小值)
0.2~0.8	17
>0.8~2.5	25
>2.5~3.3	32
>3.3	38

剪切试验的合格标准：对于点焊和凸焊，每个试样的抗剪强度应等于或超过表 4-8 中对相应的材料所规定的最低强度和平均强度。对于每一组试样，其中 90% 试样的抗剪强度应达到该组平均值的 0.9~1.1 倍，其余 10% 试样的抗剪强度应在该组平均值的 0.8~1.2 倍。

表 4-8 点焊或凸焊试样对剪切力的要求 (碳钢、低合金钢和奥氏体不锈钢)

较薄板材 的名义厚 度/mm	每点剪切力/N 母材抗拉强度范围在 620~1028MPa 时		每点剪切力/N 母材抗拉强度低于 620MPa 时		较薄板材 的名义厚 度/mm	每点剪切力/N 母材抗拉强度范围在 620~1028MPa 时		每点剪切力/N 母材抗拉强度低于 620MPa 时	
	最低值	最低平均值	最低值	最低平均值		最低值	最低平均值	最低值	最低平均值
0.23	585	720	450	563	1.0	4793	5895	3668	4500
0.25	720	878	518	630	1.15	5783	7133	4523	5580
0.30	900	1103	675	833	1.27	6773	8348	5378	6638
0.40	1328	1643	968	1170	1.40	7965	9833	6570	8100
0.46	1530	1868	1125	1373	1.60	9495	11678	7920	9765
0.50	1755	2160	1260	1553	1.80	11408	14063	9360	11520
0.56	2025	2475	1485	1823	2.0	13523	16673	11048	13613
0.64	2385	2948	1800	2228	2.3	15818	19508	12983	16020
0.70	2858	3533	2093	2588	2.5	18000	22208	14850	18315
0.82	3481	4298	2543	3128	2.8	20453	25245	17078	21038
0.92	4140	5130	3105	3870	3.2	22793	28125	19350	23900

电阻焊缝的剥离试验应按图 4-33 制备试样。试样采用机械方法剥离或撕裂。裂口应发生在焊缝以外的母材上。

(7) 着色法检验 耐蚀和耐磨堆焊层焊接工艺评定试样表面, 在焊后状态首先应作着色检验, 检验方法和程序按相应标准的规定 (详见 GB150—1998 标准)。

着色检验的合格标准: 在试样表面所显示的印迹尺寸超过下列极限者评为不合格。

- 1) 长度大于宽度 3 倍的线状印迹;
- 2) 直径大于 4.8mm 的圆形印迹;
- 3) 间距等于或小于 1.6mm, 4 个或更多的圆形印迹, 且单个印迹的尺寸大于 1.6mm。

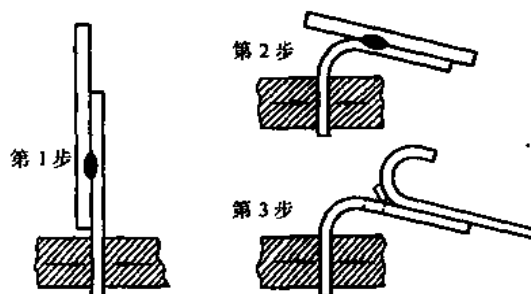


图 4-33 电阻焊点的剥离试验方法及夹紧形式

(8) 化学成分分析 耐蚀和耐磨层堆焊工艺评定试件, 应作化学成分的分析。从管子试件或试板堆焊层取样的部位分别示于图 4-34 和图 4-35。可见, 从不同位置堆焊的试件, 取样部位是不同的。这是因为不同位置堆焊的堆焊层, 母材的稀释率有较大的差异。

从堆焊层上取样的方法和程序, 应按图 4-36 中的规定。当化学成分分析的试样从焊后状态的堆焊层表面钻取时, 则从熔合线到焊后状态堆焊层表面的距离, 应作为最小的堆焊层评定厚度。当化学成分分析样品从加工后的堆焊层表面钻取时, 则从熔合线到加工后堆焊层表面的距离, 应作为最小的堆焊层评定厚度, 而当化学分析样品从堆焊层的侧面平行于堆焊层表面钻取时, 则熔合线至钻孔顶边的距离应为堆焊层最小评定厚度。

堆焊层化学成分分析结果, 应符合产品技术条件或焊接工艺规程的规定。

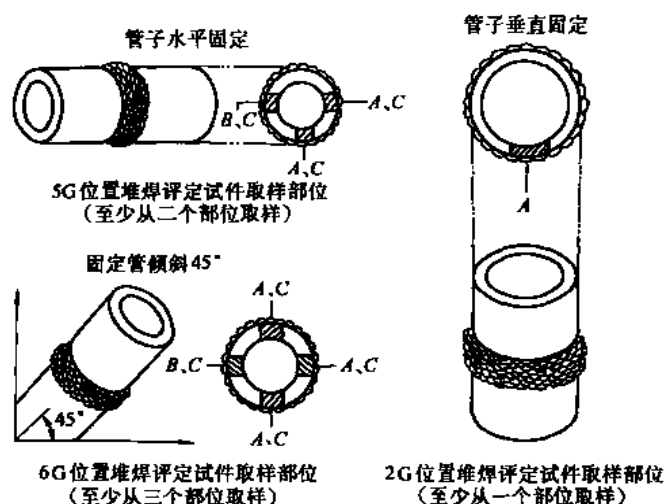


图 4-34 不同位置堆焊的试件化学成分样品钻取部位

A—所要求的取样部位 B—从向上立焊改成向下立焊或反之所要求的取样部位 C—试件倾角允许范围应符合有关规定

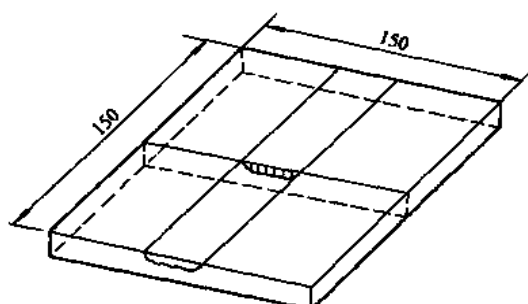


图 4-35 堆焊试板化学成分样品钻取部位

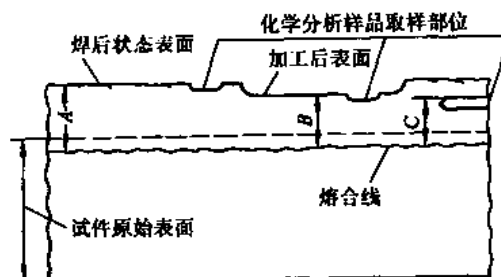


图 4-36 堆焊层化学成分分析样品取样方法
A—当化学成分或硬度测定在焊后状态表面取样, 则所评定的最小堆焊层厚度应为从熔合线到焊后状态表面的距离
B—当化学成分或硬度测定在加工后的表面取样, 则所评定的最小堆焊层厚度应为从熔合线到加工面的距离
C—当化学成分分析是从试件横向钻孔取样, 则所评定的最小堆焊层厚度应为所钻孔的上边到熔合线的距离

2.3 钢结构焊接工艺评定试验项目

钢结构焊接工艺评定试验项目与锅炉压力容器焊接工艺评定相比有所不同。这是基于钢结构焊接工艺评定的范围要小得多。对于一些通用的焊接方法和符合标准的焊接坡口, 均可免除焊接工艺评定试验而直接采用通用焊接工艺规程。在钢结构焊接工艺评定试验中, 某些试验项目, 在锅炉压力容器焊接工艺评定中视为不必要的而成为必要。如无损检验和全焊缝金属的拉伸试验等。

钢结构焊接工艺评定试验项目包括:

①目视检查。②无损检验。③弯曲试验。④拉伸试验 (含全焊缝金属拉伸试验) ⑤缺口冲击试验 (对产品接头提出冲击韧性要求时)。⑥宏观金相检验。

焊接工艺评定试件, 可分为全焊透开坡口对接焊试件, 局部焊透开坡口对接焊试件以及角接缝试件, 在以上三种试件中还可分成板材试件和管材试件, 对于槽焊和塞焊缝的工艺评定试验则采用模拟试件。

1. 全焊透开坡口对接缝焊接工艺评定

采用全焊透开坡口对接缝试件完成的焊接工艺评定, 其试样的形式和数量以及所评定的厚度范围及直径列于表 4-9。对试板的尺寸要求和取样部位见图 4-37 和图 4-38。对于每一个评定位置要求焊接一个试件。所有的试件在取样前应作目视检查 and 无损检验合格。如产品技术条件要求缺口冲击韧性时, 则应按有关规定增补缺口冲击韧性试验。电渣焊和气电焊工艺评定试板的要求如图 4-39 所示。

表 4-9 全焊透开坡口对接缝工艺评定试样形式和数量以及所评定的厚度和直径

1. 板材试件						
试板名义厚度 T/mm	所评定的板或管的名义厚度/mm		试样的形式和数量/个			
	最 小	最 大	拉 伸	背 弯	面 弯	侧 弯
$3.2 \leq T \leq 9.5$	3.2	$2T$	2	2	2	—
$9.5 < T \leq 25.4$	3.2	$2T$	2	—	—	4
$T > 25.4$	3.2	不限	2	—	—	4

(续)

2. 管材试件									
试件类别	试件名义管径/mm	试件名义壁厚/mm	所评定的名义管径/mm	所评定的名义壁厚/mm		试样的形式和数量/个			
				最小	最大	拉伸	面弯	背弯	侧弯
工件规格试件	<610	$3.2 \leq T \leq 9.5$	试件直径及以上	3.2	2T	2	2	2	—
		$9.5 < T < 19.0$	试件直径及以上	T/2	2T	2	—	—	4
		$T \geq 19.0$	试件直径及以上	9.5	不限	2	—	—	4
	≥ 610	$3.2 \leq T \leq 9.5$	试件直径及以上	3.2	2T	2	2	2	—
		$9.5 < T < 19.0$	610 及以上	T/2	2T	2	—	—	4
		$T \geq 19.0$	610 及以上	9.5	不限	2	—	—	4
标准试件/mm	50×5.5 或 75×5.5		19~100	3.2	19.0	2	2	2	—
	150×14.3 或 200×12.7		100 及以上	4.8	不限	2	—	—	4

3. 电渣焊和气压电焊试件						
试板名义壁厚 T	所评定的名义板厚		试样的形式和数量/个			
	最小	最大	接头拉伸	全焊缝金属拉伸	侧弯	冲击
T/mm	0.5T	1.1T	2	1	4	按产品技术条件

- 注：1. 对于不加衬垫的直边对接焊缝的评定，所评定的最大厚度为试板的厚度。
2. 任何厚度或直径的全焊透开坡口对接缝的评定适用于任何尺寸的角接缝或任何厚度的局部焊透开坡口对接缝。
3. 直角接头或 T 形接头开坡口焊缝的试件应是对接接头，其坡口形状应与结构中采用的直角或 T 形接头的坡口形状相同。

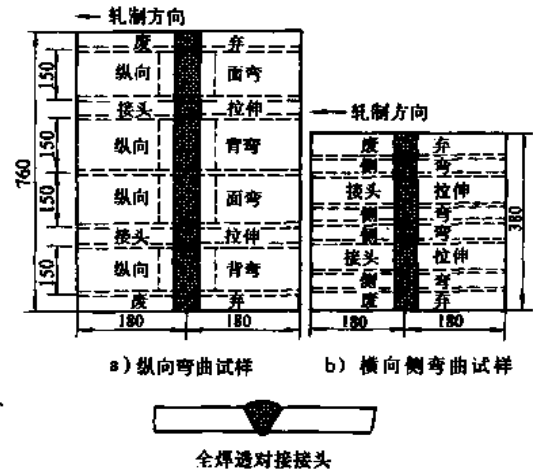


图 4-37 厚度在 9.5mm 以上开坡口焊接试板的尺寸和取样部位

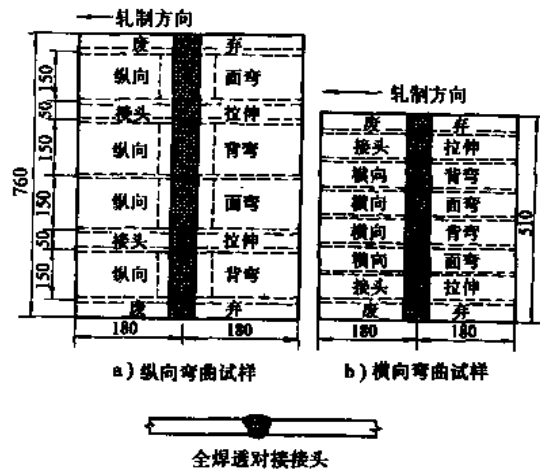


图 4-38 厚度在 9.5mm 及以下的开坡口焊接试板的尺寸和取样部位

2. 局部焊透开坡口对接缝焊接工艺评定

对于不要求全焊透的开坡口对接缝的产品接头，可以采用局部焊透开坡口对接缝试板作焊接工艺评定。试件的坡口形状，应采用产品接头中的坡口形状以及尺寸，并按焊接工艺规程中的规定，但坡口深度不必大于 25mm。在局部焊透开坡口对接缝评定试验中增加了宏观金

相检验项目，以查明焊缝的实际尺寸。如果局部焊透开坡口对接缝的评定，用于直角接头或T形接头，则应在对接焊评定试板上的垂直平面加临时挡板，以模拟T形接头的形状。

当采用全焊透开坡口对接缝试板评定局部焊透开坡口对接缝，亦要求取3个宏观金相试片以查明焊缝尺寸是否达到所规定的最小尺寸。

如焊接工艺规程规定的坡口形式不符合法规的通则，则应先焊接试板并取宏观金相检验试片查明焊缝尺寸，然后从接头的底面加工掉多余的焊缝金属到焊缝的厚度为止，并取出拉伸和弯曲试样。

对于连接元件边缘形状决定的张开坡口的焊缝，应在评定试板焊接后测定其有效的焊缝尺寸，并应符合标准或合同有关条款。

局部焊透开坡口对接缝工艺评定试板的试样形式和数量，以及所评定的厚度范围列于表4-10。取样部位可参照图4-37和图4-38。

局部焊透开坡口对接焊缝的工艺评定，亦要求每种位置焊接一个试件。

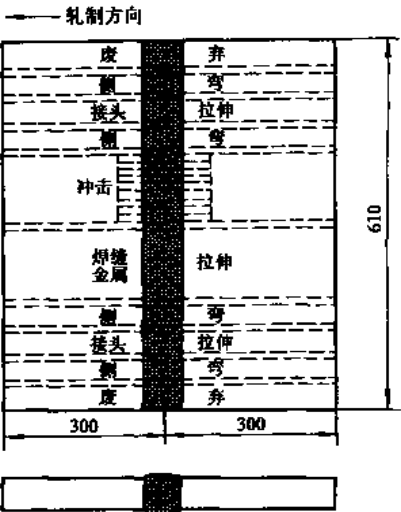
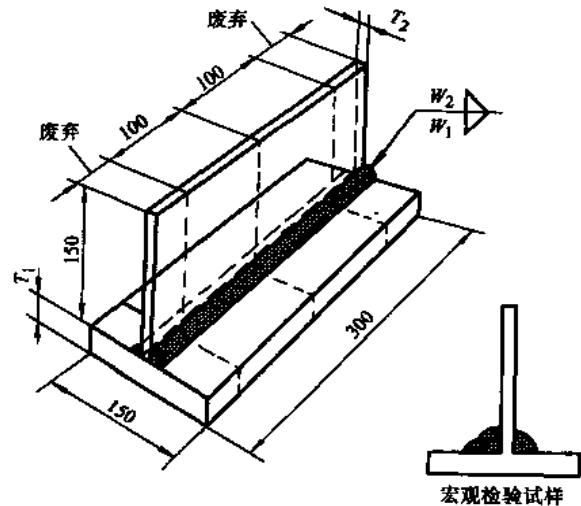


图 4-39 电渣焊和气电立焊工艺评定试板尺寸及取样部位

表 4-10 局部焊透开坡口对接缝工艺评定试样形式和数量以及所评定的厚度范围

试板坡口深度 T /mm	所评定的范围			试样的形式和数量				
	坡口深度	名义接头壁厚/mm		宏观	拉伸	面弯	背弯	侧弯
		最小	最大					
$3.2 \leq T \leq 9.5$	T	3.2	$2T$	3	2	2	2	—
$9.5 < T \leq 25.4$	T	3.2	不限	3	2	—	—	4

- 注：1. 所有试件应作目视检查合格。
2. 所适用的管径同表4-9。
3. 任何一种局部焊透开坡口对接缝工艺评定，也应适用于任何板厚上的任何尺寸的角焊缝。



焊缝尺寸/mm	T_{1min}/mm	T_{2min}/mm
5	12.7	4.8
6	19.0	6.4
8	25.4	8.0
10	25.4	9.5
13	25.4	12.7
16	25.4	15.9
19	25.4	19.0
>19	25.4	25.4

图 4-40 角接缝焊接工艺评定试件形式和尺寸要求

W_1 —产品结构中单道角焊缝焊脚的最大尺寸
 W_2 —产品结构中多道角焊缝焊脚的最小尺寸

3. 角接焊工艺评定

钢结构产品的角接, 可以直接采用图 4-40 和图 4-41 所示的角接试件进行工艺评定。

试样的形式和数量按表 4-11 中的规定, 试板的最小壁厚为 3.2mm。应按每份焊接工艺规程和产品结构焊接时的位置, 焊接一个角焊缝 T 形接头试件, 其中一条试验焊缝应是最大尺寸的单层角焊缝, 另一条是最小尺寸的多层角焊缝。试件焊后应经目视检查合格, 然后垂直于焊接方向将试件剖开, 制备宏观金相试片, 每块试片只检验其中一个剖面。

如拟采用的焊接材料既不可免除焊接工艺评定的, 亦非按法规要求经过工艺评定的焊接材料, 则应使用图 4-42 所示的试板形式作验证试验, 试板可在 1G 位置焊接, 试板长度应足以取出所要求数量的试样, 并按图 4-42 截取试样。焊接试板的工艺参数应尽量接近产品角焊缝的焊接参数。

从开坡口对接试板中取出两个侧弯试样和一个全焊缝金属拉伸试样, 合格标准见下节。

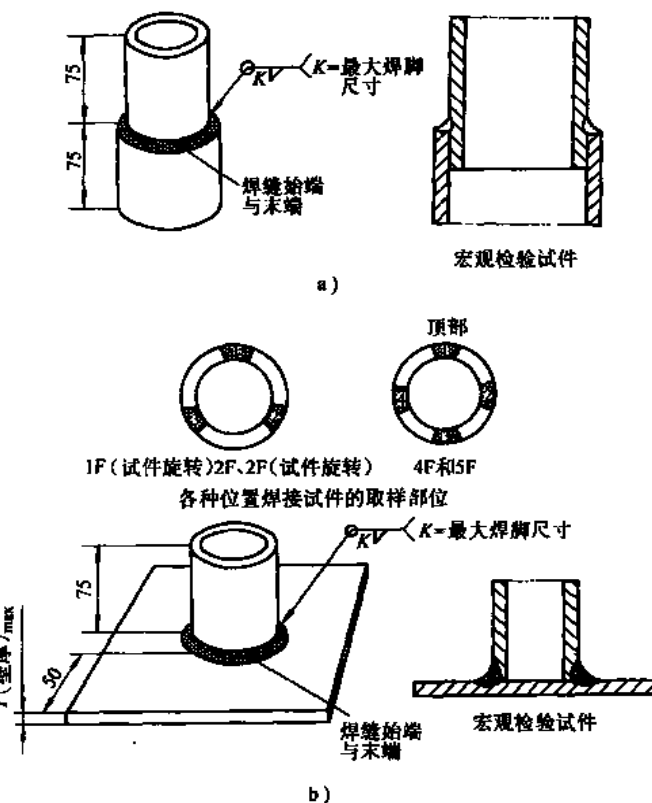


图 4-41 管材角焊缝焊接工艺评定试件形式和尺寸要求

a) 管-管角接试件 b) 管-板角接试件

表 4-11 角接工艺评定试样形式和数量以及所评定的厚度范围

试板形式	角焊缝尺寸	试验焊缝数量	所评定的尺寸		试样形式与数量		
			壁厚	角焊缝尺寸	宏观	全焊缝金属拉伸	侧弯
T-角接试板	最大尺寸的单层角焊缝	每种焊接位置 1 条	不限	最大试验焊缝尺寸和以下	3 个剖面	—	—
	最小尺寸的多层角焊缝	每种焊接位置 1 条	不限	最小试验焊缝尺寸和以上	3 个剖面	—	—
T-角接管材试件	最大尺寸的单层角焊缝	每种焊接位置 1 条	不限	最大试验焊缝尺寸和以下	3 个剖面 ^①	—	—
	最小尺寸的多层角焊缝	每种焊接位置 1 条	不限	最小试验焊缝尺寸和以上	3 个剖面 ^①	—	—
开坡口对接试件 ^② (见图 4-42)		1G 位置 1 件	焊接材料评定		—	1	2

① 对于 4F 和 5F 焊接位置, 要求 4 个剖面。

② 当采用非法规认可的焊接材料时需作焊接材料评定。

4. 管件接头全焊透开坡口焊缝

管件接头全焊透开坡口焊缝有下列四种形式：

- 1) 带衬垫或背面清根的全焊透对接接头。
- 2) 不带衬垫单面焊全焊透对接接头。
- 3) 带衬垫或背面清根的 T、Y、K 形接头。
- 4) 不带衬垫单面焊 T、Y、K 形接头。

第一种形式的对接接头应采用图 4-43 (背面清根) 或图 4-44 (带衬垫) 所示的试板作焊接工艺评定。第二种形式的对接接头应采用图 4-43 所示的试板作不带衬垫的单面焊工艺评定试验。第三种形式的接头, 应按表 4-9 选择适当外径的试验管件, 坡口形式及尺寸按图 4-44, 或者对于名义外径等于或大于 610mm 的管件, 可以采用试板评定, 坡口形式和尺寸按图 4-44 第四种形式的接头, 对于管件, 应按图 4-45 所示的试件形式和尺寸焊接工艺评定试件。对于矩形管件应按图 4-46 的试件作焊接工艺评定试验。并按下列每种情况, 焊接一个接头试件, 从中至少应取出一片宏观金相试片。

1) 最大的坡口深度与最小的坡口角组合的坡口, 或产品结构中拟采用的坡口形式, 并在立焊位置焊接试验焊缝。

2) 最窄的根部间隙与 37.5° 坡口角组合, 在平焊位置焊一个试件, 并在仰焊位置再焊一个试件。

3) 最宽的根部间隙与 37.5° 坡口角组合, 在平焊和仰焊位置各焊一个试件。

4) 对于矩形管件接头, 按最小的坡口角、转角尺寸和转角半径, 在横焊位置焊一试件。

宏观金相检验的合格标准见下节。

V 形坡口角小于 30° 的 T、Y、K 形接头的评定, 应按图 4-45 或图 4-46 所示的试件焊接, 并取三个宏观金相试片检验。

采用短路过渡熔化极气体保护焊焊接的 T、Y 或 K 形接头全焊透开坡口焊缝的焊接工艺规程, 应按图 4-45 的接头形式进行焊接工艺评定试验。T、Y 或 K 形管件局部焊透的角接和对接接头, 应按表 4-10 的规定作焊接工艺评定。

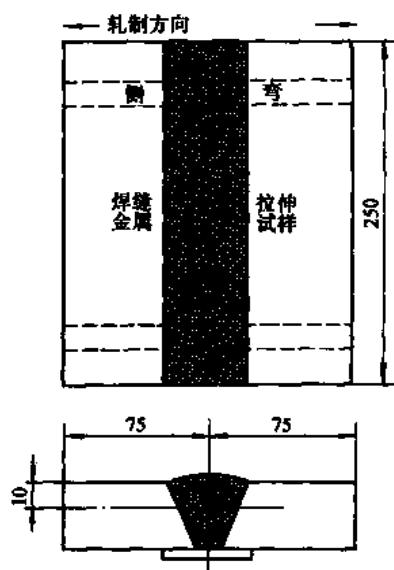


图 4-42 角焊缝焊接材料评定试板形式和尺寸及取样部位

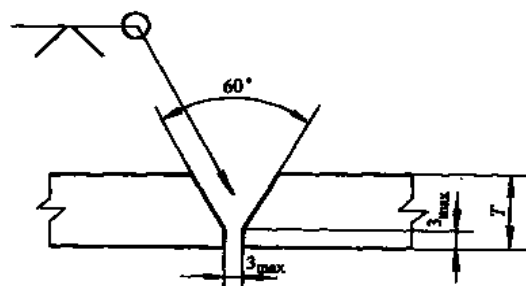


图 4-43 管材对接接头焊接工艺评定试件形式和尺寸

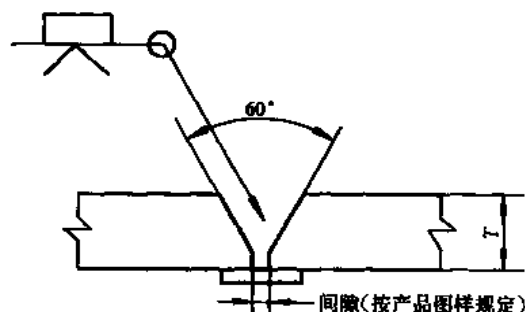


图 4-44 带衬垫管材对接接头焊接工艺评定试件形式和尺寸

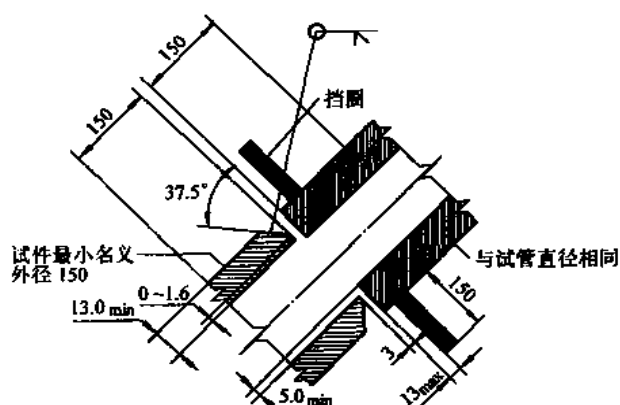


图 4-45 T、Y、K 形管件接头工艺评定试件形式及尺寸

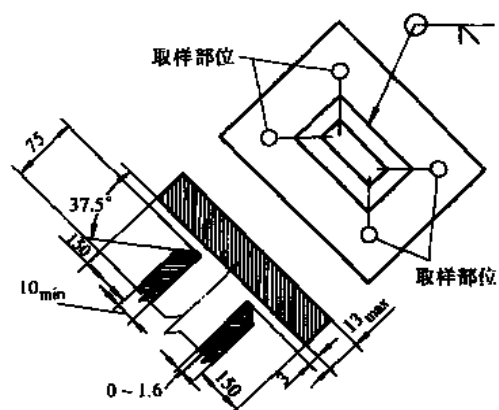


图 4-46 T、Y、K 形方形管全焊透接头宏观金相检验试件形式和尺寸

槽焊和塞焊开坡口焊缝的焊接工艺评定应按图 4-47 所示的试板进行焊接工艺评定试验。但全焊透开坡口对接焊缝的评定适用于所有的槽焊和塞焊缝。

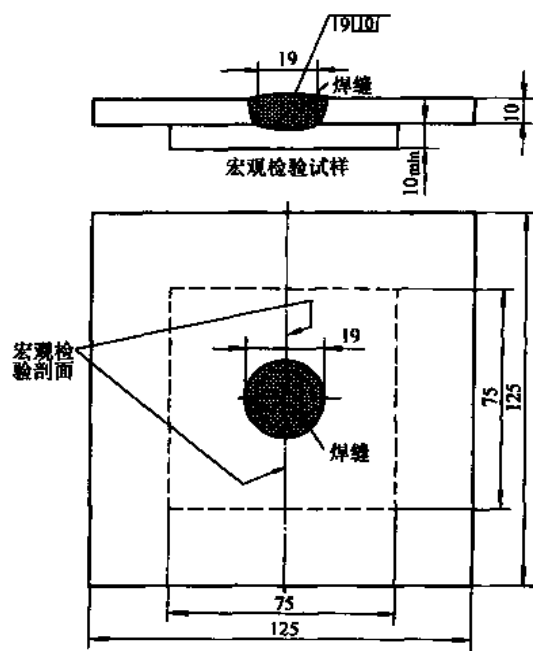


图 4-47 塞焊缝的工艺评定试板形式及尺寸
(只取宏观试片)

2.4 钢结构焊接工艺评定试验方法和合格标准

1. 试板的焊接位置

钢结构焊接工艺评定试验与锅炉压力容器焊接工艺评定试验的一个原则区别是,前者将焊接位置作为重要工艺参数,无论是对接还是角接,焊接位置从一种位置改成另一种位置要求作焊接工艺评定试验,而后者规定任何一种焊接位置的焊接工艺评定适用于其它任何焊接位置。钢结构接头的焊接工艺评定时,评定试验的焊接位置与所评定的焊接位置的对应关系列于表 4-12。板材和管材焊接工艺评定试验的位置,对接参见图 4-12 和图 4-48,角接按图 4-49 和图 4-14。

表 4-12 钢结构焊接工艺评定试验位置及所评定的产品结构焊接位置

试件类别	焊缝形式	试件位置	所评定的板材结构焊接位置				所评定的管结构焊接位置				所评定的方管结构焊接位置				角接	
			开坡口全焊透	开坡口局部焊透	角接	开坡口对接		全焊透	T、Y、K、节点开坡口局部焊透	角接	开坡口对接		全焊透	T、Y、K、节点开坡口局部焊透		
						全焊透	局部焊透				全焊透	局部焊透				全焊透
板	开坡口全焊透对接	1G	平	平	平	平	平	平	平	平	平	平	平	平	平	
		2G	平、横	平、横	平、横	平、横	平、横	平、横	平、横	平、横	平、横	平、横	平、横	平、横	平、横	
		3G	立	立	立	立	立	立	立	立	立	立	立	立	立	
		4G	仰	仰	仰	仰	仰	仰	仰	仰	仰	仰	仰	仰	仰	
材	角接	1F	—	—	平	—	—	平	—	—	—	—	—	—	平	
		2F	—	—	平、横	—	—	平、横	—	—	—	—	—	—	平、横	
		3F	—	—	立	—	—	立	—	—	—	—	—	—	立	
		4F	—	—	仰	—	—	仰	—	—	—	—	—	—	仰	
槽焊/塞焊的评定只适用所试验的位置																
管	开坡口全焊透对接	1GRo	平	平	平	平	平	平	平	平	平	平	平	平	平	
		2G	平、横	平、横	平、横	平、横	平、横	平、横	平、横	平、横	平、横	平、横	平、横	平、横	平、横	
		5G	平、立、仰	平、立、仰	平、立、仰	平、立、仰	平、立、仰	平、立、仰	平、立、仰	平、立、仰	平、立、仰	平、立、仰	平、立、仰	平、立、仰	平、立、仰	
		(2G+5G)	所有	所有	所有	所有	所有	所有	所有	所有	所有	所有	所有	所有	所有	
材	角接	6G	所有	所有	所有	所有	所有	所有	所有	所有	所有	所有	所有	所有	所有	
		6GR	所有	所有	所有	所有	所有	所有	所有	所有	所有	所有	所有	所有	所有	
		1FRo	—	—	平	—	—	平	—	—	—	—	—	—	平	
		2F	—	—	平、横	—	—	平、横	—	—	—	—	—	—	平、横	
材	角接	2FRo	—	—	平、横	—	—	平、横	—	—	—	—	—	—	平、横	
		4F	—	—	平、横、仰	—	—	平、横、仰	—	—	—	—	—	平、横、仰		
		5F	—	—	所有	—	—	所有	—	—	—	—	—	所有		
			—	—	所有	—	—	所有	—	—	—	—	—	所有		

注: Ro—管子旋转 R—加挡板。

2. 试件焊缝的目视检查

所有焊接工艺评定试件焊缝外表的目视检查应满足下列要求:

- 1) 焊缝应无任何裂纹。
- 2) 所有的弧坑应填满。
- 3) 焊缝表面应与母材表面平齐, 焊缝表面边缘与母材应平滑过渡。咬边深度不应超过 1mm。焊缝余高不应超过 3mm。
- 4) 焊缝根部不应有任何裂纹, 未熔合或未焊透, 根部表面的内凹深度不应使焊缝的总厚度小于母材的厚度, 最大不应大于 1.6mm。

5) 焊缝根部熔穿高度最大值为 3mm, 对于 T、Y、K 形管件接头, 根部的熔穿是容许的。

3. 无损检测

焊接工艺评定试件在切取试样之前, 应作射线透视检查或超声波探伤。试板焊缝全长和管材试件整条环缝应作 100% 检查。检验方法和程序应按相应的无损探伤的国家标准, 合格标准应按产品的技术条件和有关制造法规的规定。

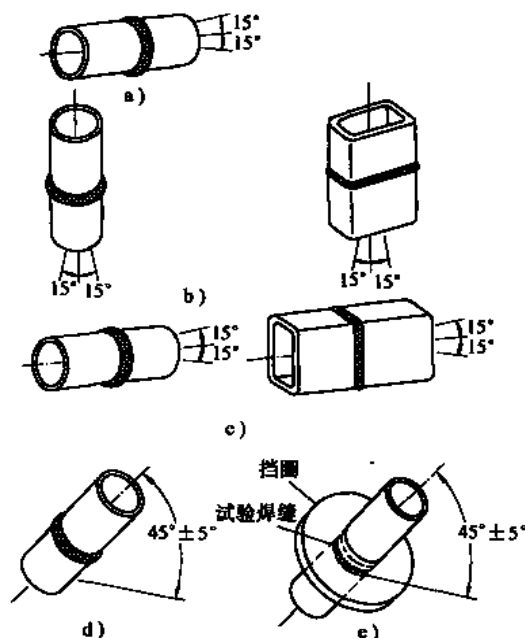


图 4-48 管材开坡口对接试件的焊接位置

- a) 试焊位置 1G 试件转动 b) 试焊位置 2G c) 试焊位置 5G
d) 试焊位置 6G e) 试焊位置 6GR(T、Y、K 形接头)

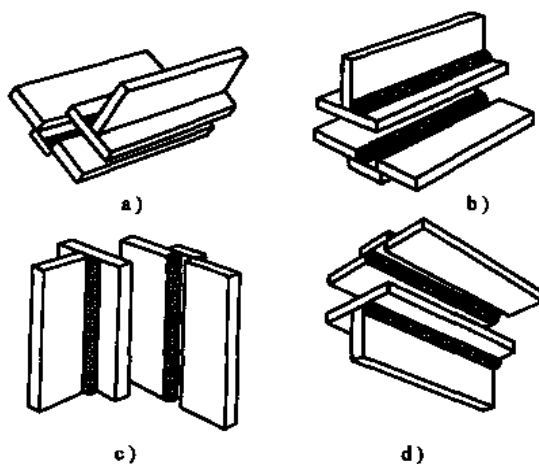


图 4-49 角接试板焊接位置

- a) 平焊位置 b) 横焊位置 c) 立焊位置
d) 仰焊位置

4. 力学性能试验

(1) 背弯、面弯和侧弯 弯曲试样的形式和尺寸, 弯曲试验程序和弯模形式与上节完全相同。弯芯和支承间距尺寸按母材的强度等级列于表 4-13。

当试件的两种母材的强度或弯曲性能有明显差异时, 或者母材和焊缝金属的上述性能差别较大时, 可采用纵向面弯和背弯代替焊接接头的横向弯曲试验。试样的形式和尺寸同上节。

表 4-13 弯芯直径和支承间距与母材强度的关系

母材标准规定的或实际的屈服点/MPa	弯芯直径 D/mm	支承轴半径 R/mm	支承间距 C/mm
345 以下	38	19	60
345~620	50	25	73
620 以上	65	32	86

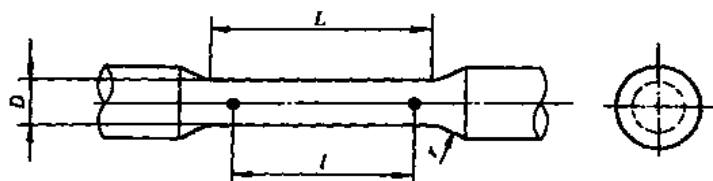
弯曲试验的合格标准为每个试样应弯到 180° ，然后目视检查试样受拉面，所发现的焊接缺陷尺寸应符合下列规定：

- 1) 受拉面任何方向的缺陷不大于 3mm。
- 2) 尺寸超过 1mm，但小于 3mm 所有缺陷的总长不应超过 10mm。
- 3) 棱角处裂纹的最大长度不超过 6mm，但由夹渣或未熔合等缺陷引起的棱角处裂纹不应超过 3mm。棱角裂纹大于 6mm 的试样应废弃重取弯曲试样作重复的弯曲试验。

由上述弯曲试验条件和合格标准可见，与 ASME 锅炉与压力容器焊接工艺评定试验要求相比，AWS 钢结构焊接工艺评定弯曲试验的合格标准较低。首先它考虑到母材强度对接头弯曲性能的影响，当母材的屈服点超过 345MPa 时，加大了弯芯的直径，即放宽了试验的条件；第二，弯曲试样弯曲后拉伸面裂纹总长的容限为 10mm。比 ASME 法规规定的 3mm 大得多。

(2) 拉伸试验 拉伸试验分为接头横向拉伸试验和全焊缝金属拉伸试验两种。后者用于焊材的验证试验和电渣焊及气电焊接头的工艺评定。

接头横向拉力试样的尺寸与上节有关规定相同，试验程序按有关国家标准。合格标准为试样的抗拉强度不应低于所评定母材标准规定的抗拉强度下限值。全焊缝金属的拉伸试样，可按 GB2652—89 标准“焊缝及熔敷金属拉伸试验方法”制备，亦可按图 4-50 的规定。合格标准：全焊缝金属的抗拉强度不应低于所评定母材标准规定的抗拉强度下限值或所试验焊接填充材料标准所规定的抗拉强度的下限值。



试样尺寸

名义直径	标准试样	小尺寸试样	
	12.5	9.0	6.0
l ——测量长度	62.5 ± 0.1	45.0 ± 0.1	30.0 ± 0.1
D ——直径	12.5 ± 0.2	9.0 ± 0.1	6.0 ± 0.1
r ——圆角半径	10	8.0	6.0
L ——缩减截面长度	75	54	36

图 4-50 焊缝金属拉伸试样形状和尺寸

5. 宏观金相检验

宏观金相检验试样的受检截面应磨光，采用适当的试剂浸蚀使之能清楚地辨认焊缝的轮廓。所有的试样受检面经目视检查应符合下列的规定：

- 1) 局部焊透开坡口对接焊缝为：焊缝的实际尺寸应等于或大于所规定的焊缝尺寸。
- 2) 角焊缝的根部应完全熔合；焊脚最小尺寸应符合所规定的角焊缝尺寸。
- 3) 所有受检焊缝截面不应有下列缺陷：
 - ①任何裂纹。
 - ②焊缝金属层间未熔合和焊缝金属与母材之间的未熔合。
 - ③深度大于 1.0mm 的焊缝咬边。
- 4) 焊缝的外形尺寸应符合接头详图的规定。

6. 冲击韧度试验

钢结构焊接工艺评定试件的冲击韧度试验，只有当产品合同或产品技术条件提出要求时才作为检验项目。一般的钢结构不要求作冲击韧度试验。

冲击试样的取样部位按图 4-51 的规定。其中第一种取样部位适用于单面或双面 V 形坡

口对接接头和直角接头(图 4-51a)。第二种取样部位适用于单面或双面斜坡口对接接头、T 形接头或直角接头(图 4-51b)。试样的纵向中心线应横向于焊缝轴线, 缺口形式为 V 形缺口, 缺口的底面应垂直于焊缝的表面。如焊缝盖面层由二道或多道焊缝组成, 则试样的缺口部位应开在最后一道盖面层焊缝的热影响区内。为将冲击试样的缺口准确地开在所规定的位置, 开缺口前应将试样的一面轻度腐蚀, 以显露焊缝熔合区和热影响区。冲击试样的数量每一区域, 即焊缝和热影响区各取 3 个试样。亦可以取 5 个试样为一组, 在这种情况下, 为缩小试验数据的离差值应删去实测结果最高值和最低值, 以其余 3 个试样实测数据的平均值作为有效的试验结果。

冲击初度试验合格标准, 钢结构焊接工艺评定中, 焊缝和热影响区冲击试验的温度和合格的冲击吸收功原则上应按产品合同和产品技术条件的规定。如上述技术文件未提出特殊的要求, 则可按所评定钢材的组别和等级, 确定焊缝金属和热影响区冲击试验的温度, 以及最低的冲击吸收功平均值。具体见表 4-14。

7. 重复检验

如上述任何一种试验的任何一个试样检验结果不合格, 则应从焊接工艺评定试件上截取不合格试样数的双倍试样作重复检验。每一个试样的重复检验结果均应符合上述试验要求。对于厚度大于 40mm 的试件, 任何一个试样不合格时, 应从工艺评定试件的两个部位截取所规定的所有试样, 并进行重复检验。所有试样的复验结果均应符合规定的要求。如任何一个试样的重复检验结果仍不合格, 则该项焊接工艺评定应判为不合格。应认真分析原因, 修正焊接工艺参数, 拟定新的焊接工艺设计书, 重新进行焊接工艺评定试验。

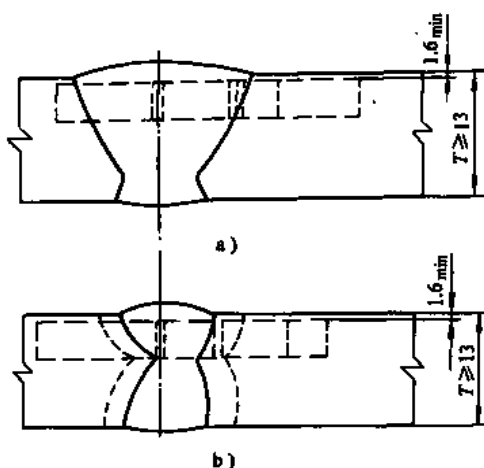


图 4-51 缺口冲击试样截取部位

a) 单面、双面 V 形对坡口焊缝 b) 单侧单面、
双面斜坡口焊缝 (K 形焊缝)

注: 如盖面层由二道以上焊缝组成, 则热影响区试样应从最后一道焊缝中截取

表 4-14 焊缝金属和热影响区缺口冲击试验的温度及平均冲击吸收功

钢材组别	钢材等级	焊缝金属 ^①		热影响区	
		冲击试验温度/℃	最低冲击吸收功 (平均值)/J	冲击试验温度/℃	最低冲击吸收功 (平均值)/J
I	C	-18	27	10	只作参考
I	B	-18	27	4	20
I	A	-30	27	-10	20
II	C	-18	27	10	只作参考
II	B	-30	27	4	20
II	A	-40	34	-10	34
III	C	-30	27	—	—
III	B	-40	27	—	—
III	A	-40	40	-10	40

① 单个试样的冲击吸收功容许比规定值低 7J 而无需重复试验。

3 焊接工艺评定报告的管理

焊接工艺评定报告是焊接生产企业质量控制和保证的重要证明文件，是国家技术监督部门和用户对企业质保体系评审和产品质量监督中的必检项目，也是焊接生产企业获取国内和国际生产许可和质量认证的重要先决条件之一，因此焊接工艺评定报告应严格管理，从评定报告的格式、填写、审批程序、复制、归档、检索、修改、借阅以及到外部评审等，每一个企业都应建立完善的管理制度。

3.1 焊接工艺评定报告的管理程序

焊接工艺评定报告的推荐格式已在第三章第 3.2.1 节作了详细介绍，其实，报告的格式并不重要，最主要的是要真实而完整地记录，而不是编写，焊接工艺评定试验的条件和试板的检验结果。其中包括试板（试件）母材牌号（或试件材料的实际化学成分）、规格、坡口形式和尺寸、焊接填充材料的牌号（或填充材料的实际化学成分）和规格、焊剂，或保护气体的种类、牌号（或实际的化学成分），试板焊接时需监控的重要焊接工艺参数，试板预热和焊后热处理温度及保温时间以及试板的力学性能、宏观金相，以及其它产品技术条件所要求的检验项目的检验结果。

焊接工艺评定报告，应按企业制定的工艺文件编号制度统一编号，并注明报告填写日期。评定报告应由完成该项评定试验的焊接工程师填写，并在报告的最后一行签名以示负责。为保证评定报告的完整性和正确性，评定报告应经企业主任焊接工程师审核，最后交企业管理者或企业管理者代表审批签名，以代表企业对报告的真实性和合法性负责。为充分体现报告的真实性和合法性，通常将评定试板的力学性能、宏观金相检验等报告原件作为焊接工艺评定报告的附件一并归档备查。

焊接工艺评定报告经审批后，由企业负责工艺评定的单位复印两份，一份交企业质量管理部门，供技术监督机构或用户对企业进行质保体系评审时核查，另一份交焊接工艺部门，作为编制焊接工艺规程的依据。评定报告的原件存企业的档案部门。

焊接工艺评定报告一经审批，原则上不准修改，这不仅是因为评定报告是企业的重要质保文件，而且是一份真实反映焊接工艺评定试验全过程的记录报告。但当焊接工艺评定标准或法规本身有关条款作出修改时，允许对已经审批的评定报告作必要的补遗。补遗报告也应经企业管理者或管理者代表签证。

焊接工艺评定报告是一个企业的内部文件，它只适用于本企业作为其它焊接工艺文件的编制依据，只供企业内部的焊接工艺人员使用，不准任意复制，亦不应向外单位提供报告的复印件。

3.2 焊接工艺评定报告的合法性

每一家焊接生产企业必须严格按照焊接工艺评定标准，或有关法规的要求完成焊接工艺评定试验。企业必须根据自身的生产能力和工艺装备，由本企业的工艺部门和人员编制焊接工艺规程，并按标准或法规的要求，利用企业现有的焊接设备和考试合格的焊工完成焊接工艺评定试验。法规不容许任何企业将焊接工艺评定试验委托外单位去完成，也不容许任何企业借用外单位的焊接工艺评定报告编制用于本企业焊接生产的焊接工艺规程。因此，每一家

企业都必须保证本企业的焊接工艺评定报告的合法性。企业的管理者必须为完成所规定的焊接工艺评定试验建立必要的条件。很难相信,一家没有能力自行完成相应的焊接工艺评定试验的企业,能够生产出质量完全符合标准或法规要求的产品。由此可见,焊接工艺评定试验也是考核企业焊接生产能力和质量控制有效性的重要手段。

焊接工艺评定报告所记录的数据和检验结果都必须是真实的,是采用经校验合格的仪器、仪表和检测设备测量结果的记录,不容许将任何实测检验结果随意修改,更不容许编造检验结果,企业管理者有责任采取有效的管理和监督措施,杜绝工作人员的违法行为。企业管理者或管理者代表在工艺评定报告上签字,这就意味着他对报告所列全部数据的真实性和合法性负完全的责任。

3.3 焊接工艺评定报告的有效性

焊接工艺评定报告经企业管理者签字后只说明该文件在企业内部已完成审批程序,可以在企业内部作为焊接工艺规程编制时使用,但不能作为企业质量认证的证明文件。只有当焊接工艺评定报告经技术监督部门代表签字认可后,才真正具有法律效力。如企业向美国 ASME 总部申请锅炉与压力容器制造许可证,则焊接工艺评定报告,需经美国锅炉与压力容器检验师(国家管理局授权的检验师)签字认可,才真正有效。

焊接工艺评定报告一经上列人员签字认可,就具有长期的有效性。正如美国 ASME 锅炉与压力容器法规第九卷第一章 QW-100.3 条款所指出的,凡是按照第九卷 1962 年版或以后任一版本的要求编制的焊接工艺规程,以及所完成的焊接工艺评定报告可以用于 ASME 锅炉与压力容器法规产品的建造。按照第九卷 1962 年以前版本的要求完成的焊接工艺评定报告及相对应的焊接工艺规程,只要符合 1962 年版,或以后各版的所有要求仍可继续使用。但是新编制的焊接工艺规程的评定,以及原有焊接工艺规程的重新评定,应当按照最新版的第九卷及其补遗的规定。

焊接工艺评定报告的长期有效性是以完全符合法规的要求为前提的。也就是说,焊接工艺规程的任一重要参数,都必须在法规评定规则所容许的范围内。一旦焊接工艺规程的某一重要参数超过所评定的范围,则原所依据的焊接工艺评定报告即行失效,而必须重新作焊接工艺评定。

3.4 焊接工艺评定及焊接工艺规程的局限性

综上所述,焊接工艺评定及其所支持的焊接工艺规程是,任何焊接结构生产企业确保产品焊接质量的重要手段,但决不应理解为唯一的手段。对于制造大、中型焊接结构的企业,只使用焊接工艺规程指导焊工以求焊制出质量完全符合产品技术条件,或制造法规要求的产品是远远不够的。焊接工艺规程只是以填表方式用极其简略的数字和词句阐明该种接头焊接所必需的重要焊接工艺参数和次要参数,即使将法规所规定的 37 个工艺参数全部填满,也不能说已包括焊接工艺的全部内容。为使焊工能持续稳定地焊制质量符合法规要求的产品,应当补充编制一些必要的焊接工艺文件,如焊接工艺守则,产品或产品部件的制造技术条件或焊接技术条件。焊接工艺守则通常可分成两大类:一类是阐明焊接工艺方法要素及典型工艺参数的工艺守则,如焊条电弧焊工艺守则,CO₂ 气体保护焊工艺守则、埋弧焊工艺守则、钨极氩弧焊工艺守则和电渣焊工艺守则等。另一类是详细规定各种材料焊接工艺要求的守则,如碳

钢焊接工艺守则、低合金钢焊接工艺守则、不锈钢焊接工艺守则、铝及铝合金焊接工艺守则等。本章 3.6 节列举了某厂编制的一种焊接方法工艺守则和一种材料焊接工艺守则，从中可以清楚地看出，焊接工艺守则是一种比焊接工艺规程内容更全面、更详细的焊接工艺文件，也是焊工必须遵照执行的通用焊接技术要求。

产品或产品部件的制造技术条件是一种内容更广泛的，适用范围更大的重要工艺文件，是针对该种产品的整个制造工艺过程，并结合产品特殊的运行条件而提出的各种技术要求、工艺措施、检验手段和合格标准。对于从事产品或部件制造的所有技术人员、生产管理人员以及技术工人都具有普遍的指导意义，同时也是编制焊接工艺规程的重要依据文件之一。本章 3.7 节列举了某厂编制的锅炉受压元件焊接技术条件，从中可清楚地了解这类工艺文件所应包括的内容和技术要求。

3.5 焊接工艺评定报告与焊接工艺规程之间的关系

对于锅炉压力容器产品来说，每一份焊接工艺规程都必需有相对应的焊接工艺评定报告所支持，也就是说作为编制的依据。由于焊接工艺规程的内容包括了焊接工艺的重要参数和次要参数，不论重要参数还是次要参数发生改变，都需重新编制焊接工艺规程，而焊接工艺评定报告只有当重要参数改变时，才需重新作焊接工艺评定。因此，一份焊接工艺评定报告可以支持若干份焊接工艺规程。例如一份在平焊位置完成的焊接工艺评定报告，可以同时支持在横焊、立焊和仰焊位置的焊接工艺规程，只要其所有的重要参数在所评定的范围之内。其它次要参数的变化也可采取相同的办法处理。反过来，一份焊接工艺规程可能需要多份焊接工艺评定报告的支持。例如一条厚壁焊缝采用两种不同的焊接方法焊成，底部焊缝采用 CO_2 气体保护焊，填充层和盖面层采用埋弧焊，则该焊接工艺规程应由两份相应评定厚度的 CO_2 气体保护焊，以及埋弧焊的焊接工艺评定报告所支持，某些采用组合焊工艺的焊接头甚至需三份或四份焊接工艺评定报告。采用组合焊工艺完成的接头，其焊接工艺规程也可以一份焊接工艺评定报告为依据，则该焊接工艺评定，应按产品接头焊接工艺所规定的每种焊接方法，所焊制的焊缝厚度焊制评定试板，且所取的接头拉伸和弯曲试样，应能基本反映各种焊接方法所焊焊缝部分的性能。另一种做法是，对组合焊工艺所使用的每种焊接方法，单独焊制一副试板，且试板的厚度至少为 12mm，则这些试板的工艺评定报告，可用于相对应的焊接方法和焊缝厚度，包括根部焊道。采用组合焊工艺焊接的接头焊接工艺评定报告，也可以按每种焊接方法或工艺所评定的焊缝厚度，分别支持只采用一种焊接方法或工艺所焊接头的焊接工艺规程。其前提是其它所有重要参数完全相同或在所评定的范围之内。

为了减少焊接工艺评定的数量、避免不必要的重复，ASME 锅炉与压力容器法规将化学成分、焊接性和力学性能相近的材料归入一类，属于同一类的材料，在编制焊接工艺规程时，可以借用其它同类材料的焊接工艺评定报告，只要所采用的所有其它焊接工艺重要参数都在已评定的范围之内。因此，如果使用 ASME 法规材料，则可省略大量重复的焊接工艺评定试验。如按钢号计算，归入第 1 类第 1 组的钢材竟有 80 余种之多。另外，焊接工艺评定报告不受钢材形式的限制，采用板材完成的焊接工艺评定试验报告，也适用于管材、型材、锻件和铸件。但是，这里必须强调指出，上述材料分类原则是以法规认可的材料为前提的，也就是说列入 ASME 法规的所有材料都经过全面的鉴定，并在实际生产中应用多年，确认性能符合锅炉与压力容器制造要求。因此，同类材料焊接工艺评定报告的相互借用具有充分的基础。

在我国目前尚未实行锅炉与压力容器材料的认可制度,虽然已有相应的锅炉与压力容器钢材标准,但未从焊接工艺评定的角度出发,将标准钢材分别归类,我国现行的锅炉和压力容器焊接工艺评定标准也对钢材作了相似的分类,但多少存在一定的盲目性,缺乏充分的、系统的实验数据和生产经验的积累。因此,有必要谨慎对待国产钢种焊接工艺评定报告,在同类钢种内的适用性问题。

对于母材厚度不同的接头,如符合下列条件,开坡口焊缝的焊接工艺评定报告同样有效:

- 1) 较薄部件的厚度在所评定的范围之内;
- 2) 较厚部件的厚度,如对于不要求缺口冲击韧度的材料,则部件的最大厚度不受限制,但工艺评定试板厚度应大于 6mm。对于要求缺口冲击韧度的材料,则较厚部件的厚度应在所评定的范围之内,但如工艺评定试板的厚度大于 38mm,则其最大厚度不受限制。

这就是说,开坡口对接焊缝的焊接工艺评定报告可适用于同类材料不同厚度的产品接头,作为编制焊接工艺规程的依据。

3.6 焊接工艺守则示例

焊接工艺守则是工厂内部通用的重要焊接工艺文件之一,下面以熔化极气体保护焊工艺守则及低合金高强度钢焊接工艺守则为例详细介绍守则应包含的具体内容。

1. 熔化极气体保护焊工艺守则

(1) 总则

1) 本守则适用于本厂锅炉膜式水冷壁、受热面管件、锅炉辅机和金属结构等低碳钢和低合金钢部件对接接头及角接接头的熔化极气体保护焊。

2) 本守则涉及的熔化极气体保护焊包括自动与手工(半自动)熔化极气体保护焊,保护气体为纯 CO_2 和不同混合比的 $\text{Ar}+\text{CO}_2$ 混合气体。焊丝直径为 $\phi 0.8\sim\phi 1.6\text{mm}$ 。焊接电流种类有直流和直流脉冲。

3) 本守则与有关产品图样、技术条件和焊接工艺规程等技术文件同时使用。

4) 从事熔化极气体保护焊的焊工,需经专门的培训和考试,持有相应的合格证书。

(2) 焊前准备

1) 坡口加工尺寸和接缝装配公差应符合产品图样,有关技术条件和焊接工艺规程的要求。

2) 坡口边缘不小于 20mm 两侧的铁锈、油污、气割熔渣、氧化皮等污垢,必须消除干净,并使母材露出金属光泽。

3) 焊前应检查焊接电源、送丝机、控制器、指示仪表和焊枪等是否正常。如出现异常现象,应及时通知有关部门检修,以保证焊接过程的稳定性。

4) 当采用液态 CO_2 气瓶供气时,气瓶的出口处应加接预热器,防止气体出口接头在连续供气过程中结霜而堵塞气路。

5) 为防止焊枪导电嘴和喷嘴粘着飞溅物,焊前应在导电嘴和气体喷嘴表面涂以硅油或其它防飞溅剂,每班 2~4 次。

(3) 焊接材料

1) 焊丝的牌号(型号)和直径公差应符合国家标准 GB/T8110—1995《气体保护电弧焊用碳钢、低合金钢焊丝》。

2) 某厂常用的气体保护焊焊丝牌号和型号有下列几种: MG49-1 (ER49-1), MG50-4 (ER50-4), MG50-6 (ER-50-6), MG55-B2Mn (ER55-B2Mn), MG55-B2MnV (ER55-B2MnV), MG62-B3 (ER62-B3)。

3) 某厂常用的气体保护焊丝规格有: $\phi 0.8\text{mm}$ 、 $\phi 1.2\text{mm}$ 和 $\phi 1.6\text{mm}$, 其直径公差为 $+0.01, -0.04\text{mm}$ 。

4) 除不锈钢焊丝外, 均应采用镀铜焊丝, 不准使用表面锈蚀、镀铜层脱落的焊丝。

5) 作保护气体使用的 CO_2 气体纯度 (体积分数) 不得低于 99.5%, $\text{H}_2\text{O} < 1 \sim 2\text{g}/\text{m}^3$, Ar 气纯度 (体积分数) 应大于 99.96%。瓶装液态 CO_2 气体, 当压力低于 0.2MPa 时不应继续使用。

(4) 焊接工艺

1) 熔化极气体保护焊焊接工艺参数 包括焊丝直径、电流种类和极性、焊接电流、电弧电压、焊丝伸出长度、气体流量、焊接速度和焊枪倾角。脉冲电弧焊工艺参数除上列参数外, 还有脉冲频率、脉冲峰值电流、基本电流和脉冲宽度等参数。

2) 焊丝直径的选择 焊丝直径应根据焊件的厚度、焊接位置和对焊缝的质量要求来选定。通常薄壁 (1~5mm) 焊件, 要求采用短路过渡焊接法, 宜选用 $\phi 0.8\text{mm} \sim \phi 1.2\text{mm}$ 的焊丝。需全位置焊接的焊件, 亦应采用细丝, 小直径管对接焊, 为控制焊接熔池, 防止流失, 亦应采用 $\phi 0.8\text{mm}$ 的细丝。厚度大于 5mm 的水平位置焊接, 可以采用 $\phi 1.6\text{mm}$ 的粗丝。

3) 焊接电流种类和极性的选择 熔化极气体保护焊通常采用直流电和反极性, 即焊件接负极、焊枪接正极。脉冲电弧气体保护焊则采用频率范围为 50~120Hz 的直流脉冲电源。

4) 焊接电流的选择 焊接电流应根据焊件厚度、接头形状、焊丝直径来选择, 熔化极气体保护焊时, 焊接电流取决于焊丝给送速度, 并成正比关系。调节焊接电流是通过调整焊丝给送速度来实现的。在纯 CO_2 气体保护焊时, 焊丝直径及其相应的焊接电流范围列于表 4-15, 在富 Ar 混合气体保护焊时, 可选择较高的焊接电流。

表 4-15 各种直径焊丝的适用焊接电流范围

焊丝直径 ϕ/mm	适用焊接电流/A	熔滴过渡形式	焊丝直径 ϕ/mm	适用焊接电流/A	熔滴过渡形式
0.8	60~100	短路过渡	1.6	80~200	短路过渡
0.8	110~160	混合过渡	1.6	210~260	混合过渡
1.0	80~120	短路过渡	2.0	160~350	混合过渡
1.0	130~180	混合过渡	—	—	—
1.2	90~150	短路过渡	—	—	—
1.2	160~260	混合过渡	—	—	—

5) 电弧电压的选择 熔化极气体保护焊时, 电弧电压与焊接电流之间存在严格的匹配关系。电弧电压应随焊接电流的增大而相应调高, 以保持焊接过程的稳定性。焊接电流与电弧电压成图 3-52 所示的直线关系。在一定的焊丝直径和焊接电流下, 最合适的电弧电压范围列于表 4-16。

表 4-16 最佳电弧电压范围

焊丝直径 ϕ/mm	0.8	1.0	1.2	1.6	1.6	2.0
焊接电流/A	100	125	150	200	250	300
电弧电压/V	19~22	20~23	21~24	23~26	25~27	27~30

6) 焊接速度的选择 焊接速度是焊枪沿接缝中心线方向的相对移动速度, 可根据所选定的焊接电流、电弧电压、焊缝尺寸和焊道数来确定。在其它工艺参数不变的条件下, 随着焊接速度的提高, 焊缝熔深和熔宽均减小, 过高的焊接速度可能引起咬边。焊接速度主要以获得良好的焊缝成形为依据来选定。手工(半自动) CO_2 气体保护焊的焊接速度范围为 $20 \sim 50 \text{ m/h}$ 。

7) 焊丝伸出长度的选择 焊丝伸出长度直接影响焊丝的熔化速度。焊丝伸出长度越长, 焊丝的电阻加热越大, 焊丝熔化速度越快。焊丝伸出长度一般为 $12 \sim 25 \text{ mm}$, 视焊丝直径而定, 细焊丝应选择短的伸出长度。焊丝伸出长度过长会导致电弧电压下降, 熔化速度过快, 焊缝成形不良, 焊缝熔深减小, 电弧不稳定。伸出长度过短, 焊接熔池的可见度差, 易烧导电嘴, 气体喷嘴被金属飞溅堵塞的可能性增加。

8) 气体流量的选择 气体流量直接影响保护气体对焊接区的保护效果。除了气体喷嘴的结构形状以外, 过大或过小的气体流量都会造成紊流而破坏保护效果。另外, 气体流量还与焊接电流、焊接速度和焊丝伸出长度有关, 在室外焊接时, 应适当加大气体流量。通常细丝小电流焊接时, 适用的气体流量为 $10 \sim 15 \text{ L/min}$, 粗丝大电流焊接时, 气体流量应为 $20 \sim 25 \text{ L/min}$ 。对气体保护效果要求高的焊件, 或在室外焊接时, 气体流量可加大到 30 L/min 。

9) 保护气体种类的选择 对焊缝性能和外形尺寸要求不高的碳钢焊件, 可采用纯 CO_2 气体保护。锅炉膜式壁、受热面管件的焊接, 应采用 $\text{Ar} + \text{CO}_2$ 混合气体。脉冲电弧熔化极气体保护焊, 应采用富 Ar 混合气体(即 Ar 气的体积分数混合比大于 80%)。铬不锈钢和铬镍奥氏体不锈钢的焊接保护气体, 应采用 $\varphi_{\text{Ar}} 98\% + \varphi_{\text{CO}_2} 2\%$ 的混合气体。

10) 焊枪(焊丝)的位置 焊丝轴线相对于焊缝中心线的角度和位置影响到焊道的形状和熔深。焊丝轴线与焊接方向垂直平面的夹角为行走角。焊丝轴线与焊缝轴线垂直平面的夹角为工作角。如图 4-53 所示。焊丝相对于焊接方向向前倾斜焊接为前倾焊接法, 向后倾斜称为后倾焊接法。

行走角 25° 的后倾焊接法可达到最大的熔深。通常行走角可取 $5^\circ \sim 15^\circ$, 便于控制焊接熔池。角焊缝横焊时, 工作角最好为 $45^\circ \sim 50^\circ$ 。

11) 熔化极气体保护焊的典型焊接工艺参数 列于表 4-17 和表 4-18。

(5) 焊后检查

1) 焊后目视检查 焊缝表面不得有裂纹、气孔、咬边、夹渣和未熔合等缺陷。

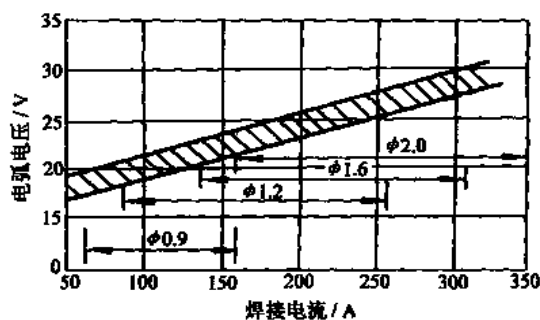


图 4-52 CO_2 气体保护焊时焊接电流和电弧电压的匹配关系

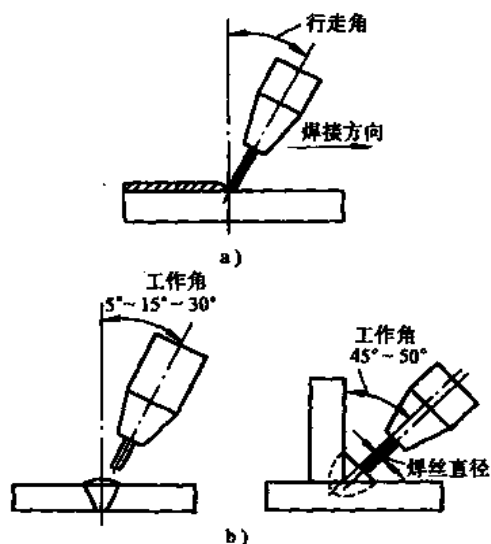


图 4-53 焊丝相对于焊接方向和焊缝轴线的行走角和工作角

a) 行走角 b) 工作角

表 4-17 CO₂ 气体保护焊对接接头平焊位置焊接工艺参数

板厚 /mm	接头形式	装配间隙 /mm	焊丝直径 /mm	伸出长度 /mm	焊接电流 /A	电弧电压 /V	焊接速度 /(m/h)	气体流量 /(L/min)	备注
1.0	直边对接	0~0.5	0.8	8~10	50~60	18~19	30	7~10	双面焊
1.5	直边对接	0~0.5	0.8	8~10	60~70	19~20	30	7~10	
1.5	直边对接	0~0.5	1.0	10~12	65~80	20~21	25	8~10	
2.0	直边对接	0~0.5	0.8	8~10	75~85	20~21	25	7~10	
			1.0	10~12	85~95	20~21	28	8~10	
			1.2	12~14	85~95	21~22	30	8~10	
2.0	直边对接	0~0.5	0.8	8~10	60~70	19~20	30	8~10	
			1.0	10~12	65~75	19~20	30	8~10	
3.0	直边对接	0~0.8	1.0	10~12	95~110	21~22	25	8~10	
			1.2	12~14	95~120	21~22	30	8~10	
3.0	直边对接	0~0.8	1.0	10~12	90~110	21~22	30	8~10	
			1.2	12~14	95~130	21~22	30	8~10	
4.0	直边对接	0~1.0	1.0	10~12	120~150	22~24	30	8~10	
			1.2	12~14	120~160	22~24	30	8~10	
		0~1.0	1.2	12~14	120~160	22~24	30	8~10	
5~6	直边对接	0~1.0	1.2	13~15	190~210	23~25	30	8~12	
7~8	直边对接	0~1.5	1.6	15~16	220~260	24~26	30	10~14	
9~10	直边对接	0~1.5	1.6	15~16	260~300	26~28	30	12~15	双面焊
	45°V 形坡口	0~1.5	1.6	16~18	220~260	24~26	22~25	12~15	多层焊
12	45°V 形坡口	0~1.5	1.6	16~18	220~260	24~26	22~25	12~15	多层焊
	45°双 V 形坡口	0~1.5	1.6	16~18	240~300	25~28	20~25	12~15	

表 4-18 角焊缝 CO₂ 气体保护焊工艺参数

板厚/mm	焊接位置	焊脚尺寸 /mm	焊丝直径 /mm	伸出长度 /mm	焊接电流 /A	电弧电压 /V	焊接速度 /(m/h)	气体流量 /(L/min)	备注
1.0	平焊、立焊、仰焊	1.2~1.5	0.8	8~10	70~100	17~19	30~40	6~8	
2.0		1.5~2.0	0.8	8~10	100~120	18~20	30~40	6~8	
3.0		2.0~3.0	1.0	10~12	150~200	19~21	25~36	6~8	
4.0	平焊、立焊	2.5~4.0	1.2	10~14	160~300	20~30	25~34	8~10	
5~6	平焊	3~5	1.2	10~14	160~200	20~24	25~34	8~10	
	立焊(向下)	3~5	1.2	10~14	160~180	20~23	25~34	8~10	
	平焊	3~5	1.6	14~16	180~210	22~24	25~32	10~15	
7~8	平焊	4~6	1.2	10~14	170~220	21~24	25~32	10~15	
		4~6	1.6	15~18	190~240	22~25	20~30	10~15	
	立焊(向下)	4~6	1.2	10~14	170~190	21~23	20~35	10~15	
9~10	平焊	4~6	1.6	14~16	200~240	24~26	20~35	10~15	

- 2) 无损检验 受压部件和重要钢结构, 应按技术条件的要求作所规定的无损检验。
- 3) 焊后清理 焊后, 焊工应将焊缝两侧金属飞溅去除, 打上自己的钢印。

2. 低合金高强度钢焊接工艺守则

(1) 总则

1) 本工艺守则适用于采用表 4-19 所列各种低合金高强度钢制锅炉受压部件、压力容器和重要钢结构的焊接。

表 4-19 工厂常用低合金高强度钢

2) 工厂常用的低合金高强度钢焊接方法包括: 焊条(手工)电弧焊、埋弧焊、电渣焊、熔化极气体保护焊和钨极氩弧焊。

3) 本守则与下列技术条件同时使用:

- a) 产品专用技术条件。
- b) 产品图样。
- c) 有关焊接技术条件和焊接工艺规程。

(2) 低合金高强度钢的基本特性

1) 工厂常用的低合金高强度钢钢号及碳当量值列于表 4-19。

2) 低合金高强度钢的焊接特性。这种低合金高强度钢由于具有一定的合金元素, 熔焊接头的热影响区淬硬倾向较高, 与此有关的冷裂倾向也较大, 合金含量越高, 强度越高, 冷裂倾向越大。低合金高强度钢

强度等级 σ_s /MPa	热处理状态	钢 号	碳当量典型 值 C_E /‰ ^①
295	热轧或正火	09MnNb	0.28
		Q295 (09MnV)	0.28
345	热轧或正火	Q345 (16Mn)	0.39
		14MnNb	0.31
390	热轧或正火	Q390 (15MnV)	0.40
		15MnTi	0.38
		Q390 (16MnNb)	0.41
440	正火	Q420 (15MnVN)	0.43
		13MnNiMoNb	0.46
490	正火+回火	18MnMoNb	0.55
		14MnMoV	0.50
490	调质	15MnMoVN	0.45
590	调质	14MnMoVN	0.56

① 百分数为质量分数。

焊接接头最危险的缺陷是冷裂纹。低合金高强度钢焊接时, 首先必须采取各种措施防止冷裂纹的形成。冷裂纹与钢材的碳当量, 即淬硬倾向、焊缝金属的氢含量、焊接接头的冷却速度以及焊接接头的拘束度有关。钢的碳当量计算公式为

$$CE=1w_C+1/6w_{Mn}+1/5w_{Cr}+1/5w_{Mo}+1/5w_V+1/15w_{Ni}+1/15w_{Cu}$$

焊缝金属的氢含量一般以扩散氢含量表示。可采用甘油法和水银法测定。焊缝金属的氢含量可分以下四个等级:

- I 级 超低氢级 (0~5mL/100g)
- I 级 低氢级 (5~10mL/100g)
- II 级 中氢级 (10~15mL/100g)
- IV 级 高氢级 (>15mL/100g)

焊接接头的冷却速度取决于焊件的厚度和起始温度、焊接热输入以及接头的形式。在其它条件相同的情况下, T 形接头的冷却速度最高, 搭接接头其次, 对接接头最低。

焊接接头的拘束度与焊件的壁厚、接头形式及焊缝的长度有关。壁厚越大, 焊缝长度越短, 接头的拘束度越高。T 形接头、十字接头、和箱形接头的拘束度较高。可自由收缩的对接接头拘束度最低。

3) 防止冷裂纹的措施

①建立低氢的焊接环境。焊条电弧焊应采用低氢碱性焊条。所焊母材强度越高, 对焊缝

金属低氢的要求越严格。焊条在使用前应严格按焊条制造厂推荐的温度烘干。埋弧焊时应采用中性和碱性焊剂,使用前应在 400℃ 以上温度烘干。在条件容许的情况下,尽量采用氩弧焊和 CO₂ 气体保护焊等低氢焊接方法。

②焊件按其壁厚和接头形式和钢的碳当量进行必要的预热,厚度超过 30mm 的焊件,焊接过程中应保持层间温度。对于焊前难以预热的焊件,可适当降低预热温度,焊后立即进行低温后热处理。对于壁厚超过 70mm,钢材屈服点超过 440MPa 的焊件焊后,应立即作消氢处理。

③焊前准备 低合金高强度钢焊件的焊前准备工作包括:切割下料、坡口制备、焊接区的清理、焊材的烘干以及预热等。

1) 低合金高强度钢的热切割 当钢材的屈服点超过 440MPa 或合金的总的质量分数(含量)大于 3%或板厚 50mm 以上时,热切割前应将切割区预热至 100℃ 以上。切割后采用磁粉探伤法对切割表面作裂纹检验。

2) 低合金高强度钢焊件的坡口制备 可以采用火焰切割、等离子弧切割和机械加工等方法制备坡口。如钢材的强度和板厚超过 3.1 条规定的极限,热切割制备坡口前应预热至 100℃ 以上,对切割坡口面应作磁粉检验。

3) 焊材的烘干 低合金高强度钢焊条和焊剂,应按表 4-20 的温度和时间进行烘干。

4) 焊件的预热 工厂常用的低合金高强度钢焊件,焊前应按表 4-21 所列的厚度界限和温度范围进行预热。

表 4-20 工厂常用低合金钢焊条和焊剂的烘干制度

焊条牌号	焊剂牌号	烘干温度/℃	烘干时间/h	保存温度/℃
J502, J502F18, J503		150~250	1~2	50~80
J506, J506FNE, J507, J507Fe, J556, J557, J606, J607, J607Ni, J707, J707Ni		350~400	1~2	120~150
	HJ350, HJ250	400~450	2~3	120~150
	SJ101, SJ301	300~350	2~3	120~150

表 4-21 工厂常用低合金高强度钢预热温度范围

钢 号	板厚/mm	预热温度范围/℃
Q345 (16Mn, 16MnNb)、14MnNb、Q420 (15MnV)、Q345 (16MnTiNb)、19Mn6, 15MnTi	≥30	100~150
Q420 (15MnVN), 13MnNiMoNb, 15MnMoVN	≥15	150~200
14MnMoV, 18MnMoNb, 14MnMoVN	≥10	150~200

(3) 焊接材料 工厂常用各种低合金高强度钢焊条、焊丝和焊剂按表 4-22 的规定选用。

(4) 焊接工艺参数 低合金高强度钢焊接工艺参数包括:能量参数、温度参数和操作技术三部分。能量参数即为焊接电流、电弧电压和焊接速度,亦可以热输入 Q (线能量 E) 来表征。温度参数包括预热温度、层间温度和后热温度。操作技术是指焊接位置、焊接顺序、焊接方向和焊道层次及排列等。

表 4-22 工厂常用低合金强度钢焊材选用表

钢 号	手工电弧焊		埋弧焊		电渣焊		气体保护焊	
	焊条型号	焊条牌号	焊丝牌号	焊剂牌号	焊丝牌号	焊剂牌号	焊丝牌号	保护气体
Q295 (09MnNb), 09MnV, Q345 (16Mn, 14MnNb), 19MnNb, SM50BN	E5015	J507	H08MnA	HJ431	H10Mn2	HJ360	MG49-1	CO ₂
	E5016	J506	H10Mn2	HJ350	H10MnMo	HJ431	MG50-4	Ar+CO ₂
	E5018	J507Fe	H08MnMo	SJ301	H08MnSi		MG50-6	
Q390(15MnV, 15MnTi), Q390(16MnNb), 20MnMo	E5515-G	J557	H08MnMo	HJ350	H10MnMo	HJ360	MG50-6	CO ₂
	E5516-G	J556	H08Mn2Mo	HJ301	H10Mn2Mo	HJ431	MG55-D2	Ar+CO ₂
13MnNiMoNb, 18MnMoNb, 20MnMoNb, Q420(15MnVN)	E6015-D1	J607	H08Mn2Mo	HJ350	H10Mn2NiMo	HJ360	MG55-D2	CO ₂
	E6016-D1	J606		HJ250	H10Mn2Mo	HJ431		Ar+CO ₂
				SJ301				
14MnMoV, 15MnMoVN (调质状态)	E7015-D2	J707	H08Mn2Mo	HJ250	H10Mn2NiMo	HJ360	MG59-G	CO ₂
			H08Mn2NiMo	SJ101	H10Mn2Mo	HJ431		Ar+CO ₂
14MnMoVN(调质状态)	E8015-D3	J807	H08Mn2NiMo	HJ250 SJ101	H10Mn2NiMoV	HJ360 HJ431	—	—

1) 能量参数的选择 低合金高强度钢焊接时,原则上应选择较高的能量参数,以降低焊接区的冷却速度。对于某些高强度钢,过高的热输入(线能量)可能降低接头的强度和冲击韧度。这些钢的焊接能量参数应严格按相应的焊接工艺规程的规定。

工厂常用低合金高强度钢焊条电弧焊、埋弧焊、电渣焊和气体保护焊的能量参数,可按表 3-23 选择。

表 4-23 工厂常用低合金高强度钢各种焊接方法的能量参数范围

焊接方法	焊条或焊丝 ϕ 直径/mm	焊接电流/A	电弧电压/V	焊接速度/(m/h)	备 注
焊条(手工)电弧焊	$\phi 4$	150~200	20~22	10~20	多层多道焊
	$\phi 5$	170~240	21~23	15~22	
埋弧焊	$\phi 4$	620~650	36~38	25~27	
	$\phi 5$	650~750	36~40	25~32	
电渣焊	$\phi 3$	450~600	36~38	1.0~1.5	单道焊
熔化极气体保护焊	$\phi 1.2$	180~250	20~24	20~25	多层多道焊
	$\phi 1.6$	220~340	23~32	25~30	

2) 温度参数的选择 低合金高强度钢焊件焊接时,除按表 4-21 规定的温度进行预热外,在焊接过程中还应保持层间温度不低于预热温度。焊后应作缓冷,避免压缩空气和过堂风直接流经焊缝表面。当焊件母材强度和壁厚超过 2.3.2 条规定时,焊后应立即将焊缝加热到 250~350℃ 作消氢处理。保温 2~3h,视壁厚而定。

对于焊前无法进行预热或预热后难以焊接操作的焊件,容许将预热温度降低到 80~100℃,焊接结束后立即将焊缝后热至 150~250℃,保温 1~2h。

3) 焊接操作技术 低合金高强度钢的焊接操作技术应采用多层多道焊,尽量利用次层焊

道的焊接热对前道焊缝的回火作用,以改善焊缝的组织 and 性能。焊接顺序、焊缝层次和焊道的排列都应按以上原则制定。

(5) 焊后检查

1) 目视检查 焊接结束后焊工应自行检查所焊焊缝表面,除标准不容许存在的表面气孔、夹渣和未熔合外,还应特别注意表面裂纹的产生,一旦发现裂纹应立即通报有关技术人员,分析裂纹产生的原因并制定退修方案。焊工不得自行处理。

2) 无损检验 目视检查合格后,按产品技术条件的规定作表面磁粉检验和射线,或超声波检验。壁厚大于 50mm、钢材屈服点大于 400MPa 的高强度钢焊件的无损检验,应在焊后 48h 以后进行。

3.7 产品焊接技术条件示例

鉴于产品焊接技术条件是编制焊接工艺规程的主要依据之一,下面以某厂锅炉受压元件焊接技术条件为例,详细介绍所应包含的具体内容。

1. 锅炉受压元件焊接技术条件

1) 本技术条件适用于固定式热水锅炉和额定蒸汽压力小于等于 14MPa,额定蒸汽温度小于等于 450℃ 的固定式蒸汽锅炉受压元件、阀门及减温减压装置的焊接。

2) 本技术条件根据国家劳动人事部 1987 年制定的《蒸汽锅炉安全监察规程》和 JB1613—93《锅炉受压元件焊接技术条件》,并结合本厂产品结构特点和生产条件编制而成。

3) 本技术条件作为本厂各种受压元件的相应制造技术条件、工艺规程和焊接工艺守则,以及焊接工艺规程的编制依据。

4) 本技术条件相应条款与上级有关标准抵触时,以上级标准为准。

2. 原材料

1) 所有用于制造锅炉焊接受压元件的原材料必须按有关的标准或技术条件检验、各项性能合格后才能投入生产。

2) 制造锅炉受压元件的新型原材料必须按有关标准进行全面的焊接性和焊接工艺试验。用于锅筒、集箱和受热面管件等主要受压元件的新型材料必须经过试生产并经有关单位联合鉴定确认各项性能,包括冷成形、热成形、焊接和热处理等各项性能全部符合要求,最后经总工程师批准,并经省级主管部门和省级锅炉压力容器安全监察机构审查同意后才能投入生产。

3) 焊接受压元件材料的代用除按规定的程序办理审批手续外,还应经工艺处会签同意后方可用于生产。

3. 焊接材料

1) 焊接受压元件用焊接材料,包括焊条、焊丝、焊剂、焊接用保护气体 (Ar 、 CO_2 、 H_2)、成形气体 (N_2 、 H_2) 和合金粉末均须按有关标准进行检验,合格后才允许用于生产。对于尚未列入国家标准和部颁标准的焊接材料,应按工艺处编制的焊接材料采购规范采购订货,并按相应的验收标准验收。

2) 本厂首次采用的新型焊接材料,在投产之前必须完成全面的工艺试验。当焊接材料的各项性能检验结果均符合设计要求,并经总师批准后才能正式用于生产。

3) 在焊接材料的常规检验中,如某一项性能或化学成分不合格,则应按其不合格试样数

的双倍试样作重复检验。如仍不合格,则该批焊接材料按不合格处理。

4) 本厂常用的焊接材料应按相应的焊接工艺规程选用。焊接材料的代用须经工艺处焊接室会签同意。

5) 锅炉受压元件用焊接材料,必须按工厂焊材管理制度进行存放、烘干、发放、回收及回用。

4. 焊工

1) 凡从事锅炉受压元件焊接的焊工,必须经专门的技术培训,并按国家劳动人事部颁发的“锅炉压力容器焊工考试规则”进行考试。焊工只有经规定项目的考试取得合格证书后,并在有效期内才允许承担该项目的焊接工作。

2) 准备担任新型材料焊接或采用新工艺焊接产品的焊工,应经专项培训并进行相应的补充考试。考试合格后才准许焊接该种新型材料,或采用该项新工艺焊接产品。

3) 所有从事受压元件焊接的焊工都必须有自己的钢印。施焊产品焊缝后,应按工厂有关标准的规定,在焊缝附近打上焊工钢印,以示对所焊焊缝的质量负责。

5. 焊接接头

1) 锅炉受压元件的焊缝坡口形式和焊缝尺寸,均须符合工厂焊缝标准及产品图样的规定。新型结构受压元件的焊缝坡口形式需经工艺处审查会签。

2) 锅筒、集箱和炉胆上的纵环缝不应交错成十字接头。相邻两筒节的纵缝以及封头、管板、炉胆,或下脚圈拼接缝与相邻筒节的纵缝应相互错开。两焊缝中心线之间的外圆弧长应大于较厚板厚度的3倍,且不小于100mm。

3) 接管管孔应避免开在焊缝上,还应尽量避免管孔焊缝与相邻焊缝热影响区的重叠。如因受压元件结构复杂或原材料尺寸不足等无法错开相邻焊缝或避开管孔时,必须对管孔周围60mm(若管孔直径大于60mm,则取孔径值)范围内的焊缝作射线探伤,且检查合格,管接头焊后经消除应力处理的情况下,则允许个别管孔开在焊缝及相邻区域内。

4) 在受压元件主焊缝及其邻近区域,应避免焊接附件。如因结构原因不能避免时,则附件焊缝应通过主焊缝,而不应在焊缝及其热影响区内终止,以减弱这些部位上的应力集中。

5) 对于额定蒸汽压力大于等于3.8MPa的锅炉和集箱的集中下降管管接头,必须采用全焊透的接头形式。

6) 对于额定蒸汽压力大于等于9.8MPa的锅炉锅筒、集箱和管道与接管以角焊缝连接时,除特殊结构外,必须在锅筒、集箱、管道和管孔上或接管上开坡口,以利焊透。

7) 对于额定蒸汽压力小于3.8MPa的锅炉锅筒下降管与集箱连接时,应在管端或集箱上开坡口,以利焊透。

6. 焊前准备

1) 受压元件的焊缝坡口可用机械加工或热切割法加工,坡口表面应光洁平整,不得有深度大于1.0mm的凹坑。

2) 为防止高强度厚钢板气割时产生裂纹,对屈服点大于等于440MPa或合金元素总的质量分数大于等于3%的高强度钢和铬钼钢,当板厚大于等于80mm时,热切割前应在板厚3倍的范围内作适当的预热,使表面温度不低于100℃。切割中断后需重新预热。如钢板以轧制状态供货,切割前应将钢板作整体退火处理。

3) 焊缝坡口两侧的油污、铁锈和其它影响焊缝质量的杂物焊前应清理干净。清理区的宽

度对于焊条(手工)电弧焊应不小于10mm,对于氩弧焊,等离子弧焊不小于15mm,对于熔化极气体保护焊,埋弧焊不小于20mm,对于电渣焊不小于40mm。

4) 受压元件对接接头边缘的偏差和削薄量,应符合下列规定:

① 锅筒、锅壳或炉胆等筒形受压元件纵缝和封头,或下脚圈拼接缝的边缘偏差 规定如下:

a. 等壁厚对接接头 所连接钢板的中心线应对齐,接缝两侧边缘的偏差 $\Delta\delta_1$ 和 $\Delta\delta_2$ 均不大于工件公称壁厚的10%,且不大于3mm,如图4-54a所示。

b. 不等壁厚对接接头 如焊件对接接头任一边缘的偏差 $\Delta\delta_1$ 或 $\Delta\delta_2$ 大于接头较薄公称壁厚 t 的10%且大于3mm,则应在两连接元件中心线对齐后,将过量的超差予以削薄,如图4-54b所示。削薄形成的斜面应平滑,削薄区的长度至少为削薄量的4倍,如图4-54c所示。

② 锅筒、锅壳或炉胆等筒形受压元件环缝对接边缘偏差 规定如下:

a. 等壁厚对接接头 所连接元件中心线对准(图4-55a)或将元件一边对齐后(图4-55b),其边缘偏差 $\Delta\delta_1$ 和 $\Delta\delta_2$ 均不应大于元件公称壁厚 t 的15%加1mm,且不大于5mm。

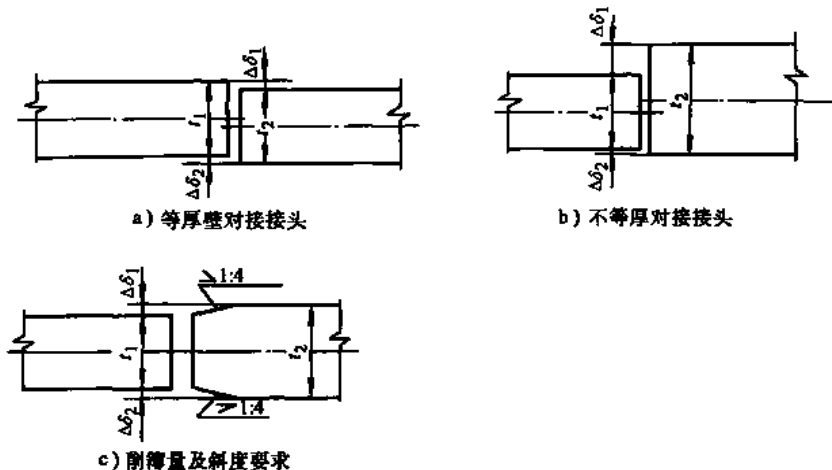


图 4-54 纵缝对接接头边缘的偏差

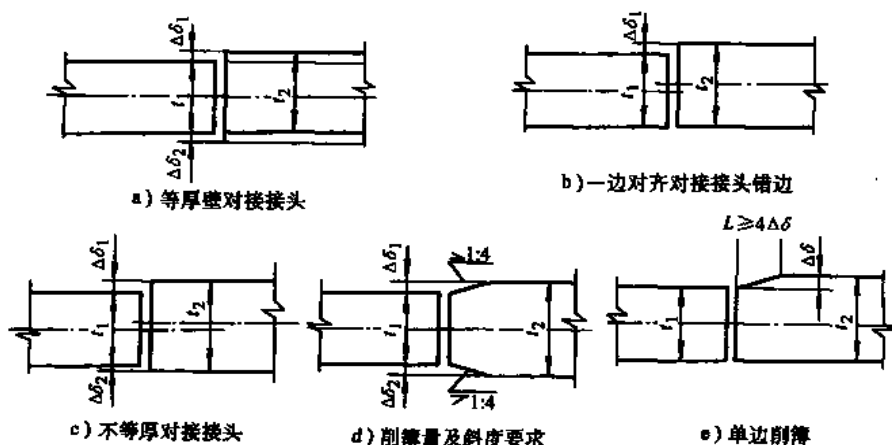


图 4-55 环缝对接接头边缘偏差

b. 不等壁厚对接接头 如接头任一边缘偏差 $\Delta\delta_1$ 和 $\Delta\delta_2$ 大于较薄公称壁厚 t 的 15% 加 1mm, 或大于 5mm 时 (图 4-55c), 应将过量的超差削薄, 使其与较薄壁厚的边缘平齐, 如图 4-55d 所示。也可将接头的一边对齐。将另一边削薄, 如图 4-55e 所示。削薄的斜面应平滑, 削薄区的长度至少为削薄量的 4 倍。

③集箱、管道、管子对接焊时, 当接头两侧公称外径及壁厚相等时, 对接处外圆边缘的偏差 应符合表 4-24 的规定。

表 4-24 管子对接处外圆边缘的偏差

受压元件类别	管道、受热面管和其它管件				集 箱
	热水锅炉和额定蒸汽压力小于 9.8MPa 的蒸汽锅炉		额定蒸汽压力不小于 9.8MPa 的蒸汽锅炉		
	$D>108\text{mm}$	$D\leq 108\text{mm}$	$D>108\text{mm}$	$D\leq 108\text{mm}$	
$\Delta\delta/\text{mm}$	$\Delta\delta\leq 0.1t+0.5\text{mm}$ 且不大于 2mm	$\Delta\delta\leq 0.1t+0.5\text{mm}$ 且不大于 1mm	$\Delta\delta\leq 0.1t+0.5\text{mm}$ 且不大于 4.0mm	$\Delta\delta\leq 0.1t+0.3\text{mm}$ 且不大于 1mm	$\Delta\delta\leq 0.1t+0.5\text{mm}$ 且不大于 4mm

④两公称外径相同而壁厚不等的管子对接焊 若壁厚差大于 1.0mm, 则应将较厚的管壁从内面削薄, 削薄区的长度至少应为削薄量的 4 倍, 如图 4-56 所示。

⑤76mm 以下公称外径相同的受热面管对接接头 当壁厚差大于 0.5mm 时必须进行内镗孔, 镗孔的深度应大于 15mm。

⑥集箱或管道对接接头内壁边缘偏差 $\Delta\delta$ 如大于管道或集箱公称壁厚 t 的 10% 加 0.5mm, 或超过 4mm, 则应将过量的超差削薄。削薄区的长度至少应为削薄量的 4 倍。

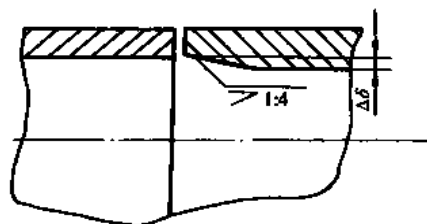


图 4-56 不等厚管件对接时壁厚的削薄形式

5) 焊前应将焊条、焊剂按规定制度烘干。焊丝上的油污及杂物应清除干净。

6) 受压元件的装配定位焊, 应采用焊接主焊缝相同的焊条来完成。准备作为主焊缝一部分的定位焊缝, 应由考试合格的焊工担任, 并按主焊缝的焊接工艺规程焊接。在装配屈服点大于 392MPa 的高强度钢、铬钢和铬钼钢受压元件时, 应避免在坡口内进行定位焊, 尽量采用机械夹具装配固定。焊接装配所需的拉筋板时, 容许采用强度等级较低的低氢焊条, 但必须按 6.7 条的规定预热, 拉筋板应用火焰切割拆除, 不容许用锤击, 拆除拉筋板后残留的焊疤应用砂轮修磨平整, 并作磁粉探伤检查。

7) 锅筒、集箱、管道和厚壁管等受压元件接头的焊条 (手工) 电弧焊、埋弧焊和气体保护焊, 必须按表 4-25 的规定预热。

受压元件的预热应注意以下几点:

a) 如因焊件结构复杂或工作条件的限制, 无法按规定的温度预热时, 允许适当降低预热温度, 但焊后立即作后热处理, 后热温度及保温时间按相应的焊接工艺规程。

b) 管道集箱环缝的手工氩弧封底焊道, 焊前的预热温度可降至 80°C。

c) 采用电弧气刨清除定位焊缝时, 其预热温度应比焊接预热温度高 50°C。

d) 壁厚小于 13mm, 直径小于 76mm 管件对接自动氩弧焊和熔化极气体保护焊, 除马氏体钢 (如 9Cr1Mo 等) 外, 焊前可不必预热。壁厚 8mm 以上的管件对接接头自动熔化极气体

保护焊时,应在起弧部位预热至 200~250°C,以利焊透。

e) 不同钢种相焊时,应按合金成分较高的钢种选定预热温度。

f) 采用局部预热时,预热宽度应为焊件壁厚的 6 倍,且不小于 100mm。

g) 当焊接环境温度低于下列规定时,壁厚小于表 4-25 规定界限的受压元件接头亦需预热:

碳钢焊件当环境温度低于 0°C 时应作预热,预热温度应大于 20°C。

合金钢焊件当环境温度低于 5°C 时,应作预热。预热温度应大于 50°C。

8) 焊前应检查焊接设备上的各种指示仪表和调节器,如发现任何一种仪表失灵,或读数误差超标,应立即报计量部门检修,只有在焊接设备所配仪表校检合格后,才能使用该设备。

9) 除非设计图样容许,通常焊件装配时不得强制对准,焊件装配和定位焊的质量应符合相应工艺文件的规定。

10) 直管对接采用自动氩弧焊和自动熔化极气体保护焊时,应将管端内表面膛孔,消除钢管的内径偏差,外表面打磨干净。

7. 焊接工艺

1) 锅炉受压元件的焊接工艺,包括焊接材料的牌号、规格、焊前预热、后热、消氢处理、焊接工艺参数、焊接顺序、操作技术和焊后热处理等,并按相应产品技术条件的要求通过焊接工艺评定试验。

2) 焊接工艺评定应按工厂焊接工艺评定标准及其它相关的标准进行,焊接工艺评定报告应经工厂总工程师审批。

3) 受压元件焊接接头的焊接工艺规程,只能在所评定的范围内使用。如产品焊缝焊接时实际选用的重要工艺参数或附加重要参数的变化超出了所评定的范围,则需重作焊接工艺评定。

4) 对于本厂首次采用的焊接新方法和新工艺,应完成全面的焊接工艺试验,并在此基础上准对产品的接头形式和壁厚进行焊接工艺评定。对于准备用于焊接自动生产线及大批量生产的焊接新工艺,必须经试生产验证,在确认工艺稳定,并达到工厂有关标准规定的合格率高后,经工厂总工程师批准才允许投入正式的连续生产。

5) 额定蒸汽压力大于等于 9.8MPa 蒸汽锅炉的集箱、管道和受热面管件的对接接头封底焊道应采用氩弧焊。锅筒和集箱上的管接头焊缝应尽量采用氩弧焊封底。

6) 在焊接坡口以外的壳体表面不允许引弧,焊缝表层的弧坑应修磨平整或补焊,并通过磁粉检验。

8. 焊后热处理

1) 锅炉受压元件焊接接头焊后应作热处理,以消除焊后残余应力,改善接头的组织和性

表 4-25 受压元件接头的预热

钢 号	壁厚/mm	预热温度/°C
Q235-A、Q235B、20、20g、St45.8、SB42、SA106B	≥90	100~120
Q345 (16Mn) 16Mng、15MnVg、12Mng、19Mn6、St52、SM53C	>32	100~150
14MnMoVg、18MnMoNbg、13MnNiMo54、13MnNiMoNb、12CrMo、15CrMo、13CrMo44、20MnMo	>15	150~200
12Cr1MoV、20CrMo、10CrMo910、13CrMoV42	>6	200~250
12Cr2MoWVTiB	>6	250~300
12Cr5MoWVTiB、9Cr1MoV、9Cr1Mo	任意厚度	250~300

能。焊后热处理的厚度界限和热处理制度按钢种而定，原则上按表 4-26 的规定。

2) 受压元件的焊后热处理，应尽量在热处理炉内作整体热处理，如焊件长度超出热处理设备的炉膛长度，而必须采取分段热处理时，则各加热段至少重叠 1.5m。受压元件环缝因设备条件所限而必须局部热处理时，焊缝两侧的加热宽度至少为钢板厚度的 8 倍，但不得小于 300mm。

表 4-26 各种钢受压元件焊后热处理温度范围及保温时间

钢 号	厚度界限 /mm	热处理温 度范围/°C	保温时间/min		
			$\delta \leq 50\text{mm}$	$\delta > 50 \sim 125\text{mm}$	$\delta \sim 125\text{mm}$
Q235, 10, 20, 20g, 20G	> 30	600~650	2.5min/mm 不得 少于 30min	1.5~2.5min/mm	
Q345 (16Mn), 16Mng, 12Mng	≥ 20	600~650			
19Mn6	≥ 20	550~600			
15MnVg, 14MnMoVg	≥ 20	600~650			
20MnMo	≥ 20	600~650			
13MnNiMoNb, 13MnNiMo54	≥ 20	580~650			
15CrMo, 12CrMo, 13CrMo44	> 10	650~700			
12Cr1MoV, 13CrMoV42	> 6	700~740		2.5~3min/mm	1.5~2.5min/mm
20CrMo	> 6	650~700			
$2\frac{1}{4}\text{Cr1Mo}$, 10CrMo910	> 6	700~740			
12Cr2MoWVTiB		760~780			
12Cr5MoWVTiB	任意厚度	750~770			
9Cr1MoV (T91)		750~770			

注：1. 需热处理的厚度是指所有接头中的最大厚度。

2. 焊有密集排管（管间距小于焊缝周长）的筒体、集箱及管道，当接头厚度 $\geq 20\text{mm}$ 时，必须进行消除应力处理。
3. 接头不等厚度的工件，需热处理的厚度应按如下规定：
 - a) 筒体与封头对焊时，按较薄件的厚度；
 - b) 筒体与法兰，管板或其它类似结构对接焊时，按筒体的厚度；
 - c) 筒体或封头与接管焊接接头，按筒体或封头的厚度。
4. 异种钢接头的焊后热处理温度原则上按合金成分较高的钢种选定，但不应超过接头两侧任一钢种的下临界点 A_{c1} 。
5. 马氏体钢及壁厚大于 200mm 高强度钢焊接接头焊后应立即进行热处理。当结构刚度较小时，其焊后热处理可在 24h 之内完成。
6. 在板厚超过热处理厚度界限的受压元件上的局部焊透角焊缝，当其有效焊缝厚度超过热处理厚度界限的 2/3，且焊缝长度大于 100mm，则应进行消除应力处理。

3) 最大冷变形度（工件外层纤维的最大伸长率）超过 5% 的碳钢、低合金钢冷成形件及终压温度低于 700°C 的热冲压件，不论其壁厚多少，焊后均应作消除应力处理。

4) 碳素铸钢焊件和低合金铸钢焊件，在任何厚度下均需作消除应力处理。

5) 受压元件上，承受载荷的非受压元件，应尽量在受压元件最终热处理之前进行焊接。必要时，也可在最终热处理后焊接，但应满足以下所有的条件：

①只限于表 4-26 所列碳钢和碳锰钢制受压元件。

②承载元件以角焊缝与受压元件连接。

③角焊缝计算厚度不大于 10mm。

④应采用预热焊, 焊接工艺规程应经工艺评定试验合格。

⑤应对角焊缝进行 100% 的磁粉或着色探伤。

6) 焊后热处理应在受压元件水压试验前和焊接工作或焊接返修工作全部结束后进行, 但表 4-26 注 5 所规定的除外。

7) 壳体材料标准规定的屈服点大于或等于 440MPa, 厚度大于 70mm 的受压元件焊条电弧焊和埋弧焊接头, 应在焊后或焊接中断后立即于 350~450°C 温度下, 保温 2~3h 作消氢处理。采用窄间隙埋弧焊工艺焊接的接头, 不必作消氢处理。当接头壁厚超过 150mm 时可作 200~250°C 后热处理, 保温 1~2h。如上列受压元件焊后立即作消除应力处理, 则可免除消氢或后热处理。

8) 任何厚度的电渣焊接头, 焊后均应按表 4-27 规定的温度范围作正火处理。

表 4-27 电渣焊接头的正火处理温度范围及保温时间

钢 号	正火处理温度范围/°C	保温时间/(min/mm)
20g, Q235, 10 [#] , 16Mn	900~960	1~2
19Mn6	910~930	
15MnVg, 14MnMoVg	940~980	
13MnNiMoNb, 13MnNiMo54	910~950	
12CrMo, 15CrMo, 13CrMo44	930~950	
2 $\frac{1}{4}$ Cr1Mo, 10CrMo910	950~970	

注: 1. 碳钢和碳锰钢电渣焊接头正火保温时间可按 1min/mm 计算。

2. 电渣焊后的正火处理与筒节热校圆合一加热, 只适用于碳钢和碳锰钢, 其保温时间应不少于正火处理要求的保温时间。

9) 焊件焊后热处理过程中, 应如实详细记录热处理各工艺参数, 包括装炉温度、升温速度、均热时间、热处理温度、保温时间、降温速度和出炉温度等。

9. 焊接接头的质量检查

1) 产品焊接接头的检查试件(试板) 锅筒、锅壳、集箱、管道、受热面管和其它管件的焊接接头, 应按下列规定制备检查试件。

①额定蒸汽压力小于 0.1MPa 的蒸汽锅炉和热水额定出口温度小于 120°C, 且额定热功率不大于 1.4MW 的热水锅炉, 可免作检查试件。

②热水额定出口温度小于 120°C, 额定功率大于 1.4MW 的热水锅炉, 在每月单台生产时, 每个锅筒或锅壳的纵环缝应各作一块试板。在批量生产同材料和同焊接工艺的锅筒或锅壳时, 每 10 个锅筒或锅壳应作纵环缝试板各一块。

③除 9.1①和 9.1②所规定的以外, 其它所有锅筒或锅壳的纵环缝各做一块试板。如环缝所焊壳体材料和所采用的焊接工艺规程与纵缝相同时, 可只做纵缝试板而免做环缝试板。

④下列参数的锅炉在批量生产时, 如符合以下规定, 则可减少锅筒或锅壳纵环缝产品检查试板的数量。

a. 额定蒸汽压力不大于 1.27MPa 的蒸汽锅炉和热水额定出口温度不小于 120℃ 的热水锅炉, 当采用相同的焊接工艺规程生产同材料的锅筒和锅壳连续累计台数在 50 台以上, 且这批锅筒和锅壳的产品检查试板力学性能试验结果均合格, 则经工厂总工程师批准, 省级锅炉压力容器监察机构备案, 允许每 10 台 (不足 10 台按 10 台计) 锅筒, 或锅壳的纵环缝各做一副试板。

b. 批量生产的额定蒸发量小于 1t/h 的蒸汽锅炉, 在结构、材料、焊接工艺规程相同, 且质量稳定的情况下, 每焊接 10 个锅筒 (或锅壳) 至少应做纵环缝试板各一副。

c. 当锅筒 (锅壳) 材料或焊接重要工艺参数变动, 以及产品检查试板的力学性能试验结果不合格时, 上述 a 和 b 条条款中关于试板数量, 可减少的规定自行失效, 仍应按每个锅筒 (或锅壳) 纵环缝各焊一副试板。

⑤集箱、管道环缝 (除 9.1.1 条规定外), 按钢种、焊接方法以产品焊缝数量的 1% 分别焊接试件。如环缝不足 100 条, 则应焊制一副试件。异种钢焊接接头亦应按 1% 焊制试件。

⑥受热面管件的对接接头, 按焊接部件的种类、焊接方法、焊工和钢种分别以产品接头的 0.5%, 但不少于整套试样所需的接头数直接从产品上切取。异种钢接头试件亦按产品接头数的 0.5% 切取。如产品结构复杂, 不宜从产品部件上直接取样时, 可焊制模拟试件。对于在生产线上采用机械化焊接方法, 如等离子弧焊、熔化极气体保护焊、自动钨极氩弧焊焊接产品部件的情况, 亦允许焊制模拟试件。焊条电弧焊或手工氩弧焊焊接的插入式管接头, 如每个部件中这种接头的数量不超过 30 个, 也可作模拟试件。

摩擦焊接头应直接从产品部件接头上取样。抽样率: 力学性能试样为 1/200, 断口试样为 2%。

⑦额定蒸汽压力不小于 3.8MPa 的锅炉受热面管件焊接接头应作断口检查, 每 200 个产品接头抽查 1 个, 不足 200 个接头亦应抽查 1 个。如对产品焊接接头的质量有怀疑, 检查处有权按断口检查结果增加抽样百分率。

⑧工作压力大于或等于 3.8MPa 的锅筒和集箱上管接头角焊缝, 应焊制模拟试件作宏观金相检验, 管接头按壁厚大于 6mm 和小于等于 6mm 分为两种。对每种管接头, 每焊 200 管接头焊制一个模拟试件, 不足 200 个亦应焊一个试件。

如每条管对接接头焊缝经 100% 射线或超声波探伤合格, 检查处可适当减少试件数量或免做宏观检查。

⑨锅炉膜式壁部件鳍片管纵向拼接缝, 应按焊接方法和焊接工艺在管屏开孔处取接头试样, 或焊制一个模拟试件作宏观金相检查, 确定焊缝尺寸及熔深。

⑩试件的焊接应由焊接该产品的焊工, 采用相同于产品的母材、焊接方法、焊接材料、焊接工艺参数与焊接设备来完成。焊后应打上焊工钢印。产品试件应经与产品接头相同的目视检查 and 无损检验并在合格部位截取试样。试件焊缝需返修时, 其焊接工艺参数应与产品焊缝返修焊接工艺相同。

检查人员应监督产品检查试件的制备与焊接过程, 并作好原始数据和工艺参数的记录。

⑪钢板拼接和筒节纵缝试板应作为产品焊缝的延长部分焊接。纵缝电渣焊试板及环缝试板可单独焊, 但焊接工艺参数应与产品焊缝相同。

⑫对试件的热处理要求, 所采用的热处理设备及热处理工艺参数, 应与产品接头的热处理工艺相同, 对需经热处理才能达到规定力学性能的材料, 应有随炉试件。

2) 锅炉受压元件的焊接接头按产品的技术要求, 可分别作如下几种检查:

- ①目视检查。
- ②无损检验。
- ③力学性能检查。
- ④金相和断口检查。
- ⑤水压试验。
- ①目视检查。

a. 锅炉受压元件焊缝外形尺寸,应符合有关工厂标准及产品图样的要求。接管角焊缝尺寸应按管接头标准的规定。需作超声波检验的焊缝以及热影响区必须按有关规定打磨,焊缝与母材交接处应圆滑过渡,各种接头的焊缝表面不得有下列缺陷:

(i) 焊缝及热影响区的表面裂纹。

(ii) 焊缝表面的气孔、夹渣、未熔合和弧坑。

(iii) 锅筒、集箱的纵环缝和封头的拼接焊缝,不得有咬边,其它焊缝的咬边深度不应超过 0.5mm。受热面管对接或其它管件环缝的咬边深度不应大于 0.5mm,两侧咬边总长度不得超过管子总长的 20%,且不大于 40mm。

(iv) 单面焊双面成形焊缝的内凹深度不得超过壁厚的 10%,且不大于 1mm。

b. 受热面管件的对接接头焊后,应作通球检查,通球直径应符合产品部件制造技术条件的要求。

c. 阀门密封面堆焊层,或其它受压元件的不锈钢堆焊层,在按规定加工后,用 10 倍的放大镜目视检查表面或作着色检验。不得有任何裂纹、气孔和夹渣等缺陷。

d. 承载非受压元件与受压元件连接的焊缝表面,应作磁粉或着色检验抽查,并应符合下列规定:

(i) 焊缝外形尺寸应符合设计图样和工艺文件的要求,焊缝与母材交接处应圆滑过渡。

(ii) 焊缝及热影响区表面不得有裂纹、未熔合、夹渣和气孔。

(iii) 咬边深度不得大于 0.5mm。

②力学性能检查。

锅炉受压元件的焊接接头,应从所代表的试件中取样,并按下列规定作拉伸,弯曲和冲击等力学性能检查。

a. 锅筒、集箱、减温减压装置、管道和受热面管件的对接接头,应作接头拉伸、弯曲和冲击等力学性能检查。

b. 锅筒壁厚大于 10mm,小于等于 70mm 时,纵缝试件中应取全焊缝金属拉伸试样 1 个。当板厚大于 70mm 时,应在接头厚度方向取 2 个全焊缝金属拉伸试样。

c. 额定蒸汽压力大于或等于 3.8MPa,或壁温大于等于 450°C 的锅筒、集箱和管道,壁厚大于或等于 16mm 的单面焊接头,壁厚大于或等于 12mm 双面焊接头应做常温 V 形缺口冲击试验。如母材标准未给出常温 V 形缺口冲击韧度下限值,则上述受压元件焊接接头的冲击韧度按表 4-28 的规定。

表 4-28 锅筒、集箱、管道焊接接头冲击韧度的要求

钢材强度等级 σ_s/MPa	冲击吸收功/J		备 注
	试样尺寸/mm		
	10×10×55	5×10×55	
≤450	18	9	小尺寸冲击试样 用于小直径厚壁管 对接接头的检查
>450~575	20	10	
>515~655	27	14	

d. 焊缝或焊接接头力学性能试样尺寸, 以及试验方法应按焊接接头的力学性能试验方法及工厂的有关标准的规定。

③金相和断口检查。

a. 下列焊件应作金相检验

(i) 工作压力大于和等于 3.8MPa 的锅筒, 工作压力大于或等于 9.8MPa, 或壁温大于等于 450°C 的集箱, 受热面管件和管道的对接接头应作宏观金相检验。

(ii) 工作压力大于或等于 3.8MPa 的锅筒、集箱上的管接头角焊缝, 应作宏观金相检验。

(iii) 上列受压元件如采用淬硬倾向较大, 对冷裂敏感的钢材, 当其碳当量的质量分数超过 0.45% 时, 应做微观金相检验。碳当量可按下列公式计算:

$$C_E = 1w_C + \frac{1}{6}w_{Mn} + \frac{1}{5}w_{Cr} + \frac{1}{5}w_{Mo} + \frac{1}{5}w_V + \frac{1}{15}w_{Ni} + \frac{1}{15}w_{Cu}$$

这些常用的钢种如: 13MnNiMoNb、14MnMoVg、2¹/₄Cr1Mo、13CrMoV42、12Cr1MoV、12Cr2MoWVTiB、12Cr5MoWVTiB、9Cr1MoV 等。

上列受压元件中采用热裂倾向较高的钢种, 如 1Cr18Ni9Ti、1Cr18Ni9Nb、1Cr25Ni13、1Cr25Ni20 等钢及其与其它钢材相焊的异种钢接头, 也应做微观金相检验。

b. 焊接接头金相和断口检验取样方法及合格标准按《焊接接头金相检验标准》的规定。

④无损检验 按锅炉及受压元件焊缝的类别, 无损检验的方法及检查率规定如下:

a. 锅筒或锅壳的纵环缝、封头, 或管板拼缝和集箱纵缝的无损检验方法和检查率列于表 4-29。

表 4-29 锅筒纵环缝封头拼缝和集箱纵缝无损检验方法及检查率

锅 炉 类 别		无损检验方法和检查率
热水锅炉	额定热水出口温度不小于 120°C	100% 射线检验
	额定热水出口温度小于 120°C	至少 25% 射线检验, 焊缝交叉部位必须检验
蒸汽锅炉	额定蒸汽压力不小于 3.8MPa	100% 超声波检验 + 100% 射线检验
	额定蒸汽压力小于 3.8MPa, 但大于或等于 0.1MPa	100% 射线检验
	额定蒸汽压力小于 0.1MPa	至少 25% 射线检验, 焊缝交叉部位必须检验

b. 炉胆的纵环缝、炉胆顶, 或下脚圈的拼接焊缝无损检验方法和检查率规定于表 4-30。

c. 集箱、管道、受热面管件和其它受压管件环缝的无损检验方法和检查率, 对于热水锅炉列于表 4-31, 对于蒸汽锅炉列于表 4-32。

d. 锅筒和集箱下降管和管接头焊缝的无损检验方法和检查率规定于表 4-33。

表 4-30 炉胆纵环缝、炉胆顶、下脚圈、拼接缝无损检验方法和检查率

锅 炉 类 别		无损检验方法和检查率
热水锅炉	所有额定热水出口温度	至少 25% 射线检验, 焊缝交叉部位必须检验
蒸汽锅炉	额定蒸汽压力不小于 0.1MPa	至少 25% 射线检验, 焊缝交叉部位必须检验
	额定蒸汽压力小于 0.1MPa	至少 10% 射线检验, 焊缝交叉部位必须检验

表 4-31 热水锅炉集箱、管道、受压管件环缝的无损检验方法及检查率

工作参数	受压元件类别	无损检验方法及检查率
额定热水出口温度 不小于 120℃	公称外径大于 159mm 的集箱、管道和管件	100% 射线检验
	公称外径小于等于 159mm 的集箱	至少 25% 射线检验, 也可按不少于环缝总数的 25% 抽查
	公称外径小于等于 159mm 的管道和受压管件	射线检验抽查率不少于环缝总数的 2%
额定热水出口温度 小于 120℃	公称外径大于 159mm 的集箱、管道和管件	至少 25% 射线检验, 也可按不少于环缝总数的 25% 抽检
	公称外径小于等于 159mm 的集箱	至少 10% 射线检验, 也可按不少于环缝总数的 10% 抽检
	公称外径小于等于 159mm 的管道和管件	可免检

表 4-32 蒸汽锅炉集箱、管道受热面管件环缝无损检验方法及检查率

工作参数	受压元件类别	无损检验方法和检查率
所有额定蒸汽压力	公称外径大于 159mm, 或公称壁厚大于等于 20mm 的集箱、管道和管件	100% 射线检验或超声波检验
	公称外径小于等于 159mm 的集箱	至少 25% 射线检验或超声波检验, 也可按不少于环缝总数的 25% 抽检
额定蒸汽压力不小于 9.8MPa	公称外径小于等于 159mm 的管道管件 (不包括摩擦焊接头)	100% 射线检验或 100% 超声波检验加 10% 射线检验
额定蒸汽压力不小于 0.1MPa, 但小于 9.8MPa	公称外径小于等于 159mm 的管道和管件	射线检验或超声波检验, 检查率 2~5%

注: 1. 膜式壁光管接长对接缝, 当锅炉额定蒸汽压力不小于 9.8MPa 时, 作 100% 射线检验或 100% 超声波检验加 10% 射线检验。

2. 摩擦焊接头作 100% 超声波检验。

表 4-33 锅筒集箱下降管和管接头焊缝无损检验方法及检查率

工作参数	受压元件类别	无损检验方法和检查率
额定蒸汽压力不小于 3.8MPa 的 蒸汽锅炉	集中下降管	100% 射线检验或超声波检验
	管接头焊缝及封底焊道	不少于焊缝总数的 10%

e. 如锅筒和集箱采用对再热裂纹较敏感的钢材 ($12\text{Cr}1\text{MoV}$, $2\frac{1}{4}\text{Cr}1\text{Mo}$, $12\text{Cr}2\text{MoWVTiB}$) 制成且壁厚大于 70mm 时, 在焊件作消除应力处理后, 应对公称外径大于

等于 300mm 的接管焊缝及热影响区作超声波检验和磁粉检验,屏式过热器集箱与 12Cr2MoWVTiB 钢管接头角焊缝,在消除应力处理后,对焊缝和热影响区做磁粉检验。

f. 壁厚超过 70mm 的锅筒和集箱,如采用屈服点大于等于 392MPa 的高强度钢,或铬钼低合金钢制成,壳体主焊缝和接管角焊缝在热处理之前,应作表面磁粉检验或着色检验。

g. 集箱接管气焊透角焊缝氩弧焊封底焊道,可按焊接工艺规程的要求做着色检验。

h. 屈服点大于等于 392MPa 的高强度钢制厚壁锅筒,在耐压试验后,对主焊缝和下降管焊缝表面作 25% 的磁粉检验抽检。

i. 焊缝射线检验方法按 30、88、230《钢熔化焊对接接头射线照相和质量分级》的规定。射线照相的质量要求不低于 AB 级。额定蒸汽压力大于或等于 0.1MPa 锅炉受压部件对接焊缝质量不低于Ⅰ级。额定蒸汽压力小于 0.1MPa 的锅炉各部件对接焊缝的质量不低于Ⅱ级。

j. 对接焊缝的超声波检验方法按《锅炉与钢制压力容器对接焊缝超声波检验技术条件》的规定。管子对接焊缝超声波检验方法按工厂《管子对接焊缝超声波检验技术条件》的规定执行。额定蒸汽压力等于或大于 0.1MPa 的锅炉,对接焊缝的质量应达到Ⅰ级。大口径下降管角焊缝的超声波检验按工厂《锅炉大口径管座角焊缝超声波检验技术条件》的规定。

k. 焊缝同时采用超声波检验和射线检验进行质量检查时,应按各自的标准均判为合格。否则,该焊缝的质量仍为不合格。

3) 受压元件的水压试验

①受压元件的水压试验,应在无损检验,焊后热处理和产品焊接试板检查合格后进行。

②水压试验按工厂《水压试验技术条件》的规定进行。

10. 焊缝缺陷的返修和补焊

1) 凡目视检查、无损检验和水压试验发现的表面和内部超标的缺陷,均应及时返修。焊缝缺陷可用风铲、钻孔、火焰切割及电弧气刨等方法清除,对于按规定需焊前预热的焊件,电弧气刨前应预热,预热温度应比焊前预热温度高 50℃。

2) 补焊应由考试合格的焊工担任。并按照《焊接缺陷的修整与焊补》工艺守则或专用补焊工艺规程的规定进行。

3) 焊缝返修后,应按本技术条件的要求作目视,无损检验和耐压试验。如仍不合格,允许作第二次返修。如同一部位焊缝返修次数超过二次,则应分析原因,提出返修方案并由工艺处会签,最后经总工程师批准。锅筒、集箱和管道焊接接头同一部位的返修次数,最多不应超过 3 次。

4) 要求焊后作热处理的受压元件,应在热处理之前完成所有的返修补焊工作。如在热处理后发现焊缝缺陷,并必须返修且返修焊缝长度和返修深度均超过《焊接缺陷的修整与焊补》工艺守则规定时,则返修后的焊件须重新进行焊后热处理。

5) 对于返修后无法再做热处理的部件,必须制定专用的返修补焊工艺规程,并经工艺评定试验确认补焊接头的各项性能符合规定要求,最后经总工程师批准后,方可进行返修。

11. 焊接接头质量检查结果和焊后热处理方法,工艺参数及焊缝修补部位和次数等均应如实记入产品焊接质量证明书中。焊缝质量检验报告及无损检验记录(包括射线照相底片)至少妥善保存 5 年,或移交用户长期存档。

4 焊接工艺评定工作的完善化

4.1 修订完善现行焊接工艺评定标准

在我国,锅炉与压力容器生产企业通过引进国外大型机组的先进制造技术,于80年代初,最先开展了焊接工艺评定工作。国家劳动部于1982年和1987年相继颁发了《压力容器安全监察规程》和《蒸汽锅炉安全技术监察规程》,并将焊接工艺评定要求及规则作为强制性条款纳入这两个规程,使焊接工艺评定工作成为每家锅炉与压力容器制造厂、安装和检修单位必须履行的一项焊接质量保证与控制的程序。但由于我国锅炉与压力容器焊接工艺评定标准延迟于1990和1992年才颁布实施,而且标准的内容不尽完善,致使各单位在执行焊接工艺评定的有关规定中存在着不少问题。因此必须进一步完善焊接工艺评定工作。

首先应当统一、修正、充实我国现行焊接工艺评定标准,锅炉与压力容器因产品结构和运行条件的特殊性可单独制定焊接工艺评定标准,其它焊接结构可包容在钢结构焊接工艺评定标准之中。标准的制定工作和程序可借鉴美国ASME法规的做法。由于焊接工艺评定标准的影响面相当广,直接关系到每家焊接结构生产企业的产品质量和经济效益,该种标准既应成为控制产品焊接质量的有效手段,也应充分考虑评定工作的经济性。因此,标准应具有先进性、合理性、科学性和实用性,并应以大量的科学试验数据和多年生产经验为基础,广泛吸收生产、安装、检修和监督单位的意见。在这方面,美国ASME锅炉与压力容器法规的制定不失为一种典范。

4.2 借鉴美国ASME法规

美国ASME法规是由美国机械工程师协会锅炉压力容器委员会制定的。该委员会成立于1911年。迄今该委员会下设110个分委员会,小组和工作组。成员约1400名。ASME法规首次出版于1914年,1940年以后每隔3年修订再版一次,1995年新版是该法规的第22版。制订、解释、修订、补充该法规是锅炉压力容器委员会的主要职责。从中不难看出,该法规的内容集中反映了美国(加拿大)近1400名专家的意见,这些专家大部分来自设计制造、安装、检修单位,锅炉与压力容器使用单位和各种检验机构。他们至少积累了10年以上的设计、制造检验和运行方面的实践经验。因此可以说法规的条款客观地反映了被多年生产实践证明是合理的、正确的、同时又是必须遵循的安全规则和技术要求。

ASME法规的另一个重要特点是,极其重视该领域有关设计、材料、制造工艺、检验技术和质量控制等方面的技术进步和最新科研成果,及时地对法规的条款进行修改和补充。该法规不仅每隔三年再版一次,而且在三年期间内,还通过发表补遗、案例和解释报告,通报法规条款的修改和补充的内容。

ASME锅炉与压力容器委员会,也十分注意征集法规使用单位在执行法规过程中所出现的问题、意见和建议,并把它作为一项经常性的工作。

美国ASME对法规条款的修改程序是相当慎重和严肃的。首先法规的使用单位或受托单位都可以向锅炉与压力容器委员会提出条款内容的修改,新规则的制定、案例或条款解释的申请,并以书面形式寄往该委员会秘书处,同时应附寄有关的详细资料,作为准备采纳所提

意见,开展下一步工作的依据。对于秘书处认为合理的建议,则由秘书处将所形成的文件送交委员会总部,经讨论后提出相应修正案,各委员多数投票同意后送交 ASME 总部批准。与此同时,修正案文本需送交美国国家标准学会备案。

为征求所有对该修改条款感兴趣人员的意见,ASME 将修改案全文及时发表于美国机械工程 (Mechanical Engineering) 杂志上。在公开评论的规定时间内,如无反对的意见,并最终得到 ASME 总部批准之后,修正条款将发表于当年的法规补遗中。该修改条款自发布之日起立即生效,可直接用于 ASME 法规产品的设计,制造和检验之中。

美国 ASME 组织还十分重视保持法规的公正性,也是我们值得借鉴的成功经验。在美国和加拿大,ASME 锅炉与压力容器委员会只负责法规的制定、修改和解释,也就是说,只是一个立法机构,它对法规的使用单位不直接行使制约权,即无权向各锅炉与压力容器设计和制造单位下令,必须按 ASME 法规的条款设计、制造和检验所属的产品。

执行 ASME 法规的命令是由美国州府、市府、加拿大的省府、联邦政府或者由设备安装地区具有管辖权限的其它执法或管理机构发布。在法令中可强制规定,在其管辖区内全部或部分地执行 ASME 法规。对于某些未列入法规范围的容器或受压部件,也可规定按 ASME 法规制造和检验。

对锅炉与压力容器制造厂的认证和产品质量的监督与管理则由美国锅炉与压力容器检验师国家管理局负责。该管理局的人员由美国和加拿大各州(省)、市的总检验师组成。而授权检验师的资格证书由美国或加拿大的各级政府机构颁发。

由此可见,在锅炉与压力容器领域内、法规的立法、执法和检法由三个彼此独立的机构来完成、三者相互制约,避免了立法、执法和检法由一个机构完成的弊病。为协调这三个机构的工作,ASME 锅炉与压力容器委员与政府机构及监督机构共同组成了一个协商委员会,以公正而客观地及时处理执法和检法过程中碰到的种种问题,以求进一步规范法规的贯彻执行,完善法规条款的内容。

我国焊接工艺评定标准及其相关标准的制定工作,应在充分吸取国外先进经验的基础上,进行必要的改革,使标准的内容更切合实际,更符合锅炉与压力容器等重要焊接结构质量控制的要求。

4.3 正确理解和贯彻工艺评定标准

对于焊接结构生产企业来说,应致力于全面正确地理解标准内容的实质,不折不扣地认真贯彻执行,既要使焊接工艺评定成为控制产品焊接质量的有效手段,不流于形式,又要吃透标准条款,灵活掌握,即在标准容许的范围内经济合理地完成焊接工艺评定工作,特别是要避免重复不必要的工艺评定项目。严格工艺评定立项的审核和批准程序。当准备采用焊接新工艺或修改原工艺的重要参数时,应作仔细的经济分析,防止不考虑企业的经济效益,盲目采用新工艺或新材料。如产品设计结构决定必须采用新材料和新工艺时,则应首先完成相应的材料焊接性试验和工艺试验,并在此基础上拟定焊接工艺设计书,并完成焊接工艺评定试验。在焊接低合金钢、高合金钢和特种材料的焊接结构时,应慎重利用标准所容许的壁厚适用范围,在某些情况下,应适当缩小母材壁厚的适用范围,以确保焊接工艺规程的可靠性和接头的各项性能。

5 焊接工艺评定的计算机管理^①

5.1 焊接工艺评定计算机管理的必要性

正如第3章所述,对于重要的焊接结构,如锅炉、压力容器、管道、船舶、桥梁和承载金属结构,都必须按相应的制造法规的有关规定作焊接工艺评定,而且必须以接头为单位按焊接方法、钢种类别、接头厚度、焊材种类、重要焊接参数,以及焊后热处理制度等逐项进行评定。因此,对于大中型焊接生产企业,每年都需作上百项焊接工艺评定,几年以后,工艺评定项目总数可能会超过千项。按照焊接工艺评定程序,在新的焊接工艺评定立项前,为避免重复评定,通常应仔细核对拟评定的焊接工艺规程,是否在已有焊接工艺评定报告所评定的范围之内,这种核对工作是十分费时的,另一方面焊接工程师还必须熟记有关法规所规定的焊接工艺评定规则,以正确无误地对工艺评定项目的必要性作出判断,这项工作不但技术性强,而且必须全面理解法规有关条款,尤其是对于新从事焊接工艺评定的工程师,要求短时期内完全掌握正确判断确实不是件容易的事。因此,利用计算机数据库管理系统辅助工程师完成核对和判断工作显得十分必要。它不仅可提高核对工作的效率,缩短工艺编制的时间,而且可以确保工艺评定立项的正确性,既可防止重复评定,又可避免漏项。

5.2 焊接工艺评定计算机管理系统功能

为使焊接工艺评定计算机管理系统,能够全面辅助工程师完成焊接工艺评定立项工作中的核对和判断任务,应当基本具备以下功能。

1. 数据库管理功能

应全面记录存储本企业已完成的焊接工艺评定报告的全部内容,以及已在生产中使用的焊接工艺规程。为查询简捷起见,可按焊接工艺评定报告和焊接工艺规程,分别建立二个既相对独立又相互联系的数据库。

2. 数据查询功能

可按目录清单快捷查询数据库记录的所有焊接工艺评定报告,以及焊接工艺规程的全部内容,亦可按母材类别和厚度范围,焊接方法、接头形式、焊材种类及牌号、焊接重要参数等查询评定报告和工艺规程,并以表格形式显示在屏幕上。

3. 比较判断功能

按本企业生产的焊接结构类型,建立有关制造法规中焊接工艺评定规则的知识库,通过数据库和推理机,将所设计的焊接工艺规程的重要参数进行比较和判断。并显示判断的结论——需作评定或无需评定。

4. 焊接工艺规程辅助设计功能

对于美国 AWS D1.1 钢结构焊接法规,所包容的焊接金属结构,可按其第3章“免作工艺评定的焊接工艺规程”规定的规则,以及典型焊接工艺规程建立知识库,通过工艺规程辅助编制系统,输入接头形式、母材钢号、焊接方法和焊接材料牌号,计算机即可编制出符合法规要求的焊接工艺规程。

^① 本节由哈尔滨工业大学焊接教研室魏艳红副教授和陈裕川高级工程师编写。

对于超出免作工艺评定规定范围的金属结构、锅炉和压力容器及管道等重要焊接结构,焊接工艺规程的辅助设计,则需要较复杂的专家系统、可根据母材钢号、壁厚、接头形式、焊接方法等已知条件,帮助工程师完成坡口形状的优化设计、预热温度和能量参数的计算,焊接材料和重要工艺参数的选择,以及焊接接头的性能预测。

5.3 焊接工艺评定计算机管理的局限性

目前,焊接工艺评定的计算机管理工作尚处初级阶段,焊接工艺规程辅助设计专家系统亦刚刚起步,企图通过计算机接头性能预测系统、推理系统编制出无需再作焊接工艺评定试验的焊接工艺规程,并为各种焊接结构制造法规所认可还需作长期的探索研究工作。迄今为止及可预期的较长时期的发展阶段内、各制造法规仍将明确规定焊接工艺评定试验的不可替代性。无论所设计的焊接工艺规程,还是计算机辅助设计的焊接工艺规程,都必须按照相应法规的要求,通过焊接工艺评定试验,而且这种试验还必须由本企业的有关人员利用本企业的焊接设备和工艺装备来完成,并履行一切必要的审批程序。这一方面是因为至今所积累的各种材料,各种焊接方法的焊接接头性能数据远远不足,而接头性能预测的数学模型还达不到普遍公认的准确水平;另一方面是由于现行各制造法规基于上述原因尚未认可计算机技术在工艺评定中的应用,换句话说,直接由计算机编制的,不通过评定试验的焊接工艺规程或者通过计算机计算和推理制定的焊接工艺评定报告,在法律上都是无效的,因此,不能用于直接指导焊工焊制产品焊缝。

由此可见,就目前所达到的水平而言,焊接工艺评定的计算机管理只能局限于上节所述的应用范围。然而可以相信,通过不懈的努力和探索,必将会不断扩充计算机管理系统的功能,进一步完善焊接工艺规程辅助编制专家系统,朝着简化焊接工艺评定规则,逐步被法规认可的方向迈出重要的一步。

5.4 数据库系统

1. 数据库的结构设计

数据库的结构设计包括确定数据库字段,定义字段类型及其长度。

数据库字段应包括:用户明确提出的项,报表所列项,计算程序使用的项,各种报表和操作系统项及有助于记录选择的项。

建立数据库时,应考虑有利于数据共享,例如焊接工艺规程数据库应与焊接工艺评定报告数据库互联,以便随意调用有关数据。因此,对于两个系统内容相同或相近的字段,以统一的方式确定,增大数据库的完备性,适应数据共享的需要。

字段的类型及长度一般取决于拟存放的数据类型及内容。WPSDBS 中的数据库字段,除了坡口图形采取通用型(Gen)、板厚采取数值型外,其余字段为字符型。其长度根据焊接工艺规程中所填写参数的长度确定。一般可取可能出现的参数的最大长度。对于个别字段,可加一定的余度,以备特殊需要。对于可能与工艺评定系统共享的数据,参照评定系统的参数长度确定。

2. 主菜单设计

WPSDBS 采用下拉式菜单,集中了系统的主要功能,其中包括:

- (1) 基本功能 数据库维护、记录查询和打印是数据库系统的必备功能。
- (2) 扩展功能 当新的记录与原有记录相类似时,提供对该项记录的拷贝功能可提高输入效率,为能充分利用其他数据库的资源,提供从相邻数据库中拷贝记录的功能。

(3) 特殊功能 坡口图形插入和修改功能。

(4) 辅助功能 浏览和任选项功能。前者可使用户查看任意记录的任一页面,后者可以追加记录和编辑记录,对编辑内容进行剪辑,复制和粘贴。

WPSDBS 利用 FPW 的 File/New/Menu 选项进行菜单设计,利用 Options/SKIP FOR 选项设立菜单的可选条件,利用 Options/MESSAGE 选项设立菜单的选择说明。利用 FPW 中的 Edit/Insert Object 和 Edit/Edit Object 分别插入和编辑图形,并将 FPW 的以上两个菜单选项加入到系统中,分别定名为“插入图形”和“编辑图形”。

3. 屏幕设计

WPSDBS 利用 FPW 的 File/New/Screen 菜单选项建立记录输入和输出屏幕,查询条件输入屏幕及主要参数输出屏幕等。在设计记录输入屏幕时,利用字段的 Valid 选项,设立关键字段的合法性检验,其中主要包括母材拼写的合法性(与标准进行比较)、母材类别号的正确性、焊接方法缩写、母材厚度及热处理类别字段的合法性。同时利用字段的 MESSAGE 选项,设立数据字段的输入原则,引导用户输入合理的数据。对于选项明确的字段,如焊接方法、焊接位置、接头形式及热处理类别等字段采用列表框、组合框等输入方法,以减少输入错误。屏幕格式、内容与实际使用的焊接工艺规程基本一致,这样容易掌握各字段的含义和位置。

4. 报表设计

利用 FPW 的 File/New/Report 进行报表设计,报表的格式按现有的焊接工艺规程,设计原则主要有以下几点:

(1) 内容齐全,格式统一 应满足所有记录要求。

(2) 输出条件设置 WPSDBS 将类似的输出项设置了输出条件,使输出的报表不出现满排。而且清晰美观。可利用报表设计中字段的 PRINT WHEN 选项完成输出条件设置。

(3) 字体选择 报表的字体选择 WINDOWS 自带字体(如宋体、黑体、Arial 等),而不采用扩充字体,以防止用户 WINDOWS 环境没有扩充字体时,不能正确输出记录的内容。中文和西文采用不同的字体,可使输出更为美观。

5. 功能设计

(1) 记录维护 记录维护主要是帮助和引导用户正确地输入和修改记录。安全地删除记录为数据库的有效利用奠定基础。数据库的维护可作如下设计。

1) 定位记录 在追加记录时,利用追加空白记录命令(APPEND BLANK)使指针定位到最后一条记录(空白记录)。

在编辑、拷贝、导入及删除已有记录的操作时,采取按记录号和规程编号两种方式记录定位。按记录号实际上是通过指针移动命令(GO)进入指定记录,按规程号实际上是通过查询命令(LOCATE FOR)查询到指定规程编号记录。对于编辑、拷贝和删除记录,记录定位设在焊接工艺规程数据库中。对于导入记录,则首先定位在焊接工艺评定报告数据库中,选定记录后将当前记录有关字段内容拷贝到临时数据库中,然后将其追加到焊接工艺规程数据库中,指针最后定位在工艺规程数据库的最后一条记录上。

2) 显示当前记录内容 完成数据库维护操作。当指针定位到指定记录后,调入屏幕格式文件,显示记录内容,以便进一步操作,因焊接工艺规程内容较多,可设计多个屏幕输入记录。通过“上页”、“下页”、“首页”或“尾页”按钮,可进入指定屏幕。

用户通过鼠标或键盘在各字段之间移动光标即可输入数据。对于坡口图形则借助主菜单中的“插入图形”和“编辑图形”完成。

(2) 记录查询 WPSDBS 要求按母材、焊接方法、焊接材料、重要焊接参数及热处理等多个条件进行查询，查询条件的构造过程如下：

首先将存储整个条件的内存变量 M-COND 初始化为空串：MCOND=“”，然后逐级构造限制条件。例如，第一种母材（用户输入变量设为 M STEEL 1，数据库字段为 WPS. STEEL 1）和第一种焊接方法（用户输入变量设为 M PROCESS 1，数据库字段为 WPS. PROCESS 1）的限制条件分别如下：

```
IF NOT EMPTY (M STEEL 1)
```

```
MCOND=MCOND+“ALLTRIM[UP-PER(WPS. STEEL 1)]=ALLTRIM(UPPER(M. STEEL 1))”+“AND”
```

```
ENDIF
```

```
IF NOT EMPTY (M. PROCESS 1)
```

```
MCOND=MCOND+“ALLTRIM (UP-PER (WPS. PROCESS 1) =  
ALLTRIM (UPPER (M. PROCESS 1))”+“AND”
```

```
ENDIF
```

构造其它限制条件可采用相同的方法。对于用户输入过的查询变量（NOT EMPTY；不为空），都将新的比较关系加入到查询条件中，并为加入下一个条件做准备而加上一个 AND 操作符（其前后各有一个空格）。

如果用户跳过所有的输入，MCOND 将保持其初值（空串），如果一个或更多的条件被输入，MCOND 将得到不同复杂度的条件，其末尾带有 AND 操作符。为了使最后得到的条件句法正确，应去掉最后 5 个字符（AND 操作符及其前后的空格）。其代码如下：

```
IF NOT EMPTY (MCOND 1)
```

```
MCOND1=LEFT [MCOND1. LEN (MCOND1) -5]
```

```
ENDIF
```

这样即可实现任意组合条件的查询

查询条件构成后，利用 WHERE 子句（SQL SELECT 中的子句）调用这些条件，并将查询结果存放在一个临时数据库中。用户可以采用两种方式查看其内容。当选择主要参数查看时，可显示图所示的各项内容，如图 4-57 所示。

用户可向前、向后任意查看满足条件的记录。

(3) 记录浏览与打印 为查看任意记录的任一页面，系

图 4-57 主要焊接参数查询显示

统应提供记录浏览功能。对字段较多的数据库,应提供多种阅览方式,使用户既能查看主要字段,也能查看全部字段。

WPSDBS 为用户提供了两种记录浏览方式,即主要参数浏览和全部参数浏览。为方便地浏览全部参数,设计了记录控制和屏幕控制按钮。

系统可以采用两种方法进入指定记录或指定屏幕,一是直接输入记录号或屏幕页码,然后选定“记录号”或“选定页数”按钮。另一种方法是利用按钮“上条记录”、“下条记录”、“首记录”和“尾记录”进入指定记录,利用按钮“上页”、“下页”、“首页”和“尾页”进入指定的屏幕页面。

记录打印是指记录指针定位、打印预览和打印页码选择。可采用按记录号和规程号两种方式进行记录指针定位。

打印预览可利用 PRINT REPORT 语言,调用报表文件,加上选项 PREVIEW,可以在屏幕上显示报告内容,其格式与打印报告相一致。

打印页码选择,可以利用屏幕生成器中的复选框设立,用户可以根据需要打印指定页码。利用 PRINT REPORT 语句(不加选项 PREVIEW)及设计好的报表格式文件即可实现记录打印。

5.5 比较判断系统

比较判断系统由数据库、规则知识库、辅助知识库和推理机组成,其任务是焊接工艺评定立项必要性的判断及焊接工艺规程的辅助设计。

焊接工艺评定立项必要性的判断可分二步进行。第一步是利用现有数据库作查询,根据已知的原始条件,如钢种、板厚、接头形式、焊接方法、焊接材料等查询本企业是否已有相应的焊接工艺规程,以及直接可作依据的焊接工艺评定报告。经计算机搜索,如找到符合要求的工艺规程和相对应的评定报告,则计算机屏幕会立即显示规程和评定报告的编号,说明可不必再重作焊接工艺评定。

第二步如经计算机搜索本企业无直接可利用的焊接工艺规程和工艺评定报告,则焊接工程师应根据已知原始条件拟定焊接工艺设计书或通过计算机辅助知识库和推理机辅助设计焊接工艺规程,再将焊接工艺设计书规定的各项焊接重要参数输入焊接工艺评定规则知识库进行推理比较以判断这些重要参数是否在评定规则所认可的已有相应评定报告的适用范围之内。若符合,则计算机作出认可判断。如焊接重要参数任一项超过了规则所容许的范围,则计算机将作出工艺评定必要性的判断。

这种焊接工艺评定必要性比较判断系统的基本结构方框图如图 4-58 所示。

这里应当强调指出,焊接工艺规程评定立项必要性的判断是件比较复杂的工作,各种焊接结构制造法规所规定的评定规则不完全相同,影响

焊接接头力学性能的重要焊接参数众多,且各种焊接方法的重要参数项目也不尽相同,所评定的接头厚度范围也有所变化。尤其是在实际生产条件下,各主要焊接参数对接头性能影响的程度会有较大的差别,这些因素都应在设计计算机管理系统中加以充分的考虑,使其真正成为判断焊接工艺评定立项必要性的有效的工具。

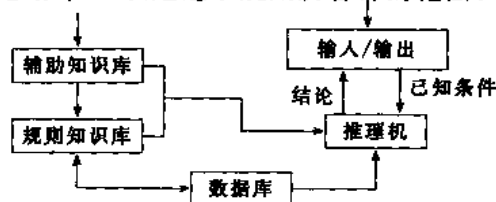


图4-58 比较判断系统结构框图

第 5 章 锅炉焊接工艺评定实例

对于承压的以水为介质的固定式蒸汽锅炉，锅炉范围内管道以及汽、水两用锅炉，必须遵照《蒸汽锅炉安全技术监察规程》的有关规定进行设计、制造、安装等工作。

对于引进机组或出口的固定式蒸汽锅炉，其设计制造应符合 ASME (或其它相应规程) 法规要求的同时，也应基本符合《锅炉安全技术监察规程》(以下简称为《锅规》) 的要求。

锅炉主要部件，包括锅炉锅筒、集箱、水冷壁、省煤器、过热器、再热器、金属结构和锅炉辅机，以及水处理设备等。

《锅规》中明确规定，采用焊接方法制造、安装、修理、改造所有锅炉受压部件时，施焊单位在焊前必须首先制定相应的焊接工艺指导书，并进行焊接工艺评定，符合要求后才允许用于生产。

按《锅规》及 JB—4420《锅炉焊接工艺评定的规定》，对下列接头需进行焊接工艺评定：

- 1) 受压元件之间对接焊接接头。
- 2) 受压元件之间或受压元件与承载的非受压元件之间连接的全焊透的 T 形焊缝或角焊缝。

对出口锅炉和引进机组锅炉按 ASME 法规第九篇《焊接工艺评定》的规定，在焊前进行焊接工艺评定。

按上述规定分别列举锅筒、集箱、受热面管焊接工艺评定实例；并列举按 AWS《钢结构焊接法规》制造的钢结构焊接工艺评定实例。

1 锅炉锅筒焊接工艺评定实例

典型的锅筒结构及各种类型焊缝列于焊缝识别卡中，见图 5-1。

从图 5-1 中可见，锅筒的纵环缝，封头拼接及与筒体连接环缝等均属于 A、B 类主要承载焊缝，必须进行焊接工艺评定。要求全焊透的集中下降管与筒体连接的 T 形 D 类焊缝以及要求全焊透的吊耳等 E 类焊缝，也必须进行焊接工艺评定。

以上各类焊缝的焊接工艺设计书和焊接工艺评定按钢种类别举例，其具体内容请详见后面实例。

本章及第六、七章所引用的焊接工艺评定实例是各制造厂多年生产经验的积累，是按照当时颁布的有关标准完成的，焊接工艺评定报告中所列的钢号、焊材牌号和对接头性能要求指标等可能与现行新标准不符。考虑到工艺评定报告数据的真实性，均未按国家有关新标准加以更改，仍引用该焊接工艺评定报告的原始资料和数据。

在所引用的焊接工艺评定报告中为简略起见常采用焊接方法的英文缩写，其所代表的焊接方法如下所示。

英文缩写	焊接方法
SMAW	焊条（手工）电弧焊
SAW	埋弧焊

NGSAW	窄间隙埋弧焊
ESW	电渣焊
GMAW	熔化极气体保护焊
TIG	钨极氩弧焊
FW	摩擦焊
MIG	熔化极惰性气体保护焊
PAW	等离子弧焊

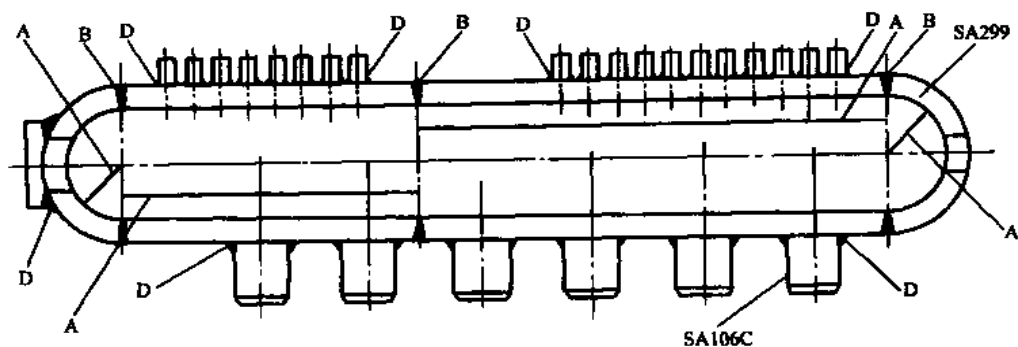


图 5-1 锅炉锅筒焊缝识别图

SA106C、SA299 为美国钢材

焊接工艺设计书

编号 No HSG-1工艺评定编号 HPG-1评定项目 小锅炉筒体环缝焊条^① (手工) 电弧焊+埋弧焊接头焊接方法 SMAW+SAW 自动化等级 手工+机械化 焊接位置 平 技术标准 锅规

接头坡口形式

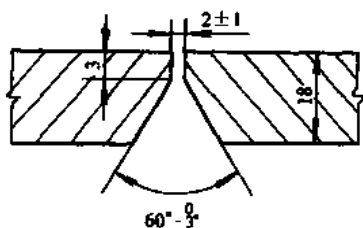


图 PG-1 左

焊接层次 (顺序)

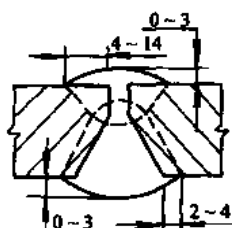


图 PG-1 右

先焊接
内坡口, 外
部清根后,
埋弧焊盖
面一层

(续)

对焊接接头的基本要求

1. 力学性能

σ_s/MPa	σ_b/MPa	/	弯曲角度/(°) $d=3a$	冲击试验			其它
				缺口形式	试验温度/°C	A_{kv}/J	
390~530	—	/	180	—	—	—	—

2. 其它 RT 检查

母材	牌号 <u>20g</u> 规格 <u>δ 18mm</u> 类别 <u>I-1</u>						
焊接材料	焊条牌号 <u>J507</u> 焊条规格 <u>ϕ3.2, ϕ4mm</u> 型号 <u>E5015</u> 钨极型号规格 _____ 焊剂 <u>HJ431</u> 焊丝牌号 <u>H08A</u> 焊丝规格 <u>ϕ4mm</u> 型号 _____ 保护气 _____ 流量 _____ 其它气体 _____ 流量 _____						
预热热处理	预热温度 _____ 层间温度 _____ 后热温度, 时间 _____ 消氢温度, 时间 _____ 中间热处理 _____ 时间 _____ 焊后热处理 _____ 时间 _____						
焊接工艺参数要求	电流种类 <u>直流</u> 极性 <u>反接</u> 焊接电流 <u>SMAW: ϕ3.2mm, 110~140A; ϕ4mm, 140~170A, 电弧电压 $U_{21} \sim 25\text{V}$</u> <u>SAW: 1600~650A, $U_{34} \sim 36\text{V}$, 焊接速度 25~28m/h, 送丝速度 83~95m/h</u>						
操作技术要求	首先以手弧焊焊接内坡口, 清根后外面盖面一层, 埋弧焊接						

编 制		校 对		审 核		批 准	
日 期		日 期		日 期		日 期	

① GB/T3375—94《焊接术语》中规定, 将手工电弧焊(手弧焊)改名为焊条电弧焊, 下同。

焊接工艺评定书

编号 No HPG-1设计书编号 No HSG-1评定项目 小锅炉筒体环缝焊条(手工)电弧焊+埋弧焊接头焊接方法 SMAW+SAW 自动化等级 手工+机械化 焊接位置 平 技术标准 锅规

接头坡口形式					焊接层次(顺序)							
见图 PG-1 左					见图 PG-1 右							
焊件置于焊剂垫上, 首先焊接反面, 翻身后再挑焊根再焊另一面												
母材	检验编号 _____											
	牌号 <u>20g</u>		规格 <u>δ 18mm</u>		类别 <u>I -1</u>		钨极型号					直径
	C	Si	Mn	P	S							
化学成分(%)	0.09	0.25	0.5	0.021	0.018							
力学性能	σ_b /MPa		497,501		σ_s /MPa		288,291		δ_5 /%		29.28	A_K /(J)
焊材	检验编号 _____											
	焊丝牌号 <u>H08A</u>		焊丝规格 <u>φ4mm</u>		焊丝型号 _____		焊剂牌号 <u>HJ431</u>					
	C	Si	Mn	P	S							
化学成分(%)	0.08	0.31	0.54	0.011	0.021							
焊条	检验编号 _____											
	焊条牌号 <u>J507</u>		焊条规格 <u>φ3.2 φ4mm</u>		焊条型号 <u>E5015</u>		检验编号 _____					
	C	Si	Mn	P	S							
熔敷金属化学成分(%)	0.09	0.35	0.98	0.012	0.007							
保护气体 _____ 流量 _____ 其它气体 _____ 流量 _____												

预热及焊后热处理 _____ / _____

预热温度 _____ / 层间温度 _____ / 后热温度 _____ / 时间 _____ / 消氢温度 _____ / 时间 _____ /

中间热处理温度 _____ / 时间 _____ / 焊后热处理温度 _____ / 时间 _____ /

注: 表中化学成分“%”均指化学成分中该物质元素的质量分数(wt%), 下同。

(续)

焊接工艺参数

电流种类 直流 极性 反接 SMAW: $\phi 3.2\text{mm}$, $I_{110} \sim 140\text{A}$, $U_{21} \sim 23\text{V}$; $\phi 4\text{mm}$, $I_{140} \sim 170\text{A}$, $U_{22} \sim 25\text{V}$ SAW: $I_{600} \sim 650\text{A}$, $U_{34} \sim 36\text{V}$, 焊接速度 $25 \sim 28\text{m/h}$, 送丝速度 $83 \sim 95\text{m/h}$

操作技术

首先焊接内坡口, 手弧焊第一层以 $\phi 3.2\text{mm}$ 焊条施焊, 其它层以 $\phi 4\text{mm}$ 焊条施焊, 外面清焊根后, 以埋弧焊盖面一层

性能检验结果

拉伸试验

检验报告编号 _____

试样编号	试样形式	σ_b/MPa	σ_s/MPa	断裂位置	
PG1-1	板状	490 499.8	—	焊缝外	

定向弯曲

检验报告编号 _____

试样编号	试样形式	弯轴直径/mm	弯曲角度/(°)	检验结果
PG1-2	面弯 背弯	$d=a$	180	合格

冲击韧性试验

检验报告编号 _____

试样编号	缺口形式	缺口位置	试验温度/°C	A_K/J
—	—	—	—	—

硬度试验结果(HV₁₀^①)

检验报告编号 _____

焊 缝	热影响区	母 材
—	—	—

金相检验结果

检验报告编号 _____

宏 观	微 观	其它检验
—	—	—

无损探伤检验结果 RT 合格 检验报告编号 _____

焊工 _____ 钢印号 _____ 焊工合格证号 _____

评定结论 合格

编 制		校 对		审 核		审 定	
日 期		日 期		日 期		日 期	

① 表示试验力为 98N, 下同。

焊接工艺设计书

编号 No HSG-2工艺评定编号 HPG-2评定项目 小锅炉筒体纵缝 20g 钢 $\delta 14\text{mm}$ 双面埋弧焊接头焊接方法 SAW 自动化等级 机械化 焊接位置 平 技术标准 锅规

接头坡口形式

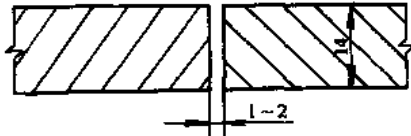


图 PG-2 左

焊接层次(顺序)

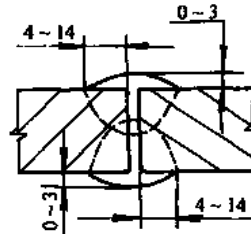


图 PG-2 右

对焊接接头的基本要求

1. 力学性能

σ_b/MPa	σ_s/MPa	$\delta_5/\%$	弯曲角度/(°) ($d=3a$)	冲击试验			其它
				缺口形式	试验温度/°C	A_{KV}/J	
390~530	≥ 205	≥ 25	180	U	常温	≥ 48	

2. 其它 RT 检查

母材	牌号 <u>20g</u> 规格 <u>$\delta 14\text{mm}$</u> 类别 <u>I-1</u>
焊接材料	焊条牌号 <u>/</u> 焊条规格 <u>/</u> 型号 <u>/</u> 焊极型号规格 <u>/</u> 焊剂 <u>HJ431</u> 焊丝牌号 <u>H08MnA</u> 焊丝规格 <u>$\phi 3\text{mm}$</u> 型号 <u>/</u> 保护气 <u>/</u> 流量 <u>/</u> 其它气体 <u>/</u> 流量 <u>/</u>
预热热处理	预热温度 <u>/</u> 层间温度 <u>/</u> 后热温度, 时间 <u>/</u> h 消氢温度, 时间 <u>/</u> 中间热处理 <u>/</u> 时间 <u>/</u> 焊后热处理 <u>/</u> °C 时间 <u>/</u>
焊接工艺参数要求	电流种类 <u>直流</u> 极性 <u>反接</u> 焊接电流 <u>400~500A</u> 电弧电压 <u>34~36V</u> 焊接速度 <u>27.5m/h</u> 送丝速度 <u>110m/h</u>
操作技术要求	首先焊反面一层, 正面电弧气刨清根后, 再用埋弧焊 1~2 层

编 制		校 对		审 核		批 准	
日 期		日 期		日 期		日 期	

焊接工艺评定书

编号 No HPG-2设计书编号 No HSG-2评定项目 小锅炉筒体纵缝 20g 钢 $\delta 14$ 埋弧焊接头焊接方法 SAW 自动化等级 机械化 焊接位置 平 技术标准 钢规

接头坡口形式

焊接层次(顺序)

见图 PG-2 左

见图 PG-2 右

母材	检验编号 _____										
	牌号 <u>20g</u>	规格 <u>$\delta 14\text{mm}$</u>	类别 <u>I-1</u>	电极型号 _____ 直径 <u>/</u>							
化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S						
	0.20	0.26	0.50	0.024	0.012						
力学性能	σ_s/MPa	524, 531		σ_t/MPa	338, 341		$\delta_5/\%$	26.1, 25.7		$A_{KV}/(\text{J})$	148, 162, 158
焊材	检验编号 _____										
	焊丝牌号 <u>H08MnA</u>	焊丝规格 <u>$\phi 3\text{mm}$</u>	焊丝型号 _____	焊剂牌号 <u>HJ431</u>							
化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S						
	0.10	0.07	1.0	0.011	0.013						
焊条	焊条牌号 <u>/</u> 焊条规格 <u>/</u> 焊条型号 <u>/</u> 检验编号 <u>/</u>										
熔敷金属化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S						
	/	/	/	/	/						
保护气体 <u>/</u> 流量 <u>/</u> 其它气体 <u>/</u> 流量 <u>/</u>											

预热及焊后热处理

预热温度 _____ 层间温度 _____ 后热温度 _____ 时间 _____ 消氢温度 _____ 时间 _____

中间热处理温度 _____ 时间 _____ 焊后热处理温度 _____ 时间 _____

(续)

焊接工艺参数

电流种类 直流 极性 反接 焊接电流 400~500A 电弧电压 34~36V 焊接速度 27.5m/h 送丝速度 110m/h

操作技术

首先焊反面一层埋弧焊,正面电弧气刨清根后埋弧焊1~2层

性能检验结果

拉伸试验

检验报告编号 _____

试样编号	试样形式	σ_b /MPa	σ_t /MPa	断裂位置	
PG2-1	板状 棒状	510.6, 512.5 529.2, 536.1	358.7, 389.1	焊缝外	

定向弯曲

检验报告编号 _____

试样编号	试样形式	弯轴直径/mm	弯曲角度/(°)	检验结果
PG2-2	面弯 背弯	$d=3a$	180	合格

冲击韧性试验

检验报告编号 _____

试样编号	缺口形式	试验温度/°C	缺口位置	A_{KV} /J
PG2-3	U	常温	焊缝 热影响区	142.1, 128.9, 124.5 168.1, 132.2, 129.4

硬度试验结果(H)

检验报告编号 _____

焊 缝	热影响区	母 材
/	/	/

金相检验结果

检验报告编号 _____

宏 观	微 观	其它检验
/	/	/

无损探伤检验结果 RT 合格 检验报告编号 _____

焊工 _____ 钢印号 _____ 焊工合格证号 _____

评定结论 合格

编 制		校 对		审 核		审 定	
日 期		日 期		日 期		日 期	

焊接工艺设计书

编号 No HSG-3工艺评定编号 HPG-3评定项目 锅炉筒体埋弧堆焊焊接方法 SAW 自动化等级 机械化 焊接位置 平 技术标准 钢规

接头坡口形式

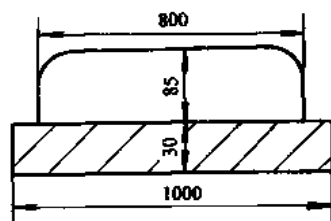


图 PG-3 左

焊接层次(顺序)

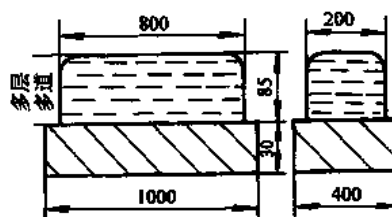


图 PG-3 右

对焊接接头的基本要求

1. 力学性能

σ_b /MPa	σ_s /MPa	δ_5 /%	弯曲角度/(°) ($d=3a$)	冲击试验			其它
				缺口形式	试验温度/°C	A_{kv} /J	
≥ 372	≥ 196	/	180	V	常温	≥ 27	$\sigma_b^{(320^\circ\text{C})} \geq 249$ $HV_{10} \leq 280$ $\sigma_b^{(320^\circ\text{C})} \geq 133$

2. 其它 MT 检查,金相组织

母材	牌号 <u>20g</u> 规格 <u>δ 30mm</u> 类别 <u>I-I</u>
焊接材料	焊条牌号 <u>/</u> 焊条规格 <u>/</u> 型号 <u>/</u> 钨极型号规格 <u>/</u> 焊剂 <u>HJ350</u> 焊丝牌号 <u>H10Mn2</u> 焊丝规格 <u>ϕ4mm</u> 型号 <u>/</u> 保护气 <u>/</u> 流量 <u>/</u> 其它气体 <u>/</u> 流量 <u>/</u>
预热热处理	预热温度 <u>/</u> 层间温度 <u>$\leq 300^\circ\text{C}$</u> 后热温度,时间 <u>/</u> 消氢温度,时间 <u>/</u> 中间热处理 <u>/</u> 时间 <u>/</u> 焊后热处理 <u>$620\sim 640^\circ\text{C}, 550\sim 570^\circ\text{C}$</u> 时间 <u>5h, 5h</u>
焊接工艺参数要求	电流种类 <u>直流</u> 极性 <u>反接</u> 焊接电流 <u>I 600~650A</u> 电弧电压 <u>U 34~36V</u> 焊接速度 <u>25~30m/h</u>
操作技术要求	

编制		校对		审核		批准	
日期		日期		日期		日期	

焊接工艺评定书

编号 No HPG-3设计书编号 No HSG-3评定项目 锅炉筒体埋弧堆焊焊接方法 SAW 自动化等级 机械化 焊接位置 平 技术标准 JB1613

接头坡口形式

焊接层次(顺序)

见图 PG-3 左

见图 PG-3 右

母材	检验编号 _____										钨极型号 <u>/</u> 直径 <u>/</u>	
	牌号 <u>20g</u>	规格 <u>δ 30mm</u>	类别 <u>I-I</u>									
化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S							
	0.13	0.22	0.65	0.026	0.020							
力学性能	σ_b /MPa	445		σ_s /MPa	280		δ_5 /%	24		A_{KV} /(J)	45,46,49	
焊丝	检验编号 _____											
	焊丝牌号 <u>H10Mn2</u> 焊丝规格 <u>φ4mm</u> 焊丝型号 <u>/</u> 焊剂牌号 <u>HJ350</u>											
化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S							
	/	/	/	/	/							
焊条	焊条牌号 <u>/</u> 焊条规格 <u>/</u> 焊条型号 <u>/</u> 检验编号 _____											
熔敷金属化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S							
	/	/	/	/	/							
保护气体 <u>/</u> 流量 <u>/</u> 其它气体 <u>/</u> 流量 <u>/</u>												

预热及焊后热处理

预热温度 / 层间温度 ≤300 °C 后热温度 / 时间 / 消氢温度 / 时间 / 中间热处理温度 / 时间 / 焊后热处理温度 620~640, 550~570 °C 时间 5, 5 h

(续)

焊接工艺参数

电流种类 直流 极性 反接 焊接电流 I 600~650A 电弧电压 U 34~36V 焊接速度 25~30m/h

操作技术

性能检验结果

拉伸试验

检验报告编号 _____

试样编号	试样形式	σ_b /MPa	σ_s /MPa	断裂位置	
PG3-1	棒状	纵向 438,432	310,307	焊缝上	
		横向 435,436	308,306		
		正向 429,433	312,310		

定向弯曲

检验报告编号 _____

试样编号	试样形式	弯轴直径/mm	弯曲角度/(°)	检验结果
PG3-2	纵向	$d=3a$	180	合格

冲击韧性试验

检验报告编号 _____

试样编号	缺口形式	试验温度/°C	缺口位置	A_{KV} /J
PG3-3	V	常温	纵向	136,116,130
			焊缝 横向	148,148,136
			正向	110,96,90

硬度试验结果(HV₁₀)

检验报告编号 _____

焊 缝	热影响区	母 材
209,176	216,196	218,193

金相检验结果

检验报告编号 _____

宏 观	微 观	其它检验
合 格	母材 <u>F+P</u> 焊缝 <u>F+P+B</u> 热影响区 <u>F+P+B</u>	/

无损探伤检验结果 MT合格 检验报告编号 _____

焊工 _____ 钢印号 _____ 焊工合格证号 _____

评定结论 合格

编 制		校 对		审 核		审 定	
日 期		日 期		日 期		日 期	

焊接工艺设计书

编号 No HSG-4工艺评定编号 HPG-4评定项目 锅炉吊杆 $\phi 80\text{mm}$ 20 钢 手弧焊接头焊接方法 SMAW 自动化等级 手工 焊接位置 平 技术标准 JB1613

接头坡口形式

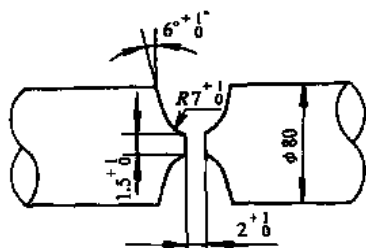


图 PG-4 左

焊接层次(顺序)

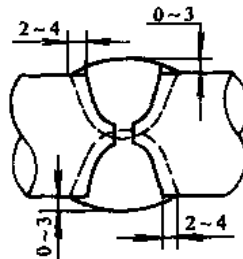


图 PG-4 右

对焊接接头的基本要求

1. 力学性能

σ_b/MPa	σ_s/MPa	$\delta_5/\%$	弯曲角度/(°) ($d=a$)	冲击试验			其它
				缺口形式	试验温度/°C	A_{KV}/J	
390~530	≥ 205	≥ 25	/	U	常温	≥ 58.8	

2. 其它 UT 检查、MT 检查

母材	牌号 <u>20g</u> 规格 <u>$\phi 80\text{mm}$</u> 类别 <u>I-1</u>						
焊接材料	焊条牌号 <u>J507</u>	焊条规格 <u>$\phi 4\text{mm}, \phi 5\text{mm}$</u>	型号 <u>E5015</u>	钨极型号规格 <u>/</u>	焊剂 <u>/</u>		
	焊丝牌号 <u>/</u>	焊丝规格 <u>/</u>	型号 <u>/</u>	保护气 <u>/</u>	流量 <u>/</u>	其它气体 <u>/</u>	流量 <u>/</u>
预热 热处 理	预热温度 <u>/</u> 层间温度 <u>/</u> 后热温度, 时间 <u>/</u> 消氢温度, 时间 <u>/</u> 中间热处理 <u>/</u> 时间 <u>/</u> 焊后热处理 <u>600~650</u> °C 时间 <u>3.5</u> h						
焊接工艺参数要求	电流种类 <u>直流</u> 极性 <u>反接</u> 焊接电流 <u>$\phi 4\text{mm}$ I 150~180A; $\phi 5\text{mm}$ I 200~230A;</u> 电弧电压 <u>22~25V</u>						
操作技术要求							

编制		校对		审核		批准	
日期		日期		日期		日期	

焊接工艺评定书

编号 No HPG-4设计书编号 No HSG-4评定项目 锅炉吊杆 $\phi 80\text{mm}$ 20 钢 手弧焊接头焊接方法 SMAW 自动化等级 手工 焊接位置 平 技术标准 JB1613

接头坡口形式

焊接层次(顺序)

见图 PG-4 左

见图 PG-4 右

母材	检验号										钨极型号 <u>/</u> 直径 <u>/</u>	
	牌号 <u>20 钢</u>	规格 <u>$\phi 80\text{mm}$</u>	类别 <u>I-1</u>									
化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S							
	0.19	0.31	0.53	0.020	0.018							
力学性能	σ_b/MPa	481,501		σ_s/MPa	242,256		$\delta_5/\%$	27,26.2		A_{KV}/J	220,212,231	
焊丝	检验编号 <u> </u>											
	焊丝牌号 <u>/</u> 焊丝规格 <u>/</u> 焊丝型号 <u>/</u> 焊剂牌号 <u>/</u>											
化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S							
	/	/	/	/	/							
焊条	焊条牌号 <u>J507</u> 焊条规格 <u>$\phi 4\text{mm}, \phi 5\text{mm}$</u> 焊条型号 <u>E5015</u> 检验编号 <u> </u>											
熔敷金属化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S							
	0.08	0.40	1.06	0.009	0.011							
保护气体 <u>/</u> 流量 <u>/</u> 其它气体 <u>/</u> 流量 <u>/</u>												

预热及焊后热处理

 预热温度 / 层间温度 ≤ 300 °C 后热温度 / 时间 / 消氢温度 / 时间 / 中间热处理温度 / 时间 / 焊后热处理温度 $600\sim 650$ °C 时间 3.5 h

(续)

焊接工艺参数

电流种类 直流 极性 反接 ϕ 4mm I 150~180A U 22~24V ϕ 5mm I 200~230A U 23~25V

操作技术

性能检验结果

拉伸试验

检验报告编号 _____

试样编号	试样形式	σ_b /MPa	σ_s /MPa	断裂位置	
PG4-1	棒状	477,468	256.6 294	焊缝上	

定向弯曲

检验报告编号 _____

试样编号	试样形式	弯轴直径/mm	弯曲角度/(°)	检验结果
/	/	$d=3a$	/	/

冲击韧性试验

检验报告编号 _____

试样编号	缺口形式	缺口位置	试验温度/°C	A_{KU} /J
PG4-3	U	焊缝 热影响区	常温	194.252 215.6 225.4

硬度试验结果(H)

检验报告编号 _____

焊 缝	热影响区	母 材
/	/	

金相检验结果

检验报告编号 _____

宏 观	微 观	其它检验
/	/	/

无损探伤检验结果 UT,MT 合格 检验报告编号 _____

焊工 _____ 钢印号 _____ 焊工合格证号 _____

评定结论 合格

编 制		校 对		审 核		审 定	
日 期		日 期		日 期		日 期	

焊接工艺设计书

编号 No HSG-5

工艺评定编号 HPG-5

评定项目 锅炉筒体环缝 WB36 钢 δ80mm 手弧焊+埋弧焊

焊接方法 SMAW+SAW 自动化等级 手工+机械化 焊接位置 平 技术标准 ASME

接头坡口形式

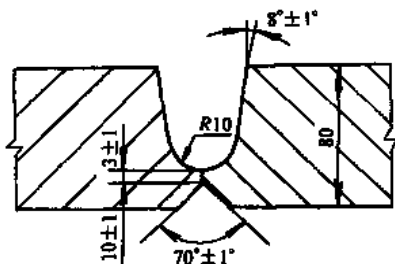


图 PG-5 左

焊接层次(顺序)

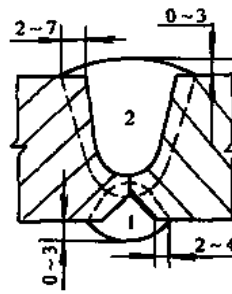


图 PG-5 右

首先以手
弧焊焊接 70°
坡口,清理 U
形坡口根部
后,埋弧焊焊
满坡口

对焊接接头的基本要求

1. 力学性能

σ_b /MPa	σ_s /MPa	δ_5 /%	弯曲角度/(°) ($d=4a$)	冲击试验			其它
				缺口形式	试验温度/°C	A_{KV} /J	
600~700	/	/	180°	V	常温	≥35	$HV_{10} \leq 350$ $\sigma_b^{(350^\circ C)} \geq 513$ $\sigma_s^{(350^\circ C)} \geq 313$

2. 其它 RT 检查,金相组织

母材	牌号 <u>WB36 钢</u> 规格 <u>δ 80mm</u> 类别 <u>/</u>					
焊接材料	焊条牌号 <u>J607</u>	焊条规格 <u>φ 4mm、φ 5mm</u>	型号 <u>E6015-D1</u>	钨极型号规格 <u>/</u>	焊剂 <u>SJ101</u>	
	焊丝牌号 <u>H08Mn2Mo</u>	焊丝规格 <u>φ 4mm</u>	型号 <u>/</u>	保护气 <u>/</u>	流量 <u>/</u>	
				其它气体 <u>/</u>	流量 <u>/</u>	
预热 热处理 后理	预热温度 <u>≥150</u> °C 层间温度 <u>150~350</u> °C 后热温度,时间 <u>/</u> 消氢温度,时间 <u>/</u> 中间热处理 <u>/</u> 时间 <u>/</u> 焊后热处理 <u>600±10</u> °C 时间 <u>4</u> h					
焊接工艺参数要求	电流种类 <u>直流</u> 极性 <u>反接</u> 焊接电流 <u>SMAW: φ 4mm I 160~180A; φ 5mm I 200~230A;</u> 电弧电压 <u>24~26V</u> <u>SAW: I 550~600A U 29~31V</u> 焊接速度 <u>25~30m/h</u>					
操作技术要求	首先以 SMAW 方法焊接 70°坡口,清理 U 形坡口根部后,再以 SAW 方法焊满坡口					

编 制		校 对		审 核		批 准	
日 期		日 期		日 期		日 期	

焊接工艺评定书

编号 No HPG-5设计书编号 No HSG-5评定项目 锅炉筒体环缝 WB36 钢 $\delta 80\text{mm}$ 手弧焊+埋弧焊接头焊接方法 SMAW+SAW 自动化等级 手工+机械化 焊接位置 平 技术标准 ASME

接头坡口形式

焊接层次(顺序)

见图 PG-5 左

见图 PG-5 右

母材	检验编号 _____								钨极型号 /		直径 /
	牌号 <u>WB36</u>	规格 <u>$\delta 80\text{mm}$</u>	类别 /								
化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S	Cr	Cu				
	0.15	0.31	1.06	0.020	0.004	0.24	0.69				
力学性能	σ_b/MPa	639		σ_s/MPa	482		$\delta_5/\%$	/		$A_{KV}/(\text{J})(^\circ\text{C})$	155,146,146
焊材	检验编号 _____										
	焊丝牌号 <u>H08Mn2Mo</u> 焊丝规格 <u>$\phi 4\text{mm}$</u> 焊丝型号 / 焊剂牌号 <u>SJ101</u>										
化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S						
	—	—	—	—	—						
焊条	焊条牌号 <u>J607</u> 焊条规格 <u>$\phi 4\text{mm}, \phi 5\text{mm}$</u> 焊条型号 <u>E6015-D1</u> 检验编号 _____										
熔敷金属化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S	Mo					
	0.08	0.19	1.82	0.010	0.014	0.56					
保护气体 / 流量 / 其它气体 / 流量 /											

预热及焊后热处理

预热温度 ≥ 150 $^\circ\text{C}$ 层间温度 150~350 $^\circ\text{C}$ 后热温度 _____ 时间 _____ 消氢温度 _____ 时间 _____ h中间热处理温度 _____ 时间 _____ 焊后热处理温度 600 $\pm$ 10 $^\circ\text{C}$ 时间 4 h

(续)

焊接工艺参数

电流种类 直流 极性 反接 SMAW, ϕ 4mm I 160~180A ϕ 5mm I 200~230A U 24~26V
 SAW: I 550~600A U 29~31V 焊接速度 25~30m/h

操作技术

首先焊接 70°坡口, 手弧焊第一层 ϕ 4mm 焊条施焊, U 形坡口根部清理后, 以埋弧焊焊满

性能检验结果

拉伸试验

检验报告编号 _____

试样编号	试样形式	σ_b /MPa	σ_s /MPa	断裂位置	
PG5-1	板状	616 614	/	焊缝外	$\sigma_b^{(350^\circ\text{C})}$ 714, 752 $\sigma_s^{(350^\circ\text{C})}$ 535, 592

定向弯曲

检验报告编号 _____

试样编号	试样形式	弯轴直径/mm	弯曲角度/(°)	检验结果
PG5-2	侧弯	$d=4a$	180	合格

冲击韧性试验

检验报告编号 _____

试样编号	缺口形式	缺口位置	试验温度/°C	A_{kv} /J
PG-5	V	焊缝 热影响区	10	90, 64, 100 130, 162, 160

硬度试验结果(HV₁₀)

检验报告编号 _____

焊 缝	热影响区	母 材
287, 287, 342	327, 243, 351	321, 302

金相检验结果

检验报告编号 _____

宏 观	微 观	其它检验
合格	母材 <u>F+P+B</u> 焊缝 <u>B</u> 热影响区 <u>B+F</u>	

无损探伤检验结果 RT 合格 检验报告编号 _____

焊工 _____ 钢印号 _____ 焊工合格证号 _____

评定结论 合格

编 制		校 对		审 核		审 定	
日 期		日 期		日 期		日 期	

焊接工艺设计书

编号 No HSG-6工艺评定编号 HPG-6评定项目 D型炉筒筒环缝 W410g 钢 $\delta 56\text{mm}$ 手弧焊+窄间隙埋弧焊焊接方法 SMAW+NGSAW 自动化等级 手工+机械化 焊接位置 平 技术标准 JB4420

接头坡口形式

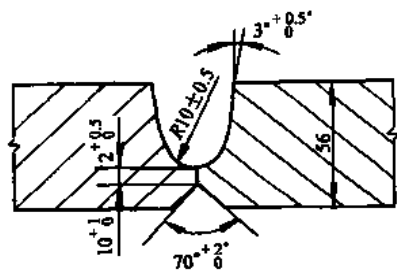


图 PG-6 左

焊接层次(顺序)

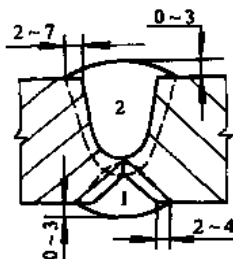


图 PG-6 右

首先以
SMAW 焊
第 1 部分
坡口,然后
以 SAW 焊
满第 2 部
分坡口

对焊接接头的基本要求

1. 力学性能

σ_b/MPa	σ_s/MPa	$\delta_5/\%$	弯曲角度/(°) ($d=3a$)	冲击试验			其它
				缺口形式	试验温度/°C	A_{KV}/J	
≥ 410	/	/	180°	V	50°	≥ 27	$HV_{10} \leq 280$

2. 其它 RT 检查 金相组织

母材	牌号 <u>W410g 钢</u> 规格 <u>$\delta 56\text{mm}$</u> 类别 <u>/</u>						
焊接材料	焊条牌号 <u>J507</u>	焊条规格 <u>$\phi 4\text{mm}, \phi 5\text{mm}$</u>	型号 <u>E5015</u>	钨极型号规格 <u>/</u>	焊剂 <u>SJ101</u>	保护气 <u>/</u>	流量 <u>/</u>
	焊丝牌号 <u>H08MnA</u>	焊丝规格 <u>$\phi 4\text{mm}$</u>	型号 <u>/</u>	其它气体 <u>/</u>	流量 <u>/</u>		
预热热处理	预热温度 <u>/</u> 层间温度 <u>≤ 300</u> °C 后热温度,时间 <u>/</u> 消氢温度,时间 <u>/</u> 中间热处理 <u>/</u> °C 时间 <u>/</u> 焊后热处理 <u>600~630</u> °C 时间 <u>3</u> h						
焊接工艺参数要求	电流种类 <u>直流</u> 极性 <u>反接</u> 焊接电流 <u>SMAW: $\phi 4\text{mm}$ I 170~190A; $\phi 5\text{mm}$ I 200~230A;</u> 电弧电压 <u>22~25V</u> <u>NGSAW: 第一层 I 550~580A 其它层 I 500~550A U 29~31V, 焊接速度 29~31m/h</u>						
操作技术要求	首先以 SMAW 焊接 70°坡口,再以 NGSAW 焊满 U 形坡口						
编制		校对		审核		批准	
日期		日期		日期		日期	

焊接工艺评定书

编号 No HPG-6设计书编号 No HSG-6评定项目 D型炉锅筒体环缝 W410g 钢 $\delta 56\text{mm}$ 手弧焊+窄间隙埋弧焊焊接方法 SMAW+NGSAW 自动化等级 手工+机械化 焊接位置 平 技术标准 JB4420

接头坡口形式

焊接层次(顺序)

见图 PG-6 左

见图 PG-6 右

母材	检验编号 _____									
	牌号 <u>W410g 钢</u>		规格 <u>$\delta 56\text{mm}$</u>		类别 <u>/</u>		钨极型号 <u>/</u> 直径 <u>/</u>			
化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S					
	0.19	0.24	0.72	0.021	0.009					
力学性能	σ_s/MPa		461		σ_b/MPa		322		$\delta_5/\%$	
							33		A_{KV}/J	
焊材	检验编号 _____									
	焊丝牌号 <u>H08MnA</u>		焊丝规格 <u>$\phi 4\text{mm}$</u>		焊丝型号 <u>/</u>		焊剂牌号 <u>SH101</u>			
化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S					
	0.08	<0.07	0.98	0.015	0.03					
焊条	焊条牌号 <u>J507</u> 焊条规格 <u>$\phi 4\text{mm}, \phi 5\text{mm}$</u> 焊条型号 <u>E5015</u> 检验编号 _____									
	C	Si	Mn	P	S					
熔敷金属化学成分(%)	0.07	0.13	0.92	0.010	0.012					
	保护气体 <u>/</u> 流量 <u>/</u> 其它气体 <u>/</u> 流量 <u>/</u>									

预热及焊后热处理

预热温度 / 层间温度 ≤ 300 °C 后热温度 / 时间 / 消氢温度 / °C 时间 / 中间热处理温度 / 时间 / 焊后热处理温度 600~630 °C 时间 3 h

(续)

焊接工艺参数

电流种类 直流 极性 反接 SMAW: $\phi 4\text{mm}$ I 170~190A $\phi 5\text{mm}$ I 200~230A U 22~25VNGSAW: 第一层 I 550~580A 其它层 I 500~550A U 29~31V 焊接速度 29~31m/h

操作技术

首先焊接 70°坡口, 手弧焊第一层以 $\phi 4\text{mm}$ 焊条施焊, 其它层以 $\phi 5\text{mm}$ 焊条焊接, 然后以 NGSAW 焊满 U 形坡口

性能检验结果

拉伸试验

检验报告编号 _____

试样编号	试样形式	σ_b/MPa	σ_s/MPa	断裂位置	
PG6-1	板状	446 445	/	焊缝外	

定向弯曲

检验报告编号 _____

试样编号	试样形式	弯轴直径/mm	弯曲角度/(°)	检验结果
PG6-2	侧弯	$d=3a$	180	合格

冲击韧性试验

检验报告编号 _____

试样编号	缺口形式	缺口位置	试验温度/°C	A_{KV}/J
PG6-3	V	焊缝 热影响区	50	230, 218, 228 226, 182, 176

硬度试验结果(HV₁₀)

检验报告编号 _____

焊 缝	热影响区	母 材
287, 279	188, 209, 249	187, 188

金相检验结果

检验报告编号 _____

宏 观	微 观	其它检验
/	母材 $\frac{F+P}{}$ 焊缝 $\frac{B+F+P}{}$ 热影响区 $\frac{F+P}{}$	/

无损探伤检验结果 RT 合格 检验报告编号 _____

焊工 _____ 钢印号 _____ 焊工合格证号 _____

评定结论 合格

编 制		校 对		审 核		审 定	
日 期		日 期		日 期		日 期	

焊接工艺设计书

编号 No HSG-7工艺评定编号 HPG-7评定项目 10 万机组锅炉筒体环缝 19Mn5 钢 $\delta 100\text{mm}$ 手弧焊+窄间隙埋弧焊接头焊接方法 SMAW+NGSAW 自动化等级 手工+机械化 焊接位置 平 技术标准 JB-4420

接头坡口形式

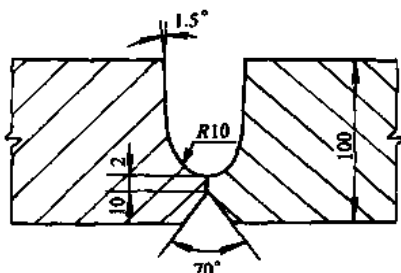


图 PG-7 左

焊接层次(顺序)

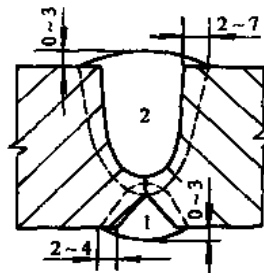


图 PG-7 右

首先焊接 1 手弧焊坡口,反面坡口 2 根部经清理后,以埋弧焊焊满

对焊接接头的基本要求

1. 力学性能

σ_b/MPa	σ_s/MPa	$\delta_5/\%$	弯曲角度/(°) ($d=3a$)	冲击试验			其它
				缺口形式	试验温度/°C	A_{KV}/J	
≥ 490	≥ 315	≥ 16	100°	V	常温	≥ 35	$HV_{10} \leq 350$

2. 其它 RT 检查 金相组织

母材	牌号 <u>19Mn5</u> 规格 <u>$\delta 100\text{mm}$</u> 类别 <u>1-2</u>					
焊接材料	焊条牌号 <u>J507</u>	焊条规格 <u>$\phi 4\text{mm}, \phi 5\text{mm}$</u>	型号 <u>E5015</u>	钨极型号规格 <u>/</u>	焊剂 <u>SJ101</u>	
	焊丝牌号 <u>S3Mo</u>	焊丝规格 <u>$\phi 4\text{mm}$</u>	型号 <u>/</u>	保护气 <u>/</u>	流量 <u>/</u>	其它气体 <u>/</u> 流量 <u>/</u>
预热热处理	预热温度 <u>100~150 °C</u> 层间温度 <u>100~350 °C</u> 后热温度,时间 <u>/</u> 消氢温度,时间 <u>/</u> 中间热处理 时间 <u>/</u> 焊后热处理 <u>560~590 °C</u> 时间 <u>5 h</u>					
焊接工艺参数要求	电流种类 <u>直流</u> 极性 <u>反接</u> 焊接电流 SMAW: $\phi 4\text{mm}$ I <u>170~190A</u> ; $\phi 5\text{mm}$ I <u>200~230A</u> ; 电弧电压 <u>22~25V</u> NGSAW: I <u>500~580A</u> U <u>29~31V</u> 焊接速度 <u>29~31m/h</u>					
操作技术要求	首先焊接坡口 1,手弧焊第一层 $\phi 4\text{mm}$ 焊条,坡口 2 清理根部后,用埋弧焊焊满					

编制		校对		审核		批准	
日期		日期		日期		日期	

焊接工艺评定书

编号 No HPG-7设计书编号 No HSG-7评定项目 10 万机组锅炉筒体环缝 19Mn5 钢 $\delta 100\text{mm}$ 手弧焊+窄间隙埋弧焊焊接方法 SMAW+NGSAW 自动化等级 手工+机械化 焊接位置 平 技术标准 JB-4420

接头坡口形式

焊接层次(顺序)

见图 PG-7 左

见图 PG-7 右

母材	检验编号 _____														
	牌号	19Mn5		规格	$\delta 100\text{mm}$		类别	P1-2		钨极型号	/	直径	/		
化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S										
	0.22	0.49	1.27	0.007	0.019										
力学性能	σ_s/MPa		528,510		σ_b/MPa		328,390		$\delta_5/\%$		20,20.5		A_{KV}/J	159,171,159	
焊材	检验编号 _____														
	焊丝牌号		S3Mo		焊丝规格		$\phi 4\text{mm}$		焊丝型号		/		焊剂牌号		SJ101
化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S	Mo									
	0.14	0.15	1.49	0.023	0.015	0.45									
焊条	焊条牌号 <u>J507</u> 焊条规格 <u>$\phi 4\text{mm}, \phi 5\text{mm}$</u> 焊条型号 <u>E5015</u> 检验编号 _____														
熔敷金属化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S										
	0.095	0.20	1.32	0.013	0.012										
保护气体 <u>/</u> 流量 <u>/</u> 其它气体 <u>/</u> 流量 <u>/</u>															

预热及焊后热处理

预热温度 100~150 °C 层间温度 100~350 °C 后热温度 / 时间 / 消氢温度 /
 时间 / 中间热处理温度 / 时间 / 焊后热处理温度 560~590 °C 时间 5 h

(续)

焊接工艺参数

电流种类 直流 极性 反接 SMAW: $\phi 4\text{mm}$ I 170~190A $\phi 5\text{mm}$ I 200~230A U 22~25V
 NGSAW: I 500~580A U 29~31V 焊接速度 29~31m/h

操作技术

首先焊接 70°坡口, 手弧焊第一层 $\phi 4\text{mm}$ 焊条, U 形坡口清根后, 埋弧焊焊满

性能检验结果

拉伸试验

检验报告编号 _____

试样编号	试样形式	σ_b/MPa	σ_t/MPa	断裂位置	
PG7-1	板状	518, 520	506, 523	焊缝外	
	棒状	603, 607			

定向弯曲

检验报告编号 _____

试样编号	试样形式	弯轴直径/mm	弯曲角度/(°)	检验结果
PG7-2	侧弯	$d=3a$	100	合格

冲击韧性试验

检验报告编号 _____

试样编号	缺口形式	缺口位置	试验温度/°C	A_{KV}/J
PG7-3	V	焊缝	常温	116, 130, 128
		热影响区		154, 90, 110

硬度试验结果(HV₁₀)

检验报告编号 _____

焊 缝	热影响区	母 材
215, 216, 199	185, 183, 181	228, 225, 322

金相检验结果

检验报告编号 _____

宏 观	微 观	其它检验
/	母材	F+P
	焊缝	B+F
	热影响区	B+F
		/

无损探伤检验结果 RT 合格 检验报告编号 _____

焊工 _____ 钢印号 _____ 焊工合格证号 _____

评定结论 合格

编 制		校 对		审 核		审 定	
日 期		日 期		日 期		日 期	

焊接工艺设计书

编号 No HSG-8工艺评定编号 HPG-8评定项目 100MW 锅炉钢筒环缝 14MnMoVg 钢 $\delta 85\text{mm}$ 手弧焊+窄间隙埋弧焊接头焊接方法 SMAW+NGSAW 自动化等级 手工+机械化 焊接位置 平 技术标准 钢规

接头坡口形式

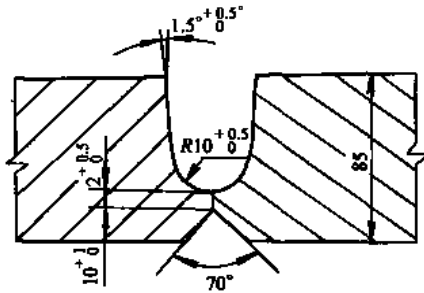


图 PG-8 左

焊接层次(顺序)

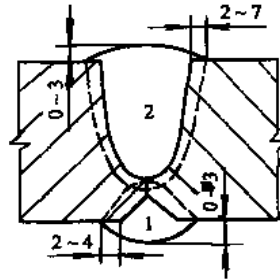


图 PG-8 右

首先以
手弧焊坡
口1,坡口
2清理根
部后以埋
弧焊焊满

对焊接接头的基本要求

1. 力学性能

σ_b/MPa	σ_s/MPa	$\delta_5/\%$	弯曲角度/(°) ($d=3a$)	冲击试验			其它
				缺口形式	试验温度/°C	A_{KV}/J	
≥ 635	≥ 490	/	100°	U	常温	≥ 68.6	HV ₁₀

2. 其它 RT 检查 金相组织

母材	牌号 <u>14MnMoVg</u> 规格 <u>$\delta 85\text{mm}$</u> 类别 <u></u>						
焊接材料	焊条牌号 <u>J607</u>	焊条规格 <u>$\phi 4\text{mm}, \phi 5\text{mm}$</u>	型号 <u>E6015-D1</u>	钨极型号规格 <u></u>	焊剂 <u>HJ350</u>	保护气 <u></u>	流量 <u></u>
	焊丝牌号 <u>H08Mn2MoA</u>	焊丝规格 <u>$\phi 4\text{mm}$</u>	型号 <u></u>	其它气体 <u></u>	流量 <u></u>		
预热 热处理 焊后处理	预热温度 <u>150~200</u> °C 层间温度 <u>150~350</u> °C 后热温度,时间 <u>/</u> 消氢温度,时间 <u>/</u> 中间热处理 <u></u> °C 时间 <u></u> 焊后热处理 <u>600~630</u> °C 时间 <u>7</u> h						
焊接工艺参数要求	电流种类 <u>直流</u> 极性 <u>反接</u> 焊接电流 <u>SMAW: $\phi 4\text{mm}$ I 170~190A; $\phi 5\text{mm}$ I 200~230A;</u> 电弧电压 <u>22~25V</u> <u>NGSAW: I 640~680A U 34~36V, 焊接速度 24~30m/h 送丝速度 95~108m/h</u>						
操作技术要求	首先以 SMAW 焊坡口1,坡口2根部清理后以 NGSAW 焊满坡口						
编制		校 对		审 核		批 准	
日 期		日 期		日 期		日 期	

焊接工艺评定书

编号 No HSG-8设计书编号 No HPG-8评定项目 100MW 锅炉钢筒环缝 14MnMoVg 钢 $\delta 85\text{mm}$ 手弧焊+窄间隙埋弧焊焊接方法 SMAW+NGSAW 自动化等级 手工+机械化 焊接位置 平 技术标准 钢规

接头坡口形式

见图 PG-8 左

焊接层次(顺序)

见图 PG-8 右

母材	检验编号 _____										
	牌号 <u>14MnMoVg</u>		规格 <u>$\delta 85\text{mm}$</u>		类别 <u>Ⅱ-1</u>		钢板型号 _____ 直径 _____				
化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S	Mo	V				
	0.12	0.35	1.48	0.012	0.008	0.44	0.09				
力学性能	σ_b/MPa		652,641		σ_s/MPa		493,502		$\delta_5/\%$		/
									A_{KU}/J		147,152,150
焊材	检验编号 _____										
	焊丝牌号 <u>H08Mn2MoA</u>		焊丝规格 <u>$\phi 4\text{mm}$</u>		焊丝型号 _____		焊剂牌号 <u>HJ350</u>				
化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S	Mo					
	0.08	0.14	1.82	0.011	0.008	0.56					
焊条	焊条牌号 <u>J607</u> 焊条规格 <u>$\phi 4\text{mm}, \phi 5\text{mm}$</u> 焊条型号 <u>E6015-D1</u> 检验编号 _____										
	C	Si	Mn	P	S	Mo					
熔敷金属化学成分(%)	0.08	0.19	1.72	0.009	0.006	0.40					
	保护气体 <u>/</u> 流量 <u>/</u> 其它气体 <u>/</u> 流量 <u>/</u>										

预热及焊后热处理

预热温度 150~200 °C 层间温度 150~350 °C 后热温度 / 时间 / 消氢温度 /时间 / 中间热处理温度 / 时间 / 焊后热处理温度 600~630 °C 时间 7 h

(续)

焊接工艺参数

电流种类 直流 极性 反接 SMAW: $\phi 4\text{mm}$ I 170~190A $\phi 5\text{mm}$ I 200~230A U 22~25VNGSAW: I 640~680A U 34~36V 焊接速度 24~30m/h 送丝速度 95~108m/h

操作技术

首先以 SMAW 焊接 70°坡口, U 形坡口经清理根部后以 SAW 焊满坡口

性能检验结果

拉伸试验

检验报告编号 _____

试样编号	试样形式	σ_s/MPa	σ_b/MPa	断裂位置	
PG8-1	板状 棒状(320°C)	646.8, 627.2 548.8, 558.6	490, 470.4	焊缝外	

定向弯曲

检验报告编号 _____

试样编号	试样形式	弯轴直径/mm	弯曲角度/(°)	检验结果
PG8-2	侧弯	$d=3a$	180	合格

冲击韧性试验

检验报告编号 _____

试样编号	缺口形式	缺口位置	试验温度/°C	A_{KV}/J
PG8-3	U	焊缝 热影响区	常温	156.8, 66.6, 70.6 149.78.4, 76.4

硬度试验结果(HV₁₀)

检验报告编号 _____

焊 缝	热影响区	母 材
213, 221	227, 230	/

金相检验结果

检验报告编号 _____

宏 观	微 观	其它检验
/	焊缝 B+少量 F 热影响区 B+少量 F+少量 P	/

无损探伤检验结果 RT 合格 检验报告编号 _____

焊工 _____ 钢印号 _____ 焊工合格证号 _____

评定结论 合格

编 制		校 对		审 核		审 定	
日 期		日 期		日 期		日 期	

焊接工艺设计书

编号 No HSG-9工艺评定编号 HPG-9评定项目 10 万机组锅炉筒筒 BHW-35 钢 $\delta 95\text{mm}$ 环缝对接接头焊接方法 SMAW+SAW 自动化等级 手工+机械化 焊接位置 平 技术标准 锅规

接头坡口形式

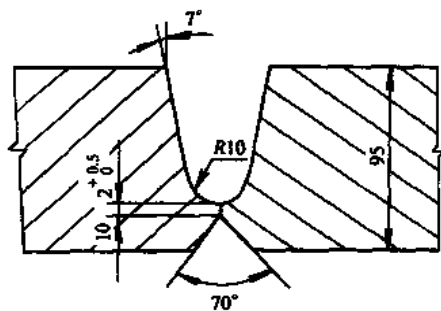


图 PG-9 左

焊接层次(顺序)

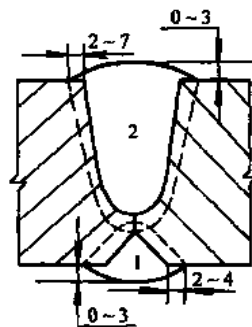


图 PG-9 右

首先以
SMAW 焊接
70°坡口, 反
面清根后, 再
以 SAW 焊满
U 形坡口

对焊接接头的基本要求

1. 力学性能

σ_b/MPa	σ_s/MPa	$\delta_5/\%$	弯曲角度/(°) ($d=3a$)	冲击试验			其 它
				缺口形式	试验温度/°C	A_{KV}/J	
568~735	/	/	180°	U	常温	≥ 59	HV ₁₀ ≤ 350

2. 其它 RT 检查 金相组织

母材	牌号 <u>BHW-35</u> 规格 <u>$\delta 95\text{mm}$</u> 类别 <u>II</u>						
焊接材料	焊条牌号 <u>J607</u>	焊条规格 <u>$\phi 4\text{mm}, \phi 5\text{mm}$</u>	型号 <u>E6015-D1</u>	钨极型号规格/	焊剂 <u>HJ350</u>	保护气 <u>/</u>	流量 <u>/</u>
	焊丝牌号 <u>H08Mn2MoA</u>	焊丝规格 <u>$\phi 4\text{mm}$</u>	型号 <u>/</u>	其它气体 <u>/</u>	流量 <u>/</u>		
预热 热处 理	预热温度 <u>150~200</u> °C 层间温度 <u>150~350</u> °C 后热温度, 时间 <u>/</u> 消氢温度, 时间 <u>350~400</u> °C, <u>2h</u> 中间热处理 <u>/</u> 时间 <u>/</u> 焊后热处理 <u>590~610</u> °C 时间 <u>7</u> h						
焊接工艺参数要求	电流种类 <u>直流</u> 极性 <u>反接</u> 焊接电流 <u>SMAW: $\phi 4\text{mm}$ I 140~170A, $\phi 5\text{mm}$ I 200~220A, 电弧电压 <u>22~25V</u> SAW: I 640~680A U 34~36V, 焊接速度 <u>20~30m/h</u> 送丝速度 <u>95~108m/h</u></u>						
操作技术要求	首先焊接 70°坡口, 以 SMAW 方法, 首层 $\phi 4\text{mm}$ 焊条, 其余层 $\phi 5\text{mm}$ 焊条, 正面清根后, 以 SAW 焊满坡口 焊后立即消氢处理, 焊接中断应保持预热温度						
编 制		校 对		审 核		批 准	
日 期		日 期		日 期		日 期	

焊接工艺评定书

编号 No HPG-9设计书编号 No HSG-9评定项目 10 万机组锅炉锅筒环缝 BHW-35 钢 $\delta 95\text{mm}$ 手弧焊+埋弧焊接头焊接方法 SMAW+SAW 自动化等级 手工+机械化 焊接位置 平 技术标准 锅规

接头坡口形式

见图 PG-9 左

焊接层次(顺序)

见图 PG-9 右

母材	检验编号 _____										
	牌号 <u>BHW-35</u>	规格 <u>$\delta 95\text{mm}$</u>	类别 <u>/</u>								
化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S	Mo	Ni	Nb	Cr		
	0.13	0.35	1.54	0.019	0.010	0.36	0.09	0.01	0.36		
力学性能	σ_s/MPa	652.0, 638.0		σ_t/MPa	493.0, 501.0		$\delta_5/\%$	18, 17		A_{kv}/J	162, 159, 170
焊材	检验编号 _____										
	焊丝牌号 <u>H08Mn2MoA</u>	焊丝规格 <u>$\phi 4\text{mm}$</u>	焊丝型号 _____	焊剂牌号 <u>HJ350</u>							
化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S	Mo					
	0.08	0.19	1.82	0.009	0.005	0.56					
焊条	焊条牌号 <u>J607</u> 焊条规格 <u>$\phi 4\text{mm}, \phi 5\text{mm}$</u> 焊条型号 <u>E6015-D1</u> 检验编号 _____										
熔敷金属化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S	Mo					
	0.09	0.41	1.70	0.008	0.01	0.43					
保护气体 <u>/</u> 流量 <u>/</u> 其它气体 <u>/</u> 流量 <u>/</u>											

预热及焊后热处理

预热温度 150~200 °C 层间温度 150~350 °C 后热温度 / 时间 / 消氢温度 350~400 °C
 时间 2 h 中间热处理温度 / 时间 / 焊后热处理温度 590~610 °C 时间 7 h

(续)

焊接工艺参数

电流种类 直流 极性 反接 SMAW: ϕ 4.0mm I_1 140~170A U_1 22~23V ϕ 5.0mm I_2 200~220A U_2 23~25VSAW: I 640~680A U 34~36V 焊接速度 20~30m/h 送丝速度 95~108m/h

操作技术

首先用手弧焊焊接 70°坡口,反面以电弧气刨清根,再以埋弧焊满坡口,焊后立即进行消氢处理

性能检验结果

拉伸试验

检验报告编号 _____

试样编号	试样形式	σ_b /MPa	σ_t /MPa	断裂位置	
PG9-1	板状 棒状	646.8, 637.2 550.8, 558.6(320°C)	/ 431.4, 441.2(320°C)	焊缝外	

定向弯曲

检验报告编号 _____

试样编号	试样形式	弯轴直径/mm	弯曲角度/(°)	检验结果
PG9-2	侧弯	$d=3a$	180	合格

冲击韧性试验

检验报告编号 _____

试样编号	缺口形式	缺口位置	试验温度/°C	A_{Ku}/J
PG9-3	U	焊缝 热影响区	常温	186.2, 154.7, 164.6 159.6, 167.2, 156.9

硬度试验结果(HV₁₀)

检验报告编号 _____

焊 缝	热影响区	母 材
215, 224	258, 262	120, 196

金相检验结果

检验报告编号 _____

宏 观	微 观	其它检验
	焊缝 B+少量 F 热影响区 B+少量 F+少量 P	

无损探伤检验结果 RT 合格 检验报告编号 _____

焊工 _____ 钢印号 _____ 焊工合格证号 _____

评定结论 合格

编 制		校 对		审 核		审 定	
日 期		日 期		日 期		日 期	

焊接工艺设计书

编号 No HSG-10

工艺评定编号 HPG-10

评定项目 高压锅炉锅筒环缝 13MnNiMoNb 钢 $\delta 100\text{mm}$ 手弧焊+埋弧焊接头

焊接方法 SMAW+SAW 自动化等级 手工+机械化 焊接位置 平 技术标准 钢规

接头坡口形式

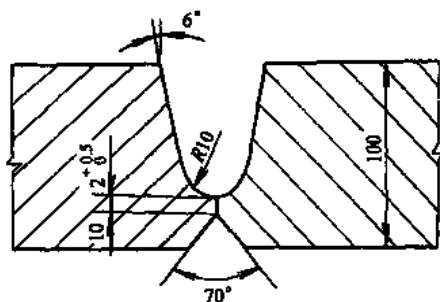


图 PG-10 左

焊接层次(顺序)

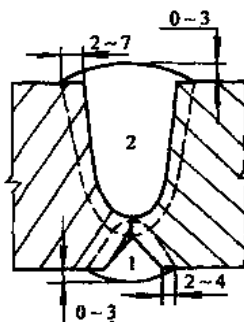


图 PG-10 右

首先以
SMAW 焊接
70°坡口, 反
面清根后再
以 SAW 焊满
U 形坡口

对焊接接头的基本要求

1. 力学性能

σ_b/MPa	σ_s/MPa	$\delta_5/\%$	弯曲角度/(°) ($d=3a$)	冲击试验			其 它
				缺口形式	试验温度/°C	A_{KV}/J	
≥ 568	/	/	100	V	50	≥ 49	$\sigma_b^{(350^\circ\text{C})} \geq 509$ $\sigma_s^{(350^\circ\text{C})} \geq 313$

2. 其它 RT 检查 金相组织、宏观

母材	牌号 13MnNiMoNb 规格 $\delta 100\text{mm}$ 类别 /					
焊接材料	焊条牌号 J607	焊条规格 $\phi 4\text{mm}, \phi 5\text{mm}$	型号 E6015-D1	钨极型号规格 /	焊剂 SJ101	
	焊丝牌号 S4Mo	焊丝规格 $\phi 4\text{mm}$	型号 /	保护气 /	流量 /	
				其它气体 /	流量 /	
预热 热处 理	预热温度 $\geq 150^\circ\text{C}$ 层间温度 $150\sim 350^\circ\text{C}$ 后热温度, 时间 /°C/h 消氢温度, 时间 $350\sim 400^\circ\text{C}$, 2h 中间热处理 /°C 时间 /h 焊后热处理 $590\sim 610^\circ\text{C}$ 时间 7 h					
焊接 工艺 参数 要求	电流种类 直流 极性 反接 焊接电流 SMAW: $I_1 \phi 4\text{mm}$ $I_1 140\sim 170\text{A}$; $\phi 5\text{mm}$ $I_2 200\sim 220\text{A}$; 电弧电压 $U_1 22\sim 24\text{V}$ $U_2 23\sim 25\text{V}$ SAW: $I 640\sim 680\text{A}$ $U 34\sim 36\text{V}$ 焊接速度 $25\sim 30\text{m/h}$ 送丝速度 $98\sim 108\text{m/h}$					
操作 技术 要求	首先以 SMAW 焊接 70°坡口, 反面清根后以 SAW 焊满坡口, 焊接中断应保持预热温度。焊接结束立即进行消氢处理					

编 制		校 对		审 核		批 准	
日 期		日 期		日 期		日 期	

焊接工艺评定书

编号 No HPG-10设计书编号 No HSG-10评定项目 高压锅炉钢管环缝 13MnNiMoNb 钢 $\delta 100\text{mm}$ 手电弧焊+埋弧焊焊接方法 SMAW+SAW 自动化等级 手工+机械化 焊接位置 平 技术标准 锅规

接头坡口形式

见图 PG-10 左

焊接层次(顺序)

见图 PG-10 右

母材	检验编号 _____								钨极型号 /		直径 / mm
	牌号 <u>13MnNiMoNb</u>	规格 <u>$\delta 100\text{mm}$</u>	类别 /								
化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S	Mo	Nb	Ni			
	0.13	0.38	1.43	0.012	0.009	0.37	0.008	0.81			
力学性能	σ_s/MPa	601,594		σ_t/MPa	498,487		$\delta_5/\%$	17.4,18		A_{KV}/J	174,186,190
焊材	检验编号 _____										
	焊丝牌号 <u>S4Mo</u>	焊丝规格 <u>$\phi 4\text{mm}$</u>	焊丝型号		焊剂牌号 <u>SJ101</u>						
化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S	Mo					
	0.13	0.14	1.82	0.009	0.006	0.50					
焊条	焊条牌号 <u>J607</u> 焊条规格 <u>$\phi 4\text{mm}, \phi 5\text{mm}$</u> 焊条型号 <u>E6015-D1</u> 检验编号 _____										
	C	Si	Mn	P	S	Mo					
熔敷金属化学成分(%)	0.12	0.54	1.60	0.010	0.009	0.29					
保护气体 / 流量 / 其它气体 / 流量 /											

预热及焊后热处理

预热温度 ≥ 150 °C 层间温度 150~350 °C 后热温度 / °C 时间 / 消氢温度 350~400 °C
 时间 2 h 中间热处理温度 / °C 时间 / 焊后热处理温度 590~610 °C 时间 7 h

(续)

焊接工艺参数

电流种类 直流 极性 反接 SMAW: ϕ 4.0mm I_1 140~170A U_1 22~24V ϕ 5mm I_2 200~220A U_2 23~25V

SAW: I 640~680A U 34~36V 焊接速度 25~30m/h 送丝速度 98~108m/h

操作技术

首先以 SMAW 焊接 70°坡口。反面电弧气刨清根后以 SAW 焊满 U 形坡口。焊接中断后维持预热温度,焊接结束立即消氢处理

性能检验结果

拉伸试验

检验报告编号 _____

试样编号	试样形式	σ_b /MPa	σ_s /MPa	断裂位置	
PG10-1	板状	392,573	(350°C)	焊缝外	
PG10-2	棒状	529,511	387,350		

定向弯曲

检验报告编号 _____

试样编号	试样形式	弯轴直径/mm	弯曲角度/(°)	检验结果
PG10-3	侧弯	$d=3a$	100	合格

冲击韧性试验

检验报告编号 _____

试样编号	缺口形式	缺口位置	试验温度/°C	A_{KV} /J
PG10-4	V	焊缝 热影响区	50	138,134,180 175,176,167

硬度试验结果(HV₁₀)

检验报告编号 _____

焊 缝	热影响区	母 材
216,228	254,260	220,240

金相检验结果

检验报告编号 _____

宏 观	微 观	其它检验
合 格	母材 <u>F+P+B</u> 焊缝 <u>B+F</u> 热影响区 <u>B+F</u>	

无损探伤检验结果 RT 合格 检验报告编号 _____

焊工 _____ 钢印号 _____ 焊工合格证号 _____

评定结论 合格

编 制		校 对		审 核		审 定	
日 期		日 期		日 期		日 期	

焊接工艺设计书

编号 No HSG-11工艺评定编号 HPG-11评定项目 10 万机组锅炉锅筒纵缝 BHW-35 钢 $\delta 95\text{mm}$ 电渣焊接头焊接方法 ESW 自动化等级 自动 焊接位置 立 技术标准 锅规

接头坡口形式

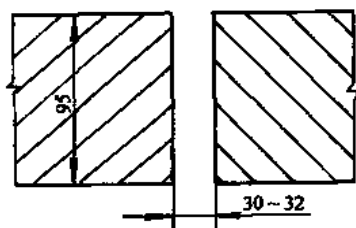


图 PG-11 左

焊接层次(顺序)

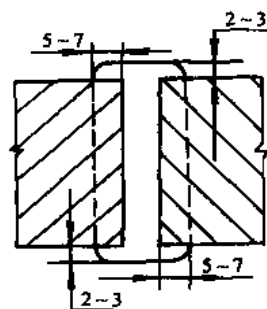


图 PG-11 右

对焊接接头的基本要求

1. 力学性能

σ_b/MPa	σ_s/MPa	$\delta_5/\%$	弯曲角度/(°) ($d=3a$)	冲击试验			其它
				缺口形式	试验温度/°C	A_{KV}/J	
568~735	≥ 392	/	100	U	常温	≥ 59	$HV_{10} \leq 350$

2. 其它 RT 检查 金相组织、宏观

母材	牌号 <u>BHW-35</u> 规格 <u>δ 95mm</u> 类别 <u> </u>			
焊接材料	焊条牌号 <u>J607</u>	焊条规格 <u>ϕ 4mm, ϕ 5mm</u>	型号 <u>E6015-D1</u>	钨极型号规格/ 焊剂 <u>HJ431</u>
	焊丝牌号 <u>H10Mn2NiMo</u>	焊丝规格 <u>ϕ 3mm</u>	型号 <u> </u>	保护气 <u>/</u> 流量 <u>/</u> 其它气体 <u>/</u> 流量 <u>/</u>
预热 热处理 后理	预热温度 <u>/</u> 层间温度 <u>/</u> 后热温度, 时间 <u>/</u> 消氢温度, 时间 <u>/</u> 中间热处理 <u> </u> 时间 <u> </u> 焊后热处理 <u>正火 920~940°C + 回火 610~640 °C</u> 时间 <u>2+3 h</u>			
焊接工艺参数要求	电流种类 <u>交流</u> 极性 <u> </u> 焊接电流 <u>I 400~500A</u> 电弧电压 <u>U 41~43V</u> 渣池深 <u>65~70mm</u> 间隙 <u>30~32mm</u> 焊丝根数 <u>2根</u> 丝距 <u>55~60mm</u>			
操作技术要求				

编 制		校 对		审 核		批 准	
日 期		日 期		日 期		日 期	

焊接工艺评定书

编号 No HPG-11设计书编号 No HSG-11评定项目 10 万机组锅炉炉筒纵缝 BHW-35 钢 $\delta 95\text{mm}$ 电渣焊接头焊接方法 ESW 自动化等级 自动 焊接位置 立 技术标准 钢规

接头坡口形式

见图 PG-11 左

焊接层次(顺序)

见图 PG-11 右

母材	检验编号 _____								钨极型号 _____		直径 _____ mm	
	牌号 <u>BHW-35</u>	规格 <u>$\delta 100\text{mm}$</u>	类别 _____									
化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S	Nb	Ni	Cr	Mo			
	0.13	0.46	1.54	0.019	0.010	0.01	0.88	0.36	0.36			
力学性能	σ_s/MPa		652.0, 638.0		σ_s/MPa		493.0, 501.0		$\delta_5/\%$		18.17	
									A_{KV}/J		162, 159, 170	
焊材	检验编号 _____											
	焊丝牌号 <u>H10Mn2NiMo</u> 焊丝规格 <u>$\phi 3\text{mm}$</u> 焊丝型号 _____ 焊剂牌号 <u>HJ431</u>											
化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S	Mo	Ni					
	0.12	0.34	1.95	0.010	0.011	0.57	1.31					
焊条	焊条牌号 _____ 焊条规格 _____ 焊条型号 _____ 检验编号 _____											
熔敷金属化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S							

保护气体 / 流量 / 其它气体 / 流量 /

预热及焊后热处理

预热温度 / 层间温度 / 后热温度 / 时间 / 消氢温度 / 时间 h

中间热处理温度 / 时间 / 焊后热处理温度 正火 920~940+回火 610~640 °C 时间 2+3 h

(续)

焊接工艺参数

电流种类 交流 极性 / I 400~500A U 41~43V 渣池深 65~70mm 间隙 30~32mm
 两根焊丝 丝距 55~60mm

操作技术

性能检验结果

拉伸试验

检验报告编号 _____

试样编号	试样形式	σ_b /MPa	σ_s /MPa	断裂位置	
PG11-1	板状	676.2, 666.0, 676.0			
PG11-2	棒状	666.0, 656.6	529.2, 506.9	焊缝外	

定向弯曲

检验报告编号 _____

试样编号	试样形式	弯轴直径/mm	弯曲角度/(°)	检验结果
PG11-3	侧弯	$d=3a$	100	合格

冲击韧性试验

检验报告编号 _____

试样编号	缺口形式	缺口位置	试验温度/°C	A_{KV} /J
PG11-4	U	焊缝 热影响区	常温	171.5, 149, 123.4 207.8, 149, 133.3

硬度试验结果(HV₁₀)

检验报告编号 _____

焊 缝	热影响区	母 材
159, 168, 148	228, 203, 199	104, 109, 104

金相检验结果

检验报告编号 _____

宏 观	微 观	其它检验
合 格	母材 <u>F+C+少量F</u> 焊缝 <u>B+F</u> 热影响区 <u>F+B</u>	/

无损探伤检验结果 RT 合格 检验报告编号 _____

焊工 _____ 钢印号 _____ 焊工合格证号 _____

评定结论 合格

编 制		校 对		审 核		审 定	
日 期		日 期		日 期		日 期	

焊接工艺设计书

编号 No HSG-12工艺评定编号 HPG-12评定项目 10 万机组锅炉锅筒与封头对接环缝 14MnMoVg+BHW-35 钢 手弧焊+埋弧焊接头焊接方法 SMAW+SAW 自动化等级 手工+机械化 焊接位置 平 技术标准 钢规

接头坡口形式

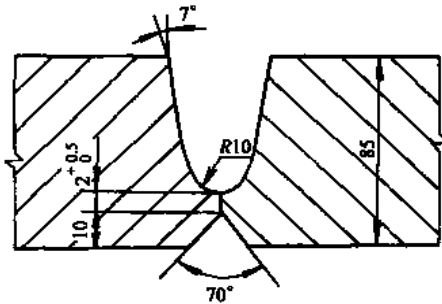


图 PG-12 左

焊接层次(顺序)

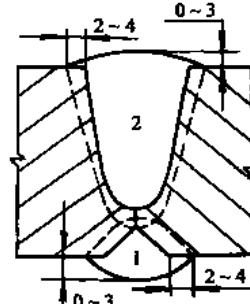


图 PG-12 右

首先以 SMAW
焊 70°坡口, 反面
清根后, 以 SAW
焊满 U 形坡口

对焊接接头的基本要求

1. 力学性能

σ_b /MPa	σ_s /MPa	δ_5 /%	弯曲角度/(°) ($d=3a$)	冲击试验			其 它
				缺口形式	试验温度/°C	A_{KV} /J	
≥ 568	≥ 392	/	100°	U	常温	≥ 68.6	$HV_{10} \leq 350$ $\sigma_b^{(320^\circ C)}$ ≥ 539 $\sigma_s^{(320^\circ C)} \geq 323$

2. 其它

母材	14MnMoVg 牌号 <u>BHW-35</u> 规格 <u>δ 85mm</u> 类别 <u>Ⅱ</u>						
焊接材料	焊条牌号 <u>J607</u> 焊条规格 <u>ϕ 4mm, ϕ 5mm</u> 型号 <u>E6015-D1</u> 焊条型号规格 <u>/</u> 焊剂 <u>HJ350</u> 保护气 <u>/</u> 流量 <u>/</u> 焊丝牌号 <u>H08Mn2MoA</u> 焊丝规格 <u>ϕ 4mm</u> 型号 <u>/</u> 其它气体 <u>/</u> 流量 <u>/</u>						
预热 热处 理	预热温度 <u>150~200 °C</u> 层间温度 <u>150~350 °C</u> 后热温度, 时间 <u>/ °C/h</u> 消氢温度, 时间 <u>350~400°C, 2h</u> 中间热处理 <u>/</u> 时间 <u>/</u> 焊后热处理 <u>600~630 °C</u> 时间 <u>7 h</u>						
焊接 工艺 参数 要求	电流种类 <u>直流</u> 极性 <u>反接</u> 焊接电流 <u>SMAW: ϕ 4mm I_1 140~170A, ϕ 5mm I_2 200~220A;</u> 电弧电压 <u>U_1 22~24V U_2 23~25V</u> <u>SAW: I 640~680A U 34~36V, 焊接速度 20~30m/h 送丝速度 95~108m/h</u>						
操作 技术 要求	首先以 SMAW 焊接 70°坡口, 反面清根后再以 SAW 焊满 U 形坡口, 焊接过程中断后维持预热温度, 焊后立即消氢处理						
编 制		校 对		审 核		批 准	
日 期		日 期		日 期		日 期	

焊接工艺评定书

编号 No HPG-12设计书编号 No HSG-12评定项目 10 万机组锅炉钢筒与封头对接环缝 14MnMoVg+BHW-35 钢 手弧焊+埋弧焊接头焊接方法 SMAW+SAW 自动化等级 手工+机械化 焊接位置 平 技术标准 锅规

接头坡口形式

见图 PG-12 左

焊接层次(顺序)

见图 PG-12 右

母材	检验编号 _____										
	牌号 <u>14MnMoVg</u> <u>BHW-35</u>	规格 <u>δ 85mm</u>	类别 <u>II</u>	钨极型号 _____ 直径 <u>/</u>							
化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S	Mo	Cr	Ni			
	0.10	0.35	1.48	0.019	0.010	0.44					
	0.13	0.46	1.54	0.010	0.009	0.36	0.36	0.88			
力学性能	σ_b /MPa	641,652		σ_s /MPa	493,502		δ_5 /%	/		$A_{KV}/(J)$	147,152,150
焊材	检验编号 _____										
	焊丝牌号 <u>H08Mn2MoA</u> 焊丝规格 <u>φ 4mm</u> 焊丝型号 _____ 焊剂牌号 <u>HJ350</u>										
化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S	Mo					
	0.08	0.19	1.82	0.009	0.006	0.56					
焊条	焊条牌号 <u>J607</u> 焊条规格 <u>φ 4mm, φ 5mm</u> 焊条型号 <u>E6015-D1</u> 检验编号 _____										
熔敷金属化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S	Mo					
	0.09	0.41	1.70	0.008	0.010	0.43					
保护气体 <u>/</u> 流量 <u>/</u> 其它气体 <u>/</u> 流量 <u>/</u>											

预热及焊后热处理

预热温度 150~200 °C 层间温度 150~350 °C 后热温度 _____ 时间 _____ 消氢温度 350~400 °C
 时间 2 h 中间热处理温度 _____ 时间 _____ 焊后热处理温度 600~630 °C 时间 7 h

(续)

焊接工艺参数

电流种类 直流 极性 反接 SMAW, $\phi 4\text{mm}, I_1$ 140~170A $\phi 5\text{mm}, I_2$ 200~220A U_1 22~24V U_2 23~25VSAW, I 640~680A U 34~36V 焊接速度 25~30m/h 送丝速度 95~108m/h

操作技术

首先以 SMAW 焊接 70°坡口, 反面电弧气刨清根后以 SAW 焊满 U 形坡口

焊接过程中断后维持预热温度, 焊接结束后立即消氢处理

性能检验结果

拉伸试验

检验报告编号 _____

试样编号	试样形式	σ_b/MPa	σ_s/MPa	断裂位置	
PG12-1	板状	656.6, 656.6	(320°C)	焊缝外	
PG12-2	棒状	578.2, 588(320°C)	490, 470.4		

定向弯曲

检验报告编号 _____

试样编号	试样形式	弯轴直径/mm	弯曲角度/(°)	检验结果
PG12-3	侧弯	$d=3a$	100	合格

冲击韧性试验

检验报告编号 _____

试样编号	缺口形式	缺口位置	试验温度/°C	A_{KV}/J
PG12-4	U	焊缝 热影响区	常温	156.8, 66.6, 70.6 14MnMoV 侧 161.7, 117.6, 78.4 BHW-35 侧 112.8, 142.90

硬度试验结果(HV₁₀)

检验报告编号 _____

焊 缝	热影响区	母 材
213, 207	14MnMoV 侧 234, 201 BHW-35 侧 133, 227, 230	14MnMoV 侧 201, 184 BHW-35 侧 209, 206

金相检验结果

检验报告编号 _____

宏 观	微 观	其它检验
合 格	14MnMoV 侧 F+P+B BHW-35 侧 F+B+P 焊缝 B+少量 F 两侧热影响区 B+少量 F	/

无损探伤检验结果 RT 合格 检验报告编号 _____

焊工 _____ 钢印号 _____ 焊工合格证号 _____

评定结论 合格

编 制	校 对	审 核	审 定
日 期	日 期	日 期	日 期

焊接工艺设计书

编号 No HSG-13工艺评定编号 HPG-13评定项目 5 万机组锅炉筒纵缝 SA299 钢 $\delta 90\text{mm}$ 电渣焊接头焊接方法 ESW 自动化等级 自动 焊接位置 立 技术标准 钢规

接头坡口形式

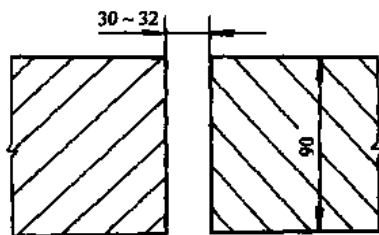


图 PG-13 左

焊接层次(顺序)

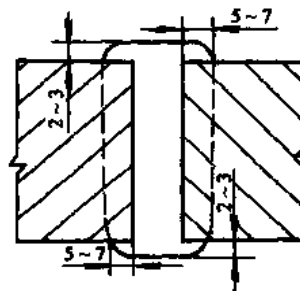


图 PG-13 右

对焊接接头的基本要求

1. 力学性能

σ_b/MPa	σ_s/MPa	$\delta_s/\%$	弯曲角度/(°) ($d=3a$)	冲击试验			其它
				缺口形式	试验温度/°C	A_{kv}/J	
≥ 515	/	/	100°	V	50°C	≥ 35	$HV_{10} \leq 280$ $\sigma_b^{(320^\circ\text{C})} \geq 468$ $\sigma_s^{(320^\circ\text{C})} \geq 216$

2. 其它

母材	牌号 SA299 规格 δ 90mm 类别 P1-2						
焊接材料	焊条牌号 /	焊条规格 /	型号 /	钨极型号规格 / 焊剂 HJ431			
	保护气 /		流量 /				
	焊丝牌号 H10Mn2Mo	焊丝规格 ϕ 3mm	型号 /	其它气体 / 流量 /			
预热 热处理	预热温度 / 层间温度 / 后热温度, 时间 / 消氢温度, 时间 /						
	中间热处理 / 时间 / 焊后热处理 正火 910~930+回火 610~630 °C 时间 2.5+3 h						
焊接 工艺 参数 要求	电流种类 交流 极性 / 焊接电流 I 450~500A 电弧电压 U 40~42V 焊接速度 1~1.2m/h						
	2根焊丝, 丝距 50~60mm 渣池深度 50~60mm						
操作 技术 要求							
编 制		校 对		审 核		批 准	
日 期		日 期		日 期		日 期	

焊接工艺评定书

编号 No HPG-13设计书编号 No HSG-13评定项目 5 万机组锅炉锅筒纵缝 SA299 钢 $\delta 90\text{mm}$ 电渣焊接头焊接方法 ESW 自动化等级 自动 焊接位置 立 技术标准 钢规

接头坡口形式

焊接层次(顺序)

见图 PG-13 左

见图 PG-13 右

母材	检验编号 _____										
	牌号 <u>SA299</u>	规格 <u>$\delta 90\text{mm}$</u>	类别 <u>PI-2</u>	钨极型号 <u>/</u> 直径 <u>/</u>							
化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S						
	0.19	0.30	1.52	0.013	0.006						
力学性能	σ_b/MPa	592,598		σ_s/MPa	384,401		$\delta_5/\%$			A_{kv}/J	168,179,191
焊丝	检验编号 _____										
	焊丝牌号 <u>H08Mn2Mo</u>	焊丝规格 <u>$\phi 3\text{mm}$</u>	焊丝型号 <u>/</u>	焊剂牌号 <u>HJ431</u>							
化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S	Mo					
	0.12	0.26	1.85	0.016	0.024	0.70					
焊条	焊条牌号 <u>/</u> 焊条规格 <u>/</u> 焊条型号 <u>/</u> 检验编号 _____										
熔敷金属化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S						
	/	/	/	/	/						
保护气体 <u>/</u> 流量 <u>/</u> 其它气体 <u>/</u> 流量 <u>/</u>											

预热及焊后热处理

预热温度 / 层间温度 / 后热温度 / 时间 / 消氢温度 / 时间 / h中间热处理温度 / 时间 / 焊后热处理温度 正火 910~930+回火 610~630 °C 时间 2.5+3 h

(续)

焊接工艺参数

电流种类 交流 极性 / I 450~500A U 40~42V 焊接速度 1~1.2m/h 两根焊丝 丝距 50~60mm 渣池深度 50~60mm

操作技术

性能检验结果

拉伸试验

检验报告编号 _____

试样编号	试样形式	σ_s /MPa	σ_t /MPa	断裂位置	高温短时强度/MPa
PG13-1	板状	578,589		焊缝外	$\sigma_s^{(320^\circ\text{C})}=364,350$
PG13-2	棒状	630,620		/	$\sigma_b^{(320^\circ\text{C})}=520,499$

定向弯曲

检验报告编号 _____

试样编号	试样形式	弯轴直径/mm	弯曲角度/(°)	检验结果
PG13-3	侧弯	$d=3a$	100	合格

冲击韧性试验

检验报告编号 _____

试样编号	缺口形式	缺口位置	试验温度/°C	A_{KV} /J
PG13-4	V	焊缝 热影响区	50	37.5,42.5,55.5 177.5,190,182.5

硬度试验结果(HV₁₀)

检验报告编号 _____

焊 缝	热影响区	母 材
177,177	188,180	150,142

金相检验结果

检验报告编号 _____

宏 观	微 观	其它检验
合 格	母材 $\frac{F+P}{F+P}$ 焊缝 $\frac{F+P}{F+P}$ 热影响区 $\frac{F+P}{F+P}$	

无损探伤检验结果 RT 合格 检验报告编号 _____

焊工 _____ 钢印号 _____ 焊工合格证号 _____

评定结论 合格

编 制	校 对	审 核	审 定
日 期	日 期	日 期	日 期

焊接工艺设计书

编号 No HSG-14

工艺评定编号 HPG-14

评定项目 锅炉筒筒与下降管 14MnMoVNig+20MnMo 钢 手电弧焊接头

焊接方法 SMAW 自动化等级 手工 焊接位置 平 技术标准 钢规

接头坡口形式

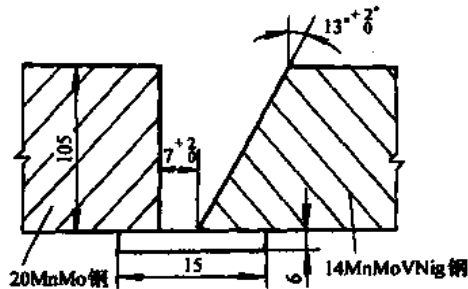


图 PG-14 左

焊接层次(顺序)

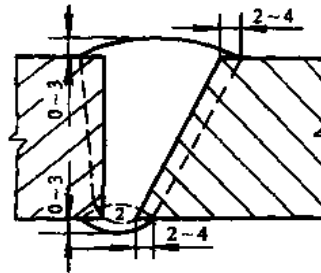


图 PG-14 右

正面 V 形
坡口焊前,
清除内部垫
板并清根再
焊接 1~2 层

对焊接接头的基本要求

1. 力学性能

σ_s /MPa	σ_t /MPa	δ_5 /%	弯曲角度/(°) ($d=3a$)	冲击试验			其它
				缺口形式	试验温度/°C	A_{kv} /J	
≥ 558	≥ 392	/	100°	U	50	≥ 59	$\sigma_s^{(350^\circ\text{C})}$, $\sigma_b^{(350^\circ\text{C})}$

2. 其它 RT 检查 金相组织、宏观

母材	14MnMoVNig 牌号 规格 $\phi 105\text{mm}$ 类别 II 20MnMo						
焊接材料	焊条牌号 J557	焊条规格 $\phi 4\text{mm}, \phi 5\text{mm}$	型号 E5515	焊极型号规格 /	焊剂 /	保护气 /	流量 /
	焊丝牌号 /	焊丝规格 /	型号 /	其它气体 /	流量 /		
预热 热处 理	预热温度 $\geq 150^\circ\text{C}$ 层间温度 $150\sim 350^\circ\text{C}$ 后热温度, 时间 $150\sim 200^\circ\text{C}$ 2h 消氢温度 $^\circ\text{C}$, 时间 $350\sim 400^\circ\text{C}$, 2h 中间热处理 $^\circ\text{C}$ 时间 / h 焊后热处理 $590\sim 610^\circ\text{C}$ 时间 7 h						
焊接 工艺 参数 要求	电流种类 直流 极性 反接 焊接电流 $\phi 4\text{mm}$ I_1 160~180A; $\phi 5\text{mm}$ I_2 220~240A; 电弧电压 U_1 22~24V U_2 23~25V						
操作 技术 要求							
编 制		校 对		审 核		批 准	
日 期		日 期		日 期		日 期	

焊接工艺评定书

编号 No HPG-14设计书编号 No HSG-14评定项目 锅炉锅筒与下降管 14MnMoVNig+20MnMo 钢 手弧焊接头焊接方法 SMAW 自动化等级 手工 焊接位置 平 技术标准 钢规

接头坡口形式

见图 PG-14 左

焊接层次(顺序)

见图 PG-14 右

母材	检验编号 <u> </u>								钨极型号 <u> / </u> 直径 <u> / </u>			
	牌号 <u>14MnMoVNig</u> 规格 <u>δ 105mm</u> 类别 <u>Ⅱ</u> <u>20MnMo</u>											
化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S	Mo	Ni	V				
	0.13	0.21	1.39	0.010	0.011	0.49	0.53	0.15				
	0.18	0.30	1.34	0.028	0.022	0.25	0.12					
力学性能	σ_b /MPa		620,585,800		σ_s /MPa		472,485,620		δ_5 /%		19.4,20.6	
									A_{KV}/J		127,124,114	
焊材	检验编号 <u> </u>											
	焊丝牌号 <u> / </u> 焊丝规格 <u> </u> 焊丝型号 <u> / </u> 焊剂牌号 <u> / </u>											
化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S							
	/	/	/	/	/							
焊条	焊条牌号 <u>J557</u> 焊条规格 <u>φ 4mm, φ 5mm</u> 焊条型号 <u>E5515</u> 检验编号 <u> </u>											
熔敷金属化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S							
	0.08	0.42	1.40	0.011	0.013							
保护气体 <u> / </u> 流量 <u> / </u> 其它气体 <u> / </u> 流量 <u> / </u>												

预热及焊后热处理

预热温度 ≥150 层间温度 150~350 °C 后热温度 150~200 °C 时间 2 h 消氢温度 350~400 °C
 时间 2 h 中间热处理温度 / 时间 / 焊后热处理温度 590~610 °C 时间 7 h

(续)

焊接工艺参数

电流种类 直流 极性 反接 $\phi 4\text{mm}, I_1$ 160~180A U_1 22~24V $\phi 5\text{mm}, I_2$ 220~240A U_2 23~25V

操作技术

性能检验结果

拉伸试验

检验报告编号 _____

试样编号	试样形式	σ_b/MPa	σ_s/MPa	断裂位置	高温短时强度/MPa
PG14-1 PG14-2	板状 棒状 (全焊缝)	592.9, 586.0 567.2, 573.0	/ 484.3, 490	焊缝上	$\sigma_s^{(350^\circ\text{C})}$ 561.5 $\sigma_b^{(350^\circ\text{C})}$ 494.8

定向弯曲

检验报告编号 _____

试样编号	试样形式	弯轴直径/mm	弯曲角度/(°)	检验结果
PG14-3	侧弯	$d=3a$	100	合格

冲击韧性试验

检验报告编号 _____

试样编号	缺口形式	缺口位置	试验温度/°C	A_{KV}/J
PG14-4	U	焊缝 热影响区	50°C	230, 220.5, 254.8 14MnMoVNig 侧 164, 196, 191.1 20MnMo 侧 86.2, 245, 66.6

硬度试验结果(HV₁₀)

检验报告编号 _____

焊 缝	热影响区	母 材
180, 144	14MnMoVNig 侧 236, 261 20MnMo 侧 185, 155	204, 198 156, 160

金相检验结果

检验报告编号 _____

宏 观	微 观	其它检验
合 格	/ 焊缝 B+F+P 热影响区 B+F+P	/

无损探伤检验结果 RT 合格 检验报告编号 _____

焊工 _____ 钢印号 _____ 焊工合格证号 _____

评定结论 合格

编 制	校 对	审 核	审 定
日 期	日 期	日 期	日 期

焊接工艺设计书

编号 No HSG-15

工艺评定编号 HPG-15

评定项目 5 万机组钢筒纵缝 19Mn6 钢 $\delta 120\text{mm}$ 电渣焊接头

焊接方法 ESW 自动化等级 自动 焊接位置 立 技术标准 钢规

接头坡口形式

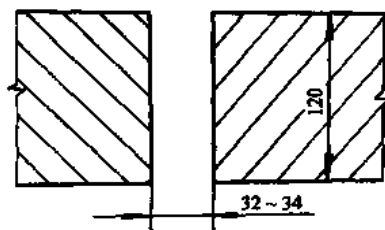


图 PG-15 左

焊接层次(顺序)

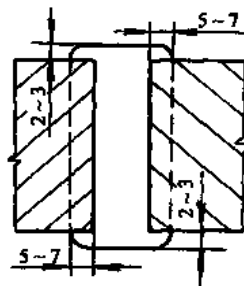


图 PG-15 右

对焊接接头的基本要求

1. 力学性能

σ_b/MPa	σ_s/MPa	$\delta_5/\%$	弯曲角度/(°) ($d=3a$)	冲击试验			其它
				缺口形式	试验温度/°C	A_{kv}/J	
≥ 480			100	V	常温	≥ 27	全焊缝 $\sigma_b^{(350^\circ\text{C})} \geq 467$ $\sigma_s^{(350^\circ\text{C})} \geq 175$ $HV_{10} \leq 280$

2. 其它 RT 检查 HV_{10}

母材	牌号 <u>19Mn6</u> 规格 <u>$\delta 120\text{mm}$</u> 类别 <u> </u>			
焊接材料	焊条牌号 <u> </u>	焊条规格 <u> </u>	型号 <u> </u>	钨极型号规格 <u> </u>
	焊丝牌号 <u>10Mn2Mo</u>	焊丝规格 <u>$\phi 3\text{mm}$</u>	型号 <u> </u>	保护气 <u> </u>
			其它气体 <u> </u>	流量 <u> </u>
预热 热处理 后理	预热温度 <u>/</u> 层间温度 <u>/</u> 后热温度,时间 <u>/</u> 消氢温度,时间 <u>/</u>			
	中间热处理 <u>/</u> 时间 <u>/</u> 焊后热处理 <u>正火 910~930+回火 560~580</u> °C 时间 <u>3+6</u> h			
焊接工艺 参数要求	电流种类 <u>交流</u> 极性 <u> </u> 焊接电流 <u>I 450~500A</u> <u>U 39~42V</u> 焊接速度 <u>1~1.2m/h</u> <u>3 根焊丝,</u>			
	<u>丝距 40~45mm</u> <u>渣池深 60~65mm</u>			
操作技术要求				
编 制		校 对		审 核
日 期		日 期		日 期
				批 准
				日 期

焊接工艺评定书

编号 No HPG-15设计书编号 No HSG-15评定项目 5 万机组锅炉纵缝 19Mn6 钢 δ 120mm 电渣焊接头焊接方法 ESW 自动化等级 自动 焊接位置 立 技术标准 钢规

接头坡口形式

见图 PG-15 左

焊接层次(顺序)

见图 PG-15 右

母材	检验编号 _____											
	牌号 <u>19Mn6</u>		规格 <u>δ 120mm</u>		类别 <u>/</u>		钢板型号 <u>/</u> 直径 <u>/</u>					
化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S							
	0.19	0.44	1.51	0.022	0.005							
力学性能	σ_s /MPa		580		σ_b /MPa		380		δ_5 /%	33	A_{KV} /J	168,190,184
焊材	检验编号 _____											
	焊丝牌号 <u>H10Mn2Mo</u> 焊丝规格 <u>ϕ 3mm</u> 焊丝型号 <u>/</u> 焊剂牌号 <u>HJ431</u>											
化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S	Mo						
	0.12	0.26	1.85	0.024	0.016	0.70						
焊条	焊条牌号 <u>/</u> 焊条规格 <u>/</u> 焊条型号 <u>/</u> 检验编号 _____											
熔敷金属化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S							
	/	/	/	/	/							
保护气体 <u>/</u> 流量 <u>/</u> 其它气体 <u>/</u> 流量 <u>/</u>												

预热及焊后热处理

预热温度 / 层间温度 / 后热温度 / 时间 / 消氢温度 / 时间 / h中间热处理温度 / 时间 / 焊后热处理温度 正火 910~930+560~580 °C 时间 3+6 h

(续)

焊接工艺参数

电流种类 交流 极性 / I 450~500A U 39~42V 焊接速度 1~1.2m/h 3根焊丝 丝距 40~45mm 渣池深 60~65mm

操作技术

性能检验结果

拉伸试验

检验报告编号 _____

试样编号	试样形式	σ_s /MPa	σ_b /MPa	断裂位置	
PG15-1	板状	586,574	/	焊缝外	
PG15-2	棒状 (全焊缝)	(350°C) 587,573	(350°C) 349,318	/	

定向弯曲

检验报告编号 _____

试样编号	试样形式	弯轴直径/mm	弯曲角度/(°)	检验结果
PG15-3	侧弯	$d=3a$	100	合格

冲击韧性试验

检验报告编号 _____

试样编号	缺口形式	缺口位置	试验温度/°C	A_{KV}/J
PG15-4	V	焊缝 热影响区	20	32,36,32 156,182,184

硬度试验结果(HV₁₀)

检验报告编号 _____

焊 缝	热影响区	母 材
158,158	179,193,193	

金相检验结果

检验报告编号 _____

宏 观	微 观	其它检验
	母材 <u>F+P</u> 焊缝 <u>F+P+W</u> 热影响区 <u>F+P</u>	

无损探伤检验结果 RT 合格 检验报告编号 _____

焊工 _____ 钢印号 _____ 焊工合格证号 _____

评定结论 合格

编 制		校 对		审 核		审 定	
日 期		日 期		日 期		日 期	

焊接工艺设计书

编号 No HSG-16

工艺评定编号 HPG-16

评定项目 60 万机组锅炉锅筒纵缝 SA299 钢 $\delta 170\text{mm}$ 手弧焊+窄间隙埋弧焊接头

焊接方法 SMAW+NGSAW 自动化等级 手工+自动化 焊接位置 平 技术标准 ASME

接头坡口形式

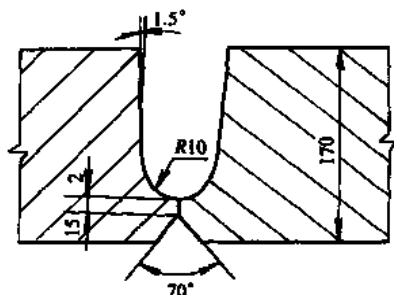


图 PG-16 左

焊接层次(顺序)

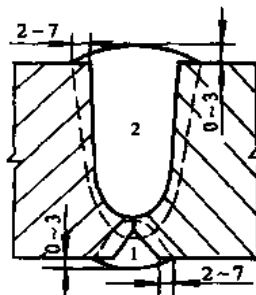


图 PG-16 右

首先以 SMAW
焊接 70°坡口,正
面 U 形坡口根部
清理后,以 NG-
SAW 焊满坡口

对焊接接头的基本要求

1. 力学性能

σ_b/MPa	σ_s/MPa	$\delta_5/\%$	弯曲角度/(°) ($d=4a$)	冲击试验			其 它
				缺口形式	试验温度/°C	A_{KV}/J	
≥ 515	/	/	180°	V	5	$\geq 27\text{J}$	370° σ_b 及全焊缝 370°C σ_b 、 σ_s 、 $HV_{10} \leq 280$

2. 其它 RT 检查 金相组织 宏观

母材	牌号 SA299 规格 δ 170mm 类别 P1-2						
焊接材料	焊条牌号 E7018-A 焊条规格 ϕ 4mm、 ϕ 5mm 型号 焊极型号规格 / 焊剂 SJ101 焊丝牌号 S3Mo 焊丝规格 ϕ 4mm 型号 / 保护气 / 流量 / 其它气体 / 流量 /						
预热 焊后 处理	预热温度 $\geq 150^{\circ}\text{C}$ 层间温度 150~350 $^{\circ}\text{C}$ 后热温度,时间 150~200 $^{\circ}\text{C}$,2h 消氢温度,时间 / 中间热处理 / $^{\circ}\text{C}$ 时间 / h 焊后热处理 610~630 $^{\circ}\text{C}$ 时间 3.5h						
焊接 工艺 参数 要求	电流种类 直流 极性 反接 焊接电流 SMAW: ϕ 4mm I_1 170~190A ϕ 5mm I_2 220~240A 电弧电压 U_1 22~24V U_2 23~25V NGSAW:第一层 I 550~580A 其它层 I 500~550A U 29~31V 焊接速度 29~31m/h						
操作 技术 要求	首先以 SMAW 焊接 70 $^{\circ}$ 反面坡口,正面清理后以 NGSAW 焊满 U 形坡口						
编 制		校 对		审 核		批 准	
日 期		日 期		日 期		日 期	

焊接工艺评定书

编号 No HPG-16设计书编号 No HSG-16评定项目 60 万机组锅炉锅筒纵缝 SA299 钢 $\phi 170\text{mm}$ 焊条电弧焊+窄间隙埋弧焊焊接方法 SMAW+NGSAW 自动化等级 手工+自动化 焊接位置 平 技术标准 ASME

接头坡口形式

焊接层次(顺序)

见图 PG-16 左

见图 PG-16 右

母材	检验编号 _____										
	牌号	SA299		规格	$\phi 170\text{mm}$		类别	P1-2			钢板型号 / 直径 / mm
化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S						
	0.24	0.21	1.26	0.023	0.013						
力学性能	σ_b/MPa	528,531		σ_s/MPa	305,314		$\delta_5/\%$	20.1,19.8		A_{KV}/J	5°C,184,132,118
焊材	检验编号 _____										
	焊丝牌号	S3Mo		焊丝规格	$\phi 4\text{mm}$		焊丝型号	/		焊剂牌号	SJ101
化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S	Mo					
	0.10	0.10	1.45	0.020	0.012	0.48					
焊条	焊条牌号 <u>E7018-A1</u> 焊条规格 <u>$\phi 4\text{mm}, \phi 5\text{mm}$</u> 焊条型号 _____ 检验编号 _____										
熔敷金属化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S	Mo					
	0.05	0.21	0.69	0.015	0.015	0.60					
保护气体 / 流量 / 其它气体 / 流量 /											

预热及焊后热处理

预热温度 ≥ 150 层间温度 $150 \sim 350$ °C 后热温度 $150 \sim 200$ °C 时间 2 h 消氢温度 /
 时间 / 中间热处理温度 / 时间 / 焊后热处理温度 $610 \sim 630$ °C 时间 3.5 h

(续)

焊接工艺参数

电流种类 直流 极性 反接 SMAW, ϕ 4mm I_1 170~190A U_1 22~24V ϕ 5mm I_2 220~240A U_2 23~25VNGSAW, 第一层 I 550~580A 其它层 I 500~550A U 29~31V 焊接速度 29~31m/h

操作技术

首先以 SMAW 焊接 70°反面坡口, 正面坡口根部清理后, 以 NGSAW 焊满 U 形坡口

性能检验结果

拉伸试验

检验报告编号 _____

试样编号	试样形式	σ_b /MPa	σ_s /MPa	断裂位置	
PG16-1	板状(370°C) 棒状(370°C)	523,513	474,486	焊缝外	
PG16-2		521,505			
PG16-3		620,619			

定向弯曲

检验报告编号 _____

试样编号	试验形式	弯轴直径/mm	弯曲角度/(°)	检验结果
PG16-4	侧弯	$d=4a$	180	合格

冲击韧性试验

检验报告编号 _____

试样编号	缺口形式	缺口位置	试验温度/°C	A_{KV} /J
PG16-5	V	焊缝 热影响区	5	82.64,102 78.102,133

硬度试验结果(HV₁₀)

检验报告编号 _____

焊 缝	热影响区	母 材
221,221,227	213,207,202	164,176,181

金相检验结果

检验报告编号 _____

宏 观	微 观	其它检验
合 格	母材 <u>F+P</u> 焊缝 <u>B+网状 F</u> 热影响区 <u>F+P</u>	/

无损探伤检验结果 RT 合格 检验报告编号 _____

焊工 _____ 钢印号 _____ 焊工合格证号 _____

评定结论 合格

编 制		校 对		审 核		审 定	
日 期		日 期		日 期		日 期	

焊接工艺设计书

编号 No HSG-17工艺评定编号 HPG-17评定项目 30 万机组锅炉钢筒与下降管角接缝 SA299 钢+20MnMo 钢 手弧焊+药芯焊丝(半自动)CO₂ 气体保护焊焊接方法 SMAW+药芯 CO₂ GMAW 自动化等级 手工+半自动 焊接位置 平 技术标准 ASME

接头坡口形式

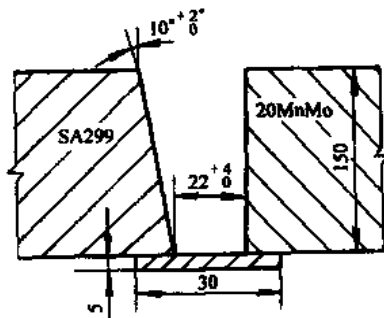


图 PG-17 左

焊接层次(顺序)

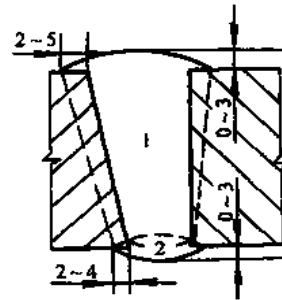


图 PG-17 右

以药芯焊丝 CO₂ 保护焊焊坡口, 反面清除垫板后再以 E7018-A1 焊条接 1~2 层

对焊接接头的基本要求

1. 力学性能

σ_b /MPa	σ_s /MPa	δ_5 /%	弯曲角度/(°) ($d=4a$)	冲击试验			其它
				缺口形式	试验温度/°C	A_{KV} /J	
≥515	/	/	180°	V	5°C	≥27	全焊缝 370°C σ_s ≥490MPa

2. 其它 RT 检查 金相组织,宏观

母材	牌号 SA299 规格 δ 150mm 类别 P1-2 20MnMo						
焊接材料	焊条牌号 E7018-A1 焊条规格 ϕ 5mm 型号 / 焊极型号规格 / 焊剂 / 焊丝牌号 FT50 焊丝规格 ϕ 1.6mm 型号 / 保护气 CO ₂ 流量 16~17L/min 其它气体 / 流量 / L/min						
预热 热处理 后理	预热温度 ≥150 °C 层间温度 150~350°C 后热温度°C,时间 / 消氢温度°C,时间 / 中间热处理 610~630 °C 时间 2.5 h 焊后热处理 610~630 °C 时间 5 h						
焊接工艺参数要求	电流种类 直流 极性 反接 焊接电流 SMAW:I 220~250A 电弧电压U 25V 药芯 CO ₂ GMAW:I 320~360A U 28~30V 伸出长度 15~18mm 焊枪角度 10°~15°						
操作技术要求	以药芯焊丝 CO ₂ GMAW 保护焊焊坡口后,清除反面垫板,再以 E7018-A1 焊条焊 1~2 层						
编制		校对		审核		批准	
日期		日期		日期		日期	

焊接工艺评定书

编号 No HPG-17

设计书编号 No HSG-17

评定项目 30 万机组锅炉锅筒与下降管角接缝 SA299 钢+20MnMo 钢 手弧焊+药芯焊丝(半自动)CO₂ 气体保护焊焊接方法 SMAW+药芯 CO₂ GMAW 自动化等级 手工+半自动 焊接位置 平 技术标准 ASME

接头坡口形式

焊接层次(顺序)

见图 PG-17 左

见图 PG-17 右

母材	检验编号 _____						钨极型号 / 直径 /			
	牌号 SA299 20MnMo	规格 ϕ 150mm	类别 P1-2							
化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S	Mo				
	0.16 0.215	0.31 0.23	1.44 1.26	0.018 0.011	0.02 0.028	0.21				
力学性能	σ_b /MPa	554,532 582,564		σ_s /MPa			δ_s /%			A_{KV} /J
焊材	检验编号 _____									
	焊丝牌号 FT-50	焊丝规格 ϕ 1.6mm	焊丝型号	焊剂牌号						
化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S					
	0.06	0.16	1.26	0.010	0.008					
焊条	焊条牌号 E7018-A1 焊条规格 ϕ 5mm 焊条型号 检验编号 _____									
熔敷金属化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S	Mo				
	0.05	0.21	0.69	0.015	0.015	0.60				
保护气体 CO ₂ 流量 16~17 L/min 其它气体 / 流量 /										

预热及焊后热处理

预热温度 ≥ 150 °C 层间温度 150~350 °C 后热温度 / 时间 / 消氢温度 / 时间 / h

中间热处理温度 610~630 °C 时间 2.5 h 焊后热处理温度 610~630 °C 时间 5 h

(续)

焊接工艺参数

电流种类 直流 极性 反接 SMAW: $\phi 5\text{mm}$ I 220~250A U 23~25V药芯 CO_2 GMAW: I 320~360A U 28~30V 焊丝伸出长度 15~18mm 焊枪倾角 $10^\circ \sim 15^\circ$

操作技术

药芯焊丝 CO_2 GMAW 保护焊焊满坡口后,反面以电弧气刨清除垫板后,再以 E7018-A1 焊条焊接 1~2 层

性能检验结果

拉伸试验

检验报告编号 _____

试样编号	试样形式	σ_b/MPa	σ_s/MPa	断裂位置	
PG17-1	板状	517,527		焊缝上	
PG17-2	棒状(370°C)	506,544	393,407	/	

定向弯曲

检验报告编号 _____

试样编号	试样形式	弯轴直径/mm	弯曲角度/(°)	检验结果
PG17-3	侧弯	$d=4a$	180	合格

冲击韧性试验

检验报告编号 _____

试样编号	缺口形式	缺口位置	试验温度/°C	A_{KV}/J
PG17-4	V	焊缝 热影响区	5	96,98,72 SA299 侧 154,130,144 20MnMo 侧 58,64,68

硬度试验结果(H)

检验报告编号 _____

焊 缝	热影响区	母 材
/	/	/

金相检验结果

检验报告编号 _____

宏 观	微 观	其它检验
合 格	焊缝 <u>B+F</u> 热影响区 SA299 侧 F+P 20MnMo 侧 F+B 母材 SA299 侧 F+P 20MnMo 侧 F+P	/

无损探伤检验结果 RT 合格 检验报告编号 _____

焊工 _____ 钢印号 _____ 焊工合格证号 _____

评定结论 合格

编 制	校 对	审 核	审 定
日 期	日 期	日 期	日 期

焊接工艺设计书

编号 No HSG-18

工艺评定编号 HPG-18

评定项目 60 万机组锅炉钢筒与耳板角焊缝 SA299 钢+16MnR 钢 手弧焊接头

焊接方法 SMAW 自动化等级 手工 焊接位置 平 技术标准 ASME

接头坡口形式

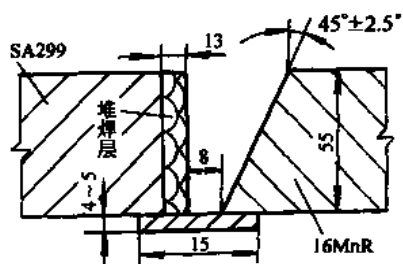


图 PG-18 左

焊接层次(顺序)

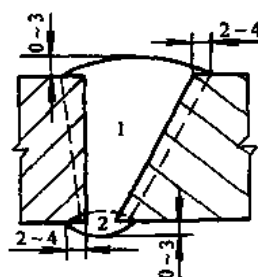


图 PG-18 右

首先焊接
正面坡口,反
面清除垫板
后再焊 1~2
层焊缝

对焊接头的基本要求

1. 力学性能

σ_b /MPa	σ_s /MPa	δ_5 /%	弯曲角度/(°) ($d=4a$)	冲击试验			其 它
				缺口形式	试验温度/°C	A_{KV} /J	
≥470	/	/	180	V		≥27	HV ₁₀ ≤280

2. 其它 RT 检查 金相组织,宏观

母材	牌号 SA299 16MnR	规格 δ 55mm	类别 P1-2 2				
焊接材料	焊条牌号 E7018-A1	焊条规格 ϕ 4mm, ϕ 5mm	型号 /	钨极型号规格 /	焊剂 /		
	焊丝牌号 /	焊丝规格 /	型号 /	保护气 /	流量 /		
				其它气体 /	流量 /		
预热 热处理 后理	预热温度 ≥ 150 °C 层间温度 150~350 °C 后热温度, 时间 / 消氢温度, 时间 /						
	中间热处理 / 时间 / 焊后热处理 610~630 °C 时间 5 h						
焊接工艺 参数要求	电流种类 直流 极性 反接 焊接电流 $\phi 4\text{mm}$ I 170~190A $\phi 5\text{mm}$ I 220~240A 电弧电压 U 22~25V						
操作技术 要求							
编 制		校 对		审 核		批 准	
日 期		日 期		日 期		日 期	

焊接工艺评定书

编号 No HPG-18设计书编号 No HSG-18评定项目 60 万机组锅炉筒筒与耳板角接缝 SA299 钢+16MnR 钢 $\delta 55\text{mm}$ 手弧焊接头焊接方法 SMAW 自动化等级 手工 焊接位置 平 技术标准 ASME

接头坡口形式

焊接层次(顺序)

见图 PG-18 左

见图 PG-18 右

母材	检验编号 _____							钨极型号 _____ 直径 _____			
	牌号 <u>SA299</u> <u>16MnR</u>	规格 <u>$\delta 55\text{mm}$</u>	类别 <u>P1-2</u> <u>2</u>								
化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni				
	0.21	0.24	1.37	0.020	0.012	0.14	0.29				
	0.15	0.34	1.22	0.018	0.011						
力学性能	σ_b/MPa	532,541 518,509		σ_s/MPa	/		$\delta_5/\%$	/		A_{KV}/J	(0°C), 184, 156, 180
焊材	检验编号 _____										
	焊丝牌号 <u>/</u> 焊丝规格 <u>/</u> 焊丝型号 <u>/</u> 焊剂牌号 <u>/</u>										
化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S						
焊条	焊条牌号 <u>E7018-A1</u> 焊条规格 <u>$\phi 4\text{mm}, \phi 5\text{mm}$</u> 焊条型号 _____ 检验编号 _____										
熔敷金属化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S						
	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
保护气体 _____ 流量 _____ L/min 其它气体 _____ 流量 _____											

预热及焊后热处理

预热温度 ≥ 150 °C 层间温度 150~350 °C 后热温度 / °C 时间 / 消氢温度 / 时间 /中间热处理温度 / °C 时间 / 焊后热处理温度 610~630 °C 时间 5 h

(续)

焊接工艺参数

电流种类 直流 极性 反接 焊接电流: $\phi 4\text{mm}$ I_1 170~190A U_1 22~24V I_2 220~240A U_2 23~25V

操作技术

性能检验结果

拉伸试验

检验报告编号 _____

试样编号	试样形式	σ_s/MPa	σ_b/MPa	断裂位置	
PG18-1	板状	500,505	/	焊缝外	

定向弯曲

检验报告编号 _____

试样编号	试样形式	弯轴直径/mm	弯曲角度/(°)	检验结果
PG18-2	侧弯	$d=4a$	180	合格

冲击韧性试验

检验报告编号 _____

试样编号	缺口形式	缺口位置	试验温度/°C	A_{kv}/J
PG18-3	V	焊缝 热影响区	0	52,156,244 SA299 侧 68,24,60 16MnR48,86,184

硬度试验结果(HV₁₀)

检验报告编号 _____

焊 缝	热影响区	母 材
166,197	16MnR 侧 197,175,165 SA299 侧 166,171,181	173,210 191,193

金相检验结果

检验报告编号 _____

宏 观	微 观	其它检验
合 格	焊缝 <u>F+B+P</u> 热影响区 <u>16MnR 侧 B+P</u> <u>SA299 侧 F+P</u> 母材 <u>16MnR 侧 F+P</u> <u>SA299 侧 F+P</u>	

无损探伤检验结果 RT 合格 检验报告编号 _____

焊工 _____ 钢印号 _____ 焊工合格证号 _____

评定结论 合格

编 制		校 对		审 核		审 定	
日 期		日 期		日 期		日 期	

焊接工艺设计书

编号 No HSG-19

工艺评定编号 HPG-19

评定项目 60 万千瓦机组锅炉筒体与下降管角焊缝 SA299 钢+J507 焊条堆焊+SA299 钢 $\phi 170\text{mm}$ 手弧焊接头

焊接方法 SMAW 自动化等级 手工 焊接位置 平 技术标准 ASME

接头坡口形式

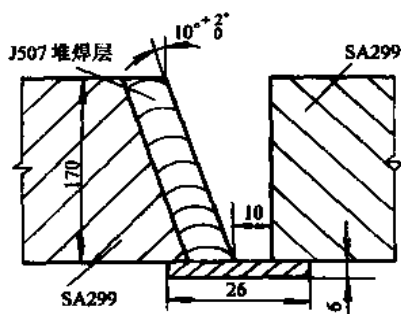


图 PG-19 左

焊接层次(顺序)

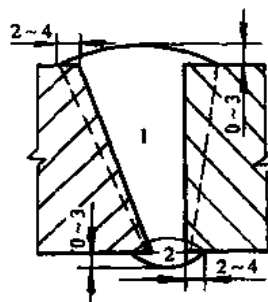


图 PG-19 右

首先以 J507 焊条堆焊筒体下降管孔四周 10~15mm, 修正坡口后以 E7018-A1 焊条焊满坡口, 反面清除垫板后焊 1~2 层焊缝

对焊接接头的基本要求

1. 力学性能

σ_b/MPa	σ_s/MPa	$\delta_5/\%$	弯曲角度/(°) ($d=4a$)	冲击试验			其它
				缺口形式	试验温度/°C	A_{KV}/J	
≥ 515	/	/	180	V	5	≥ 21	370°C 接头及全焊缝 $\sigma_b \geq 417$, $HV_{10} \leq 280$

2. 其它 RT 检查 金相组织 宏观

母材	牌号 SA299 规格 $\delta 170\text{mm}$ 类别 P1-2									
焊接材料	焊条牌号	J507	焊条规格	$\phi 5\text{mm}$	型号	E5015	钨极型号规格	/	焊剂	/
		E7018-A1		$\phi 4\text{mm}, \phi 5\text{mm}$						
	焊丝牌号	/	焊丝规格	/	型号	/	保护气	/	流量	/
							其它气体	/	流量	/
预热 热处理 后理	预热温度 $\geq 150^{\circ}\text{C}$ 层间温度 $150\sim 350^{\circ}\text{C}$ 后热温度, 时间 $250\sim 300^{\circ}\text{C}, 2\text{h}$ 消氢温度, 时间 /									
	中间热处理 $610\sim 630^{\circ}\text{C}$ 时间 3.5h 焊后热处理 $610\sim 630^{\circ}\text{C}$ 时间 5h									
焊接 工艺 参数 要求	电流种类 直流 极性 反接 焊接电流 $\phi 5\text{mm}, \text{J507}$ 焊条堆焊 I $220\sim 250\text{A}$ 电弧电压 $23\sim 26\text{V}$									
	下降管焊接第一层 $\phi 4\text{mm}$ I $160\sim 165\text{A}$, 其余层 $\phi 5\text{mm}$ I $220\sim 250\text{A}$ 焊接电压 $23\sim 26\text{V}$									
操作 技术 要求	首先在 SA299 筒体下降管孔周围以 J507 焊条堆焊 $10\sim 15\text{mm}$, 坡口修磨加工后再进行下降管与筒体的焊接, 反面清除垫板后, 焊接 $1\sim 2$ 层焊缝									
编 制		校 对		审 核		批 准				
日 期		日 期		日 期		日 期				

焊接工艺评定书

编号 No HPG-19设计书编号 No HSG-19评定项目 60 万机组锅炉, 钢管与下降管角接缝 SA299 钢+J507 焊条堆焊+SA299 钢 $\delta 170\text{mm}$ 手弧焊接头焊接方法 SMAW 自动化等级 手工 焊接位置 平 技术标准 ASME

接头坡口形式

焊接层次(顺序)

见图 PG-19 左

见图 PG-19 右

母材	检验编号 _____									
	牌号 <u>SA299</u>	规格 <u>$\delta 170\text{mm}$</u>		类别 <u>P1-2</u>		钨极型号 <u>/</u> 直径 <u>/</u>				
化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S					
	0.235	0.335	1.51	0.008	0.011					
力学性能	σ_b/MPa	542,530		σ_s/MPa	/	$\delta_5/\%$	/	A_{KV}/J	142,151,160	
焊材	检验编号 _____									
	焊丝牌号 <u>/</u> 焊丝规格 <u>/</u> 焊丝型号 <u>/</u> 焊剂牌号 <u>/</u>									
化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S					
	/	/	/	/	/					
焊条	检验编号 _____									
	焊条牌号 <u>J507</u> <u>E7018-A1</u>		焊条规格 <u>$\phi 6\text{mm}$</u> <u>$\phi 4\text{mm}, \phi 5\text{mm}$</u>		焊条型号 <u>E5015</u>					
熔敷金属化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S	Mo				
	0.06	0.41	0.73	0.022	0.013	/				
	0.05	0.21	0.69	0.015	0.015	0.60				
保护气体 <u>/</u> 流量 <u>/</u> 其它气体 <u>/</u> 流量 <u>/</u>										

预热及焊后热处理

预热温度 ≥ 150 $^{\circ}\text{C}$ 层间温度 150~350 $^{\circ}\text{C}$ 后热温度 250~300 $^{\circ}\text{C}$ 时间 2 h 消氢温度 / $^{\circ}\text{C}$ 时间 / h 中间热处理温度 610~630 $^{\circ}\text{C}$ 时间 3.5 h 焊后热处理温度 610~630 $^{\circ}\text{C}$ 时间 5 h

(续)

焊接工艺参数

电流种类 直流 极性 反接 J507 焊条堆焊 $\phi 5\text{mm}$ I 220~240A U 23~25V下降管焊接: $\phi 4\text{mm}$ I 170~190A U 22~24V $\phi 5\text{mm}$ I 220~250A U 23~25V

操作技术

首先在 SA299 筒体下降管孔四周以 J507 焊条堆焊 10~15mm 堆焊层,经修磨坡口后,再以 E7018-A1 焊条焊满坡口,反面以电弧气刨清除垫板后,焊接 1~2 层

性能检验结果

拉伸试验

检验报告编号 _____

试样编号	试样形式	σ_b/MPa	σ_s/MPa	断裂位置	
PG19-1	板状	532,530,537,537	/	焊缝外	
PG19-2	棒状(全焊缝)	454,446(370°C) 483,428(370°C)	271,275(370°C) 361,255(370°C)	/	

定向弯曲

检验报告编号 _____

试样编号	试样形式	弯轴直径/mm	弯曲角度/(°)	检验结果
PG19-3	侧弯	$d=4a$	180,180 180,180	合格

冲击韧性试验

检验报告编号 _____

试样编号	缺口形式	缺口位置	试验温度/°C	A_{kv}/J
PG19-4	V	焊缝 堆焊层 热影响区	5	134,160,155 191,250,154 146,112,134

硬度试验结果(HV₁₀)

检验报告编号 _____

焊 缝	热影响区	母 材
285,229,299 堆焊层 191,250,240	230,236,240	255,232,258

金相检验结果

检验报告编号 _____

宏 观	微 观	其它检验
合 格	焊缝 F+P+B 堆焊层 F+P 热影响区 F+P 母材 F+P	

无损探伤检验结果 RT 合格 检验报告编号 _____

焊工 _____ 钢印号 _____ 焊工合格证号 _____

评定结论 合格

编 制		校 对		审 核		审 定	
日 期		日 期		日 期		日 期	

焊接工艺设计书

编号 No HSG-20

工艺评定编号 HPG-20

评定项目 60 万机组锅炉吊杆 SA675-70 钢 $\delta 160\text{mm}$ 手弧焊对接接头

焊接方法 SMAW 自动化等级 手工 焊接位置 平 技术标准 ASME

接头坡口形式

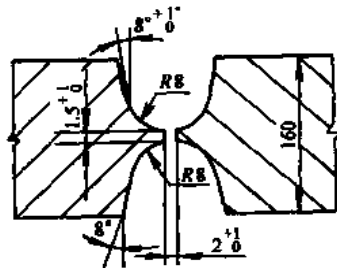


图 PG-20 左

焊接层次(顺序)

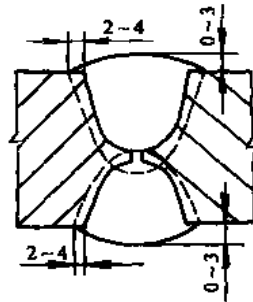


图 PG-20 右

对焊接接头的基本要求

1. 力学性能

σ_b/MPa	σ_s/MPa	$\delta_5/\%$	弯曲角度/(°) ($d=4a$)	冲击试验			其它
				缺口形式	试验温度/°C	A_{KV}/J	
≥ 485	≥ 240	/	180°	V	常温	≥ 27	HV ₁₀

2. 其它 RT 检查 金相组织 宏观

母材	牌号 SA675Gr70 规格 $\delta 160\text{mm}$ 类别 P1-2						
焊接材料	焊条牌号 J557 焊条规格 $\phi 4\text{mm}, \phi 5\text{mm}$ 型号 E5515 钨极型号规格 / 焊剂 /						
	焊丝牌号 / 焊丝规格 / 型号 / 保护气 / 流量 /						
	其它气体 / 流量 /						
预热热处理	预热温度 $\geq 120^{\circ}\text{C}$ 层间温度 $120\sim 350^{\circ}\text{C}$ 后热温度, 时间 / 消氢温度, 时间 / h						
	中间热处理 / 时间 / 焊后热处理 正火 $900\sim 930^{\circ}\text{C}$ +回火 $580\sim 600^{\circ}\text{C}$ 时间 $2+4.5\text{h}$						
焊接工艺参数要求	电流种类 直流 极性 反接 焊接电流 $\phi 4\text{mm}$ I 170~190A U 22~24V $\phi 5\text{mm}$ I 220~240A						
	U 23~25V						
操作技术要求							
编 制		校 对		审 核		批 准	
日 期		日 期		日 期		日 期	

焊接工艺评定书

编号 No HPG-20设计书编号 No HSG-20评定项目 60 万机组锅炉吊杆 SA675—70 δ 160mm 手弧焊对接接头焊接方法 SMAW 自动化等级 手工 焊接位置 平 技术标准 ASME

接头坡口形式

焊接层次(顺序)

见图 PG-20 左

见图 PG-20 右

母材	检验编号 _____									
	牌号 <u>SA675Gr70</u>		规格 <u>δ 160mm</u>		类别 <u>P1-2</u>		鸽接型号 <u>/</u> 直径 <u>/</u>			
化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S					
	0.26	0.17	0.70	0.023	0.011					
力学性能	σ_s /MPa		521,494		σ_s /MPa		301,298		δ_s /%	
									/	
								A_{KV} /J		272,246,237
焊材	检验编号 _____									
	焊丝牌号 <u>/</u> 焊丝规格 <u>/</u> 焊丝型号 <u>/</u> 焊剂牌号 <u>/</u>									
化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S					
	/	/	/	/	/					
焊条	焊条牌号 <u>J557</u> 焊条规格 <u>ϕ4mm,ϕ5mm</u> 焊条型号 <u>E5515</u> 检验编号 _____									
熔敷金属化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S					
	0.06	0.37	1.54	0.015	0.005					
	0.07	0.34	1.24	0.019	0.015					
保护气体 <u>/</u> 流量 <u>/</u> L/min 其它气体 <u>/</u> 流量 <u>/</u>										

预热及焊后热处理

预热温度 $\geq 120^\circ\text{C}$ 层间温度 120~350 $^\circ\text{C}$ 后热温度 / $^\circ\text{C}$ 时间 / 消氢温度 / 时间 / h中间热处理温度 / 时间 / 焊后热处理温度 正火 900~930+回火 580~600 $^\circ\text{C}$ 时间 2+4.5h

焊接工艺参数

电流种类 直流 极性 反接 ϕ 4mm, I 170~190A U 22~24V ϕ 5mm, I 220~250A U 23~25V

操作技术

(续)

性能检验结果					
拉伸试验		检验报告编号			
试样编号	试样形式	σ_b /MPa	σ_s /MPa	断裂位置	
PG20-1	棒状	532	298	/	
		474	297		
		484	303		
		480	283		
定向弯曲		检验报告编号			
试样编号	试样形式	弯轴直径/mm	弯曲角度/(°)	检验结果	
PG20-2	侧弯	$d=4a$	180	合格	
冲击韧性试验		检验报告编号			
试样编号	缺口形式	缺口位置	试验温度/°C	A_K /J	
PG20-3	V	焊缝	常温	218,214,208	
硬度试验结果(HV ₁₀)		检验报告编号			
焊 缝		热影响区		母 材	
196,203		203,206		/	
金相检验结果		检验报告编号			
宏 观		微 观		其它检验	
合 格		焊缝 热影响区 母材		F+P F+P F+P /	
无损探伤检验结果 RT 合格 检验报告编号					
焊工 钢印号 焊工合格证号					
评定结论 合格					
编 制		校 对		审 核	
日 期		日 期		日 期	
				审 定	
				日 期	

2 锅炉集箱焊接工艺评定实例

集箱筒体对接,筒体与封头及三通的对接口环缝、大直径集箱拼接纵缝,以及集箱上集中下降管 T 型焊缝,全焊透管接头角焊缝,吊耳与筒体角接缝等,在投产前均需按 JB/T4420 和《锅规》或 ASME 第九篇要求进行焊接工艺评定。

典型集箱结构及各类焊缝布置列于图 5-2。

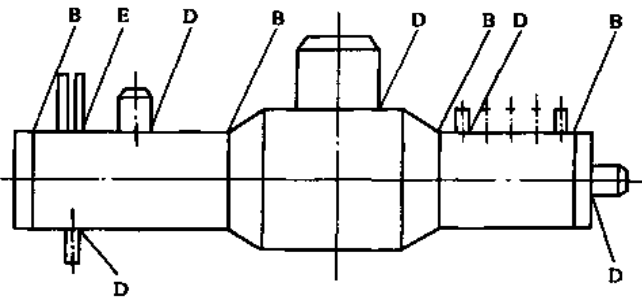


图 5-2 集箱结构及焊缝布置简图

各类焊缝的工艺评定实例按钢种类别列举如下。

焊接工艺设计书

编号 No HSB-1

工艺评定编号 HPB-1

评定项目 5 万机组锅炉集箱环缝 20 钢 $\phi 219\text{mm} \times 16\text{mm}$ 手工钨极氩弧焊打底+药芯焊丝气保焊接头

焊接方法手工 TIG+药芯 GMAW 自动化等级手工+半自动 焊接位置 平 技术标准 锅规

接头坡口形式

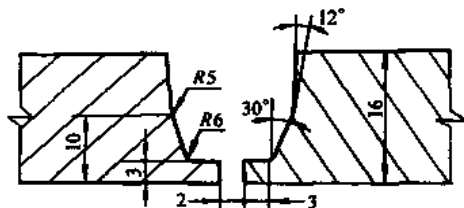
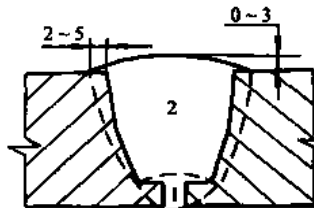


图 PB-1 左

焊接层次(顺序)



首先以手工 TIG 打底焊一层(焊缝)再以药芯焊丝 GMAW 焊满坡口

图 PB-1 右

对焊接接头的基本要求

1. 力学性能

σ_b/MPa	σ_s/MPa	$\delta_5(\%)$	弯曲角度/(°) $d=3a$	冲击试验			其它
				缺口形式	试验温度/°C	A_{KV}/J	
≥ 420	/	/	180°	V	常温	≥ 49	$HV_{10} \leq 280$

2. 其它 RT 检查 金相组织 宏观

母材	牌号 20 规格 $\phi 16\text{mm}$ 类别 1					
焊接材料	焊条牌号	焊条规格	型号	钨极型号规格钨钨极 $\phi 2.5$	焊剂	/
	焊丝 H08Mn2Si 牌号 FT-50	焊丝 $\phi 2.5$ 规格 $\phi 1.6\text{mm}$	型号	保护气 CO_2 其它气体打底焊 Ar	流量 16~17L/min 流量 6~8L/min	
预热热处理	预热温度	层间温度 $\leq 300^\circ\text{C}$	后热温度, 时间	消氢温度, 时间	°C/h	
	中间热处理	时间	焊后热处理	时间		
焊接工艺参数要求	电流种类 直流	极性 正接 反接	焊接电流 手工 TIG: I120~140A	正接	电弧电压 U12~14V	
	药芯 GMAW: 首层 I220~240A 焊接速度 42~44m/h 送丝速度 125~128m/h U27~29V 其余层: I260~300A 焊接速度 25~30m/h 送丝速度 135~140m/h 伸出长度 15~18mm 焊枪倾角 10°~15° 反接					
操作技术要求	首先以手工钨极氩弧焊(TIG)打底一层, 再以药芯 GMAW 焊满坡口					
编制		校对		审核		批准
日期		日期		日期		日期

焊接工艺评定书

编号 No HPB-1

设计书编号 No HSB-1

评定项目 5 万机组锅炉集箱环缝 20 钢 $\phi 219\text{mm} \times 16\text{mm}$ 手工钨极氩弧焊+药芯 CO_2 气体保护焊接头

焊接方法手工 TIG+药芯 GMAW 自动化等级手工+半自动 焊接位置 平 技术标准 钢规

接头坡口形式					焊接层次(顺序)					
见图 PB-1 左					见图 PB-1 右 首先以手工氩弧钨极焊打底焊 1 层(焊缝 1), 再以药芯 CO_2 GMAW 气体保护焊焊满坡口					
母材	检验编号 _____									
	牌号 20	规格 $\phi 219 \phi 16\text{mm}$		类别 1		钨极型号 钍钨极, 直径 2.5mm				
化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S					
	0.14	0.25	0.59	0.018	0.020					
力学性能	σ_b/MPa	582, 520		σ_s/MPa	/	$\delta_5/\%$	/	A_{kv}/J	228, 242, 219	
焊丝	检验编号 _____									
	焊丝牌号 H08Mn2Si, FT-50		焊丝规格 $\phi 2.5, \phi 1.6\text{mm}$		焊丝型号 /		焊剂牌号 /			
化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S					
	0.09	0.76	1.87	0.023	0.021					
	0.06	0.64	0.98	0.012	0.016					
焊条	焊条牌号 / 焊条规格 / 焊条型号 / 检验编号 / /									
熔敷金属成分(%)	C	Si	Mn	P	S					
	/	/	/	/	/					
保护气体 CO_2 , 流量 16~17 L/min 其它气体 打底 Ar, 流量 6~8 L/min										

预热及焊后热处理

预热温度 / 层间温度 ≤ 300 °C 后热温度 / 时间 /

消氢温度 / 时间 / h 中间热处理温度 / 时间 /

焊后热处理温度 / 时间 /

(续)

焊接工艺参数

电流种类 直流 极性 正接 反接 手工 TIG 正接 I 120~140A U 12~14V 药芯 CO_2 GMAW 反接
 首层坡 220~240A $U=27\sim29\text{V}$ 焊接速度 42~44m/h 送丝速度 125~128m/h 其它层 I 260~300A 焊接速
 度 25~35m/h 焊丝伸出长度 15~18mm 送丝速度 135~140m/h 焊枪倾角 $10^\circ\sim15^\circ$

操作技术

首先以手工 TIG 打封焊一层,再以药芯 GMAW 焊满坡口

性能检验结果

拉伸试验

检验报告编号 _____

试样编号	试样形式	σ_b/MPa	σ_s/MPa	断裂位置	
PB1-1	板状	599,545	/	焊缝外	

定向弯曲

检验报告编号 _____

试样编号	试样形式	弯轴直径/mm	弯曲角度/°	检验结果
PB1-2	面弯 背弯	$d=3a$	180	合格

冲击韧性试验

检验报告编号 _____

试样编号	缺口形式	缺口位置	试验温度/°C	冲击功 A_{KV}/J
PB1-3	V	焊缝 热影响区	常温	116,110,118 116,94,114

硬度试验结果(HV₁₀)

检验报告编号 _____

焊 缝	热 影 响 区	母 材
185,182,205	188,192,201	193,181

金相检验结果

检验报告编号 _____

宏 观	微 观	其 它 检 验
合 格	焊 缝 <u>B+F</u> 热影响区 <u>F+P+W</u> 母 材 <u>F+P</u>	/

无损探伤检验结果 RT 合格 检验报告编号 _____

焊工 _____ 钢印号 _____ 焊工合格证号 _____

评定结论 合格

编 制		校 对		审 核		审 定	
日 期		日 期		日 期		日 期	

焊接工艺设计书

编号 No HSB-2

工艺评定编号 HPB-2

评定项目 5 万机组锅炉集箱环缝 20 钢 $\phi 273\text{mm} \times 25\text{mm}$ 手弧焊+手工钨极氩弧焊接头

焊接方法 SMAW+手工 TIG 自动化等级 手工 焊接位置 平 技术标准 锅规

接头坡口形式

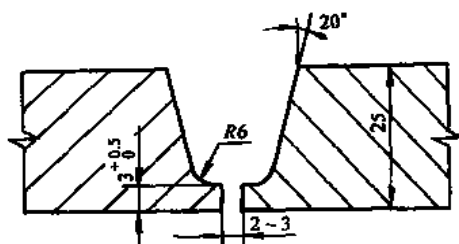


图 PB-2 左

焊接层次(顺序)

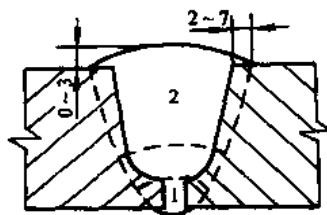


图 PB-2 右

先以手
工氩弧焊
打底一层
后, 以
SMAW 焊
满坡口

对焊接接头的基本要求

1. 力学性能

σ_b/MPa	σ_s/MPa	$\delta_5(\%)$	弯曲角度/(°) $d=3a$	冲击试验			其它
				缺口形式	试验温度/°C	A_{KV}/J	
≥ 420	/	/	180°	V	常温	≥ 49	$HV_{10} \leq 280$

2. 其它 RT 检查 金相宏观 组织

母材	牌号 20 规格 $\delta 25\text{mm}$ 类别 1					
焊接材料	焊条牌号 J507 焊条规格 $\phi 4, \phi 5\text{mm}$ 型号 E5015 钨极型号规格 钍钨极 $\phi 2.5\text{mm}$ 焊剂 / 焊丝牌号 H08Mn2Si 焊丝规格 $\phi 2.5\text{mm}$ 型号 / 保护气 Ar, 流量 6~8L/min 其它气体 /, 流量 /					
预热 热处理 后理	预热温度 / 层间温度 $\leq 300^\circ\text{C}$ 后热温度, 时间 / 消氢温度, 时间 / 中间热 处理 / 时间 / 焊后热处理 610~630 °C 时间 1.5 h					
焊接 工艺 参数 要求	电流种类 直流 极性 正接 反接 焊接电流 手工 TIG: 正接 1120~140A 电弧电压 U12~14V SMAW: 反接 $\phi 4\text{mm}$: I_1 140~160A U 22~24V $\phi 5\text{mm}$: I_2 200~220A U 23~25V					
操作 技术 要求	首先以手工钨极氩弧焊打底焊一层, 再以 $\phi 4\text{mm}$ 焊条焊第一层, 其余层以 $\phi 5\text{mm}$ 焊条焊满坡口					

编 制		校 对		审 核		批 准	
日 期		日 期		日 期		日 期	

焊接工艺评定书

编号 No HPB-2

设计书编号 No HSB-2

评定项目 5 万机组锅炉集箱环缝 20 钢 $\phi 273\text{mm} \times 25\text{mm}$ 手弧焊+手工钨极氩弧焊接头

焊接方法 手工 TIG+SMAW 自动化等级 手工 焊接位置 平 技术标准 锅规

接头坡口形式

焊接层次(顺序)

见图 PB-2 左

见图 PB-2 右

母材	检验编号 _____					钨极型号 <u>钍钨极</u> ,直径 <u>φ2.5mm</u>									
	牌号 <u>20</u>	规格 <u>φ273mm×25mm</u>		类别 <u>1</u>											
化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S										
	0.16	0.30	0.60	0.018	0.020										
力学性能	σ_s /MPa		532,540		σ_b /MPa		/		δ_5 /%		/		A_{KV} /J		212,198,232
焊丝	检验编号 _____														
	焊丝牌号 <u>H08Mn2Si</u>		焊丝规格 <u>φ2.5mm</u>		焊丝型号 <u>/</u>		焊剂牌号 <u>/</u>								
化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S										
	0.09	0.76	1.87	0.023	0.021										
焊条	牌号 <u>J507</u>		焊条规格 <u>φ4,φ5mm</u>		焊条型号 <u>E5015</u>		检验编号 <u>/</u>								
熔敷金属成分(%)	C	Si	Mn	P	S										
	0.095	0.20	1.32	0.017	0.008										

保护气体 Ar, 流量 6~8 L/min 其它气体 / 流量 / L/min

预热及焊后热处理

预热温度 / 层间温度 $\leq 300^\circ\text{C}$ 后热温度 / 时间 /

消氢温度 / 时间 / 中间热处理温度 / 时间 /

焊后热处理温度 610~630 $^\circ\text{C}$ 时间 1.5 h

(续)

焊接工艺参数

电流种类 直流 极性 正接,反接 手工钨极氩弧焊 正接 I 120~140A U 12~14VSMAW: 反接 $\phi 4\text{mm}$; I_1 140~160A U_1 22~24V $\phi 5\text{mm}$; I_2 200~220A U_2 23~25V

操作技术

首先以手工钨极氩弧焊打底一层,再以手弧焊 $\phi 4\text{mm}$ 焊条焊第一层,其余层以 $\phi 5\text{mm}$ 焊条焊满坡口

性能检验结果

拉伸试验

检验报告编号 _____

试样编号	试样形式	σ_b/MPa	σ_s/MPa	断裂位置	
PB2-1	板状	547,531	/	焊缝外	

定向弯曲

检验报告编号 _____

试样编号	试样形式	弯轴直径/mm	弯曲角度/(°)	检验结果
PB2-2	侧弯	$d=3a$	180	合格

冲击韧性试验

检验报告编号 _____

试样编号	缺口形式	缺口位置	试验温度/°C	冲击功 A_{KV}/J
PB2-3	V	焊缝 热影响区	常温	108,122,118 109,111,124

硬度试验结果(HV₁₀)

检验报告编号 _____

焊 缝	热 影 响 区	母 材
190,186	212,201	190,184

金相检验结果

检验报告编号 _____

宏 观	微 观	其 它 检 验
合 格	焊 缝 <u>F+P+B</u> 热影响区 <u>F+P+B</u> 母 材 <u>F+P</u>	/

无损探伤检验结果 RT 合格 检验报告编号 _____

焊工 _____ 钢印号 _____ 焊工合格证号 _____

评定结论 合格

编 制		校 对		审 核		审 定	
日 期		日 期		日 期		日 期	

焊接工艺设计书

编号 No HSB-3

工艺评定编号 HPB-3

评定项目 集箱凹槽式管座接管角接焊缝 自动 TIG 内孔封底+手弧焊

焊接方法 自动 TIG+SMAW 自动化等级 手工+自动 焊接位置 横、平 技术标准 锅规

接头坡口形式

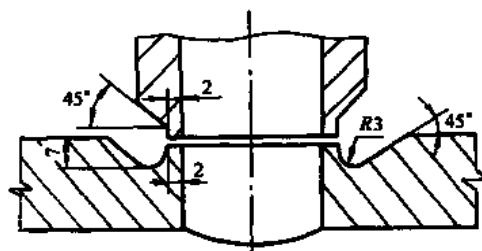


图 PB-3 左

焊接层次(顺序)

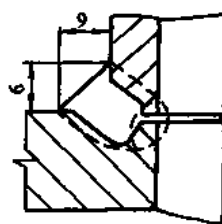


图 PB-3 右

首先从接管内部向外
进行自动 TIG 封底
焊,PT 检查焊缝后,以
SMAW 焊满坡口

对焊接接头的基本要求

1. 力学性能

σ_b /MPa	σ_s /MPa	δ_5 (%)	弯曲角度/(°) $d=a$	冲击试验			其它
				缺口形式	试验温度/°C	A_K /J	
/	/	/	/	/	/	/	HV ₁₀ ≤280

2. 其它 金相宏观 内孔焊缝表面 PT 检查

母材	牌号 20 规格 $\phi 38 \times 4.5\text{mm}$ 类别 /						
焊接材料	焊条牌号 J507 焊条规格 $\phi 3.2\text{mm}, \phi 4\text{mm}$ 型号 E5015 钨极型号规格 钍钨极, $\phi 3\text{mm}$ 焊剂 / 焊丝牌号 / 焊丝规格 / 型号 / 保护气 Ar 流量 6~8L/min 其它气体 / 流量 /						
预热 热处理 后理	预热温度 / 层间温度 $\leq 300^\circ\text{C}$ 后热温度, 时间 / 消氢温度, 时间 / 中间热处理 / 时间 / 焊后热处理 610~630°C 时间 1.5h						
焊接 工艺 参数 要求	电流种类 直流 极性 正接 反接 焊接电流 自动 TIG 内孔焊, 正接 I_{avg} 130~180A I_{max} 40~50A 通断比 50% 脉冲频率 0.8 周/s U 12~14 V SMAW, 反接 $\phi 4\text{mm}$: I 140~160A U 22~24V $\phi 3.2\text{mm}$: I 90~110A U 21~23V						
操作 技术 要求	首先进行内孔 TIG 封底焊, PT 检查外面坡口根部焊缝合格后, 再以 $\phi 3.2\text{mm}$ 焊条焊第一层焊缝, 以 $\phi 4\text{mm}$ 焊条						
	背面						

编 制		校 对		审 核		批 准	
日 期		日 期		日 期		日 期	

焊接工艺评定书

编号 No HPB-3

设计书编号 No HSB-3

评定项目 集箱凹槽式管座接管角接缝 自动 TIG 内孔封底+手弧点

焊接方法 自动 TIG+SMAW 自动化等级 自动+手工 焊接位置 横、平 技术标准 钢规

接头坡口形式

焊接层次(顺序)

见图 PB-3 左

见图 PB-3 右

母材	检验编号 _____					钨极型号 钍钨极, 直径 $\phi 3\text{mm}$				
	牌号 20	规格 $\phi 273 \times 25$	$\phi 38 \times 4.5\text{mm}$	类别 /						
化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S					
	0.18	0.245	0.46	0.018	0.020					
力学性能	σ_s/MPa	/	σ_t/MPa	/	$\delta_s/\%$	/	A_K/J	/		
焊丝	检验编号 _____									
	焊丝牌号 /	焊丝规格 /	焊丝型号 /	焊剂牌号 /						
化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S					
	/	/	/	/	/					
焊条	检验编号 _____									
	焊条牌号 J507	焊条规格 $\phi 3.2$	$\phi 4\text{mm}$	焊条型号 E5015	检验编号 /					
化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S					
	0.08	0.40	1.28	0.009	0.010					

保护气体 Ar, 流量 6~8 L/min 其它气体 /, 流量 / L/min

预热及焊后热处理

预热温度 / 层间温度 $\leq 300^\circ\text{C}$ 后热温度 / 时间 /

消氢温度 / 时间 / 中间热处理温度 / 时间 /

焊后热处理温度 610~630 $^\circ\text{C}$ 时间 1.5 h

(续)

焊接工艺参数

电流种类 直流 极性 正接,反接 自动 TIG: $I_{\text{手}} 40 \sim 60\text{A}$ $I_{\text{脚}} 130 \sim 180\text{A}$ $U 12 \sim 14\text{V}$ 通断比 50% 脉冲频率: 0.8 周/s 正接

SMAW: 反接 $\phi 3.2\text{mm}: I 110 \sim 130\text{A}$ $U 21 \sim 24\text{V}$ $\phi 4\text{mm}: I 140 \sim 160\text{A}$ $U 22 \sim 24\text{V}$

操作技术

首先以自动 TIG 内孔封底焊, 经 PT 检查封底焊缝合格后进行 SMAW 焊, 第一层以 $\phi 3.2\text{mm}$ 焊条施焊, 以 $\phi 4\text{mm}$ 焊条盖面

性能检验结果

拉伸试验

检验报告编号 _____

试样编号	试样形式	σ_b/MPa	σ_t/MPa	断裂位置	

定向弯曲

检验报告编号 _____

试样编号	试样形式	弯轴直径/mm	弯曲角度/(°)	检验结果

冲击韧性试验

检验报告编号 _____

试样编号	缺口形式	缺口位置	试验温度/°C	冲击功 A_K/J

硬度试验结果(HV₁₀)

检验报告编号 _____

焊 缝	热 影 响 区	母 材
209, 207	210, 209	162, 158

金相检验结果

检验报告编号 _____

宏 观	微 观	其 它 检 验
合 格	_____ _____ _____	/

无损探伤检验结果 PT 合格 检验报告编号 _____

焊工 _____ 钢印号 _____ 焊工合格证号 _____

评定结论 合格

编 制		校 对		审 核		审 定	
日 期		日 期		日 期		日 期	

焊接工艺设计书

编号 No HSB-4

工艺评定编号 HPB-4

评定项目 集箱接管角焊缝 St45.8 钢+20 钢 $\phi 219\text{mm} \times 20\text{mm} + \phi 60\text{mm} \times 5\text{mm}$ CO_2 气体保护焊接头

焊接方法 CO_2 GMAW 自动化等级 半自动 焊接位置 平、横 技术标准 钢规

接头坡口形式

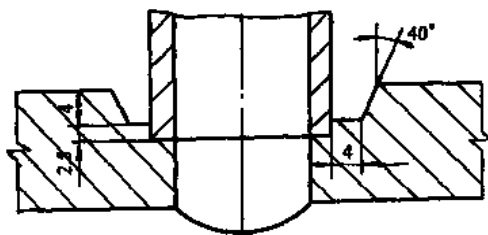


图 PB-4 左

焊接层次(顺序)

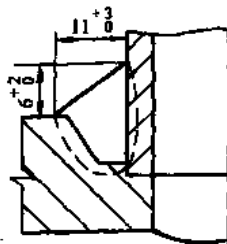


图 PB-4 右

对焊接头的基本要求

1. 力学性能

σ_b/MPa	σ_t/MPa	$\delta_5(\%)$	弯曲角度/° ($d=3a$)	冲击试验			其它
				缺口形式	试验温度/°C	A_K/J	
/	/	/	/	/	/	/	$HV_{10} \leq 280$

2. 其它 MT 金相宏观 组织

母材	牌号 St45.8 20 规格 $\phi 219 \times 20$ $\phi 60 \times 5\text{mm}$ 类别 /					
焊接材料	焊条牌号 /	焊条规格 /	类别号 /	钨极型号规格 /	焊剂 /	
	焊丝牌号 H08Mn2Si	焊丝规格 $\phi 1.6\text{mm}$	类别 /	保护气 CO_2	流量 $16 \sim 17\text{L/min}$	
				其它气体 /	流量 /	
预热 热处理 后理	预热温度 / 层间温度 ≤ 300 °C 后热温度, 时间 / 消氢温度, 时间 / 中间热处理 / 时间 / 焊后热处理 / 时间 /					
焊接工艺 参数要求	电流种类 直流 极性 反接 焊接电流 $I 210 \sim 230\text{A}$ 电弧电压 $U 29 \sim 30\text{V}$ 焊丝伸出长度: $15 \sim 18\text{mm}$ 焊枪倾角: $10^\circ \sim 15^\circ$ 送丝速度: $105 \sim 108\text{m/h}$					
操作技术 要求						

编 制		校 对		审 核		批 准	
日 期		日 期		日 期		日 期	

焊接工艺评定书

编号 No HPB-4

设计书编号 No HSB-4

评定项目 集箱接管角接缝 St45.8 钢+20 钢 $\phi 219\text{mm} \times 20\text{mm} + \phi 60\text{mm} \times 5\text{mm}$ CO_2 气体保护焊接头

焊接方法 CO_2 GMAW 自动化等级 半自动 焊接位置 横、平 技术标准 钢规

接头坡口形式	焊接层次(顺序)
见图 PB-4 左	见图 PB-4 右

母材	检验编号 _____ 牌号 St 45.8 20 钢 规格 $\phi 219 \times 20$ $\phi 60 \times 5\text{mm}$ 类别 _____ 钨极型号 / , 直径 /									
化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S					
	0.18	0.30	0.66	0.020	0.018					
	0.14	0.27	0.52	0.019	0.017					
力学性能	σ_b/MPa	/	σ_s/MPa	/	$\delta_5/\%$	/	A_K/J	/		
焊材	检验编号 _____ 焊丝牌号 H08Mn2Si 焊丝规格 $\phi 1.6\text{mm}$ 焊丝型号 / 焊剂牌号 /									
化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S					
	0.10	0.78	1.71	0.009	0.010					
焊条	牌号 / 焊条规格 / 焊条型号 / 检验编号 /									
熔敷金属成分(%)	C	Si	Mn	P	S					
	/	/	/	/	/					

保护气体 CO_2 流量 16~17 L/min 其它气体 / 流量 / L/min

预热及焊后热处理

预热温度 / 层间温度 $\leq 300^\circ\text{C}$ 后热温度 / 时间 /

消氢温度 / 时间 / 中间热处理温度 / 时间 /

焊后热处理温度 / 时间 /

(续)

焊接工艺参数

电流种类 直流 极性 反接 I 210~230A U 29~30V 焊丝伸出长度 15~18mm 焊枪倾角 10°~15°
送丝速度 105~108m/h

操作技术

性能检验结果

拉伸试验

检验报告编号 _____

试样编号	试样形式	σ_b /MPa	σ_s /MPa	断裂位置	

定向弯曲

检验报告编号 _____

试样编号	试样形式	弯轴直径/mm	弯曲角度/(°)	检验结果
		$d=a$		

冲击韧性试验

检验报告编号 _____

试样编号	缺口形式	缺口位置	试验温度/°C	冲击功 A_k /J

硬度试验结果(HV₁₀)

检验报告编号 _____

焊 缝	热 影 响 区	母 材
175,168,245	180,187,213	155,158

金相检验结果

检验报告编号 _____

宏 观	微 观	其 它 检 验
合 格	焊 缝 <u>B+F+P</u> 两侧热影响区 <u>B+F+P</u> 母 材 <u>F+P</u>	

无损探伤检验结果 MT 合格 检验报告编号 _____

焊工 _____ 钢印号 _____ 焊工合格证号 _____

评定结论 合格

编 制		校 对		审 核		审 定	
日 期		日 期		日 期		日 期	

焊接工艺设计书

编号 No. HSB-5

工艺评定编号 HPB-5

评定项目 10 万机组集箱环缝 20 钢 $\phi 273\text{mm} \times 36\text{mm}$ 自动 TIG 打底+手弧焊+埋弧焊

焊接方法 自动 TIG+SMAW+SAW 自动化等级 手工+机械 焊接位置 平 技术标准 钢规

接头坡口形式

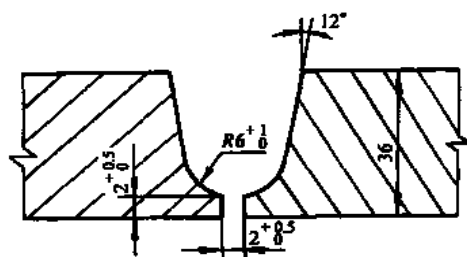


图 PB-5 左

焊接层次(顺序)

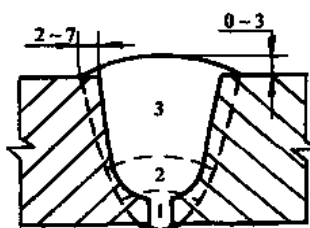


图 PB-5 右

首先以自动 TIG 焊打底一层后,以 SMAW 焊至 10~15mm 厚,再以 SAW 焊满坡口

对焊接接头的基本要求

1. 力学性能

σ_b/MPa	σ_s/MPa	$\delta_5(\%)$	弯曲角度/° $d=3a$	冲击试验			其它
				缺口形式	试验温度/°C	A_{kv}/J	
390~530	/	/	180°	U	常温	≥ 58.8	$HV_{10} \leq 280$

2. 其它 RT 检查 金相组织

母材	牌号 20 规格 $\phi 273 \times 36\text{mm}$ 类别 I						
焊接材料	焊条牌号 J507	焊条规格 $\phi 4\text{mm}$	型号 E5015	钨极型号规格 钍钨极 $\phi 2.5\text{mm}$	焊剂 HJ431		
	焊丝牌号 H08A	焊丝规格 $\phi 2\text{mm}$	型号 /	保护气 Ar	流量 10~12L/min	其它气体 /	流量 /
预热 热处 理	预热温度 / 层间温度 $\leq 300^\circ\text{C}$ 后热温度, 时间 / 消氢温度, 时间 / 中间热处理 / 时间 / 焊后热处理 630~650°C 时间 2h						
焊接 工艺 参数 要求	电流种类 直流 极性 正接, 反接 焊接电流 SMAW, 反接 $\phi 4\text{mm}$, I 160~180A 电弧电压 U 22~24V 自动 TIG, 正接 $I_{\text{基}} 40\sim 60\text{A}$ $I_{\text{手}} 300\sim 420\text{A}$ U 10~12V 焊接速度 6~8m/h 频率, 0.65 周/s 通断比 60%~80% SAW, 反接 I=240~280A U 26~28V 焊接速度 21m/h 送丝速度 210m/h						
操作 技术 要求	首先以自动 TIG 打底焊一层, 再以 SMAW 焊至 10~15mm, 然后以 SAW 焊满坡口						
编 制		校 对		审 核		批 准	
日 期		日 期		日 期		日 期	

焊接工艺评定书

编号 No HPB-5

设计书编号 No HSB-5

评定项目 10 万机组集箱环缝 20 钢 $\phi 273\text{mm} \times 36\text{mm}$ 自动 TIG 打底+SMAW+SAW

焊接方法 自动 TIG+SMAW+SAW 自动化等级 自动+手工+机械 焊接位置 平 技术标准 钢规

接头坡口形式

见图 PB-5 左

焊接层次(顺序)

见图 PB-5 右

母材	检验编号 _____					钨极型号 <u>钍钨极</u> ,直径 <u>2.5mm</u>					
	牌号 <u>20</u>	规格 <u>φ273mm×36mm</u>		类别 <u>/</u>							
化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S						
	0.19	0.30	0.64	0.019	0.020						
力学性能	σ_s /MPa		510,523	σ_b /MPa		/	δ_5 /%		/	A_{KV} /J	184,152,118
焊丝	检验编号 _____										
	焊丝牌号 <u>H08A</u>		焊丝规格 <u>φ2mm</u>		焊丝型号 <u>/</u>		焊剂牌号 <u>HJ431</u>				
化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S						
	0.08	<0.03	0.41	0.020	0.019						
焊条	检验编号 _____										
	牌号 <u>J507</u>		焊条规格 <u>φ4mm</u>		焊条型号 <u>E5015</u>		检验编号 _____				
化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S						
	0.056	0.40	0.58	0.009	0.013						

保护气体 Ar, 流量 10~12 L/min 其它气体 /, 流量 / L/min

预热及焊后热处理

预热温度 / 层间温度 ≤ 300 °C 后热温度 / 时间 /

消氢温度 / 时间 / 中间热处理温度 / 时间 /

焊后热处理温度 630~650 °C 时间 2 h

(续)

焊接工艺参数

电流种类 直流 极性 正接,反接 自动 TIG 打底焊: $I_{基}$ 40~60A $I_{熔}$ 300~420A U 10~12V 焊接速度
6~8m/h 频率 0.65 周/s 通断比 60%~80% 正接

SMAW: I 160~180A U 22~24V 反接

SAW: I 240~280A U 26~28V 焊接速度 21m/h 送丝速度 210m/h

操作技术

首先以自动 TIG 打底焊一层,再以 SMAW 焊至 10~15mm 厚,然后以 SAW 焊满坡口

性能检验结果

拉伸试验

检验报告编号 _____

试样编号	试样形式	σ_b /MPa	σ_s /MPa	断裂位置	
PB5-1	板状	509.6,514	/	焊缝上	

定向弯曲

检验报告编号 _____

试样编号	试样形式	弯轴直径/mm	弯曲角度/(°)	检验结果
PB5-2	侧弯	$d=3a$	180	合格

冲击韧性试验

检验报告编号 _____

试样编号	缺口形式	缺口位置	试验温度/°C	冲击功 A_{KU} /J
PB5-3	U	焊缝 热影响区	常温	128.4,130.3,134.3 112.6,98,128.0

硬度试验结果(HV₁₀)

检验报告编号 _____

焊 缝	热 影 响 区	母 材
181,176	180,220	156,148

金相检验结果

检验报告编号 _____

宏 观	微 观	其 它 检 验
/	焊 缝 <u>B+少量 F</u> 热影响区 <u>B</u> 母 材 <u>F+P</u>	/

无损探伤检验结果 RT 合格 检验报告编号 _____

焊工 _____ 钢印号 _____ 焊工合格证号 _____

评定结论 合格

编 制		校 对		审 核		审 定	
日 期		日 期		日 期		日 期	

焊接工艺设计书

编号 No HSB-6

工艺评定编号 HPB-6

评定项目 60 万机组集箱环缝 SA106B 钢 $\phi 273\text{mm} \times 50\text{mm}$ 手工钨极氩弧焊+手弧焊+埋弧焊接头

焊接方法 手工 TIG+SMAW+SAW 自动化等级 手工+机械化 焊接位置 平 技术标准 ASME

接头坡口形式

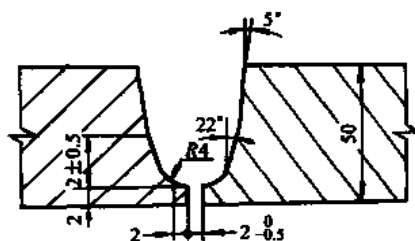


图 PB-6 左

焊接层次(顺序)

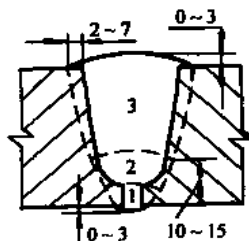


图 PB-6 右

首先以手工
TIG 打底一层
后,以 SMAW
焊至 10 ~
15mm 厚,再以
SAW 焊满坡口

对焊接接头的基本要求

1. 力学性能

σ_b/MPa	σ_s/MPa	$\delta_5(\%)$	弯曲角度/(°) $d=4a$	冲击试验			其它
				缺口形式	试验温度/°C	A_{kv}/J	
≥ 414	/	/	180°	V	常温	≥ 27	$HV_{10} \leq 280$

2. 其它 RT 检查 金相组织

母材	牌号 SA106B	规格 $\phi 273 \times 50\text{mm}$	类别 P1-2				
焊接材料	焊条牌号 J507	焊条规格 $\phi 3.2, \phi 4\text{mm}$	型号 E5015	钨极型号规格 钍钨极 $\phi 2.5\text{mm}$	焊剂 HJ431		
	焊丝 H08Mn2Si 牌号 H10Mn2	焊丝规格 $\phi 2.5 \phi 2\text{mm}$	型号 /	保护气 Ar	流量 8~10L/min		
				其它气体 /	流量 /		
预热 热处理 后理	预热温度 $\geq 100^\circ\text{C}$ 层间温度 100~350 $^\circ\text{C}$ 后热温度, 时间 / 消氢温度, 时间 /						
	中间热处理 / 时间 / 焊后热处理 610~630 $^\circ\text{C}$ 时间 2.5						
焊接 工艺 参数 要求	电流种类 直流 极性 正接, 反接 焊接电流 SMAW: 反接 $\phi 3.2\text{mm}; I 100 \sim 130\text{A}$ $\phi 4\text{mm}; I 150 \sim 170\text{A}$ 电弧电压 $U 21 \sim 24\text{V}$						
	手工 TIG: 正接 $I 100 \sim 120\text{A}$ $U 12 \sim 14\text{V}$ SAW: $I 240 \sim 300\text{A}$ $U 26 \sim 30\text{V}$ 焊接速度 21m/h 送丝速度 210m/h						
操作 技术 要求	首先以手工 TIG 打底焊一层, 再以 SMAW 焊至 10~15mm 厚, 再以 SAW 焊满坡口						
编 制		校 对		审 核		批 准	
日 期		日 期		日 期		日 期	

焊接工艺评定书

编号 No HPB-6

设计书编号 No HSB-6

评定项目 60 万机组集箱环缝 SA106B 钢 $\phi 273\text{mm} \times 50\text{mm}$ 手工钨极氩弧焊+手弧焊+埋弧焊接头

焊接方法手工 TIG+SMAW+SAW 自动化等级手工+机械化 焊接位置 平 技术标准 钢规

接头坡口形式					焊接层次(顺序)					
见图 PB-6 左					见图 PB-6 右					
母材	检验编号 _____ 牌号 SA106B 规格 $\phi 273 \times 50\text{mm}$ 类别 P1-2 钨极型号 钍钨极, 直径 $\phi 2.5\text{mm}$									
化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S					
	0.29	0.35	0.68	0.018	0.012					
力学性能	σ_s/MPa	496,501	σ_b/MPa	/	$\delta_s/\%$	/	A_{KV}/J	214,256,242		
焊丝	检验编号 _____ 焊丝牌号 H08Mn2Si H10Mn2 焊丝规格 $\phi 2.5 \phi 2.0\text{mm}$ 焊丝型号 / 焊剂牌号 HJ431									
化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S					
	0.07 0.08	0.21 0.02	1.78 1.59	0.020 0.014	0.015 0.016					
焊条	牌号 J507 焊条规格 $\phi 3.2, \phi 4\text{mm}$ 焊条型号 E5015 检验编号 _____									
熔敷金属成分(%)	C	Si	Mn	P	S					
	0.06	0.31	1.06	0.020	0.018					
保护气体 Ar, 流量 8~10 L/min 其它气体 /, 流量 / L/min										

预热及焊后热处理

预热温度 ≥ 100 °C 层间温度 100~350 °C 后热温度 / 时间 /

消氢温度 / 时间 / 中间热处理温度 / 时间 /

焊后热处理温度 610~630 °C 时间 2.5 h

(续)

焊接工艺参数

电流种类 直流 极性 正接,反接 手工 TIG:正接 I100~120A U12~14VSMAW:反接 φ3.2mm, I 110~130A U21~23V φ4mm, I 150~170A U22~24VSAW:反接 I 240~300A U26~30V 焊接速度 21m/h 送丝速度 210m/h

操作技术

首先以手工 TIG 焊打底一层后,以焊条电弧焊焊至 10~15mm 高,再以埋弧焊焊满坡口

性能检验结果

拉伸试验

检验报告编号 _____

试样编号	试样形式	σ_b /MPa	σ_s /MPa	断裂位置	
PB1-6	板状	487.1,496.9	/	焊缝外	

定向弯曲

检验报告编号 _____

试样编号	试样形式	弯轴直径/mm	弯曲角度/(°)	检验结果
PB6-2	侧弯	$d=4a$	180	合格

冲击韧性试验

检验报告编号 _____

试样编号	缺口形式	缺口位置	试验温度/°C	A_{KV}/J
PB6-3	V	焊缝 热影响区	常温	117.6,107.8,98 88.2,105.8,122.5

硬度试验结果(HV₁₀)

检验报告编号 _____

焊 缝	热 影 响 区	母 材
137.7,139.2,142.3	159,168,181	176,160

金相检验结果

检验报告编号 _____

宏 观	微 观	其 它 检 验
/	焊 缝 <u>F+P</u> 热影响区 <u>B+F+P</u> 母 材 <u>F+P</u>	/

无损探伤检验结果 RT 合格 检验报告编号 _____

焊工 _____ 钢印号 _____ 焊工合格证号 _____

评定结论 合格

编 制		校 对		审 核		审 定	
日 期		日 期		日 期		日 期	

焊接工艺设计书

编号 No HSB-7

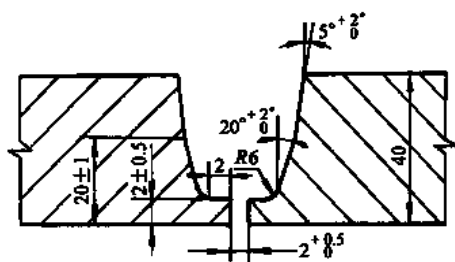
工艺评定编号 HPB-7

评定项目	21 万机组锅炉集箱环缝	SA106B 钢+St45.8	φ325mm×40mm	手工钨极氩弧焊+手弧焊+

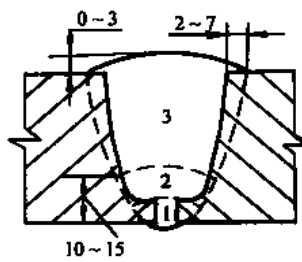
埋弧焊接头

焊接方法	手工 TIG+SMAW+SAW	自动化等级	手工+机械化	焊接位置	平	技术标准	ASME

接头坡口形式



焊接层次(順序)



首先以手工 TIG 打底焊一层后, 以 SMAW 焊至 10~15mm, 再以 SAW 焊满坡口

对焊接接头的基本要求

1. 力学性能

σ_s/MPa	σ_t/MPa	$\delta_5(\%)$	弯曲角度/(°) $d=4a$	冲击试验			其 它
				缺口形式	试验温度/°C	A_{kv}/J	
≥ 412	/	/	180°	V	常温	≥ 27	/

2. 其它 RT 检查

母材	牌号 SA106B, St45.8		规格 $\phi 325\text{mm} \times 40\text{mm}$		类别 P1-2, I	
焊接材料	焊条牌号 J507		焊条规格 $\phi 4\text{mm}, \phi 5\text{mm}$		型号 E5015	
	焊丝 H08Mn2Si 牌号 H08MnA		焊丝规格 $\phi 2.5\text{mm}, \phi 2\text{mm}$		型号 /	
			钨极型号规格 钍钨极 $\phi 2.5\text{mm}$		焊剂 HJ350	
			保护气 Ar		流量 8~10L/min	
			其它气体 /		流量 /	
预热 热处理	预热温度 ≥ 100 °C 层间温度 100~350°C 后热温度, 时间 / °C/h 消氢温度,					
	时间 / °C/h					
	中间热处理 / °C 时间 / h 焊后热处理 610~630°C 时间 2 h					
焊接 工艺 参数 要求	电流种类 直流 极性 正接 反接 焊接电流 SMAW: $\phi 4\text{mm}; I_1 150 \sim 170\text{A}, \phi 5\text{mm};$					
	$I_2 200 \sim 220\text{A}$ 电弧电压 $U_1 22 \sim 24\text{V}$ $U_2 23 \sim 25\text{V}$ 反接					
	手工 TIG: 正接 $I 100 \sim 120\text{A}$ $U 12 \sim 14\text{V}$					
	SAW: 反接 $I 240 \sim 300\text{A}$ 焊接速度 21m/h 送丝速度 210m/h					
操作 技术 要求	首先以手工 TIG 打底焊一层后, 以 SMAW 焊至 10~15mm 厚, 再以 SAW 焊满坡口					
编 制		校 对		审 核		批 准
日 期		日 期		日 期		日 期

焊接工艺评定书

编号 No HPB-7

设计书编号 No HSB-7

评定项目 21 万机组锅炉集箱环缝 SA106B 钢+St45.8 钢 $\phi 325\text{mm} \times 40\text{mm}$ 手工钨极氩弧
 焊+手弧焊+埋弧焊接头

焊接方法 手工 TIG+SMAW+SAW 自动化等级 手工+机械化 焊接位置 平 技术标准 ASME

接头坡口形式					焊接层次(顺序)					
见图 PB-7 左					见图 PB-7 右					
母材	检验编号 _____ 牌号 SA106B St45.8 规格 $\phi 325 \times 40\text{mm}$ 类别 P1-2 I					钨极型号 <u>钍钨极</u> , 直径 <u>$\phi 2.5\text{mm}$</u>				
化学成分 (%)	C	Si	Mn	P	S					
	0.20	0.22	0.90	0.002	0.012					
	0.18	0.16	0.83	0.017	0.018					
力学性能	σ_b/MPa	521,509 483,474	σ_s/MPa	/	$\delta_5/\%$	/	A_{KV}/J	261,250,248 248,256,231		
焊丝	检验编号 _____ 焊丝牌号 <u>H08Mn2Si, H08MnA</u> 焊丝规格 <u>$\phi 2.5, \phi 2.0\text{mm}$</u> 焊丝型号 <u>/</u> 焊剂牌号 <u>HJ350</u>									
化学成分 (%)	C	Si	Mn	P	S					
	0.081	0.24	1.80	0.021	0.017					
	0.08	0.06	1.05	0.019	0.009					
焊条	焊条牌号 <u>J507</u> 焊条规格 <u>$\phi 4, \phi 5\text{mm}$</u> 焊条型号 <u>E5015</u> 检验编号 _____									
熔敷金属成分 (%)	C	Si	Mn	P	S					
	0.07	0.031	1.0	0.021	0.018					
保护气体 <u>Ar</u> , 流量 <u>8~16</u> L/min 其它气体 <u>/</u> , 流量 <u>/</u> L/min										

预热及焊后热处理

预热温度 ≥ 100 °C 层间温度 100~350 °C 后热温度 / 时间 /

消氢温度 / 时间 / 中间热处理温度 / 时间 /

焊后热处理温度 610~630 °C 时间 2 h

(续)

焊接工艺参数

电流种类 直流 极性 反接,正接 手工 TIG:正接 I 100~120A U 12~14VSMAW:反接 ϕ 4mm: I 150~170A U 22~24V ϕ 5mm: I 200~220A U 23~25VSAW: 反接 I 240~300A U 26~30V 焊接速度 21m/h 送丝速度 210m/h

操作技术

首先以手工 TIG 打底焊一层后,以 SMAW 焊至 10~15mm 厚,再以 SAW 焊满坡口

性能检验结果

拉伸试验

检验报告编号 _____

试样编号	试样形式	σ_b /MPa	σ_s /MPa	断裂位置	
PB7-1	板状	458,462		焊缝外	

定向弯曲

检验报告编号 _____

试样编号	试样形式	弯轴直径/mm	弯曲角度/(°)	检验结果
PB7-2	侧弯	$d=4a$	180	合格

冲击韧性试验

检验报告编号 _____

试样编号	缺口形式	缺口位置	试验温度/°C	A_{kv} /J
PB7-3	V	焊缝 热影响区	常温	162,158,168 St45.8 侧 118,104,153 SA106B 侧 106.8,121,132

硬度试验结果(H)

检验报告编号 _____

焊 缝	热 影 响 区	母 材
/	/	/

金相检验结果

检验报告编号 _____

宏 观	微 观	其 它 检 验
/	/	/

无损探伤检验结果 RT 合格 检验报告编号 _____

焊工 _____ 钢印号 _____ 焊工合格证号 _____

评定结论 合格

编 制	校 对	审 核	审 定
日 期	日 期	日 期	日 期

焊接工艺设计书

编号 No HSB-8

工艺评定编号 HPB-8

评定项目 60 万机组集箱环缝 SA299 钢 $\delta 100\text{mm}$ 手工钨极氩弧焊+手弧焊+埋弧焊接头

焊接方法 手工 TIG+SMAW+SAW 自动化等级 手工+机械化 焊接位置 平 技术标准 ASME

接头坡口形式

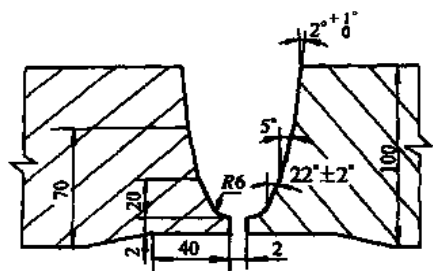


图 PB-8 左

焊接层次(顺序)

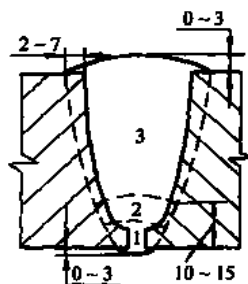


图 PB-8 右

首先以手工 TIG
打底一层后,以
SMAW 焊至 10~
15mm,再以 SAW
焊满坡口

对焊接接头的基本要求

1. 力学性能

σ_b/MPa	σ_s/MPa	$\delta_5(\%)$	弯曲角度/(°) $d=4a$	冲击试验			其 它
				缺口形式	试验温度/°C	A_{kv}/J	
515~655	/	/	180°	V	常温	≥ 27	$HV_{10} \leq 280$

2. 其它 RT 检查 金相组织 宏观

母材	牌号 SA299	规格 $\delta 100\text{mm}$	类别 P1-2				
焊接材料	焊条牌号 J507	焊条规格 $\phi 3.2, \phi 4\text{mm}$	型号 E5015	钨极型号规格 钍钨极 $\phi 2.5\text{mm}$	焊剂 HJ350		
	焊丝 H08Mn2Si 牌号 H08MnMo	焊丝规格 $\phi 2.5\text{mm}, \phi 4\text{mm}$	型号 /	保护气 Ar	流量 8~10L/min		
				其它气体 /	流量 / L/min		
预热 焊后 处理	预热温度 $\geq 100^\circ\text{C}$ 层间温度 100~350 $^\circ\text{C}$ 后热温度, 时间 / $^\circ\text{C/h}$ 消氢温度, 时间 /						
	中间热处理 / 时间 / 焊后热处理 610~630 $^\circ\text{C}$ 时间 2.5 h						
焊接工艺 参数要求	电流种类 直流 极性 正接, 反接 焊接电流 手工 TIG: I 100~120A 电弧电压 U 12~14V 正接						
	SMAW: 反接 $\phi 3.2\text{mm}$: I 110~130A U 21~23V						
	$\phi 4.0\text{mm}$: I 150~170A U 22~24V						
	SAW: I 550~620A U 34~36V 焊接速度 25~30m/h						
操作技术要求	首先以手工 TIG 打底焊一层后, 以 SMAW 焊至 10~15mm 厚, 再以 SAW 焊满坡口						
编 制		校 对		审 核		批 准	
日 期		日 期		日 期		日 期	

焊接工艺评定书

编号 No HPB-8设计书编号 No HSB-8评定项目 60 万机组集箱环缝 SA299 钢 $\delta 100\text{mm}$ 手工钨极氩弧焊+手弧焊+埋弧焊接头焊接方法 手工 TIG+SMAW+SAW 自动化等级 手工+机械化 焊接位置 平 技术标准 ASME

接头坡口形式	焊接层次(顺序)
见图 PB-8 左	见图 PB-8 右

母材	检验编号 _____					钨极型号 <u>钍钨板</u> ,直径 <u>φ2.5mm</u>				
	牌号 <u>SA299</u>	规格 <u>δ100mm</u>	类别 <u>P1-2</u>							
化学成分 (%)	C	Si	Mn	P	S					
	0.21	0.24	0.72	0.014	0.013					
力学性能	σ_b /MPa	572,569	σ_s /MPa	/	δ_5 /%	/	A_{KV} /J	286,294.1, 272		
焊丝	检验编号 _____									
	焊丝牌号 <u>H08Mn2Si H08MnMo</u>	焊丝规格 <u>φ2.5, φ4mm</u>	焊丝型号 <u>/</u>	焊剂牌号 <u>HJ350</u>						
化学成分 (%)	C	Si	Mn	P	S	Mo				
	0.06	0.21	1.52	0.019	0.014	/				
	0.07	0.50	1.29	0.010	0.009	0.42				
焊条	检验编号 _____									
	焊条牌号 <u>J507</u>	焊条规格 <u>φ3.2, φ4mm</u>	焊条型号 <u>E5015</u>							
熔敷金属成分 (%)	C	Si	Mn	P	S					
	0.06	0.31	1.06	0.020	0.018					

保护气体 Ar, 流量 8~10 L/min 其它气体 /, 流量 / L/min

预热及焊后热处理

预热温度 ≥ 100 层间温度 100~350 °C 后热温度 / °C 时间 /消氢温度 / 时间 / 中间热处理温度 / 时间 /焊后热处理温度 610~630 °C 时间 2.5 h

(续)

焊接工艺参数 电流种类 <u>直流</u> 极性 <u>正接,反接</u> 手工 TIG 正接 I 100~120A U 12~14V SMAW:反接 ϕ 3.2mm; I_1 110~130A ϕ 4mm; I_2 150~170A U_1 21~23V U_2 22~24V SAW:反接 I 550~620A U 34~36V 焊接速度 25~30m/h 送丝速度 95~105m/h						
操作技术 首先以手工 TIG 打底一层后,以 SMAW 焊至 10~15mm,再以 SAW 焊满坡口						
性能检验结果						
拉伸试验					检验报告编号 _____	
试样编号	试样形式	抗拉强度/MPa	/MPa	断裂位置		
PB8-1	上 板状中 下	548.8,555.7 560.6,551.6 535.1,562.5	/	焊缝外		
定向弯曲					检验报告编号 _____	
试样编号	试样形式	弯轴直径/mm	弯曲角度/(°)	检验结果		
PB8-2	侧弯	$d=4a$	180	合格		
冲击韧性试验					检验报告编号 _____	
试样编号	缺口形式	缺口位置	试验温度/°C	A_{KV}/J		
PB8-3	V	焊缝 热影响区	常温	166.6,156.8,139.7 294,147,147		
硬度试验结果(HV ₁₀)					检验报告编号 _____	
焊 缝		热 影 响 区		母 材		
160,187,193		242,212,206		170,168		
金相检验结果					检验报告编号 _____	
宏 观		微 观		其 它 检 验		
合 格		焊 缝 <u>B+F+P</u> 热影响区 <u>B+P+F</u> 母 材 <u>F+P</u>		/		
无损探伤检验结果 <u>RT 合格</u> 检验报告编号 _____						
焊工 _____ 钢印号 _____ 焊工合格证号 _____						
评定结论 <u>合格</u>						
编 制		校 对		审 核		审 定
日 期		日 期		日 期		日 期

焊接工艺设计书

编号 No HSB-9

工艺评定编号 HPB-9

评定项目 30 万机组集箱三通与筒体环缝 SA335 P12 钢管 $\phi 406\text{mm} \times 60\text{mm}$ 手弧焊接头

焊接方法 SMAW 自动化等级 手工 焊接位置 平、横 技术标准 ASME

接头坡口形式

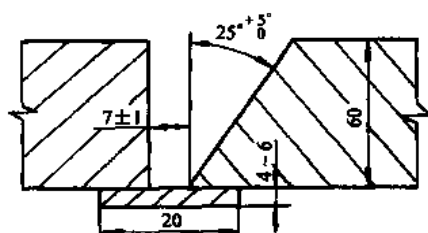


图 PB-9 左

焊接层次(顺序)

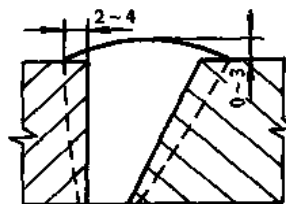


图 PB-9 右

接口以 SMAW
全部焊满后,清
除垫板

对焊接接头的基本要求

1. 力学性能

σ_b/MPa	σ_s/MPa	$\delta_5(\%)$	弯曲角度/(°) $d=4a$	冲击试验			其 它
				缺口形式	试验温度/°C	A_{kv}/J	
≥ 415	/	/	180°	V	50	≥ 35	$HV_{10} \leq 280$

2. 其它 RT 检查 金相宏观 组织

母材	牌号 SA335P12 规格 $\phi 406\text{mm} \times 60\text{mm}$ 类别 P4-1						
焊接材料	焊条牌号 R307	焊条规格 $\phi 3.2, \phi 4, \phi 5\text{mm}$	型号 E5515-B2	钨极型号规格	焊剂		
	焊丝牌号	焊丝规格	型号	保护气	流量		
				其它气体	流量		
预热 热处 理	预热温度 $\geq 120^\circ\text{C}$	层间温度 120~350°C	后热温度, 时间	/	°C/h	消氢温度, 时间	/
	中间热处理	/	时间	/	焊后热处理 650~670°C	时间	3h
焊接 工艺 参数 要求	电流种类 直流	极性 反接	焊接电流 $\phi 3.2\text{mm}$	$I 110 \sim 130\text{A}$	电弧电压 $U 21 \sim 23\text{V}$		
			$\phi 4\text{mm}$	$I 160 \sim 190\text{A}$	$U 22 \sim 24\text{V}$	$\phi 5\text{mm}$	$I 200 \sim 230\text{A}$ $U 23 \sim 25\text{V}$
操作 技术 要求	坡口焊满后, 反面清除垫板, 修磨, 内焊缝凹陷部分以 SMAW 补焊						

编 制		校 对		审 核		批 准	
日 期		日 期		日 期		日 期	

焊接工艺评定书

编号 No HPB-9

设计书编号 No HSB-9

评定项目 30 万机组集三通与筒体焊缝 SA335P12 钢 $\phi 406\text{mm} \times 60\text{mm}$ 手弧焊接头

焊接方法 SMAW 自动化等级 手工 焊接位置 平、横 技术标准 ASME

接头坡口形式

见图 PB-9 左

焊接层次(顺序)

见图 PB-9 右

母 材	检验编号 _____						牌号 SA335 P 12 规格 $\phi 406 \times 60\text{mm}$ 类别 P4-1 钢板型号 _____, 直径 /				
化 学 成 分 (%)	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo				
	0.13	0.36	0.49	0.013	0.008	0.90	0.50				
力 性 学 能	σ_b/MPa	489, 501		σ_s/MPa	/		$\delta_5/\%$	/		A_{KV}/J	237, 241, 242
焊 丝	检验编号 _____ 焊丝牌号 / 焊丝规格 / 焊丝型号 / 焊剂牌号 /										
化 学 成 分 (%)	C	Si	Mn	P	S						
焊 条	牌号 R307 焊条规格 $\phi 3.2, \phi 4, \phi 5\text{mm}$ 焊条型号 E5515-B2 检验编号 /										
熔 化 敷 设 金 属 成 分 (%)	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo				
	0.11	0.35	0.90	0.013	0.013	1.05	0.57				

保护气体 / , 流量 / L/min 其它气体 / , 流量 / L/min

预热及焊后热处理

预热温度 ≥ 120 °C 层间温度 120~350 °C 后热温度 / °C 时间 / h

消氢温度 / °C 时间 / h 中间热处理温度 / °C 时间 / h

焊后热处理温度 650~670 °C 时间 3 h

(续)

焊接工艺参数						
电流种类		直流	极性	反接	$\phi 3.2\text{mm}$: $I110\sim130\text{A}$ $U21\sim23\text{V}$ $\phi 4.0\text{mm}$: $I160\sim190\text{A}$ $U22\sim24\text{V}$ $\phi 5.0\text{mm}$: $I200\sim230\text{A}$ $U23\sim25\text{V}$	
操作技术						
坡口焊满后,以机加工方法清除内部垫板						
性能检验结果						
拉伸试验					检验报告编号	
试样编号	试样形式	σ_b/MPa	σ_s/MPa	断裂位置		
PB9-1	板状	436,438	/	焊缝上		
定向弯曲					检验报告编号	
试样编号	试样形式	弯曲直径/mm	弯曲角度/(°)	检验结果		
PB9-2	侧弯	$d=4a$	180	合格		
冲击韧性试验					检验报告编号	
试样编号	缺口形式	缺口位置	试验温度/°C	A_{KV}/J		
PB9-3	V	焊缝 热影响区	50	202,164.4,165 165,237,130		
硬度试验结果(HV ₁₀)					检验报告编号	
焊 缝		热 影 响 区		母 材		
264,228,221		240,206,281		221,218		
金相检验结果					检验报告编号	
宏 观		微 观		其 它 检 验		
合 格		焊 缝 $F+B+P$ 热影响区 $F+P+B$ 母 材 $F+P$		/		
无损探伤检验结果 RT 合格 检验报告编号						
焊工 钢印号 焊工合格证号						
评定结论 合格						
编 制		校 对		审 核		审 定
日 期		日 期		日 期		日 期

焊接工艺设计书

编号 No HSB-10

工艺评定编号 HPB-10

评定项目 60 万机组过热器集箱环缝 15CrMo 钢 $\delta 85\text{mm}$ 手工钨极氩弧焊+手弧焊+埋弧焊接头

焊接方法 手工 TIG+SMAW+SAW 自动化等级 手工+机械化 焊接位置 平 技术标准 ASME

接头坡口形式

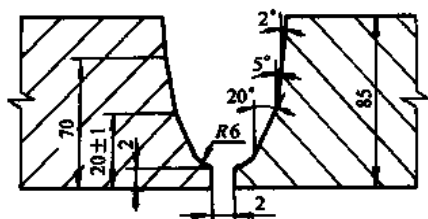


图 PB-10 左

焊接层次(顺序)

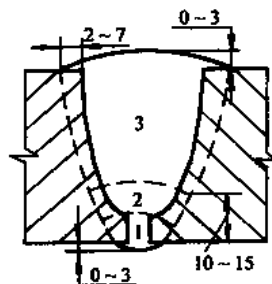


图 PB-10 右

对焊接接头的基本要求

1. 力学性能

σ_b/MPa	σ_s/MPa	$\delta_5(\%)$	弯曲角度/(°) $d=4a$	冲击试验			其 它
				缺口形式	试验温度/°C	A_{KV}/J	
≥ 441	/	/	180°	V	50	≥ 27	$HV_{10} \leq 280$, $\sigma_b^{150^\circ\text{C}} \geq 441$

2. 其它 RT 检查 金相组织

母材	牌号 15CrMo 规格 $\delta 85\text{mm}$ 类别 IV-1
焊接材料	焊条牌号 R307 焊条规格 $\phi 4, \phi 5\text{mm}$ 型号 E5515-B2 钨极型号规格 钨钨极 $\phi 2.5\text{mm}$ 焊剂 HJ350 焊丝 H08CrMnSiMoV 焊丝规格 $\phi 2.5, \phi 3\text{mm}$ 型号 / 保护气 Ar 流量 8~10L/min 牌号 H13CrMo 其它气体 / 流量 /
预热处理	预热温度 $\geq 150^\circ\text{C}$ 层间温度 150~350°C 后热温度, 时间 200~250 °C/1h 消氢温度, 时间 / 中间热处理 / 时间 / 焊后热处理 640~660°C 时间 6h
焊接工艺参数要求	电流种类 直流 极性 正接, 反接 焊接电流 SMAW: 反接 $\phi 4\text{mm}$: I_1 140~160A, $\phi 5\text{mm}$: I_2 200~220A 电弧电压 U_1 22~24V U_2 23~25V 手工 TIG: 正接 I 100~120A U 12~14V SAW: 反接 I 450~500A U 30~32V 焊接速度 21m/h。
操作技术要求	首先以手工 TIG 打底焊一层后, 以 SMAW 焊至 10~15mm, 再以 SAW 焊满坡口

编 制		校 对		审 核		批 准	
日 期		日 期		日 期		日 期	

焊接工艺评定书

编号 No HPB-10

设计书编号 No HSB-10

评定项目 60 万机组过热器集箱环缝 15CrMo 钢 $\delta=85\text{mm}$ 手工钨极氩焊+手弧焊+埋弧焊接头

焊接方法手工 TIG+SMAW+SAW 自动化等级手工+机械化 焊接位置 平 技术标准 ASME

接头坡口形式				焊接层次(顺序)							
见图 PB-10 左				见图 PB-10 右 首先以手工 TIG 打底焊一层,以 SMAW 焊至 10~15mm,再以 SAW 焊满坡口							
母材	检验编号 _____										
	牌号 15CrMo	规格 $\delta 85\text{mm}$	类别 N-1	钨极型号 钨钨板,直径 $\phi 2.5\text{mm}$							
化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo				
	0.14	0.37	0.64	0.015	0.015	0.96	0.48				
力学性能	σ_b/MPa	498	σ_s/MPa	309	$\delta_5/\%$	31	A_{KV}/J	268,248,245			
焊丝	检验编号 _____										
	焊丝牌号 H08CrMnSiMo, H13CrMo 焊丝规格 $\phi 2.5 \phi 3\text{mm}$ 焊丝型号 / 焊剂牌号 HJ350										
化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo				
	0.04	0.74	1.49	0.011	0.009	0.96	0.43				
焊条	牌号 R307 焊条规格 $\phi 4, \phi 5\text{mm}$ 焊条型号 E5515-B2 /										
熔敷金属成分(%)	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo				
	0.11	0.35	0.90	0.015	0.013	1.05	0.57				
保护气体 Ar, 流量 8~10 L/min 其它气体 /, 流量 / L/min											

预热及焊后热处理

预热温度 $\geq 150^\circ\text{C}$ 层间温度 150~350 $^\circ\text{C}$ 后热温度 200~250 $^\circ\text{C}$ 时间 /消氢温度 / 时间 / 中间热处理温度 / $^\circ\text{C}$ 时间 /焊后热处理温度 640~660 $^\circ\text{C}$ 时间 6 h

(续)

焊接工艺参数

电流种类 直流 极性 正接 反接 手工 TIG: 正接 I 100~120A U 12~14V SMAW: 反接 ϕ 4mm:
 I 140~160A U 22~24V ϕ 5mm; I 200~220A U 23~25V SAW: I 450~500A U 32~34V 焊接速度 21m/h

操作技术

首先以手工 TIG 打底焊一层后, 以 SMAW 焊至 10~15mm, 再以 SAW 焊满坡口

性能检验结果

拉伸试验

检验报告编号 _____

试样编号	试样形式	σ_b /MPa	σ_s /MPa	断裂位置	
PB10-1	板状 棒状	554, 549, 493, 486(450°C)	/	焊缝外 /	

定向弯曲

检验报告编号 _____

试样编号	试样形式	弯轴直径/mm	弯曲角度/(°)	检验结果
PB10-2	侧弯	$d=4a$	180	合格

冲击韧性试验

检验报告编号 _____

试样编号	缺口形式	缺口位置	试验温度/°C	A_{KV} /J
PB10-3	V	焊缝 热影响区	50	112, 110, 104 186, 260, 172

硬度试验结果(HV₁₀)

检验报告编号 _____

焊 缝	热 影 响 区	母 材
268, 276, 302	238, 262, 247	268, 270, 206

金相检验结果

检验报告编号 _____

宏 观	微 观	其 它 检 验
/	焊 缝 <u>B+F</u> 热影响区 <u>B+F+P</u> 母 材 <u>F+P</u>	/

无损探伤检验结果 RT 合格 检验报告编号 _____

焊工 _____ 钢印号 _____ 焊工合格证号 _____

评定结论 合格

编 制		校 对		审 核		审 定	
日 期		日 期		日 期		日 期	

焊接工艺设计书

编号 No HSB-11

工艺评定编号 HPB-11

评定项目 60 万千瓦机组集箱环缝 SA335P12 钢管 $\phi 813\text{mm} \times 88\text{mm}$ 手工钨极氩弧焊+手弧焊+埋弧焊接头

焊接方法 手工 TIG+SMAW+SAW 自动化等级 手工+机械化 焊接位置 平 技术标准 ASME

接头坡口形式

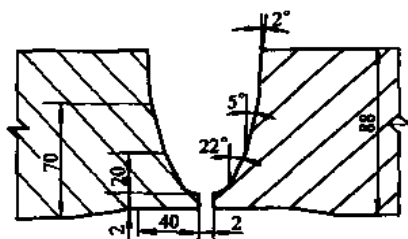


图 PB-11 左

焊接层次(顺序)

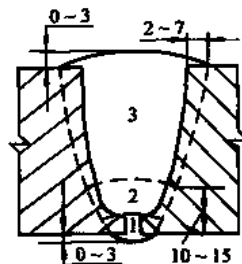


图 PB-11 右

首先以手工 TIG
打底焊一层后,以
SMAW 焊至 10~
15mm,再以 SAW
焊满坡口

对焊接接头的基本要求

1. 力学性能

σ_b/MPa	σ_s/MPa	$\delta_5(\%)$	弯曲角度/(°) $d=4a$	冲击试验			其 它
				缺口形式	试验温度	A_{kv}/J	
≥ 414	/	/	180°	V	常温	≥ 34	全焊缝 $\sigma_b, \sigma_s^{400^\circ\text{C}}$ $\delta_5 \geq 153$

2. 其它 RT 检查 HV₁₀ 金相组织

母材	牌 号 <u>SA335 P12</u> 规 格 <u>φ813×88mm</u> 类 别 <u>P4-1</u>						
焊接材料	焊条牌号 <u>E8018-B2L</u> 焊条规格 <u>φ3.2, φ4mm</u>		型 号 <u>/</u>	钨极型号规格 <u>钨钨极 φ2.5mm</u> 焊 剂 <u>HJ350</u>			
	焊丝 <u>ER80S-B2L</u> 焊丝规格 <u>φ2.5, φ3mm</u>		型 号 <u>/</u>	保护气 <u>Ar</u>		流量 <u>8~10L/min</u>	
	牌号 <u>EB2</u>		其它气体 <u>/</u>		流量 <u>/</u> L/min		
预热 热处 理	预热温度 <u>≥120℃</u> 层间温度 <u>120~350℃</u> 后热温度, 时间 <u>/</u> °C/h 消氢温度, 时间 <u>/</u> °C/h						
	中间热处理 <u>/</u> °C 时 间 <u>/</u> h 焊后热处理 <u>660~680</u> °C 时 间 <u>4h</u>						
焊接工 艺参 数要 求	电 流 种 类 <u>直 流</u> 极 性 <u>正 接, 反 接</u> 焊 接 电 流 <u>SMAW, 反 接 φ3.2mm; I₁ 110~130A</u>						
	电 弧 电 压 <u>U₁ 21~23V φ4.0mm; I₂ 160~180A U₂ 22~24V 手 工 TIG, 正 接 I 100~120A U 12~14VA</u> <u>SAW, 反 接 I 450~500A U 32~36V 焊 接 速 度 20~25m/h</u>						
操作 技 术 要 求	首先以手工 TIG 打底焊一层后, 以 SMAW 焊至 10~15mm 厚, 再以 SAW 焊满坡口						
编 制		校 对		审 核		批 准	
日 期		日 期		日 期		日 期	

焊接工艺评定书

编号 No HPB-11

设计书编号 No HSB-11

评定项目 60 万机组集箱环缝 SA335 P12 钢 $\phi 813\text{mm} \times 88\text{mm}$ 手工钨极氩弧焊+手弧焊+埋弧焊接头

焊接方法手工 TIG+SMAW+SAW 自动化等级 手工+机械化 焊接位置 平、横 技术标准 ASME

接头坡口形式				焊接层次(顺序)							
见图 PB-11 左				见图 PB-11 右							
母材	检验编号 _____							钨极型号 钨钨板, 直径 $\phi 2.5\text{mm}$			
	牌号 SA335 P12	规格 $\phi 813 \times 88\text{mm}$	类别 P4-2								
化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo				
	0.12	0.30	0.40	0.011	0.013	0.93	0.48				
力学性能	σ_b/MPa	493, 491	σ_s/MPa	/	$\delta_5/\%$	/	A_{KV}/J	230, 224, 218			
	检验编号 _____										
焊丝	焊丝牌号 ER80S-B2L EB2 焊丝规格 $\phi 2.5 \phi 3\text{mm}$ 焊丝型号 / 焊剂牌号 HJ350										
化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo				
	0.04	0.22	0.59	0.011	0.009	1.31	0.60				
焊条	焊条牌号 E8018-B2L 焊条规格 $\phi 3.2, \phi 4$ 焊条型号 _____ 检验编号 _____										
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo				
熔敷金属成分(%)	0.042	0.21	0.43	0.010	0.011	1.21	0.51				
	保护气体 Ar, 流量 8~10 L/min 其它气体 /, 流量 / L/min										

预热及焊后热处理

预热温度 ≥ 120 °C 层间温度 120~350 °C 后热温度 / 时间 /

消氢温度 / 时间 / h 中间热处理温度 / 时间 /

焊后热处理温度 660~680 °C 时间 4

(续)

焊接工艺参数

电流种类 直流 极性 正接 反接 手工 TIG: 正接 I 100~120A U 12~14VSMAW: 反接 ϕ 3.2mm: I 110~130A U 21~23V ϕ 4mm: I 60~180A U 22~24VSAW: 反接 I 450~500A U 32~36V 焊接速度 20~25m/h

操作技术

首先以手工 TIG 打底一层后,以 SMAW 焊至 10~15mm 厚,再以 SAW 焊满坡口

性能检验结果

拉伸试验

检验报告编号 _____

试样编号	试样形式	σ_b /MPa	σ_s /MPa	断裂位置	
PB11-1	板状	468.4, 446.9	/	焊缝外	

定向弯曲

检验报告编号 _____

试样编号	试样形式	弯轴直径/mm	弯曲角度/(°)	检验结果
PB11-2	侧弯	$d=4a$	180	合格

冲击韧性试验

检验报告编号 _____

试样编号	缺口形式	缺口位置	试验温度/°C	A_{kv} /J
PB11-3	V	焊缝 热影响区	常温	98, 135.2, 93.1 147, 137.2, 86.2

硬度试验结果(HV₁₀)

检验报告编号 _____

焊 缝	热 影 响 区	母 材
219, 208	201, 203	165, 172

金相检验结果

检验报告编号 _____

宏 观	微 观	其 它 检 验
/	焊 缝 <u>F+P</u> 热影响区 <u>B+F+P</u> 母 材 <u>F+P</u>	/

无损探伤检验结果 RT 合格 检验报告编号 _____

焊工 _____ 钢印号 _____ 焊工合格证号 _____

评定结论 合格

编 制		校 对		审 核		审 定	
日 期		日 期		日 期		日 期	

焊接工艺设计书

编号 No HSB-12工艺评定编号 HPB-12评定项目 60 万机组集箱接管角焊缝 SA335P12 钢+15CrMo 钢 手工钨极氩弧焊+焊条电弧焊接头焊接方法 手工 TIG+SMAW 自动化等级 手工 焊接位置 平、横 技术标准 ASME

接头坡口形式

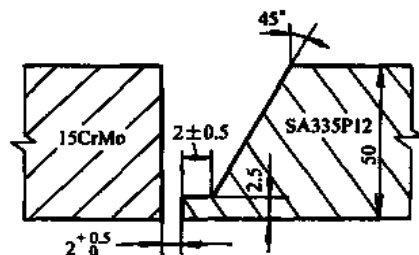


图 PB-12 左

焊接层次(顺序)

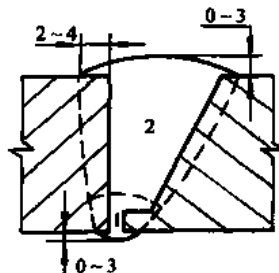


图 PB-12 右

首先以手工
TIG 打底一层,
再以 SMAW 焊
满坡口

对焊接头的基本要求

1. 力学性能

σ_b /MPa	σ_s /MPa	δ_5 (%)	弯曲角度/(°) $d=4a$	冲击试验			其 它
				缺口形式	试验温度/°C	A_K /J	
≥414	/	/	180°	/	/	/	HV ₁₀ ≤280

2. 其它 RT 检查 金相组织 宏观 MT 检查

母材	牌号 <u>SA335P12 15CrMo</u> 规格 <u>φ813×88+φ219×50mm</u> 类别 <u>P4-1 N-1</u>						
焊接材料	焊条牌号 <u>R307</u> 焊条规格 <u>φ3.2, φ5, φ4mm</u> 型号 <u>E5515-B2</u> 钨极型号规格 <u>钨钨板 φ2.5mm</u> 焊剂 <u>/</u> 焊丝牌号 <u>/</u> 焊丝规格 <u>/</u> 型号 <u>/</u> 保护气 <u>Ar</u> 流量 <u>8~10L/min</u> 其它气体 <u>/</u> 流量 <u>/ L/min</u>						
预热 热处 理	预热温度 <u>150~200°C</u> 层间温度 <u>150~350°C</u> 后热温度,时间 <u>/</u> °C/h 消氢温度,时间 <u>/</u> °C/h 中间热处理 <u>/</u> °C 时间 <u>/</u> h 焊后热处理 <u>650~670°C</u> 时间 <u>4</u> h						
焊接 工艺 参数 要求	电流种类 <u>直流</u> 极性 <u>正接 反接</u> 焊接电流 <u>SMAW: 反接 φ3.2mm: I 110~130A φ4mm: I 160~180A 电弧电压 U 21~24V</u> <u>手工 TIG: 正接 I 100~120A U 12~14V</u>						
操作 技术 要求	首先以手工 TIG 打底焊一层,再以 SMAW 焊满坡口						

编 制		校 对		审 核		批 准	
日 期		日 期		日 期		日 期	

焊接工艺评定书

编号 No HPB-12

设计书编号 No HSB-12

评定项目 60 万机组集箱接管角焊缝 SA335P 钢 12+15CrMo 钢手工钨极氩弧焊+焊条电弧焊接头

焊接方法手工 TIG+SMAW 自动化等级 手工 焊接位置 平、横 技术标准 ASME

接头坡口形式				焊接层次(顺序)							
见图 PB-12 左				见图 PB-12 右							
母材	检验编号 _____										
	牌号 SA335 P12, 15CrMo	规格 $\phi 813 \times 88$ $\phi 219 \times 50\text{mm}$	类别 P4-1 N-1	钨极型号 钨钨极, 直径 $\phi 2.5\text{mm}$							
化学成分 (%)	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo				
	0.12	0.30	0.40	0.011	0.013	0.93	0.48				
	0.13	0.21	0.50	0.021	0.011	0.94	0.50				
力学性能	σ_b/MPa	484,498 459,462	σ_s/MPa	/	$\delta_5/\%$	/	A_K/J				
焊材	检验编号 _____										
	焊丝牌号 H08CrMnSiMo	焊丝规格 $\phi 2.5\text{mm}$	焊丝型号 /	焊剂牌号 /							
化学成分 (%)	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo				
	0.04	0.74	1.49	0.011	0.009	0.96	0.43				
焊条	焊条牌号 R307 焊条规格 $\phi 3.2, \phi 4.0, \phi 5.0\text{mm}$ 焊条类别 E5515-B2 检验编号 /										
熔敷金属成分 (%)	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo				
	0.07	0.21	0.84	0.010	0.009	0.98	0.45				
保护气体 Ar, 流量 8~10 L/min 其它气体 /, 流量 / L/min											

预热及焊后热处理

预热温度 150~200 °C 层间温度 150~350 °C 后热温度 / 时间 /

消氢温度 / 时间 / 中间热处理温度 / 时间 /

焊后热处理温度 650~670 °C 时间 4 h

(续)

焊接工艺参数

电流种类 直流 极性 正接,反接 手工 TIG:正接 I 100~120A U 12~14VSMAW:反接 ϕ 3.2mm, I 110~130A U 21~23V ϕ 4.0mm, I 160~180A U 22~24V ϕ 5.0mm, I 200~230A U 23~25V

操作技术

首先以手工 TIG 打底,再以 SMAW 焊满坡口

性能检验结果

拉伸试验

检验报告编号 _____

试样编号	试样形式	σ_b /MPa	σ_s /MPa	断裂位置	
PB12-1	板状	446.9 441.0	/	焊缝上	

定向弯曲

检验报告编号 _____

试样编号	试样形式	弯轴直径/mm	弯曲角度/(°)	检验结果
PB12-2	侧弯	$d=4a$	180	合格

冲击韧性试验

检验报告编号 _____

试样编号	缺口形式	缺口位置	试验温度/°C	A_K /J

硬度试验结果(HV₁₀)

检验报告编号 _____

焊 缝	热 影 响 区	母 材
191,203	179,193	160,181,159
179,177	183,194	

金相检验结果

检验报告编号 _____

宏 观	微 观	其 它 检 验
合 格	焊 缝 <u>B+F</u> 热影响区 <u>F+P</u> 母 材 <u>F+P</u>	/

无损探伤检验结果 RT,MT 合格 检验报告编号 _____

焊工 _____ 钢印号 _____ 焊工合格证号 _____

评定结论 合格

编 制		校 对		审 核		审 定	
日 期		日 期		日 期		日 期	

焊接工艺设计书

编号 No HSB-13

工艺评定编号 HPB-13

评定项目 船用锅炉集箱环缝 15CrMo 钢+12Cr1MoV 钢 手工钨极氩弧焊+手弧焊+埋弧焊接头

焊接方法 手工 TIG+SMAW+SAW 自动化等级 手工+机械化 焊接位置 平 技术标准 锅规

接头坡口形式

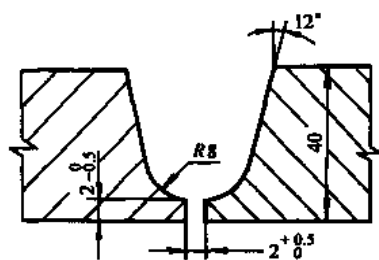


图 PB-13 左

焊接层次(顺序)

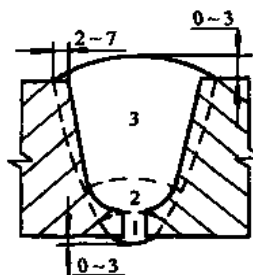


图 PB-13 右

首先以手工
TIG 打底焊一
层,以 SMAW
焊至 10~
15mm,再以
SAW 焊满坡口

对焊接接头的基本要求

1. 力学性能

σ_b /MPa	σ_s /MPa	δ_5 (%)	弯曲角度/(°) $d=3a$	冲击试验			其它
				缺口形式	试验温度/°C	A_{kv} /J	
≥ 441	/	/	50°	V	常温	≥ 27	$HV_{10} \leq 350$ $\sigma_s^{500^\circ C} \geq 174.4$

2. 其它 RT 检查 金相组织 宏观

母材	牌号 15CrMo 12CrMoV 规格 $\delta 40$ mm 类别 N-1 N-2
焊接材料	焊条牌号 R307 焊条规格 $\phi 3.2, \phi 4$ mm 型号 E5515-B2 钨极型号规格 钨钨极 $\phi 2.5$ mm 焊剂 HJ350 焊丝牌号 H08CrMnSiMo 焊丝规格 $\phi 2.5$ mm 型号 / 保护气 Ar 流量 8~10L/min H12CrMo $\phi 3$ mm 其它气体 / 流量 / L/min
预热热处理	预热温度 200~250°C 层间温度 200~350°C 后热温度,时间 / °C/h 消氢温度,时间 / °C/h 中间热处理 / °C/h 时间 / h 焊后热处理 680~700°C 时间 2.5h
焊接工艺参数要求	电流种类 直流 极性 正接 反接 焊接电流 SMAW:反接 $\phi 3.2$ mm: $I_1 110 \sim 130$ $\phi 4$ mm: $I_2 160 \sim 180$ A 电弧电压 $U_1 21 \sim 23$ V $U_2 22 \sim 24$ V 手工 TIG:正接 $I 100 \sim 120$ A $U 12 \sim 14$ V SAW: $I 450$ ~ 500 A $U 32 \sim 34$ V 焊接速度 20~22m/h
操作技术要求	首先用 H08CrMnSiMo 焊丝手工 TIG 打底焊一层后,以 SMAW 焊至 10~15mm 再以 SAW 焊满坡口

编制		校对		审核		批准	
日期		日期		日期		日期	

焊接工艺评定书

编号 No HPB-13

设计书编号 No HSB-13

评定项目 船用锅炉集箱环缝 15CrMo 钢+12Cr1MoV 钢 手工钨极氩弧焊+手弧焊+埋弧焊接头

焊接方法 手工 TIG+SMAW+SAW 自动化等级 手工+机械化 焊接位置 平 技术标准 钢规

接头坡口形式	焊接层次(顺序)
见图 PB-13 左	见图 PB-13 右

母材	检验编号 _____ 牌号 15CrMo 规格 $\phi 40\text{mm}$ 类别 N-1 N-2 12Cr1MoV 钨极型号 铈钨极, 直径 $\phi 2.5\text{mm}$									
化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	V		
	0.14	0.27	0.50	0.011	0.013	0.93	0.47	/		
	0.13	0.27	0.63	0.021	0.009	1.05	0.42	0.19		
力学性能	σ_b/MPa	501,485 523,541	σ_s/MPa	/	$\delta_s/\%$	/	A_{kv}/J	203,198,211 197,201,231		

焊丝	检验编号 _____ 焊丝牌号 H08CrMnSiMo, H12CrMo 焊丝规格 $\phi 2.5, \phi 3\text{mm}$ 焊丝型号 _____ 焊剂牌号 HJ350									
化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	V		
	0.04	0.70	1.49	0.018	0.015	0.96	0.48			
	0.07	0.30	0.55	0.017	0.009	0.94	0.42	0.21		
焊条	焊条牌号 R307 焊条规格 $\phi 3.2, \phi 4 \text{ mm}$ 焊条型号 E5515-B2 检验编号 _____									
熔敷金属成分(%)	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo			
	0.09	0.21	0.46	0.019	0.017	1.02	0.52			

保护气体 Ar, 流量 8~10 L/min 其它气体 /, 流量 / L/min

预热及焊后热处理

预热温度 200~250 °C 层间温度 200~350°C 后热温度 / 时间 /

消氢温度 / 时间 / 中间热处理温度 / 时间 /

焊后热处理温度 680~700 °C 时间 2.5 h

(续)

焊接工艺参数

电流种类 直流 极性 正接,反接 手工 TIG: 正接 I 100~120A U 12~14VSMAW: 反接 ϕ 3.2mm: I 110~130A U 21~23V ϕ 4.0mm: I 160~180A U 22~24VSAW: 反接 I 450~500A U 32~34V 焊接速度 20~22m/h

操作技术

首先用 H08CrMnSiMo ϕ 2.5mm 焊丝手工 TIG 打底焊一层后,以 SMAW 焊至 10~15mm,再以 SAW 焊满坡口

性能检验结果

拉伸试验

检验报告编号 _____

试样编号	试样形式	σ_b /MPa	σ_t /MPa	断裂位置	
PB13-1	板状	502,498	/	焊缝外	
PB13-2	棒状	328,394(500°C)	/	/	

定向弯曲

检验报告编号 _____

试样编号	试样形式	弯轴直径/mm	弯曲角度/(°)	检验结果
PB13-3	侧弯	$d=3a$	50	合格

冲击韧性试验

检验报告编号 _____

试样编号	缺口形式	缺口位置	试验温度/°C	A_{kv} /J
PB13-4	V	焊缝 热影响区	常温	148,112,163 15CrMo 侧 204,190,223 12Cr1MoV 侧 112,98,101

硬度试验结果(HV₁₀)

检验报告编号 _____

焊 缝	热 影 响 区	母 材
264,259	15CrMo 侧:283,274 12Cr1MoV 侧:301,297	223,241

金相检验结果

检验报告编号 _____

宏 观	微 观	其 它 检 验
合 格	焊 缝 <u>B+F+P</u> 15CrMo <u>B+F+P</u> 热影响区 <u>12Cr1MoV B+F+P</u> 15CrMo <u>F+P</u> 母 材 <u>12Cr1MoV F+P+B</u>	/

无损探伤检验结果 RT 合格

检验报告编号 _____

焊工 _____ 钢印号 _____

焊工合格证号 _____

评定结论 合格

编 制		校 对		审 核		审 定	
日 期		日 期		日 期		日 期	

焊接工艺设计书

编号 No HSB-14

工艺评定编号 HPB-14

评定项目 锅炉集箱环缝 12Cr1MoV 钢+13CrMo44 钢 $\delta 18\text{mm}$ 手工钨极氩弧焊+手弧焊

焊接方法 手工 TIG+SMAW 自动化等级 手工 焊接位置 平 技术标准 ASME

接头坡口形式

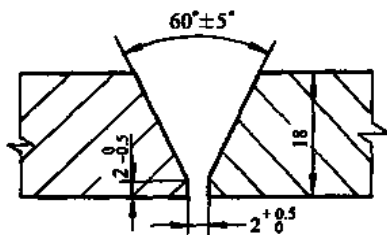


图 PB-14 左

焊接层次(顺序)

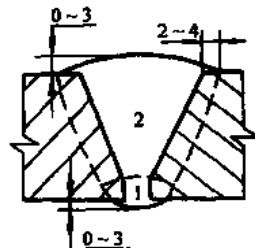


图 PB-14 右

首先以手工 TIG
打底焊一层,再以
SMAW 焊满坡口

对焊接接头的基本要求

1. 力学性能

σ_b/MPa	σ_s/MPa	$\delta_5(\%)$	弯曲角度/(°) $d=4a$	冲击试验			其 它
				缺口形式	试验温度/°C	A_{kv}/J	
≥ 441	/	/	180°	V	常温	≥ 27	

2. 其它 RT 检查

母材	牌号 13CrMo44, 12Cr1MoV	规格 $\delta=18\text{mm}$	类别 N-1 N-2
焊接材料	焊条牌号 R307	焊条规格 $\phi 4, \phi 5\text{mm}$	型号 E5515-B2
	焊丝牌号 H08CrMnSiMo	焊丝规格 $\phi 2.5\text{mm}$	型号 /
			钨极型号规格 钨钨极 $\phi 2.5\text{mm}$
			焊剂 /
			保护气 Ar
			其它气体 /
预热处理	预热温度 200~250°C	层间温度 200~350°C	后热温度, 时间 / °C/h
	中间热处理 /	时间 /	消氢温度, 时间 /
			焊后热处理 680~700°C
			时间 1.5h
焊接工艺参数要求	电流种类 直流	极性 正接 反接	焊接电流 手工 TIG: 正接 I 100~120A
	U 12~14V		电弧电压
	SMAW: 反接 $\phi 4\text{mm}$: I 150~170A		U 22~24V
	$\phi 5\text{mm}$: I 200~250A		U 23~25V
操作技术要求	首先以 H08CrMnSiMo $\phi 2.5\text{mm}$ 焊丝, 手工 TIG 打底焊一层, 再以 SMAW 焊满坡口		

编 制		校 对		审 核		批 准	
日 期		日 期		日 期		日 期	

焊接工艺评定书

编号 No HPB-14

设计书编号 No HSB-14

评定项目 锅炉集箱环缝 12Cr1MoV 钢+13CrMo44 钢 $\delta 18\text{mm}$ 手工钨极氩焊+手弧焊

焊接方法手工 TIG+SMAW 自动化等级手工 焊接位置 平 技术标准 ASME

接头坡口形式	焊接层次(顺序)
见图 PB-14 左	见图 PB-14 右

母材	检验编号 _____ 牌号 <u>12Cr1MoV 13CrMo44</u> 规格 <u>δ18mm</u> 类别 <u>N-2 N-1</u>						钎板型号 <u>钎钨板</u> ,直径 <u>φ2.5mm</u>								
化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	V							
	0.12	0.22	0.48	0.015	0.013	1.07	0.29	0.32							
	0.13	0.14	0.38	0.020	0.011	0.90	0.49	/							
力学性能	σ_b /MPa		548,529 490,521		σ_s /MPa		/		δ_5 /%		/		A_{KV} /J		198,212,208 230,221,210
焊丝	检验编号 _____ 焊丝牌号 <u>H08CrMoSiMo</u> 焊丝规格 <u>φ2.5mm</u> 焊丝型号 <u>/</u> 焊剂牌号 <u>/</u>														
化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo								
	0.04	0.74	1.49	0.011	0.009	0.96	0.43								
焊条	牌号 <u>R307</u> 焊条规格 <u>φ4,φ5mm</u> 焊条型号 <u>E5515-B2</u> 检验编号 _____														
化学 成分(%)	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo								
	0.06	0.23	0.54	0.019	0.011	1.24	0.44								

保护气体 Ar, 流量 8~10 L/min 其它气体 /, 流量 / L/min

预热及焊后热处理

预热温度 200~250 °C 层间温度 200~350°C 后热温度 / 时间 /

消氢温度 / 时间 / 中间热处理温度 / 时间 /

焊后热处理温度 680~700 °C 时间 1.5 h

(续)

焊接工艺参数

电流种类 直流 极性 正接 反接 手工 TIG: 正接 I 100~120A U 12~14VSMAW: 反接 $\phi 4\text{mm}$: I 150~170A U 22~24V $\phi 5\text{mm}$: I 200~220A U 23~25V

操作技术

首先用 H08CrMnSiMo 焊丝以手工 TIG 打底焊一层,再以 SMAW 焊满坡口

性能检验结果

拉伸试验

检验报告编号 _____

试样编号	试样形式	σ_b/MPa	σ_s/MPa	断裂位置	
PB14-1	板状	501,489	/	焊缝外	

定向弯曲

检验报告编号 _____

试样编号	试样形式	弯轴直径/mm	弯曲角度/(°)	检验结果
PB14-2	侧弯	$d=4a$	180	合格

冲击韧性试验

检验报告编号 _____

试样编号	缺口形式	缺口位置	试验温度/°C	A_{KV}/J
PB14-3	V	焊缝 热影响区	常温	162,158,168 12Cr1MoV 侧:74,68,166 13CrMo44 侧:98,136,104

硬度试验结果(H)

检验报告编号 _____

焊 缝	热 影 响 区	母 材
/	/	/

金相检验结果

检验报告编号 _____

宏 观	微 观	其 它 检 验
/	/	/

无损探伤检验结果 RT 合格

检验报告编号 _____

焊工 _____ 钢印号 _____

焊工合格证号 _____

评定结论 合格

编 制	校 对	审 核	审 定
日 期	日 期	日 期	日 期

焊接工艺设计书

编号 No HSB-15

工艺评定编号 HPB-15

评定项目 20 万机组集箱环缝 12Cr1MoV 钢 $\phi 377\text{mm} \times 45\text{mm}$ 手工钨极氩弧焊+手弧焊+埋弧焊接头

焊接方法	手工 TIG+SMAW+SAW	自动化等级	手工+机械化	焊接位置	平	技术标准	钢规

接头坡口形式

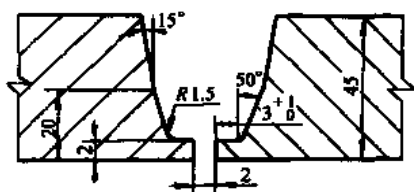
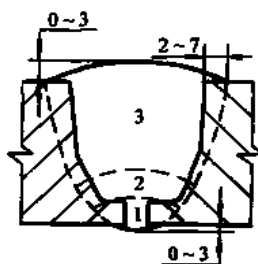


圖 PB-15 左

焊接层次(顺序)



首先以手工 TIG 打底焊一层, 以 SMAW 焊至 10~15mm, 再以 SAW 焊满坡口

图 PB-15 右

对焊接接头的基本要求

1. 力学性能

σ_b/MPa	σ_s/MPa	$\delta_5(\%)$	弯曲角度/ $^\circ$ $d=3a$	冲击试验			其 它
				缺口形式	试验温度	A_{KU}/J	
≥ 471	/	/	50	U	常温	≥ 58.8	$\text{HV}_{10} \leq 350$

2. 其它 RT 检查 金相组织 宏观

母材	牌号 <u>12Cr1MoV</u> 规格 <u>φ377×45mm</u> 类别 <u>N-2</u>						
焊接材料	焊条牌号 <u>R317</u> 焊条规格 <u>φ3.2, φ4mm</u> 型号 <u>E5515-B2-V</u> 钨极型号规格 <u>钍钨极 φ2.5mm</u> 焊剂 <u>HJ350</u> 焊丝牌号 <u>H08CrMnV</u> 焊丝规格 <u>φ2.5, φ2mm</u> 型号 <u>/</u> 保护气 <u>Ar</u> 流量 <u>8~10L/min</u> 其它气体 <u> </u> 流量 <u>/</u>						
预热热处理	预热温度 <u>200~250°C</u> 层间温度 <u>200~350°C</u> 后热温度, 时间 <u>/</u> 消氢温度, 时间 <u>/</u> 中间热处理 <u>/</u> °C 时间 <u>/</u> h 焊后热处理 <u>720~750°C</u> 时间 <u>4h</u>						
焊接工艺参数要求	电流种类 <u>直流</u> 极性 <u>正接 反接</u> 焊接电流 <u>手工 TIG: 正接 I 100~120A 电弧电压 U 12~14V</u> <u>SMAW: 反接 φ3.2mm, I 110~130A U 21~23V φ4mm, I 160~180A U 22~24V</u> <u>SAW: 反接 I 240~300A U 26~30V 焊接速度, 21m/h 送丝速度 210m/h</u>						
操作技术要求	首先用 H08CrMoV φ2.5mm 焊丝, 以手工 TIG 打底焊一层, 以 SMAW 焊至 10~15mm, 再以 SAW 焊满坡口						
编制		校 对		审 核		批 准	
日 期		日 期		日 期		日 期	

焊接工艺评定书

编号 No HPB-15

设计书编号 No HSB-15

评定项目 20 万机组集箱环缝 12Cr1MoV 钢 $\phi 377\text{mm} \times 45\text{mm}$ 手工钨极氩弧焊+手弧焊+埋弧焊接头

焊接方法 手工 TIG+SMAW+SAW 自动化等级 手工+机械化 焊接位置 平 技术标准 钢规

接头坡口形式

焊接层次(顺序)

见图 PB-15 左

见图 PB-15 右

母材	检验编号 _____									
	牌号	12Cr1MoV	规格	$\phi 377 \times 45\text{mm}$	类别	N-2	钨极型号	钍钨极	直径	$\phi 2.5\text{mm}$
化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	V		
	0.13	0.20	0.54	0.020	0.018	0.95	0.37	0.19		
力学性能	σ_b/MPa	532, 521	σ_s/MPa	/	$\delta_5/\%$	/	A_{KV}/J	223, 251, 238		
焊丝	检验编号 _____									
	焊丝牌号	H08CrMoV	焊丝规格	$\phi 2.5 \phi 2\text{mm}$	焊丝型号	/	焊剂牌号	HJ350		
化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	V		
	0.098	0.22	0.55	0.014	0.011	1.15	0.61	0.25		
焊条	检验编号 _____									
	焊条牌号	R317	焊条规格	$\phi 3.2, \phi 4\text{mm}$	焊条型号	E5515-B2-V	检验编号			
熔敷金属成分(%)	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	V		
	0.10	0.24	0.80	0.021	0.009	1.09	0.57	0.26		

保护气体 Ar, 流量 8~10 L/min 其它气体 /, 流量 / L/min

预热及焊后热处理

预热温度 200~250 °C 层间温度 200~350 °C 后热温度 / 时间 /

消氢温度 / 时间 / 中间热处理温度 / 时间 /

焊后热处理温度 720~750 °C 时间 4 h

(续)

· 焊接工艺参数

电流种类 直流 极性 正接,反接 手工 TIG: 正接 I 100~120A U 12~14VSMAW: 反接 ϕ 3.2mm: I 110~130A U 21~23V ϕ 4mm: I 160~180A U 22~24VSAW: 反接 I 240~300A U 26~30V 焊接速度 21m/h 送丝速度 210m/h

操作技术

首先用 H08CrMoV ϕ 2.5mm 焊丝,以手工 TIG 打底焊一层,以 SMAW 焊至 10~15mm,再以 SAW 焊满坡口

性能检验结果

拉伸试验

检验报告编号 _____

试样编号	试样形式	σ_b /MPa	σ_s /MPa	断裂位置	
PB15-1	板状	529.2, 537.04	/	焊缝外	

定向弯曲

检验报告编号 _____

试样编号	试样形式	弯轴直径/mm	弯曲角度/(°)	检验结果
PB15-1	背弯、 面弯、侧弯	$d=3a$	50	合格

冲击韧性试验

检验报告编号 _____

试样编号	缺口形式	缺口位置	试验温度/°C	A_{kv} /J
PB15-3	U	焊缝 热影响区	常温	1147.7, 129.4, 117.6 313.6, 232.3, 245

硬度试验结果(HV₁₀)

检验报告编号 _____

焊 缝	热 影 响 区	母 材
160.5, 159, 178.9	149, 170, 178.9	145, 152

金相检验结果

检验报告编号 _____

宏 观	微 观	其 它 检 验
合 格	焊 缝 <u>F+P</u> 热影响区 <u>F+P</u> 母 材 <u>F+P</u>	/

无损探伤检验结果 RT 合格

检验报告编号 _____

焊工 _____ 钢印号 _____

焊工合格证号 _____

评定结论 合格

编 制		校 对		审 核		审 定	
日 期		日 期		日 期		日 期	

焊接工艺设计书

编号 No HSB-16

工艺评定编号 HPB-16

评定项目 20 万机组集箱凹槽形管座角接缝 12Cr1MoV 钢 $\phi 325\text{mm} \times 50\text{mm} + \phi 83\text{mm} \times 6\text{mm}$ 手工钨极氩弧焊

+ 手工电弧焊

焊接方法 手工 TIG+SMAW 自动化等级 手工 焊接位置 平、横 技术标准 钢规

接头坡口形式

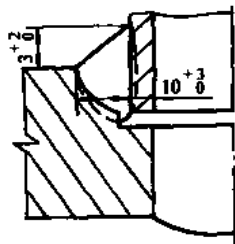


图 PB-16 左

焊接层次(顺序)

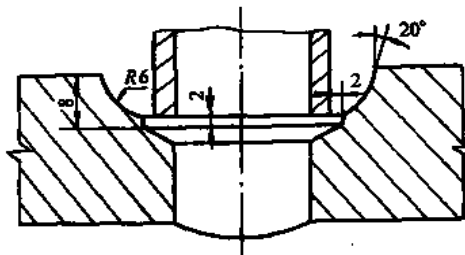


图 PB-16 右

对焊接接头的基本要求

1. 力学性能

σ_b/MPa	σ_s/MPa	$\delta_5(\%)$	弯曲角度/(°) $d=3a$	冲击试验			其 它
				缺口形式	试验温度/°C	A_K/J	
							$HV_{10} \leq 350$

2. 其它 金相宏观

母材	牌号 <u>12Cr1MoV</u> 规格 <u>φ325×50+φ83×6mm</u> 类别 <u>N-2</u>						
焊接材料	焊条牌号 <u>R317</u>	焊条规格 <u>φ3.2, φ4mm</u>	型号 <u>E5515-B2-V</u>	钨极型号规格 <u>钍钨极 φ2.5mm</u>	焊剂	<u>/</u>	
	焊丝牌号 <u>H08CrMoV</u>	焊丝规格 <u>φ2.5mm</u>	型号 <u>/</u>	保护气 <u>Ar</u>	流量	<u>8~10L/min</u>	
				其它气体 <u>/</u>	流量	<u>/</u>	
预热 热处理 后理	预热温度 <u>200~250</u> °C 层间温度 <u>200~350</u> °C 后热温度, 时间 <u>/</u> 消氢温度, 时间 <u>/</u> 中间热处理 <u>/</u> 时间 <u>/</u> 焊后热处理 <u>720~750°C</u> 时间 <u>4</u> h						
焊接 工艺 参数 要求	电流种类 <u>直流</u> 极性 <u>正接, 反接</u> 焊接电流 <u>手工 TIG, 正接 I100~120A</u> 电弧电压 <u>U12~14V</u> <u>SMAW, 反接 φ3.2mm, I 110~130A U 21~23V</u> <u>φ4.0mm, I 160~180A U 22~24V</u>						
操作 技术 要求	首先以手工 TIG 打底焊一层, 再以 SMAW 焊满坡口						
编 制		校 对		审 核		批 准	
日 期		日 期		日 期		日 期	

焊接工艺评定书

编号 No HPB-16

设计书编号 No HSB-16

评定项目 20 万机组集箱凹槽式管座角接缝 12Cr1MoV 钢 $\phi 325\text{mm} \times 50\text{mm} + \phi 83\text{mm} \times 6\text{mm}$ 手工钨极氩弧焊
+ 手工电弧焊接头

焊接方法 手工 TIG+SMAW 自动化等级 手工 焊接位置 平、横 技术标准 钢规

接头坡口形式	焊接层次(顺序)
见图 PB-16 左	见图 PB-16 右

母材	检验编号 _____ 牌号 12Cr1MoV 规格 $\phi 325 \times 50 + \phi 83 \times 6\text{mm}$ 类别 N-2					钨极型号 钍钨极, 直径 $\phi 2.5\text{mm}$				
化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	V		
	0.12	0.29	0.53	0.019	0.009	0.95	0.29	0.19		
	0.11	0.26	0.57	0.020	0.012	1.03	0.33	0.26		
力学性能	σ_b/MPa	/	σ_s/MPa	/	$\delta_5/\%$	/	A_K/J	/		
焊丝	检验编号 _____ 焊丝牌号 H08CrMoV 焊丝规格 $\phi 2.5\text{mm}$ 焊丝型号 / 焊剂牌号									
化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	V		
	0.057	0.25	0.51	0.009	0.011	1.15	0.60	0.27		
焊条	焊条牌号 R317 焊条规格 $\phi 3.2, \phi 4\text{mm}$ 焊条型号 E5515-B2-V 检验编号 _____									
熔敷金属成分(%)	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	V		
	0.10	0.24	0.80	0.012	0.013	1.09	0.57	0.26		

保护气体 Ar, 流量 8~10 L/min 其它气体 /, 流量 / L/min

预热及焊后热处理

预热温度 200~250 °C 层间温度 200~350 °C 后热温度 / 时间 /

消氢温度 / 时间 / 中间热处理温度 / 时间 /

焊后热处理温度 720~750 °C 时间 4 h

(续)

焊接工艺参数

电流种类 直流 极性 正接,反接 手工 TIG: $I=100\sim120A$ $U=12\sim14V$ SMAW: 反接 $\phi 3.2mm: I 110\sim130A$ $U 21\sim23V$ $\phi 4.0mm: I 160\sim180A$ $U 22\sim24V$

操作技术

首先以手工 TIG 打底焊一层,再以 SMAW 焊满坡口,第一层以 $\phi 3.2mm$ 焊条施焊,其余层以 $\phi 4mm$ 焊条施焊

性能检验结果

拉伸试验

检验报告编号 _____

试样编号	试样形式	σ_b/MPa	σ_s/MPa	断裂位置	
/	/	/	/	/	

定向弯曲

检验报告编号 _____

试样编号	试样形式	弯轴直径/mm	弯曲角度/(°)	检验结果
/	/	$d=a$	/	/

冲击韧性试验

检验报告编号 _____

试样编号	缺口形式	缺口位置	试验温度/°C	A_k/J
/	/	/	/	/

硬度试验结果(HV₁₀)

检验报告编号 _____

焊 缝	热 影 响 区	母 材
178.9,180	178.9,170.6	/

金相检验结果

检验报告编号 _____

宏 观	微 观	其 它 检 验
四只试样均合格	/	/

无损探伤检验结果 _____ 检验报告编号 _____

焊工 _____ 钢印号 _____ 焊工合格证号 _____

评定结论 合格

编 制	校 对	审 核	审 定
日 期	日 期	日 期	日 期

焊接工艺设计书

编号 No HSB-17

工艺评定编号 HPB-17

评定项目 30 万机组集箱三通支管与主管焊缝 12Cr1MoV 钢 $\phi 559\text{mm} \times 120\text{mm}$ 手弧焊接头

焊接方法 SMAW 自动化等级 手工 焊接位置 平、横 技术标准 ASME

接头坡口形式

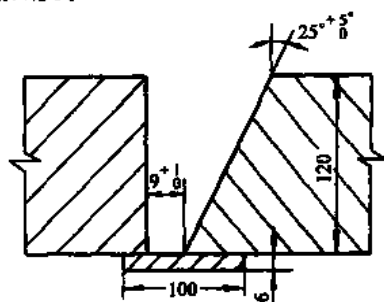


图 PB-17 左

焊接层次(顺序)

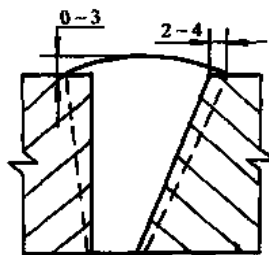


图 PB-17 右

焊缝坡口后反面填板以机加方式清除

对焊接接头的基本要求

1. 力学性能

σ_b/MPa	σ_s/MPa	$\delta_5/\%$	弯曲角度/(°) ($d=4a$)	冲击试验			其它
				缺口形式	试验温度/°C	A_{kv}/J	
≥ 441	/	/	180°	V	50	≥ 27	$HV_{10} \leq 350$, $\sigma_b^{540^\circ\text{C}} \geq 379$

2. 其它 RT 检查 金相组织 宏观

母材	牌号 <u>12Cr1MoV</u> 规格 <u>φ559×120mm</u> 类别 <u>N-2</u>				
焊接材料	焊条牌号 <u>R317</u>	焊条规格 <u>φ3.2, φ4, φ5mm</u>	型号 <u>E5515-B2-V</u>	焊根型号规格 <u>/</u>	焊剂 <u>/</u>
	焊丝牌号 <u>/</u>	焊丝规格 <u>/</u>	型号 <u>/</u>	保护气 <u>/</u>	流量 <u>/</u>
				其它气体 <u>/</u>	流量 <u>/</u>
预热 热处理 后理	预热温度 <u>≥200</u> °C 层间温度 <u>200~350</u> °C 后热温度, 时间 <u>/</u> 消氢温度, 时间 <u>350~400°C/2h</u> 中间热处理 <u>650~680</u> °C 时间 <u>6</u> h 焊后热处理 <u>710~730°C</u> 时间 <u>6</u> h				
焊接工艺参数要求	电流种类 <u>直流</u> 极性 <u>反接</u> 焊接电流 <u>φ3.2mm; I₁ 110~130A; φ4mm; I₂ 160~180A; φ5mm; I₃ 200~220A</u> 电弧电压 <u>U₁ 21~23V U₂ 22~24V U₃ 23~25V</u>				
操作技术要求	第一层以 φ3.2mm 焊条施焊, 第 2~3 层以 φ4mm 焊条施焊, 其它层以 φ5mm 焊条施焊, 坡口焊前, 机加工清除垫板。焊后立即消氢, 焊接中断维持预热温度				

编制		校对		审核		批准	
日期		日期		日期		日期	

焊接工艺评定书

编号 No HPB-17

设计书编号 No HSB-17

评定项目 30 万机组集箱三通支管与主管焊接 $\phi 559\text{mm} \times 120\text{mm}$ 手弧焊接头

焊接方法 SMAW 自动化等级 手工 焊接位置 平,横 技术标准 ASME

接头坡口形式

焊接层次(顺序)

见图 PB-17 左

见图 PB-17 右

母材	检验编号 _____								钨极型号 / 直径 /	
	牌号 12Cr1MoV	规格 $\phi 559 \times 120\text{mm}$	类别 N-2							
化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	V		
	0.14	0.19	0.54	0.017	0.016	1.11	0.29	0.21		
力学性能	σ_b/MPa	476	σ_s/MPa	259	$\sigma_5/\%$	29	$A_{KV}/(\text{J})$	176,166,142		
焊丝	检验编号 _____									
	焊丝牌号 /	焊丝规格 /	焊丝型号 /	焊剂牌号 /						
化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S					
焊条	焊条牌号 R317 焊条规格 $\phi 3.2\text{mm}, \phi 4, \phi 5\text{mm}$ 焊条型号 E5515-B2-V 检验编号 _____									
熔敷金属化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	V		
	0.06	0.24	0.56	0.016	0.009	1.01	0.45	0.20		
保护气体 / 流量 / L/min 其它气体 流量 / L/min										

预热及焊后热处理

预热温度 $\geq 200^\circ\text{C}$ 层间温度 $200 \sim 350^\circ\text{C}$ 后热温度 / 时间 / 消氢温度 $350 \sim 400^\circ\text{C}$ 时间 2 h中间热处理温度 $650 \sim 680^\circ\text{C}$ 时间 6 h 焊后热处理温度 $710 \sim 730^\circ\text{C}$ 时间 6 h

(续)

焊接工艺参数

电流种类 直流 极性 反接 $\phi 3.2\text{mm}$, I 110~130A U 21~23V
 $\phi 4.0\text{mm}$, I 160~180A U 22~24V
 $\phi 5.0\text{mm}$, I 200~220A U 23~25V

操作技术

首层以 $\phi 3.2\text{mm}$ 焊条施焊, 2~3 层以 $\phi 4\text{mm}$ 焊条施焊, 其它层采用 $\phi 5\text{mm}$ 焊条焊接, 焊后立即 $350\sim 400^{\circ}\text{C}/2\text{h}$ 消氢处理, 以机加工方法清除垫板

性能检验结果

拉伸试验

检验报告编号 _____

试样编号	试样形式	σ_b/MPa	σ_s/MPa	断裂位置	
PB17-1	板状	550, 539	/	焊缝外	
PB17-2	棒状	410, 375		/	

定向弯曲

检验报告编号 _____

试样编号	试样形式	弯轴直径/mm	弯曲角度/(°)	检验结果
PB17-3	侧弯	$d=4a$	180, 180 180, 180	合格

冲击韧性试验

检验报告编号 _____

试样编号	缺口形式	缺口位置	试验温度/°C	A_{kv}/J
PB17-4	V	焊缝 热影响区	50	122, 126, 142 50, 42, 114

硬度试验结果(HV10)

检验报告编号 _____

焊 缝	热影响区	母 材
276, 281, 283	221, 260, 272	186, 210

金相检验结果

检验报告编号 _____

宏 观	微 观	其它检验
/	焊缝 B+F 热影响区 B 母材 B+F+P	/

无损探伤检验结果 RT 合格 检验报告编号 _____

焊工 _____ 钢印号 _____ 焊工合格证号 _____

评定结论 合格

编 制		校 对		审 核		审 定	
日 期		日 期		日 期		日 期	

焊接工艺设计书

编号 No HSB-18

工艺评定编号 HPB-18

评定项目 30 万机组集箱耳板与筒体角焊缝 SA333P12 钢+16MnR 钢 手弧焊接头

焊接方法 SMAW 自动化等级 手工 焊接位置 平 技术标准 ASME

接头坡口形式

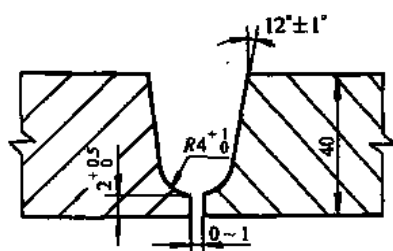


图 PB-18 左

焊接层次(顺序)

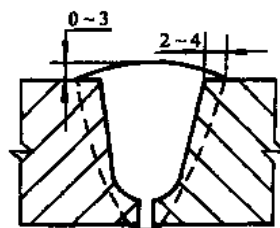


图 PB-18 右

对焊接接头的基本要求

1. 力学性能

σ_b /MPa	σ_s /MPa	δ_5 /%	弯曲角度/(°) ($d=4a$)	冲击试验			其它
				缺口形式	试验温度/°C	A_{KV} /J	
≥414	/	/	180°	V	常温	≥34	HV ₁₀ ≤280

2. 其它 RT 检查 金相宏观 组织

母材	牌号 SA333P12 规格 $\delta=40\text{mm}$ 类别 P4-1 16MnR I						
焊接材料	焊条牌号 J507 焊条规格 $\phi 4, \phi 5\text{mm}$ 类别号 E5015 钨极型号规格 / 焊剂 / 焊丝牌号 / 焊丝规格 / 类别 / 保护气 / 流量 / L/min 其它气体 / 流量 / L/min						
预热 热处 后理	预热温度 ≥120°C 层间温度 120~350°C 后热温度, 时间 / °C/h 消氢温度, 时间 / °C/h 中间热处理 / °C 时间 / h 焊后热处理 660~680°C 时间 1h						
焊接 工艺 参数 要求	电流种类 直流 极性 反接 焊接电流 $\phi 4\text{mm}; I_1$ 160~190A $\phi 5\text{mm}; I_2$ 200~240A 焊接电压 U_1 22~24V U_2 23~26V						
操作 技术 要求							
编制		校 对		审 核		批 准	
日期		日期		日期		日期	

焊接工艺评定书

编号 No HPB-18

设计书编号 No HSB-18

评定项目 30 万机组集箱耳板与筒体角焊缝 SA335P12 钢+16MnR 钢 手弧焊接头

焊接方法 SMAW 自动化等级 手工 焊接位置 平 技术标准 ASME

接头坡口形式

见图 PB-18 左

焊接层次(顺序)

见图 PB-18 右

母材	检验编号 _____							钩板型号 / 直径 / mm			
	牌号 SA335P12 16MnR	规格 δ40mm	类别 P4-1 I								
化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo				
	0.11 0.15	0.34 0.35	0.57 1.22	0.015 0.014	0.018 0.011	0.89 /	0.53 /				
力学性能	σ _s /MPa	512,498 48,499		σ _t /MPa	/		δ ₅ /%	/		A _{KV} /J	212,208,194 184,186,190
焊材	检验编号 _____										
	焊丝牌号 / 焊丝规格 / 焊丝类别 / 焊剂牌号 /										
化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S						
焊条	焊条牌号 J507 焊条规格 φ4,φ5mm 焊条型号 E5015 检验编号 _____										
熔敷金属化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S						
	0.07 0.09	0.28 0.49	1.55 1.06	0.028 0.029	0.019 0.015						
保护气体 / 流量 / L/min 其它气体 / 流量 / L/min											

预热及焊后热处理

预热温度 ≥120 °C 层间温度 120~350 °C 后热温度 / °C 时间 / h 消氢温度 °C 时间 h

中间热处理温度 °C 时间 h 焊后热处理温度 650~680 °C 时间 1 h

(续)

焊接工艺参数

电流种类 直流 极性 反接 φ4mm; I 160~190A U 22~24V
φ5mm; I 200~230A U 23~26V

操作技术

性能检验结果

拉伸试验

检验报告编号 _____

试样编号	试样形式	σ_b /MPa	σ_t /MPa	断裂位置	
PB18-1	板状	477,479	/	焊缝外	

定向弯曲

检验报告编号 _____

试样编号	试样形式	弯轴直径/mm	弯曲角度/(°)	检验结果
PB18-2	侧弯	$d=4a$	180,180 180,180	合格

冲击韧性试验

检验报告编号 _____

试样编号	缺口形式	试验温度/°C	缺口位置	A_{kv}/J
PB18-3	V	常温	焊缝 热影响区	202,250,206 SA335P12 侧 170,220,234 16MnR 侧 46,52,80

硬度试验结果(HV₁₀)

检验报告编号 _____

焊 缝	热影响区	母 材
170,170	SA335P12 侧 214,206 16MnR 侧 187,205	143,161 150,160

金相检验结果

检验报告编号 _____

宏 观	微 观	其它 检 验
合格	焊缝 <u>F+P</u> 热影 SA335P12 侧 <u>F+P+B</u> 响区 <u>16MnR 侧 F+P</u> SA335P12 侧 <u>F+P</u> 母材 <u>16MnR 侧 F+P</u>	/

无损探伤检验结果 RT 合格 检验报告编号 _____

焊工 _____ 钢印号 _____ 焊工合格证号 _____

评定结论 合格

编 制		校 对		审 核		审 定	
日 期		日 期		日 期		日 期	

焊接工艺设计书

编号 No HSB-19

工艺评定编号 HPB-19

评定项目 梨箱插入式管座角焊缝 20 钢 $\phi 273\text{mm} \times 38\text{mm} + \phi 60\text{mm} \times 6\text{mm}$ 手弧焊接头

焊接方法 SMAW 自动化等级 手工 焊接位置 平、横 技术标准 钢规

接头坡口形式

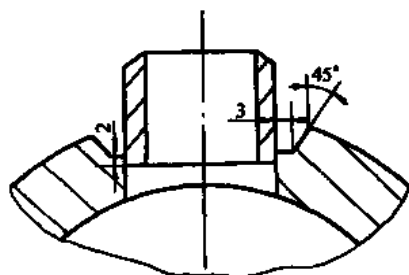


图 PB-19 左

焊接层次(顺序)

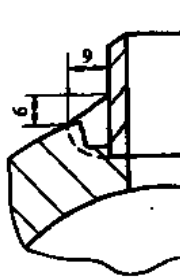


图 PB-19 右

第一层以
 $\phi 3.2\text{mm}$ 焊条
施焊,其余层以
 $\phi 5\text{mm}$ 焊条施
焊,盖面层以
 $\phi 4\text{mm}$ 焊条焊
接

对焊接接头的基本要求

1. 力学性能

σ_b/MPa	σ_s/MPa	$\delta_5/\%$	弯曲角度/(°) ($d=3a$)	冲击试验			其它
				缺口形式	试验温度/°C	A_K/J	
/	/	/	/	/	/	/	/

2. 其它 金相宏观

母材	牌号 20 钢 规格 $\phi 273 \times 38$ 类别 I $\phi 60 \times 6$ mm						
焊接材料	焊条牌号 J507	焊条规格 $\phi 3.2, \phi 5, \phi 4\text{mm}$	型号 E5015	钨极型号规格 /	焊剂 /	流量 /	
	焊丝牌号 /	焊丝规格 /	型号 /	保护气 /	流量 /	其它气体 /	
预热 热处理 后理	预热温度 / 层间温度 / 后热温度, 时间 / 消氢温度, 时间 / h 中间热处理 / 时间 / 焊后热处理 600~650°C 时间 2 h						
焊接工艺 参数要求	电流种类 直流 极性 反接 焊接电流 $\phi 3.2\text{mm}; I_1$ 110~130A; $\phi 4\text{mm}; I_2$ 150~180A; $\phi 5\text{mm}; I_3$ 180~220A 电弧电压 U_1 21~23V U_2 22~24V U_3 23~25V						
操作技术 要求	第一层以 $\phi 3.2\text{mm}$ 焊条施焊, 其它层以 $\phi 5\text{mm}$ 焊条施焊, 盖面层以 $\phi 4\text{mm}$ 焊条施焊						
编 制		校 对		审 核		批 准	
日 期		日 期		日 期		日 期	

焊接工艺评定书

编号 No HPB-19设计书编号 No HSB-19评定项目 集箱插入式管座角焊缝 20 钢 $\phi 273\text{mm} \times 38\text{mm} + \phi 60\text{mm} \times 6\text{mm}$ 手弧焊接头焊接方法 SMAW 自动化等级 手工 焊接位置 平,横 技术标准 钢规

接头坡口形式

焊接层次(顺序)

见图 PB-19 左

见图 PB-19 右

母材	检验编号 _____ 牌号 <u>20# 钢</u> 规格 <u>$\phi 273 \times 38$</u> <u>$\phi 60 \times 6\text{mm}$</u> 类别 <u>I</u> 钨极型号 <u>/</u> 直径 <u>/</u>									
	C	Si	Mn	P	S					
化学成分(%)	0.21	0.27	0.74	0.009	0.014					
	0.18	0.21	0.48	0.020	0.015					
力学性能	σ_s/MPa	/		σ_s/MPa	/		$\delta_s/\%$	/		A_K/J
	/									
焊材	焊丝牌号 _____ 焊丝规格 _____ 焊丝型号 _____ 焊剂牌号 _____ 检验编号 _____									
	C	Si	Mn	P	S					
化学成分(%)	/	/	/	/	/					
焊条	焊条牌号 <u>J507</u> 焊条规格 <u>$\phi 3.2, \phi 5, \phi 4$</u> mm 焊条型号 <u>E5015</u> 检验编号 _____									
	C	Si	Mn	P	S					
熔敷金属化学成分(%)	0.08	0.25	1.15	0.011	0.014					
	0.058	0.54	0.90	0.013	0.011					
	0.075	0.35	0.98	0.009	0.013					
保护气体 <u>/</u> 流量 <u>/</u> 其它气体 <u>/</u> 流量 <u>/</u>										
预热及焊后热处理 预热温度 <u>/</u> 层间温度 <u>/</u> 后热温度 <u>/</u> 时间 <u>/</u> 消氢温度 <u>/</u> 时间 <u>/</u> 中间热处理温度 <u>/</u> 时间 <u>/</u> 焊后热处理温度 <u>600~650</u> °C 时间 <u>2</u> h										

(续)

焊接工艺参数

电流种类 直流 极性 反接 $\phi 3.2\text{mm}$; $I 110 \sim 130\text{A}$ $U 21 \sim 23\text{V}$
 $\phi 5.0\text{mm}$; $I 180 \sim 220\text{A}$ $U 23 \sim 26\text{V}$
 $\phi 4.0\text{mm}$; $I 150 \sim 180\text{A}$ $U 22 \sim 24\text{V}$

操作技术

首层以 $\phi 3.2\text{mm}$ 焊条施焊, 其它层以 $\phi 5\text{mm}$ 焊条施焊, 盖面层以 $\phi 4\text{mm}$ 焊条施焊

性能检验结果

拉伸试验

检验报告编号 _____

试样编号	试样形式	σ_b/MPa	σ_s/MPa	断裂位置	
/	/	/	/	/	

定向弯曲

检验报告编号 _____

试样编号	试样形式	弯轴直径/mm	弯曲角度/(°)	检验结果
/	/	$d=a$	/	/

冲击韧性试验

检验报告编号 _____

试样编号	缺口形式	缺口位置	试验温度/°C	A_K/J

硬度试验结果(H)

检验报告编号 _____

接头硬度(HV₁₀)

焊 缝	热影响区	母 材
/	/	/

金相检验结果

检验报告编号 _____

宏 观	微 观	其它 检 验
4 个试样均合格	/	/

无损探伤检验结果 _____ 检验报告编号 _____

焊工 _____ 钢印号 _____ 焊工合格证号 _____

评定结论 合格

编 制		校 对		审 核		审 定	
日 期		日 期		日 期		日 期	

焊接工艺设计书

编号 No HSB-20

工艺评定编号 HPB-20

评定项目 30 万机组集箱过热器连接管道对接环缝 SA335P22 钢 $\delta 60\text{mm}$ 手工钨极氩弧焊+手弧焊接头

焊接方法 手工 TIG+SMAW 自动化等级 手工 焊接位置 平 技术标准 ASME

接头坡口形式

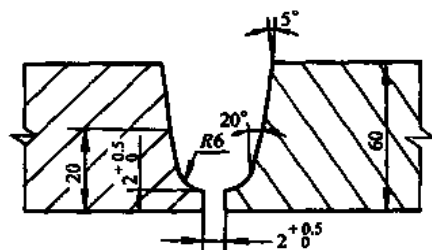


图 PB-20 左

焊接层次(顺序)

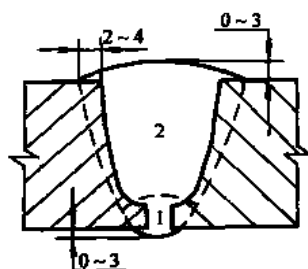


图 PB20-右

对焊接接头的基本要求

1. 力学性能

σ_b/MPa	σ_s/MPa	$\delta_5/\%$	弯曲角度/(°) ($d=4a$)	冲击试验			其它
				缺口形式	试验温度/°C	A_{kv}/J	
≥ 414	/	/	180°	V	常温	≥ 35	$HV_{10} \leq 350$

2. 其它 RT 检查 金相组织

母材	牌号 SA335P22 规格 $\delta 60\text{mm}$ 类别 P5						
焊接材料	焊条牌号 R407	焊条规格 $\phi 4, \phi 5\text{mm}$	型号 E6015-B3	钨极型号规格 /	焊剂 /		
	焊丝牌号 ER90S-B3L	焊丝规格 $\phi 2.5\text{mm}$	型号 /	保护气 Ar	流量 8~10 L/min		
				其它气体 /	流量 /		
预热 热处理 后理	预热温度 $\geq 150^{\circ}\text{C}$ 层间温度 150~350 $^{\circ}\text{C}$ 后热温度, 时间 250 $^{\circ}\text{C}/2\text{h}$ 消氢温度, 时间 $^{\circ}\text{C}/\text{h}$ 中间热处理 $^{\circ}\text{C}$ 时间 h 焊后热处理 720~740 $^{\circ}\text{C}$ 时间 4h						
焊接工艺参数要求	电流种类 直流 极性 正接, 反接 焊接电流 手工 TIG: 正接 I 100~120A						
	电弧电压 U 12~14V SMAW: 反接 $\phi 4\text{mm}$: I 160~180A U 22~24V $\phi 5\text{mm}$: I 200~220A U 23~25V						
操作技术要求	首层以手工 TIG 打底焊一层, 再以 SMAW 焊满坡口						

编 制		校 对		审 核		批 准	
日 期		日 期		日 期		日 期	

焊接工艺评定书

编号 No HPB-20设计书编号 No HSB-20评定项目 30 万机组集箱过热器连接管道对接环缝 SA335P22 钢 $\delta 60\text{mm}$ 手工钨极氩弧焊+手弧焊接头焊接方法 手工 TIG+SMAW 自动化等级 手工 焊接位置 平 技术标准 ASME

接头坡口形式

见图 PB-20 左

焊接层次(顺序)

见图 PB-20 右

首先以手工 TIG
打底焊一层,再以
SMAW 焊满坡口

母材	检验编号 _____										
	牌号 <u>SA335P22</u>		规格 <u>$\delta 60\text{mm}$</u>		类别 <u>P5</u>				钨极型号 <u>钨钨板</u>		直径 <u>$\phi 2.5\text{mm}$</u>
化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo				
	0.09	0.34	0.42	0.018	0.007	2.15	0.89				
力学性能	σ_s/MPa	468,474		σ_b/MPa	/		$\delta_5/\%$	/		A_{KV}/J	204,198,221
焊材	检验编号 _____										
	焊丝牌号 <u>ER90S-B3L</u>		焊丝规格 <u>$\phi 2.5\text{mm}$</u>		焊丝类别 <u>/</u>		焊剂牌号 _____				
化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo				
	0.04	0.23	0.76	0.014	0.009	2.25	0.94				
焊条	检验编号 _____										
	焊条牌号 <u>R407</u>		焊条规格 <u>$\phi 4, \phi 5\text{mm}$</u>		焊条型号 <u>E6015-B3</u>						
熔敷金属化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo				
	0.06	0.12	0.50	0.009	0.011	2.27	1.19				
保护气体 <u>Ar</u> 流量 <u>8~10</u> L/min 其它气体 <u>/</u> 流量 <u>/</u> L/min											

预热及焊后热处理

预热温度 $\geq 150^\circ\text{C}$ 层间温度 150~350 $^\circ\text{C}$ 后热温度 200~250 $^\circ\text{C}$ 时间 4 h 消氢温度 / $^\circ\text{C}$ 时间 / h 中间热处理温度 / $^\circ\text{C}$ 时间 / h 焊后热处理温度 720~740 $^\circ\text{C}$ 时间 4 h

(续)

焊接工艺参数 电流种类 <u>直流</u> 极性 <u>正接</u> 反接 手工 TIG: 正接 I 100~120A U 12~14V SMAW: 反接 $\phi 4\text{mm}$: I 160~180A U 22~23V $\phi 5\text{mm}$: I 200~220A U 23~25V							
操作技术 首层以手工 TIG 打底焊一层,再以 SMAW 焊满坡口							
性能检验结果							
拉伸试验				检验报告编号 _____			
试样编号	试样形式	σ_b/MPa	σ_t/MPa	断裂位置			
PB20-1	板状	458,470	/	焊缝外			
定向弯曲				检验报告编号 _____			
试样编号	试样形式	弯轴直径/mm	弯曲角度/(°)	检验结果			
PB20-2	侧弯	$d=4a$	180	合格			
冲击韧性试验				检验报告编号 _____			
试样编号	缺口形式	缺口位置	试验温度/°C	A_{kv}/J			
PB20-3	V	焊缝 热影响区	常温	270,126,120 67,194,176			
硬度试验结果(HV₁₀)				检验报告编号 _____			
焊 缝		热影响区		母 材			
297,254		235,228		184,196			
金相检验结果				检验报告编号 _____			
宏 观		微 观		其它 检 验			
/		焊缝 <u>B</u> 热影响区 <u>B+P</u> 母材 <u>F+P</u>		/			
无损探伤检验结果 RT 合格 检验报告编号 _____ 焊工 _____ 钢印号 _____ 焊工合格证号 _____							
评定结论 <u>合格</u>							
编 制		校 对		审 核		审 定	
日 期		日 期		日 期		日 期	

焊接工艺设计书

编号 No HSB-21

工艺评定编号 HPB-21

评定项目 集箱管接头角焊缝 20 钢 $\phi 133\text{mm} \times 13\text{mm} + \phi 237\text{mm} \times 36\text{mm}$ 手工钨极氩弧焊+手弧焊接头

焊接方法 SMAW 自动化等级 手工 焊接位置 横 技术标准 钢规

接头坡口形式

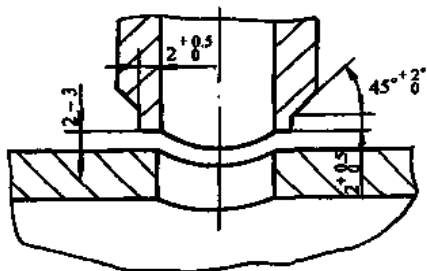


图 PB-21 左

焊接层次(顺序)

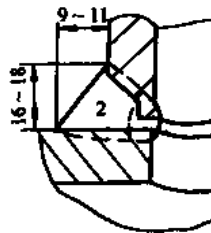


图 PB-21 右

首先以
手工 TIG
打底焊一
层,再以
SMAW 焊
满坡口

对焊接接头的基本要求

1. 力学性能

σ_b/MPa	σ_s/MPa	$\delta_5/\%$	弯曲角度/(°) ($d=a$)	冲击试验			其它
				缺口形式	试验温度/°C	A_K/J	
/	/	/	/	/	/	/	$HV_{10} \leq 280$

2. 其它 金相宏观

母材	牌号 20 钢 规格 $\phi 237 \times 36$ $\phi 133 \times 13\text{mm}$ 类别 I
焊接材料	焊条牌号 J507 焊条规格 $\phi 3.2, \phi 5, \phi 4\text{mm}$ 型号 E5015 钨极型号规格 钍钨极 $\phi 2.5\text{mm}$ 焊剂 焊丝牌号 H08Mn2Si 焊丝规格 $\phi 2.5\text{mm}$ 型号 / 保护气 Ar 流量 8~10L/min 其它气体 / 流量 /
预热 热处 焊后 处理	预热温度 层间温度 后热温度, 时间 / 消氢温度, 时间 / 中间热处理 / 时间 h 焊后热处理 600~650°C 时间 2h
焊接 工艺 参数 要求	电流种类 直流 极性 正接 反接 焊接电流 手工 TIG, 正接 I 100~120A 电弧电压 U 12~14V SMAW, 反接 $\phi 3.2\text{mm}$, I 110~130A U 21~23V $\phi 4.0\text{mm}$, I 150~180A U 22~24V $\phi 5.0\text{mm}$, I 200~230A U 23~25V
操作 技术 要求	首先以手工 TIG 打底焊一层, 再以 $\phi 3.2\text{mm}$ 焊条电弧焊一层, 其余以 $\phi 5\text{mm}$ 焊条施焊, 盖面层以 $\phi 4\text{mm}$ 焊条施焊

编 制		校 对		审 核		批 准	
日 期		日 期		日 期		日 期	

焊接工艺评定书

编号 No HPB-21

设计书编号 No HSB-21

评定项目 集箱管接头用焊缝 20 钢 $\phi 237\text{mm} \times 36\text{mm} + \phi 133\text{mm} \times 13\text{mm}$ 手工钨极氩弧焊+手弧焊接头

焊接方法 手工 TIG+SMAW 自动化等级 手工 焊接位置 横 技术标准 钢规

接头坡口形式	焊接层次(顺序)
见图 PB-21 左	见图 PB-21 右

母材	检验编号					钨极型号 钍钨极 直径 $\phi 2.5\text{mm}$				
	牌号 20	规格 $\phi 237 \times 36, \phi 133 \times 13\text{mm}$			类别 I					
化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S					
	0.17 0.19	0.22 0.27	0.47 0.49	0.018 0.020	0.011 0.018					
力学性能	σ_s/MPa	/		σ_b/MPa	/		$\delta_s/\%$	/		$A_{KV}(\text{J})$
焊丝	检验编号									
	焊丝牌号 H08Mn2Si		焊丝规格 $\phi 2.5\text{mm}$		焊丝类别 /		焊剂牌号 /			
化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S					
	0.08	0.81	1.99	0.009	0.011					
焊条	检验编号									
	焊条牌号 J507		焊条规格 $\phi 3.2\text{mm}, \phi 4, \phi 5\text{mm}$		焊条类别 E5015					
熔敷金属化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S					
	0.058	0.25	1.15	0.020	0.009					
保护气体 Ar 流量 8~10 L/min 其它气体 流量										

预热及焊后热处理

预热温度 / 层间温度 / 后热温度 / 时间 / 消氢温度 / $^{\circ}\text{C}$ 时间 / h中间热处理温度 / 时间 / 焊后热处理温度 600~650 $^{\circ}\text{C}$ 时间 2 h

(续)

焊接工艺参数

电流种类 直流 极性 正接 反接 手工 TIG, 正接 I 100~120A U 12~14VSMAW, 反接 ϕ 3.2mm; I 110~130A U WT6BZ 1 21~23V ϕ 4.0mm; I 150~180A U 22~24V ϕ 5.0mm; I 200~220A, U 23~25V

操作技术

首先以手工 TIG 打底焊一层,再以 SMAW 焊满坡口及焊脚。SMAW 焊第一层,采用 ϕ 3.2mm 焊条,其它层采用 ϕ 5mm 焊条,盖面层采用 ϕ 4mm 焊条焊接

性能检验结果

拉伸试验

检验报告编号 _____

试样编号	试样形式	σ_b /MPa	σ_r /MPa	断裂位置	
/	/	/	/	/	

定向弯曲

检验报告编号 _____

试样编号	试样形式	弯轴直径/mm	弯曲角度/(°)	检验结果
/	/	/	/	/

冲击韧性试验

检验报告编号 _____

试样编号	缺口形式	缺口位置	试验温度/°C	A_K /J
/	/	/	/	/

硬度试验结果(HV₁₀)

检验报告编号 _____

焊 缝	热影响区	母 材
138.4, 160	174.8, 159	137, 141

金相检验结果

检验报告编号 _____

宏 观	微 观	其它检验
4 只试样均合格	/	/

无损探伤检验结果 _____ 检验报告编号 _____

焊工 _____ 钢印号 _____ 焊工合格证号 _____

评定结论 合格

编 制	校 对	审 核	审 定
日 期	日 期	日 期	日 期

焊接工艺设计书

编号 No HSB-22

工艺评定编号 HPB-22

评定项目 60 万机组集箱环缝 SA335P22 钢+12Cr1MoV 钢 $\phi 40\text{mm}$ 手工钨极氩弧焊+手弧焊+埋弧焊接头

焊接方法 手工 TIG+SMAW+SAW 自动化等级 手工+机械化 焊接位置 平 技术标准 ASME

接头坡口形式

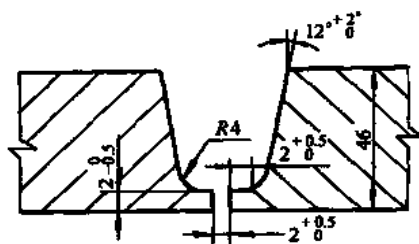


图 PB-22 左

焊接层次(顺序)

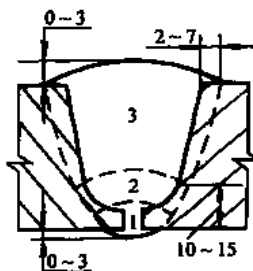


图 PB-22 右

首先以手工
TIG 打底焊一
层,以 SMAW
焊至 10 ~
15mm,再以
SAW 焊满坡口

对焊接接头的基本要求

1. 力学性能

σ_b/MPa	σ_s/MPa	$\delta_5/\%$	弯曲角度/(°) ($d=4a$)	冲击试验			其 它
				缺口形式	试验温度/°C	A_{KV}/J	
≥ 414	/	/	180°	V	0	≥ 34	/

2. 其它 RT 检验

母材	牌号 SA335P22, 12Cr1MoV 规格 $\phi 40\text{mm}$ 类别 P5, IV-2						
焊接材料	焊条牌号 CMB-105 焊条规格 $\phi 4, \phi 5\text{mm}$ 型号 E9018-B3 钨极型号规格 钨钨极 $\phi 2.5\text{mm}$ 焊剂 HJ250+HJ350(1:1) 焊丝牌号 ER90S-B3L, EB3 焊丝规格 $\phi 2.5, \phi 3\text{mm}$ 型号 / 保护气 Ar 流量 8~10L/min 其它气体 / 流量 /						
预热热处理	预热温度 200~250°C 层间温度 200~350°C 后热温度, 时间 °C/h 消氢温度, 时间 / 中间热处理 / 时间 / 焊后热处理 720~740°C 时间 2 h						
焊接工艺参数要求	电流种类 直流 极性 正接, 反接 焊接电流 手工 TIG, 正接 I 100~120A 电弧电压 U 12~14V SMAW, 反接 $\phi 4\text{mm}$, I 160~180A U 22~24V $\phi 5\text{mm}$, I 200~200A U 23~25V SAW, 反接 I 450~500A U 32~34V 焊接速度 20m/h						
操作技术要求	首先以手工 TIG 打底焊一层, 用 SMAW 焊至 10~15mm 厚, 再以 SAW 焊满坡口						
编 制		校 对		审 核		批 准	
日 期		日 期		日 期		日 期	

焊接工艺评定书

编号 No HPB-22

设计书编号 No HSB-22

评定项目 60 万机组环缝 SA335 P22 钢+12Cr1MoV 钢 $\delta 40\text{mm}$ 手工钨极氩弧焊+手弧焊+埋弧焊接头

焊接方法 手工 TIG+SMAW+SAW 自动化等级 手工+机械化 焊接位置 平 技术标准 ASME

接头接口形式

焊接层次(顺序)

见图 PB-22 左

见图 PB-22 右

母材	检验编号 _____									
	牌号 SA335P22, 12Cr1MoV		规格 $\delta 40\text{mm}$		类别 P5, N-2		钨极型号 钨钨极 直径 $\phi 2.5\text{mm}$			
化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	V		
	0.12	0.12	0.35	0.018	0.009	2.13	0.91	/		
	0.12	0.23	0.50	0.014	0.016	0.99	0.29	0.20		
力学性能	σ_b/MPa	490, 472 521, 518		σ_s/MPa	/		$\delta_5/\%$	/		A_{kv}/J
										218, 230, 228 198, 201, 228
焊材	检验编号 _____									
	焊丝牌号 ER90S-B3L, EB3		焊丝规格 $\phi 2.5, \phi 3\text{mm}$		焊丝型号 /		焊剂牌号 HJ350+HJ250(1:1)			
化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo			
	0.05	0.12	0.24	0.009	0.011	2.01	0.99			
	0.08	0.08	0.32	0.012	0.009	1.99	1.01			
焊条	检验编号 _____									
	焊条牌号 CMB-105		焊条规格 $\phi 3\text{mm}$		焊条型号 /					
熔敷金属化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo			
	0.05	0.18	0.34	0.011	0.018	2.10	0.98			
保护气体 Ar 流量 8~10 L/min 其它气体 / , 流量 /										

预热及焊后热处理

预热温度 200~250 °C 层间温度 200~350°C 后热温度 / 时间 / 消氢温度 / 时间 /

中间热处理温度 / 时间 / 焊后热处理温度 720~750 °C 时间 2 h

(续)

焊接工艺参数

电流种类 直流 极性 正接 反接 手工 TIG: 正接 I 100~120A U 12~14VSMAW: 反接 $\phi 4\text{mm}$; I 160~180A U 22~24V $\phi 5\text{mm}$; I 200~220A U 23~25VSAW: 反接 I 450~500A U 32~34V 焊接速度 20m/h

操作技术

首层以手工 TIG 打底焊一层, 以 SMAW 焊至 10~15mm, 再以 SAW 焊满坡口

性能检验结果

拉伸试验

检验报告编号 _____

试样编号	试样形式	σ_b/MPa	σ_t/MPa	断裂位置	
PB22-1	板状	465, 461	/	焊缝外	

定向弯曲

检验报告编号 _____

试样编号	试样形式	弯轴直径/mm	弯曲角度/(°)	检验结果
PB22-2	侧弯	$d=4a$	180	合格

冲击韧性试验

检验报告编号 _____

试样编号	缺口形式	缺口位置	试验温度/°C	A_{KV}/J
PB22-3	V	焊缝 热影响区	0	108, 161, 191 SA335P12 侧 164, 212, 202 12Cr1MoV 侧 114, 98, 74

硬度试验结果(H)

检验报告编号 _____

焊 缝	热影响区	母 材
/	/	/

金相检验结果

检验报告编号 _____

宏 观	微 观	其它检验
/	/	/

无损探伤检验结果 RT 合格 检验报告编号 _____

焊工 _____ 钢印号 _____ 焊工合格证号 _____

评定结论 合格

编 制		校 对		审 核		审 定	
日 期		日 期		日 期		日 期	

焊接工艺设计书

编号 No HSB-23

工艺评定编号 HPB-23

评定项目 60 万机组集箱环缝 SA335 P22 钢 $\phi 610\text{mm} \times 90\text{mm}$ 手工钨极氩弧焊+手弧焊+埋弧焊接头

焊接方法 手工 TIG+SMAW+SAW 自动化等级 手工+机械化 焊接位置 平 技术标准 ASME

接头坡口形式

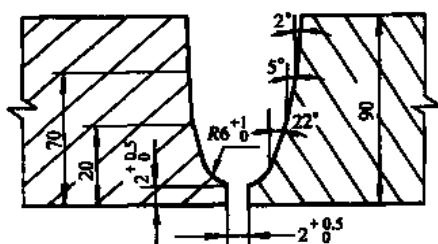


图 PB-23 左

焊接层次(顺序)

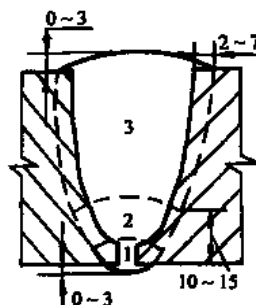


图 PB-23 右

首先以手工
TIG 打底焊一
层, 以 SMAW
焊至 10 ~
15mm, 再以
SAW 焊满坡口

对焊接接头的基本要求

1. 力学性能

σ_b/MPa	σ_s/MPa	$\delta_5/\%$	弯曲角度/(°) ($d=4a$)	冲击试验			其它
				缺口形式	试验温度/°C	A_{KV}/J	
≥ 414	/	/	180	V	常温	≥ 34	全焊缝 $HV_{10} \leq 350$ $\sigma_b(400^\circ\text{C}) \geq 401$ $\sigma_s \geq 186$

2. 其它 RT 检查, HV_{10} 金相组织

母材	牌号 SA335P22 规格 $\phi 610 \times 90\text{mm}$ 类别 P5						
焊接材料	焊条牌号 R407 焊条规格 $\phi 3.2, \phi 4, \phi 5\text{mm}$ 型号 E6015-B3 钨极型号规格 钨钨极 $\phi 2.5\text{mm}$ 焊剂 HJ250+HJ350(1:1) 焊丝牌号 ER90S-B3L, EB3 焊丝规格 $\phi 2.5, \phi 3\text{mm}$ 型号 / 保护气 Ar 流量 8~10L/min 其它气体 / 流量 /						
预热 热处理	预热温度 $\geq 120^\circ\text{C}$ 层间温度 120~350 $^\circ\text{C}$ 后热温度, 时间 200~250 $^\circ\text{C}/2\text{h}$ 消氢温度, 时间 / $^\circ\text{C}/\text{h}$ 中间热处理 / $^\circ\text{C}$ 时间 / h 焊后热处理 720~740 $^\circ\text{C}$ 时间 4 h						
焊接 工艺 参数 要求	电流种类 直流 极性 正接, 反接 焊接电流 手工 TIG, 正接 $I 100 \sim 120\text{A}$ 电弧电压 $U 12 \sim 14\text{V}$ SMAW: 反接 $\phi 3.2\text{mm}, I 110 \sim 130\text{A} U 21 \sim 23\text{V} \phi 4\text{mm}, I 160 \sim 180\text{A} U 22 \sim 24\text{V}$ $\phi 5\text{mm}, I 200 \sim 220\text{A} U 23 \sim 25\text{V}$ SAW: 反接 $I 450 \sim 500\text{A} U 32 \sim 36\text{V}$ 焊接速度, 20~25m/h						
操作 技术 要求	首先以手工 TIG 打底焊一层, 以 SMAW 焊至 10~15mm, 再以 SAW 焊满坡口						
编 制		校 对		审 核		批 准	
日 期		日 期		日 期		日 期	

焊接工艺评定书

编号 No HPB-23

设计书编号 No HSB-23

评定项目 60 万机组集箱环缝 SA335P22 钢 $\phi 610\text{mm} \times 90\text{mm}$ 手工钨极氩弧焊+手弧焊+埋弧焊接头

焊接方法 手工 TIG+SMAW+SAW 自动化等级 手工+机械化 焊接位置 技术标准 ASME

接头坡口形式

焊接层次(顺序)

见图 PB-23 左

见图 PB-23 右

母材	检验编号 _____							钨极型号 钨钨板 直径 $\phi 2.5\text{mm}$			
	牌号 SA335-P22	规格 $\phi 610 \times 90\text{mm}$	类别 P5								
化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo				
	0.10	0.33	0.47	0.018	0.014	2.01	0.98				
力学性能	σ_b/MPa	465, 480	σ_s/MPa	/	$\delta_5/\%$	/	$A_{KV}/(\text{J})$	215, 208, 221			
焊材	检验编号 _____										
	焊丝牌号 ER90S-B3L, EB3	焊丝规格 $\phi 2.5, \phi 3\text{mm}$	焊丝型号 /	焊剂牌号 HJ250+HJ350(1+1)							
化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo				
	0.05 0.08	0.12 0.08	0.24 0.32	0.009 0.012	0.011 0.009	2.01 1.99	0.99 1.01				
焊条	焊条牌号 R407 焊条规格 $\phi 3.2, \phi 4, \phi 5\text{mm}$ 焊条型号 E6015-B3 检验编号 _____										
熔敷金属化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo				
	0.06	0.17	0.71	0.020	0.014	1.98	1.1				
保护气体 Ar 流量 8~10 L/min 其它气体 / 流量 / L/min											

预热及焊后热处理

预热温度 $\geq 120^\circ\text{C}$ 层间温度 $120 \sim 350^\circ\text{C}$ 后热温度 $200 \sim 250^\circ\text{C}$ 时间 2h 消氢温度 / 时间中间热处理温度 / 时间 / 焊后热处理温度 $720 \sim 740^\circ\text{C}$ 时间 4 h

(续)

焊接工艺参数

电流种类 直流 极性 正接 反接 手工 TIG, 正接 I 100~120A U 12~14VSMAW, 反接 $\phi 3.2\text{mm}$; I 110~130A U 21~23V $\phi 4.0\text{mm}$; I 140~180A U 22~24V $\phi 5.0\text{mm}$; I 200~220A U 23~25VSAW, 反接 I 450~500A U 32~36V 焊接速度 20~25m/h

操作技术

首先以手工 TIG 打底焊一层, 以 SMAW 焊至 10~15mm, 再以 SAW 焊横坡口

性能检验结果

拉伸试验

检验报告编号 _____

试样编号	试样形式	σ_b/MPa	σ_t/MPa	断裂位置	
PB23-1	板状	446.9, 468.4	/	焊缝外	
PB23-2	棒状	446.5, 572.3(400°C)	369.5, 470.4(400°C)	/	

定向弯曲

检验报告编号 _____

试样编号	试样形式	弯轴直径/mm	弯曲角度/(°)	检验结果
PB23-3	侧弯	$d=4a$	180	合格

冲击韧性试验

检验报告编号 _____

试样编号	缺口形式	缺口位置	试验温度/°C	A_{kv}/J
PB23-4	V	焊缝 热影响区	常温	116.2, 119.4, 112.7 164.6, 200.9, 182.3

硬度试验结果(HV₁₀)

检验报告编号 _____

焊 缝	热影响区	母 材
173, 176	189, 186	175, 182

金相检验结果

检验报告编号 _____

宏 观	微 观	其它检验
/	焊缝 B 热影响区 F+B 母材 F+B	/

无损探伤检验结果 RT 合格 检验报告编号 _____

焊工 _____ 钢印号 _____ 焊工合格证号 _____

评定结论 合格

编 制		校 对		审 核		审 定	
日 期		日 期		日 期		日 期	

焊接工艺设计书

编号 No HSB-24

工艺评定编号 HPB-24

评定项目 30 万机组减温减压连接管对接环缝 SA335P22 钢+12Cr1MoV 钢 手工钨极氩弧焊+手弧焊接头

焊接方法 手工 TIG+SMAW 自动化等级 手工+机械化 焊接位置 平 技术标准 ASME

接头坡口形式

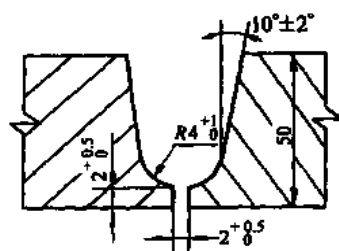


图 PB-24 左

焊接层次(顺序)

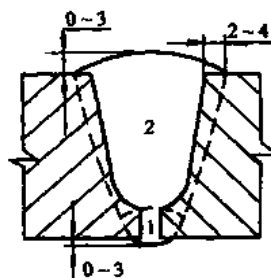


图 PB-24 右

首先以手
工 TIG 打
底一层,再
以 SMAW
焊满坡口

对焊接接头的基本要求

1. 力学性能

σ_b /MPa	σ_s /MPa	δ_5 /%	弯曲角度/(°) ($d=4a$)	冲击试验			其 它
				缺口形式	试验温度/°C	A_{KV} /J	
≥414	/	/	180	V	常温	≥34	/

2. 其它 RT 检查,金相组织

母材	牌号 SA335 P22, 12Cr1MoV 规格 $\delta=50\text{mm}$ 类别 P5, N						
焊接材料	焊条牌号 R317 焊条规格 $\phi 4, \phi 5\text{mm}$ 型号 E5515-B2-V 钨极型号规格 钨钨极 $\phi 2.5\text{mm}$ 焊剂 / 焊丝牌号 ER90S-B3L 焊丝规格 $\phi 2.5\text{mm}$ 型号 / 保护气 Ar 流量 8~10m/h 其它气体 / 流量 /						
预热 热处理 后理	预热温度 ≥200°C 层间温度 200~350°C 后热温度, 时间 / 消氢温度, 时间 / 中间热处理 / 时间 / 焊后热处理 720~740°C 时间 5 h						
焊接 工艺 参数 要求	电流种类 直流 极性 正接, 反接 焊接电流 手工 TIG: 正接 I 100~120A 电弧电压 U 12~14V SMAW: 反接 $\phi 3.2\text{mm}$: I 110~130A U 21~23V $\phi 4.0\text{mm}$: I 160~180A U 22~24V $\phi 5.0\text{mm}$: I 200~220A U 23~25V						
操作 技术 要求	首先以手工 TIG 打底焊一层, 再以 SMAW 焊满坡口						
编 制		校 对		审 核		批 准	
日 期		日 期		日 期		日 期	

焊接工艺评定书

编号 No HPB-24

设计书编号 No HSB-24

评定项目 30 万机组减温减压连接管对接环缝 SA335P22 钢+12Cr1MoV 钢 手工钨极氩弧焊+手弧焊接头

焊接方法 手工 TIG+SMAW 自动化等级 手工+机械化 焊接位置 平 技术标准 ASME

接头坡口形式

焊接层次(顺序)

见图 PB-24 左

见图 PB-24 右

母材	检验编号 _____								钨极型号 钨钨极 直径 $\phi 2.5\text{mm}$			
	牌号 SA335P22, 12Cr1MoV		规格 $\delta 50\text{mm}$		类别 P5, N							
化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	V				
	0.09	0.34	0.42	0.018	0.011	2.15	0.89	/				
	0.14	0.21	0.57	0.020	0.014	0.97	0.26	0.18				
力学性能	σ_b/MPa		514, 528 552, 523		σ_s/MPa		/		$\sigma_s/\%$		/	
									$A_{KV}/(\text{J})$		212, 201, 198 164, 178, 188	
焊材	检验编号 _____											
	焊丝牌号 ER90S-B3L		焊丝规格 $\phi 2.5\text{mm}$		焊丝型号 /		焊剂牌号 /					
化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo					
	0.05	0.12	0.24	0.009	0.011	2.01	0.99					
焊条	焊条牌号 R317 焊条规格 $\phi 4, \phi 5\text{mm}$ 焊条类别 E5515-B2-V 检验编号 _____											
熔敷金属化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	V				
	0.06	0.27	0.58	0.014	0.008	1.08	0.45	0.14				
保护气体 Ar 流量 8~10 L/min 其它气体 / 流量 /												

预热及焊后热处理

预热温度 ≥ 200 层间温度 200~350℃ 后热温度 / 时间 / 消氢温度 / 时间 /

中间热处理温度 / 时间 / 焊后热处理温度 720~740 °C 时间 5 h

(续)

焊接工艺参数 电流种类 <u>直流</u> 极性 <u>正接</u> <u>反接</u> 手工 TIG: 正接 I 100~120A U 12~14V SMAW: 反接 $\phi 4\text{mm}$: I 160~180A U 22~24V $\phi 5\text{mm}$: I 200~220A U 23~25V					
操作技术 首先以手工 TIG 打底焊一层,再以 SMAW 焊满坡口					
性能检验结果					
拉伸试验				检验报告编号 _____	
试样编号	试样形式	σ_s/MPa	σ_b/MPa	断裂位置	
PB24-1	板状	508,505	/	焊缝外	
定向弯曲				检验报告编号 _____	
试样编号	试样形式	弯轴直径/mm	弯曲角度/(°)	检验结果	
PB24-2	侧弯	$d=4a$	180	合格	
冲击韧性试验				检验报告编号 _____	
试样编号	缺口形式	缺口位置	试验温度/°C	A_{KV}/J	
PB24-3	V	焊缝 热影响区	常温	156,142,72 SA335P12 侧 166,130,176 12Cr1MoV 侧 113,115,145	
硬度试验结果				检验报告编号 _____	
接头硬度(H)					
焊 缝		热影响区		母 材	
/		/		/	
金相检验结果				检验报告编号 _____	
宏 观		微 观		其它检验	
/		焊缝 B 两侧热影响区 F+P 两侧母材 F+P		/	
无损探伤检验结果 <u>RT 合格</u> 检验报告编号 _____ 焊工 _____ 钢印号 _____ 焊工合格证号 _____					
评定结论 <u>合格</u>					
编 制		校 对		审 核	
日 期		日 期		日 期	

焊接工艺设计书

编号 No HSB-25

工艺评定编号 HPB-25

评定项目 集箱接管角焊缝 St45.8 钢+20 钢 $\phi 219\text{mm} \times 20\text{mm} + \phi 60\text{mm} \times 5\text{mm}$ CO_2 气体保护焊接头焊接方法 CO_2 GMAW 自动化等级 机械化(半自动) 焊接位置 平,横 技术标准 钢规

接头坡口形式

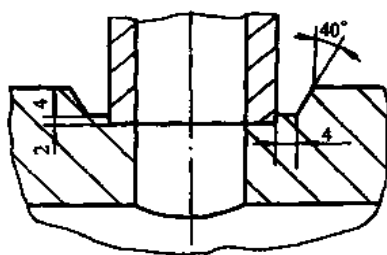


图 PB-25 左

焊接层次(顺序)

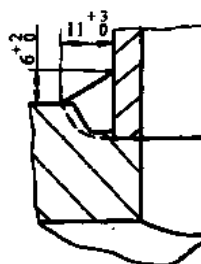


图 PB-25 右

对焊接接头的基本要求

1. 力学性能

σ_b/MPa	σ_t/MPa	$\delta_5/\%$	弯曲角度/(°) ($d=a$)	冲击试验			其它
				缺口形式	试验温度/°C	A_{KV}/J	
/	/	/	/	/	/	/	$HV_{10} \leq 280$

2. 其它 金相宏观

母材	牌号 St45.8 20 规格 $\phi 219 \times 20, \phi 60 \times 5$ mm 类别 I
焊接材料	焊条牌号 / 焊条规格 / 型号 / 药板型号规格 / 焊剂 / 焊丝牌号 H08Mn2Si 焊丝规格 $\phi 1.6\text{mm}$ 型号 / 保护气 CO_2 流量 16~17L/min 其它气体 / 流量 /
预热 热处 焊后 处理	预热温度 / 层间温度 / 后热温度, 时间 / 消氢温度, 时间 / 中间热处理 / 时间 / 焊后热处理 / 时间 /
焊接 工艺 参数 要求	电流种类 直流 极性 反接 焊接电流 I 210~230A 电弧电压 U 29~30V 焊丝伸出长度 15~18mm 焊枪倾角 $10^\circ \sim 15^\circ$ 送丝速度 105~108m/h
操作 技术 要求	

编 制		校 对		审 核		批 准	
日 期		日 期		日 期		日 期	

焊接工艺评定书

编号 No HPB-25设计书编号 No HSB-25评定项目 集箱接管角焊缝 St45.8 钢+20 钢 $\phi 219\text{mm} \times 20\text{mm} + \phi 60\text{mm} \times 5\text{mm}$ CO_2 气体保护焊接头焊接方法 CO_2 GMAW 自动化等级 机械化(半自动) 焊接位置 平,横 技术标准 锅规

接头坡口形式

焊接层次(顺序)

见图 PB-25 左

见图 PB-25 右

母材	牌号 <u>St45.8, 20[#]</u> 规格 <u>$\phi 219 \times 20, \phi 60 \times 5$ mm</u> 类别 <u>1</u>					检验编号					钨极型号 <u>/</u> 直径 <u>/</u>	
	C	Si	Mn	P	S							
化学成分(%)	0.18	0.30	0.66	0.017	0.020							
	0.14	0.27	0.52	0.018	0.014							
力学性能	σ_b/MPa	/		σ_s/MPa	/		$\sigma_5/\%$	/		A_{KV}/J	/	
	焊丝											
焊丝牌号 <u>H08Mn2Si</u> 焊丝规格 <u>$\phi 1.6\text{mm}$</u> 焊丝型号 <u>/</u> 焊剂牌号 <u>/</u>												
化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S							
	0.10	0.78	1.71	0.013	0.011							
焊条	焊条牌号 <u>/</u> 焊条规格 <u>/</u> 焊条型号 <u>/</u> 检验编号 <u>/</u>											
	C	Si	Mn	P	S							
熔敷金属化学成分(%)	/	/	/	/	/							
	保护气体 <u>CO_2</u> 流量 <u> </u> L/min 其它气体 <u>/</u> 流量 <u>/</u>											

预热及焊后热处理

预热温度 / 层间温度 / 后热温度 / 时间 / 消氢温度 / 时间 / h中间热处理温度 / 时间 / 焊后热处理温度 / 时间 / h

(续)

焊接工艺参数

电流种类 直流 极性 反接 I 210~230A U 29~30V
 焊丝伸出长度 15~18mm 焊枪倾角 10°~15° 送丝速度 105~108m/h

操作技术

性能检验结果

拉伸试验

检验报告编号 _____

试样编号	试样形式	σ_b /MPa	σ_s /MPa	断裂位置	
/	/	/	/	/	

定向弯曲

检验报告编号 _____

试样编号	试样形式	弯轴直径/mm	弯曲角度/(°)	检验结果
/	/	/	/	/

冲击韧性试验

检验报告编号 _____

试样编号	缺口形式	缺口位置	试验温度/°C	A_{KV} /J
/	/	/	/	/

硬度试验结果(HV₁₀)

检验报告编号 _____

焊 缝	热影响区	母 材
175,168,245	209,187,233	St45.8 155 158 20 160,142

金相检验结果

检验报告编号 _____

宏 观	微 观	其它 检 验
4只试样合格	焊缝 B+F+P 两侧热影响区 B+F+P 两侧母材 F+P	/

无损探伤检验结果 _____ / _____ 检验报告编号 _____

焊工 _____ / _____ 钢印号 _____ / _____ 焊工合格证号 _____

评定结论 _____ 合格

编 制		校 对		审 核		审 定	
日 期		日 期		日 期		日 期	

焊接工艺设计书

编号 No HSB-26工艺评定编号 HPB-26评定项目 20 万机组集箱环缝 12Cr1MoV 钢 $\phi 324\text{mm} \times 24\text{mm}$ 手工钨极氩弧焊+手弧焊接头焊接方法 手工 TIG+SMAW 自动化等级 手工 焊接位置 平 技术标准 锅规

接头坡口形式

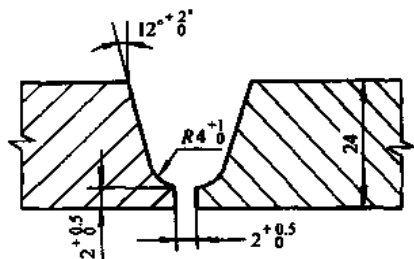


图 PB-26 左

焊接层次(顺序)

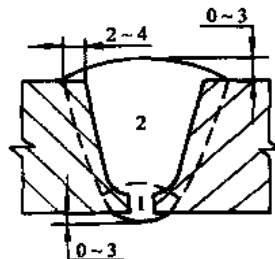


图 PB-26 右

首先以
手工 TIG
打底焊一
层,再以
SMAW 焊
满坡口

对焊接接头的基本要求

1. 力学性能

σ_b/MPa	σ_s/MPa	$\delta_5/\%$	弯曲角度/(°) ($d=3a$)	冲击试验			其 它
				缺口形式	试验温度/°C	A_{KV}/J	
≥ 471	/	/	50°	V	常温	≥ 59.9	$HV_{10} \leq 350$

2. 其它 RT 检查 金相宏观 组织

母材	牌号 <u>12Cr1MoV</u> 规格 <u>$\phi 24\text{mm}$</u> 类别 <u>N</u>
焊接材料	焊条牌号 <u>R317</u> 焊条规格 <u>$\phi 3.2, \phi 4, \phi 5\text{mm}$</u> 型号 <u>E5515-B2-V</u> 钨极型号规格 <u>钍钨极 $\phi 2.5\text{mm}$</u> 焊剂 <u>/</u> 焊丝牌号 <u>H08CrMoV</u> 焊丝规格 <u>$\phi 2.5\text{mm}$</u> 型号 <u>/</u> 保护气 <u>Ar</u> 流量 <u>8~10L/min</u> 其它气体 <u>/</u> 流量 <u>/</u>
预热 热处理 后理	预热温度 <u>$\geq 200^\circ\text{C}$</u> 层间温度 <u>200~350°C</u> 后热温度,时间 <u>/</u> 消氢温度,时间 <u>/</u> 中间热处理 <u>/</u> 时间 <u>/</u> h 焊后热处理 <u>730~750°C</u> 时间 <u>1.5</u> h
焊接工艺参数要求	电流种类 <u>直流</u> 极性 <u>正接 反接</u> 焊接电流 <u>手工 TIG, 正接 $I 100\sim 120\text{A}$</u> 电弧电压 <u>$U 12\sim 14\text{V}$</u> SMAW, 反接 $\phi 3.2\text{mm}, I 110\sim 130\text{A } U 21\sim 23\text{V}$ $\phi 4.0\text{mm}, I 160\sim 180\text{A } U 22\sim 24\text{V}$ $\phi 5.0\text{mm}, I 200\sim 220\text{A } U 23\sim 25\text{V}$
操作技术要求	首先以手工 TIG 打底焊一层,再以 SMAW 焊满坡口

编 制		校 对		审 核		批 准	
日 期		日 期		日 期		日 期	

焊接工艺评定书

编号 No HPB-26设计书编号 No HSB-26评定项目 20 万机组集箱环缝 12Cr1MoV 钢 $\phi 324\text{mm} \times 24\text{mm}$ 手工钨极氩弧焊+手弧焊接头焊接方法 手工 TIG+SMAW 自动化等级 手工 焊接位置 平 技术标准 锅规

接头坡口形式

焊接层次(顺序)

见图 PB-26 左

见图 PB-26 右

母材	检验编号 _____								钨极型号 <u>钍钨极</u> 直径 <u>$\phi 2.5\text{mm}$</u>		
	牌号 <u>12Cr1MoV</u>	规格 <u>$\phi 324 \times 24\text{mm}$</u>	类别 <u>IV</u>								
化学成分 (%)	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	V			
	0.13	0.24	0.53	0.017	0.015	1.06	0.27	0.21			
力学性能	σ_s/MPa	523, 541		σ_s/MPa	/		$\delta_s/\%$			A_{KV}/J	248, 251, 264
焊丝	检验编号 _____										
	焊丝牌号 <u>H08CrMoV</u>	焊丝规格 <u>$\phi 2.5\text{mm}$</u>	焊丝型号 <u>/</u>	焊剂牌号 <u>/</u>							
化学成分 (%)	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	V			
	0.07	0.17	0.34	0.011	0.014	0.98	0.48	0.17			
焊条	焊条牌号 <u>R317</u> 焊条规格 <u>$\phi 3.2, \phi 4, \phi 5$ mm</u> 焊条型号 <u>E5515-B2-V</u> 检验编号 _____										
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	V			
熔敷金属化学成分 (%)	0.08	0.21	0.43	0.009	0.014	1.02	0.43	0.21			
保护气体 <u>Ar</u> 流量 <u>8~10</u> L/min 其它气体 <u>/</u> 流量 <u>/</u> L/min											

预热及焊后热处理

预热温度 ≥ 200 层间温度 200~350 $^{\circ}\text{C}$ 后热温度 / 时间 / 消氢温度 / 时间 h中间热处理温度 / 时间 / 焊后热处理温度 730~750 $^{\circ}\text{C}$ 时间 1.5 h

(续)

焊接工艺参数

电流种类 直流 极性 正接,反接 手工 TIG:正接 I 100~120A U 12~14VSMAW:反接 φ3.2mm; I 110~130A U 21~23Vφ4.0mm; I 160~180A U 22~24Vφ5.0mm; I 200~220A U 23~25V

操作技术

首层以手工 TIG 打底焊一层,再以 SMAW 焊满坡口

性能检验结果

拉伸试验

检验报告编号 _____

试样编号	试样形式	σ_b /MPa	σ_s /MPa	断裂位置	
PB26-1	板状	565 563	/	焊缝外	

定向弯曲

检验报告编号 _____

试样编号	试验形式	弯轴直径/mm	弯曲角度/(°)	检验结果
PB26-2	侧弯	$d=3a$	50	合格

冲击韧性试验

检验报告编号 _____

试样编号	缺口形式	缺口位置	试验温度/°C	A_{KV} /J
PB26-3	V	焊缝 热影响区	常温	116,204,230 206,250,168

硬度试验结果(HV₁₀)

检验报告编号 _____

焊 缝	热影响区	母 材
281,274	292,297	232,198

金相检验结果

检验报告编号 _____

宏 观	微 观	其它 检 验
合格	焊缝 B+F 热影响区 B+F+P 母材 F+P	/

无损探伤检验结果 RT 合格 检验报告编号 _____焊工 / 钢印号 / 焊工合格证号 评定结论 合格

编 制		校 对		审 核		审 定	
日 期		日 期		日 期		日 期	

焊接工艺设计书

编号 No HSB-27

工艺评定编号 HPB-27

评定项目 集箱插入式管接头角接环缝 药芯焊丝 CO_2 气体保护焊接头焊接方法 药芯 CO_2 GMAW 自动化等级 机械化(半自动) 焊接位置 平,横 技术标准 钢规

接头坡口形式

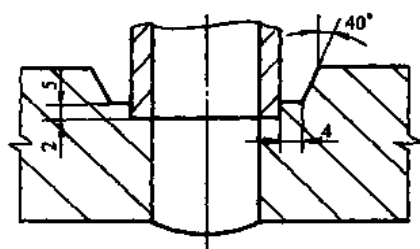


图 PB-27 左

焊接层次(顺序)

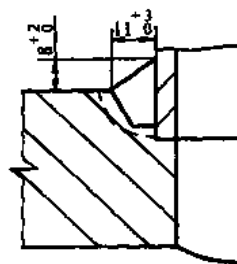


图 PB-27 右

对焊接接头的基本要求

1. 力学性能

σ_b/MPa	σ_t/MPa	$\delta_5/\%$	弯曲角度/(°) ($d=a$)	冲击试验			其它
				缺口形式	试验温度/°C	A_{KV}/J	
/	/	/	/	/	/	/	$HV_{10} \leq 280$

2. 其它 金相宏观,组织

母材	牌号 <u>st45.8, 20</u> 规格 <u>φ219×25, φ60×6</u> mm 类别 <u>I</u>		
焊接材料	焊条牌号 <u>/</u> 焊条规格 <u>/</u> 型号 <u>/</u> 药芯焊丝规格 <u>/</u> 焊剂 <u>/</u> 焊丝牌号 <u>FT-50</u> 焊丝规格 <u>φ1.6mm</u> 型号 <u>/</u> 保护气 <u>CO₂</u> 流量 <u>16~17L/min</u> 其它气体 <u>/</u> 流量 <u>/</u>		
预热 热处理 后理	预热温度 <u>/</u> 层间温度 <u>/</u> 后热温度, 时间 <u>/</u> 消氢温度 <u>/</u> 时间 <u>/</u> 中间热处理 <u>/</u> 时间 <u>/</u> h 焊后热处理 <u>610~630℃</u> 时间 <u>1</u> h		
焊接 工艺 参数 要求	电流种类 <u>直流</u> 极性 <u>反接</u> 焊接电流 <u>I 260~300A</u> <u>U 27~29V</u> 送丝速度 <u>135~140m/h</u> 焊丝伸出长度 <u>15~18mm</u> 焊枪倾角 <u>10°~15°</u>		
操作 技术 要求			

编 制		校 对		审 核		批 准	
日 期		日 期		日 期		日 期	

焊接工艺评定书

编号 No HPB-27设计书编号 No HSB-27评定项目 集箱捆人式管接头角接缝 药芯焊丝 CO₂ 气体保护焊接头焊接方法 药芯 CO₂ GMAW 自动化等级 机械化(半自动) 焊接位置 平,横 技术标准 锅规

接头坡口形式

焊接层次(顺序)

见图 PB-27 左

见图 PB-27 右

母材	检验编号 _____									
	牌号 <u>st45.8</u>		规格 <u>φ219×20+φ60×6mm</u>		类别 <u>I</u>		钨极型号 <u>/</u> 直径 <u>/</u> mm			
化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S					
	0.17	0.22	1.01	0.021	0.010					
力学性能	σ_b /MPa		/		σ_s /MPa		/		δ_5 /%	A_{kv}/J
焊丝	检验编号 _____									
	焊丝牌号 <u>FT-50</u>		焊丝规格 <u>φ1.6mm</u>		焊丝型号 <u>E70T-1</u>		焊剂牌号 <u>/</u>			
化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S					
	0.06	0.64	0.98	0.016	0.012					
焊条	检验编号 _____									
	焊条牌号 <u>/</u>		焊条规格 <u>/</u>		焊条型号 <u>/</u>		焊条规格 <u>/</u>			
熔敷金属化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S					
	/	/	/	/	/					
保护气体 <u>CO₂</u> 流量 <u>16~17</u> L/min 其它气体 <u>/</u> 流量 <u>/</u> L/min										

预热及焊后热处理

预热温度 / 层间温度 / 后热温度 / 时间 / 消氢温度 / 时间 / h中间热处理温度 / 时间 / 焊后热处理温度 610~630 °C 时间 2 h

(续)

焊接工艺参数

电流种类 直流 极性 反接 I 260~300A U 27~29V送丝速度 135~140m/h 伸出长度 15~18mm 焊枪倾角 10°~15°

操作技术

性能检验结果

拉伸试验

检验报告编号 _____

试样编号	试样形式	σ_b /MPa	σ_s /MPa	断裂位置	

定向弯曲

检验报告编号 _____

试样编号	试样形式	弯轴直径/mm	弯曲角度/(°)	检验结果
		$d=a$		

冲击韧性试验

检验报告编号 _____

试样编号	缺口形式	缺口位置	试验温度/°C	A_{KV}/J

硬度试验结论(HV₁₀)

检验报告编号 _____

焊 缝	热影响区	母 材
155,198	205,178	153,144

金相检验结果

检验报告编号 _____

宏 观	微 观	其它 检 验
4 只试样合格	焊缝 B+F 热影响区 F+P+B 母材 F+P	/

无损探伤检验结果 / 检验报告编号 / 焊工 / 钢印号 / 焊工合格证号 / 评定结论 合格

编 制		校 对		审 核		审 定	
日 期		日 期		日 期		日 期	

焊接工艺设计书

编号 No HSB-28

工艺评定编号 HPB-28

评定项目 10 万机组炉集箱环缝 St45.8 钢 $\phi 219\text{mm} \times 25\text{mm}$ 手工钨极氩弧焊+药芯 CO_2 气体保护焊接头焊接方法 手工 TIG+药芯 CO_2 GMAW 自动化等级 手工半自动 焊接位置 平 技术标准 钢规

接头坡口形式

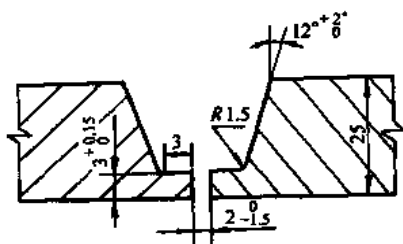


图 PB-28 左

焊接层次(顺序)

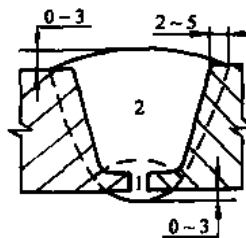


图 PB-28 右

首先以
手工 TIG
打底一层,
再以药芯
GMAW 焊
满坡口

对焊接接头的基本要求

1. 力学性能

σ_b/MPa	σ_s/MPa	$\delta_5/\%$	弯曲角度/(°) ($d=3a$)	冲击试验			其 它
				缺口形式	试验温度/°C	A_{kv}/J	
≥ 410	/	/	180°	V	常温	≥ 27	$HV_{10} \leq 280$

2. 其它 RT 检查 金相组织

母材	牌号 St45.8 规格 $\phi 219 \times 25\text{mm}$ 类别 I
焊接材料	焊条牌号 / 焊条规格 / 型号 / 钨极型号规格 钍钨极 $\phi 2.5\text{mm}$ 焊剂 / 焊丝牌号 H08Mn2Si, FT-50 焊丝规格 $\phi 2.5, \phi 1.6\text{mm}$ 型号 / 保护气 Ar, CO_2 流量 8~10, 16~17L/min 其它气体 / 流量 /
预热 热处 焊后 处理	预热温度 / 层间温度 / 后热温度, 时间 / 消氢温度 / 时间 / 中间热处理 / 时间 / 焊后热处理 610~630°C 时间 2 h
焊接 工艺 参数 要求	电流种类 直流 极性 正接, 反接 焊接电流 手工 TIG: 正接 I 100~120A 电弧电压 U 12~14V 药芯 GMAW: 反接, I 220~240A U 22~24V 焊接速度 420~440m/h 送丝速度 128~128m/h 其它层 I 260~300A U 25~28V 焊接速度 250~350m/h 送丝速度 135~140m/h 焊丝伸出长度 15~18mm 焊枪倾角 10°~15°
操作 技术 要求	首层以手工 TIG 打底焊一层, 再以药芯 GMAW 焊满坡口

编 制		校 对		审 核		批 准	
日 期		日 期		日 期		日 期	

焊接工艺评定书

编号 No HPB-28

设计书编号 No HSB-28

评定项目 10 万机组锅炉集箱环缝 St45.8 钢 $\phi 219\text{mm} \times 25\text{mm}$ 手工钨极氩弧焊+药芯 CO_2 气体保护焊接头焊接方法 手工 TIG+药芯 CO_2 GMAW 自动化等级 手工+半自动 焊接位置 平 技术标准 钢规

接头坡口形式

见图 PB-28 左

焊接层次(顺序)

见图 PB-28 右

母材	检验编号 _____										
	牌号 St45.8	规格 $\phi 219 \times 25\text{mm}$	类别 I	钨极型号 钍钨极 直径 $\phi 2.5\text{mm}$							
化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S						
	0.18	0.18	1.0	0.018	0.011						
力学性能	σ_s/MPa	428,432	σ_t/MPa	/	$\delta_5/\%$	/	A_{KV}/J	192,214,230			
焊材	检验编号 _____										
	焊丝牌号 H08Mn2Si, FT-50	焊丝规格 $\phi 2.5, \phi 1.6\text{mm}$	焊丝型号 /	焊剂牌号 /							
化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S						
	0.09 0.06	0.76 0.64	1.87 0.98	0.018 0.016	0.011 0.012						
焊条	焊条牌号 / 焊条规格 / 焊条型号 / 检验编号 _____										
熔敷金属化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S						
	/	/	/	/	/						
保护气体 Ar, CO_2 流量 8~10, 16~17 L/min 其它气体 / 流量 /											
预热及焊后热处理											
预热温度 / 层间温度 $\leq 300^\circ\text{C}$ 后热温度 / 时间 / 消氢温度 / 时间 /											
中间热处理温度 / 时间 / 焊后热处理温度 / 时间 /											

焊接工艺参数

电流种类 直流 极性 正接,反接 手工 TIG: 正接 I 100~120A U 12~14V

药芯 GMAW: 反接: 首层: I 220~240A U 22~24V 焊接速度 42.0~44.0m/h 送丝速度 125~128m/h

其它层 I 250~300A U 25~28V 焊接速度 26~35m/h 送丝速度 135~140m/h

焊丝伸出长度 15~18mm 焊枪倾角 10°~15°

操作技术

首层以手工 TIG 打底焊一层,再以药芯 GMAW 焊满坡口

性能检验结果

拉伸试验

检验报告编号 _____

试样编号	试样形式	σ_b /MPa	σ_s /MPa	断裂位置	
PB28-1	板状	418 431	/	焊缝外	

定向弯曲

检验报告编号 _____

试样编号	试样形式	弯轴直径/mm	弯曲角度/(°)	检验结果
PB28-2	侧弯	$d=3a$	180	合格

冲击韧性试验

检验报告编号 _____

试样编号	缺口形式	试验温度/°C	缺口位置	A_{KV} /J
PB28-3	V	常温	焊缝 热影响区	126,77,114 168,155,180

硬度试验结论

检验报告编号 _____

接头硬度(HV10)

焊 缝	热影响区	母 材
170,164	207,215,196	160,162

金相检验结果

检验报告编号 _____

宏 观	微 观	其它 检 验
合格	焊缝 <u>B+F+少量 P</u> 热影响区 <u>F+P+B</u> 母材 <u>F+P</u>	/

无损探伤检验结果 RT 合格 检验报告编号 _____

焊工 _____ 钢印号 _____ 焊工合格证号 _____

评定结论 合格

编 制		校 对		审 核		审 定	
日 期		日 期		日 期		日 期	

焊接工艺设计书

编号 No HSB-29

工艺评定编号 HPB-29

评定项目 30 万机组集箱弯头纵缝 SA299 钢 $\delta 86\text{mm}$ 电渣焊接头(多次热处理)

焊接方法 ESW 自动化等级 自动 焊接位置 立 技术标准 ASME

接头坡口形式

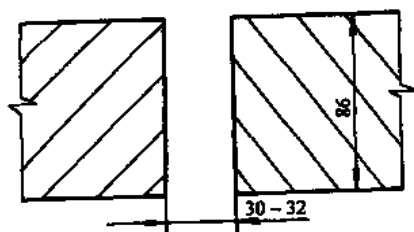


图 PB-29 左

焊接层次(顺序)

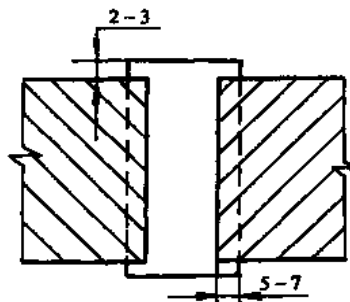


图 PB-29 右

对焊接接头的基本要求

1. 力学性能

σ_b/MPa	σ_s/MPa	$\delta_5/\%$	弯曲角度/(°) ($d=4a$)	冲击试验			其它
				缺口形式	试验温度/°C	A_{KV}/J	
≥ 515	/	/	180°	V	50	≥ 35	$\sigma_b^{(360^\circ\text{C})} \geq 417$ $HV_{10} \leq 280$

2. 其它 RT 检查 HV₁₀ 金相宏观 组织

母材	牌号 SA299 规格 $\delta 86\text{mm}$ 类别 P1
焊接材料	焊条牌号 / 焊条规格 / 型号 / 钨极型号规格 / 焊剂 HJ431 焊丝牌号 S3NiMo1 焊丝规格 $\phi 3\text{mm}$ 型号 / 保护气 / 流量 / 其它气体 / 流量 /
预热 热处理 后处理	预热温度 / 层间温度 / 后热温度, 时间 / 消氢温度 / 时间 / 中间热处理 / 时间 / 焊后热处理 正火 870~900+回火 600~640°C 时间 正火 2+1.8+1+1.8 +回火 2.5 h
焊接工艺参数要求	电流种类 交流 极性 / 焊接电流 I 450~500A 电弧电压 U 40~42V 焊接速度 1~1.2m/h 两根焊丝丝距 50~55mm 渣池深 55~65mm
操作技术要求	

编制		校对		审核		批准	
日期		日期		日期		日期	

焊接工艺评定书

编号 No HPB-29

设计书编号 No HSB-29

评定项目 30 万机组集箱弯头纵缝 SA299 钢 $\delta 86\text{mm}$ 电渣焊(多次正火)接头

焊接方法 ESW 自动化等级自动 焊接位置 立 技术标准 ASME

接头坡口形式

焊接层次(顺序)

见图 PB-29 左

见图 PB-29 右

母材	检验编号 _____								钨极型号 / 直径 / mm			
	牌号 SA299	规格 δ 86mm	类别 P1									
化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S	Ni	Mo					
	0.22	0.22	1.36	0.002	0.006	0.26	0.13					
力学性能	σ_b/MPa	496 498		σ_s/MPa	/		$\delta_5/\%$	/		A_{KV}/J (50°C)	242, 238, 228	
焊丝	检验编号 _____											
	焊丝牌号 S3NiMo	焊丝规格 $\phi 3\text{mm}$	焊丝型号 /		焊剂牌号 HJ431							
化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S	Mo	Ni					
	0.14	0.15	1.55	0.018	0.005	0.57	1.07					
焊条	焊条牌号 / 焊条规格 / 焊条型号 / 检验编号 _____											
熔敷金属化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S							
	/	/	/	/	/							
保护气体 / 流量 / 其它气体 / 流量 /												
预热及焊后热处理												
预热温度 / 层间温度 / 后热温度 / 时间 / 消氢温度 / 时间 / h												
中间热处理温度 / 时间 / 焊后热处理温度 正火 870~900°C+回火 600~640°C												
时间正火 2+1.8+1+1+1.8+回火 2.5 h												

(续)

焊接工艺参数

电流种类 交流 极性 / I 450~500A U 40~42V

焊接速度 1~1.2m/h 两根焊丝 丝距 50~55mm 流池深度 55~65mm

操作技术

性能检验结果

拉伸试验

检验报告编号 _____

试样编号	试样形式	σ_b /MPa	σ_s /MPa	断裂位置	
PB29-1	板状	493,493	/	焊缝外	
PB29-2	棒状(369°C)	475,418	251,236	/	
PB29-3	全焊缝棒状(369°C)	460,495	303,295		

定向弯曲

检验报告编号 _____

试样编号	试样形式	弯轴直径/mm	弯曲角度/(°)	检验结果
PB29-4	侧弯	$d=4a$	180	合格

冲击韧性试验

检验报告编号 _____

试样编号	缺口形式	缺口位置	试验温度/°C	A_{KV} /J
PB29-5	V	焊缝 热影响区	50	82,64,102 78,102,133

硬度试验结论

检验报告编号 _____

接头硬度(HV₁₀)

焊 缝	热影响区	母 材
149,7,156,4,172	156,162,162	159,180,159

金相检验结果

检验报告编号 _____

宏 观	微 观	其它 检 验
合 格	焊缝 <u>F+P</u> 热影响区 <u>F+P</u> 母材 <u>F+P</u>	

无损探伤检验结果 RT 合格 检验报告编号 _____

焊工 _____ 钢印号 _____ 焊工合格证号 _____

评定结论 合格(强度指标按高温短时值)

编 制		校 对		审 核		审 定	
日 期		日 期		日 期		日 期	

焊接工艺设计书

编号 No HSB-30

工艺评定编号 HPB-30

评定项目 30 万机组锅炉过热器集箱环缝 SA335 P22 钢 $\phi 610\text{mm} \times 140\text{mm}$ 手工氩弧焊+手弧焊+埋弧焊接头

焊接方法 手工 TIG+SMAW+SAW 自动化等级 手工+机械化 焊接位置 平 技术标准 ASME

接头坡口形式

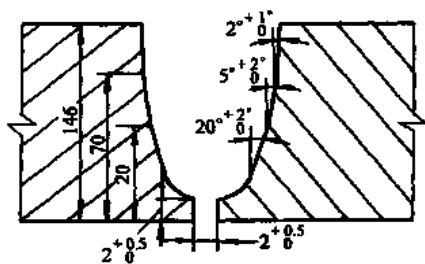


图 PB-30 左

焊接层次(顺序)

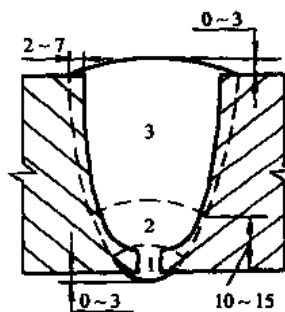


图 PB-30 右

首先以手工
TIG 打底焊一
层 (ER90-B3L
焊丝), 以
SMAW 焊至 10
~ 15mm, 再以
SAW 焊满坡口

对焊接接头的基本要求

1. 力学性能

σ_b/MPa	σ_s/MPa	$\delta_5/\%$	弯曲角度/(°) ($d=4a$)	冲击试验			其 它
				缺口形式	试验温度/°C	A_{KV}/J	
≥ 414	/	/	180°	V	50	≥ 27	$HV_{10} \leq 350$

2. 其它 RT 检查 UT 检查 金相宏观 组织

母材	牌号 SA335P22 规格 $\phi 610 \times 140\text{mm}$ 类别 P1
焊接材料	焊条牌号 R407 焊条规格 $\phi 4, \phi 5$ mm 型号 E6015-B3 药剂 HJ350+HJ250(1:1) 焊丝牌号 ER90S-B3L, H10Cr3MnMoA 焊丝规格 $\phi 2.5, \phi 3$ mm 型号 / 保护气 Ar 流量 8~10L/min 其它气体 / 流量 /
预热 热处 理	预热温度 $\geq 150^\circ\text{C}$ 层间温度 150~350°C 后热温度, 时间 160~200°C/1h 消氢温度, 时间 300~400°C/2h 中间热处理 / 时间 / 焊后热处理 704~760°C 时间 5.5 h
焊接 工艺 参数 要求	电流种类 直流 极性 正接, 反接 焊接电流 手工 TIG, 正接 I 100~120A 电弧电压 U 12~14V SMAW, 反接 $\phi 4\text{mm}$: I 160~180A U 22~23V $\phi 5\text{mm}$: I 200~220A U 23~25V
操作 技术 要求	首层以手工 TIG 打底焊一层, 以 SMAW 焊至 10~15mm, 再以 SAW 焊满坡口。焊接过程中断时立即进行后热, 焊接结束后立即消氢

编 制		校 对		审 核		批 准	
日 期		日 期		日 期		日 期	

焊接工艺评定书

编号 No HPB-30设计书编号 No HSB-30评定项目 30 万机组锅炉过热器集箱环缝 SA335 P22 钢 $\phi 610\text{mm} \times 140\text{mm}$ 手工钨极氩弧焊+手弧焊+埋弧焊接头焊接方法 手工 TIG+SMAW+SAW 自动化等级 手工+机械化 焊接位置 平 技术标准 ASME

接头坡口形式

见图 PB-30 左

焊接层次(顺序)

见图 PB-30 右

母材	检验编号 _____							钨极型号 <u>钨钨极</u> 直径 <u>$\phi 2.5\text{mm}$</u>			
	牌号 <u>SA335P22</u>	规格 <u>$\phi 610 \times 140\text{mm}$</u>		类别 <u>P1</u>							
化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo				
	0.11	0.23	0.45	0.009	0.004	2.29	1.01				
力学性能	σ_s/MPa	501,505		σ_b/MPa	280,297		$\delta_5/\%$	32,31		A_{kv}/J (50°C)	364,366,318
焊丝	检验编号 _____										
	焊丝牌号 <u>ER90S-B3L, H10Cr3MnMoA</u> 焊丝规格 <u>$\phi 2.5, \phi 3$ mm</u> 焊丝型号 <u>/</u>										
化学成分(%)	焊剂牌号 <u>HJ350+HJ250(1:1)</u>										
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo				
	0.04	0.40	0.50	0.010	0.014	2.46	0.98				
焊条	焊条牌号 <u>R407</u> 焊条规格 <u>$\phi 4, \phi 5\text{mm}$</u> 焊条型号 <u>E6015-B3</u> 检验编号 _____										
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo				
熔敷金属化学成分(%)	0.06	0.12	0.50	0.014	0.021	2.27	1.19				
保护气体 <u>Ar</u> 流量 <u>8~10</u> L/min 其它气体 <u>/</u> 流量 <u>/</u>											

预热及焊后热处理

预热温度 ≥ 150 层间温度 150~350°C 后热温度 150~200°C 时间 1 h 消氢温度 300~400°C
 时间 2 h 中间热处理温度 / °C 时间 / h 焊后热处理温度 704~760°C 时间 5.5 h

(续)

焊接工艺参数							
电流种类 <u>直流</u> 极性 <u>正接,反接</u> 手工 TIG: <u>正接</u> I <u>100~120A</u> U <u>12~14V</u>							
SMAW: <u>反接</u> ϕ 4mm: I <u>160~180A</u> U <u>22~24V</u>							
ϕ 5mm: I <u>200~220A</u> U <u>23~25V</u>							
SAW: <u>反接</u> I <u>450~500A</u> U <u>32~36V</u> 焊接速度: <u>22~27m/h</u>							
操作技术							
首先以手工 TIG 打底焊一层,以 SMAW 焊至 10~15mm,再以 SAW 焊满坡口。焊接过程中断时立即进行后热,焊接结束立即进行消氢处理							
性能检验结果							
拉伸试验				检验报告编号 _____			
试样编号	试样形式	σ_b /MPa	σ_t /MPa	断裂位置			
PB30-1	板状	533,532	/	焊缝外			
定向弯曲				检验报告编号 _____			
试样编号	试样形式	弯轴直径/mm	弯曲角度/(°)	检验结果			
PB30-2	侧弯	$d=4a$	180	合格			
冲击韧性试验				检验报告编号 _____			
试样编号	缺口形式	缺口位置	试验温度/°C	A_{kv} /J			
PB30-3	V	焊缝 热影响区	50	80,116,92 108,74,100			
硬度试验结论(HV ₁₀)				检验报告编号 _____			
焊 缝		热影响区		母 材			
206,206,207		225,210,222		185,185			
金相检验结果				检验报告编号 _____			
宏 观		微 观		其它 检 验			
合格		焊缝 B 热影响区 B 母材 F+P		/			
无损探伤检验结果 <u>RT UT 合格</u> 检验报告编号 _____							
焊工 _____ 钢印号 _____ 焊工合格证号 _____							
评定结论 <u>合格</u>							
编 制		校 对		审 核		审 定	
日 期		日 期		日 期		日 期	

3 锅炉受热面管焊接工艺评定实例

对于锅炉受热面管系中的过热器、再热器、省煤器和水冷壁等部件管子的对接接头,应进行焊接工艺评定。此外,与受热面管连接的承载附件,如密封板和吊耳等,以及膜式壁光管与扁钢的焊接,均需进行焊接工艺评定。

按不同材质、不同焊接方法和接头形式,分别按部件和钢种列举典型焊接工艺评定实例如下:

焊接工艺设计书

编号 No HSS-1

工艺评定编号 HPS-1

评定项目 锅炉受热面管对接 20 钢管 $\phi 42\text{mm} \times 5\text{mm}$ 手工钨极氩弧焊接头

焊接方法 手工 TIG 自动化等级 手工 焊接位置 平位置 技术标准 钢规

接头坡口形式

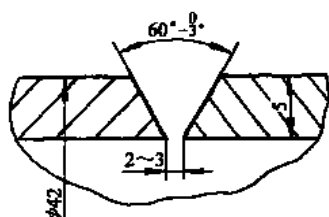


图 PS-1 左

焊接层次(顺序)

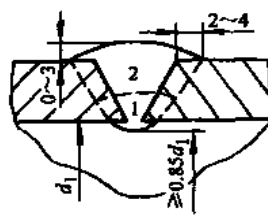


图 PS-1 右

焊接 2 层

对焊接接头的基本要求

1. 力学性能

σ_b/MPa	σ_s/MPa	$\delta_5/\%$	弯曲角度/(°) ($d=3a$)	冲击试验			其 它
				缺口形式	试验温度/°C	A_K/J	
390~530	/	/	180°	/	/	/	$HV_{10} \leq 280$

2. 其它 RT 检查 金相宏观

母材	牌号 <u>20</u> 规格 <u>φ42×5mm</u> 类别 <u>I</u>						
焊接材料	焊条牌号 <u> </u> 焊条规格 <u> </u> 型号 <u> </u> 钨极型号规格 <u>钍钨极</u> 焊剂 <u>/</u> 焊丝牌号 <u>H08Mn2Si</u> 焊丝规格 <u>φ2.5mm</u> 型号 <u>/</u> 保护气 <u>Ar</u> 流量 <u>8~10</u> L/min 其它气体 <u>/</u> 流量 <u>/</u>						
预热 热处理 焊后理	预热温度 <u>/</u> 层间温度 <u>≤300</u> °C 后热温度 <u> </u> 时间 <u>/</u> 消氢温度 <u>/</u> 时间 <u>/</u> 中间热处理 <u> </u> °C 时间 <u> </u> h 焊后热处理 <u> </u> °C 时间 <u> </u> h						
焊接 工艺 参数 要求	电流种类 <u>直流</u> 极性 <u>正接</u> 焊接电流 <u>I 90~120A</u> 电弧电压 <u>U 10~12V</u>						
操作 技术 要求							
编 制		校 对		审 核		批 准	
日 期		日 期		日 期		日 期	

焊接工艺评定书

编号 No HPS-1

设计书编号 No HSS-1

评定项目 锅炉受热面管对接 20 钢管 $\phi 42\text{mm} \times 5\text{mm}$ 手工钨极氩弧焊接头

焊接方法 手工 TIG 自动化等级 手工 焊接位置 平位置 技术标准 钢规

接头坡口形式

焊接层次(顺序)

见图 PS-1 左

见图 PS-1 右

母材	检验编号 _____									
	牌号 20	规格 $\phi 42 \times 5\text{mm}$	类别 I	钨极型号 钍钨极 直径 $\phi 2.5\text{mm}$						
化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S					
	0.19	0.235	0.68	0.020	0.018					
力学性能	σ_b/MPa	501.498	σ_s/MPa	/	$\delta_5/\%$	/	A_{kv}/J	/		
焊材	检验编号 _____									
	焊丝牌号 H08Mn2Si	焊丝规格 $\phi 2.5\text{mm}$	焊丝型号 /	焊剂牌号 /						
化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S					
	0.08	0.85	1.96	0.012	0.009					
焊条	焊条牌号 / 焊条规格 / 焊条型号 / 检验编号 _____									
熔敷金属化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S					
	/	/	/	/	/					
保护气体 Ar 流量 8~10 L/min 其它气体 / 流量 /										

预热及焊后热处理

预热温度 / 层间温度 $\leq 300^\circ\text{C}$ 后热温度 / 时间 / 消氢温度 / 时间 /

中间热处理温度 / 时间 / 焊后热处理温度 / 时间 /

(续)

焊接工艺参数

电流种类 直流 极性 正接 I 90~120A U 10~12V

操作技术

性能检验结果

拉伸试验

检验报告编号 _____

试样编号	试样形式	σ_b /MPa	σ_s /MPa	断裂位置	
PS1-1	板状	460.6, 500	/	焊缝外	

定向弯曲

检验报告编号 _____

试样编号	试样形式	弯轴直径/mm	弯曲角度/(°)	检验结果
PS1-2	面弯 背弯	$d=3a$	180	合格

冲击韧性试验

检验报告编号 _____

试样编号	缺口形式	缺口位置	试验温度/°C	A_{KV} /J
/	/	/	/	/

硬度试验结论(HV₁₀)

检验报告编号 _____

焊 缝	热影响区	母 材
179	206, 193, 181	175

金相检验结果

检验报告编号 _____

宏 观	微 观	其它 检 验
合格	/	/

无损探伤检验结果 RT 合格 检验报告编号 _____

焊工 _____ 钢印号 _____ 焊工合格证号 _____

评定结论 合格

编 制		校 对		审 核		审 定	
日 期		日 期		日 期		日 期	

焊接工艺设计书

编号 No HSS-2

工艺评定编号 HPS-2

评定项目 锅炉受热面管对接 20g 钢 $\phi 32\text{mm} \times 4\text{mm}$ 摩擦焊接头

焊接方法 FW 自动化等级 自动 焊接位置 平 技术标准 钢规

接头坡口形式

焊接层次(顺序)

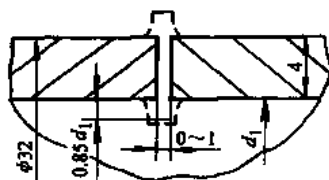


图 PS-2

对焊接接头的基本要求

1. 力学性能

σ_b/MPa	σ_s/MPa	$\delta_5/\%$	弯曲角度/(°) ($d=3a$)	冲击试验			其 它
				缺口形式	试验温度/°C	A_{kv}/J	
≥ 392	/	/	180°	/	/	/	$HV_{10} \leq 280$

2. 其它 UT 检查 金相宏观 组织

母材	牌号 20g 规格 $\phi 32\text{mm} \times 4\text{mm}$ 类别 I						
焊接材料	焊条牌号 / 焊条规格 / 型号 / 钨极型号规格 / 焊剂 / 焊丝牌号 / 焊丝规格 / 型号 / 保护气 / 流量 / 其它气体 / 流量 /						
预热 焊后 处理	预热温度 / 层间温度 / 后热温度, 时间 / 消氢温度, 时间 / 中间热处理 / 时间 / 焊后热处理 / 时间 /						
焊接 工艺 参数 要求	电流种类 / 极性 / 焊接电流 / 电弧电压 / 电动机转速: 1750r/min J _A 44A 摩擦压力 1.2MPa 夹紧压力 1.6MPa 摩擦时间 0.7s 刹车时间 0.6s						
操作 技术 要求							

编 制		校 对		审 核		批 准	
日 期		日 期		日 期		日 期	

焊接工艺评定书

编号 No HPS-2设计书编号 No HSS-1评定项目 锅炉受热面管对接 20g 钢 $\phi 32\text{mm} \times 4\text{mm}$ 摩擦焊接头焊接方法 FW 自动化等级 自动 焊接位置 平 技术标准 锅规

接头坡口形式

焊接层次(顺序)

见图 PS-2

母材	检验编号 _____										
	牌号 <u>20g</u>	规格 <u>$\phi 32 \times 4\text{mm}$</u>	类别 <u>I</u>	电极型号 <u>/</u> 直径 <u>/</u>							
化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S						
	0.19	0.27	0.54	0.014	0.015						
力学性能	σ_s/MPa	490, 490		σ_b/MPa	380, 381		$\delta_5/\%$	30		A_k/J	/
焊材	检验编号 _____										
	焊丝牌号 <u>/</u> 焊丝规格 <u>/</u> 焊丝型号 <u>/</u> 焊剂牌号 <u>/</u>										
化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S						
	/	/	/	/	/						
焊条	焊条牌号 <u>/</u> 焊条规格 <u>/</u> 焊条型号 <u>/</u> 检验编号 <u>/</u>										
熔敷金属化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S						
	/	/	/	/	/						
保护气体 <u>/</u> 流量 <u>/</u> 其它气体 <u>/</u> 流量 <u>/</u>											

预热及焊后热处理

预热温度 / 层间温度 / 后热温度 / 时间 / 消氢温度 / 时间 /中间热处理温度 / 时间 / 焊后热处理温度 / 时间 /

(续)

焊接工艺参数

电流种类 / 极性 / 电动机转速 1750r/min J_A 44A

摩擦压力 1.2MPa 夹紧压力 1.6MPa 摩擦时间 0.7s

刹车时间 0.6s

操作技术

性能检验结果

拉伸试验

检验报告编号 _____

试样编号	试样形式	σ_b /MPa	σ_s /MPa	断裂位置	
PS2-1	板状	485,476	/	焊缝外	

定向弯曲

检验报告编号 _____

试样编号	试样形式	弯轴直径/mm	弯曲角度/(°)	检验结果
PS2-2	面弯 背弯	$d=3a$	180	合格

冲击韧性试验

检验报告编号 _____

试样编号	缺口形式	缺口位置	试验温度/°C	A_{KV} /J
/	/	/	/	/

硬度试验结论(HV₁₀)

检验报告编号 _____

焊 缝	热影响区	母 材
260,297	279,245	193,228

金相检验结果

检验报告编号 _____

宏 观	微 观	其它 检 验
合格	焊缝 B 热影响区 F+P+B 母材 F+P	/

无损探伤检验结果 UT 合格 检验报告编号 _____

焊工 _____ 钢印号 _____ 焊工合格证号 _____

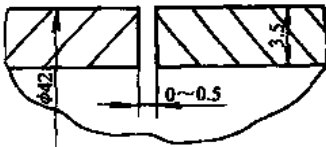
评定结论 合格

编 制		校 对		审 核		审 定	
日 期		日 期		日 期		日 期	

焊接工艺设计书

编号 No HSS-3

工艺评定编号 HPS-3

评定项目 锅炉受热面管对接焊 20 钢 $\phi 42\text{mm} \times 3.5\text{mm}$ 自动钨极氩弧焊接头	
焊接方法 自动 TIG 自动化等级 机械化 焊接位置 平 技术标准 锅规	
接头坡口形式	焊接层次(顺序)
	
图 PS-3 左	图 PS-3 右

对焊接接头的基本要求							
1. 力学性能							
σ_b/MPa	σ_s/MPa	$\delta_5/\%$	弯曲角度/(°) ($d=3a$)	冲击试验			其 它
				缺口形式	试验温度/°C	A_K/J	
390~530	/	/	180°	/	/	/	HV ₁₀ ≤280
2. 其它 RT 检查 金相宏观							
母材	牌号 20g 规格 $\phi 42 \times 3.5\text{mm}$ 类别 I						
焊接材料	焊条牌号 / 焊条规格 / 型号 /		钨极型号规格 钍钨极 $\phi 4\text{mm}$		焊剂 /		
	焊丝牌号 H08Mn2Si 焊丝规格 $\phi 1.2\text{mm}$ 型号 /		保护气 Ar		流量 8~10 L/min		
预热焊后热处理	预热温度 / 层间温度 / 后热温度, 时间 /		消氢温度, 时间 /				
	中间热处理 / 时间 / 焊后热处理 / 时间 /						
焊接工艺参数要求	电流种类 直流 极性 正接 焊接电流 基值电流 I_1 40~50A 峰值电流 I_2 170~180A 主脉冲电流 I_3 90~110A						
	焊接速度: 第一层 v_1 54m/h, 第二层 v_2 61m/h						
	脉冲频率: 0.7~1 周/s 断通比 40% : 40% : 20%						
操作技术要求	首层不加焊丝, 全厚度熔透焊, 第二层加焊丝填满焊缝						
编制		校 对		审 核		批 准	
日 期		日 期		日 期		日 期	

焊接工艺评定书

编号 No HPS-3

设计书编号 No HSS-3

评定项目 <u>锅炉受热面管对接焊 20 钢 $\phi 42\text{mm} \times 3.5\text{mm}$ 自动钨极氩弧焊接头</u>	
焊接方法 <u>自动 TIG</u>	自动化等级 <u>机械化</u> 焊接位置 <u>平</u> 技术标准 <u>钢规</u>
接头坡口形式	焊接层次(顺序)

见图 PS-3 左

见图 PS-3 右

母材	检验号编 _____									
	牌号 <u>20</u>	规格 <u>$\phi 42 \times 3.5\text{mm}$</u>	类别 <u>I</u>	钨极型号 <u>钍钨极</u> 直径 <u>$\phi 4\text{mm}$</u>						
化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S					
	0.175	0.29	0.45	0.018	0.011					
力学性能	σ_b/MPa	510,498	σ_s/MPa	/	$\delta_s/\%$	/	A_K/J	/		
焊材	检验编号 _____									
	焊丝牌号 <u>H08Mn2Si</u>	焊丝规格 <u>$\phi 1.2\text{mm}$</u>	焊丝型号 <u>/</u>	焊剂牌号 <u>/</u>						
化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S					
	0.09	0.86	2.04	0.011	0.009					
焊条	焊条牌号 <u>/</u> 焊条规格 <u>/</u> 焊条型号 <u>/</u> 检验编号 <u>/</u> <u>/</u>									
	C	Si	Mn	P	S					
化学成分(%)	—	—	—	—	—					

保护气体 Ar 流量 8~10 L/min 其它气体 / 流量 /

预热及焊后热处理

预热温度 / 层间温度 / 后热温度 / 时间 /消氢温度 / 时间 / 中间热处理温度 / 时间 /焊后热处理温度 / 时间 /

(续)

焊接工艺参数

电流种类 直流 极性 正接 基值电流 I_1 40~50A 峰值电流 I_2 170~180A 主脉冲电流 I_3 90~110A 脉冲频率 0.7~1周/s 通断比 40% : 40% : 20% 焊接速度第一层 54m/h, 第二层 61m/h

操作技术

首层不加焊丝, 全厚度熔透, 第二层加焊丝填满焊缝

性能检验结果

拉伸试验

检验报告编号

试样编号	试样形式	σ_b /MPa	σ_t /MPa	断裂位置	
PS3-1	板状	490, 509.6	/	焊缝外	

定向弯曲

检验报告编号

试样编号	试样形式	弯轴直径/mm	弯曲角度/(°)	检验结果
PS3-2	面弯 背弯	$d=3a$	180	合格

冲击韧性试验

检验报告编号

试样编号	缺口形式	缺口位置	试验温度/°C	A_K /J
/	/	/	/	/

硬度试验结果(HV₁₀)

检验报告编号

焊 缝	热 影 响 区	母 材
223, 214	260, 251	165, 178

金相检验结果

检验报告编号

宏 观	微 观	其 它 检 验
合 格	/	/

无损探伤检验结果 RT合格 检验报告编号 _____

焊工 钢印号 _____ 焊工合格证号 _____

评定结论 合格

编 制		校 对		审 核		审 定	
日 期		日 期		日 期		日 期	/

焊接工艺设计书

编号 No HSS-4

工艺评定编号 HPS-4

评定项目 锅炉受热面管对接焊 20 钢 $\phi 57\text{mm} \times 7\text{mm}$ 熔化极气体保护脉冲电弧焊接头

焊接方法 MIG 自动化等级 自动 焊接位置 平 技术标准 ASME

接头坡口形式

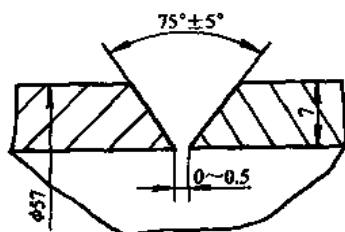


图 PS-4 左

焊接层次(顺序)

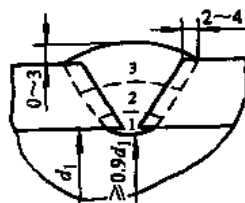
焊接三层,第
二,三层摆动焊

图 PS-4 右

对焊接接头的基本要求

1. 力学性能

σ_b/MPa	σ_s/MPa	$\delta_s/\%$	弯曲角度/(°) ($d=4a$)	冲击试验			其它
				缺口形式	试验温度	A_K/J	
390~530	/	/	180°	/	/	/	$HV_{10} \leq 280$

2. 其它 RT 检查 金相宏观

母材	牌号 20 规格 $\phi 57 \times 7\text{mm}$ 类别 I						
焊接材料	焊条牌号 / 焊条规格 / 型号 / 钨极型号规格 / 焊剂 / 保护气 $\text{Ar} + \text{CO}_2$ 流量 $11 \pm 1.1 \text{ L/min}$ 焊丝牌号 ER80S-D2 焊丝规格 $\phi 0.8\text{mm}$ 型号 / 其它气体 / 流量 /						
预热焊后热处理	预热温度 / 层间温度 / 后热温度, 时间 / 消氢温度, 时间 / 中间热处理 / 时间 / 焊后热处理 / 时间 /						
焊接工艺参数要求	电流种类 直流 极性 反接 焊接电流 $I_T 100\text{A}$ $U 21 \sim 22\text{V}$ 基值电流 $I_B 30\text{A}$ 峰值电流 $I_P 280\text{A}$ 频率 100 次/s 通断比 50% 焊接速度 $v_1 8 \sim 9\text{m/h}$ 其余层 $v_2 9 \sim 10\text{m/h}$ 送丝速度 $5 \sim 5.5\text{m/min}$						
操作技术要求	焊接三层, 第二层开始摆动焊						
编制		校对		审核		批准	
日期		日期		日期		日期	

焊接工艺评定书

编号 No HPS-4设计书编号 No HSS-4评定项目 锅炉受热面管对接焊 20 钢 $\phi 57\text{mm} \times 7\text{mm}$ 熔活性气体保护脉冲氩弧焊接头焊接方法 MIG 自动化等级 自动 焊接位置 平 技术标准 ASME

接头坡口形式

焊接层次(顺序)

见图 PS-4 左

见图 PS-4 右

母材	检验编号 _____									
	牌号 <u>20</u>	规格 <u>$\phi 57 \times 7\text{mm}$</u>	类别 <u>I</u>	钨极型号 <u>/</u> , 直径 <u>/</u>						
化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S					
	0.17	0.32	0.58	0.018	0.011					
力学性能	σ_b/MPa	527, 518	σ_s/MPa	/	$\delta_5/\%$	/	A_K/J	/		
焊材	检验编号 _____									
	焊丝牌号 <u>ER80S-D2</u>	焊丝规格 <u>$\phi 0.8\text{mm}$</u>	焊丝型号 <u>/</u>	焊剂牌号 <u>/</u>						
化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S					
	0.05	0.87	1.42	0.009	0.005					
焊条	焊条牌号 <u>/</u> 焊条规格 <u>/</u> 焊条型号 <u>/</u> 检验编号 _____									
熔敷金属化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S					
	/	/	/	/	/					

保护气体 Ar+CO₂, 流量 11+1.1 L/min 其它气体 /, 流量 /

预热及焊后热处理

预热温度 / 层间温度 / 后热温度 / 时间 /消氢温度 / 时间 / 中间热处理温度 / 时间 /焊后热处理温度 / °C 时间 /

(续)

焊接工艺参数

电流种类 直流 极性 反接 平均电流 $I_{\text{平}} 100\text{A}$ 基值电流 $I_{\text{基}} 30\text{A}$ 峰值电流 $I_{\text{峰}} 280\text{A}$ 频率 100次/s
 通断比 50% 焊接速度 $v_1 8\sim 9\text{m/h}$ 其它层 $v_2 9\sim 10\text{m/h}$ 送丝速度 $5\sim 5.5\text{m/min}$

操作技术

焊接三层,第二层开始摆动焊

性能检验结果

拉伸试验

检验报告编号 _____

试样编号	试样形式	σ_b/MPa	σ_s/MPa	断裂位置	
PS4-1	板状	491 490	/	焊缝外	

定向弯曲

检验报告编号 _____

试样编号	试样形式	弯轴直径/mm	弯曲角度/(°)	检验结果
PS4-2	面、背弯	$d=4a$	180	合格

冲击韧性试验

检验报告编号 _____

试样编号	缺口形式	缺口位置	试验温度/°C	A_K/J
/	/	/	/	/

硬度试验结果(HV₁₀)

检验报告编号 _____

焊 缝	热 影 响 区	母 材
268,297	283,270	272,254

金相检验结果

检验报告编号 _____

宏 观	微 观	其 它 检 验
合 格	/	/

无损探伤检验结果 RT 合格 检验报告编号 _____

焊工 _____ 钢印号 _____ 焊工合格证号 _____

评定结论 合格

编 制		校 对		审 核		审 定	
日 期		日 期		日 期		日 期	

焊接工艺设计书

编号 No HSS-5

工艺评定编号 HPS-5

评定项目 锅炉受热面管对接焊 20 钢 $\phi 108\text{mm} \times 12\text{mm}$ 手工钨极氩弧焊+手弧焊接头

焊接方法 手工 TIG+SMAW 自动化等级 手工 焊接位置 平 技术标准 钢规

接头坡口形式

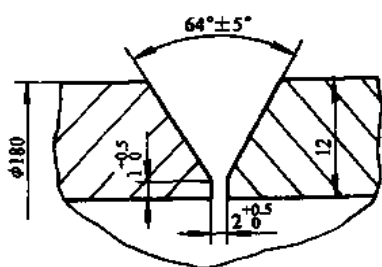


图 PS-5 左

焊接层次(顺序)

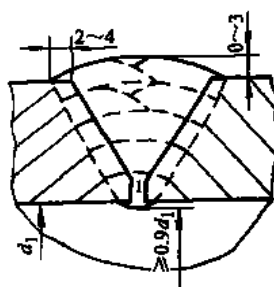


图 PS-5 右

首层以手工
TIG 打底焊一
层,再以 SMAW
多层焊满坡口

对焊接接头的基本要求

1. 力学性能

σ_b/MPa	σ_s/MPa	$\delta_5/\%$	弯曲角度/(°) ($d=3a$)	冲击试验			其它
				缺口形式	试验温度/°C	A_K/J	
390~530	/	/	180°	/	/	/	HRB≤280

2. 其它 RT 检查 金相宏观

母材	牌号 <u>20 钢</u> 规格 <u>φ108mm×12mm</u> 类别 <u>I</u>					
焊接材料	焊条牌号 <u>J507</u>	焊条规格 <u>φ4、φ5mm</u>	型号 <u>E5015</u>	钨极型号规格 <u>钍钨极 φ2.5mm</u>	焊剂 <u>/</u>	
				保护气 <u>Ar</u>	流量 <u>8~10 L/min</u>	
	焊丝牌号 <u>H08Mn2Si</u>	焊丝规格 <u>φ2.5mm</u>	型号 <u>/</u>	其它气体 <u>/</u>	流量 <u>/ L/min</u>	
预热焊后热处理	预热温度 <u>/</u> 层间温度 <u>/</u> 后热温度,时间 <u>/</u> 消氢温度,时间 <u>/</u> 中间热处理 <u>/</u> 时间 <u>/</u> 焊后热处理 <u>/</u> 时间 <u>/</u>					
焊接工艺参数要求	电流种类 <u>直流</u> 极性 <u>正接 反接</u> 焊接电流 <u>手工 TIG 正接 I 90~120A</u> 电弧电压 <u>U 10~12V</u> <u>SMAW: 反接 φ4mm; I 160~180A U 22~24V</u> <u>φ5mm; I 200~220A U 23~25V</u>					
操作技术要求	首层以手工 TIG 打底焊一层,再以 SMAW 焊满坡口					

编制		校对		审核		批准	
日期		日期		日期		日期	/

焊接工艺评定书

编号 No HPS-5

设计书编号 No HSS-5

评定项目 锅炉受热面管对接焊 20 钢 $\phi 108\text{mm} \times 12\text{mm}$ 手弧焊+手弧焊接头

焊接方法 手工 TIG+SMAW 自动化等级 手工 焊接位置 平 技术标准 钢规

接头坡口形式

焊接层次(顺序)

见图 PS-5 左

见图 PS-5 右

母材	检验编号 _____ 牌号 20 钢 规格 $\phi 108 \times 12$ mm 类别 I 钨极型号 钍钨极, 直径 $\phi 2.5\text{mm}$									
化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S					
	0.17	0.27	0.48	0.020	0.014					
力学性能	σ_b/MPa	462, 473	σ_s/MPa	/	$\delta_5/\%$	/	A_k/J	/		
焊材	检验编号 _____ 焊丝牌号 H08Mn2Si 焊丝规格 $\phi 2.5\text{mm}$ 焊丝型号 / 焊剂牌号 /									
化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S					
	0.08	0.81	1.99	0.014	0.011					
焊条	焊条牌号 J507 焊条规格 $\phi 4, \phi 5$ mm 焊条型号 E5015 检验编号 _____									
熔敷金属化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S					
	0.058	0.54	0.90	0.012	0.009					

保护气体 Ar 流量 8~10 L/min 其它气体 / 流量 /

预热及焊后热处理

预热温度 / 层间温度 / 后热温度 / 时间 /

消氢温度 / 时间 / 中间热处理温度 / 时间 /

焊后热处理温度 / 时间 /

(续)

焊接工艺参数

电流种类 直流 极性 正接 反接 手工 TIG 正接 I 90~120A U 10~12VSMAW: 反接 $\phi 4\text{mm}$, I 160~180A U 22~24V $\phi 5\text{mm}$, I 200~220A U 23~25V

操作技术

首层以手工 TIG 打底焊一层,再以 SMAW 焊满坡口

性能检验结果

拉伸试验

检验报告编号 _____

试样编号	试样形式	σ_s/MPa	σ_t/MPa	断裂位置	
PS5-1	板状	443.9, 457.7	/	焊缝外	

定向弯曲

检验报告编号 _____

试样编号	试样形式	弯轴直径/mm	弯曲角度/(°)	检验结果
PS5-2	面弯 背弯	$d=3a$	180	合格

冲击韧性试验

检验报告编号 _____

试样编号	缺口形式	缺口位置	试验温度/°C	A_K/J
/	/	/	/	/

硬度试验结果(HBR)

检验报告编号 _____

焊 缝	热 影 响 区	母 材
141, 138	143, 133	119, 121

金相检验结果

检验报告编号 _____

宏 观	微 观	其 它 检 验
合 格	/	

无损探伤检验结果 RT 合格 检验报告编号 _____

焊工 _____ 钢印号 _____ 焊工合格证号 _____

评定结论 合格

编 制		校 对		审 核		审 定	
日 期		日 期		日 期	/	日 期	

焊接工艺设计书

编号 No HSS-6

工艺评定编号 HPS-6

评定项目 锅炉受热面管对接焊 20 钢 $\phi 51\text{mm} \times 5.5\text{mm}$ 热丝氩弧焊

焊接方法 热丝 TIG 自动化等级 自动 焊接位置 平 技术标准 ASME

接头坡口形式

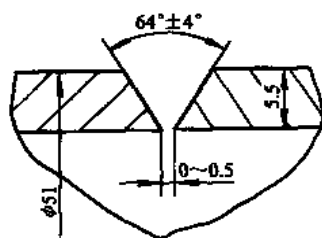
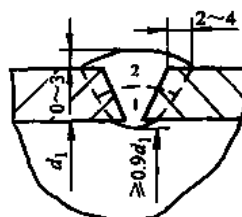


图 PS-6 左

焊接层次(顺序)



焊接二层

图 PS-6 右

对焊接接头的基本要求

1. 力学性能

σ_b/MPa	σ_s/MPa	$\delta_5/\%$	弯曲角度/° ($d=4a$)	冲击试验			其 它
				缺口形式	试验温度/°C	A_k/J	
≥ 402	/	/	180	/	/	/	$HV_{10} \leq 280$

2. 其它 RT 检查 金相宏观 组织

母材	牌号 <u>20</u> 规格 <u>φ51×5.5mm</u> 类别 <u>I</u>						
焊接材料	焊条牌号 <u>/</u>		焊条规格 <u>/</u>		型号 <u>/</u>	钨极型号规格 <u>钨钨极 φ4mm</u>	焊剂 <u>/</u>
	保护气 <u>Ar</u>					流量 <u>25~27</u> L/min(热丝) <u>6~7</u>	
	焊丝牌号 <u>MGS-M</u>		焊丝规格 <u>φ0.8mm</u>		型号 <u>/</u>	其它气体 <u>/</u>	
	流量 <u>/</u> L/min						
预热焊后热处理	预热温度 <u>/</u> 层间温度 <u>/</u> 后热温度,时间 <u>/</u> 消氢温度,时间 <u>/</u> 中间热处理 <u>/</u> 时间 <u>/</u> 焊后热处理 <u>/</u> 时间 <u>/</u>						
焊接工艺参数要求	电流种类 <u>直流</u> 极性 <u>正接</u> 焊接电流 <u>I 140~150A</u> <u>U 10~12V</u> 焊接速度 第一层 <u>v₁ 4.3~4.5m/h</u> <u>第二层 v₂ 6.5~6.7m/h</u> 送丝速度 第一层 <u>v_{s1} 100~110m/h</u> 第二层 <u>v_{s2} 175~185m/h</u> 热丝电流 <u>60~100A</u> 热 丝电压 <u>3~4V</u> 预热 <u>10s</u> 摆动频率 <u>35 周/min</u> 摆动幅值 <u>6~8mm</u>						
操作技术要求	焊接二层,第二层摆动焊						
编 制		校 对		审 核		批 准	
日 期		日 期		日 期		日 期	

焊接工艺评定书

编号 No HPS-6设计书编号 No HSS-6评定项目 锅炉受热面管对接 20 钢 $\phi 51\text{mm} \times 5.5\text{mm}$ 热丝 TIG 焊接头焊接方法 热丝 TIG 自动化等级 自动 焊接位置 平 技术标准 ASME

接头坡口形式

焊接层次(顺序)

见图 PS-6 左

见图 PS-6 右

母材	检验编号 _____					钨极型号 <u>钨钨极</u> 直径 <u>$\phi 4\text{mm}$</u>				
	牌号 <u>20</u>	规格 <u>$\phi 51 \times 5.5\text{mm}$</u>	类别 <u>I</u>							
化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S					
	0.21	0.20	0.52	0.020	0.017					
力学性能	σ_b/MPa	526,531	σ_s/MPa	/	$\delta_5/\%$	/	A_K/J	/		
焊材	检验编号 _____					焊剂牌号 <u>/</u>				
	焊丝牌号 <u>MGS-M</u>	焊丝规格 <u>$\phi 0.8\text{mm}$</u>	焊丝型号 <u>/</u>							
化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S	Mo				
	0.08	0.76	1.27	0.014	0.011	0.54				
焊条	焊条牌号 <u>/</u> 焊条规格 <u>/</u> 焊条型号 <u>/</u> 检验编号 <u>/</u>									
熔敷金属化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S					
	/	/	/	/	/					

保护气体 Ar 流量 25~27 , 热丝 6~7 L/min 其它气体 / 流量 /

预热及焊后热处理

预热温度 / 层间温度 / 后热温度 / 时间 /消氢温度 / 时间 / 中间热处理温度 / 时间 /焊后热处理温度 / C 时间 /

(续)

焊接工艺参数

电流种类 直流 极性 正接 $I=140\sim 150\text{A}$ $U=10\sim 12\text{V}$ 焊接速度: 首层 $v_1=4.3\sim 4.5\text{m/h}$ 第二层 $v_2=6.5\sim 6.7\text{m/h}$ 送丝速度: 首层 $v_{s1}=100\sim 105\text{m/h}$ 第二层 $v_{s2}=170\sim 180\text{m/h}$ 热丝电流 $60\sim 80\text{A}$ 热丝电压 $3\sim 4\text{V}$ 摆动频率 35周/min 摆动幅值 $6\sim 8\text{mm}$

操作技术

焊接二层, 第二层摆动焊丝

性能检验结果

拉伸试验

检验报告编号 _____

试样编号	试样形式	σ_b/MPa	σ_s/MPa	断裂位置	
PS6-1	板状	543,529	/	焊缝外	

定向弯曲

检验报告编号 _____

试样编号	试样形式	弯轴直径/mm	弯曲角度/(°)	检验结果
PS6-2	面、背弯	$d=4a$	180	合格

冲击韧性试验

检验报告编号 _____

试样编号	缺口形式	缺口位置	试验温度/°C	A_K/J
/	/	/	/	/

硬度试验结果(HV₁₀)

检验报告编号 _____

焊 缝	热 影 响 区	母 材
251,212	198,188	181,178

金相检验结果

检验报告编号 _____

宏 观	微 观	其 它 检 验
合 格	焊 缝 <u>B+F</u> 热影响区 <u>W+F+P</u> 母 材 <u>F+P</u>	/

无损探伤检验结果 RT 合格 检验报告编号 _____

焊工 _____ 钢印号 _____ 焊工合格证号 _____

评定结论 合格

编 制		校 对		审 核		审 定	
日 期		日 期		日 期		日 期	/

焊接工艺设计书

编号 No HSS-7

工艺评定编号 HPS-7

评定项目 锅炉受热面管对接焊 15CrMo 钢 $\phi 51\text{mm} \times 7\text{mm}$ 全位置自动钨极脉冲氩弧焊接头

焊接方法 全位置自动 TIG 自动化等级 自动 焊接位置 全位置 技术标准 ASME

接头坡口形式

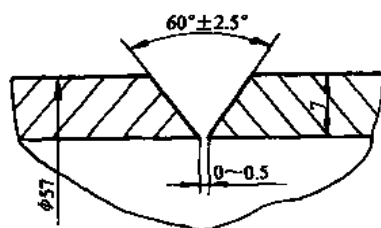


图 PS-7 左

焊接层次(顺序)

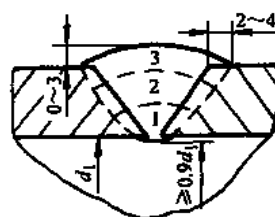


图 PS-7 右

焊接三层,第
二层开始摆动
焊丝

对焊接接头的基本要求

1. 力学性能

σ_s/MPa	σ_t/MPa	$\delta_5/\%$	弯曲角度/(°) ($d=4a$)	冲击试验			其它
				缺口形式	试验温度/°C	A_K/J	
≥ 441	/	/	180°	/	/	/	$HV_{10} \leq 350$

2. 其它 RT 检查 金相组织 宏观

母材	牌号 <u>15CrMo</u> 规格 <u>φ51×7mm</u> 类别 <u>IV-1</u>						
焊接材料	焊条牌号 <u> / </u>	焊条规格 <u> / </u>	型号 <u> / </u>	钨极型号规格 <u>钨钨极 φ2mm</u>	焊剂 <u> / </u>		
				保护气 <u>Ar</u>	流量 <u>7~9 L/min</u>		
	焊丝牌号 <u>MG-1CM</u>	焊丝规格 <u>φ0.8mm</u>	型号 <u> / </u>	其它气体 <u> / </u>	流量 <u> / L/min</u>		
预热 焊后 热处理	预热温度 <u> / </u> °C 层间温度 <u> / </u> °C 后热温度、时间 <u> / </u> °C/h 消氢温度、时间 <u> / </u> °C/h 中间热处理 <u> / </u> °C 时间 <u> / </u> h 焊后热处理 <u> / </u> °C 时间 <u> / </u> h						
焊接工艺参数要求	电流种类 <u>直流</u> 极性 <u>正接</u> 焊接电流 峰值电流 I_{a1} 160~125A I_{a2} 160~140A I_{a3} 145~125A 基 值电流 I_{s1} 100~75A I_{s2} 85A I_{s3} 65A U 10~12V 脉冲频率 0.8 周/s 通断比 50% 焊接速度 v_1 2.1~ 2.5m/h v_2 2.9~3.3m/h, v_3 2.1~2.5m/h 送丝速度 v_{s1} 15~25m/h v_{s2} 66~84m/h v_{s3} 48~60m/h						
操作技术要求	焊接三层						
编 制		校 对		审 核		批 准	
日 期		日 期		日 期		日 期	

焊接工艺评定书

编号 No HPS-7设计书编号 No HSS-7评定项目 锅炉受热面管对接 15CrMo 钢 $\phi 51\text{mm} \times 7\text{mm}$ 全位置自动钨极脉冲氩弧焊接头焊接方法 全位置自动 TIG 自动化等级 自动 焊接位置 全位置 技术标准 ASME

接头坡口形式

焊接层次(顺序)

见图 PS-7 左

见图 PS-7 右

母材	检验编号 _____						钨极型号 <u>钨钨极</u> 直径 <u>$\phi 2\text{mm}$</u>					
	牌号 <u>15CrMo</u>		规格 <u>$\phi 57 \times 7$ mm</u>		类别 <u>IV</u>							
化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni				
	0.16	0.26	0.54	0.016	0.003	0.85	0.46	0.15				
力学性能	σ_b/MPa		565, 581		σ_s/MPa		/		$\delta_s/\%$		/	
									A_K/J		/	
焊材	检验编号 _____						焊剂牌号 <u>/</u>					
	焊丝牌号 <u>MG-1CM</u>		焊丝规格 <u>$\phi 0.8\text{mm}$</u>		焊丝型号 <u>/</u>							
化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo					
	0.06	0.14	1.50	0.010	0.009	1.29	0.45					
焊条	焊条牌号 <u>/</u> 焊条规格 <u>/</u> 焊条型号 <u>/</u> 检验编号 _____											
熔敷金属化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S							
	/	/	/	/	/							

保护气体 Ar, 流量 9~7 L/min 其它气体 /, 流量 /

预热及焊后热处理

预热温度 / 层间温度 / 后热温度 / 时间 /消氢温度 / 时间 / 中间热处理温度 / 时间 /焊后热处理温度 / 时间 /

(续)

焊接工艺参数						
电流种类 <u>直流</u> 极性 <u>正接</u> 峰值电流 $I_{\text{峰}1}$ 160~125A $I_{\text{峰}2}$ 160~140A $I_{\text{峰}3}$ 145~125A 基值电流 $I_{\text{基}1}$ 100~75A $I_{\text{基}2}$ 85A $I_{\text{基}3}$ 65A U 10~12V 焊接速度 v_1 2.1~2.5m/h v_2 2.9~3.3m/h v_3 2.1~2.5m/h 送丝速度 v_{s1} 15~25m/h v_{s2} 66~84m/h v_{s3} 48~60m/h 脉冲频率 0.8周/s 通断比 50%						
操作技术						
焊接三层						
性能检验结果						
拉伸试验						检验报告编号 _____
试样编号	试样形式	σ_b /MPa	σ_t /MPa	断裂位置		
PS7-1	板状	598,581	/	焊缝外		
定向弯曲						检验报告编号 _____
试样编号	试样形式	弯轴直径/mm	弯曲角度/(°)	检验结果		
PS7-2	面弯 背弯	$d=4a$	180	合格		
冲击韧性试验						检验报告编号 _____
试样编号	缺口形式	缺口位置	试验温度/(°C)	A_K /J		
/	/	/	/	/		
硬度试验结果(HV ₁₀)						检验报告编号 _____
焊 缝		热 影 响 区		母 材		
292,327		285,328		233,226		
金相检验结果						检验报告编号 _____
宏 观		微 观		其 它 检 验		
合 格		焊 缝 <u>B</u> 热影响区 <u>B+F+P</u> 母 材 <u>F+P</u>		/		
无损探伤检验结果 <u>RT合格</u> 检验报告编号 _____						
焊工 _____ 钢印号 _____ 焊工合格证号 _____						
评定结论 <u>合格</u>						
编 制		校 对		审 核		审 定
日 期		日 期		日 期		日 期

焊接工艺设计书

编号 No HSS-8工艺评定编号 HPS-8评定项目 锅炉受热面管对接 15CrMo 钢 $\phi 60\text{mm} \times 8\text{mm}$ 自动热丝氩弧焊接头焊接方法 自动热丝 TIG 自动化等级 自动 焊接位置 平 技术标准 ASME

接头坡口形式

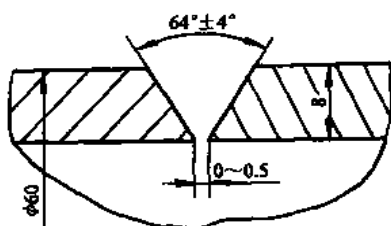


图 PS-8 左

焊接层次(顺序)

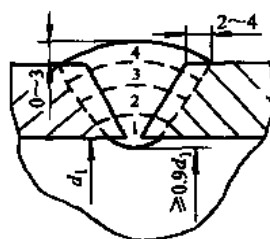


图 PS-8 右

焊接 3~4
层,从第二层开
始摆动焊

对焊接接头的基本要求

1. 力学性能

σ_b/MPa	σ_s/MPa	$\delta_5/\%$	弯曲角度/(°) ($d=4a$)	冲击试验			其 它
				缺口形式	试验温度/°C	A_K/J	
441-638	/	/	180°	/	/	/	/

2. 其它 RT 检查 金相宏观 组织

母材	牌号 <u>15CrMo</u> 规格 <u>$\phi 60 \times 8\text{mm}$</u> 类别 <u>N</u>						
焊接材料	焊条牌号 <u> / </u> 焊条规格 <u> / </u> 型号 <u> / </u>		钨极型号规格 <u>钨钨极 $\phi 4\text{mm}$</u>		焊剂 <u> / </u>		
	保护气 <u>Ar</u>		流量 <u>25~27 L/min</u>				
	焊丝牌号 <u>MGS-1CM</u> 焊丝规格 <u>$\phi 0.8\text{mm}$</u> 型号 <u> / </u>		其它气体 <u>热丝 Ar</u>		流量 <u>6~7 L/min</u>		
预热 焊后 热处理	预热温度 <u> / </u> 层间温度 <u> / </u> 后热温度,时间 <u> / </u> 消氢温度,时间 <u> / </u>						
	中间热处理 <u> / </u> 时间 <u> / </u> 焊后热处理 <u> / </u> 时间 <u> / </u>						
焊接 工艺 参数 要求	电流种类 <u>直流</u> 极性 <u>正接</u> 焊接电流 <u>I 168~180A U 10~12V</u> 焊接速度 v_1 <u>3.5~3.7m/h</u> v_2 <u>3.5~3.7m/h</u> 预热时间 <u>9~10s</u> 送丝速度 v_{s1} <u>100~110m/h</u> v_{s2} <u>175~185m/h</u>						
	热丝电流 <u>60~100A</u> 热丝电压 <u>3~4V</u> 摆动频率 <u>35周/min</u> 摆幅 <u>8~10mm</u>						
操作 技术 要求	焊接 3~4 层,第二层开始摆动焊						
编 制		校 对		审 核		批 准	
日 期		日 期		日 期		日 期	

焊接工艺评定书

编号 No HPS-8

设计书编号 No HSS-8

评定项目 锅炉受热面管对接 15CrMo 钢 $\phi 60\text{mm} \times 8\text{mm}$ 自动热丝氩弧焊接头

焊接方法 自动热丝 TIG 自动化等级 自动 焊接位置 平 技术标准 ASME

接头坡口形式

焊接层次(顺序)

见图 PS-8 左

见图 PS-8 右

母材	检验编号 _____						钨极型号 钨钨极, 直径 $\phi 4\text{mm}$					
	牌号 15CrMo	规格 $\phi 60 \times 8\text{mm}$	类别 N									
化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo					
	0.10	0.55	1.10	0.018	0.012	1.35	0.55					
力学性能	σ_s/MPa	585, 561	σ_b/MPa	/	$\delta_5/\%$	/	A_K/J	/				
焊材	检验编号 _____						焊剂牌号 /					
	焊丝牌号 MGS-1CM	焊丝规格 $\phi 0.8\text{mm}$	焊丝型号 /									
化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo					
	0.10	0.28	0.90	0.008	0.004	1.26	0.52					
焊条	焊条牌号 / 焊条规格 / 焊条型号 / 检验编号 / /											
熔敷金属化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S							
	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	

保护气体 Ar 流量 25~27 L/min 其它气体 热丝保护 Ar 流量 6~7 L/min

预热及焊后热处理

预热温度 / 层间温度 / 后热温度 / 时间 /

消氢温度 / 时间 / 中间热处理温度 / 时间 /

焊后热处理温度 / 时间 /

(续)

焊接工艺参数							
电流种类 <u>直流</u> 极性 <u>正接</u> <u>I</u> 165~180A <u>U</u> 10~12V 焊接速度 v_1 3.5~3.7m/h v_2 3.5~3.7m/h							
预热时间 9~10s 送丝速度 v_{s1} 100~110m/h v_{s2} 175~185m/h 热丝电压 3~4V 热丝电流 60~100A 摆动频率 35周/min 摆幅 8~10mm							
操作技术							
焊接 3~4 层, 第二层以上摆动焊							
性能检验结果							
拉伸试验						检验报告编号 _____	
试样编号	试样形式	σ_b /MPa	σ_s /MPa	断裂位置			
PS8-1	板状	534 533	/	焊缝外			
定向弯曲						检验报告编号 _____	
试样编号	试验形式	弯轴直径/mm	弯曲角度/(°)	检验结果			
PS8-2	面弯 背弯	$d=4a$	180	合格			
冲击韧性试验						检验报告编号 _____	
试样编号	缺口形式	缺口位置	试验温度/°C	A_K /J			
/	/	/	/	/			
硬度试验结果(HV ₁₀)						检验报告编号 _____	
焊 缝		热 影 响 区		母 材			
249,228		208,181		183,179			
金相检验结果						检验报告编号 _____	
宏 观		微 观		其 它 检 验			
合 格		焊 缝 <u>B+F</u> 热影响区 <u>W+B+F+P</u> 母 材 <u>F+P</u>		/			
无损探伤检验结果 <u>RT 合格</u> 检验报告编号 _____							
焊工 _____ 钢印号 _____ 焊工合格证号 _____							
评定结论 <u>合格</u>							
编 制		校 对		审 核		审 定	
日 期		日 期		日 期		日 期	

焊接工艺设计书

编号 No HSS-9

工艺评定编号 HPS-9

评定项目 锅炉受热面管对接 $\phi 57\text{mm} \times 8\text{mm}$ 熔化极气体保护焊接头

焊接方法 MIG 自动化等级 自动 焊接位置 平 技术标准 ASME

接头坡口形式

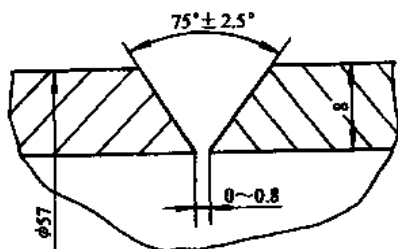


图 PS-9 左

焊接层次(顺序)

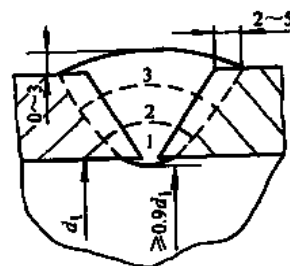


图 PS-9 右

对焊接接头的基本要求

1. 力学性能

σ_b/MPa	σ_s/MPa	$\delta_5/\%$	弯曲角度/(°) ($d=4a$)	冲击试验			其它
				缺口形式	试验温度/°C	A_K/J	
≥ 441	/	/	180°	/	/	/	$HV_{10} \leq 350$

2. 其它 RT 检查 金相组织 宏观

母材	牌号 <u>15CrMo</u> 规格 <u>φ57×8mm</u> 类别 <u>N</u>						
焊接材料	焊条牌号 <u> / </u>		焊条规格 <u> / </u>		型号 <u> / </u>	钨极型号规格 <u> / </u>	焊剂 <u> / </u>
	保护气 <u>Ar+CO₂</u>					流量 <u>10+0.5 L/min</u>	
	焊丝牌号 <u>MGS-1CM</u>		焊丝规格 <u>φ0.8mm</u>		型号 <u> / </u>	其它气体 <u> / </u>	流量 <u> / </u>
预热 焊后热处理	预热温度 <u> / </u> 层间温度 <u> / </u> 后热温度,时间 <u> / </u> 消氢温度,时间 <u> / </u> 中间热处理 <u> / </u> 时间 <u> / </u> 焊后热处理 <u> / </u> 时间 <u> / </u>						
焊接工艺参数要求	电流种类 <u>直流</u> 极性 <u>反接</u> 焊接电流 平均电流 I_p <u>90~100A</u> 维弧电流 I_m <u>20~25A</u> 脉冲电流 I_{pk} <u>280~290A</u> U <u>21~22V</u> 焊接速度: 首层 v_1 <u>5.4~6m/h</u> v_2 <u>6~6.6m/h</u> v_3 <u>6~6.6m/h</u> 脉冲频率 <u>100Hz</u> 摆动频率 <u>50周/min</u> 送丝速度 <u>5~6m/h</u> 摆幅 <u>6~10mm</u>						
操作技术要求	焊接三层,第二层开始摆动焊						
编 制		校 对		审 核		批 准	
日 期		日 期		日 期		日 期	

焊接工艺评定书

编号 No HPS-9设计书编号 No HSS-9评定项目 锅炉受热面管对接 15CrMo 钢 $\phi 57\text{mm} \times 8\text{mm}$ 熔化极气体保护焊接头焊接方法 MIG 自动化等级 自动 焊接位置 平 技术标准 ASME

接头坡口形式

焊接层次(顺序)

见图 PS-9 左

见图 PS-9 右

母材	检验编号 <u> </u> 牌号 <u>15CrMo</u> 规格 <u>$\phi 57 \times 8$ mm</u> 类别 <u>N</u> 钨极型号 <u>/</u> , 直径 <u>/</u>									
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo			
化学成分(%)	0.16	0.25	0.66	0.018	0.009	1.35	0.55			
力学性能	σ_b/MPa		545, 566		σ_s/MPa		/		$\delta_5/\%$	
									A_K/J	
焊丝	检验编号 <u> </u> 焊丝牌号 <u>MGS-1CM</u> 焊丝规格 <u>$\phi 0.8\text{mm}$</u> 焊丝型号 <u>/</u> 焊剂牌号 <u>/</u>									
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo			
化学成分(%)	0.10	0.55	1.10	0.012	0.009	1.25	0.52			
焊条	焊条牌号 <u>/</u> 焊条规格 <u>/</u> 焊条型号 <u>/</u> 检验编号 <u> </u>									
	C	Si	Mn	P	S					
化学成分(%)	—	—	—	—	—					

保护气体 Ar+CO₂, 流量 10+0.5 L/min 其它气体 /, 流量 / L/min

预热及焊后热处理

预热温度 / 层间温度 / 后热温度 / 时间 /消氢温度 / 时间 / 中间热处理温度 / 时间 /焊后热处理温度 / °C 时间 /

(续)

焊接工艺参数					
电流种类 <u>直流</u> 极性 <u>反接</u> 平均电流 I_p 90~100A U 21~22V 电弧电流 I_m 20~25A 脉冲电流 I_k 280~290A 焊接速度: 首层 v_1 5.4~6m/h v_2 6~6.6m/h v_3 6~6.6m/h 脉冲频率 100Hz 摆动频率 50 周/min 送丝速度 5~6m/h 摆幅 6~10mm					
操作技术					
焊接三层, 第二层开始摆动焊					
性能检验结果					
拉伸试验					检验报告编号 _____
试样编号	试样形式	σ_b /MPa	σ_t /MPa	断裂位置	
PS9-1	板状	561.5, 555.7	/	焊缝外	
定向弯曲					检验报告编号 _____
试样编号	试样形式	弯轴直径/mm	弯曲角度/(°)	检验结果	
PS9-2	面弯 背弯	$d=4a$	180	合格	
冲击韧性试验					检验报告编号 _____
试样编号	缺口形式	缺口位置	试验温度/°C	A_K /J	
/	/	/	/	/	
硬度试验结果(HV ₁₀)					检验报告编号 _____
焊 缝		热 影 响 区		母 材	
285, 285		274, 254		199, 181	
金相检验结果					检验报告编号 _____
宏 观		微 观		其 它 检 验	
合 格		焊 缝 <u>B+少量 F</u> 热影响区 <u>B</u> 母 材 <u>F+P</u>		/	
无损探伤检验结果 <u>RT 合格</u> 检验报告编号 _____					
焊工 _____ 钢印号 _____ 焊工合格证号 _____					
评定结论 <u>合格</u>					

编 制		校 对		审 核		审 定	
日 期		日 期		日 期		日 期	

焊接工艺设计书

编号 No HSS-10

工艺评定编号 HPS-10

评定项目 锅炉受热面管对接 12Cr1MoV 钢 $\phi 42\text{mm} \times 5.5\text{mm}$ 手工钨极氩弧焊接头

焊接方法 手工 TIG 自动化等级 手工 焊接位置 全位置 技术标准 锅规

接头坡口形式

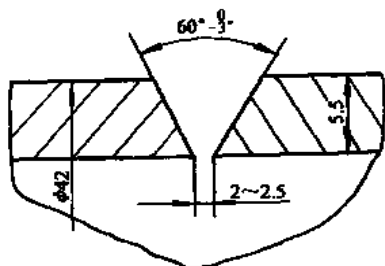


图 PS-10 左

焊接层次(顺序)

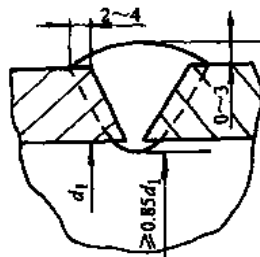


图 PS-10 右

焊接三层,从
第二层开始摆
动焊

对焊接接头的基本要求

1. 力学性能

σ_b/MPa	σ_s/MPa	$\delta_5/\%$	弯曲角度/(°) ($d=3a$)	冲击试验			其它
				缺口形式	试验温度/°C	A_K/J	
471~638	/	/	50	/	/	/	$HV_{10} \leq 350$

2. 其它 RT 检查 金相宏观 组织

母材	牌号 <u>12Cr1MoV</u> 规格 <u>φ42×5.5mm</u> 类别 <u>N-2</u>						
焊接材料	焊条牌号 <u> / </u>	焊条规格 <u> / </u>	型号 <u> / </u>	钨极型号规格 <u>钍钨极 φ2.5mm</u>	焊剂 <u> / </u>		
				保护气 <u>Ar</u>	流量 <u>8~10 L/min</u>		
	焊丝牌号 <u>H08CrMoVA</u>	焊丝规格 <u>φ2.5mm</u>	型号 <u> / </u>	其它气体 <u> / </u>	流量 <u> / </u>		
预热焊后热处理	预热温度 <u> / </u> 层间温度 <u>≤300 C</u> 后热温度,时间 <u> / </u> 消氢温度,时间 <u> / </u> 中间热处理 <u> / </u> 时间 <u> / </u> 焊后热处理 <u> / </u> 时间 <u> / </u>						
焊接工艺参数要求	电流种类 <u>直流</u> 极性 <u>正接</u> 焊接电流 <u>I 90~120A</u> 电弧电压 <u>U 12~14V</u>						
操作技术要求							
编 制		校 对		审 核		批 准	
日 期		日 期		日 期		日 期	

焊接工艺评定书

编号 No HPS-10设计书编号 No HSS-10评定项目 锅炉受热面管对接 12Cr1MoV 钢 $\phi 42\text{mm} \times 5.5\text{mm}$ 手工钨极氩弧焊接头焊接方法 手工 TIG 自动化等级 手工 焊接位置 全位置 技术标准 锅规

接头坡口形式

焊接层次(顺序)

见图 PS-10 左

见图 PS-10 右

母材	检验编号 _____									
	牌号 <u>12Cr1MoV</u>	规格 <u>$\phi 42 \times 5.5\text{mm}$</u>	类别 <u>N-2</u>	钨极型号 <u>钍钨极</u> , 直径 <u>$\phi 2.5\text{mm}$</u>						
化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	V		
	0.11	0.27	0.48	0.011	0.018	1.10	0.48	0.27		
力学性能	σ_b/MPa	572,568	σ_s/MPa	/	$\delta_5/\%$	/	A_K/J	/		
焊丝	检验编号 _____									
	焊丝牌号 <u>H08CrMoVA</u>	焊丝规格 <u>$\phi 2.5\text{mm}$</u>	焊丝型号 <u>/</u>	焊剂牌号 <u>/</u>						
化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	V		
	0.08	0.21	0.45	0.011	0.013	1.26	0.66	0.31		
焊条	焊条牌号 <u>/</u> 焊条规格 <u>/</u> 焊条型号 <u>/</u> 检验编号 <u>/</u> <u>/</u>									
熔敷金属化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S					
	/	/	/	/	/					

保护气体 Ar, 流量 8~10 L/min 其它气体 /, 流量 /

预热及焊后热处理

预热温度 / 层间温度 / 后热温度 / 时间 /消氢温度 / 时间 / 中间热处理温度 / 时间 /焊后热处理温度 / 时间 /

(续)

焊接工艺参数

电流种类 直流 极性 正接 焊接电流 I 90~120A 电弧电压 U 12~14V

操作技术

性能检验结果

拉伸试验

检验报告编号 _____

试样编号	试样形式	σ_b /MPa	σ_s /MPa	断裂位置	
PS10-1	板状	568.2 548.8	/	焊缝外	

定向弯曲

检验报告编号 _____

试样编号	试验形式	弯轴直径/mm	弯曲角度/(°)	检验结果
PS10-2	面弯 背弯	$d=3a$	50	合格

冲击韧性试验

检验报告编号 _____

试样编号	缺口形式	缺口位置	试验温度/°C	A_K /J

硬度试验结果(HV₁₀)

检验报告编号 _____

焊 缝	热 影 响 区	母 材
260, 287	287, 291	221, 245

金相检验结果

检验报告编号 _____

宏 观	微 观	其 它 检 验
合 格	焊 缝 <u>B+F</u> 热影响区 <u>B+F</u> 母 材 <u>F+P</u>	

无损探伤检验结果 RT 合格 检验报告编号 _____

焊工 _____ 钢印号 _____ 焊工合格证号 _____

评定结论 合格

编 制		校 对		审 核		审 定	
日 期		日 期		日 期		日 期	

焊接工艺设计书

编号 No HSS-11

工艺评定编号 HPS-11

评定项目 锅炉受热面管对接 12Cr1MoV 钢 $\phi 42\text{mm} \times 5\text{mm}$ 摩擦焊接头

焊接方法 FW 自动化等级 自动 焊接位置 平 技术标准 锅规

接头坡口形式

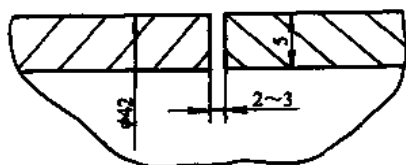


图 PS-11 左

焊接层次(顺序)

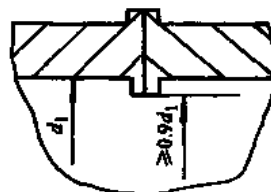


图 PS-11 右

对焊接接头的基本要求

1. 力学性能

σ_b/MPa	σ_s/MPa	$\delta_5/\%$	弯曲角度/(°) ($d=3a$)	冲击试验			其它
				缺口形式	试验温度/°C	A_K/J	
471~638	/	/	90	/	/	/	$HV_{10} \leq 350$

2. 其它 UT 检查 金相组织 宏观检查

母材	牌号 <u>12Cr1MoV</u> 规格 <u>$\phi 42 \times 5\text{mm}$</u> 类别 <u>N-2</u>					
焊接材料	焊条牌号 <u>/</u>	焊条规格 <u>/</u>	型号 <u>/</u>	焊极型号规格 <u>/</u>	焊剂 <u>/</u>	
				保护气 <u>/</u>	流量 <u>/</u>	
焊丝	焊丝牌号 <u>/</u>	焊丝规格 <u>/</u>	型号 <u>/</u>	其它气体 <u>/</u>	流量 <u>/</u>	
预热焊后热处理	预热温度 <u>/</u> 层间温度 <u>/</u> 后热温度, 时间 <u>/</u> 消氢温度, 时间 <u>/</u> 中间热处理 <u>/</u> 时间 <u>/</u> 焊后热处理 <u>/</u> 时间 <u>/</u>					
焊接工艺参数要求	电流种类 <u>/</u> 极性 <u>/</u> 电动机转速 <u>1465r/min</u> 摩擦总压力 <u>5MPa</u> 顶锻压力 <u>30MPa</u> 摩擦时间 <u>0.5~0.6s</u>					
操作技术要求						
编制		校对		审核		批准
日期		日期		日期		日期

焊接工艺评定书

编号 No HPS-11设计书编号 No HSS-11

评定项目 <u>锅炉受热面管对接 12Cr1MoV 钢 $\phi 42\text{mm} \times 5\text{mm}$ 摩擦焊接头</u>											
焊接方法 <u>FW</u> 自动化等级 <u>自动</u> 焊接位置 <u>平</u> 技术标准 <u>钢规</u>											
接头坡口形式						焊接层次(顺序)					
见图 PS-11 左						见图 PS-11 右					
母材	检验编号 _____ 牌号 <u>12Cr1MoV</u> 规格 <u>$\phi 42 \times 5\text{mm}$</u> 类别 <u>N-2</u> 钨极型号 <u>/</u> , 直径 <u>/</u>										
化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	V			
	0.10	0.28	0.54	0.018	0.020	1.12	0.29	0.21			
力学性能	σ_s/MPa	525, 531	σ_s/MPa	/	$\delta_s/\%$	/	A_K/J	/			
焊丝	检验编号 <u>/</u> 焊丝牌号 <u>/</u> 焊丝规格 <u>/</u> 焊丝型号 <u>/</u> 焊剂牌号 <u>/</u>										
化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S						
	/	/	/	/	/						
焊条	焊条牌号 <u>/</u> 焊条规格 <u>/</u> 焊条型号 <u>/</u> 检验编号 _____										
化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S						
	/	/	/	/	/						
保护气体 <u>/</u> , 流量 <u>/</u> 其它气体 <u>/</u> , 流量 <u>/</u>											
预热及焊后热处理 预热温度 <u>/</u> 层间温度 <u>/</u> 后热温度 <u>/</u> 时间 <u>/</u> 消氢温度 <u>/</u> 时间 <u>/</u> h 中间热处理温度 <u>/</u> 时间 <u>/</u> 焊后热处理温度 <u>/</u> 时间 <u>/</u>											

(续)

焊接工艺参数

电流种类 / 极性 / 主轴转速 1465r/min 摩擦总压力 5MPa 顶锻压力 30MPa 摩擦时间 0.5~0.6s

操作技术

性能检验结果

拉伸试验

检验报告编号 _____

试样编号	试样形式	σ_b /MPa	σ_s /MPa	断裂位置	
PS10-1	板状	519.4 529.2	/	焊缝外	

定向弯曲

检验报告编号 _____

试样编号	试样形式	弯轴直径/mm	弯曲角度/(°)	检验结果
PS10-2	面弯 背弯	$d=3a$	90	合格

冲击韧性试验

检验报告编号 _____

试样编号	缺口形式	缺口位置	试验温度/°C	A_k /J
/	/	/	/	/

硬度试验结果(HV₁₀)

检验报告编号 _____

焊 缝	热 影 响 区	母 材
309,285	317,325	223,215

金相检验结果

检验报告编号 _____

宏 观	微 观	其 它 检 验
合 格	焊 缝 <u>B</u> 热影响区 <u>B</u> 母 材 <u>F+P</u>	/

无损探伤检验结果 UT 合格 检验报告编号 _____

焊工 _____ 钢印号 _____ 焊工合格证号 _____

评定结论 合格

编 制		校 对		审 核		审 定	
日 期		日 期		日 期		日 期	

焊接工艺设计书

编号 No HSS-12

工艺评定编号 HPS-12

评定项目 锅炉受热面管对接 12Cr1MoV 钢 $\phi 60\text{mm} \times 7.5\text{mm}$ 自动钨极氩弧焊接头

焊接方法 自动 TIG 自动化等级 机械化 焊接位置 平 技术标准 ASME

接头坡口形式

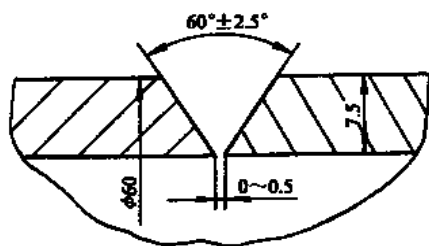


图 PS-12 左

焊接层次(顺序)

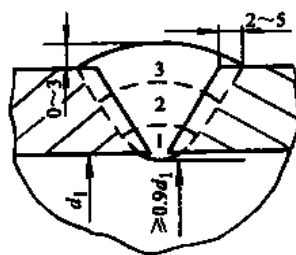


图 PS-12 右

对焊接接头的基本要求

1. 力学性能

σ_b/MPa	σ_s/MPa	$\delta_5/\%$	弯曲角度/(°) ($d=4a$)	冲击试验			其它
				缺口形式	试验温度/°C	A_K/J	
471~638	/	/	180	/	/	/	$HV_{10} \leq 350$

2. 其它 RT 检查 金相宏观 组织检查

母材	牌号 12Cr1MoV 规格 $\phi 60 \times 7.5\text{mm}$ 类别 IV-1						
焊接材料	焊条牌号 / 焊条规格 / 型号 / 钨极型号规格 钨极 $\phi 4\text{mm}$ 焊剂 / 保护气 Ar 流量 8~10 L/min 焊丝牌号 H08CrMoV 焊丝规格 $\phi 1.2\text{mm}$ 型号 / 其它气体 / 流量 /						
预热焊后热处理	预热温度 / 层间温度 / 后热温度, 时间 / 消氢温度, 时间 / 中间热处理 / 时间 / 焊后热处理 720~750°C 时间 40 min						
焊接工艺参数要求	电流种类 直流 极性 正接 焊接电流基值电流 I_b 50A 峰值电流 I_p 130A 脉冲频率 0.8~1 周/s 通断比 1:1 焊接速度 2.8m/h 送丝速度 54m/h 摆动频率 35 周/min 摆幅 6~8mm						
操作技术要求	首层不摆动, 第二、三层摆动焊						
编制		校对		审核		批准	
日期	/	日期	/	日期	/	日期	/

焊接工艺评定书

编号 No HPS-12设计书编号 No HSS-12评定项目 锅炉受热面管对接 12Cr1MoV 钢 $\phi 60\text{mm} \times 7.5\text{mm}$ 自动钨极氩弧焊接头焊接方法 自动 TIG 自动化等级 机械化 焊接位置 平 技术标准 ASME

接头坡口形式

焊接层次(顺序)

见图 PS-12 左

见图 PS-12 右

母材	检验编号 _____ 牌号 <u>12Cr1MoV</u> 规格 <u>$\phi 60 \times 7.5\text{mm}$</u> 类别 <u>N-2</u> 钨极型号 <u>钍钨极</u> 直径 <u>$\phi 4\text{mm}$</u>									
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	V		
化学成分(%)	0.10	0.23	0.58	0.020	0.018	1.05	0.44	0.32		
力学性能	σ_b/MPa	518.521	σ_s/MPa	/	$\delta_5/\%$	/	A_K/J	/		
焊材	检验编号 _____ 焊丝牌号 <u>H08CrMoVA</u> 焊丝规格 <u>$\phi 1.2\text{mm}$</u> 焊丝型号 <u>/</u> 焊剂牌号 <u>/</u>									
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	V		
化学成分(%)	0.07	0.27	0.48	0.009	0.013	1.26	0.70	0.31		
焊条	焊条牌号 <u>/</u> 焊条规格 <u>/</u> 焊条型号 <u>/</u> 检验编号 _____									
熔敷金属化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S					
	/	/	/	/	/					

保护气体 Ar 流量 8~10 L/min 其它气体 / 流量 / L/min

预热及焊后热处理

预热温度 / 层间温度 / 后热温度 / 时间 /消氢温度 / 时间 / 中间热处理温度 / 时间 /焊后热处理温度 720~750 °C 时间 40 min

(续)

焊接工艺参数

电流种类 直流 极性 正接 基值电流 $I_B=50A$ $U 12\sim14V$ 峰值电流, $I_{\text{峰}}=130A$ 脉冲频率 $0.8\sim1$ 周/s 通断比 $1:1$ 摆动频率 35 周/min 摆幅 $6\sim8mm$

操作技术

第 $2\sim3$ 层摆动焊

性能检验结果

拉伸试验

检验报告编号 _____

试样编号	试样形式	σ_b/MPa	σ_s/MPa	断裂位置	
PS12-1	板状	507.6 518.4	/	焊缝外	

定向弯曲

检验报告编号 _____

试样编号	试验形式	弯轴直径/mm	弯曲角度/(°)	检验结果
PS12-2	面弯 背弯	$d=4a$	180	合格

冲击韧性试验

检验报告编号 _____

试样编号	缺口形式	缺口位置	试验温度/°C	A_K/J
/	/	/	/	/

硬度试验结果(HV₁₀)

检验报告编号 _____

焊 缝	热 影 响 区	母 材
210,230	206,213	150,162

金相检验结果

检验报告编号 _____

宏 观	微 观	其 它 检 验
合 格	焊 缝 <u>B+F+P</u> 热影响区 <u>B+F+P</u> 母 材 <u>F+P</u>	/

无损探伤检验结果 RT 合格 检验报告编号 _____

焊工 _____ 钢印号 _____ 焊工合格证号 _____

评定结论 合格

编 制		校 对		审 核		审 定	
日 期		日 期		日 期		日 期	

焊接工艺设计书

编号 No HSS-13

工艺评定编号 HPS-13

评定项目 锅炉受热面管对接 12Cr1MoV 钢 $\phi 57\text{mm} \times 9\text{mm}$ 熔化极脉冲电弧气体保护焊接头

焊接方法 脉冲 MIG 自动化等级 自动 焊接位置 平 技术标准 ASME

接头坡口形式

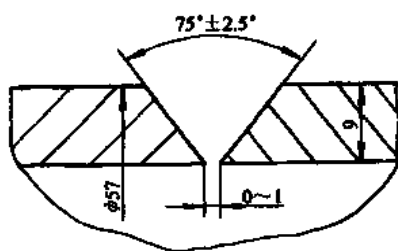


图 PS-13 左

焊接层次(顺序)

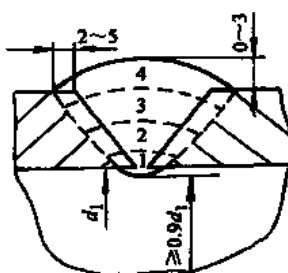
焊接四层, 第二层开始摆动
焊

图 PS-13 右

对接接头的基本要求

1. 力学性能

σ_b/MPa	σ_s/MPa	$\delta_5/\%$	弯曲角度/(°) ($d=4a$)	冲击试验			其 它
				缺口形式	试验温度/°C	A_K/J	
471~638	/	/	180	/	/	/	$HV_{10} \leq 350$

2. 其它 RT 检查 金相组织 宏观检查

母材	牌 号 <u>12Cr1MoV</u> 规格 <u>φ57×9mm</u> 类别 <u>N-2</u>						
焊接材料	焊条牌号 <u> / </u>	焊条规格 <u> / </u>	型号 <u> / </u>	钨极型号规格 <u> / </u>	焊剂 <u> / </u>		
	保护气 <u>Ar+CO₂</u>				流量 <u>10+0.5</u> L/min		
	焊丝牌号 <u>H08CrMnSiMoV</u>	焊丝规格 <u>φ0.8mm</u>	型号 <u> / </u>	其它气体 <u> / </u>	流量 <u> / </u> L/min		
预热焊后热处理	预热温度 <u> / </u> 层间温度 <u>≤300 C</u> 后热温度,时间 <u> / </u> 消氢温度,时间 <u> / </u>						
	中间热处理 <u> / </u> 时间 <u> / </u> 焊后热处理 <u>720~750 C</u> 时间 <u>40</u> min						
焊接工艺参数要求	电流种类 <u>直流</u> 极性 <u>反接</u> 焊接电流 平均电流 I_T <u>90~100A</u> 维弧电流 I_m <u>20~25A</u> 脉冲电流 I_{pk} <u>290A</u> U <u>21~22V</u>						
	焊接速度第一层 v_1 <u>5.4~6m/h</u> 第二层 v_2 <u>5.4~6.6m/h</u> 第三、四层 $v_{3,4}$ <u>5.4~6m/h</u>						
	脉冲频率 <u>100Hz</u> .						
	<u>摆动频率 50 周/min 摆幅 6~8mm</u>						
操作技术要求	第一层不摆动,其余各层摆动焊						
编 制		校 对		审 核		批 准	
日 期		日 期		日 期		日 期	

焊接工艺评定书

编号 No HPS-13设计书编号 No HSS-13评定项目 锅炉受热面管对接 12Cr1MoV 钢 $\phi 57\text{mm} \times 9\text{mm}$ 熔化极脉冲电弧气体保护焊接头焊接方法 脉冲 MIG 自动化等级 机械化 焊接位置 平 技术标准 ASME

接头坡口形式

焊接层次(顺序)

见图 PS-13 左

见图 PS-13 右

母材	检验编号 _____ 牌号 <u>12Cr1MoV</u> 规格 <u>$\phi 57 \times 9\text{mm}$</u> 类别 <u>N-2</u> 钨极型号 <u>/</u> 直径 <u>/</u>									
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	V		
化学成分(%)	0.11	0.24	0.55	0.012	0.018	1.05	0.37	0.20		
性能	σ_b/MPa	525.518		σ_s/MPa	/	$\delta_5/\%$	/	A_k/J	/	
	检验编号 _____ 焊丝牌号 <u>H08CrMnSiMoV</u> 焊丝规格 <u>$\phi 0.8\text{mm}$</u> 焊丝型号 <u>/</u> 焊剂牌号 <u>/</u>									
熔敷金属化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	V		
	0.09	0.78	1.26	0.011	0.013	1.10	0.84	0.32		
焊条	焊条牌号 <u>/</u> 焊条规格 <u>/</u> 焊条型号 <u>/</u> 检验编号 <u>/</u>									
化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S					
	/	/	/	/	/					

保护气体 Ar+CO₂ 流量 10+0.5 L/min 其它气体 / 流量 /

预热及焊后热处理

预热温度 / 层间温度 ≤ 300 °C 后热温度 / 时间 /消氢温度 / 时间 / 中间热处理温度 / 时间 /焊后热处理温度 720~750 °C 时间 40 min

(续)

焊接工艺参数

电流种类 直流 极性 反接 平均电流 I_p 90~100A U 21~22V 电弧电流: I_a 20~25A 脉冲电流 I_R 290A 脉冲频率 100Hz 焊接速度第一层 v_1 5.4~6m/h 第二层 v_2 5.4~6.6m/h 第三、四层 v_3 5.4~6m/s 摆动频率 50周/min 摆幅 6~8mm

操作技术

第二层以后摆动焊

性能检验结果

拉伸试验

检验报告编号 _____

试样编号	试样形式	σ_b /MPa	σ_s /MPa	断裂位置	
PS13-1	板状	507.6, 527.2	/	焊缝外	

定向弯曲

检验报告编号 _____

试样编号	试样形式	弯轴直径/mm	弯曲角度/(°)	检验结果
PS13-2	面弯 背弯	$d=4a$	180	合格

冲击韧性试验

检验报告编号 _____

试样编号	缺口形式	缺口位置	试验温度/°C	A_K /J
/	/	/	/	/

硬度试验结果(HV₁₀)

检验报告编号 _____

焊 缝	热 影 响 区	母 材
274, 274	228, 236	193, 207

金相检验结果

检验报告编号 _____

宏 观	微 观	其 它 检 验
合 格	焊 缝 <u>B+少量F</u> 热影响区 <u>B+F</u> 母 材 <u>F+P</u>	/

无损探伤检验结果 RT 合格 检验报告编号 _____

焊工 _____ 钢印号 _____ 焊工合格证号 _____

评定结论 合格

编 制		校 对		审 核		审 定	
日 期		日 期		日 期		日 期	

焊接工艺设计书

编号 No HSS-14

工艺评定编号 HPS-14

评定项目 锅炉受热面管对接 钢 102 $\phi 42\text{mm} \times 5\text{mm}$ 手工钨极氩弧焊接头

焊接方法 手工 TIG 自动化等级 手工 焊接位置 全位置 技术标准 锅规

接头坡口形式

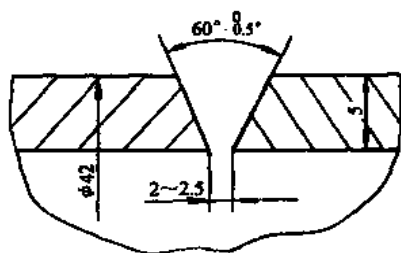


图 PS-14 左

焊接层次(顺序)

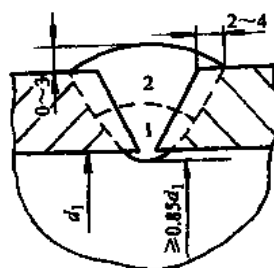


图 PS-14 右

焊接两层

对焊接接头的基本要求

1. 力学性能

σ_b/MPa	σ_s/MPa	$\delta_5/\%$	弯曲角度/(°) ($d=3a$)	冲击试验			其 它
				缺口形式	试验温度/°C	A_K/J	
540~736	/	/	50	/	/	/	$HV_{10} \leq 350$

2. 其它 RT 检查 金相组织 宏观检查

母材	牌号 钢 102 规格 $\phi 42 \times 5\text{mm}$ 类别 V						
焊接材料	焊条牌号 / 焊条规格 / 型号 / 钨极型号规格 钨极 $\phi 2.5\text{mm}$ 焊剂 / 保护气 Ar 流量 8~10 L/min 焊丝牌号 H08Cr2MoWVCoNb 焊丝规格 $\phi 2.5\text{mm}$ 型号 / 其它气体 / 流量 / L/min						
预热 焊后 热处理	预热温度 / 层间温度 $\leq 300^\circ\text{C}$ 后热温度, 时间 / 消氢温度, 时间 / 中间热处理 / 时间 / 焊后热处理 760~780°C 时间 1.5 h						
焊接工艺参数要求	电流种类 直流 极性 正接 焊接电流 90~120A 焊接电压 12~14V						
操作技术要求							
编制		校 对		审 核		批 准	
日 期		日 期		日 期		日 期	

焊接工艺评定书

编号 No HPS-14

设计书编号 No HSS-14

评定项目 锅炉受热面管对接 钢 102 $\phi 42\text{mm} \times 5\text{mm}$ 手工钨极氩弧焊接头

焊接方法 手工 TIG 自动化等级 手工 焊接位置 全位置 技术标准 钢规

接头坡口形式

焊接层次(顺序)

见图 PS-14 左

见图 PS-14 右

母材	检验编号_____						钨极型号 钍钨极 ,直径 $\phi 2.5\text{mm}$				
	牌号 钢 102	规格 $\phi 42\times 5\text{mm}$	类别 V								
化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	V	W	Ti	B
	0.12	0.61	0.59	0.021	0.017	2.01	0.58	0.37	0.44	0.12	0.004
力学性能	σ_b/MPa	630.621	σ_s/MPa	/	$\delta_5/\%$	/	A_K/J	/			
焊材	检验编号_____										
	焊丝牌号 H08Cr2MoWVCoNb	焊丝规格 $\phi 2.5\text{mm}$	焊丝型号 /	焊剂牌号 /							
化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	V	W	Co	Nb
	0.04	0.40	0.70	0.009	0.011	2.45	0.46	0.33	0.60	1.35	0.34
焊条	焊条牌号 /	焊条规格 /	焊条型号 /	检验编号 /	/	/					
化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S						
	—	—	—	—	—						

保护气体 Ar, 流量 8~10 L/min 其它气体 /, 流量 / L/min

预热及焊后热处理

预热温度 / 层间温度 $\leq 300^\circ\text{C}$ 后热温度 / 时间 /

消氢温度 / 时间 / 中间热处理温度 / 时间 /

焊后热处理温度 $760 \sim 780^\circ\text{C}$ 时间 1.5 h

(续)

焊接工艺参数

电流种类 直流 极性 正接 I 90~120A U 12~14V

操作技术

性能检验结果

拉伸试验

检验报告编号 _____

试样编号	试样形式	σ_b /MPa	σ_s /MPa	断裂位置	
PS14-1	板状	626.2 627.2	/	焊缝外	

定向弯曲

检验报告编号 _____

试样编号	试验形式	弯轴直径/mm	弯曲角度/(°)	检验结果
PS14-2	面弯 背弯	$d=3a$	50	合格

冲击韧性试验

检验报告编号 _____

试样编号	缺口形式	缺口位置	试验温度/°C	A_K /J
/	/	/	/	/

硬度试验结果(HV₁₀)

检验报告编号 _____

焊 缝	热 影 响 区	母 材
236,242	274,274	236,228

金相检验结果

检验报告编号 _____

宏 观	微 观	其 它 检 验
合 格	焊 缝 <u>B</u> 热影响区 <u>B</u> 母 材 <u>B</u>	/

无损探伤检验结果 RT合格 检验报告编号 _____

焊工 _____ 钢印号 _____ 焊工合格证号 _____

评定结论 合格

编 制		校 对		审 核		审 定	
日 期		日 期		日 期		日 期	

焊接工艺设计书

编号 No HSS-15

工艺评定编号 HPS-15

评定项目 铜炉受热面管对接 铜 102 $\phi 42\text{mm} \times 5\text{mm}$ 等离子弧焊接头

焊接方法 PAW 自动化等级 机械化 焊接位置 平 技术标准 铜规

接头坡口形式

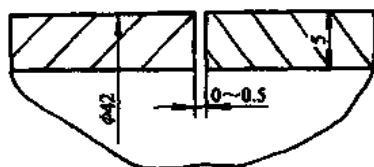


图 PS-15 左

焊接层次(顺序)

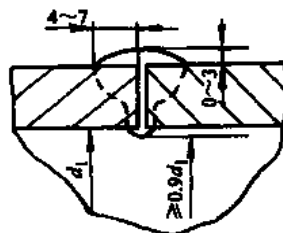


图 PS-15 右

焊缝一次成形

对焊接接头的基本要求

1. 力学性能

σ_b/MPa	σ_s/MPa	$\delta_5/\%$	弯曲角度/(°) ($d=3a$)	冲击试验			其它
				缺口形式	试验温度/°C	A_K/J	
540~736	/	/	50	/	/	/	$HV_{10} \leq 350$

2. 其它 RT 检查 金相宏观 组织检查

母材	牌号 <u>铜 102</u> 规格 <u>φ42×5</u> mm 类别 <u>V</u>						
焊接材料	焊条牌号 <u>/</u>		焊条规格 <u>/</u>	型号 <u>/</u>	钨极型号规格 <u>钨极 φ4mm</u>	焊剂 <u>/</u>	
					保护气 <u>Ar</u>	流量 <u>6~8 L/min</u>	
	焊丝牌号 <u>H08Cr2MoWVCoNb</u>		焊丝规格 <u>φ1.2mm</u>	型号 <u>/</u>	其它气体 <u>离子气 Ar</u>	流量 <u>3.4~4 L/min</u>	
预热焊后热处理	预热温度 <u>/</u> 层间温度 <u>/</u> 后热温度,时间 <u>/</u> 消氢温度,时间 <u>/</u>						
	中间热处理 <u>/</u> 时间 <u>/</u> 焊后热处理 <u>760~780℃</u> 时间 <u>1.5h</u>						
焊接工艺参数要求	电流种类 <u>直流</u> 极性 <u>正接</u> 焊接电流 <u>I 110~120A</u> 焊接速度 <u>10.8m/h</u> 送丝速度 <u>4.9m/h</u> 喷嘴孔道 <u>直径 φ2.5mm</u> 孔道长 <u>2.8mm</u> 钨极内缩 <u>2.1mm</u>						
操作技术要求							
编制		校 对		审 核		批 准	
日期		日期		日期		日期	

焊接工艺评定书

编号 No HPS-15设计书编号 No HSS-15评定项目 锅炉受热面管对接 钢 102 $\phi 42\text{mm} \times 5\text{mm}$ 等离子弧焊接头焊接方法 PAW 自动化等级 机械化 焊接位置 平 技术标准 钢规

接头坡口形式

见图 PS-15 左

焊接层次(顺序)

见图 PS-15 右

母材	检验编号_____						钨极型号 钍钨极 直径 $\phi 4\text{mm}$					
牌号 钢 102 规格 $\phi 42\times 5\text{mm}$ 类别 V												
化学成分 (%)	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	V	W	Ti	B	
	0.11	0.48	0.56	0.019	0.014	1.95	0.55	0.24	0.42	0.14	0.008	
力学性能	σ_s/MPa	642,638	σ_b/MPa	/	$\delta_5/\%$	/	A_K/J	/				
焊材	检验编号_____											
焊丝牌号 H08Cr2MoWVCoNb 焊丝规格 $\phi 1.2\text{mm}$ 焊丝型号 / 焊剂牌号 /												
化学成分 (%)	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	V	W	Co	Nb	
	0.04	0.38	0.62	0.009	0.011	2.15	0.51	0.28	0.58	1.14	0.30	
焊条	焊条牌号 / 焊条规格 / 焊条型号 / 检验编号_____											
化学成分 (%)	C	Si	Mn	P	S							
	/	/	/	/	/							

保护气体 Ar , 流量 6~8 L/min 其它气体 离子气 Ar , 流量 3.4~4 L/min

预热及焊后热处理

预热温度 / 层间温度 / 后热温度 / 时间 /消氢温度 / 时间 / 中间热处理温度 / 时间 /焊后热处理温度 760~780 °C 时间 1.5 h

(续)

焊接工艺参数

电流种类 直流 极性 正接 I 110~120A 焊接速度 10.8m/h 送丝速度 4.9m/h 喷嘴孔道直径 φ2.5mm 孔道长 2.8mm 钨极内缩 2.1mm

操作技术

性能检验结果

拉伸试验

检验报告编号 _____

试样编号	试样形式	抗拉强度 σ_b /MPa	屈服强度 σ_s /MPa	断裂位置	
PS15-1	板状	617.4 646.3	/	焊缝外	

定向弯曲

检验报告编号 _____

试样编号	试样形式	弯轴直径/mm	弯曲角度/(°)	检验结果
PS15-2	面弯 背弯	$d=3a$	50	合格

冲击韧性试验

检验报告编号 _____

试样编号	缺口形式	缺口位置	试验温度/°C	A_K/J
/	/	/	/	/

硬度试验结果(HV₁₀)

检验报告编号 _____

焊 缝	热 影 响 区	母 材
230,268	270,268	240,238

金相检验结果

检验报告编号 _____

宏 观	微 观	其 它 检 验
合 格	焊 缝 <u>B</u> 热影响区 <u>B</u> 母 材 <u>B</u>	/

无损探伤检验结果 RT 合格 检验报告编号 _____

焊工 _____ 钢印号 _____ 焊工合格证号 _____

评定结论 合格

编 制		校 对		审 核		审 定	
日 期		日 期		日 期		日 期	

焊接工艺设计书

编号 No HSS-16

工艺评定编号 HPS-16

评定项目 锅炉受热面管对接 钢 102 $\phi 60\text{mm} \times 7.5\text{mm}$ 自动钨极氩弧焊接头

焊接方法 自动 TIG 自动化等级 机械化 焊接位置 平 技术标准 ASME

接头坡口形式

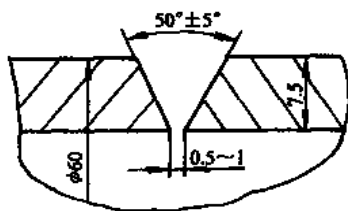
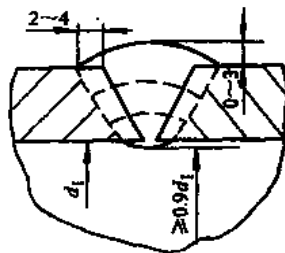


图 PS-16 左

焊接层次(顺序)



焊接 3 层

图 PS-16 右

对焊接接头的基本要求

1. 力学性能

σ_b/MPa	σ_s/MPa	$\delta_5/\%$	弯曲角度/(°) ($d=4a$)	冲击试验			其 它
				缺口形式	试验温度/°C	A_K/J	
540~736	/	/	180	/	/	/	$HV_{10} \leq 350$

2. 其它 RT 检查 金相组织

母材	牌号 钢 102 规格 $\phi 60 \times 7.5\text{mm}$ 类别 V						
焊接材料	焊条牌号 / 焊条规格 / 型号 / 钨极型号规格 钍钨极 $\phi 4\text{mm}$ 焊剂 / 保护气 Ar 流量 10~12 L/min 焊丝牌号 H08Cr2MoWVCoNb 焊丝规格 $\phi 1.2\text{mm}$ 型号 / 其它气体 / 流量 /						
预热焊后热处理	预热温度 / 层间温度 $\leq 300^\circ\text{C}$ 后热温度, 时间 / 消氢温度, 时间 / 中间热处理 / 时间 / 焊后热处理 $760 \sim 780^\circ\text{C}$ 时间 1h						
焊接工艺参数要求	电流种类 直流 极性 正接 焊接电流基值电流 I_b 50A U 12~14V 峰值电流 I_{pk} 140A 频率 0.8~1 周/s 焊接速度 2.8m/h 送丝速度 54m/h						
操作技术要求							

编 制		校 对		审 核		批 准	
日 期		日 期		日 期		日 期	

焊接工艺评定书

编号 No HPS-16设计书编号 No HSS-16评定项目 锅炉受热面管对接 钢 102 $\phi 60\text{mm} \times 7.5\text{mm}$ 自动钨极氩弧焊接头焊接方法 自动 TIG 自动化等级 机械化 焊接位置 平 技术标准 ASME

接头坡口形式

焊接层次(顺序)

见图 PS-16 左

见图 PS-16 右

母材	检验编号 _____										
	牌号 <u>钢 102</u> 规格 <u>$\phi 60 \times 7.5\text{mm}$</u> 类别 <u>V</u>					钨极型号 <u>钨钨板</u> ,直径 <u>$\phi 4\text{mm}$</u>					
化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	V	W	Ti	B
	0.11	0.35	0.71	0.018	0.012	1.92	0.55	0.32	0.45	0.09	0.005
力学性能	σ_b/MPa	721.718	σ_s/MPa	/	$\delta_5/\%$	/	A_k/J	/			
焊材	检验编号 _____										
	焊丝牌号 <u>H08Cr2MoWVCoNb</u> 焊丝规格 <u>$\phi 1.2\text{mm}$</u> 焊丝型号 _____ 焊剂牌号 _____										
化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	V	W	Co	Nb
	0.06	0.35	0.58	0.010	0.009	2.34	0.45	0.31	0.43	1.20	0.40
焊条	焊条牌号 <u>/</u> 焊条规格 <u>/</u> 焊条型号 <u>/</u> 检验编号 <u>/</u> <u>/</u>										
化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S						
	/	/	/	/	/						

保护气体 Ar ,流量 10~12 L/min 其它气体 _____ ,流量 _____

预热及焊后热处理

预热温度 / 层间温度 ≤ 300 C 后热温度 / 时间 /消氢温度 / 时间 / 中间热处理温度 / 时间 /焊后热处理温度 760~780 C 时间 /

(续)

焊接工艺参数

电流种类 直流 极性 正接 基值电流 $I_{\text{基}}$ 50A 峰值电流 $I_{\text{峰}}$ 140A U 12~14V 焊接速度 2.8m/h
送丝速度 54m/h

操作技术

性能检验结果

拉伸试验

检验报告编号 _____

试样编号	试样形式	σ_b /MPa	σ_s /MPa	断裂位置	
PS16-1	板状	718.3 727.1	/	焊缝外	

定向弯曲

检验报告编号 _____

试样编号	试样形式	弯轴直径/mm	弯曲角度/(°)	检验结果
PS16-2	面弯 背弯	$d=4a$	180	合格

冲击韧性试验

检验报告编号 _____

试样编号	缺口形式	缺口位置	试验温度/℃	A_K /J
/	/	/	/	/

硬度试验结果(HV₁₀)

检验报告编号 _____

焊 缝	热 影 响 区	母 材
297,301	297,281,302	266,276

金相检验结果

检验报告编号 _____

宏 观	微 观	其 它 检 验
合 格	焊 缝 <u>B</u> 热影响区 <u>B</u> 母 材 <u>B</u>	/

无损探伤检验结果 RT合格 检验报告编号 _____

焊工 _____ 钢印号 _____ 焊工合格证号 _____

评定结论 合格

编 制		校 对		审 核		审 定	
日 期		日 期		日 期		日 期	

焊接工艺设计书

编号 No HSS-17

工艺评定编号 HPS-17

评定项目 锅炉受热面管对接 钢 102 $\phi 57\text{mm} \times 8\text{mm}$ 熔化极惰性气体保护焊接头

焊接方法 MIG 自动化等级 自动 焊接位置 平 技术标准 ASME

接头坡口形式

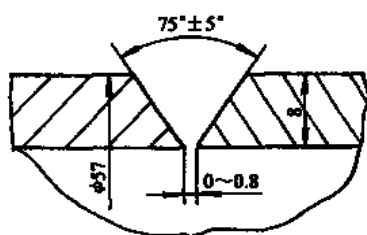
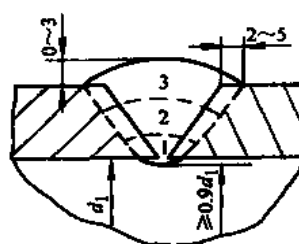


图 PS-17 左

焊接层次(顺序)



焊接三层从
第二层开始摆
动焊

图 PS-17 右

对焊接接头的基本要求

1. 力学性能

σ_b/MPa	σ_t/MPa	$\delta_5/\%$	弯曲角度/(°) ($d=4a$)	冲击试验			其 它
				缺口形式	试验温度/°C	A_K/J	
540~736	/	/	180	/	/	/	$HV_{10} \leq 350$

2. 其它 RT 检查 金相宏观 组织检查

母材	牌号 <u>钢 102</u> 规格 <u>φ57×8mm</u> 类别 <u>V</u>						
焊接材料	焊条牌号 <u> </u> / <u> </u> 焊条规格 <u> </u> / <u> </u> 型号 <u> </u> / <u> </u> 药皮型号规格 <u> </u> / <u> </u> 焊剂 <u> </u> / <u> </u> 保护气 <u>Ar+CO₂</u> 流量 <u>12+0.6 L/min</u> 焊丝牌号 <u>H08Cr2MoWVTiB</u> 焊丝规格 <u>φ0.8mm</u> 型号 <u> </u> / <u> </u> 其它气体 <u> </u> / <u> </u> 流量 <u> </u> / <u> </u>						
预热焊后热处理	预热温度 <u> </u> / <u> </u> 层间温度 <u>≤300 C</u> 后热温度,时间 <u> </u> / <u> </u> 消氢温度,时间 <u> </u> / <u> </u> 中间热处理 <u> </u> / <u> </u> 时间 <u> </u> / <u> </u> 焊后热处理 <u>760~780 C</u> 时间 <u>50min</u>						
焊接工艺参数要求	电流种类 <u>直流</u> 极性 <u>反接</u> 焊接电流 <u>基值电流 I_基 20~25A 平均电流 I_平 90~95A 脉冲峰值 I_脉 280A 脉冲频率 100Hz U_{20~21V} 焊接速度: 第一层 v₁ 6~6.6m/h 第二层 v₂ 8.5m/h 第三层 v₃ 6~7.2m/h h 摆动频率 40~45 周/min 摆幅 5~8mm</u>						
操作技术要求	焊接三层,第二层开始摆动焊丝						
编 制		校 对		审 核		批 准	
日 期		日 期		日 期		日 期	

焊接工艺评定书

编号 No HPS-17

设计书编号 No HSS-17

评定项目 锅炉受热面管对接 制 102 $\phi 57\text{mm} \times 8\text{mm}$ 熔化极惰性气体保护焊接头

焊接方法 MIG 自动化等级 自动 焊接位置 平 技术标准 ASME

接头坡口形式

焊接层次(顺序)

见图 PS-17 左

见图 PS-17 右

母材	检验编号 _____						钨极型号 / , 直径 /				
	牌号 <u>钢 102</u>	规格 <u>φ57×8mm</u>	类别 <u>V</u>								
化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	V	W	Ti	B
	0.09	0.41	0.62	0.020	0.012	1.79	0.55	0.34	0.38	0.07	0.004
力学性能	σ_s/MPa	602,591	σ_s/MPa	/	$\delta_s/\%$	/	A_K/J	/			
焊材	检验编号 _____										
	焊丝牌号 <u>H08Cr2MoWVTiB</u>	焊丝规格 <u>φ0.8mm</u>	焊丝型号 /	焊剂牌号 /							
化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	V	W	Ti	B
	0.10	0.34	0.50	0.009	0.008	1.99	0.50	0.31	0.35	0.14	0.0018
焊条	焊条牌号 / 焊条规格 / 焊条型号 / 检验编号 _____										
熔敷金属化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S						
	/	/	/	/	/						

保护气体 Ar+CO₂ 流量 12+0.6 L/min 其它气体 / 流量 /

预热及焊后热处理

预热温度 / 层间温度 $\geq 300^\circ\text{C}$ 后热温度 / 时间 /

消氢温度 / 时间 / 中间热处理温度 / 时间 /

焊后热处理温度 760~780 °C 时间 50min

(续)

焊接工艺参数 电流种类 <u>直接</u> 极性 <u>反接</u> 基值电流 I_b 20~25A 脉冲峰值 I_m 280A 平均电流 I_p 90~95A U_{20} ~ 21V 焊接速度:第一层 v_1 6~6.6m/h 第二层 v_2 8.5m/h 第三层 v_3 6~7.2m/h 脉冲频率 100Hz 摆动频率 40~ 45周/min 摆幅 5~8mm							
操作技术 焊接三层,第二层开始摆动焊							
性能检验结果							
拉伸试验						检验报告编号 _____	
试样编号	试样形式	σ_b /MPa	σ_s /MPa	断裂位置			
PS17-1	板状	581.1,580.0	/	焊缝外			
定向弯曲						检验报告编号 _____	
试样编号	试样形式	弯轴直径/mm	弯曲角度/(°)	检验结果			
PS17-2	面弯 背弯	$d=4a$	180	合格			
冲击韧性试验						检验报告编号 _____	
试样编号	缺口形式	缺口位置	试验温度/°C	A_K /J			
/	/	/	/	/			
硬度试验结果(HV₁₀)						检验报告编号 _____	
焊 缝		热 影 响 区		母 材			
251,254		276,247		251,254			
金相检验结果						检验报告编号 _____	
宏 观		微 观		其 它 检 验			
合 格		焊 缝 <u>B</u> 热影响区 <u>B</u> 母 材 <u>B</u>		/			
无损探伤检验结果 <u>RT 合格</u> 检验报告编号 _____ 焊工 _____ 钢印号 _____ 焊工合格证号 _____							
评定结论 <u>合格</u>							
编 制		校 对		审 核		审 定	
日 期		日 期		日 期		日 期	

焊接工艺设计书

编号 No HSS-18

工艺评定编号 HPS-18

评定项目 锅炉受热面管对接 G106 钢 $\phi 57\text{mm} \times 4\text{mm}$ 手工钨极氩弧焊接头

焊接方法 手工 TIG 自动化等级 手工 焊接位置 全位置 技术标准 ASME

接头坡口形式

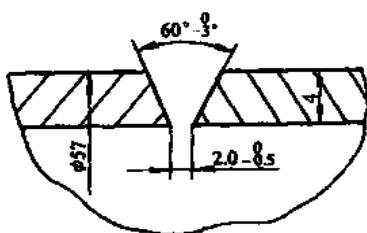


图 PS-18 左

焊接层次(顺序)

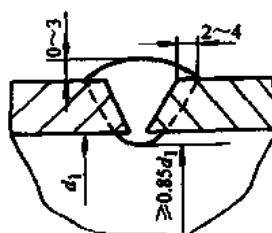


图 PS-18 右

对焊接接头的基本要求

1. 力学性能

σ_b/MPa	σ_s/MPa	$\delta_5/\%$	弯曲角度/(°) ($d=4a$)	冲击试验			其它
				缺口形式	试验温度/°C	A_K/J	
≥ 539	/	/	180	/	/	/	$HV_{10} \leq 350$

2. 其它 RT 检查 金相组织 宏观检查

母材	牌号 <u>G106</u> 规格 <u>$\phi 57 \times 4\text{mm}$</u> 类别 <u>/</u>						
焊接材料	焊条牌号 <u>/</u> 焊条规格 <u>/</u> 型号 <u>/</u> 钨极型号规格 <u>钨钨极 $\phi 2.5\text{mm}$</u> 焊剂 <u>/</u> 保护气 <u>Ar</u> 流量 <u>8~10 L/min</u> 焊丝牌号 <u>H10Cr5MoWVNbB</u> 焊丝规格 <u>$\phi 2.5\text{mm}$</u> 型号 <u>/</u> 其它气体 <u>/</u> 流量 <u>/</u>						
预热焊后热处理	预热温度 <u>/</u> 层间温度 <u>$\leq 300^\circ\text{C}$</u> 后热温度, 时间 <u>/</u> 消氢温度, 时间 <u>/</u> 中间热处理 <u>/</u> 时间 <u>/</u> 焊后热处理 <u>$740 \sim 760^\circ\text{C}$</u> 时间 <u>40\text{min}</u>						
焊接工艺参数要求	电流种类 <u>直流</u> 极性 <u>正接</u> 焊接电流 <u>I 90~100A</u> 电弧电压 <u>U 12~14V</u>						
操作技术要求							
编制		校对		审核		批准	
日期		日期		日期		日期	

焊接工艺评定书

编号 No HPS-18

设计书编号 No HSS-18

评定项目 锅炉受热管对接 G106 钢 $\phi 57\text{mm} \times 4\text{mm}$ 手工钨极氩弧焊接头

焊接方法 手工 TIG 自动化等级 手工 焊接位置 全位置 技术标准 ASME

接头坡口形式

焊接层次(顺序)

见图 PS-18 左

见图 PS-18 右

母材	检验编号_____						牌号 G106 规格 $\phi 57 \times 4\text{mm}$ 类别_____						钨极型号 钨钨极 直径 $\phi 2.5\text{mm}$	
化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	V	W	Ti	B			
	0.10	0.57	0.55	0.016	0.012	4.6	0.61	0.30	0.34	0.21	0.001			
力学性能	σ_s/MPa		595,601		σ_b/MPa		/		$\delta_5/\%$		/		A_K/J	/
焊材	检验编号_____													
	焊丝牌号 H10Cr5MoWVNbB				焊丝规格 $\phi 2.5\text{mm}$		焊丝型号_____		焊剂牌号_____					
化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	V	W	Ti	Nb	B		
	0.10	0.57	0.55	0.020	0.016	4.65	0.60	0.30	0.34	0.20	0.41	0.022		
焊条	焊条牌号_____ 焊条规格_____ 焊条型号_____ 检验编号_____													
熔敷金属化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S									
	/	/	/	/	/									

保护气体 Ar, 流量 6~8 L/min 其它气体 /, 流量 /

预热及焊后热处理

预热温度 / 层间温度 $\leq 300^\circ\text{C}$ 后热温度 / 时间 /

消氢温度 / 时间 / 中间热处理温度 / 时间 /

焊后热处理温度 740~760°C 时间 40min

(续)

焊接工艺参数

电流种类 直接 极性 正接 I 90~100A U 12~14V

操作技术

性能检验结果

拉伸试验

检验报告编号 _____

试样编号	试样形式	σ_b /MPa	σ_t /MPa	断裂位置	
PS18-1	板状	590 547	/	焊缝外	

定向弯曲

检验报告编号 _____

试样编号	试样形式	弯轴直径/mm	弯曲角度/(°)	检验结果
PS18-2	面弯 背弯	$d=4a$	180	合格

冲击韧性试验

检验报告编号 _____

试样编号	缺口形式	缺口位置	试验温度/°C	A_K /J
/	/	/	/	/

硬度试验结果(HV₁₀)

检验报告编号 _____

焊 缝	热 影 响 区	母 材
262,258	258,251	232,233

金相检验结果

检验报告编号 _____

宏 观	微 观	其 它 检 查
合 格	焊 缝 <u>B</u> 热影响区 <u>B</u> 母 材 <u>B</u>	

无损探伤检验结果 RT 合格 检验报告编号 _____

焊工 _____ 钢印号 _____ 焊工合格证号 _____

评定结论 合格

编 制		校 对		审 核		审 定	
日 期		日 期		日 期		日 期	

焊接工艺设计书

编号 No HSS-19

工艺评定编号 HPS-19

评定项目 锅炉受热面管对接 G106 钢 $\phi 57\text{mm} \times 4\text{mm}$ 自动热丝脉冲氩弧焊接头

焊接方法 自动热丝 TIG 自动化等级 机械化 焊接位置 平 技术标准 ASME

接头坡口形式

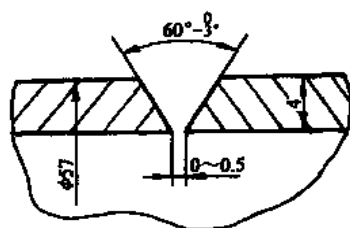
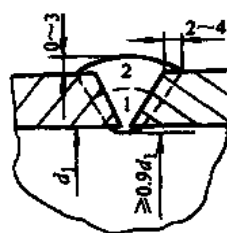


图 PS-19 左

焊接层次(顺序)



焊接 2 层

图 PS-19 右

对焊接接头的基本要求

1. 力学性能

σ_b/MPa	σ_s/MPa	$\delta_5/\%$	弯曲角度/(°) ($d=4a$)	冲击试验			其 它
				缺口形式	试验温度/°C	A_K/J	
≥ 539	/	/	180	/	/	/	$HV_{10} \leq 350$

2. 其它 RT 检查 金相组织 宏观检查

母材	牌号 G106 钢筒	规格 $\phi 57 \times 4\text{mm}$	类别	
焊接材料	焊条牌号 /	焊条规格 /	型号 /	钨极型号规格 钨钨极 $\phi 4\text{mm}$ 焊剂 /
	焊丝牌号 H10Cr5MoWVNbB	焊丝规格 $\phi 1.2\text{mm}$	型号 /	保护气 Ar 流量 6~8 L/min 其它气体 流量
预热 焊后热处理	预热温度 层间温度 后热温度, 时间 消氢温度, 时间 中间热处理 时间 焊后热处理 740~760°C 时间 40min			
焊接工艺参数要求	电流种类 直流 极性 正接 焊接电流 峰值电流 I_{pk} 50A 脉冲峰值 I_{mp} 200A U 12~14V 热丝 U 4~6V 脉冲频率 1.4 周/s 通断比 55% 焊接速度, 第一层 v_1 6.5~7.2m/h 第二层 v_2 7.8~8m/h 送丝速度: v_1 18m/h v_2 50m/h			
操作技术要求	焊接 2 层			
编 制		校 对		审 核
日 期	/	日 期	/	日 期
				批 准
				日 期

焊接工艺评定书

编号 No HPS-19

设计书编号 No HSS-19

评定项目 锅炉受热面管对接 G106 钢 $\phi 57\text{mm} \times 4\text{mm}$ 自动热丝脉冲氩弧焊接头

焊接方法	自动热丝 TIG	自动化等级	机械化	焊接位置	平	技术标准	ASME

接头坡口形式

焊接层次(順序)

见图 PS-19 左

见图 PS-19 右

母材	检验编号 _____						牌号 <u>G106 钢管</u> 规格 <u>φ57×4mm</u> 类别 <u>/</u>						钎焊型号 <u>钎焊板</u> ,直径 <u>φ4mm</u>					
化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	V	W	Ti	B							
	0.10	0.57	0.55	0.020	0.016	4.60	0.61	0.30	0.34	0.20	0.001							
力学性能	σ_b /MPa		595.601		σ_s /MPa		/		δ_5 /%		/		A_K /J		/			
焊材	检验编号 _____																	
	焊丝牌号 <u>H10Cr5MoWVNbB</u>				焊丝规格 <u>φ1.2mm</u>				焊丝型号 <u>/</u>				焊剂牌号 <u>/</u>					
化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	V	W	Ti	B	Nb						
	0.10	0.57	0.55	0.020	0.016	4.65	0.60	0.30	0.34	0.20	0.001	0.41						
焊条	焊条牌号 <u>/</u> 焊条规格 <u>/</u> 焊条型号 <u>/</u> 检验编号 _____																	
熔敷金属化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S													
	/	/	/	/	/													
保护气体 <u>Ar</u> ,流量 <u>6~8L/min</u> 其它气体 _____ 流量 _____																		
预热及焊后热处理																		
预热温度 <u>/</u> 层间温度 <u>/</u> 后热温度 <u>/</u> 时间 <u>/</u>																		
消氢温度 <u>/</u> 时间 <u>/</u> 中间热处理温度 <u>/</u> 时间 <u>/</u>																		
焊后热处理温度 <u>740~760 C</u> 时间 <u>40min</u>																		

(续)

焊接工艺参数						
电流种类 <u>直接</u> 极性 <u>正接</u> 基值电流 I_b 50A 脉冲峰值 I_p 200A U 12~14V 热丝电压 U_4 4~6V						
焊接速度第一层 v_1 6.5~7.2m/h 第二层 v_2 7.8~8m/h 送丝速度: v_1 18m/h 第二层 v_2 50m/h 脉冲频率: 1.4周/s						
通断比 55%						
操作技术						
焊接 2 层						
性能检验结果						
拉伸试验						检验报告编号 _____
试样编号	试样形式	σ_b /MPa	σ_s /MPa	断裂位置		
PS19-1	板状	583 595	/	焊缝外		
定向弯曲						检验报告编号 _____
试样编号	试样形式	弯轴直径/mm	弯曲角度/(°)	检验结果		
PS19-2	面弯 背弯	$d=4a$	180	合格		
冲击韧性试验						检验报告编号 _____
试样编号	缺口形式	缺口位置	试验温度/°C	A_K /J		
/	/	/	/	/		
硬度试验结果(HV ₁₀)						检验报告编号 _____
焊 缝		热 影 响 区		母 材		
238,247		235,246		199,201		
金相检验结果						检验报告编号 _____
宏 观		微 观		其 它 检 验		
合 格		焊 缝 <u>B</u> 热影响区 <u>B</u> 母 材 <u>B</u>		/		
无损探伤检验结果 <u>RT 合格</u> 检验报告编号 _____						
焊工 _____ 钢印号 _____ 焊工合格证号 _____						
评定结论 <u>合格</u>						
编 制		校 对		审 核		审 定
日 期		日 期		日 期		日 期

焊接工艺设计书

编号 No HSS-20

工艺评定编号 HPS-20

评定项目 锅炉受热面管对接 T91 钢管 $\phi 57\text{mm} \times 8\text{mm}$ 手工钨极氩弧焊接头

焊接方法 手工 TIG 自动化等级 手工 焊接位置 全位置 技术标准 ASME

接头坡口形式

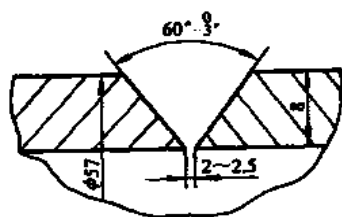
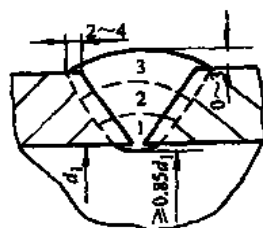


图 PS-20 左

焊接层次(顺序)



焊接三层

图 PS-20 右

对焊接接头的基本要求

1. 力学性能

σ_b/MPa	σ_s/MPa	$\delta_5/\%$	弯曲角度/(°) ($d=4a$)	冲击试验			其它
				缺口形式	试验温度/°C	A_k/J	
≥ 585	/	/	180	/	/	/	$HV_{10} \leq 350$

2. 其它 RT 检查 金相组织 宏观检查

母材	牌号 T91 钢管 规格 $\phi 51 \times 8\text{mm}$ 类别 P5						
焊接材料	焊条牌号 / 焊条规格 / 型号 / 钨极型号规格 钨钨板 $\phi 2.5\text{mm}$ 焊剂 / 保护气 Ar 流量 9~11L/min 焊丝牌号 TGS-9CB 焊丝规格 $\phi 2.5\text{mm}$ 型号 / 其它气体 背面保护 Ar 流量 7~8L/min						
预热焊后热处理	预热温度 200~250°C 层间温度 200~350°C 后热温度, 时间 / 消氢温度, 时间 / 中间热处理 / 时间 / 焊后热处理 750~770°C 时间 45min						
焊接工艺参数要求	电流种类 直流 极性 正接 焊接电流 I 95~100A 电弧电压 U 12~14V						
操作技术要求	焊接三层, 第一层管内部通 Ar 气保护						

编制		校对		审核		批准	
日期		日期		日期		日期	

焊接工艺评定书

编号 No HPS-20设计书编号 No HSS-20评定项目 锅炉受热面管对接 T91 钢管 $\phi 57\text{mm} \times 8\text{mm}$ 手工钨极氩弧焊接头焊接方法 手工 TIG 自动化等级 手工 焊接位置 全位置 技术标准 ASME

接头坡口形式

焊接层次(顺序)

见图 PS-20 左

见图 PS-20 右

母材	检验编号 _____									
	牌号 <u>T91</u>	规格 <u>$\phi 57 \times 8\text{mm}$</u>	类别 <u>P5</u>	钨极型号 <u>钨钨极</u> 直径 <u>$\phi 2.5\text{mm}$</u>						
化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	V	
	0.10	0.39	0.47	0.017	0.009	8.56	0.96	0.23	0.21	
力学性能	σ_b/MPa	716,705	σ_s/MPa	/	$\delta_5/\%$	/	$A_K/\%$	/		
焊丝	检验编号 _____									
	焊丝牌号 <u>TGS-9CB</u>	焊丝规格 <u>$\phi 2.5\text{mm}$</u>	焊丝型号 <u>/</u>	焊丝牌号 <u>/</u>						
化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	Nb	
	0.08	0.24	0.95	0.009	0.011	9.02	0.90	0.69	0.04	
焊条	焊条牌号 _____ 焊条规格 _____ 焊条型号 _____ 检验编号 _____									
熔敷金属化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S					
	/	/	/	/	/					

保护气体 Ar 流量 9~11 L/min 其它气体 背面保护 Ar 流量 7~8 L/min

预热及焊后热处理

预热温度 200~250 C 层间温度 200~350 C 后热温度 / 时间 /消氢温度 / 时间 / 中间热处理温度 / 时间 /焊后热处理温度 750~770 C 时间 45min

(续)

焊接工艺参数

电流种类 直流 极性 正接 I 95~100A U 12~14V

操作技术

焊接三层,第一层管内部充 Ar 气保护

性能检验结果

拉伸试验

检验报告编号 _____

试样编号	试样形式	σ_b /MPa	σ_s /MPa	断裂位置	
PS20-1	板状	709 702	/	焊缝外	

定向弯曲

检验报告编号 _____

试样编号	试样形式	弯轴直径/mm	弯曲角度/(°)	检验结果
PS20-2	面弯 背弯	$d=4a$	180	合格

冲击韧性试验

检验报告编号 _____

试样编号	缺口形式	缺口位置	试验温度/℃	A_K /J
/	/	/	/	/

硬度试验结果(HV₁₀)

检验报告编号 _____

焊 缝	热 影 响 区	母 材
285,289	309,314	309,289

金相检验结果

检验报告编号 _____

宏 观	微 观	其 它 检 验
合 格	焊 缝 <u>M(回火)</u> 热影响区 <u>回火 M</u> 母 材 <u>回火 M</u>	/

无损探伤检验结果 RT 检查合格 检验报告编号 _____

焊工 _____ 钢印号 _____ 焊工合格证号 _____

评定结论 合格

编 制		校 对		审 核		审 定	
日 期		日 期		日 期		日 期	

焊接工艺设计书

编号 No HSS-21

工艺评定编号 HPS-21

评定项目 锅炉受热面管对接 T91 钢管 $\phi 57\text{mm} \times 8\text{mm}$ 熔化极脉冲电弧气体保护焊接头

焊接方法 脉冲 MIG 自动化等级 自动 焊接位置 平 技术标准 ASME

接头坡口形式

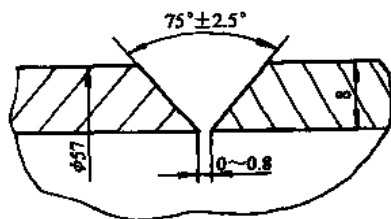


图 PS-21 左

焊接层次(顺序)

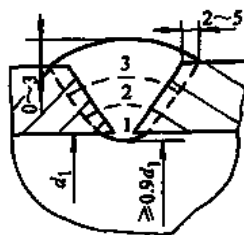


图 PS-21 右

焊接三层,第一层焊接时管内充 Ar 气保护,第二层开始摆动焊

对焊接接头的基本要求

1. 力学性能

σ_b/MPa	σ_s/MPa	$\delta_5/\%$	弯曲角度/(°) ($d=4a$)	冲击试验			其它
				缺口形式	试验温度	A_K/J	
≥ 585	/	/	180				$HV_{10} \leq 350$

2. 其它 RT 检查 金相宏观 组织检查

母材	牌号 T91 规格 $\phi 57 \times 8$ mm 类别 P5					
焊接材料	焊条	焊条	型	焊丝	焊丝	焊
	牌号 /	规格 /	号 /	型号 /	规格 /	剂 /
	焊丝	焊丝	型	保护气 $\text{Ar} + \text{CO}_2$	流量 $10 \pm 0.8 \text{ L/min}$	
	牌号 MGS-9CB	规格 $\phi 0.8 \text{ mm}$	号 /	其它气体 背面保护	流量 $7 \sim 8 \text{ L/min}$	
预热热处理	预热温度 $200 \sim 250^\circ\text{C}$ 层间温度 $200 \sim 350^\circ\text{C}$ 后热温度, 时间 / 消氢温度, 时间 / 中间热处理 / 时间 / 焊后热处理 $750 \sim 770^\circ\text{C}$ 时间 45 min					
焊接工艺参数要求	电流种类 直流 极性 反接 焊接电流 平均电流 $I_p 85 \sim 95 \text{ A}$ 峰值电流 $I_m 30 \text{ A}$ 脉冲峰值 $I_{pk} 270 \sim 290 \text{ A}$ 脉冲频率 100 Hz $U 22 \sim 24 \text{ V}$ 焊接速度的第 1 层 $11.8 \sim 13 \text{ m/h}$ 第 2 层 $8.6 \sim 9.7 \text{ m/h}$ 第三层 $7.5 \sim 8.5 \text{ m/h}$ 送丝速度 $v = 300 \sim 360 \text{ m/h}$ 摆动频率 50 周/min 摆幅 $5 \sim 8 \text{ mm}$ 焊丝伸出长度 $12 \sim 14 \text{ mm}$					
操作技术要求	第一层不摆动焊丝, 第二层以上摆动焊丝, 第一层焊接时管内充 Ar 气保护					
编制		校对		审核		批准
日期		日期		日期		日期

焊接工艺评定书

编号 No HPS-21设计书编号 No HSS-21评定项目 锅炉受热面管对接 T91 钢管 $\phi 57\text{mm} \times 8\text{mm}$ 熔化极脉冲电弧气体保护焊接头焊接方法 脉冲 MIG 自动化等级 自动 焊接位置 平 技术标准 ASME

接头坡口形式

见图 PS-21 左

焊接层次(顺序)

见图 PS-21 右

母材	检验编号 _____										
	牌号 <u>T91</u> 规格 <u>$\phi 57 \times 8$ mm</u> 类别 <u>P5</u>					钨极型号 <u>/</u> 直径 <u>1mm</u>					
化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	V			
	0.10	0.39	0.47	0.017	0.009	8.56	0.96	0.21			
力学性能	σ_s/MPa	716, 705		σ_t/MPa	/		$\delta_5/\%$	/		A_K/J	/
焊材	检验编号 _____										
	焊丝牌号 <u>MGS-9CB</u> 焊丝规格 <u>$\phi 0.8\text{mm}$</u> 焊丝型号 <u>/</u> 焊剂牌号 <u>/</u>										
化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	V		
	0.08	0.37	1.56	0.008	0.003	8.82	0.88	0.45	0.17		
焊条	检验编号 _____										
	焊条牌号 <u>/</u> 焊条规格 <u>/</u> 焊条型号 <u>/</u>										
熔敷金属成分(%)	C	Si	Mn	P	S						

保护气体 Ar ,流量 9~11 L/min 其它气体 背面保护 Ar 气 ,流量 7~8 L/min

预热及焊后热处理

预热温度 200~250°C 层间温度 200~350°C 后热温度 _____ 时间 _____消氢温度 _____ 时间 _____ 中间热处理温度 _____ 时间 /焊后热处理温度 750~770 °C 时间 45 min

(续)

焊接工艺参数

电流种类 直流 极性 反接 平均电流 I_p 85~95A 维弧电流 I_{ar} 30A 脉冲峰值 I_{pk} 270~290A 脉冲频率 100Hz 焊接速度: 第一层 v_1 11.8~13m/h 第二层 v_2 8.6~9.7m/h 第三层 v_3 7.5~8.5m/h 焊丝伸出长度 12~14mm 摆动频率 40~45 周/min 摆幅 5~8mm

操作技术

第一层焊接时内部充 Ar 气保护, 第二层开始摆动焊

性能检验结果

拉伸试验

检验报告编号 _____

试样编号	试样形式	σ_b /MPa	σ_s /MPa	断裂位置	
PS21-1	板状	677, 716		焊缝外	

定向弯曲

检验报告编号 _____

试样编号	试验形式	弯轴直径/mm	弯曲角度/(°)	检验结果
PS21-2	面弯 背弯	$d=4a$	180	合格

冲击韧性试验

检验报告编号 _____

试样编号	缺口形式	缺口位置	试验温度/°C	A_k /J
/	/	/	/	/

硬度试验结果(HV₁₀)

检验报告编号 _____

焊 缝	热 影 响 区	母 材
314, 297	312, 304	281, 319

金相检验结果

检验报告编号 _____

宏 观	微 观	其 它 检 验
合 格	焊 缝 回火 M 热影响区 回火 M 母 材 回火 M	

无损探伤检验结果 RT 合格 检验报告编号 _____

焊工 _____ 钢印号 _____ 焊工合格证号 _____

评定结论 合格

编 制		校 对		审 核		审 定	
日 期		日 期		日 期		日 期	

焊接工艺设计书

编号 No HSS-22工艺评定编号 HPS-22评定项目 锅炉受热面管对接 TP304H 钢管 $\phi 60\text{mm} \times 9\text{mm}$ 对接手工钨极氩弧焊接头焊接方法 手工 TIG 自动化等级 手工 焊接位置 全位置 技术标准 ASME

接头坡口形式

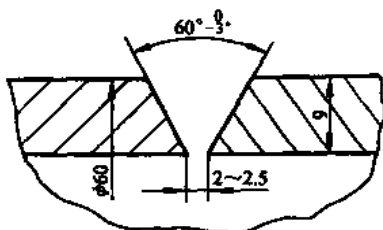


图 PS-22 左

焊接层次(顺序)

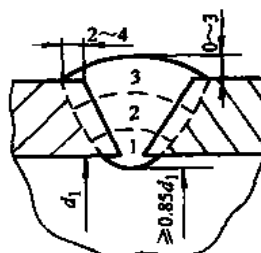


图 PS-22 右

焊接三层首
层内保护

对焊接接头的基本要求

1. 力学性能

σ_b/MPa	σ_s/MPa	$\delta_5/\%$	弯曲角度/(°) ($d=4a$)	冲击试验			其它
				缺口形式	试验温度	A_K/J	
≥ 515	/	/	180	/	/	/	$HV_{10} \leq 350$

2. 其它 RT 检查 金相组织 宏观检查

母材	牌号 <u>TP304H</u> 规格 <u>$\phi 60 \times 9\text{mm}$</u> 类别 <u>P8</u>					
焊接材料	焊条	焊条	型	钨极	焊	
	牌号 <u>/</u>	规格 <u>/</u>	号 <u>/</u>	型号	剂 <u>/</u>	
	焊丝	焊丝	型	规格 <u>钨钨极 $\phi 2.5\text{mm}$</u>	流量 <u>10~12\text{L/min}</u>	
	牌号 <u>ER308H</u>	规格 <u>$\phi 2.5\text{mm}$</u>	号 <u>F6/A8</u>	保护气 <u>Ar</u>	其它气体 <u>背面保护 Ar 气</u>	流量 <u>6~8\text{L/min}</u>
预热 热处理	预热温度 <u>/</u> 层间温度 <u>$\leq 200^\circ\text{C}$</u> 后热温度, 时间 <u>/</u> 消氢温度, 时间 <u>/</u> 中间热处理 <u>/</u> 时间 <u>/</u> 焊后热处理 <u>$740 \sim 760^\circ\text{C}$</u> 时间 <u>1\text{h}</u>					
焊接工艺参数要求	电流种类 <u>直流</u> 极性 <u>正接</u> 焊接电流 <u>190~110A</u> 电弧电压 <u>U 12~14V</u>					
操作技术要求	首层焊接时, 管子内部充 Ar 气保护					
编制		校 对		审 核		批 准
日 期		日 期		日 期		日 期

焊接工艺评定书

编号 No HPS-22设计书编号 No HSS-22评定项目 锅炉受热面管对接 TP304H 钢管 $\phi 60\text{mm} \times 9\text{mm}$ 手工钨极氩弧焊接头焊接方法 手工 TIG 自动化等级 手工 焊接位置 全位置 技术标准 ASME

接头坡口形式

见图 PS-22 左

焊接层次(顺序)

见图 PS-22 右

母材	检验编号 _____										
	牌号 <u>TP304H</u>	规格 <u>$\phi 60 \times 9$ mm</u>	类别 <u>P8</u>					钨极型号 <u>钨钨极</u>	直径 <u>$\phi 2.5\text{mm}$</u>		
化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni				
	0.07	0.43	1.53	0.007	0.015	18.04	10.39				
力学性能	σ_s/MPa	637, 627		σ_t/MPa	/		$\delta_5/\%$	/		A_K/J	/
焊材	检验编号 _____										
	焊丝牌号 <u>ER308H</u>	焊丝规格 <u>$\phi 2.5\text{mm}$</u>	焊丝型号 <u>F6/A8</u>	焊剂牌号 <u>/</u>							
化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni				
	0.05	0.50	1.70	0.008	0.013	20.61	10.4				
焊条	焊条牌号 <u>/</u> 焊条规格 <u>/</u> 焊条型号 <u>/</u> 检验编号 _____										
熔敷金属成分(%)	C	Si	Mn	P	S						

保护气体 Ar 流量 10~12 L/min 其它气体 背面保护 Ar 气 流量 6~8 L/min

预热及焊后热处理

预热温度 _____ 层间温度 ≤ 200 后热温度 _____ 时间 _____

消氢温度 _____ 时间 _____ h 中间热处理温度 _____ 时间 _____

焊后热处理温度 740~760 °C 时间 /

(续)

焊接工艺参数

电流种类 直流 极性 正接 I 90~110A U 12~14V

操作技术

首层焊接时,管子内部充 Ar 气保护

性能检验结果

拉伸试验

检验报告编号

试样编号	试样形式	σ_b /MPa	σ_s /MPa	断裂位置	
PS22-1	板状	628 613	/	焊缝外	

定向弯曲

检验报告编号

试样编号	试样形式	弯轴直径/mm	弯曲角度/(°)	检验结果
PS22-2	面弯 背弯	$d=4a$	180	合格

冲击韧性试验

检验报告编号

试样编号	缺口形式	缺口位置	试验温度/°C	A_K/J

硬度试验结果(HV₁₀)检验报告编号

焊 缝	热 影 响 区	母 材
287,287	256,312	181,153

金相检验结果

检验报告编号

宏 观	微 观	其 它 检 验
合 格	焊 缝 <u>A</u> 热影响区 <u>A</u> 母 材 <u>A</u>	

无损探伤检验结果 RT 合格 检验报告编号 焊工 钢印号 焊工合格证号 评定结论 合格

编 制		校 对		审 核		审 定	
日 期		日 期		日 期		日 期	

焊接工艺设计书

编号 No HSS-23

工艺评定编号 HPS-23

评定项目 锅炉受热面管对接 TP304H 钢管 $\phi 60\text{mm} \times 7.5\text{mm}$ 全位置自动钨极氩弧焊接头

焊接方法 全位置自动 TIG 自动化等级 自动 焊接位置 全位置 技术标准 ASME

接头坡口形式

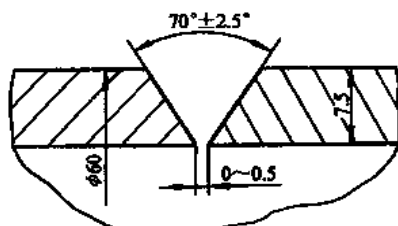
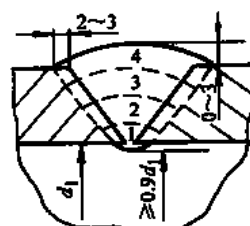


图 PS-23 左

焊接层次(顺序)



焊接四层, 第二层开始摆动
焊丝

图 PS-23 右

对焊接头的基本要求

1. 力学性能

σ_b/MPa	σ_s/MPa	$\delta_5/\%$	弯曲角度/(°) ($d=4a$)	冲击试验			其它
				缺口形式	试验温度	A_K/J	
≥ 515			180				$HV_{10} \leq 350$

2. 其它 RT 检查 金相组织 宏观检查

母材	牌号 TP304H 规格 $\phi 60 \times 7.5\text{mm}$ 类别 P8					
焊接材料	焊条	焊条	型	钨极	焊	
	牌号 /	规格 /	号 /	型号	剂 /	
	焊丝	焊丝	型	规格 钨钨极 $\phi 2.5\text{mm}$	流量 10~12L/min	
	牌号 ER308H	规格 $\phi 0.8\text{mm}$	号 F6/A8	保护气 Ar	其它气体 背面保护	流量 6~8L/min
预热热处理	预热温度 / 层间温度 $\leq 200^\circ\text{C}$ 后热温度, 时间 / 消氢温度, 时间 /					
	中间热处理 / 时间 / 焊后热处理 / 时间 /					
焊接工艺参数要求	电流种类 直流 极性 反接 焊接电流 第一层 I_1 110~115A 第二、四层 I_2 105~100A 电弧电压 U 10~12V 电弧间距 2~3mm 焊接速度: 第一层 v_1 1.9~2m/h 第二层以上 v_2 2.6~3m/h 送丝速度: 第一层 v_1 16m/h 第二~四层 v_2 18~21m/h 摆动速度 5~11m/h 摆幅第二层 3~3.5mm 第三层 6~7mm 第四层 8~9mm 两端停留时间 0.3/0.3s					
操作技术要求	首层焊接时管内都可充 Ar 气保护, 第二~四层摆动焊					
编制		校 对		审 核		批 准
日 期		日 期		日 期		日 期

焊接工艺评定书

编号 No HPS-23设计书编号 No HSS-23评定项目 锅炉受热面管对接 TP304H 钢管 $\phi 60\text{mm} \times 7.5\text{mm}$ 全位置自动钨极氩弧焊焊接方法 全位置自动 TIG 自动化等级 自动 焊接位置 全位置 技术标准 ASME

接头坡口形式

焊接层次(顺序)

见图 PS-23 左

见图 PS-23 右

母材	检验编号 _____										
	牌号 <u>TP304H</u>		规格 <u>$\phi 60 \times 7.5$ mm</u>		类别 <u>P8</u>		钨极型号 <u>钨钨极</u> 直径 <u>$\phi 2.5\text{mm}$</u>				
化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni				
	0.10	0.5	1.84	0.012	0.009	20.37	10.40				
力学性能	σ_s/MPa	680,669		σ_b/MPa	/		$\delta_5/\%$	/		A_K/J	/
焊材	检验编号 _____										
	焊丝牌号 <u>ER308H</u>		焊丝规格 <u>$\phi 0.8\text{mm}$</u>		焊丝型号 <u>F6A8</u>		焊剂牌号 <u>/</u>				
化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni				
	0.10	0.50	1.74	0.009	0.005	20.10	10.0				
焊条	检验编号 _____										
	焊条牌号 <u>/</u>		焊条规格 <u>/</u>		焊条型号 <u>/</u>						
熔敷金属成分(%)	C	Si	Mn	P	S						

保护气体 Ar, 流量 10~12 L/min 其它气体 背面保护 Ar 气, 流量 6~8 L/min

预热及焊后热处理

预热温度 / 层间温度 $\leq 200^\circ\text{C}$ 后热温度 / 时间 /消氢温度 / 时间 / 中间热处理温度 / 时间 /焊后热处理温度 / 时间 /

(续)

焊接工艺参数							
电流种类 <u>直流</u> 极性 <u>正接</u> 焊接电流: 第一层 I_1 110~115A 第二~四层 I_2 100~105A U 10~12V 电							
弧间距 2~3mm 焊接速度: 第一层 v_1 1.9~2m/h 第二~四层 v_2 2.6~3m/h 送丝速度: 第一层 v_{s1} 16m/h 第二							
~四层 v_{s2} 18~21m/h 摆动速度 5~11m/h 摆幅: 第二层 2~3mm 第三层 3~3.5mm 第四层 8~9mm 两端停							
留时间 0.3/0.3s							
操作技术							
首层焊接时,管子内部充 Ar 气保护,第二层开始摆动焊丝							
性能检验结果							
拉伸试验						检验报告编号 _____	
试样编号	试样形式	σ_b /MPa	σ_s /MPa	断裂位置			
PS23-1	板状	660.5 669.3	/	焊缝外			
定向弯曲						检验报告编号 _____	
试样编号	试验形式	弯轴直径/mm	弯曲角度/(°)	检验结果			
PS23-2	面弯 背弯	$d=4a$	180	合 格			
冲击韧性试验						检验报告编号 _____	
试样编号	缺口形式	缺口位置	试验温度/°C	A_K /J			
硬度试验结果(HV ₁₀)						检验报告编号 _____	
焊 缝		热 影 响 区		母 材			
274,281		277,277		282,264			
金相检验结果						检验报告编号 _____	
宏 观		微 观		其 它 检 验			
合 格		焊 缝 <u>A</u> 热影响区 <u>A</u> 母 材 <u>A</u>					
无损探伤检验结果 <u>RT 合格</u> 检验报告编号 _____							
焊工 _____ 钢印号 _____ 焊工合格证号 _____							
评定结论 <u>合格</u>							
编 制		校 对		审 核		审 定	
日 期		日 期		日 期		日 期	

焊接工艺设计书

编号 No HSS-24工艺评定编号 HPS-24评定项目 锅炉受热面管对接 TP347H 钢管 $\phi 60\text{mm} \times 7.5\text{mm}$ 手工钨极氩弧焊接头焊接方法 手工 TIG 自动化等级 手工 焊接位置 全位置 技术标准 ASME

接头坡口形式

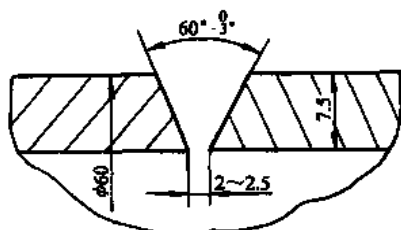


图 PS-24 左

焊接层次(顺序)

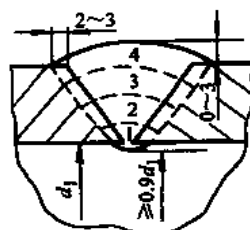


图 PS-24 右

焊接三层,第一层焊接时,管内部充 Ar 气保护

对焊接接头的基本要求

1. 力学性能

σ_b/MPa	σ_s/MPa	$\delta_5/\%$	弯曲角度/(°) ($d=4a$)	冲击试验			其它
				缺口形式	试验温度/°C	A_K/J	
≥ 515			180				$HV_{10} \leq 350$

2. 其它 RT 检查 金相组织 宏观检查

母材	牌号 <u>TP347H</u> 规格 <u>$\phi 60 \times 7.5\text{mm}$</u> 类别 <u>P8</u>				
焊接材料	焊条	焊条	型	钨极	焊
	牌号 <u>/</u>	规格 <u>/</u>	号 <u>/</u>	型号	剂 <u>/</u>
	焊丝	焊丝	型	规格 <u>钨钨极 $\phi 2.5\text{mm}$</u>	流量 <u>10~12\text{L/min}</u>
	牌号 <u>ER347H</u>	规格 <u>$\phi 2.5\text{mm}$</u>	号 <u>F6/A8</u>	保护气 <u>Ar</u>	其它气体 <u>背面保护 Ar 气</u> 流量 <u>6~8\text{L/min}</u>
预热热处理	预热温度 <u> </u> 层间温度 <u>$\leq 200^\circ\text{C}$</u> 后热温度, 时间 <u> </u> 消氢温度, 时间 <u> </u> 中间热处理 <u> </u> 时间 <u> </u> 焊后热处理 <u> </u> 时间 <u> </u>				
	电流种类 <u>直流</u> 极性 <u>正接</u> 焊接电流 <u>190~110A</u> 电弧电压 <u>U 10~12V</u>				
操作技术要求	首层焊接时,管内部应充 Ar 气保护。				

编 制		校 对		审 核		批 准	
日 期		日 期		日 期		日 期	

焊接工艺评定书

编号 No HPS-24设计书编号 No HSS-24评定项目 锅炉受热面管对接 TP347H 钢管 $\phi 60\text{mm} \times 7.5\text{mm}$ 手工钨极氩弧焊接头焊接方法 手工 TIG 自动化等级 手工 焊接位置 全位置 技术标准 ASME

接头坡口形式

见图 PS-24 左

焊接层次(顺序)

见图 PS-24 右

母材	检验编号 _____								钨极型号 <u>钨钨极</u> 直径 <u>$\phi 2.5\text{mm}$</u>			
	牌号 <u>TP347H</u>	规格 <u>$\phi 60 \times 7.5\text{mm}$</u>	类别 <u>P8</u>									
化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Nb				
	0.09	0.63	1.28	0.009	0.010	17.74	10.25	0.86				
力学性能	σ_b/MPa	630,624		σ_s/MPa	/		$\delta_5/\%$	/		A_k/J	/	
焊材	检验编号 _____											
	焊丝牌号 <u>ER347H</u>	焊丝规格 <u>$\phi 2.5\text{mm}$</u>	焊丝型号 <u>F6/A8</u>	焊剂牌号 <u>/</u>								
化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Nb				
	0.06	0.56	1.63	0.009	0.004	20.34	10.48	0.30				
焊条	焊条牌号 <u>/</u> 焊条规格 <u>/</u> 焊条型号 <u>/</u> 检验编号 _____											
熔敷金属成分(%)	C	Si	Mn	P	S							
	/	/	/	/	/							

保护气体 Ar 流量 10~12 L/min 其它气体 背面保护 Ar 气 流量 6~8 L/min

预热及焊后热处理

预热温度 _____ 层间温度 $\leq 200^\circ\text{C}$ 后热温度 _____ 时间 _____

消氢温度 _____ 时间 _____ 中间热处理温度 _____ 时间 _____

焊后热处理温度 _____ 时间 _____

(续)

焊接工艺参数

电流种类 直流 极性 正接 焊接电流 I 90~110A 电弧电压 U 10~12V

操作技术

首层焊接时管子内部充 Ar 气保护

性能检验结果

拉伸试验

检验报告编号 _____

试样编号	试样形式	σ_b /MPa	σ_s /MPa	断裂位置	
PS24-1	板状	625.2 610.5	/	焊缝外	

定向弯曲

检验报告编号 _____

试样编号	试样形式	弯轴直径/mm	弯曲角度/(°)	检验结果
PS24-2	面弯 背弯	$d=4a$	180	合 格

冲击韧性试验

检验报告编号 _____

试样编号	缺口形式	缺口位置	试验温度/°C	A_K /J
/	/	/	/	/

硬度试验结果(HV₁₀)

检验报告编号 _____

焊 缝	热 影 响 区	母 材
177,241	236,262	251,164

金相检验结果

检验报告编号 _____

宏 观	微 观	其 它 检 验
合 格	焊 缝 <u>A+少量P</u> 热影响区 <u>A+沿A体晶界断网碳化物</u> 母 材 <u>A</u>	

无损探伤检验结果 RT合格 检验报告编号 _____

焊工 _____ 钢印号 _____ 焊工合格证号 _____

评定结论 合格

编 制		校 对		审 核		审 定	
日 期		日 期		日 期		日 期	

焊接工艺设计书

编号 No HPS-25

工艺评定编号 HSS-25

评定项目 锅炉受热面管对接 TP347H 钢管 $\phi 60\text{mm} \times 7.5\text{mm}$ 全位置自动钨极氩弧焊接头

焊接方法 全位置自动 TIG 自动化等级 自动 焊接位置 全位置 技术标准 ASME

接头坡口形式

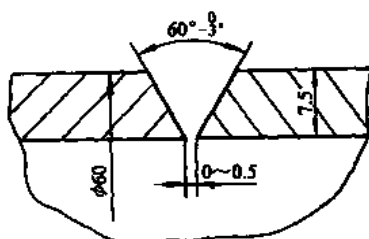


图 PS-25 左

焊接层次(顺序)

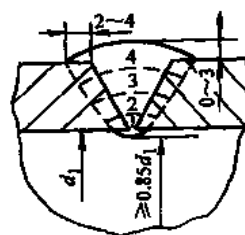


图 PS-25 右

焊接四层,第一层焊接时,管内充 Ar 气保护

对焊接/接头的基本要求

1. 力学性能

σ_b/MPa	σ_s/MPa	$\delta_s/\%$	弯曲角度/(°) ($d=4a$)	冲击试验			其它
				缺口形式	试验温度	A_K/J	
≥ 515			180				HV ₁₀

2. 其它 RT 合格 金相组织 宏观检查

母材	牌号 TP347H 规格 $\phi 60 \times 7.5\text{mm}$ 类别 P8					
焊接材料	焊条	焊条	型	钨极	焊	
	牌号 /	规格 /	号 /	型号 钨极 $\phi 2.5\text{mm}$	剂 /	
	焊丝	焊丝	型	保护气 Ar	流量 10~12L/h	
	牌号 ER347H	规格 $\phi 0.8\text{mm}$	号 F6/A8	其它气体 背面保护 Ar 气	流量 6~8L/h	
预热 焊后 处理	预热温度 / 层间温度 $\leq 200^\circ\text{C}$ 后热温度, 时间 / 消氢温度, 时间 / 中间热处理 / 时间 / 焊后热处理 / 时间 /					
焊接 工艺 参数 要求	电流种类 直流 极性 正接 焊接电流 $I_1 110 \sim 115\text{A}$ 第二~四层 $I_2 100 \sim 105\text{A}$ $U 10 \sim 12\text{V}$ 电弧 间距 2~3mm 焊接速度: 第一层 $v_1 1.9 \sim 2\text{m/h}$ 第二~四层 $v_2 2.6 \sim 3\text{m/h}$ 送丝速度: 第一层 $v_{s1} 16\text{m/h}$ 第 二层 $v_{s2} 18 \sim 21\text{m/h}$ 摆动速度: 5~11m/h 摆幅第二层 3~3.5mm 第三层 6~7mm 第四层 8~9mm 两端 停留时间 0.3/0.3s					
操作 技术 要求	第一层焊接时, 管内充 Ar 气保护					
编 制		校 对		审 核		批 准
日 期		日 期		日 期		日 期

焊接工艺评定书

编号 No HPS-25设计书编号 No HSS-25评定项目 锅炉受热面管对接 TP347H 钢管 $\phi 60\text{mm} \times 7.5\text{mm}$ 自动钨极氩弧焊接头焊接方法 全位置自动 TIG 自动化等级 自动 焊接位置 全位置 技术标准 ASME

接头坡口形式

焊接层次(顺序)

见图 PS-25 左

见图 PS-25 右

母材	检验编号 _____									
	牌号 <u>TP347H</u> 规格 <u>$\phi 60 \times 7.5$ mm</u> 类别 <u>P8</u>					钨极型号 <u>钨钨极</u> 直径 <u>$\phi 2.5\text{mm}$</u>				
化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Nb		
	0.09	0.63	1.28	0.009	0.010	17.74	10.25	0.86		
力学性能	σ_b/MPa	630, 624		σ_s/MPa	/		$\delta_5/\%$	/		A_K/J
焊材	检验编号 _____									
	焊丝牌号 <u>ER347H</u> 焊丝规格 <u>$\phi 0.8\text{mm}$</u> 焊丝型号 <u>F6/A8</u> 焊剂牌号 <u>/</u>									
化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Ta	Nb	
	0.08	0.52	1.67	0.011	0.008	19.92	10.19	0.32	0.66	
焊条	检验编号 _____									
	焊条牌号 _____ 焊条规格 _____ 焊条类别 _____									
熔敷金属成分(%)	C	Si	Mn	P	S					
	/	/	/	/	/					

保护气体 Ar, 流量 10~12 L/min 其它气体 背面保护 Ar 气, 流量 6~8 L/min

预热及焊后热处理

预热温度 / 层间温度 $\leq 200^\circ\text{C}$ 后热温度 / $^\circ\text{C}$ 时间 /消氢温度 / 时间 / 中间热处理温度 / $^\circ\text{C}$ 时间 /焊后热处理温度 / 时间 /

(续)

焊接工艺参数

电流种类 直流 极性 正接 焊接电流: 第一层 I_1 110~115A 第二~四层 I_2 100~105A U 10~12V 电弧间距 2~3mm 焊接速度: 第一层 v_1 1.9~2m/h 第二~四层 v_2 2.6~3m/h 送丝速度: 第一层 v_{s1} 16m/h 第二~四层 v_{s2} 18~21m/h 摆动速度 5~11m/h 摆幅: 第二层 2~3.5mm 第三层 6~7mm 第四层 8~9mm 两端停留时间 0.3/0.3s

操作技术

焊接第一层时,管内部充 Ar 气保护

性能检验结果

拉伸试验

检验报告编号 _____

试样编号	试样形式	σ_b /MPa	σ_s /MPa	断裂位置	
PS25-1	板状	716.4 707.1	/	焊缝外	

定向弯曲

检验报告编号 _____

试样编号	试样形式	弯轴直径/mm	弯曲角度/(°)	检验结果
PS25-2	面弯 背弯	$d=4a$	180	合格

冲击韧性试验

检验报告编号 _____

试样编号	缺口形式	缺口位置	试验温度/°C	A_K /J
/	/	/	/	/

硬度试验结果(HV₁₀)

检验报告编号 _____

焊 缝	热 影 响 区	母 材
228,202	198,228	201,212

金相检验结果

检验报告编号 _____

宏 观	微 观	其 它 检 验
合 格	焊 缝 <u>A+少量F</u> 热影响区 <u>A+少量F</u> 母 材 <u>A</u>	

无损探伤检验结果 RT 合格 检验报告编号 _____

焊工 _____ 钢印号 _____ 焊工合格证号 _____

评定结论 合格

编 制		校 对		审 核		审 定	
日 期		日 期		日 期		日 期	

焊接工艺设计书

编号 No HSS-26

工艺评定编号 HPS-26

评定项目 锅炉受热面管对接 20g 钢管+15CrMo 钢管 $\phi 51\text{mm} \times 7\text{mm}$ 熔化极脉冲电弧气体保护焊接头

焊接方法 MIG 自动化等级 自动 焊接位置 平 技术标准 ASME

接头坡口形式

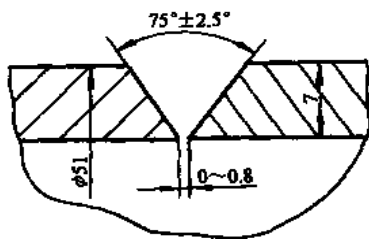


图 PS-26 左

焊接层次(顺序)

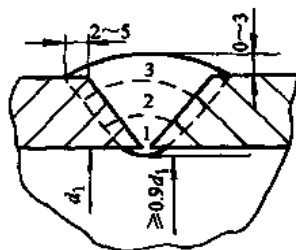


图 PS-26 右

焊接三层,第
二层开始摆动
焊

对焊接接头的基本要求

1. 力学性能

σ_b/MPa	σ_s/MPa	$\delta_5/\%$	弯曲角度/(°) ($d=4a$)	冲击试验			其它
				缺口形式	试验温度	A_k/J	
≥ 402	/	/	180	/	/	/	$HV_{10} \leq 280$

2. 其它 RT 检查 金相组织 宏观检查

母材	牌号 <u>20g</u> <u>15CrMo</u>	规格 <u>φ 51×7</u> mm	类别 <u>I - 1</u> <u>N - 1</u>			
焊接材料	焊条	焊条	型	钨极	焊	
	牌号 <u>/</u>	规格 <u>/</u>	号 <u>/</u>	型号	剂 <u>/</u>	
	焊丝	焊丝	型	规格 <u>/</u>	保护气 <u>Ar+CO₂</u>	流量 <u>15+1L/min</u>
	牌号 <u>H08Mn2Si</u>	规格 <u>φ0.8mm</u>	号 <u>/</u>	其它气体 <u>/</u>	流量 <u>/</u>	
预热处理	预热温度 <u>/</u> 层间温度 <u>/</u> 后热温度, 时间 <u>/</u> 消氢温度, 时间 <u>/</u>					
	中间热处理 <u>/</u> 时间 <u>/</u> 焊后热处理 <u>/</u> 时间 <u>/</u>					
焊接工艺参数要求	电流种类 <u>直流</u> 极性 <u>反接</u> 焊接电流 <u>平均电流 I_p 100~110A 基值电流 I_b 30A 峰值电流 290A</u>					
	<u>电压 U 22~24V 焊接速度, 第一层 v_1 9.6~11m/h 第二层及其它层 v_2 4.88~7.6m/h 焊丝伸出长度 10~12mm 送丝速度 6~6.5/min</u>					
操作技术要求						
编 制		校 对		审 核		批 准
日 期		日 期		日 期		日 期

焊接工艺评定书

编号 No HPS-26

设计书编号 No HSS-26

评定项目 锅炉受热面管对接 20g 钢+15CrMo 钢管 $\phi 51\text{mm} \times 7\text{mm}$ 熔化极脉冲电弧气体保护焊接头

焊接方法 MIG 自动化等级 自动 焊接位置 平 技术标准 ASME

接头坡口形式

见图 PS-26 左

焊接层次(顺序)

见图 PS-26 右

母材	检验编号 _____											
	牌号 20g 15CrMo	规格 $\phi 51 \times 7$ mm		类别 I-1 N-1		钨极型号 / 直径 /						
化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo					
	0.20 0.14	0.25 0.31	0.53 0.54	0.016 0.016	0.013 0.014	/ 0.93	/ 0.52					
力学性能	σ_s/MPa	516,528 535,529		σ_s/MPa	/		$\delta_s/\%$	/		A_k/J	/	
焊材	检验编号 _____											
	焊丝牌号 H08Mn2Si		焊丝规格 $\phi 0.8\text{mm}$		焊丝型号 /		焊剂牌号 /					
化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S							
	0.06	0.74	1.94	0.019	0.01							
焊条	焊条牌号 / 焊条规格 / 焊条型号 / 检验编号 _____											
熔敷金属成分(%)	C	Si	Mn	P	S							
	/	/	/	/	/							

保护气体 Ar+CO₂ 流量 15+1 L/min 其它气体 / 流量 / L/min

预热及焊后热处理

预热温度 / 层间温度 / 后热温度 / 时间 /

消氢温度 / 时间 / 中间热处理温度 / 时间 /

焊后热处理温度 / °C 时间 /

(续)

焊接工艺参数

电流种类 直流 极性 反接 平均电流 $I_{\text{平}} 100 \sim 110\text{A}$ 基值电流 $I_{\text{基}} 30\text{A}$ 峰值电流 $I_{\text{峰}} 290\text{A}$ 焊接速度: 第一层 $v_1 9.6 \sim 11\text{m/h}$ 其它层 $v_2 4.9 \sim 7.6\text{m/h}$ 送丝速度 $6 \sim 6.5\text{m/min}$ 焊丝伸出长度 $10 \sim 12\text{mm}$

操作技术

性能检验结果

拉伸试验

检验报告编号 _____

试样编号	试样形式	σ_b/MPa	σ_s/MPa	断裂位置	
PS20-1	板状	475 401	/	焊缝外	

定向弯曲

检验报告编号 _____

试样编号	试样形式	弯轴直径/mm	弯曲角度/(°)	检验结果
PS26-2	面弯 背弯	$d=4a$	180	合格

冲击韧性试验

检验报告编号 _____

试样编号	缺口形式	缺口位置	试验温度/°C	A_K/J
/	/	/	/	/

硬度试验结果(HV₁₀)

检验报告编号 _____

焊 缝	热 影 响 区	母 材
228, 224	20g 钢侧 222, 213 15CrMo 钢侧 228, 232	160, 167 249, 230

金相检验结果

检验报告编号 _____

宏 观	微 观	其 它 检 验
合 格	焊 缝 <u>B</u> 热影响区 <u>20g W</u> <u>15CrMo 侧 B</u> 母 材 <u>B+P</u>	/

无损探伤检验结果 RT 合格 检验报告编号 _____

焊工 _____ 钢印号 _____ 焊工合格证号 _____

评定结论 合格

编 制		校 对		审 核		审 定	
日 期		日 期		日 期		日 期	

焊接工艺设计书

编号 No HSS-27工艺评定编号 HPS-27评定项目 锅炉受热面管对接 15CrMo+20 钢管 自动热丝氩弧焊接头焊接方法 自动热丝 TIG 自动化等级 自动 焊接位置 平 技术标准 ASME

接头坡口形式

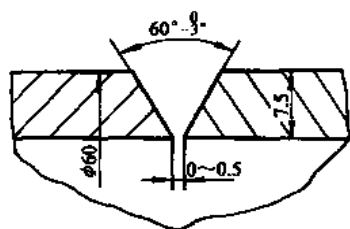
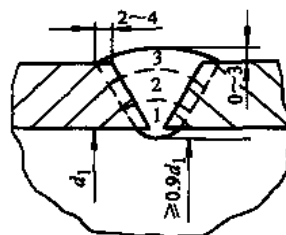


图 PS-27 左

焊接层次(顺序)



焊接三层,第
二层开始摆动
焊丝

图 PS-27 右

对焊接接头的基本要求

1. 力学性能

σ_s /MPa	σ_t /MPa	δ_s /%	弯曲角度/(°) ($d=4a$)	冲击试验			其 它
				缺口形式	试验温度	A_K /J	
390~530	/	/	180	/	/	/	HV ₁₀ ≤280

2. 其它 RT 检查 金相组织 宏观检查

母材	牌号 <u>20</u> <u>15CrMo</u>	规格 <u>φ60×7.5mm</u>	类别 <u>I-1</u> <u>IV-1</u>			
焊条	焊条	规格	号	钨极	型号	焊
焊丝	焊丝	规格	号	保护气	Ar	流量
焊剂	焊剂	规格	号	其它气体	/	流量
预热	预热温度	层间温度	后热温度,时间	消氢温度,时间		
焊后	中间热处理	时间	焊后热处理	时间		
焊接工艺参数要求	电流种类 <u>直流</u> 极性 <u>正接</u> 焊接电流 <u>平均电流 I_p 100A 峰值电流 I_m 150~160A 基值电流 I_b 40~50A</u> <u>U 11~14V 送丝速度 36~54m/h 脉冲频率 0.9~1 周/s 通断比 50% 热丝电压 6V 热丝电</u> <u>流 45A</u>					
操作技术要求						
编制		校 对		审 核		批 准
日期		日期		日期		日期

焊接工艺评定书

编号 No HPS-27设计书编号 No HSS-27评定项目 锅炉受热面管对接 15CrMo 钢+20 钢 自动热丝氩弧焊接头焊接方法 自动热丝 TIG 自动化等级 自动 焊接位置 平 技术标准 ASME

接头坡口形式

见图 PS-27 左

焊接层次(顺序)

见图 PS-27 右

母材	检验编号 _____										
	牌号 <u>20</u> <u>15CrMo</u>	规格 <u>φ60×7.5</u> mm	类别 <u>I-1</u> <u>IV-1</u>	筒板型号 <u>钵钵板</u> 直径 <u>φ4mm</u>							
化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo				
	0.18	0.20	0.50	0.011	0.009						
	0.14	0.24	0.54	0.014	0.011	1.01	0.50				
力学性能	σ _b /MPa	508.524 518.532		σ _s /MPa	/		δ ₅ /%	/		A _K /J	/
焊材	检验编号 _____										
	焊丝牌号 <u>H08CrMnSiMo</u> 焊丝规格 <u>φ1.2</u> 焊丝型号 <u>/</u> 焊剂牌号 <u>/</u>										
化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo				
	0.04	0.74	1.49	0.018	0.009	0.96	0.43				
焊条	焊条牌号 <u>/</u> 焊条规格 <u>/</u> 焊条型号 <u>/</u> 检验编号 _____										
熔敷金属成分(%)	C	Si	Mn	P	S						
	/	/	/	/	/						

保护气体 Ar, 流量 8~10 L/min 其它气体 /, 流量 / L/min

预热及焊后热处理

预热温度 / 层间温度 / 后热温度 / °C 时间 /消氢温度 / 时间 / h 中间热处理温度 / °C 时间 /焊后热处理温度 / 时间 /

(续)

焊接工艺参数

电流种类 直流 极性 正接 平均电流 I_p 100A 峰值电流 I_m 150~160A 基值电流 I_b 40~50A 送丝速度 36~54m/h, 脉冲频率 0.9~1.1周/s 通断比 50% 热丝电压 6V 热丝电流 45A

操作技术

性能检验结果

拉伸试验

检验报告编号 _____

试样编号	试样形式	σ_b /MPa	σ_s /MPa	断裂位置	
PS27-1	板状	543.9 480.2	/	焊缝外	

定向弯曲

检验报告编号 _____

试样编号	试样形式	弯轴直径/mm	弯曲角度/(°)	检验结果
PS27-2	面弯 背弯	$d=4a$	180	合格

冲击韧性试验

检验报告编号 _____

试样编号	缺口形式	缺口位置	试验温度/°C	A_k /J
/	/	/	/	/

硬度试验结果(HV₁₀)

检验报告编号 _____

焊 缝	热 影 响 区	母 材
235, 258	20 侧 193, 233 15CrMo 侧 206, 216	154, 224 198, 201

金相检验结果

检验报告编号 _____

宏 观	微 观	其 它 检 验
合格	焊 缝 <u>B+P</u> 热影响区 <u>20 B+F+P</u> <u>15CrMo B+F+P</u> 母 材 <u>F+P</u>	/

无损探伤检验结果 RT 合格 检验报告编号 _____

焊工 _____ 钢印号 _____ 焊工合格证号 _____

评定结论 合格

编 制		校 对		审 核		审 定	
日 期		日 期		日 期		日 期	

焊接工艺设计书

编号 No HSS-28

工艺评定编号 HPS-28

评定项目 锅炉受热面管对接 12Cr1MoV 钢+钢 102 熔化极脉冲电弧气体保护焊接头

焊接方法 脉冲 MIG 自动化等级 自动 焊接位置 平 技术标准 ASME

接头坡口形式

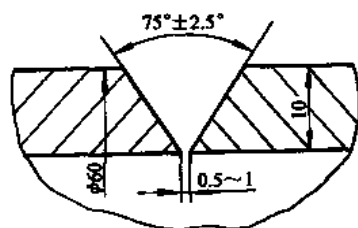


图 PS-28 左

焊接层次(顺序)

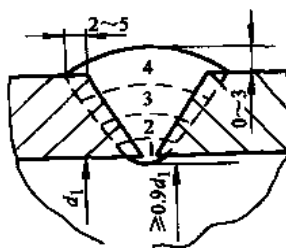


图 PS-28 右

焊接 4~5
层,第二层开始
摆动焊

对焊接接头的基本要求

1. 力学性能

σ_b /MPa	σ_t /MPa	δ_5 /%	弯曲角度/(°) ($d=4a$)	冲击试验			其它
				缺口形式	试验温度	A_K /J	
≥ 471	/	/	180	/	/	/	$HV_{10} \leq 350$

2. 其它 RT 检查 金相组织 宏观检查

母材	牌号 12Cr1MoV 钢 102 规格 $\phi 60 \times 10\text{mm}$ 类别 V					
焊接材料	焊条	焊条	型	钨极	焊	
	牌号 /	规格 /	号 /	型号 /	剂 /	
	焊丝	焊丝	型	保护气 $\text{Ar} + \text{CO}_2$	流量 $12 \pm 0.8\text{L/min}$	
	牌号 H08CrMnSiMoV	规格 $\phi 0.8\text{mm}$	号 /	其它气体 /	流量 / L/min	
预热 热处理 后理	预热温度 / 层间温度 / 后热温度, 时间 / 消氢温度, 时间 / 中间热处理 / 时间 / 焊后热处理 $730 \sim 750^\circ\text{C}$ 时间 50min					
焊接工艺参数要求	电流种类 直流 极性 反接 焊接电流 平均电流 I_p 90A 基值电流 I_b 30A 脉冲峰值 I_m 290A 频率 100Hz U 20~21V 焊接速度: 第一层 v_1 6~6.6m/h 第二层 v_2 7.8~8.4m/h 第三层 v_3 6.6~7.2m/h 送丝速度 5.5~6.5m/min 摆动频率 50周/min 摆幅 5~8mm					
操作技术要求	第二层焊接时作开始摆动焊					
编制		校对		审核		批准
日期		日期		日期		日期

焊接工艺评定书

编号 No HPS-28设计书编号 No HSS-28评定项目 锅炉受热面管对接 12Cr1MoV 钢+钢 102 熔化极脉冲电弧气体保护焊接头焊接方法 脉冲 MIG 自动化等级 自动 焊接位置 平 技术标准 ASME

接头坡口形式

焊接层次(顺序)

见图 PS-28 左

见图 PS-28 右

母材	检验编号 _____										
	牌号	12Cr1MoV 钢 102		规格	$\phi 60 \times 10\text{mm}$		类别	V			
化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	V	W	Ti	B
	0.12	0.24	0.52	0.011	0.008	1.06	0.26	0.23	/	/	/
	0.09	0.38	0.80	0.012	0.011	1.79	0.55	0.34	0.38	0.07	0.04
力学性能	σ_b/MPa	504,521 556,571		σ_s/MPa	/		$\delta_5/\%$	/		A_K/J	/
焊材	检验编号 _____										
	焊丝牌号	H08CrMnSiMoV		焊丝规格	$\phi 0.8\text{mm}$		焊丝型号	/ 焊剂牌号 /			
化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	V			
	0.09	0.78	0.95	0.011	0.008	1.10	0.84	0.32			
焊条	焊条牌号 / 焊条规格 / 焊条型号 / 检验编号 _____										
熔敷金属成分(%)	C	Si	Mn	P	S						
	/	/	/	/	/						

保护气体 Ar+CO₂, 流量 12±0.8 L/min 其它气体 /, 流量 / L/min

预热及焊后热处理

预热温度 / 层间温度 / 后热温度 / 时间 /

消氢温度 / 时间 / 中间热处理温度 / 时间 /

焊后热处理温度 730~750 °C 时间 50 min

(续)

焊接工艺参数

电流种类 直流 极性 反接 平均电流 $I_{\text{平}}$ 90A 基值电流 $I_{\text{基}}$ 30A 脉冲峰值 $I_{\text{脉}}$ 290A 频率 100Hz 焊接速度: 第一层 v_1 6~6.6m/h 第二层 7.8~8m/h 第三层及以上 v_3 6.6~7.2m/h 摆动频率 50 周/min 摆幅 5~8mm

操作技术

第二层开始摆动焊丝

性能检验结果

拉伸试验

检验报告编号 _____

试样编号	试样形式	σ_b /MPa	σ_s /MPa	断裂位置	
PS28-1	板状	500.8 503.7	/	焊缝外	

定向弯曲

检验报告编号 _____

试样编号	试样形式	弯轴直径/mm	弯曲角度/(°)	检验结果
PS28-2	面弯 背弯	$d=4a$	180	合格

冲击韧性试验

检验报告编号 _____

试样编号	缺口形式	缺口位置	试验温度/°C	A_K /J
/	/	/	/	/

硬度试验结果(HV₁₀)

检验报告编号 _____

焊 缝	热 影 响 区	母 材
198,218	12Cr1MoV 钢侧 181,201 钢 102 侧 209,214	206,212 218,232

金相检验结果

检验报告编号 _____

宏 观	微 观	其 它 检 验
合 格	焊 缝 B+F 热影响区 12Cr1MoV 侧 B+F+P 钢 102 侧 B 母 材 12Cr1MoV 侧 F+P 钢 102 侧 B	/

无损探伤检验结果 RT 合格 检验报告编号 _____

焊工 _____ 钢印号 _____ 焊工合格证号 _____

评它结论 合格

编 制		校 对		审 核		审 定	
日 期		日 期		日 期		日 期	

焊接工艺设计书

编号 No HSS-29工艺评定编号 HPS-29评定项目 锅炉受热面管对接 钢 102+12Cr1MoV 钢 自动钨极脉冲氩弧焊焊接方法 自动 TIG 自动化等级 机械化 焊接位置 平 技术标准 锅规

接头坡口形式

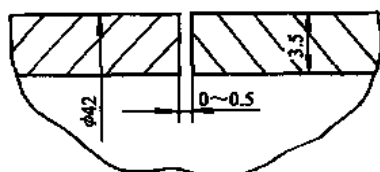
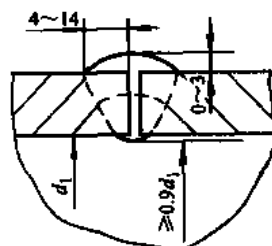


图 PS-29 左

焊接层次(顺序)



第一层自熔,
第二层填丝焊

图 PS-29 右

对焊接接头的基本要求

1. 力学性能

σ_b /MPa	σ_s /MPa	δ_5 /%	弯曲角度/(°) ($d=3a$)	冲击试验			其它
				缺口形式	试验温度	A_K /J	
≥ 471	/	/	50	/	/	/	$HV_{10} \leq 350$

2. 其它 RT 检查 金相组织 宏观检查

母材	牌号 <u>12Cr1MoV</u> <u>钢 102</u>	规格 <u>$\phi 42 \times 3.5$mm</u>	类别 <u>N-2</u> <u>V</u>			
焊接材料	焊条	焊条	型	钨极	焊	
	牌号 <u>/</u>	规格 <u>/</u>	号 <u>/</u>	型号 <u>钨钨 $\phi 4$mm</u>	剂 <u>/</u>	
	焊丝	焊丝	型	保护气 <u>Ar</u>	流量 <u>10~12L/min</u>	
	牌号 <u>H08Cr2MoWVCo</u>	规格 <u>$\phi 1.2$mm</u>	号 <u>/</u>	其它气体 <u>/</u>	流量 <u>/</u>	
预热 热处 理	预热温度 <u>/</u> 层间温度 <u>/</u> 后热温度,时间 <u>/</u> 消氢温度,时间 <u>/</u>					
	中间热处理 <u>/</u> 时间 <u>/</u> 焊后热处理 <u>730~750°C</u> 时间 <u>30min</u>					
焊接 工艺 参数 要求	电流种类 <u>直流</u> 极性 <u>正接</u> 焊接电流 基值电流 $I_{基}$ <u>40~50A</u> 主脉冲电流 $I_{脉}$ <u>90~100A</u> 尖峰脉冲 $I_{峰}$ <u>160~180A</u> U <u>12~14V</u> 脉冲频率 <u>0.7 周/min</u> 焊接速度,第一层 v_1 <u>5.6m/h</u> 第二层 v_2 <u>7.8m/h</u> 送丝速度 <u>54m/h</u> 通断比 <u>60%</u>					
操作 技术 要求						
编 制		校 对		审 核		批 准
日 期		日 期		日 期		日 期

焊接工艺评定书

编号 No HPS-29设计书编号 No HSS-29评定项目 锅炉受热面管对接 12Cr1MoV 钢+钢 102 自动钨极脉冲氩弧焊焊接方法 自动 TIG 自动化等级 机械化 焊接位置 平 技术标准 锅规

接头坡口形式

见图 PS-29 左

焊接层次(顺序)

见图 PS-29 右

母材	检验编号 _____											
	牌号 <u>12Cr1MoV 钢 102</u>		规格 <u>φ42×3.5</u> mm		类别 <u>IV-2 V</u>		钨极型号 <u>钍钨极</u> 直径 <u>φ4mm</u>					
化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	V	W	Ti	B	
	0.12 0.09	0.24 0.38	0.51 0.80	0.021 0.011	0.014 0.013	1.12 1.84	0.29 0.55	0.21 0.31	/ 0.38	/ 0.12	0.005	
力学性能	σ_b /MPa		/		σ_s /MPa		/		δ_5 /%		/	
焊材	检验编号 _____											
	焊丝牌号 <u>H08Cr2MoWVCo</u>		焊丝规格 <u>φ1.2mm</u>		焊丝型号 <u>/</u>		焊剂牌号 <u>/</u>					
化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	V	W	Nb	Co	
	0.06	0.38	0.70	0.014	0.011	2.33	0.42	0.30	0.43	0.40	1.20	
焊条	焊条牌号 <u>/</u> 焊条规格 <u>/</u> 焊条型号 <u>/</u> 检验编号 _____											
熔敷金属成分(%)	C	Si	Mn	P	S							
	/	/	/	/	/							

保护气体 Ar, 流量 10~12 L/min 其它气体 /, 流量 / L/min

预热及焊后热处理

预热温度 / 层间温度 / 后热温度 / 时间 /消氢温度 / 时间 / 中间热处理温度 / 时间 /焊后热处理温度 730~750 °C 时间 30 min

(续)

焊接工艺参数

电流种类 直流 极性 正接 基值电流 $I_{\text{基}}$ 40~50A 主脉冲电流 $I_{\text{脉}}$ 90~100A 尖峰脉冲 $I_{\text{峰}}$ 160~180A
 $U_{12\sim 14V}$ 脉冲频率 0.7 周/min 通断比 60% 送丝速度 54m/h 焊接速度:第一层 v_1 5.6m/h 第二层 v_2 7.8m/h

操作技术

性能检验结果

拉伸试验

检验报告编号 _____

试样编号	试样形式	σ_b /MPa	σ_t /MPa	断裂位置	
PS29-1	板状	499.8 529.2	/	焊缝外	

定向弯曲

检验报告编号 _____

试样编号	试样形式	弯轴直径/mm	弯曲角度/(°)	检验结果
PS29-2	面弯 背弯	$d=3a$	50	合格

冲击韧性试验

检验报告编号 _____

试样编号	缺口形式	缺口位置	试验温度/°C	A_K /J
/	/	/	/	/

硬度试验结果(HV₁₀)

检验报告编号 _____

焊 缝	热 影 响 区	母 材
242,247	12Cr1MoV 钢侧 241,258 钢 102 侧 266,260	212,203 248,251

金相检验结果

检验报告编号 _____

宏 观	微 观	其 它 检 验
合 格	焊 缝 B 热影响区 12Cr1MoV 侧 B+P 钢 102 侧 B 母 材 12Cr1MoV 侧 F+P 钢 102 侧 B	/

无损探伤检验结果 RT 合格 检验报告编号 _____

焊工 _____ 钢印号 _____ 焊工合格证号 _____

评定结论 合格

编 制		校 对		审 核		审 定	
日 期		日 期		日 期		日 期	

焊接工艺设计书

编号 No HSS-30工艺评定编号 HPS-30评定项目 锅炉受热面管对接 G106 钢管+12Cr1MoV 钢管 $\phi 57\text{mm}\times 4\text{mm}$ 自动热丝氩弧焊接头焊接方法 自动热丝 TIG 自动化等级 机械化 焊接位置 平 技术标准 ASME

接头坡口形式

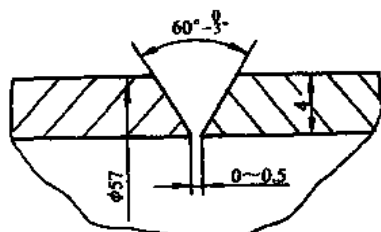
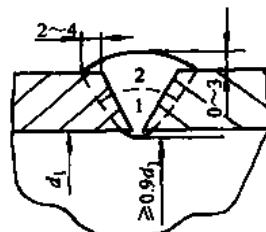


图 PS-30 左

焊接层次(顺序)



焊接二层

图 PS-30 右

对焊接接头的基本要求

1. 力学性能

σ_b/MPa	σ_s/MPa	$\delta_5/\%$	弯曲角度/(°) ($d=4a$)	冲击试验			其 它
				缺口形式	试验温度	A_K/J	
≥ 471	/	/	180	/	/	/	$HV_{10} \leq 350$

2. 其它 RT 检查 金相组织 宏观检查

母材	牌号 <u>12Cr1MoV</u> <u>G106</u>	规格 <u>$\phi 57 \times 4$</u> mm	类别 <u>N-2</u> <u>/</u>				
焊接材料	焊条	焊条	型	钨极	焊		
	牌号 <u>/</u>	规格 <u>/</u>	号 <u>/</u>	型号	剂 <u>/</u>		
	焊丝	焊丝	型	规格 <u>钎钨极 $\phi 4\text{mm}$</u>	流量 <u>8~10L/min</u>		
	牌号 <u>H10Cr5MoWVNbE</u>	规格 <u>$\phi 1.2\text{mm}$</u>	号 <u>/</u>	保护气 <u>Ar</u>	其它气体 <u>/</u>	流量 <u>/</u>	
预热 热处理 后理	预热温度 <u>/</u> 层间温度 <u>/</u> 后热温度, 时间 <u>/</u> 消氢温度, 时间 <u>/</u>						
	中间热处理 <u>/</u> 时间 <u>/</u> 焊后热处理 <u>740~760°C</u> 时间 <u>40min</u>						
焊接 工艺 参数 要求	电流种类 <u>直流</u> 极性 <u>正接</u> 焊接电流 <u>基值电流 I_B 50A 脉冲电流 I_P 200A 脉冲频率 1.4 次/min</u>						
	<u>通断比 55%</u> 焊接速度: 第一层 v_1 <u>6.5~7.2m/h</u> 第二层 v_2 <u>7.8~8m/h</u> 送丝速度: 第一层 v_{s1} <u>18m/h</u> 第二层 v_{s2} <u>50.4m/h</u>						
操作 技术 要求							
编 制		校 对		审 核		批 准	
日 期		日 期		日 期		日 期	

焊接工艺评定书

编号 No HPS-30

设计书编号 No HSS-30

评定项目 锅炉受热面管对接 G106 钢管+12Cr1MoV 钢管 $\phi 57\text{mm} \times 4\text{mm}$ 自动热丝氩弧焊接头

焊接方法 自动热丝 TIG 自动化等级 机械化 焊接位置 平 技术标准 ASME

接头坡口形式

见图 PS-30 左

焊接层次(顺序)

见图 PS-30 右

母材	检验编号 _____										
	牌号 12Cr1MoV G106	规格 $\phi 57 \times 4$ mm	类别 N-1 /	钨极型号 钨钨极 直径 $\phi 4\text{mm}$							
化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	V	W	Ti	B
	0.13 0.10	0.31 0.57	0.55 0.55	0.018 0.011	0.010 0.009	1.06 4.6	0.33 0.61	0.26 0.36	/ 0.34	/ 0.20	/ 0.010
力学性能	σ_b/MPa	521,509 554,561		σ_s/MPa	/		$\delta_5/\%$	/		A_K/J	/
焊材	检验编号 _____										
	焊丝牌号 H10Cr5MoWVNbB 焊丝规格 $\phi 1.2\text{mm}$ 焊丝型号 / 焊剂牌号 /										
化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	V	Ti	Nb	B
	0.10	0.69	0.52	0.008	0.010	5.4	0.95	0.28	0.07	0.01	0.007
焊条	检验编号 _____										
	焊条牌号 / 焊条规格 / 焊条型号 /										
熔敷金属成分(%)	C	Si	Mn	P	S						
	/	/	/	/	/						

保护气体 Ar, 流量 10~12 L/min 其它气体 /, 流量 / L/min

预热及焊后热处理

预热温度 / 层间温度 / 后热温度 / 时间 /

消氢温度 / 时间 / 中间热处理温度 / 时间 /

焊后热处理温度 740~760 °C 时间 40 min

(续)

焊接工艺参数

电流种类 直流 极性 正接 基值电流 I_B 50A 脉冲电流 I_P 200A 热丝电压 4~6V 焊接速度: 第一层 v_1 6.5~7.2m/h 第二层 v_2 7.8~8m/h 送丝速度: 第一层 v_{s1} 18m/h 第二层 v_{s2} 50.4m/h 脉冲频率 1.4周/s 通断比 55%

操作技术

性能检验结果

拉伸试验

检验报告编号 _____

试样编号	试样形式	σ_b /MPa	σ_s /MPa	断裂位置	
PS30-1	板状	501 504	/	焊缝外	

定向弯曲

检验报告编号 _____

试样编号	试样形式	弯轴直径/mm	弯曲角度/(°)	检验结果
PS30-2	面弯 背弯	$d=4a$	180	合格

冲击韧性试验

检验报告编号 _____

试样编号	缺口形式	缺口位置	试验温度/°C	A_K /J
/	/	/	/	/

硬度试验结果(HV₁₀)

检验报告编号 _____

接头硬度(HV₁₀)

焊 缝	热 影 响 区	母 材
304,309	12Cr1MoV 侧 201,268 G106 侧 322,315	198,192 196,212

金相检验结果

检验报告编号 _____

宏 观	微 观	其 它 检 验
合 格	焊 缝 <u>B</u> 热影响区 <u>12Cr1MoV 侧 B+P+F</u> <u>G106 侧 B</u> 母 材 <u>12Cr1MoV 侧 P+F</u> <u>G106 侧 B</u>	/

无损探伤检验结果 RT合格 检验报告编号 _____

焊工 _____ 钢印号 _____ 焊工合格证号 _____

评定结论 合格

编 制		校 对		审 核		审 定	
日 期		日 期		日 期		日 期	

焊接工艺设计书

编号 No HSS-31

工艺评定编号 HPS-31

评定项目 锅炉受热面管对接 G106 钢管+铜 102 钢管 手工钨极氩弧焊接头

焊接方法 手工 TIG 自动化等级 手工 焊接位置 全位置 技术标准 ASME

接头坡口形式

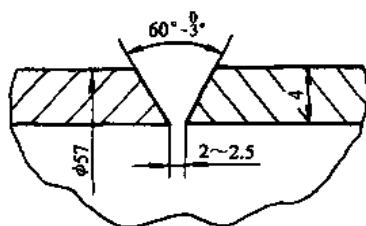


图 PS-31 左

焊接层次(顺序)

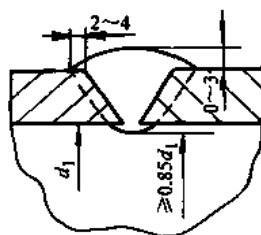


图 PS-31 右

焊接二层

对焊接接头的基本要求

1. 力学性能

σ_b /MPa	σ_s /MPa	δ_5 /%	弯曲角度/(°) ($d=4a$)	冲击试验			其它
				缺口形式	试验温度	A_k /J	
≥ 539	/	/	180	/	/	/	$HV_{10} \leq 350$

2. 其它 RT 检查 金相组织 宏观检查

母材	牌号 铜 102 G106 规格 $\phi 57 \times 4$ mm 类别 V					
焊接材料	焊条	焊条	型	钨极	焊	
	牌号 /	规格 /	号 /	型号 规格 钨极板 $\phi 2.5$ mm	剂 /	
	焊丝	焊丝	型	保护气 Ar	流量 8~10 L/min	
	牌号 H08Cr2MoWVTiB	规格 $\phi 2.5$ mm	号 /	其它气体 /	流量 /	
预热热处理	预热温度 / 层间温度 / 后热温度, 时间 / 消氢温度, 时间 / 中间热处理 / 时间 / 焊后热处理 740~760 °C 时间 40min					
	焊接工艺参数要求 电流种类 直流 极性 正接 焊接电流 180~95A U 10~12V					
操作技术要求						
编制		校 对		审 核		批 准
日 期		日 期		日 期		日 期

焊接工艺评定书

编号 No HPS-31设计书编号 No HSS-31评定项目 锅炉受热面管对接 G106 钢管+钢 102 钢管 手工钨极氩弧焊接头焊接方法 手工 TIG 自动化等级 手工 焊接位置 全位置 技术标准 ASME

接头坡口形式

焊接层次(顺序)

见图 PS-31 左

见图 PS-31 右

母材	检验编号 _____										
	牌号 <u>钢 102</u> <u>G106</u>		规格 <u>457×4</u> mm		类别 <u>V</u>		钨极型号 <u>钍钨极</u> 直径 <u>2.5mm</u>				
化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	V	W	Ti	B
	0.12	0.54	0.71	0.009	0.012	1.91	0.55	0.27	0.49	0.14	0.004
	0.10	0.57	0.55	0.011	0.009	4.60	0.61	0.36	0.34	0.20	0.010
力学性能	σ_b /MPa	615,656 672,561		σ_s /MPa	/		δ_5 /%	/		A_K /J	/
焊材	检验编号 _____										
	焊丝牌号 <u>H08Cr2MoWVTiB</u>		焊丝规格 <u>2.5mm</u>		焊丝型号 <u>/</u>		焊剂牌号 <u>/</u>				
化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	V	W	Ti	B
	0.10	0.57	0.55	0.011	0.009	2.20	0.61	0.36	0.34	0.20	0.010
焊条	焊条牌号 <u>/</u> 焊条规格 <u>/</u> 焊条型号 <u>/</u> 检验编号 <u>/</u> <u>/</u>										
熔敷金属成分(%)	C	Si	Mn	P	S						
	/	/	/	/	/						

保护气体 Ar 流量 6~8 L/min 其它气体 / 流量 / L/min

预热及焊后热处理

预热温度 / 层间温度 / 后热温度 / 时间 /消氢温度 / 时间 / 中间热处理温度 / 时间 /焊后热处理温度 740~760 °C 时间 40min

(续)

焊接工艺参数

电流种类 直流 极性 正接 I 80~95A U 10~12V

操作技术

性能检验结果

拉伸试验

检验报告编号 _____

试样编号	试样形式	σ_b /MPa	σ_t /MPa	断裂位置	
PS31-1	板状	612 730	/	焊缝外	

定向弯曲

检验报告编号 _____

试样编号	试样形式	弯轴直径/mm	弯曲角度/(°)	检验结果
PS31-2	面弯 背弯	$d=4a$	180	合 格

冲击韧性试验

检验报告编号 _____

试样编号	缺口形式	缺口位置	试验温度/°C	A_K /J
/	/	/	/	/

硬度试验结果(HV₁₀)

检验报告编号 _____

焊 缝	热 影 响 区	母 材
254,232	钢 102 侧 268,274 G106 侧 252,242	197 197

金相检验结果

检验报告编号 _____

宏 观	微 观	其 它 检 验
合 格	焊 缝 <u>B</u> 两侧热影响区 <u>B</u> 母 材 <u>(两侧)B</u>	/

无损探伤检验结果 RT 合格 检验报告编号 _____

焊工 _____ 钢印号 _____ 焊工合格证号 _____

评定结论 合格

编 制		校 对		审 核		审 定	
日 期		日 期		日 期		日 期	

焊接工艺设计书

编号 No HSS-32

工艺评定编号 HPS-32

评定项目 锅炉受热面管对接 TP304H 钢管+钢 102 钢管 $\phi 57\text{mm} \times 5\text{mm}$ 全位置自动钨极氩弧焊接头

焊接方法 全位置自动 TIG 自动化等级 自动 焊接位置 平 技术标准 ASME

接头坡口形式

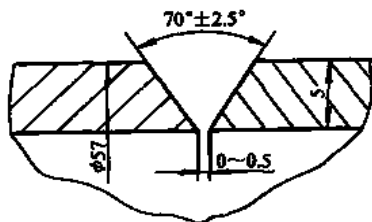


图 PS-32 左

焊接层次(顺序)

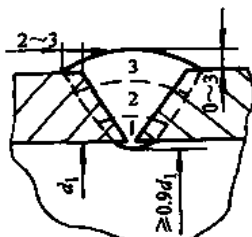


图 PS-32 右

焊接三层,首
层焊接时管子
内部充 Ar 气保
护

对焊接接头的基本要求

1. 力学性能

σ_s/MPa	σ_t/MPa	$\delta_5/\%$	弯曲角度/(°) ($d=4a$)	冲击试验			其它
				缺口形式	试验温度	A_K/J	
≥ 515	/	/	180	/	/	/	$HV_{10} \leq 350$

2. 其它 RT 检查 金相组织 宏观检查

母材	牌号 钢 102 TP304H	规格 $\phi 57 \times 5$ mm	类别 V P8				
焊接材料	焊条	焊条	型	钨极 型号	焊		
	牌号 /	规格 /	号 /	规格 钨钨极 $\phi 2.5\text{mm}$	剂 /		
	焊丝	焊丝	型	保护气 Ar	流量 9~10L/min		
	牌号 Inconel-82	规格 $\phi 0.8\text{mm}$	号 /	其它气体 背面保护 Ar 气	流量 3~4L/min		
预热 热处 后理	预热温度 / 层间温度 $\leq 200^{\circ}\text{C}$ 后热温度, 时间 / 消氢温度, 时间 / 中间热处理 / 时间 / 焊后热处理 760~780 时间 40min						
焊接 工艺 参数 要求	电流种类 直流 极性 正接 焊接电流: 第一层 I_1 110~115A 第二~四层 I_2 105A 电弧电压: U 10~12V 电弧间距 2~3mm 焊接速度: v_1 1.9~2m/h 第二~四层 v_2 2.6~3m/h 送丝速度: v_{s1} 16.2m/h 第二~四层 v_{s2} 18.27m/h 摆动速度: 5~11mm/min 摆幅: 第二层 2~3mm 第三层 6~7mm 两端停留时间 0.3s/0.3s						
操作 技术 要求	第二层开始摆动焊丝, 焊接第一层时, 管子内部充 Ar 气保护						
编 制		校 对		审 核		批 准	
日 期		日 期		日 期		日 期	

焊接工艺评定书

编号 No HPS-32设计书编号 No HSS-32评定项目 锅炉受热面管对接 TP304H 钢管+钢 102 钢管 φ57mm×5mm 全位置自动钨极氩弧焊接头焊接方法 全位置自动 TIG 自动化等级 自动 焊接位置 全位置 技术标准 ASME

接头坡口形式

焊接层次(顺序)

见图 PS-32 左

见图 PS-32 右

母材	检验编号_____							钨极型号 铸钨极 直径 φ2.5mm				
	牌号 钢 102 TP304H	规格 φ57×5 mm	类别 V P8									
化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	V	W	Ti	B	Ni
	0.10 0.10	0.54 0.60	0.54 1.16	0.012 0.011	0.008 0.014	1.92 18.35	0.55 /	0.22 /	0.45 /	0.09 /	0.005 /	/ 8.90
力学性能	σ _b /MPa 631,612 584,563		σ _s /MPa /		δ ₅ /%		/		A _K /J		/	
焊材	检验编号_____											
	焊丝牌号 Inconel-82		焊丝规格 φ0.8mm		焊丝型号 ERNiCr-3		焊剂牌号 /					
化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ti	Nb	Ni			
	0.08	0.44	3.1	0.008	0.009	20.15	0.44	2.56	余量			
焊条	焊条牌号 / 焊条规格 / 焊条型号 / 检验编号_____											
熔敷金属成分(%)	C	Si	Mn	P	S							
	/	/	/	/	/							

保护气体 Ar, 流量 9~10 L/min 其它气体 背面保护 Ar 气, 流量 3~4 L/min

预热及焊后热处理

预热温度 / °C 层间温度 ≤200°C 后热温度 / 时间 /消氢温度 / 时间 / 中间热处理温度 / 时间 /焊后热处理温度 760~780 °C 时间 40min

(续)

焊接工艺参数

电流种类 直流 极性 正接 焊接电流: 第一层 I_1 110~115A 第二~四层 I_2 105A 电弧电压: U 10~12V
 电弧间距 2~3mm 焊接速度: 第一层 v_1 1.9~2m/h 第二~四层 v_2 2.6~3m/h 送丝速度: v_{s1} 16.2m/h 第二~
 四层 v_{s2} 18.27m/h 摆动速度 5~11mm/min 摆幅: 第二层 2~3mm 第三层 6~7mm 电弧两端停留时间 0.3s/
 0.3s

操作技术

焊接 3~4 层, 第二层开始摆动焊。焊接第一层时, 管子内部充 Ar 气保护

性能检验结果

拉伸试验

检验报告编号 _____

试样编号	试样形式	σ_b /MPa	σ_s /MPa	断裂位置	
PS32-1	板状	575.3 597.8	/	焊缝外	

定向弯曲

检验报告编号 _____

试样编号	试样形式	弯轴直径/mm	弯曲角度/(°)	检验结果
PS32-2	面弯 背弯	$d=4a$	180	合 格

冲击韧性试验

检验报告编号 _____

试样编号	缺口形式	缺口位置	试验温度/°C	A_k /J
/	/	/	/	/

硬度试验结果(HV₁₀)

检验报告编号 _____

焊 缝	热 影 响 区	母 材
196, 201	钢 102 侧 309, 266 TP304H 侧 249, 221	228 209

金相检验结果

检验报告编号 _____

宏 观	微 观	其 它 检 验
合 格	焊 缝 <u>A+F</u> 热影响区 <u>钢 102 侧 B</u> <u>TP304H 侧 A+F</u> 母 材 <u>钢 102 侧 B</u> <u>TP304H 侧 A</u>	/

无损探伤检验结果 RT 合格 检验报告编号 _____

焊工 _____ 钢印号 _____ 焊工合格证号 _____

评定结论 合格

编 制		校 对		审 核		审 定	
日 期		日 期		日 期		日 期	

焊接工艺设计书

编号 No HSS-33

工艺评定编号 HPS-33

评定项目 锅炉受热面管对接 TP304H 钢管+钢 102 钢管 $\phi 60\text{mm} \times 7.5\text{mm}$ 手工钨极氩弧焊接头

焊接方法 手工 TIG 自动化等级 手工 焊接位置 全位置 技术标准 ASME

接头坡口形式

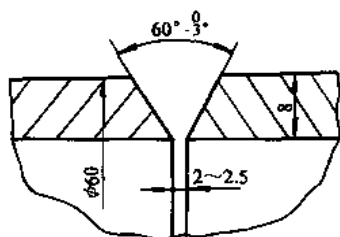
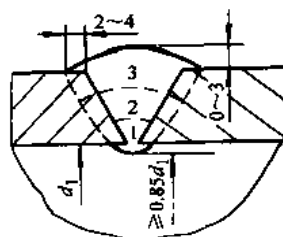


图 PS-33 左

焊接层次(顺序)



第一层焊接
时管内部充 Ar
气保护, 焊接三
层

图 PS-33 右

对焊接接头的基本要求

1. 力学性能

σ_b/MPa	σ_t/MPa	$\delta_5/\%$	弯曲角度/(°) ($d=4a$)	冲击试验			其它
				缺口形式	试验温度/°C	A_K/J	
≥ 515	/	/	180	/	/	/	$HV_{10} \leq 350$

2. 其它 RT 检查 金相组织 宏观检查

母材	牌号 钢 102 TP304H	规格 $\phi 60 \times 7.5$ mm	类别 V P8			
焊接材料	焊条	焊条	型	钨极	焊	
	牌号 /	规格 /	号 /	型号 钨极 $\phi 2.5\text{mm}$	剂 /	
	焊丝	焊丝	型	保护气 Ar	流量 10~12L·min	
	牌号 Inconel-82	规格 $\phi 2.5\text{mm}$	号 /	其它气体 背面保护 Ar 气	流量 6~8L·min	
预热 热处理 后理	预热温度 /	层间温度 $\leq 200^{\circ}\text{C}$	后热温度, 时间 $^{\circ}\text{C}/\text{h}$	消氢温度, 时间 /		
	中间热处理 /	时间 /	焊后热处理 750~780 $^{\circ}\text{C}$	时间 50min		
焊接工艺参数要求	电流种类 直流 极性 正接 焊接电流 I 90~110A 电弧电压 U 12~14V					
操作技术要求	焊接第一层时, 管内充 Ar 气保护					
编 制		校 对		审 核		批 准
日 期		日 期		日 期		日 期

焊接工艺评定书

编号 No HPS-33设计书编号 No HSS-33评定项目 锅炉受热面管对接 TP304H 钢管+钢 102 钢管 $\phi 60\text{mm} \times 7.5\text{mm}$ 手工钨极氩弧焊接头焊接方法 手工 TIG 自动化等级 手工 焊接位置 全位置 技术标准 ASME

接头坡口形式

见图 PS-33 左

焊接层次(顺序)

见图 PS-33 右

母材	检验编号 _____											
	牌号	钢 102 TP304H		规格	$\phi 60 \times 7.5$ mm		类别	V P8		钨极型号	钍钨极 直径 $\phi 2.5\text{mm}$	
化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	V	Ti	W	B	Ni
	0.11	0.38	0.54	0.011	0.013	1.92	0.55	0.32	0.09	0.45	0.005	/
	0.10	0.54	1.18	0.009	0.011	18.8	/	/	/	/	/	9.41
力学性能	σ_b/MPa	624,613 565,590		σ_s/MPa	/		$\delta_5/\%$	/		A_K/J	/	
焊材	检验编号 _____											
	焊丝牌号	Inconel-82		焊丝规格	$\phi 2.5\text{mm}$		焊丝型号	ERNiCr-3		焊剂牌号	/	
化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ti	Nb	Ni			
	0.08	0.29	3.1	0.009	0.005	20.15	0.41	2.50	余量			
焊条	焊条牌号 _____ / 焊条规格 _____ / 焊条型号 _____ / 检验编号 _____											
熔敷金属成分(%)	C	Si	Mn	P	S							
	/	/	/	/	/							

保护气体 Ar, 流量 10~12 L/min 其它气体 背面保护 Ar 气, 流量 3~4 L/min

预热及焊后热处理

预热温度 / 层间温度 $\leq 200^\circ\text{C}$ 后热温度 / 时间 /消氢温度 / 时间 / 中间热处理温度 / 时间 /焊后热处理温度 750~780 $^\circ\text{C}$ 时间 50 min

(续)

焊接工艺参数

电流种类 直流 极性 正接 I 90~110A U 12~14V

操作技术

焊接首层时,管内充 Ar 气保护

性能检验结果

拉伸试验

检验报告编号 _____

试样编号	试样形式	σ_b /MPa	σ_s /MPa	断裂位置	
PS33-1	板状	609.6 670.3	/	焊缝外	

定向弯曲

检验报告编号 _____

试样编号	试样形式	弯轴直径/mm	弯曲角度/(°)	检验结果
PS33-2	面弯 背弯	$d=4a$	180	合格

冲击韧性试验

检验报告编号 _____

试样编号	缺口形式	缺口位置	试验温度/°C	A_K /J
/	/	/	/	/

硬度试验结果(HV₁₀)

检验报告编号 _____

焊 缝	热 影 响 区	母 材
201,205	钢 102 侧 256,260 TP304H 侧 232,198	236,235 228,227

金相检验结果

检验报告编号 _____

宏 观	微 观	其 它 检 验
合格	焊 缝 <u>A+F</u> 热影响区 <u>钢 102 侧 B</u> <u>TP304 侧 A+F</u> 母 材 <u>钢 102 侧 B</u> <u>TP304 侧 A</u>	/

无损探伤检验结果 RT 合格 检验报告编号 _____

焊工 _____ 钢印号 _____ 焊工合格证号 _____

评定结论 合格

编 制		校 对		审 核		审 定	
日 期		日 期		日 期		日 期	

焊接工艺设计书

编号 No HSS-34

工艺评定编号 HPS-34

评定项目 锅炉受热面管对接 12Cr1MoV 钢管+TP347H 钢管 $\phi 60\text{mm} \times 7.5\text{mm}$ 手工钨极氩弧焊

焊接方法 手工 TIG 自动化等级 手工 焊接位置 全位置 技术标准 ASME

接头坡口形式

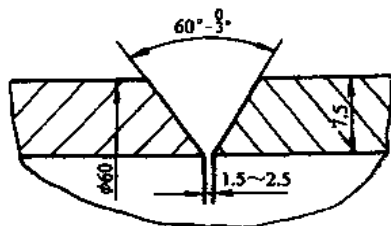


图 PS-34 左

焊接层次(顺序)

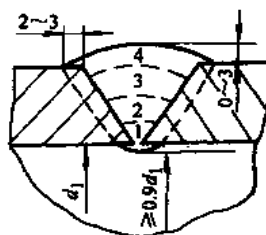


图 PS-34 右

焊接三~四
层,首层焊接时
管子内部充 Ar
气保护

对焊接接头的基本要求

1. 力学性能

σ_b/MPa	σ_s/MPa	$\delta_5/\%$	弯曲角度/(°) ($d=4a$)	冲击试验			其 它
				缺口形式	试验温度	A_K/J	
≥ 471	/	/	180	/	/	/	$HV_{10} \leq 350$

2. 其它 RT 检查 金相组织 宏观检查

母材	牌号 12Cr1MoV TP347H	规格 $\phi 60 \times 7.5$ mm	类别 N-2 P8			
焊接材料	焊条	焊条	型	钨极	焊	
	牌号 /	规格 /	号 /	型号 钨极 $\phi 2.5\text{mm}$	剂 /	
	焊丝	焊丝	型	保护气 Ar	流量 10~12L/min	
	牌号 Inconel-82	规格 $\phi 2.5\text{mm}$	号 ERNiCr-3	其它气体背面保护 Ar 气	流量 6~8L/min	
预热 焊后 处理	预热温度 / °C 层间温度 $\leq 200^\circ\text{C}$ 后热温度, 时间 / 消氢温度, 时间 / 中间热处理 / °C 时间 / h 焊后热处理 710~740°C 时间 40min					
焊接工艺参数要求	电流种类 直流 极性 正接 焊接电流 I 90~110A 电弧电压 U 12~14V					
操作技术要求	焊接首层时管内充 Ar 气保护					

编 制		校 对		审 核		批 准	
日 期		日 期		日 期		日 期	

焊接工艺评定书

编号 No HPS-34设计书编号 No HSS-34评定项目 锅炉受热面管对接 TP347H 钢管+12Cr1MoV 钢管 $\phi 60\text{mm} \times 7.5\text{mm}$ 手工钨极氩弧焊接头焊接方法 手工 TIG 自动化等级 手工 焊接位置 全位置 技术标准 ASME

接头坡口形式

焊接层次(顺序)

见图 PS-34 左

见图 PS-34 右

母材	检验编号 _____										
	牌号 <u>12Cr1MoV</u> <u>TP347H</u>	规格 <u>$\phi 60 \times 7.5\text{mm}$</u>	类别 <u>N-2</u> <u>P8</u>	钨极型号 <u>钍钨极</u> 直径 <u>$\phi 2.5\text{mm}$</u>							
化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	V	Ni	Nb+Ta	
	0.10	0.26	0.54	0.014	0.010	0.95	0.36	0.28	/	/	
	0.10	0.54	0.54	0.009	0.003	19.20	/	/	8.90	0.88	
力学性能	σ_b/MPa	532,518 528,531		σ_s/MPa	/		$\delta_5/\%$	/		A_K/J	/
	检验编号 _____										
焊材	焊丝牌号 <u>Inconel-82</u> 焊丝规格 <u>$\phi 2.5\text{mm}$</u> 焊丝型号 <u>ERNiCr-3</u> 焊剂牌号 <u>/</u>										
化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ti	Nb+Ta	Ni		
	0.08	0.29	3.1	0.009	0.005	20.15	0.41	2.50	余量		
焊条	焊条牌号 <u>/</u> 焊条规格 <u>/</u> 焊条型号 <u>/</u> 检验编号 _____										
熔敷金属成分(%)	C	Si	Mn	P	S						
	/	/	/	/	/						

保护气体 Ar ,流量 10~12 L/min 其它气体 背面保护 Ar 气 ,流量 3~4 L/min

预热及焊后热处理

预热温度 / 层间温度 $\leq 200^\circ\text{C}$ 后热温度 / 时间 /消氢温度 / 时间 / 中间热处理温度 / 时间 /焊后热处理温度 710~740 $^\circ\text{C}$ 时间 40min

(续)

焊接工艺参数

电流种类 直流 极性 正接 I 90~110A U 12~14V

操作技术

焊接第一层时,管子内部充 Ar 气保护

性能检验结果

拉伸试验

检验报告编号 _____

试样编号	试样形式	σ_b /MPa	σ_s /MPa	断裂位置	
PS34-1	板状	551 512	/	焊缝外	

定向弯曲

检验报告编号 _____

试样编号	试样形式	弯曲直径/mm	弯曲角度/(°)	检验结果
PS34-2	面弯 背弯	$d=4a$	180	合格

冲击韧性试验

检验报告编号 _____

试样编号	缺口形式	缺口位置	试验温度/°C	A_K /J
/	/	/	/	/

硬度试验结果(HV₁₀)

检验报告编号 _____

焊 缝	热 影 响 区	母 材
198,221	12Cr1MoV 侧 224,256 TP347H 侧 287,269	194,201 193,198

金相检验结果

检验报告编号 _____

宏 观	微 观	其 它 检 验
合格	焊 缝 <u>A</u> 热影响区 <u>12Cr1MoV 侧 B+F+P</u> <u>TP347H 侧 A</u> 母 材 <u>12Cr1MoV 侧 F+P</u> <u>TP347H 侧 A</u>	/

无损探伤检验结果 RT 合格 检验报告编号 _____

焊工 _____ 钢印号 _____ 焊工合格证号 _____

评定结论 合格

编 制	校 对	审 核	审 定
日 期	日 期	日 期	日 期

焊接工艺设计书

编号 No HSS-35

工艺评定编号 HPS-35

评定项目 锅炉受热面管对接 TP347H 钢管+12Cr1MoV 钢管 全位置自动钨极氩弧焊接头

焊接方法 全位置自动 TIG 自动化等级 自动 焊接位置 全位置 技术标准 ASME

接头坡口形式

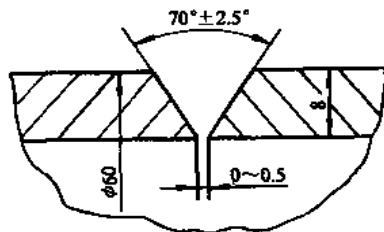


图 PS-35 左

焊接层次(顺序)

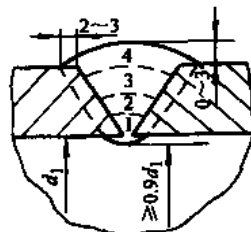


图 PS-35 右

焊接四层第
一层焊接时管
子内部充 Ar 气
保护

对焊接接头的基本要求

1. 力学性能

σ_b /MPa	σ_s /MPa	δ_5 /%	弯曲角度/(°) ($d=4a$)	冲击试验			其 它
				缺口形式	试验温度	A_K /J	
≥ 471	/	/	180	/	/	/	$HV_{10} \leq 350$

2. 其它 RT 检查 金相组织 宏观检查

母材	牌号 12Cr1MoV TP347H	规格 $\phi 60 \times 8$ mm	类别 N-2 P8			
焊接材料	焊条	焊条	型	钨极 型号	焊	
	牌号 /	规格 /	号 /	规格 钨极 $\phi 2.5$ mm	剂 /	
	焊丝	焊丝	型	保护气 Ar	流量 10~12 L/min	
	牌号 Inconel-82	规格 $\phi 0.8$ mm	号 ERNiCr-3	其它气体背面保护 Ar 气	流量 3~4 L/min	
预热 热处 后理	预热温度 / 层间温度 $\leq 200^\circ\text{C}$ 后热温度, 时间 / 消氢温度, 时间 / 中间热处理 / 时间 / 焊后热处理 $720 \sim 740^\circ\text{C}$ 时间 50 min					
焊接 工艺 参数 要求	电流种类 直流 极性 正接 焊接电流 第一层 I_1 110~115 A 第二~四层 I_2 100~105 A 电弧电压 $U_{10 \sim 12}$ V 电弧间距 2~3 mm 焊接速度第一层 v_1 1.9~2 m/h 第二~四层 v_2 2.6~3 m/h 送丝速度, 第一层 v_{s1} 16.2 m/h 第二~四层 v_{s2} 18.3 m/h 摆动速度 5~11 m/min 摆幅: 第二层 2~3 mm 第三层 6~7 mm 第四 层 8~9 mm 电弧两端停留时间 0.3 s/0.3 s					
操作 技术 要求	焊接第一层时, 管内部充 Ar 气保护, 第二层开始摆动焊丝					
编 制		校 对		审 核		批 准
日 期		日 期		日 期		日 期

焊接工艺评定书

编号 No HPS-35设计书编号 No HSS-35评定项目 锅炉受热面管对接 TP347H 钢管+12Cr1MoV 钢管 全位置自动钨极氩弧焊接头焊接方法 全位置自动 TIG 自动化等级 自动 焊接位置 全位置 技术标准 ASME

接头坡口形式

见图 PS-35 左

焊接层次(顺序)

见图 PS-35 右

母材	检验编号						钨极型号 钨钨板 直径 $\phi 2.5\text{mm}$				
	牌号 12Cr1MoV TP347H	规格 $\phi 60 \times 8$ mm		类别 N-2 P8							
化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	V	Ni	Nb+Ta	
	0.10	0.26	0.45	0.014	0.009	0.98	0.41	0.26			
	0.11	0.58	1.01	0.009	0.004	18.50	/	/	9.0	0.80	
力学性能	σ_b /MPa	521,558 562,551		σ_s /MPa	/		δ_5 /%	/		A_K /J	/
焊材	检验编号										
	焊丝牌号 Inconel-82		焊丝规格 $\phi 0.8\text{mm}$		焊丝型号 ERNiCr-3		焊剂牌号 /				
化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ti	Nb	Ni		
	0.08	0.44	3.10	0.009	0.005	20.15	0.44	2.56	余量		
焊条	焊条牌号 / 焊条规格 / 焊条型号 / 检验编号										
熔敷金属成分(%)	C	Si	Mn	P	S						
	/	/	/	/	/						

保护气体 Ar, 流量 10~12 L/min 其它气体 背面保护 Ar 气, 流量 3~4 L/min

预热及焊后热处理

预热温度 / 层间温度 ≤200°C 后热温度 / 时间 /消氢温度 / 时间 / 中间热处理温度 / 时间 /焊后热处理温度 720~740 °C 时间 50min

(续)

焊接工艺参数

电流种类 直流 极性 正接 焊接电流: 第一层 I_1 110~115A 第二~四层 I_2 100~105A 电弧电压: U 10~12V 电弧间距 2~3mm 焊接速度: v_1 1.9~2m/h 第二~四层 v_2 2.6~3m/h 送丝速度: 第一层 v_{s1} 16.2m/h 第二~四层 v_{s2} 18~19m/h 焊丝摆动速度 5~11mm/s 摆幅: 第二层 3~3.5mm 第三层 6~7mm 第四层 8~9mm 电弧两端停留时间 0.3s/0.3s

操作技术

焊接第一层时管子内部充 Ar 气保护, 第二层开始摆动焊

性能检验结果

拉伸试验

检验报告编号 _____

试样编号	试样形式	σ_b /MPa	σ_t /MPa	断裂位置	
PS35-1	板状	638 647.8	/	焊缝外	

定向弯曲

检验报告编号 _____

试样编号	试样形式	弯轴直径/mm	弯曲角度/(°)	检验结果
PS35-2	面弯 背弯	$d=4a$	180	合格

冲击韧性试验

检验报告编号 _____

试样编号	缺口形式	缺口位置	试验温度/°C	A_K /J
/	/	/	/	/

硬度试验结果(HV₁₀)

检验报告编号 _____

焊 缝	热 影 响 区	母 材
196,200	12Cr1MoV 侧 230,216 TP347H 侧 205,215	206,201 182,178

金相检验结果

检验报告编号 _____

宏 观	微 观	其 它 检 验
合 格	焊 缝 A+F 热影响区 12Cr1MoV 侧 F+P TP347H 侧 A+F 母 材 12Cr1MoV 侧 F+P TP347H 侧 A	/

无损探伤检验结果 RT 合格 检验报告编号 _____

焊工 _____ 钢印号 _____ 焊工合格证号 _____

评定结论 合格

编 制		校 对		审 核		审 定	
日 期		日 期		日 期		日 期	

焊接工艺设计书

编号 No HSS-36

工艺评定编号 HPS-36

评定项目 锅炉受热面管异种钢管对接 15CrMo 钢管+TP347H 钢管 全位置自动钨极氩弧焊接头

焊接方法 自动全位置 TIG 自动化等级 自动 焊接位置 全位置 技术标准 ASME

接头坡口形式

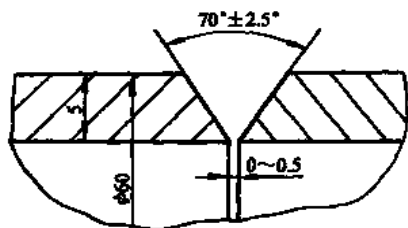
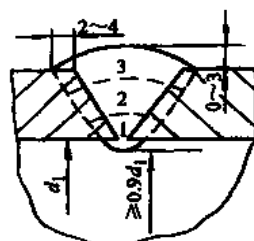


图 PS-36 左

焊接层次(顺序)



焊接四层
一层焊接时管
子内部充 Ar 气
保护

图 PS-36 右

对焊接接头的基本要求

1. 力学性能

σ_b /MPa	σ_s /MPa	δ_5 /%	弯曲角度/(°) ($d=4a$)	冲击试验			其它
				缺口形式	试验温度	A_K /J	
≥441	/	/	180	/	/	/	HV ₁₀ ≤350

2. 其它 RT 检查 金相组织 宏观检查

母材	牌号 15CrMo TP347H	规格 φ60×5 mm	类别 N-1 P8			
焊接材料	焊条 牌号 /	焊条 规格 /	型 号 /	钨极 型号 规格 钨钨极 φ2.5mm	焊 剂 /	
	焊丝 牌号 Inconel-82	焊丝 规格 φ0.8mm	型 号 ERNiCr-3	保护气 Ar	流量 10~12L/min	
				其它气体背面保护 Ar	流量 3~4L/min	
预热 焊后 处理	预热温度 / 层间温度 ≤200°C 后热温度, 时间 / 消氢温度, 时间 / 中间热处理 / 时间 / 焊后热处理 °C 时间 50min					
焊接 工艺 参数 要求	电流种类 直流 极性 正接 焊接电流 I 100~115A U 10~12V 电弧间距 2~3mm 焊接速度: 第 一层 v_1 2m/h 第二~三层 2~4m/h 送丝速度: 第一层 v_{s1} 13~23m/h 第二~三层 24m/h 焊丝摆动速度: 5 ~11mm/s 摆幅: 第二层 3mm 第三层 6~7mm 两端停留时间 0.5s/0.5s					
操作 技术 要求	第一层焊接时管子内部充 Ar 气保护, 第二层开始摆动焊					
编 制		校 对		审 核		批 准
日 期		日 期		日 期		日 期

焊接工艺评定书

编号 No HPS-36设计书编号 No HSS-36

评定项目 锅炉受热面管异种钢管对接 15CrMo 钢管+TP347H 钢管 自动全位置钨极氩弧焊接头

焊接方法 自动全位置 TIG 自动化等级 自动 焊接位置 全位置 技术标准 ASME

接头坡口形式

见图 PS-36 左

焊接层次(顺序)

见图 PS-36 右

焊接 3 层, 第一层
焊接时, 管内部充
Ar 气保护

母材	检验编号 _____									
	牌号 <u>15CrMo</u> <u>TP347H</u>	规格 <u>φ60×5</u> mm	类别 <u>N-1</u> <u>P8</u>	钨极型号 <u>钨钨极</u> 直径 <u>φ2.5</u> mm						
化学成分 (%)	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	Nb+Ta	
	0.13 0.085	0.29 0.59	0.55 1.2	0.018 0.008	0.011 0.010	0.95 17.95	0.47 /	/	0.88	
力学性能	σ _b /MPa	540,551 556,587	σ _s /MPa	/		δ ₅ /%	/		A _K /J	/
焊材	检验编号 _____									
	焊丝牌号 <u>Inconel-82</u>	焊丝规格 <u>φ0.8mm</u>	焊丝型号 <u>ERNiCr-3</u>	焊剂牌号 <u>/</u>						
化学成分 (%)	C	Si	Mn	P	S	Cr	Nb	Ti	Ni	
	0.08	0.44	3.10	0.009	0.005	20.15	2.56	0.04	余量	
焊条	检验编号 _____									
	焊条牌号 <u>/</u>	焊条规格 <u>/</u>	焊条型号 <u>/</u>							
熔敷金属成分 (%)	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	Nb+Ta	
	/	/	/	/	/	/	/	/	/	

保护气体 Ar 流量 10~12 L/min 其它气体 背面保护 Ar 流量 3~4 L/min

预热及焊后热处理

预热温度 / 层间温度 ≤200°C 后热温度 / 时间 / h

消氢温度 / 时间 / 中间热处理温度 / 时间 / h

焊后热处理温度 / 时间 / h

(续)

焊接工艺参数

电流种类 直流 极性 正接 I 100~115A U 10~12V 电弧间距: 2~3mm 焊接速度: 第一层 v_1 2m/h 第二~三层 v_2 2.4m/h 送丝速度: 第一层 v_{s1} 13~23m/h 第二~三层 v_{s2} 24m/h 焊丝摆动速度 5~11mm/s 摆幅: 第二层 3mm 第三层 6~7mm 两端停留时间 0.5s/0.5s

操作技术

焊接第一层时管子内部充 Ar 气保护, 第二层开始摆动焊

性能检验结果

拉伸试验

检验报告编号 _____

试样编号	试样形式	σ_b /MPa	σ_s /MPa	断裂位置	
PS36-1	板状	549.8 541.9	/	焊缝外	

定向弯曲

检验报告编号 _____

试样编号	试样形式	弯轴直径/mm	弯曲角度/(°)	检验结果
PS36-2	面弯 背弯	$d=4a$	180	合格

冲击韧性试验

检验报告编号 _____

试样编号	缺口形式	缺口位置	试验温度/°C	A_K /J
/	/	/	/	/

硬度试验结果(HV₁₀)

检验报告编号 _____

焊 缝	热 影 响 区	母 材
176, 160	15CrMo 侧 180, 178 TP347H 侧 188, 260	178, 182 236, 212

金相检验结果

检验报告编号 _____

宏 观	微 观	其 它 检 验
合 格	焊 缝 A+F 热影响区 15CrMo 侧 B TP347H 侧 A+F 母 材 15CrMo 侧 F+P TP347H 侧 A	/

无损探伤检验结果 RT 合格 检验报告编号 _____

焊工 _____ 钢印号 _____ 焊工合格证号 _____

评定结论 合格

编 制		校 对		审 核		审 定	
日 期		日 期		日 期		日 期	

焊接工艺设计书

编号 No HSS-37

工艺评定编号 HPS-37

评定项目 锅炉受热面管与密封板角接 手弧焊接头

焊接方法 SMAW 自动化等级 手工 焊接位置 横 技术标准 ASME

接头坡口形式

焊接层次(顺序)

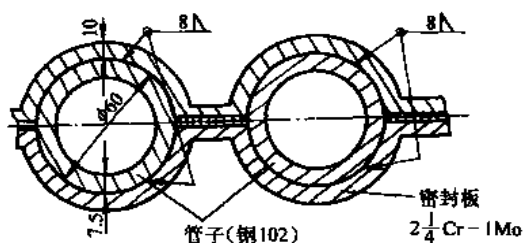


图 PS-37

对焊接接头的基本要求

1. 力学性能

σ_b /MPa	σ_s /MPa	δ_5 /%	弯曲角度/(°) ($d=4a$)	冲击试验			其它
				缺口形式	试验温度	A_k /J	
/	/	/	/	/	/	/	HV ₁₀ ≤ 350

2. 其它 MT 检查 金相组织 宏观检查

母材	牌号 钢 102 2 1/4 Cr-1 Mo 规格 $\phi 60 \times 7.5$ $\delta 10$ mm 类别 V					
焊接材料	焊条	焊条	型	钨极	焊	
	牌号 R407	规格 $\phi 4$ mm	号 E6015-B3	型号	剂	
	焊丝	焊丝	型	规格	流量	/ L/min
	牌号 /	规格 /	号 /	保护气 /	流量	/ L/min
预热 焊后 处理	预热温度 200~250°C 层间温度 200~350°C 后热温度, 时间 / °C/h 消氢温度, 时间 / °C/h					
	中间热处理 / °C 时间 / h 焊后热处理 680~700°C 时间 1h					
焊接工艺参数要求	电流种类 直流 极性 反接 焊接电流 I 160~180A 电弧电压 U 22~24V					
操作技术要求						
编制		校 对		审 核		批 准
日 期		日 期		日 期		日 期

焊接工艺评定书

编号 No HPS-37设计书编号 No HSS-37评定项目 锅炉受热面管与密封板角接 手弧焊接头焊接方法 SMAW 自动化等级 手工 焊接位置 横 技术标准 ASME

接头坡口形式

焊接层次(顺序)

见图 PS-37

母材	检验编号 _____										
	牌号 <u>钢 102</u> <u>2 1/4Cr-1Mo</u>	规格 <u>φ60×7.5</u> <u>δ10</u>	mm	类别 <u>V</u>	钨极型号 _____ / 直径 _____ / mm						
化学成分 (%)	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	V	W	Ti	B
	0.10	0.38	0.64	0.012	0.010	1.92	0.55	0.22	0.45	0.09	0.005
	0.12	0.31	0.54	0.018	0.009	2.30	1.04	/	/	/	/
力学性能	σ _b /MPa	/		σ _s /MPa	/		δ ₅ /%	/		A _K /J	/
焊材	检验编号 _____										
	焊丝牌号 _____ /		焊丝规格 _____ /		焊丝型号 _____ /		焊剂牌号 _____ /				
化学成分 (%)	C	Si	Mn	P	S						
	/	/	/	/	/						
焊条	焊条牌号 <u>R407</u> 焊条规格 <u>φ4mm</u> 焊条型号 <u>E6015-B3</u> 检验编号 _____										
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo				
熔敷金属成分 (%)	0.06	0.17	0.71	0.011	0.006	2.24	0.90				

保护气体 _____ / 流量 _____ / L/min 其它气体 _____ / 流量 _____ / L/min

预热及焊后热处理

预热温度 200~250 °C 层间温度 200~350 °C 后热温度 _____ / 时间 _____ /

消氢温度 _____ / 时间 _____ / 中间热处理温度 _____ / 时间 _____ /

焊后热处理温度 690~700 °C 时间 _____ /

(续)

焊接工艺参数

电流种类 直流 极性 反接 焊接电流 I 160~180A 电弧电压 U 22~24V

操作技术

性能检验结果

拉伸试验

检验报告编号 _____

试样编号	试样形式	σ_b /MPa	σ_s /MPa	断裂位置	
/	/	/	/		

定向弯曲

检验报告编号 _____

试样编号	试样形式	弯轴直径/mm	弯曲角度/(°)	检验结果
/	/	$d=4a$	/	/

冲击韧性试验

检验报告编号 _____

试样编号	缺口形式	缺口位置	试验温度/°C	A_K /J
/	/	/	/	/

硬度试验结果(HV₁₀)

检验报告编号 _____

焊 缝	热 影 响 区	母 材
262,268	钢 102 侧 284,243 2 ¹ / ₄ Cr-1Mo 侧 235,236	243,251 213,224

金相检验结果

检验报告编号 _____

宏 观	微 观	其 它 检 验
4 只试样 合 格	焊 缝 <u>B</u> 热影响区 <u>两侧 B</u> 母 材 <u>钢 102 B</u> <u>2.25Cr-1Mo B+P+F</u>	/

无损探伤检验结果 MT 合格 检验报告编号 _____

焊工 _____ 钢印号 _____ 焊工合格证号 _____

评定结论 合格

编 制		校 对		审 核		审 定	
日 期		日 期		日 期		日 期	

焊接工艺设计书

编号 No HSS-38工艺评定编号 HPS-38评定项目 锅炉受热面管与密封板角接 手弧焊接头焊接方法 SMAW 自动化等级 手工 焊接位置 横焊 技术标准 ASME

接头坡口形式

焊接层次(顺序)

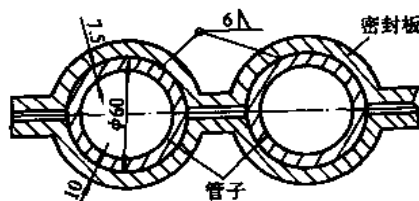


图 PS-38

对焊接接头的基本要求

1. 力学性能

σ_s /MPa	σ_t /MPa	δ_5 /%	弯曲角度/(°) ($d=4a$)	冲击试验			其它
				缺口形式	试验温度	A_K /J	
/	/	/	/	/	/	/	HV ₁₀ ≤350

2. 其它 MT 检查 金相宏观 组织检查

母材	牌号 <u>12Cr1MoV</u> <u>2¼Cr-1Mo</u>	规格 <u>φ60×7.5</u> <u>δ10 mm</u>	类别 <u>N-2</u> <u>V</u>				
焊接材料	焊条牌号 <u>R317</u> 焊丝牌号 <u>/</u>	焊条规格 <u>φ4mm</u> 焊丝规格 <u>/</u>	型号 <u>E5515-B₂-V</u> 型号 <u>/</u>	钨极型号规格 <u>/</u> 保护气 <u>/</u> 其它气体 <u>/</u>	焊剂 <u>/</u> 流量 <u>/L/min</u> 流量 <u>/</u>		
预热 焊后 热处理	预热温度 <u>200~250°C</u> 层间温度 <u>200~350°C</u> 后热温度, 时间 <u>/</u> 消氢温度, 时间 <u>/</u> 中间热处理 <u>/</u> 时间 <u>/</u> 焊后热处理 <u>680~700°C</u> 时间 <u>/</u>						
焊接 工艺 参数 要求	电流种类 <u>直流</u> 极性 <u>反接</u> 焊接电流 <u>I 160~180A</u> 电弧电压 <u>U 22~24V</u>						
操作 要求							
编 制		校 对		审 核		批 准	
日 期		日 期		日 期		日 期	

焊接工艺评定书

编号 No HPS-38设计书编号 No HSS-38评定项目 锅炉受热面管与密封板角接 手弧焊接头焊接方法 SMAW 自动化等级 手工 焊接位置 横焊 技术标准 ASME

接头坡口形式

焊接层次(顺序)

见图 PS-38

母材	牌 号		12Cr1MoV		规格		$\phi 60 \times 7.5$		检验编号			
	2 $\frac{1}{4}$ Cr-1Mo				$\delta 10$ mm				类别		W-2 V	
化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	V				
	0.105	0.26	0.56	0.011	0.009	1.03	0.28	0.21				
	0.12	0.31	0.54	0.018	0.009	2.30	1.04	/				
力学性能	σ_b /MPa		/		σ_s /MPa		/		δ_5 /%		/	
											A_K/J	
焊材	焊丝牌号		/		焊丝规格		/		焊丝型号		/	
									焊剂牌号		/	
化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S							
	/	/	/	/	/							
焊条	焊条牌号		R317		焊条规格		$\phi 4$ mm		焊条型号		E5515-B ₂ -V	
									检验编号			
熔敷金属成分(%)	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	V				
	0.08	0.16	0.61	0.009	0.008	1.26	0.45	0.13				

保护气体 / 流量 / L/min 其它气体 / 流量 / L/min

预热及焊后热处理

预热温度 200~250°C 层间温度 200~350°C 后热温度 / 时间 /

消氢温度 / 时间 / h 中间热处理温度 / 时间 /

焊后热处理温度 680~700 °C 时间 /

(续)

焊接工艺参数

电流种类 直流 极性 反接 焊接电流 I 160~180A 电弧电压 U 22~24V

操作技术

性能检验结果

拉伸试验

检验报告编号

试样编号	试样形式	σ_b /MPa	σ_t /MPa	断裂位置	
/	/	/	/	/	

定向弯曲

检验报告编号

试样编号	试验形式	弯轴直径/mm	弯曲角度/(°)	检验结果
/	/	$d=a$	/	/

冲击韧性试验

检验报告编号 /

试样编号	缺口形式	缺口位置	试验温度/°C	A_k /J
/	/	/	/	/

硬度试验结果(HV₁₀)

检验报告编号

焊 缝	热 影 响 区	母 材
235, 279	12Cr1MoV 侧 279, 235 2¼Cr1Mo 侧 265, 266	216, 228 155, 180

金相检验结果

检验报告编号

宏 观	微 观	其 它 检 验
4 个试样合格	焊缝 <u>B+F</u> 热影 12Cr1MoV 侧 F+P+B 响区 <u>2¼Cr-1Mo 侧 F+P+B</u> 母材 12Cr1MoV F+P <u>2¼Cr-1Mo F+P</u>	/

无损探伤检验结果 MT 合格 检验报告编号焊工 钢印号 焊工合格证号评定结论 合格

编 制		校 对		审 核		审 定	
日 期		日 期		日 期		日 期	

焊接工艺设计书

编号 No HSS-39工艺评定编号 HPS-39评定项目 20 万机组锅炉再热器冷段管排与集箱角接 手弧焊接头焊接方法 SMAW 自动化等级 手工 焊接位置 全位置 技术标准 锅规

接头坡口形式

焊接层次(顺序)

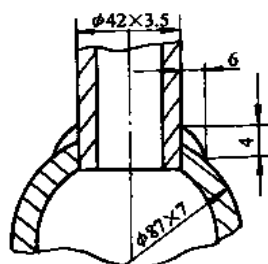


图 PS-39

对焊接接头的基本要求

1. 力学性能

σ_b /MPa	σ_s /MPa	δ_5 /%	弯曲角度/(°) ($d=a$)	冲击试验			其 它
				缺口形式	试验温度/°C	A_K /J	
/	/	/	/	/	/	/	$HV_{10} \leq 280$

2. 其它 MT 检查 金相宏观检查

母材	牌号 <u>20</u> 规格 <u>$\phi 42 \times 3.5$</u> 类别 <u>I-1</u> <u>$\phi 87 \times 7$ mm</u>						
焊接材料	焊条牌号 <u>J507</u> 焊条规格 <u>$\phi 3.2$mm</u> 型号 <u>E5015</u> 钨极型号规格 <u>/</u> 焊剂 <u>/</u> 焊丝牌号 <u>/</u> 焊丝规格 <u>/</u> 型号 <u>/</u> 保护气 <u>/</u> 流量 <u>/</u> L/min 其它气体 <u>/</u> 流量 <u>/</u> L/min						
预热 焊后 热处理	预热温度 <u>/</u> 层间温度 <u>$\leq 300^\circ\text{C}$</u> 后热温度, 时间 <u>/</u> 消氢温度, 时间 <u>/</u> 中间热处理 <u>/</u> 时间 <u>/</u> 焊后热处理 <u>/</u> 时间 <u>/</u>						
焊接 工艺 要求	电流种类 <u>直流</u> 极性 <u>反接</u> 焊接电流 <u>70~120A</u> 电弧电压 <u>U21~23V</u>						
操作 要求							
编 制		校 对		审 核		批 准	
日 期		日 期		日 期		日 期	

焊接工艺评定书

编号 No HPS-39设计书编号 No HSS-39评定项目 20 万机组锅炉再热器冷段管排与集箱角接 手弧焊接头焊接方法 SMAW 自动化等级 手工 焊接位置 全位置 技术标准 钢规

接头坡口形式

焊接层次(顺序)

见图 PS-39

母材	检验编号 _____ 牌号 <u>20</u> 规格 <u>φ42×3.5</u> 类别 <u>I-I</u> 钨极型号 <u>/</u> 直径 <u>/</u> <u>φ87×7 mm</u>									
	C	Si	Mn	P	S					
化学成分(%)	0.19	0.22	0.49	0.02	0.018					
	0.18	0.27	0.53	0.019	0.010					
力学性能	σ_b /MPa	/		σ_s /MPa	/		δ_5 /%	/		A_K /J
焊材	检验编号 _____ 焊丝牌号 <u>/</u> 焊丝规格 <u>/</u> 焊丝型号 <u>/</u> 焊剂牌号 <u>/</u>									
	C	Si	Mn	P	S					
化学成分(%)	/	/	/	/	/					
焊条	焊条牌号 <u>J507</u> 焊条规格 <u>φ3.2 mm</u> 焊条型号 <u>E5015</u> 检验编号 _____									
熔敷金属成分(%)	C	Si	Mn	P	S					
	0.08	0.25	1.15	0.009	0.011					

保护气体 / 流量 / L/min 其它气体 / 流量 / L/min

预热及焊后热处理

预热温度 / 层间温度 ≤300 °C 后热温度 / 时间 /消氢温度 / 时间 / 中间热处理温度 / 时间 /焊后热处理温度 / 时间 /

(续)

焊接工艺参数

电流种类 直流 极性 反接 焊接电流 190~120A 电弧电压 U 21~23V

操作技术

性能检验结果

拉伸试验

检验报告编号 _____

试样编号	试样形式	σ_b /MPa	σ_s /MPa	断裂位置	
/	/	/	/	/	

定向弯曲

检验报告编号 _____

试样编号	试验形式	弯轴直径/mm	弯曲角度/(°)	检验结果
/	/		/	/

冲击韧性试验

检验报告编号 _____

试样编号	缺口形式	缺口位置	试验温度/°C	A_K /J
/	/	/	/	/

硬度试验结果

检验报告编号 _____

接头硬度(HV₁₀)

焊 缝	热 影 响 区	母 材
198,212	223,240,252,261	201,188,167,182

金相检验结果

检验报告编号 _____

宏 观	微 观	其 它 检 验
4 只试样合格	/	/

无损探伤检验结果 MT 合格 检验报告编号 _____焊工 钢印号 焊工合格证号 评定结论 合格

编 制		校 对		审 核		审 定	
日 期		日 期		日 期		日 期	

焊接工艺设计书

编号 No HSS-40

工艺评定编号 HPS-40

评定项目 600MW 锅炉膜式壁光管+扁钢 六头埋弧焊接头

焊接方法 SAW 自动化等级 机械化 焊接位置 横 技术标准 ASME

接头坡口形式

焊接层次(顺序)

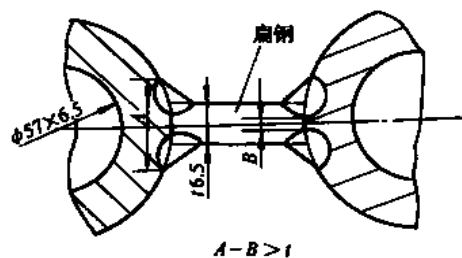


图 PS-40

对焊接接头的基本要求

1. 力学性能

σ_b /MPa	σ_s /MPa	δ_5 /%	弯曲角度/(°) $d=a$	冲击试验			其它
				缺口形式	试验温度/°C	A_K /J	
/	/	/	/	/	/	/	/

2. 其它 金相宏观 检查熔深及焊脚尺寸 $A-B > t$

母材	牌号 20 规格 $\phi 57 \times 6.5$ 类别 I-1 $\phi 6$ mm				
焊接材料	焊条牌号 /	焊条规格 /	型号 /	钨极型号规格 /	焊剂 Linde-231
	焊丝牌号 Linde-29	焊丝规格 $\phi 4$ mm	型号 /	保护气 /	流量 /L/min
				其它气体 /	流量 /L/min
预热 焊后 热处理	预热温度 / 层间温度 / 后热温度, 时间 / 消氢温度, 时间 / 中间热处理 / 时间 / 焊后热处理 / 时间 /				
焊接参数 工艺要求	电流种类 直流 极性 反接 焊接电流 I 525~550A 电弧电压 U 26~28V 焊接速度 60m/h				
操作要求					
编制		校对		审核	
日期		日期		日期	
				批准	
				日期	

焊接工艺评定书

编号 No HPS-40设计书编号 No HSS-40评定项目 600MW 锅炉膜式壁光管+扁钢 六头埋弧焊接头焊接方法 SAW 自动化等级 机械化 焊接位置 横 技术标准 ASME

接头坡口形式

焊接层次(顺序)

见图 PS-40

母材	检验编号 _____									
	牌号 <u>20</u>	规格 $\phi 51 \times 6.5$ $\delta = 6$ mm	类别 <u>I-1</u>	钎极型号 <u>/</u> 直径 <u>/</u>						
化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S					
	0.17	0.23	0.47	0.02	0.014					
力学性能	σ_b /MPa	/		σ_s /MPa	/		δ_5 /%	/		A_K/J
	/									
焊材	检验编号 _____									
	焊丝牌号 <u>Linde-29</u>	焊丝规格 <u>$\phi 4$mm</u>	焊丝型号 <u>/</u>	焊剂牌号 <u>Linde-231</u>						
化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S					
	0.11	0.27	1.00	0.012	0.009					
焊条	检验编号 _____									
	焊条牌号 <u>/</u>	焊条规格 <u>/</u>	焊条型号 <u>/</u>	/						
熔敷金属成分(%)	C	Si	Mn	P	S					
	/	/	/	/	/					

保护气体 / 流量 / 其它气体 / 流量 /

预热及焊后热处理

预热温度 / 层间温度 / 后热温度 / 时间 /消氢温度 / 时间 / 中间热处理温度 / 时间 /焊后热处理温度 / 时间 /

(续)

焊接工艺参数

电流种类 直流 极性 反接 焊接电流 I525~550A 电弧电压 U 26~28V 焊接速度 60m/h

操作技术

性能检验结果

拉伸试验

检验报告编号 _____

试样编号	试样形式	σ_b /MPa	σ_s /MPa	断裂位置	
/	/	/	/	/	

定向弯曲

检验报告编号 _____

试样编号	试验形式	弯轴直径/mm	弯曲角度/(°)	检验结果
/	/	$d=a$	/	/

冲击韧性试验

检验报告编号 _____

试样编号	缺口形式	缺口位置	试验温度/°C	A_K /J
/	/	/	/	/

硬度试验结果(H)

检验报告编号 _____

焊 缝	热 影 响 区	母 材
/	/	/

金相检验结果

检验报告编号 _____

宏 观	微 观	其 它 检 验
未发现缺陷 A 15,15 B 2.8,2 A-B 12.2,13	/ / /	/

无损探伤检验结果 _____ 检验报告编号 _____

焊工 _____ 钢印号 _____ 焊工合格证号 _____

评定结论 合格

编 制		校 对		审 核		审 定	
日 期		日 期		日 期		日 期	

焊接工艺评定书

编号 No HPS-41设计书编号 No HSS-41评定项目 600MW 炉内式水冷壁光管+扁钢角接 熔化极脉冲电弧气体保护焊接头焊接方法 自动 MIG 自动化等级 自动 焊接位置 横、仰 技术标准 ASME

接头坡口形式

焊接层次(顺序)

见图 PS-41

母材	检验编号 _____										
	牌号 <u>20</u>	规格 <u>φ60×6.5</u> <u>6×20 mm</u>	类别 <u>I-I</u>	钨极型号 <u>/</u> 直径 <u>mm</u>							
化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S						
	0.20	0.27	0.46	0.027	0.011						
	0.18	0.33	0.56	0.018	0.027						
力学性能	σ _s /MPa	/		σ _s /MPa	/		δ ₅ /%	/		A _K /J	/
焊材	检验编号 _____										
	焊丝牌号 <u>H08Mn2Si</u>	焊丝规格 <u>φ1.2mm</u>	焊丝型号 <u>/</u>	焊剂牌号 <u>/</u>							
化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S						
	0.09	0.65	1.97	0.015	0.011						
焊条	焊条牌号 <u>/</u> 焊条规格 <u>/</u> 焊条型号 <u>/</u> 检验编号 _____										
熔敷金属成分(%)	C	Si	Mn	P	S						
	/	/	/	/	/						

保护气体 Ar+CO₂ 流量 9±1
20 L/min 其它气体 / 流量 /

预热及焊后热处理

预热温度 / 层间温度 / 后热温度 / 时间 /消氢温度 / 时间 / 中间热处理温度 / 时间 /焊后热处理温度 / 时间 /

(续)

焊接工艺参数

电流种类 直流 极性 反接 $I_{\text{电}}$ 250~300A $I_{\text{基}}$ 30A 脉率 100周/s 焊接速度 0.7~0.8m/min送丝速度 11m/min 焊丝伸出长度 20mm

操作技术

性能检验结果

拉伸试验

检验报告编号 _____

试样编号	试样形式	σ_b/MPa	σ_s/MPa	断裂位置	
/	/	/	/	/	

定向弯曲

检验报告编号 _____

试样编号	试验形式	弯轴直径/mm	弯曲角度/(°)	检验结果
/	/	$d=a$	/	/

冲击韧性试验

检验报告编号 _____

试样编号	缺口形式	缺口位置	试验温度/°C	A_K/J
/	/	/	/	/

硬度试验结果(H)

检验报告编号 _____

焊 缝	热 影 响 区	母 材
/	/	/

金相检验结果

检验报告编号 _____

宏 观	微 观	其 它 检 验
a 4,4.5,5 b 6.5.5,6 c 4.5,5,4.5 d 3.0,2.9,3.1	_____ / _____ _____ / _____ _____ / _____	/

无损探伤检验结果 _____ 检验报告编号 _____

焊工 _____ 钢印号 _____ 焊工合格证号 _____

评定结论 合格

编 制		校 对		审 核		审 定	
日 期		日 期		日 期		日 期	

焊接工艺设计书

编号 No HSS-42工艺评定编号 HPS-42评定项目 200MW 锅炉膜式壁光管+扁钢角接 CO₂ 气体保护焊焊接方法 CO₂GMAW 自动化等级 机械化 焊接位置 横 技术标准 钢规

接头坡口形式

焊接层次(顺序)

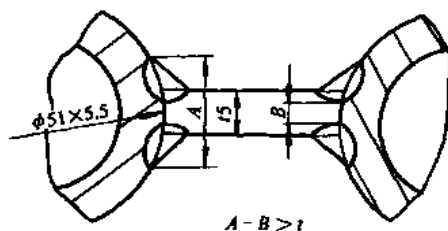


图 PS-42

对焊接接头的基本要求

1. 力学性能

σ_b /MPa	σ_s /MPa	δ_5 /%	弯曲角度/(°) ($d=a$)	冲击试验			其它
				缺口形式	试验温度/°C	A_K /J	
/	/	/	/	/	/	/	/

2. 其它 金相宏观 A-B>t

母材	牌号 <u>20</u> 规格 <u>51×5.5</u> <u>5×49 mm</u> 类别 <u>1-1</u>
焊接材料	焊条牌号 <u>/</u> 焊条规格 <u>/</u> 型号 <u>/</u> 钨极型号规格 <u>/</u> 焊剂 <u>/</u> 焊丝牌号 <u>H08MnSi</u> 焊丝规格 <u>1.2mm</u> 型号 <u>ER70S-3</u> 保护气 <u>CO₂</u> 流量 <u>15L/min</u> 其它气体 <u>/</u> 流量 <u>/ L/min</u>
预热 焊后 热处理	预热温度 <u>/</u> 层间温度 <u>/</u> 后热温度, 时间 <u>/</u> 消氢温度, 时间 <u>/</u> 中间热处理 <u>/</u> 时间 <u>/</u> 焊后热处理 <u>/</u> 时间 <u>/</u>
焊接参数 工艺要求	电流种类 <u>直流</u> 极性 <u>反接</u> 焊接电流 <u>I 240~260A</u> 电弧电压 <u>U 30~34V</u> 焊接速度 <u>35~40m/h</u> 焊丝伸出长度 <u>15~20mm</u>
操作要求	

编制		校对		审核		批准	
日期		日期		日期		日期	

焊接工艺评定书

编号 No HPS-42设计书编号 No HSS-42评定项目 200MW 锅炉膜式水冷壁光管+扁钢角接 CO₂ 气体保护焊接头焊接方法 CO₂ GMAW 自动化等级 机械化 焊接位置 横 技术标准 锅规

接头坡口形式

焊接层次(顺序)

见图 PS-42

母材	检验编号 _____										
	牌号 <u>20</u>	规格 <u>φ51×5.5</u> <u>5×49 mm</u>	类别 <u>1-1</u>			钨极型号 <u>/</u> , 直径 <u>/</u>					
化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S						
	0.19	0.22	0.43	0.020	0.018						
力学性能	σ _b /MPa	/		σ _s /MPa	/		δ ₅ /%	/		A _K /J	/
焊材	检验编号 _____										
	焊丝牌号 <u>H08MnSi</u> 焊丝规格 <u>φ1.2mm</u> 焊丝型号 <u>ER70S-3</u> 焊剂牌号 <u>/</u>										
化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S						
	0.11	0.49	1.05	0.020	0.010						
焊条	焊条牌号 <u>/</u> 焊条规格 <u>/</u> 焊条型号 <u>/</u> 检验编号 <u>/</u> <u>/</u>										
熔敷金属成分(%)	C	Si	Mn	P	S						
	/	/	/	/	/						

保护气体 CO₂ 流量 15L/min 其它气体 / 流量 /

预热及焊后热处理

预热温度 / 层间温度 / 后热温度 / 时间 /消氢温度 / 时间 / 中间热处理温度 / 时间 /焊后热处理温度 / 时间 /

(续)

焊接工艺参数

电流种类 直流 极性 反接 焊接电流 I 240~260A 电弧电压 U 30~33V 焊接速度 35~40m/h焊丝伸出长度 15~20mm

操作技术

性能检验结果

拉伸试验

检验报告编号

试样编号	试样形式	σ_b /MPa	σ_s /MPa	断裂位置	
/	/	/	/	/	

定向弯曲

检验报告编号

试样编号	试验形式	弯轴直径/mm	弯曲角度/(°)	检验结果
/	/	$d=a$	/	/

冲击韧性试验

检验报告编号

试样编号	缺口形式	缺口位置	试验温度/°C	A_k /J
/	/	/	/	/

硬度试验结果(HV₁₀)检验报告编号

焊 缝	热 影 响 区	母 材
/	/	/

金相检验结果

检验报告编号

宏 观	微 观	其 它 检 验
A 13,14,14 B 1.5,1.8,2.0 A-B 11.5,12.2,12.0 合格	/ / /	/

无损探伤检验结果 检验报告编号 焊工 钢印号 焊工合格证号 评定结论 合格

编 制		校 对		审 核		审 定	
日 期		日 期		日 期		日 期	

焊接工艺设计书

编号 No HSS-43 工艺评定编号 HPS-43

评定项目 废热锅炉光管+扁钢角接 手弧焊接头
焊接方法 SMAW 自动化等级 手工 焊接位置 横 技术标准 锅规

接头坡口形式 焊接层次(顺序)

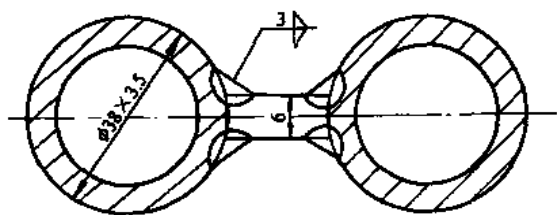


图 PS-43

对焊接接头的基本要求

1. 力学性能

σ_b /MPa	σ_s /MPa	延伸率 δ_5 /%	弯曲角度/(°) ($d=a$)	冲击试验			其 它
				缺口形式	试验温度/°C	A_K /J	
/	/	/	/	/	/	/	/

2. 其它 金相组织 宏观检查

母材	牌号 0Cr18Ni12Mo2Ti 规格 $\phi 38 \times 3.5$ 6×37 mm 类别 P8
焊接材料	焊条牌号 A312 焊条规格 $\phi 3.2$ mm 型号 E00-23-13 钨极型号规格 / 焊剂 / 焊丝牌号 / 焊丝规格 / 型号 Mo2-16 保护气 / 流量 / 型号 / 其它气体 / 流量 /
预热 焊后 热处理	预热温度 / 层间温度 / 后热温度,时间 / 消氢温度,时间 / 中间热处理 / 时间 / 焊后热处理 / 时间 /
焊接 参数 工艺 要求	电流种类 直流 极性 反接 焊接电流 I 90~110A 焊接电压 U 22~25V
操作 要求	

编 制		校 对		审 核		批 准	
日 期		日 期		日 期		日 期	

焊接工艺评定书

编号 No HPS-43

设计书编号 No HSS-43

评定项目 废热锅炉光管+扁钢角接 手焊接头

焊接方法 SMAW 自动化等级 手工 焊接位置 横 技术标准 锅规

接头坡口形式

焊接层次(顺序)

见图 PS-43

母材	检验编号 _____										
	牌号 0Cr18Ni12Mo2Ti		规格 $\phi 38 \times 3.5$ 6×37 mm		类别 /		钨极型号 / 直径 /				
化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni				
	0.028	0.70	1.14	0.005	0.0012	17.59	11.85				
力学性能	σ_b /MPa	/		σ_s /MPa	/		δ_5 /%	/		A_K /J	/
焊材	检验编号 _____										
	焊丝牌号 / 焊丝规格 / 焊丝型号 / 焊剂牌号 /										
化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S						
	/	/	/	/	/						
焊条	焊条牌号 A312 焊条规格 $\phi 3.2$ mm 焊条型号 E0023-13Mo2-16 检验编号 _____										
熔敷金属成分(%)	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo			
	0.03	0.72	1.14	0.002	0.005	23.14	12.8	2.62			

保护气体 / 流量 /L/min 其它气体 / 流量 /L/min

预热及焊后热处理

预热温度 / 层间温度 / 后热温度 / 时间 /

消氢温度 / 时间 / 中间热处理温度 / 时间 /

焊后热处理温度 / 时间 /

(续)

焊接工艺参数							
电流种类 <u>直流</u> 极性 <u>反接</u> 焊接电流 <u>I 90~110A</u> 电弧电压 <u>U 22~25V</u>							
操作技术							
性能检验结果							
拉伸试验						检验报告编号 _____	
试样编号	试样形式	σ_b /MPa	σ_s /MPa	断裂位置			
/	/	/	/	/			
定向弯曲						检验报告编号 _____	
试样编号	试样形式	弯轴直径/mm	弯曲角度/(°)	检验结果			
/	/	$d=a$	/	/			
冲击韧性试验						检验报告编号 _____	
试样编号	缺口形式	缺口位置	试验温度/°C	A_K /J			
/	/	/	/	/			
硬度试验结果(HV ₁₀)						检验报告编号 _____	
焊 缝		热 影 响 区		母 材			
/		/		/			
金相检验结果						检验报告编号 _____	
宏 观		微 观		其 它 检 验			
合格		焊缝 <u>A+F</u> 热影 <u>A+F</u> 响区 <u>A+F</u> 母材 <u>A+F</u>		/			
无损探伤检验结果 _____ 检验报告编号 _____							
焊工 _____ 钢印号 _____ 焊工合格证号 _____							
评定结论 <u>合格</u>							
编 制		校 对		审 核		审 定	
日 期		日 期		日 期		日 期	

焊接工艺设计书

编号 No HSS-44

工艺评定编号 HPS-44

评定项目 600MW 锅炉侧包墙 20 钢管对接 手工钨极氩弧焊打底 手弧焊接头

焊接方法 手工 TIG+SMAW 自动化等级 手工 焊接位置 全位置 技术标准 ASME

接头坡口形式

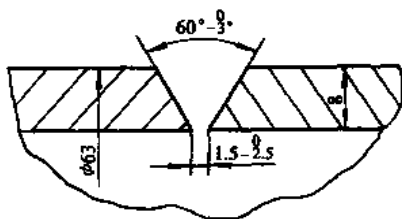


图 PS-44 左

焊接层次(顺序)

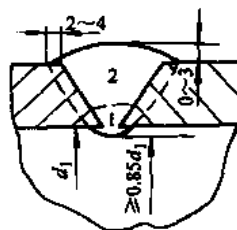


图 PS-44 右

首先以
手工 TIG
气焊打底
焊一层,再
以 SMAW
焊满坡口

对焊接接头的基本要求

1. 力学性能

σ_s /MPa	σ_t /MPa	δ_5 /%	弯曲角度/(°) ($a=4a$)	冲击试验			其 它
				缺口形式	试验温度/°C	A_K /J	
≥ 414	/	/	180°	/	/	/	$HV_{10} \leq 280$

2. 其它 RT 检查 金相组织 宏观检查

母材	牌号 SA210-A1 规格 $\phi 63 \times 8$ mm 类别 P-1						
焊接材料	焊条牌号 E7018-A1 焊条规格 $\phi 3.2$ mm 型号 / 钨极型号规格 钨钨极 $\phi 2.5$ mm 焊剂 / 焊丝牌号 H08Mn2Si 焊丝规格 $\phi 2.5$ mm 型号 / 保护气 Ar 流量 8~10 L/min 其它气体 / 流量 /						
预热焊后热处理	预热温度 / 层间温度 / 后热温度, 时间 / 消氢温度, 时间 / 中间热处理 / 时间 / 焊后热处理 / 时间 /						
焊接参数工艺要求	电流种类 直流 极性 正接 反接 焊接电流 手工 TIG: 正接 190~110A 焊接电压 TIG: U 12~14V SMAW: I 110~130A U 22~25V						
操作技术要求	首层以手工 TIG 打底一层, 再以 SMAW 焊满坡口						
编制		校对		审核		批准	
日期		日期		日期		日期	

焊接工艺评定书

编号 No HPS-44设计书编号 No HSS-44评定项目 600MW 锅炉侧包墙 20 钢管对接 手工钨极氩弧焊打底 手弧焊接头焊接方法 手工 TIG+SMAW 自动化等级 手工 焊接位置 全位置 技术标准 ASME

接头坡口形式

见图 PS-44 左

焊接层次(顺序)

见图 PS-44 右

母材	检验编号 _____									
	牌号 <u>SA210-A1</u> 规格 <u>φ63×8 mm</u> 类别 <u>/</u> 钨极型号 <u>铈钨极</u> 直径 <u>φ2.5mm</u>									
化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S					
	0.20	0.23	0.55	0.021	0.014					
力学性能	σ_b /MPa		505,523		σ_s /MPa		/		δ_5 /%	
							/		A_K /J	
焊材	检验编号 _____									
	焊丝牌号 <u>H08Mn2Si</u> 焊丝规格 <u>φ2.5mm</u> 焊丝型号 <u>/</u> 焊剂牌号 _____									
化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S					
	0.11	0.80	1.93	0.012	0.011					
焊条	检验编号 _____									
	焊条牌号 <u>E7018-A1</u> 焊条规格 <u>φ3.2mm</u> 焊条型号 <u>/</u> 检验编号 _____									
熔敷金属成分(%)	C	Si	Mn	P	S	Mo				
	0.07	0.25	0.64	0.012	0.009	0.56				

保护气体 Ar 流量 8~10 L/min 其它气体 / 流量 /

预热及焊后热处理

预热温度 / 层间温度 / 后热温度 / 时间 /消氢温度 / 时间 / 中间热处理温度 / 时间 /焊后热处理温度 / 时间 /

(续)

焊接工艺参数

电流种类 直流 极性 正接 反接 手工 TIG: 正接 焊接电流 I 90~110A 电弧电压 U 12~14V
 SMAW: 反接 I 110~130A U 21~24V

操作技术

首层以手工 TIG 打底焊一层, 再以 SMAW 焊满坡口盖面

性能检验结果

拉伸试验

检验报告编号 _____

试样编号	试样形式	σ_b /MPa	σ_t /MPa	断裂位置	
PS44-1	板状	499.8 517.4	/	焊缝外	

定向弯曲

检验报告编号 _____

试样编号	试样形式	弯轴直径/mm	弯曲角度/(°)	检验结果
PS44-2	面弯、背弯	$d=4a$	180	合格

冲击韧性试验

检验报告编号 _____

试样编号	缺口形式	缺口位置	试验温度/°C	A_K /J
/	/	/	/	/

硬度试验结果(HV₁₀)

检验报告编号 _____

焊 缝	热 影 响 区	母 材
218, 165	232, 289	128.4, 125.8

金相检验结果

检验报告编号 _____

宏 观	微 观	其 它 检 验
合格	焊缝 <u>F+P+B</u> 热影响区 <u>F+P+W</u> 母材 <u>F+P</u>	/

无损探伤检验结果 RT 合格 检验报告编号 _____

焊工 钢印号 焊工合格证号

评定结论 合格

编 制		校 对		审 核		审 定	
日 期		日 期		日 期		日 期	

焊接工艺设计书

编号 No HSS-45

工艺评定编号 HPS-45

评定项目 锅炉水冷壁直管对接 SA210C 钢管 $\phi 60.3\text{mm} \times 12\text{mm}$ 自动热丝氩弧焊接头

焊接方法 自动热丝 TIG 自动化等级 自动 焊接位置 平 技术标准 ASME

接头坡口形式

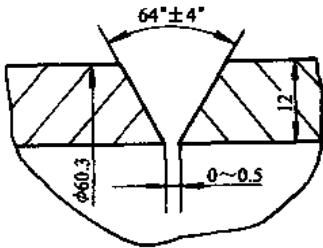


图 PS-45 左

焊接层次(顺序)

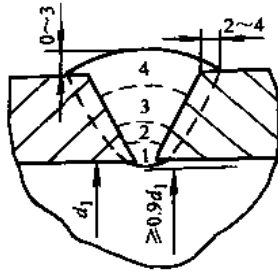


图 PS-45 右

焊接四
层第二层
以上摆动
焊

对焊接接头的基本要求

1. 力学性能

σ_b/MPa	σ_s/MPa	$\delta_5/\%$	弯曲角度/(°) ($d=4a$)	冲击试验			其 它
				缺口形式	试验温度/°C	A_K/J	
≥ 483	/	/	180	/	/	/	$HV_{10} \leq 280$

2. 其它 RT 检查 金相组织 宏观检查

母材	牌号 SA210C 规格 $\phi 60.3 \times 12$ mm 类别 P1					
焊接材料	焊条牌号 /	焊条规格 /	型号 /	钨极型号规格钨钨极 $\phi 4\text{mm}$	焊剂 /	
	焊丝牌号 TGS-62	焊丝规格 $\phi 0.9\text{mm}$	型号 /	保护气 Ar	流量 8~10L/min	
				其它气体 /	流量 /	
预热焊后热处理	预热温度 / 层间温度 / 后热温度, 时间 / 消氢温度, 时间 / 中间热处理 / 时间 / 焊后热处理 / 时间 /					
焊接参数要求	电流种类 直流 极性 正接 焊接电流 第一层 $I_1 195 \sim 205\text{A}$ 第二层 $I_2 185 \sim 195\text{A}$ 第三~四层 $I_3 215 \sim 225\text{A}$ 电弧电压 $U 10 \sim 11\text{V}$ 摆动频率 35~40 周/min 预热 10~13s 热丝电流 60~135A 热丝电压 2.5~3V					
	第二层开始摆动焊					
编制		校对		审核		批准
日期		日期		日期		日期

焊接工艺评定书

编号 No HPS-45设计书编号 No HSS-45评定项目 锅炉水冷壁直管对接 SA210C 钢管 $\phi 60.3\text{mm} \times 12\text{mm}$ 自动热丝氩弧焊接头焊接方法 自动热丝 TIG 自动化等级 自动 焊接位置 平 技术标准 ASME

接头坡口形式

焊接层次(顺序)

见图 PS-45 左

见图 PS-45 右

母材	检验编号 _____									
	牌号 <u>SA210C</u>		规格 <u>$\phi 60.3 \times 12\text{mm}$</u>		类别 <u>P1</u>		钨极型号 <u>钨钨极</u> ,直径 <u>$\phi 4\text{mm}$</u>			
化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S					
	0.26	0.29	0.87	0.015	0.012					
力学性能	σ_s/MPa		582,569		σ_b/MPa		/		$\delta_5/\%$	
							/		A_K/J	
焊材	检验编号 _____									
	焊丝牌号 <u>TGS-62</u>		焊丝规格 <u>$\phi 0.9\text{mm}$</u>		焊丝型号 <u>/</u>		焊剂牌号 <u>/</u>			
化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S					
	0.09	0.73	1.34	0.02	0.008					
焊条	检验编号 _____									
	焊条牌号 <u>/</u>		焊条规格 <u>/</u>		焊条类别 <u>/</u>					
熔敷金属成分(%)	C	Si	Mn	P	S					
	/	/	/	/	/					

保护气体 Ar 流量 8~10 L/min 其它气体 / 流量 /

预热及焊后热处理

预热温度 / 层间温度 / 后热温度 / 时间 /消氢温度 / 时间 / 中间热处理温度 / 时间 /焊后热处理温度 / 时间 /

(续)

焊接工艺参数

电流种类 直流 极性 正接 焊接电流 第一层 I_1 195~205A 第二层 I_2 185~195A 第三层以上 I_3 215~225A 电弧电压 U 10~11V 摆动频率 35~40 周/min 预热 10~13s
 热丝电流 I_H 60~135A 热丝电压 U_H 2.3~3V

操作技术

第二层开始摆动焊

性能检验结果

拉伸试验

检验报告编号 _____

试样编号	试样形式	σ_b /MPa	σ_s /MPa	断裂位置	
PS45-1	板状	577 563	/	焊缝外	

定向弯曲

检验报告编号 _____

试样编号	试样形式	弯轴直径/mm	弯曲角度/(°)	检验结果
PS45-2	面弯、背弯	$d=4a$	180	合格

冲击韧性试验

检验报告编号 _____

试样编号	缺口形式	缺口位置	试验温度/°C	A_K /J
/	/	/	/	/

硬度试验结果(HV₁₀)

检验报告编号 _____

焊 缝	热 影 响 区	母 材
225,210	210,215	168,172

金相检验结果

检验报告编号 _____

宏 观	微 观	其 它 检 验
合格	焊缝 <u>B</u> 热影响区 <u>W</u> 母材 <u>F+P</u>	/

无损探伤检验结果 RT 合格 检验报告编号 _____

焊工 _____ 钢印号 _____ 焊工合格证号 _____

评定结论 合格

编 制		校 对		审 核		审 定	
日 期		日 期		日 期		日 期	

焊接工艺设计书

编号 No HSS-46

工艺评定编号 HPS-46

评定项目 600MW 锅炉受热面管对接 T91 钢管 $\phi 57\text{mm} \times 4\text{mm}$ 熔化极气体保护焊接头

焊接方法 MIG 自动化等级 自动 焊接位置 平 技术标准 ASME

接头坡口形式

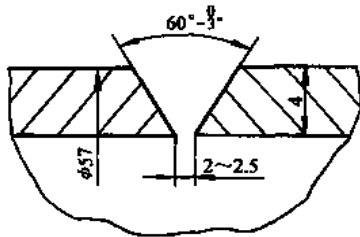


图 PS-46 左

焊接层次(顺序)

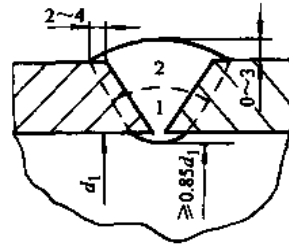


图 PS-46 右

第一层
焊接时,管
内充 Ar 气
保护,焊接
2 层

对焊接接头的基本要求

1. 力学性能

σ_b/MPa	σ_s/MPa	$\delta_5/\%$	弯曲角度/(°) $d=4a$	冲击试验			其它
				缺口形式	试验温度/°C	A_K/J	
≥ 585	/	/	180°	/	/	/	$HV_{10} \leq 350$

2. 其它 RT 检查 金相组织 宏观检查

母材	牌号 T91 规格 $\phi 57 \times 4$ mm 类别 P5					
焊接材料	焊条牌号 /	焊条规格 /	型号 /	钨极型号规格 /	焊剂 /	
	焊丝牌号 MGS-9CB	焊丝规格 $\phi 0.8\text{mm}$	型号 /	保护气 Ar+CO ₂	流量 10+0.8L/min	
				其它气体背面保护 Ar 气	流量 3~4L/min	
预热 焊后 热处理	预热温度 200~250°C 层间温度 200~350°C 后热温度,时间 / 消氢温度,时间 / 中间热处理 / 时间 / 焊后热处理 750~760°C 时间 45min					
焊接参数 工艺要求	电流种类 直流 极性 反接 焊接电流: $I_{\text{起}} 85 \sim 95\text{A}$ $I_{\text{稳}} 270 \sim 290\text{A}$ $I_{\text{收}} 30\text{A}$ 电弧电压 $U 22 \sim 24\text{V}$ 焊接速度 第一层 $v_1 11.3 \sim 13\text{m/h}$ 第二层 $v_2 8.6 \sim 9.7\text{m/h}$ 送丝速度 30~36m/h 摆动频率 50 周/min 摆幅 第二层 5~6mm 焊丝伸出长度 12~14mm					
操作要求						
编制		校对		审核		批准
日期		日期		日期		日期

焊接工艺评定书

编号 No HPS-46

设计书编号 No HSS-46

评定项目 600MW 锅炉受热面管对接 T91 钢管 $\phi 57\text{mm} \times 4\text{mm}$ 熔化极气体保护焊

焊接方法 MIG 自动化等级 自动 焊接位置 平 技术标准 ASME

接头坡口形式

见图 PS-46 左

焊接层次(顺序)

见图 PS-46 右

母材	检验编号 _____									
	牌号 T91 规格 $\phi 57 \times 4\text{mm}$ 类别 P5 钨极型号 / , 直径 /									
化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	Nb	
	0.10	0.39	0.47	0.010	0.007	8.56	0.96	0.23	0.86	
力学性能	σ_b/MPa	694, 671		σ_s/MPa	/		$\delta_s/\%$	/		A_K/J
	/									
焊材	检验编号 _____									
	焊丝牌号 MGS-9CB 焊丝规格 $\phi 0.8\text{mm}$ 焊丝型号 / 焊剂牌号 /									
化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	V	Nb
	0.08	0.37	0.56	0.008	0.003	8.82	0.88	0.45	0.17	0.02
焊条	焊条牌号 / 焊条规格 / 焊条型号 / 检验编号 _____									
熔敷金属成分(%)	C	Si	Mn	P	S					
	/	/	/	/	/					

保护气体 Ar+CO₂ 流量 10±0.8 L/min 其它气体 背面保护 Ar 气 流量 3~4L/min

预热及焊后热处理

预热温度 200~250℃ 层间温度 200~350℃ 后热温度 / 时间 /

消氢温度 / 时间 / 中间热处理温度 / 时间 /

焊后热处理温度 750~760℃ 时间 45min

(续)

焊接工艺参数

电流种类 直流 极性 反接 焊接电流: $I_{\text{手}} 85 \sim 95\text{A}$ $I_{\text{电}} 270 \sim 290\text{A}$ $I_{\text{基}} 30\text{A}$ 频率 100Hz 通断比 50% 电弧电压 $U 22 \sim 24\text{V}$ 焊接速度: 第一层 $v_1 11.8 \sim 13\text{m/h}$ 第二层 $v_2 8.6 \sim 9.7\text{m/h}$ 焊丝伸出长度 $12 \sim 14\text{mm}$ 送丝速度 $30 \sim 36\text{m/h}$ 摆幅 第二层 $5 \sim 6\text{mm}$

操作技术

性能检验结果

拉伸试验

检验报告编号 _____

试样编号	试样形式	σ_b/MPa	σ_s/MPa	断裂位置	
PS46-1	板状	677 716	/	焊缝外	

定向弯曲

检验报告编号 _____

试样编号	试样形式	弯轴直径/mm	弯曲角度/(°)	检验结果
PS46-2	面弯、背弯	$d=4a$	180	合格

冲击韧性试验

检验报告编号 _____

试样编号	缺口形式	缺口位置	试验温度/°C	A_K/J
—	—	—	—	—

硬度试验结果(HV₁₀)

检验报告编号 _____

焊 缝	热 影 响 区	母 材
314,297	312,304	281,319

金相检验结果

检验报告编号 _____

宏 观	微 观	其 它 检 验
合格	焊缝 <u>回火 M</u> 热影响区 <u>回火 M</u> 母材 <u>回火 M</u>	—

无损探伤检验结果 RT 合格 检验报告编号 _____

焊工 _____ 钢印号 _____ 焊工合格证号 _____

评定结论 合格

编 制		校 对		审 核		审 定	
日 期		日 期		日 期		日 期	

焊接工艺设计书

编号 No HSS-47

工艺评定编号 HPS-47

评定项目 600MW 锅炉受热面管对接 TP347H 钢管+T91 钢管 $\phi 57\text{mm} \times 4\text{mm}$ 手工钨极氩弧焊接头

焊接方法 手工 TIG 自动化等级 手工 焊接位置 全位置 技术标准 ASME

接头坡口形式

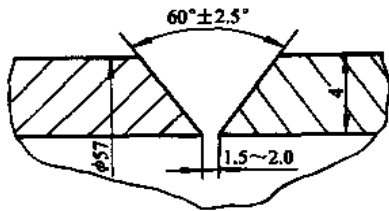


图 PS-47 左

焊接层次(顺序)

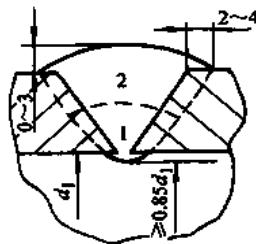


图 PS-47 右

焊接两层,第一层管内充 Ar 气保护

对焊接接头的基本要求

1. 力学性能

σ_b/MPa	σ_t/MPa	$\delta_5/\%$	弯曲角度/(°) ($d=4a$)	冲击试验			其它
				缺口形式	试验温度/°C	A_K/J	
≥ 517	/	/	180°	/	/	/	HV ₁₀

2. 其它 RT 检查 金相宏观 组织检查

母材	牌号 T91 TP347H	规格 $\phi 57 \times 4$ mm	类别 P5 P8				
焊接材料	焊条牌号 / 焊丝牌号 Inconel-82	焊条规格 / 焊丝规格 $\phi 2.5\text{mm}$	型号 / 型号 ERNiCr-3	钨极型号规格钨极 $\phi 2.5\text{mm}$	焊剂 /	保护气 Ar	流量 8~10L/min 其它气体背面保护 Ar 流量 3~4L/min
预热焊后热处理	预热温度 / 层间温度 $\leq 200^\circ\text{C}$ 后热温度,时间 / 消氢温度,时间 / 中间热处理 / 时间 / 焊后热处理 $750 \sim 760^\circ\text{C}$ 时间 45min						
焊接参数工艺要求	电流种类 直流 极性 正接 焊接电流 $I_{95 \sim 100\text{A}}$ 电弧电压 $U_{12 \sim 14\text{V}}$						
操作技术要求	第一层焊接时,管子内部充 Ar 气保护,焊接两层						
编制		校对		审核		批准	
日期		日期		日期		日期	

焊接工艺评定书

编号 No HPS-47设计书编号 No HSS-47评定项目 600MW 锅炉受热面管对接 T91 钢管+TP347H 钢管 手工钨极氩弧焊接头焊接方法 手工 TIG 自动化等级 手工 焊接位置 全位置 技术标准 ASME

接头坡口形式

见图 PS-47 左

焊接层次(顺序)

见图 PS-47 右

母材	检验编号_____										
	牌号	T91 TP347H	规格	φ57×4 mm	类别	P5 P8	钨极型号 铸钨极 直径 φ2.5mm				
化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	Nb		
	0.10	0.39	0.47	0.010	0.007	8.56	0.96	0.23	0.08		
	0.09	0.63	1.28	0.018	0.010	17.74	/	10.25	0.86		
力学性能	σ _b /MPa	678,682 621,687		σ _t /MPa	/		δ ₅ /%	/		A _K /J	/
焊材	检验编号_____										
	焊丝牌号 Inconel-82		焊丝规格 φ2.5mm		焊丝型号 ERNiCr-3		焊剂牌号 /				
化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S	Cr	B	Nb+Ta	Ti	Ni	
	0.08	0.44	3.10	0.009	0.005	20.15	<0.0001	2.56	0.04	余量	
焊条	焊条牌号 / 焊条规格 / 焊条型号 / 检验编号 / /										
熔敷金属成分(%)	C	Si	Mn	P	S						
	/	/	/	/	/						

保护气体 Ar 流量 8~10 L/min 其它气体 背面保护 Ar 气 流量 3~4 L/min

预热及焊后热处理

预热温度 / 层间温度 ≤200℃ 后热温度 / 时间 /

消氢温度 / 时间 / 中间热处理温度 / 时间 /

焊后热处理温度 750~760℃ 时间 45min

(续)

焊接工艺参数

电流种类 直流 极性 正接 焊接电流 I 95~100A 电弧电压 U 12~14V

操作技术

焊接两层,首层焊接时,管内部充 Ar 气保护

性能检验结果

拉伸试验

检验报告编号

试样编号	试样形式	σ_b /MPa	σ_t /MPa	断裂位置	
PS47-1	板状	671 673	/	焊缝外	

定向弯曲

检验报告编号

试样编号	试样形式	弯轴直径/mm	弯曲角度/(°)	检验结果
PS47-2	面弯、背弯	$d=4a$	180	合格

冲击韧性试验

检验报告编号

试样编号	缺口形式	缺口位置	试验温度/°C	A_K /J
/	/	/	/	/

硬度试验结果(HV₁₀)检验报告编号

焊 缝	热 影 响 区	母 材
289,302	T91 侧 317,330 TP347H 侧 312,285	314,309 244,245

金相检验结果

检验报告编号

宏 观	微 观	其 它 检 验
合格	焊缝 <u>A+F</u> 热影响区 <u>T91 侧回火 M</u> <u>TP347H 侧 A+F</u> 母材 <u>T91 侧回火 M</u> <u>TP347H 侧 A+F</u>	/

无损探伤检验结果 RT 合格 检验报告编号 焊工 钢印号 焊工合格证号 评定结论 合格

编 制		校 对		审 核		审 定	
日 期		日 期		日 期		日 期	

焊接工艺设计书

编号 No HSS-48工艺评定编号 HPS-48评定项目 600MW 锅炉受热面管对接 T91 钢管+钢 102 $\phi 51\text{mm} \times 8\text{mm}$ 熔化极脉冲电弧气体保护焊接头焊接方法 脉冲 MIG 自动化等级 自动 焊接位置 平 技术标准 ASME

接头坡口形式

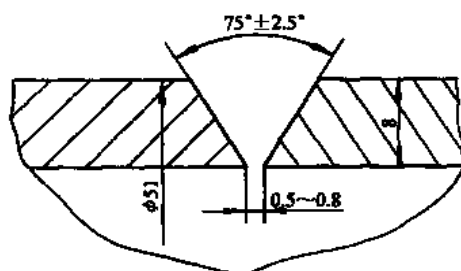


图 PS-48 左

焊接层次(顺序)

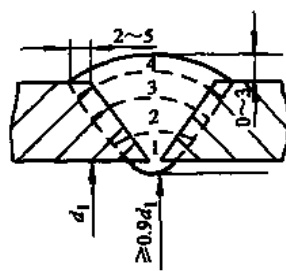


图 PS-48 右

焊接 3~
4 层, 第二
层开始摆
动焊

对焊接接头的基本要求

1. 力学性能

σ_b/MPa	σ_s/MPa	$\delta_5/\%$	弯曲角度/(°) $d=4a$	冲击试验			其 它
				缺口形式	试验温度/°C	A_K/J	
≥ 540	/	/	180°	/	/	/	$HV_{10} \leq 350$

2. 其它 RT 检查 金相组织 宏观检查

母材	牌号 T91 钢 102	规格 $\phi 51 \times 8\text{mm}$	类别 P8 V				
焊接材料	焊条牌号 / 焊丝牌号 H06Cr9Mo1V	焊条规格 / 焊丝规格 $\phi 0.8\text{mm}$	型号 / 型号 /	钨极型号规格 / 保护气 Ar+CO ₂ 其它气体 /	焊剂 / 流量 12+0.8L/min 流量 /		
预热 焊后 热处理	预热温度 / 层间温度 $\leq 300^\circ\text{C}$ 后热温度, 时间 / 消氢温度, 时间 / 中间热处理 / 时间 / 焊后热处理 760~780°C 时间 /h						
焊接参数 工艺要求	电流种类 直流 极性 反接 焊接电流: I_{max} 260~280A I_{pr} 85~95A I_{min} 30A 电弧电压: U22 ~24V 焊丝伸出长度 12mm 脉冲频率 100Hz 焊接速度: 第一层 v_1 10~12m/h 第二层 v_2 8~ 9m/h 第三层以上 v_3 7~8m/h 送丝速度 30~36m/h 摆动频率 50周/min 摆幅: 第二层 3~ 4mm 第三层 6~7mm 第四层 8~9mm						
操作要求	第二层开始摆动焊						
日期		日期		日期		日期	

焊接工艺评定书

编号 No HPS-48设计书编号 No HSS-48评定项目 600MW 锅炉受热面管对接 T91 钢管+钢 102 $\phi 51\text{mm} \times 8\text{mm}$ 熔化极脉冲电弧气体保护焊接头焊接方法 MIG 自动化等级 自动 焊接位置 平 技术标准 ASME

接头坡口形式

焊接层次(顺序)

见图 PS-48 左

见图 PS-48 右

母材	检验编号 _____											
	牌号 <u>T91</u> <u>钢 102</u>	规格 <u>$\phi 51 \times 8\text{mm}$</u>		类别 <u>P5</u> <u>V</u>		钨极型号 <u>/</u> , 直径 <u>/</u>						
化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	V	Nb	Ti	B
	0.09 0.10	0.35 0.60	0.37 0.57	0.009 0.018	0.010 0.009	8.50 1.87	0.94 0.56	0.09 /	0.19 0.36	0.07 W 0.39	/ 0.15	0.005
力学性能	σ_b/MPa		648,654 618,660		σ_s/MPa		/		$\delta_5/\%$		/	
									A_K/J		/	
焊材	检验编号 _____											
	焊丝牌号 <u>H06Cr9Mo1V</u> 焊丝规格 <u>$\phi 0.8\text{mm}$</u> 焊丝型号 <u>/</u> 焊剂牌号 <u>/</u>											
化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	V	Ni			
	0.05	0.45	0.61	0.009	0.004	9.10	1.10	0.21	0.81			
焊条	焊条牌号 <u>/</u> 焊条规格 <u>/</u> 焊条型号 <u>/</u> 检验编号 _____											
熔敷金属成分(%)	C	Si	Mn	P	S							
	/	/	/	/	/							

保护气体 Ar+CO₂ , 流量 12+0.8 L/min 其它气体 / , 流量 /

预热及焊后热处理

预热温度 / 层间温度 $\leq 300^\circ\text{C}$ 后热温度 / 时间 /消氢温度 / 时间 / 中间热处理温度 / 时间 /焊后热处理温度 760~780 $^\circ\text{C}$ 时间 /

(续)

焊接工艺参数

电流种类 直流 极性 反接 焊接电流 $I_{\text{平}} 85 \sim 95\text{A}$ $I_{\text{电}} 260 \sim 280\text{A}$ $I_{\text{基}} 30\text{A}$ 频率 100Hz 通断比
50% 电弧电压 $U_{22} \sim 24\text{V}$ 焊接速度 第一层 $v_1 10 \sim 12\text{m/h}$ 第二层 $v_2 8 \sim 9\text{m/h}$ 第三层以上 $v_3 7 \sim 8\text{m/h}$
 送丝速度 $30 \sim 36\text{m/h}$ 焊丝伸出长度 12mm

操作技术

第二层以上开始摆动焊

性能检验结果

拉伸试验

检验报告编号 _____

试样编号	试样形式	σ_b/MPa	σ_s/MPa	断裂位置	
PS48-1	板状	634 692	/	焊缝外	

定向弯曲

检验报告编号 _____

试样编号	试样形式	弯轴直径/mm	弯曲角度/(°)	检验结果
PS48-2	面弯、背弯	$d=4a$	180	合格

冲击韧性试验

检验报告编号 _____

试样编号	缺口形式	缺口位置	试验温度/°C	A_K/J
/	/	/	/	/

硬度试验结果(HV₁₀)

检验报告编号 _____

焊 缝	热 影 响 区	母 材
272,266	T91 侧 314,309 钢 102 侧 264,273	317,309 274,289

金相检验结果

检验报告编号 _____

宏 观	微 观	其 它 检 验
合格	焊缝 <u>回火 M</u> 热影响区 <u>T91 侧回火 M</u> <u>钢 102 侧 B</u> 母材 <u>T91 侧回火 M</u> <u>钢 102 侧 B</u>	/

无损探伤检验结果 RT 检查合格 检验报告编号 _____焊工 钢印号 焊工合格证号 评定结论 合格

编 制		校 对		审 核		审 定	
日 期		日 期		日 期		日 期	

焊接工艺设计书

编号 No HSS-49

工艺评定编号 HPS-49

评定项目 300MW 锅炉受热面管与支撑板角接 手弧焊接头

焊接方法 SMAW 自动化等级 手工 焊接位置 横 技术标准 ASME

接头坡口形式

焊接层次(顺序)

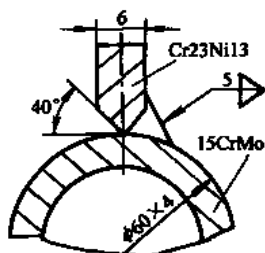


图 PS-49

对焊接接头的基本要求

1. 力学性能

σ_b /MPa	σ_s /MPa	δ_5 /%	弯曲角度/(°) ($d=4a$)	冲击试验			其 它
				缺口形式	试验温度/°C	A_K /J	
/	/	/	/	/	/	/	HV ₁₀ ≤350

2. 其它 RT 检查 金相组织 宏观检查

母材	牌号 15CrMo 规格 $\phi 63 \times 4$ mm 类别 IV-1 Cr23Ni13 规格 $\phi 6$						
焊接材料	焊条牌号 A312 焊条规格 $\phi 3.2$ mm 型号 E1-23-13Mo2-16 焊剂 / 焊丝牌号 / 焊丝规格 / 型号 / 保护气 / 流量 / 其它气体 / 流量 /						
预热 焊后 热处理	预热温度 / 层间温度 ≤ 250 °C 后热温度, 时间 / 消氢温度, 时间 / 中间热处理 / 时间 /h 焊后热处理 / 时间 /						
焊接参数 工艺要求	电流种类 直流 极性 反接 焊接电流 190~100A 电弧电压 U 21~23V						
操作要求							
编制		校 对		审 核		批 准	
日期		日期		日期		日期	

焊接工艺评定书

编号 No HPS-49

设计书编号 No HSS-49

评定项目 300MW 锅炉受热面管与支撑板角接 手弧焊接头

焊接方法 SMAW 自动化等级 手工 焊接位置 横 技术标准 ASME

接头坡口形式

焊接层次(顺序)

见图 PS-49

母材	检验编号 _____									
	牌号 15CrMo Cr25Ni13	规格 φ63×4 δ6	mm	类别 N-1 /	锅板型号 / 直径 /					
化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo		
	0.14	0.25	0.57	0.014	0.010	1.03	/	0.41		
	0.17	1.65	1.49	0.018	0.009	23.09	13.51	0.30		
力学性能	σ_b /MPa	/		σ_s /MPa	/		δ_5 /%	/		A_K /J
	/									
焊材	检验编号 _____									
	焊丝牌号 / 焊丝规格 / 焊丝型号 / 焊剂牌号 /									
化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S					
	/	/	/	/	/					
焊材	焊条牌号 A312 焊条规格 φ3.2mm 焊条型号 E1-23-13Mo2-16 检验编号 _____									
熔敷金属成分(%)	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni		
	0.08	0.50	1.25	0.025	0.005	23.27	2.06	11.54		
保护气体 / 流量 / 其它气体 / 流量 /										
预热及焊后热处理										
预热温度 / 层间温度 ≤250°C 后热温度 / 时间 /										
消氢温度 / 时间 / 中间热处理温度 / 时间 /										
焊后热处理温度 / 时间 /										
焊接工艺参数										
电流种类 直流 极性 反接 焊接电流 195~100A 电弧电压 U21~23V										
操作技术										
性能检验结果										
拉伸试验										
检验报告编号 _____										
试样编号	试样形式	σ_b /MPa	σ_s /MPa	断裂位置						
/	/	/	/	/						

(续)

定向弯曲				检验报告编号 _____	
试样编号	试样形式	弯轴直径/mm	弯曲角度/(°)	检验结果	
/	/	$d=a$	/	/	
冲击韧性试验				检验报告编号 _____	
试样编号	缺口形式	缺口位置	试验温度/°C	A_K/J	
/	/	/	/	/	
硬度试验结果(HV ₁₀)				检验报告编号 _____	
焊 缝		热 影 响 区		母 材	
216,212		15CrMo 侧 309,319 Cr25Ni13 侧 274,285		216,230 160,212	
金相检验结果				检验报告编号 _____	
宏 观		微 观		其 它 检 验	
合格		焊缝 A+F 15CrMo 侧 B 热影响区 Cr25Ni13 侧 A+F 15CrMo P+F 母材 Cr25Ni13 A+F		/	
无损探伤检验结果 RT 合格 检验报告编号 _____					
焊工 _____ 钢印号 _____ 焊工合格证号 _____					
评定结论 合格					
编 制		校 对		审 核	
日 期		日 期		日 期	

4 锅炉钢结构焊接工艺评定实例

钢结构是电站锅炉的重要承载部件,梁与柱又是钢结构的基本元件。其主要焊接接头是盖板、腹板的拼接焊缝及角焊缝。按 AWS. D1.1 钢结构法规要求,对上述结构的焊缝,在投产前均需作焊接工艺评定。锅炉大板梁结构及焊缝布置简图如图 5-43 所示。

下面列举不同钢材、不同焊接方法及接头形式的典型焊接工艺评定实例。

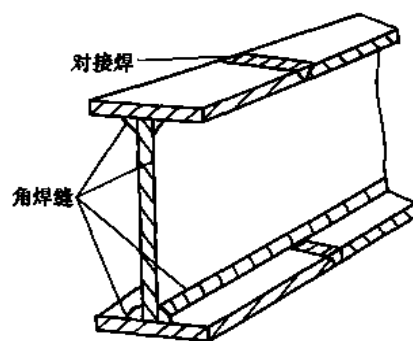


图 5-3 锅炉大板梁结构及焊缝布置简图

焊接工艺设计书

编号 No HSJ-1

工艺评定编号 HPJ-1

评定项目 100MW 炉内大板梁腹板拼接 16Mn 钢 $\delta 16\text{mm}$ 埋弧焊接头

焊接方法 SAW 自动化等级 机械化 焊接位置 平 技术标准 钢规

接头坡口形式

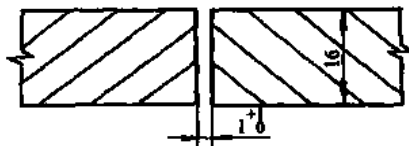


图 PJ-1 左

焊接层次(顺序)

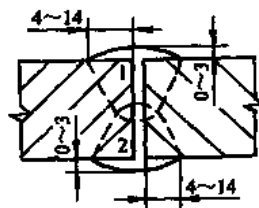


图 PJ-1 右

双面埋
弧焊

对焊接接头的基本要求

1. 力学性能

σ_b/MPa	σ_t/MPa	$\delta_5/\%$	弯曲角度/° ($d=3a$)	冲击试验			其 它
				缺口形式	试验温度/°C	A_{KV}/J	
476~620	/	/	100°	U	室温	≥ 59	$\leq 120\text{HBS}$

2. 其它 金相宏观 微观 RT 检查

母材	牌号 16Mn 规格 $\delta 16\text{mm}$ 类别 1-1				
焊接材料	焊条牌号 /	焊条规格 /	型号 /	焊极型号规格 /	焊剂 HJ431
	焊丝牌号 H10MnSi	焊丝规格 $\phi 5\text{mm}$	型号 /	保护气 /	流量 /
				其它气体 /	流量 /
预热焊后热处理	预热温度 / 层间温度 / 后热温度, 时间 / 消氢温度, 时间 / 中间热处理 / 时间 / 焊后热处理 / 时间 /				
焊接参数工艺要求	电流种类 交流 极性 / 焊接电流 I 850A 电弧电压 U 38~45V 焊接速度 24m/h 送丝速度 85m/h				
操作要求					
编制		校对		审核	批准
日期		日期		日期	日期

焊接工艺评定书

编号 No HPJ-1

设计书编号 No HSJ-1

评定项目 100MW 锅炉大板梁腹板拼接 16Mn 钢 $\delta 16\text{mm}$ 埋弧焊

焊接方法 SAW 自动化等级 机械化 焊接位置 平 技术标准 钢规

接头坡口形式

焊接层次(顺序)

见图 PJ-1 左

见图 PJ-1 右

母材	检验编号 _____										
	牌号 16Mn 规格 $\delta 16\text{mm}$ 类别 1 钩板型号 / , 直径 /										
化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S						
	0.15	0.37	1.25	0.016	0.012						
力学性能	σ_s/MPa	528, 531		σ_r/MPa	/		$\delta_5/\%$	/		A_{KV}/J	148, 152, 139
焊材	检验编号 _____										
	焊丝牌号 H10MnSi 焊丝规格 $\phi 5\text{mm}$ 焊丝型号 / 焊剂牌号 HJ431										
化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S						
	0.10	0.78	1.10	0.011	0.009						
焊条	焊条牌号 / 焊条规格 / 焊条型号 / 检验编号 _____										
熔敷金属成分(%)	C	Si	Mn	P	S						
	/	/	/	/	/						

保护气体 / 流量 / 其它气体 / 流量 /

预热及焊后热处理

预热温度 / 层间温度 / 后热温度 / 时间 /

消氢温度 / 时间 / 中间热处理温度 / 时间 /

焊后热处理温度 / 时间 /

(续)

焊接工艺参数

电流种类 交流 极性 / 焊接电流 I 850A 焊接电压 U 38~45V 焊接速度 v 24m/h
送丝速度 85m/h

操作技术

两面埋弧焊

性能检验结果

拉伸试验

检验报告编号

试样编号	试样形式	σ_b /MPa	σ_s /MPa	断裂位置	
PJ1-1	板状	529.8 530.9	/	焊缝外	

定向弯曲

检验报告编号

试样编号	试样形式	弯轴直径/mm	弯曲角度/(°)	检验结果
PJ1-2	面弯、背弯、侧弯	$d=3a$	100	合格

冲击韧性试验

检验报告编号

试样编号	缺口形式	缺口位置	试验温度/°C	A_{KV}/J
PJ1-3	U	焊缝 热影响区	室温	100,89.2,88.2 144.1,134.3,142.1

硬度试验结果(HBS)

检验报告编号

焊 缝	热 影 响 区	母 材
84.5,84	87,86	80,79

金相检验结果

检验报告编号

宏 观	微 观	其 它 检 验
合格	焊缝 <u>B+F+少量P</u> 热影响区 <u>B+P+少量F</u> 母材 <u>F+P</u>	/

无损探伤检验结果 RT 合格 检验报告编号 焊工 钢印号 焊工合格证号 评定结论 合格

编 制		校 对		审 核		审 定	
日 期		日 期		日 期		日 期	

焊接工艺设计书

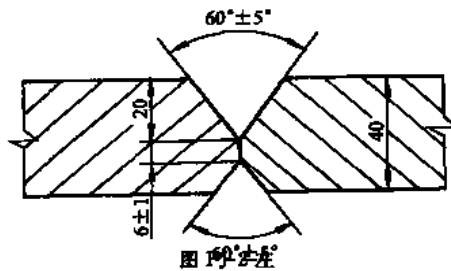
编号 No HSJ-2

工艺评定编号 HPJ-2

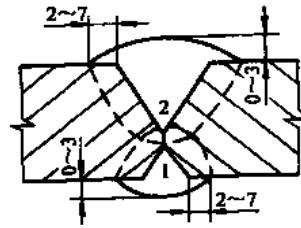
评定项目 100MW 锅炉板梁腹板拼接 16Mn 钢 $\delta 40\text{mm}$ 埋弧焊接头

焊接方法 SAW 自动化等级 机械化 焊接位置 平 技术标准 钢规

接头坡口形式



焊接层次(顺序)



首先焊接 1 侧坡口, 焊满后翻身焊接 2 侧坡口至焊满

图 PJ-2 右

对焊接接头的基本要求

1. 力学性能

σ_b/MPa	σ_s/MPa	$\delta_5/\%$	弯曲角度/(°) ($d=3a$)	冲击试验			其它
				缺口形式	试验温度/°C	A_{KV}/J	
470~600	/	/	100°	U	室温	≥ 59	$\leq 120\text{HBS}$

2. 其它 RT 检查 金相组织 宏观检查

母材	牌号 16Mn 规格 $\delta 40\text{mm}$ 类别 I-1					
焊接材料	焊条牌号 /	焊条规格 /	型号 /	焊剂型号规格 /	焊剂 HJ431	
	焊丝牌号 H10MnSi	焊丝规格 $\phi 6\text{mm}$	型号 /	保护气 /	流量 /	
				其它气体 /	流量 /	
预热焊后热处理	预热温度 100~150°C 层间温度 100~350°C 后热温度, 时间 / 消氢温度, 时间 / 中间热处理 / 时间 / 焊后热处理 570~620°C 时间 2h					
焊接工艺要求	电流种类 交流 极性 / 焊接电流 I_1 (第一层) 800~850A 第二层 I_2 850~900A 电弧电压 U 38~40V 焊接速度 25~29.5m/h 送丝速度 87.5m/h					
操作要求						
编制		校对		审核		批准
日期		日期		日期		日期

焊接工艺评定书

编号 No HPJ-2

设计书编号 No HSJ-2

评定项目 100MW 锅炉板梁腹板拼接 16Mn 钢 $\delta 40\text{mm}$ 埋弧焊接头

焊接方法 SAW 自动化等级 机械化 焊接位置 平 技术标准 钢规

接头坡口形式

见图 PJ-2 左

焊接层次(顺序)

见图 PJ-2 右

母材	检验编号 _____ 牌号 <u>16Mn</u> 规格 <u>$\delta 40\text{mm}$</u> 类别 <u>I</u>										钨极型号 <u>/</u> ,直径 <u>/</u>			
化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S									
	0.15	0.33	1.27	0.018	0.015									
力学性能	σ_b/MPa	541,539		σ_s/MPa	/		$\delta_5/\%$	/		A_{KU}/J	142,139,145			
焊材	检验编号 _____ 焊丝牌号 <u>H10MnSi</u> 焊丝规格 <u>$\phi 6\text{mm}$</u> 焊丝型号 <u>/</u> 焊剂牌号 <u>HJ431</u>													
化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S									
	0.10	0.78	1.10	0.014	0.009									
焊条	焊条牌号 <u>/</u> 焊条规格 <u>/</u> 焊条型号 <u>/</u> 检验编号 _____													
熔敷金属成分(%)	C	Si	Mn	P	S									
	/	/	/	/	/									

保护气体 / ,流量 / 其它气体 / ,流量 /

预热及焊后热处理

预热温度 100~150°C 层间温度 110~350°C 后热温度 / 时间 /消氢温度 / 时间 / 中间热处理温度 / 时间 /焊后热处理温度 570~620°C 时间 2

(续)

焊接工艺参数

电流种类 交流 极性 / 焊接电流 第1层 I_1 800~850A, 其它层 I_2 850~900A 电弧电压 U 38~40V焊接速度 25~29.5m/h 送丝速度 87.5m/h

操作技术

性能检验结果

拉伸试验

检验报告编号 _____

试样编号	试样形式	σ_b /MPa	σ_t /MPa	断裂位置	
PJ2-1	板状	543.9, 543.7	/	焊缝外	

定向弯曲

检验报告编号 _____

试样编号	试验形式	弯轴直径/mm	弯曲角度/(°)	检验结果
PJ2-2	面弯、背弯、侧弯	$d=3a$	100	合格

冲击韧性试验

检验报告编号 _____

试样编号	缺口形式	缺口位置	试验温度/°C	A_{KV}/J
PJ2-3	U	焊缝、热影响区	室温	110.3, 110.3, 125.5 166.6, 148.1, 141.2

硬度试验结果

检验报告编号 _____

接头硬度(HBS)

焊 缝	热 影 响 区	母 材
75, 82	80, 84	71, 87

金相检验结果

检验报告编号 _____

宏 观	微 观	其 它 检 验
合格	焊缝 <u>B+F+少量P</u> 热影响区 <u>B+P+F</u> 母材 <u>F+P</u>	/

无损探伤检验结果 RT合格 检验报告编号 _____

焊工 _____ 钢印号 _____ 焊工合格证号 _____

评定结论 合格

编 制		校 对		审 核		审 定	
日 期		日 期		日 期		日 期	

焊接工艺设计书

编号 No HSJ-3

工艺评定编号 HPJ-3

评定项目 100MW 锅炉板梁 T 形接头 埋弧焊

焊接方法 SAW 自动化等级 机械化 焊接位置 平 技术标准 锅规

接头坡口形式

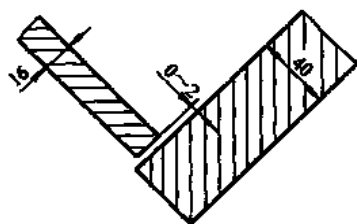


图 PJ-3 左

焊接层次(顺序)

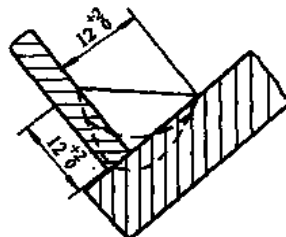


图 PJ-3 右

焊接 2
层

对焊接接头的基本要求

1. 力学性能

σ_b /MPa	σ_s /MPa	δ_5 /%	弯曲角度/(°) ($d=3a$)	冲击试验			其它
				缺口形式	试验温度/°C	A_K /J	
/	/	/	/	/	/	/	≤120HRB

2. 其它 金相微观 宏观检查

母材	牌号 16Mn 规格 16 类别 I δ40mm					
焊接材料	焊条牌号 /	焊条规格 /	型号 /	钨极型号规格 /	焊剂 /	
	焊丝牌号 H10Mn2	焊丝规格 φ4mm	型号 /	保护气 /	流量 /	
				其它气体 /	流量 /	
预热 焊后 热处理	预热温度 100~150°C 层间温度 100~350°C 后热温度, 时间 / 消氢温度, 时间 / 中间热处理 / 时间 / 焊后热处理 / 时间 /					
焊接 工艺 要求	电流种类 交流 极性 / 焊接电流 I 650~750A 电弧电压 U 38~40V 焊接速度 24.2~30.7m/h 送丝速度 78m/h					
操作 要求						
编制		校对		审核		批准
日期		日期		日期		日期

焊接工艺评定书

编号 No HPJ-3设计书编号 No HSJ-3评定项目 100MW 锅炉板梁 T 形接头 埋弧焊焊接方法 SAW 自动化等级 机械化 焊接位置 平 技术标准 钢规

接头坡口形式

见图 PJ-3 左

焊接层次(顺序)

见图 PJ-3 右

母材	检验编号 _____										
	牌号 <u>16Mn</u> 规格 δ_{40}^6 mm 类别 <u>I</u> 钢板型号 <u>/</u> , 直径 <u>/</u>										
化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S						
	0.20	0.28	1.26	0.009	0.010						
	0.18	0.38	1.41	0.014	0.011						
力学性能	σ_s /MPa	/		σ_t /MPa	/		δ_5 /%	/		A_k /J	/
焊材	检验编号 _____										
	焊丝牌号 <u>H10Mn2</u> 焊丝规格 <u>φ4mm</u> 焊丝型号 <u>/</u> 焊剂牌号 <u>HJ431</u>										
化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S						
	0.09	0.07	1.63	0.011	0.012						
焊条	检验编号 _____										
	焊条牌号 <u>/</u> 焊条规格 <u>/</u> 焊条型号 <u>/</u>										
熔敷金属成分(%)	C	Si	Mn	P	S						
	/	/	/	/	/						

保护气体 / 流量 / 其它气体 / 流量 /

预热及焊后热处理

预热温度 / 层间温度 / 后热温度 / 时间 /消氢温度 / 时间 / 中间热处理温度 / 时间 /焊后热处理温度 / 时间 /

(续)

焊接工艺参数

电流种类 交流 极性 / 焊接电流 I 650~750A 电弧电压 U 38~40V 焊接速度 24.2~30.7m/h
送丝速度 78m/h

操作技术

性能检验结果

拉伸试验

检验报告编号

试样编号	试样形式	σ_b /MPa	σ_s /MPa	断裂位置	
/	/	/	/	/	

定向弯曲

检验报告编号

试样编号	试样形式	弯轴直径/mm	弯曲角度/(°)	检验结果
/	/		/	/

冲击韧性试验

检验报告编号

试样编号	缺口形式	缺口位置	试验温度/°C	A_k /J
/	/	/	/	/

硬度试验结果(HRB)

检验报告编号

焊 缝	热 影 响 区	母 材
86.5,90	86.5,92,88.5,91.5	84.5,90

金相检验结果

检验报告编号

宏 观	微 观	其 它 检 验
合格	焊缝 <u>B+P+F</u> 热影响区 <u>B+F+少量P</u> 母材 <u>F+P</u>	/

无损探伤检验结果 检验报告编号 焊工 钢印号 焊工合格证号 评定结论 合格

编 制		校 对		审 核		审 定	
日 期		日 期		日 期		日 期	

焊接工艺设计书

编号 No HSJ-4

工艺评定编号 HPJ-4

评定项目 300MW 锅炉大板梁盖板拼接 SM50BN 钢 埋弧焊接头

焊接方法 SAW 自动化等级 机械化 焊接位置 平 技术标准 AWS D1.1

接头坡口形式

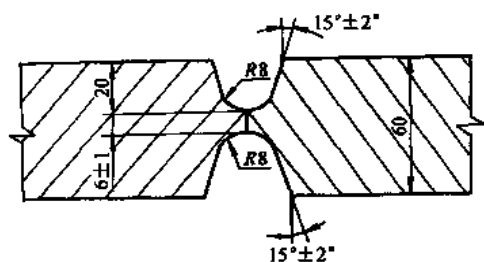


图 PJ-4 左

焊接层次(顺序)

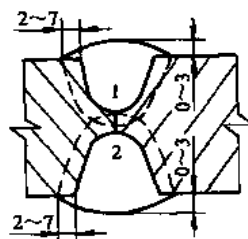


图 PJ-4 右

多层,多
道焊。首先
焊接第 1
侧坡口,翻
身后焊接
第 2 侧坡
口

对焊接接头的基本要求

1. 力学性能

σ_b /MPa	σ_t /MPa	δ_5 /%	弯曲角度/(°) ($d=4a$)	冲击试验			其它
				缺口形式	试验温度/°C	A_{KV} /J	
490~588	≥ 313.6	$\geq 20\%$	180	V	0	≥ 27	/

2. 其它 RT 检查

母材	牌号 SM50BN 规格 $\delta 60\text{mm}$ 类别 P1					
焊接材料	焊条牌号 /	焊条规格 /	型号 /	钨极型号规格 /	焊剂 HJ431	
	焊丝牌号 H10Mn2	焊丝规格 $\phi 4\text{mm}$	型号	保护气 /	流量 /	
				其它气体 /	流量 /	
预热焊后热处理	预热温度 $\geq 100^\circ\text{C}$ 层间温度 $100\sim 350^\circ\text{C}$ 后热温度, 时间 / / 消氢温度, 时间 / / 中间热处理 / / 时间 / / 焊后热处理 $600\sim 620^\circ\text{C}$ 时间 2h					
焊接参数工艺要求	电流种类 交流 极性 / 焊接电流 I 650~700A 电弧电压 U 36~38V 焊接速度 25~30m/h					
操作技术要求						
编制		校对		审核		批准
日期		日期		日期		日期

焊接工艺评定书

编号 No HSJ-4设计书编号 No HPJ-4评定项目 300MW 锅炉大板梁盖板拼接 SM50BN 钢 埋弧焊接头焊接方法 SAW 自动化等级 机械化 焊接位置 平 技术标准 AWSD1.1

接头坡口形式

焊接层次(顺序)

见图 PJ-4 左

见图 PJ-4 右

母材	检验编号 _____ 牌号 <u>SM50BN</u> 规格 <u>δ60mm</u> 类别 <u>P1</u> 钢板型号 <u>/</u> , 直径 <u>/</u>										
	C	Si	Mn	P	S						
化学成分(%)	0.12	0.07	1.67	0.018	0.009						
力学性能	σ_b /MPa	546,560		σ_s /MPa	/		δ_5 /%	/		A_{KV} /J	198,201,212
焊材	检验编号 _____ 焊丝牌号 <u>H10Mn2</u> 焊丝规格 <u>φ4mm</u> 焊丝型号 <u>/</u> 焊剂牌号 <u>HJ431</u>										
	C	Si	Mn	P	S						
化学成分(%)	0.09	0.07	1.67	0.014	0.009						
焊条	焊条牌号 <u>/</u> 焊条规格 <u>/</u> 焊条型号 <u>/</u> 检验编号 _____										
熔敷金属成分(%)	C	Si	Mn	P	S						
	/	/	/	/	/						

保护气体 / 流量 _____ 其它气体 / 流量 _____

预热及焊后热处理

预热温度 ≥100 层间温度 100~350℃ 后热温度 / 时间 /消氢温度 / 时间 / 中间热处理温度 / 时间 /焊后热处理温度 600~620℃ 时间 2

(续)

焊接工艺参数

电流种类 交流 极性 / 焊接电流 I 650~700A 电弧电压 U 36~38V 焊接速度 25~30m/h

操作技术

性能检验结果

拉伸试验

检验报告编号 _____

试样编号	试样形式	σ_b /MPa	σ_s /MPa	断裂位置	
PJ4-1	板状	495.9, 486.1	/	焊缝外	
PJ4-2	棒状	566.4, 534.1	465.5, 401.8	/	

定向弯曲

检验报告编号 _____

试样编号	试样形式	弯轴直径/mm	弯曲角度/(°)	检验结果
PJ4-3	背弯、侧弯	$d=4a$	180	合格

冲击韧性试验

检验报告编号 _____

试样编号	缺口形式	缺口位置	试验温度/°C	A_{kv} /J
PJ4-4	V	焊缝 热影响区	0	105.8, 115.6 100.1, 29.4

硬度试验结果(H)

检验报告编号 _____

焊 缝	热 影 响 区	母 材
/	/	/

金相检验结果

检验报告编号 _____

宏 观	微 观	其 它 检 验
/	/	/

无损探伤检验结果 RT 合格 检验报告编号 _____

焊工 _____ 钢印号 _____ 焊工合格证号 _____

评定结论 合格

编 制	校 对	审 核	审 定
日 期	日 期	日 期	日 期

焊接工艺设计书

编号 No HJS-5

工艺评定编号 HPJ-5

评定项目 21万kW油炉顶梁角接 手弧焊接头

焊接方法 SMAW 自动化等级 手工 焊接位置 横焊 技术标准 AWS D1.1

接头坡口形式

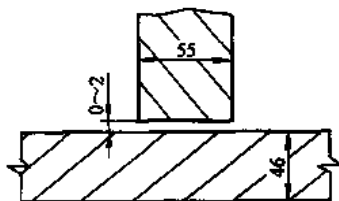


图 PJ-5 左

焊接层次(顺序)

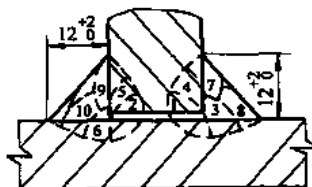
多层多道焊,
两侧对称焊

图 PJ-5 右

对焊接接头的基本要求

1. 力学性能

σ_b /MPa	σ_t /MPa	δ_5 /%	弯曲角度/(°) ($d=a$)	冲击试验			其它
				缺口形式	试验温度/°C	A_K /J	
/	/	/	/	/	/	/	$HV_{10} \leq 280$

2. 其它 金相微观 宏观检查

母材	牌号 <u>A3(Q235)</u> <u>16Mn</u>	规格 δ <u>46</u> <u>55mm</u>	类别 <u>I</u> <u>I</u>				
焊接材料	焊条牌号 <u>J507</u>	焊条规格 <u>ϕ5mm</u>	型号 <u>E5015</u>	焊极型号规格 <u>/</u>	焊剂 <u>/</u>		
	焊丝牌号 <u>/</u>	焊丝规格 <u>/</u>	型号 <u>/</u>	保护气 <u>/</u>	流量 <u>/L/min</u>		
				其它气体 <u>/</u>	流量 <u>/</u>		
预热 焊后 热处理	预热温度 <u>130°C</u> 层间温度 <u>130~350°C</u> 后热温度, 时间 <u>/</u> 消氢温度, 时间 <u>/</u> 中间热处理 <u>/</u> 时间 <u>/</u> 焊后热处理 <u>/</u> 时间 <u>/</u>						
焊接工艺 参数要求	电流种类 <u>直流</u> 极性 <u>反接</u> 焊接电流 <u>I 210~230A</u> 电弧电压 <u>U 23~25V</u>						
操作要求							

编制		校对		审核		批准	
日期		日期		日期		日期	

焊接工艺评定书

编号 No HPJ-5设计书编号 No HSJ-5评定项目 21 万 kW 油炉顶梁角接 手弧焊接头焊接方法 SMAW 自动化等级 手工 焊接位置 横 技术标准 AWSD1.1

接头坡口形式

见图 PJ-5 左

焊接层次(顺序)

见图 PJ-5 右

母材	检验编号 _____ 牌号 <u>A3(Q235)</u> 规格 δ <u>46</u> mm 类别 <u>I</u> <u>16Mn</u> <u>55</u> <u>I</u>										钨极型号 <u>/</u> 直径 <u>/</u>	
	化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S						
	0.16	0.22	0.51	0.021	0.018							
	0.17	0.45	1.44	0.017	0.011							
力学性能	σ_s /MPa	/		σ_s /MPa	/		δ_5 /%	/		A_K /J	/	
焊材	检验编号 _____ 焊丝牌号 <u>/</u> 焊丝规格 <u>/</u> 焊丝型号 <u>/</u> 焊剂牌号 <u>/</u>											
	化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S						
	/	/	/	/	/							
焊条	焊条牌号 <u>J507</u> 焊条规格 <u>φ5mm</u> 焊条型号 <u>E5015</u> 检验编号 _____											
熔敷金属成分(%)	C	Si	Mn	P	S							
	0.095	0.20	1.32	0.014	0.009							

保护气体 / 流量 / L/min 其它气体 / 流量 / L/min

预热及焊后热处理

预热温度 130°C 层间温度 130~350°C 后热温度 / 时间 /消氢温度 / 时间 / 中间热处理温度 / 时间 /焊后热处理温度 / 时间 /

(续)

焊接工艺参数

电流种类 直流 极性 反接 焊接电流 I 210~230A 电弧电压 U 23~25V

操作技术

性能检验结果

拉伸试验

检验报告编号 _____

试样编号	试样形式	σ_b /MPa	σ_s /MPa	断裂位置	
/	/	/	/	/	

定向弯曲

检验报告编号 _____

试样编号	试样形式	弯轴直径/mm	弯曲角度/(°)	检验结果
/	/	/	/	/

冲击韧性试验

检验报告编号 _____

试样编号	缺口形式	缺口位置	试验温度/°C	A_K /J
/	/	/	/	/

硬度试验结果(HV₁₀)

检验报告编号 _____

焊 缝	热 影 响 区	母 材
276,264	A3(Q235)182,176 16Mn 264,268	178,158 173,191

金相检验结果

检验报告编号 _____

宏 观	微 观	其 它 检 验
合 格	焊 缝 <u>B+F</u> 热影响区 <u>A3(Q235) F+P+W</u> <u>16Mn B+F+P</u> 母 材 <u>两侧 F+P</u>	/

无损探伤检验结果 _____ 检验报告编号 _____

焊工 _____ 钢印号 _____ 焊工合格证号 _____

评定结论 合格

编 制		校 对		审 核		审 定	
日 期		日 期		日 期		日 期	

焊接工艺设计书

编号 No HSJ-6工艺评定编号 HPJ-6评定项目 600MW 锅炉板梁盖板拼接 SM50BN 钢 $\delta 130\text{mm}$ 埋弧焊接头焊接方法 SAW 自动化等级 机械化 焊接位置 平 技术标准 AWSD1.1

接头坡口形式

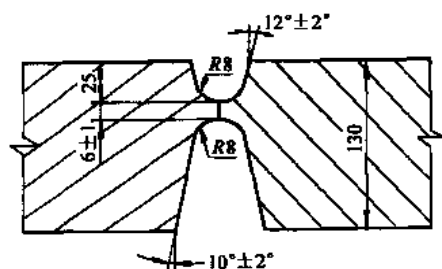


图 PJ-6 左

焊接层次(顺序)

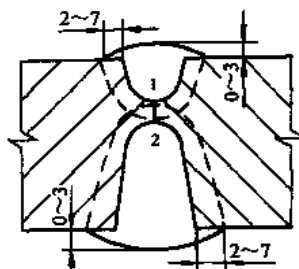


图 PJ-6 右

多层多道焊,
首先焊接第 1
侧坡口,焊满
后,翻身焊第
2 侧坡口

对焊接接头的基本要求

1. 力学性能

σ_b/MPa	σ_s/MPa	$\delta_5/\%$	弯曲角度/(°) ($d=4a$)	冲击试验			其 它
				缺口形式	试验温度/°C	A_{kv}/J	
490~588	313.6	≥ 20	180	V	0	≥ 27	/

2. 其它 RT 检查 金相微观

母材	牌号 <u>SM50BN</u> 规格 <u>δ130mm</u> 类别 <u>P1</u>					
焊接材料	焊条牌号 <u>/</u>	焊条规格 <u>/</u>	型号 <u>/</u>	钨极型号规格 <u>/</u>	焊剂 <u>HJ/431</u>	
	焊丝牌号 <u>H10Mn2</u>	焊丝规格 <u>φ4mm</u>	型号 <u>/</u>	保护气 <u>/</u>	流量 <u>/L/min</u>	
				其它气体 <u>/</u>	流量 <u>/L/min</u>	
预热焊后热处理	预热温度 <u>≥100℃</u> 层间温度 <u>100~350℃</u> 后热温度,时间 <u>/</u> 消氢温度,时间 <u>/</u> 中间热处理 <u>/</u> 时间 <u>/</u> 焊后热处理 <u>600~620℃</u> 时间 <u>2.5h</u>					
焊接工艺参数要求	电流种类 <u>交流</u> 极性 <u>/</u> 焊接电流 <u>I 650~670A</u> 电弧电压 <u>U 34~36V</u> 焊接速度 <u>25~30m/h</u>					
技术要求						
编制		校对		审核		批准
日期		日期		日期		日期

焊接工艺评定书

编号 No HPJ-6

设计书编号 No HSJ-6

评定项目 600MW 锅炉板梁盖板拼接 SM50BN 钢 $\delta 130\text{mm}$ 埋弧焊接头

焊接方法 SAW 自动化等级 机械化 焊接位置 平 技术标准 AWS D1.1

接头坡口形式

焊接层次(顺序)

见图 PJ-6 左

见图 PJ-6 右

母材	检验编号 _____										
	牌号	SM50BN	规格	$\delta 130$ mm	类别	P1	钨极型号 / 直径 /				
化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S						
	0.18	0.25	1.43	0.021	0.015						
力学性能	σ_b/MPa	512,501		σ_s/MPa	354,351		$\delta_5/\%$	/		A_{kv}/J	218,232,227
焊材	检验编号 _____										
	焊丝牌号	H10Mn2	焊丝规格	$\phi 4\text{mm}$	焊丝型号	/	焊剂牌号 HJ431				
化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S						
	0.09	0.07	1.67	0.018	0.009						
焊条	检验编号 _____										
	焊条牌号	/	焊条规格	/	焊条型号	/					
熔敷金属成分(%)	C	Si	Mn	P	S						
	/	/	/	/	/						

保护气体 / 流量 / 其它气体 / 流量 /

预热及焊后热处理

预热温度 $\geq 100^\circ\text{C}$ 层间温度 $100\sim 350^\circ\text{C}$ 后热温度 / 时间 /

消氢温度 / 时间 / 中间热处理温度 / 时间 /

焊后热处理温度 $600\sim 620^\circ\text{C}$ 时间 2.5 h

(续)

焊接工艺参数

电流种类 交流 极性 / 焊接电流 I 650~670A 电弧电压 U 34~36V 焊接速度 25~30m/h

操作技术

性能检验结果

拉伸试验

检验报告编号

试样编号	试样形式	σ_b /MPa	σ_s /MPa	断裂位置	
PJ6-1	板状	504.7, 481.1	/	焊缝外	
PJ6-2	棒状	493.0, 494.0	359.7, 349.7	/	

定向弯曲

检验报告编号

试样编号	试样形式	弯轴直径/mm	弯曲角度/(°)	检验结果
PJ6-3	背弯 侧弯	$d=4a$	180	合格

冲击韧性试验

检验报告编号

试样编号	缺口形式	缺口位置	试验温度/°C	A_{KV}/J
PJ6-4	V	焊 缝 热影响区	0	105.8, 115.6, 123.5 235.2, 333.2, 129.4

硬度试验结果(H)

检验报告编号

焊 缝	热 影 响 区	母 材
/	/	/

金相检验结果

检验报告编号

宏 观	微 观	其 它 检 验
合 格	/	/

无损探伤检验结果 RT 合格 检验报告编号焊工 钢印号 焊工合格证号 评定结论 合格

编 制	校 对	审 核	审 定
日 期	日 期	日 期	日 期

焊接工艺设计书

编号 No HSJ-7

工艺评定编号 HPJ-7

评定项目 600MW 锅炉板梁角接 埋弧焊接头

焊接方法 SAW 自动化等级 机械化 焊接位置 平 技术标准 AWS D1.1

接头坡口形式

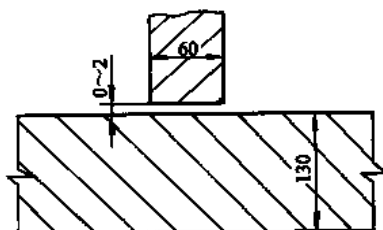


图 PJ-7 左

焊接层次(顺序)

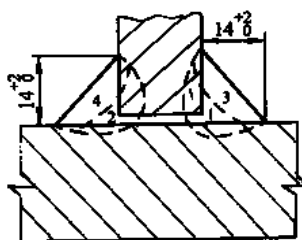


图 PJ-7 右

两侧对称焊
(船形位置)

对焊接接头的基本要求

1. 力学性能

σ_b /MPa	σ_s /MPa	δ_5 /%	弯曲角度/(°) ($d=4a$)	冲击试验			其它
				缺口形式	试验温度/°C	A_K /J	
/	/	/	/	/	/	/	/

2. 其它 金相宏观

母材	牌号 SM50BN 规格 $\delta \begin{smallmatrix} 60 \\ 130 \end{smallmatrix}$ mm 类别 P1					
焊接材料	焊条牌号 /	焊条规格 /	型号 /	钨极型号规格 /	焊剂 HJ431	
	焊丝牌号 H10Mn2	焊丝规格 $\phi 4$ mm	型号 /	保护气 /	流量 /	
				其它气体 /	流量 /	
预热焊后热处理	预热温度 $\geq 100^\circ\text{C}$ 层间温度 $100\sim 350^\circ\text{C}$ 后热温度, 时间 / 消氢温度, 时间 / 中间热处理 / 时间 / 焊后热处理 / 时间 /					
焊接工艺参数要求	电流种类 交流 极性 / 焊接电流 $I 650\sim 670\text{A}$ 电弧电压 $U 36\sim 38\text{V}$ 焊接速度 $25\sim 28\text{m/h}$					
操作要求						
编制		校对		审核		批准
日期		日期		日期		日期

焊接工艺评定书

编号 No HPJ-7设计书编号 No HSJ-7评定项目 600MW 锅炉板梁角接 埋弧焊接头焊接方法 SAW 自动化等级 机械化 焊接位置 平 技术标准 AWSD1.1

接头坡口形式

见图 PJ-7 左

焊接层次(顺序)

见图 PJ-7 右

母材	检验编号 _____										
	牌号 <u>SM50BN</u> 规格 δ ⁶⁰ / ₁₃₀ mm 类别 <u>P1</u>					钨极型号 <u>/</u> 直径 <u>/</u>					
化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S						
	0.12	0.36	1.32	0.021	0.018						
	0.18	0.25	1.36	0.017	0.020						
力学性能	σ_s /MPa	/		σ_s /MPa	/		δ_5 /%	/		A_K /J	/
焊材	检验编号 _____										
	焊丝牌号 <u>H10Mn2</u> 焊丝规格 <u>φ4mm</u> 焊丝型号 <u>/</u> 焊剂牌号 <u>HJ431</u>										
化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S						
	0.09	0.39	1.69	0.020	0.011						
焊条	检验编号 _____										
	焊条牌号 <u>/</u> 焊条规格 <u>/</u> 焊条型号 <u>/</u>										
熔敷金属成分(%)	C	Si	Mn	P	S						
	/	/	/	/	/						

保护气体 /, 流量 / 其它气体 /, 流量 /

预热及焊后热处理

预热温度 $\geq 100^\circ\text{C}$ 层间温度 $100\sim 350^\circ\text{C}$ 后热温度 / 时间 /消氢温度 / 时间 / 中间热处理温度 / 时间 /焊后热处理温度 / 时间 /

(续)

焊接工艺参数							
电流种类 <u>交流</u> 极性 <u>/</u> 焊接电流 I <u>650~670A</u> 电弧电压 U <u>35~38V</u> 焊接速度 <u>25~28m/h</u>							
操作技术							
性能检验结果							
拉伸试验						检验报告编号 <u> </u>	
试样编号	试样形式	σ_b /MPa	σ_t /MPa	断裂位置			
/	/	/	/	/			
定向弯曲						检验报告编号 <u> </u>	
试样编号	试样形式	弯轴直径/mm	弯曲角度/(°)	检验结果			
/	/	$d=a$	/	/			
冲击韧性试验						检验报告编号 <u> </u>	
试样编号	缺口形式	缺口位置	试验温度/°C	A _K /J			
/	/	/	/	/			
硬度试验结果(H)						检验报告编号 <u> </u>	
接头硬度(HV ₁₀)							
焊 缝		热 影 响 区		母 材			
/		/		/			
金相检验结果						检验报告编号 <u> </u>	
宏 观		微 观		其 它 检 验			
合 格		<u> </u> <u> </u> <u> </u>		/			
无损探伤检验结果 <u> </u> 检验报告编号 <u> </u>							
焊工 <u> </u> 钢印号 <u> </u> 焊工合格证号 <u> </u>							
评定结论 <u>合格</u>							
编 制		校 对		审 核		审 定	
日 期		日 期		日 期		日 期	

焊接工艺设计书

编号 No HSJ-8

工艺评定编号 HPJ-8

评定项目 板梁叠板拼接 20g 钢 $\delta 36\text{mm}$ 手弧焊+埋弧焊接头

焊接方法 SMAW+SAW 自动化等级 手工+机械化 焊接位置 平 技术标准 钢规

接头坡口形式

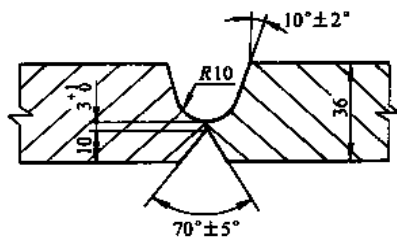


图 PJ-8 左

焊接层次(顺序)

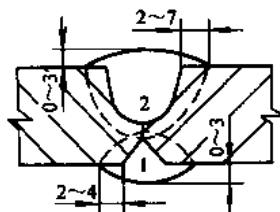


图 PJ-8 右

首先 SMAW
焊接第 1 侧坡
口,再以 SAW
焊满第 2 侧坡
口

对焊接接头的基本要求

1. 力学性能

σ_b/MPa	σ_s/MPa	$\delta_5/\%$	弯曲角度/(°) ($d=3a$)	冲击试验			其 它
				缺口形式	试验温度/°C	A_K/J	
≥ 410	/	/	180	V	常温	≥ 35	$HV_{10} \leq 280$

2. 其它 RT 检查 金相组织 宏观检查

母材	牌号 20g 规格 $\delta 36\text{mm}$ 类别 I					
焊接材料	焊条牌号 J507	焊条规格 $\phi 4, \phi 5\text{mm}$	型号 E5015	钨极型号规格 /	焊剂 G50	
	焊丝牌号 H08MnA	焊丝规格 $\phi 4\text{mm}$	型号 /	保护气 /	流量 /	
				其它气体 /	流量 /	
预热焊后热处理	预热温度 / 层间温度 / 后热温度, 时间 / 消氢温度, 时间 / 中间热处理 / 时间 / 焊后热处理 $610 \sim 630^\circ\text{C}$ 时间 1.5h					
焊接工艺参数要求	电流种类 直流 极性 反接 焊接电流 SMAW: $\phi 4\text{mm}$: I 160~180A $\phi 5\text{mm}$: I 200~220A 电弧电压 U 23~25V SAW: 焊接电流 I 580~620A 电弧电压 U 34~38V 焊接速度 25~30m/h 送丝速度 83~108m/h					
操作要求	首先手弧焊焊接 70°坡口, 反面进行埋弧焊					
编 制		校 对		审 核		批 准
日 期		日 期		日 期		日 期

焊接工艺评定书

编号 No HPJ-8

设计书编号 No HSJ-8

评定项目 板梁盖板拼接 20g 钢 $\delta 36\text{mm}$ 手弧焊十埋弧焊接头

焊接方法 SMAW+SAW 自动化等级 手工+机械化 焊接位置 平 技术标准 钢规

接头坡口形式

焊接层次(顺序)

见图 PJ-8 左

见图 PJ-8 右

母材	检验编号 _____									
	牌号 20g	规格 $\delta 36\text{mm}$	类别 I	焊板型号 / 直径 /						
化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S					
	0.18	0.26	0.57	0.04	0.04					
力学性能	σ_b/MPa	452,449	σ_s/MPa	/	$\delta_5/\%$	/	A_{kv}/J	178,184,201		
焊材	检验编号 _____									
	焊丝牌号 H08MnA	焊丝规格 $\phi 4\text{mm}$	焊丝型号 /	焊剂牌号 G50						
化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S					
	0.08	0.026	0.87	0.023	0.012					
焊条	检验编号 _____									
	焊条牌号 J507	焊条规格 $\phi 4, \phi 5\text{mm}$	焊条型号 E5015							
焊条化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S					
	0.08	0.21	0.95	0.023	0.017					

保护气体 / , 流量 / 其它气体 / , 流量 /

预热及焊后热处理

预热温度 / 层间温度 $\leq 300^\circ\text{C}$ 后热温度 / 时间 /

消氢温度 / 时间 / 中间热处理温度 / 时间 /

焊后热处理温度 $610\sim 630^\circ\text{C}$ 时间 1.5h

(续)

焊接工艺参数

电流种类 直流 极性 反接 SMAW: 焊接电流 $\phi 4\text{mm}$: I 160~180A 电弧电压 U 23~24V $\phi 5\text{mm}$: I 200~220A U 24~25V SAW: 焊接电流 I 580~620A 电弧电压 U 34~38V 焊接速度 25~30m/h 送丝速度 83~108m/h

操作技术

首先手弧焊焊接 70°坡口, 反面以埋弧焊焊满

性能检验结果

拉伸试验

检验报告编号 _____

试样编号	试样形式	σ_b/MPa	σ_s/MPa	断裂位置	
PJ8-1	板状	441, 450	/	焊缝外	

定向弯曲

检验报告编号 _____

试样编号	试样形式	弯轴直径/mm	弯曲角度/(°)	检验结果
PJ8-2	侧弯	$d=3a$	180×4	合格

冲击韧性试验

检验报告编号 _____

试样编号	缺口形式	缺口位置	试验温度/°C	A_{kv}/J
PJ8-3	V	焊缝 热影响区	室温	104, 142, 122 156, 154, 159

硬度试验结果(HV₁₀)

检验报告编号 _____

焊 缝	热 影 响 区	母 材
148, 143	156, 154	157, 153

金相检验结果

检验报告编号 _____

宏 观	微 观	其 它 检 验
合 格	焊 缝 <u>F+P+B</u> 热影响区 <u>F+P+少量 W</u> 母 材 <u>F+P</u>	/

无损探伤检验结果 RT合格 检验报告编号 _____

焊工 _____ 钢印号 _____ 焊工合格证号 _____

评定结论 合格

编 制		校 对		审 核		审 定	
日 期		日 期		日 期		日 期	

焊接工艺设计书

编号 No HSJ-9

工艺评定编号 HPJ-9

评定项目 板梁盖板拼接 SM50 BN 钢 $\delta 20\text{mm}$ 埋弧焊接头

焊接方法 SAW 自动化等级 机械化 焊接位置 平 技术标准 钢规

接头坡口形式

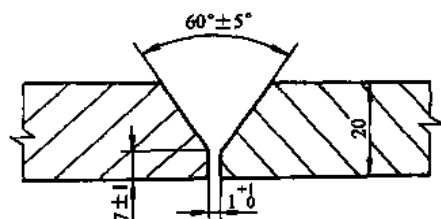


图 PJ-9 左

焊接层次(顺序)

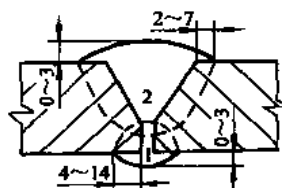


图 PJ-9 右

首先以 SAW
焊接无坡口第 1
侧焊一层后,再
焊满第 2 侧坡
口

对焊接接头的基本要求

1. 力学性能

σ_b/MPa	σ_s/MPa	$\delta_5/\%$	弯曲角度/(°) ($d=3a$)	冲击试验			其 它
				缺口形式	试验温度/°C	A_{KV}/J	
490~588	313.6	/	100°	V	0	≥ 27	/

2. 其它 RT 检查

母材	牌号 SM50BN 规格 $\delta 20\text{mm}$ 类别 P1						
焊接材料	焊条牌号 /	焊条规格 /	型号 /	焊极型号规格 /	焊剂 HJ431		
	焊丝牌号 H10Mn2	焊丝规格 $\phi 5\text{mm}$	型号 /	保护气 /	流量 /L/min	其它气体 /	流量 /
预热 热处 理	预热温度 / 层间温度 / 后热温度, 时间 / 消氢温度, 时间 / 中间热处理 / 时间 / 焊后热处理 / 时间 /						
	焊接工艺参数要求 电流种类 交流 极性 / 焊接电流 I 800~850A 电弧电压 U 38~40V 焊接速度 25~28m/h 送丝速 度 81~87.5m/h						
操作技 术要 求							
编 制		校 对		审 核		批 准	
日 期		日 期		日 期		日 期	

焊接工艺评定书

编号 No HPJ-9

设计书编号 No HSJ-9

评定项目 锅炉金属结构板梁盖板拼接 SM50BN 钢 $\delta 20\text{mm}$ 埋弧焊接头

焊接方法 SAW 自动化等级 机械化 焊接位置 平 技术标准 钢规

接头坡口形式

焊接层次(顺序)

见图 PJ-9 左

见图 PJ-9 右

母材	检验编号 _____										
	牌号 SM50BN		规格 $\delta 20\text{mm}$		类别 P1		钨极型号 / 直径 /				
化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S						
	0.18	0.33	1.32	0.028	0.014						
力学性能	σ_s/MPa	572,561		σ_b/MPa	/		$\delta_5/\%$	/		A_{KV}/J	201,196,187
焊材	检验编号 _____										
	焊丝牌号 H10Mn2		焊丝规格 $\phi 5\text{mm}$		焊丝型号 /		焊剂牌号 HJ431				
化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S						
	0.08	0.03	1.76	0.014	0.011						
焊条	检验编号 _____										
	焊条牌号 /		焊条规格 /		焊条型号 /						
熔敷金属成分(%)	C	Si	Mn	P	S						
	/	/	/	/	/						

保护气体 / , 流量 / 其它气体 / , 流量 /

预热及焊后热处理

预热温度 / 层间温度 / 后热温度 / 时间 /

消氢温度 / 时间 / 中间热处理温度 / 时间 /

焊后热处理温度 / 时间 /

(续)

焊接工艺参数

电流种类 交流 极性 / 焊接电流 I 800~850A 电弧电压 U 38~40V 焊接速度 25~28m/h 送丝速度 81~87.5m/h

操作技术

性能检验结果

拉伸试验

检验报告编号 _____

试样编号	试样形式	σ_b /MPa	σ_t /MPa	断裂位置	
PJ9-1	板状	560.6, 535.7	/	焊缝外	
PJ9-2	棒状	526.3, 524.3	359.7, 374.4	/	

定向弯曲

检验报告编号 _____

试样编号	试样形式	弯轴直径/mm	弯曲角度/(°)	检验结果
PJ9-3	侧弯	$d=3a$	100	合格

冲击韧性试验

检验报告编号 _____

试样编号	缺口形式	缺口位置	试验温度/°C	A_{kv} /J
PJ9-4	V	焊缝 热影响区	0	80.9, 93.1, 100.1 29.4, 127.4, 215.6

硬度试验结果(H)

检验报告编号 _____

焊 缝	热 影 响 区	母 材
/	/	/

金相检验结果

检验报告编号 _____

宏 观	微 观	其 它 检 验
/	/	/

无损探伤检验结果 RT 合格 检验报告编号 _____

焊工 _____ 钢印号 _____ 焊工合格证号 _____

评定结论 合格

编 制		校 对		审 核		审 定	
日 期		日 期		日 期		日 期	

焊接工艺设计书

编号 No HSJ-10

工艺评定编号 HPJ-10

评定项目 大板梁盖板拼接 A36 $\delta 24\text{mm}$ 手弧焊接头

焊接方法 SMAW 自动化等级 手工 焊接位置 平 技术标准 钢规

接头坡口形式

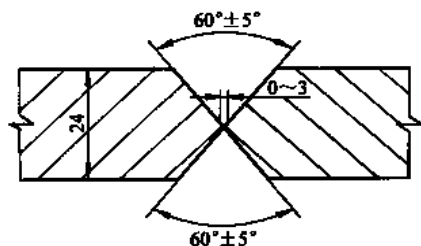


图 PJ-10 左

焊接层次(顺序)

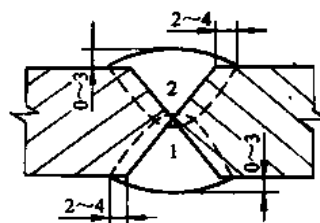


图 PJ-10 右

第1侧坡口
焊至 1/2, 翻身
焊第2侧坡口
焊满后, 再将第
1侧坡口焊满

对焊接接头的基本要求

1. 力学性能

σ_b/MPa	σ_s/MPa	$\delta_5/\%$	弯曲角度/(°) ($d=3a$)	冲击试验			其它
				缺口形式	试验温度/°C	A_{KV}/J	
400~550	/	/	180	V	室温	≥ 27	$HV_{10} \leq 280$

2. 其它 RT 检查 金相宏观检查

母材	牌号 A36 规格 $\delta 24\text{mm}$ 类别 I					
焊接材料	焊条牌号 J507	焊条规格 $\phi 4, \phi 5\text{mm}$	型号 E5015	焊极型号规格 /	焊剂 /	
	焊丝牌号 /	焊丝规格 /	型号 /	保护气 /	流量 /	
				其它气体 /	流量 /	
预热 热处理 焊后理	预热温度 / 层间温度 / 后热温度, 时间 / 消氢温度, 时间 / 中间热处理 / 时间 / 焊后热处理 / 时间 /					
焊接工艺参数要求	电流种类 直流 极性 反接 焊接电流 $\phi 4\text{mm}$: $I 160 \sim 180\text{A}$ 电弧电压 $U 23 \sim 24\text{V}$ $\phi 5\text{mm}$: $I 200 \sim 220\text{A}$ $U 23 \sim 25\text{V}$					
操作技术要求						
编制		校对		审核		批准
日期		日期		日期		日期

焊接工艺评定书

编号 No HPJ-10设计书编号 No HSJ-10评定项目 大板梁盖板拼接 A36 $\delta 24$ mm 手弧焊接头焊接方法 SMAW 自动化等级 手工 焊接位置 平 技术标准 钢规

接头坡口形式

见图 PJ-10 左

焊接层次(顺序)

见图 PJ-10 右

母材	检验编号 _____ 牌号 <u>A36</u> 规格 <u>$\delta 24$</u> mm 类别 <u>1</u>										焊级型号 <u>/</u> 直径 <u>/</u>	
化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S							
	0.16	0.25	1.04	0.021	0.020							
力学性能	σ_s /MPa	486,491		σ_s /MPa	/		δ_5 /%	/		A_{KV}/J	254,289,301	
焊材	检验编号 _____ 焊丝牌号 <u>/</u> 焊丝规格 <u>/</u> 焊丝型号 <u>/</u> 焊剂牌号 <u>/</u>											
化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S							
	/	/	/	/	/							
焊条	焊条牌号 <u>J507</u> 焊条规格 <u>$\phi 4, \phi 5$</u> mm 焊条型号 <u>E5015</u> 检验编号 _____											
熔敷金属成分(%)	C	Si	Mn	P	S							
	0.07	0.33	0.92	0.018	0.011							

保护气体 / 流量 / 其它气体 / 流量 /

预热及焊后热处理

预热温度 / 层间温度 / 后热温度 / 时间 /消氢温度 / 时间 / 中间热处理温度 / 时间 /焊后热处理温度 / 时间 /

(续)

焊接工艺参数

电流种类 直流 极性 反接 焊接电流 $\phi 4\text{mm}$, I 160~180A 电弧电压 U 23~24V $\phi 5\text{mm}$, I 200~220A
 U 23~25V

操作技术

性能检验结果

拉伸试验

检验报告编号 _____

试样编号	试样形式	σ_b/MPa	σ_s/MPa	断裂位置	
PJ10-1	板状	480.2 488.0	/	焊缝外	

定向弯曲

检验报告编号 _____

试样编号	试样形式	弯轴直径/mm	弯曲角度/(°)	检验结果
PJ10-2	侧弯	$d=3a$	180	合格

冲击韧性试验

检验报告编号 _____

试样编号	缺口形式	缺口位置	试验温度/°C	A_{kv}/J
PJ10-3	V	焊缝 热影响区	室温	272.4, 305.8, 287.1 245.0, 257.7, 228.3

硬度试验结果

检验报告编号 _____

接头硬度

焊 缝	热 影 响 区	母 材
/	/	/

金相检验结果

检验报告编号 _____

宏 观	微 观	其 它 检 验
合 格	/	/

无损探伤检验结果 RT合格 检验报告编号 _____

焊工 _____ 钢印号 _____ 焊工合格证号 _____

评定结论 合格

编 制		校 对		审 核		审 定	
日 期		日 期		日 期		日 期	

第6章 压力容器焊接工艺评定实例

按《压力容器安全监察规程》和 GB150/T—1998《钢制压力容器》的要求，压力容器施焊前应按《压力容器焊接工艺评定》标准的规定进行相应的焊接工艺评定。

压力容器结构及焊缝布置列于图 6-1。其中，A 类、B 类为纵环缝，必须进行焊接工艺评定；管接头与筒体连接的 D 类焊缝，无论是组合焊缝还是角焊缝，也需进行焊接工艺评定。此外，接管与法兰及端盖焊接等 C 类焊缝均需经焊接工艺评定合格后才能投入生产。

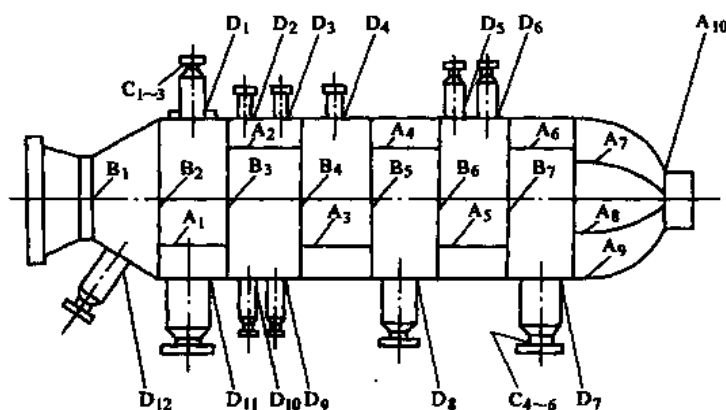


图 6-1 压力容器结构及焊缝布置简图

各类焊缝按其不同材质、厚度、焊接方法、接头形式的焊接工艺评定实例列举如下：

1 压力容器筒体接头的焊接工艺评定实例

焊接工艺设计书

编号 No HSY-1

工艺评定编号 HPY-1

评定项目 一、二类压力容器 20g 钢壳体环缝对接 手工电弧焊^①（手弧焊）接头

焊接方法 SMAW 自动化等级 手工 焊接位置 平 技术标准 GB/T150—1998

接头坡口形式

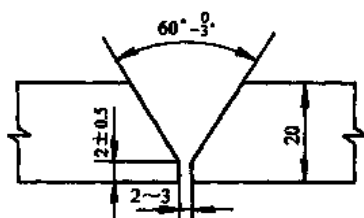


图 PY-1 左

焊接层次（顺序）

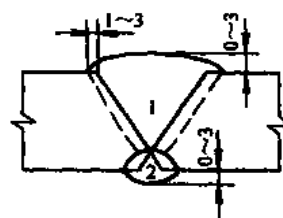


图 PY-1 右

首先焊
正面坡口
1，反面经
电弧气刨
清根后再
施焊 1~2
层

(续)

对焊接接头的基本要求

1. 力学性能

σ_b /MPa	σ_s /MPa	δ_5 /%	弯曲角度/(°) $d=3a$	冲击试验			其 它
				缺口形式	试验温度/°C	A_{KV} /J	
≥ 411	≥ 245	—	180	V	20	≥ 34	$HV_{10}^2 \leq 280$

2. 其它 无损探伤检验 宏观检验

母材	牌号 <u>20g</u> 规格 <u>δ 20mm</u> 类别 <u>I-I</u>		
焊接材料	焊条牌号 <u>J507</u> 焊条规格 <u>$\phi 4, \phi 5$ mm</u> 型号 <u>E5015</u> 钨极型号规格 _____ 焊剂 _____ 焊丝牌号 <u>/</u> 焊丝规格 <u>/</u> 型号 <u>/</u> 保护气 <u>/</u> 流量 <u>/</u> 其它气体 <u>/</u> 流量 <u>/</u>		
预热 焊后热处理	预热温度 _____ 层间温度 $\leq 300^\circ\text{C}$ 后热温度, 时间 _____ 消氢温度, 时间 _____ 中间热处理 _____ 时间 _____ 焊后热处理 _____ 时间 _____		
焊接工艺参数要求	电流种类 <u>直流</u> 极性 <u>反接</u> 焊接电流 <u>$\phi 4\text{mm}$ 160~180A $\phi 5\text{mm}$ 200~220A</u> 电弧电压 <u>U23~25V</u>		
操作技术要求	1. 清理坡口内及两侧母材 15mm 范围内的一切污物杂质 2. 首先焊接内坡口, 第一层以 $\phi 4\text{mm}$ 焊条施焊, 其它层以 $\phi 5\text{mm}$ 焊条施焊 3. 反面焊前清根		
编 制	校 对	审 核	批 准
日 期	日 期	日 期	日 期

① 根据 GB/T3375—94《焊接术语》中规定, 将手工电弧焊(手弧焊)改为焊条电弧焊, 下同。

② HV_{10} 中“10”表示试验力为 98N, 下同

焊接工艺评定书

编号 No HPY-1

设计书编号 No HSY-1

评定项目 一、二类压力容器 20g 钢壳体环缝对接 手工电弧(手弧焊)焊接头

焊接方法 SMAW 自动化等级 手工 焊接位置 平 技术标准 GB/T150--1998

接头坡口形式					焊接层次(顺序)							
见图 PY-1 左					见图 PY-1 右							
母材	检验编号 _____										钨极型号 _____ 直径 _____	
	牌号 20g	规格 δ 20mm	类别 I-1									
化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S							
力学性能	σ_b /MPa	421,418	σ_s /MPa	268,290	δ_5 /%	30,32	A_{KV} /J	220,198,210				
焊材	检验编号 _____											
	焊丝牌号 /	焊丝规格 /	焊丝型号 /	焊剂牌号 /								
化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S							
	/	/	/	/	/							
焊条	焊条牌号 J507 焊条规格 $\phi 4, \phi 5$ mm 焊条型号 E5015 检验编号 _____											
熔敷金属化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S							
	0.08	0.25	1.45	0.020	0.019							

预热及焊后热处理

预热温度 _____ 层间温度 $\leq 300^\circ\text{C}$ 后热温度 _____ 时间 _____

消氢温度 _____ 时间 _____ 中间热处理温度 _____ 时间 _____

焊后热处理温度 _____ 时间 _____

(续)

焊接工艺参数

电流种类 直流 极性 反接 焊接电流 $\phi 4\text{mm}$: 160~180A $\phi 5\text{mm}$: 200~220A电弧电压 U 23~25V

操作技术

首先焊接 70°坡口, 第一层以 $\phi 4\text{mm}$ 焊条, 其余层以 $\phi 5\text{mm}$ 焊条, 焊接叠面层以 $\phi 4\text{mm}$ 焊条施焊, 底层用电弧气刨清根, 打磨后以 $\phi 4\text{mm}$ 焊条焊满坡口。

性能检验结果

拉伸试验

检验报告编号 _____

试样编号	试样形式	σ_b/MPa	σ_s/MPa	断裂位置	
P1-1	板状	430 428	—	焊缝外	

定向弯曲

检验报告编号 _____

试样编号	试样形式	弯轴直径/mm	弯曲角度/(°)	检验结果
P1-2	侧弯	$d=3a$	180	合格

冲击韧性试验

检验报告编号 _____

试样编号	缺口形式	缺口位置	试验温度/°C	A_{KV}/J
P1-3	V	焊缝 热影响区	20	182, 191, 186 81, 81, 89

硬度试验结果(HV₁₀)

检验报告编号 _____

焊 缝	热影响区	母 材
193, 191	201, 198	172, 179

金相检验结果

检验报告编号 _____

宏 观	微 观	其它检验
合格	—	—

无损探伤检验结果 RT 合格

检验报告编号 _____

焊工 _____

钢印号 _____

焊工合格证号 _____

评定结论

合格

编 制		校 对		审 核		审 定	
日 期		日 期		日 期		日 期	

注: 表中化学成分“%”均指该化学成分中该元素的质量分数(w/%), 下同。

焊接工艺设计书

编号 No HSY-2工艺评定编号 HPY-2评定项目 压力容器 20g 钢 壳体环缝对接 手工电弧焊+埋弧焊接头焊接方法 SMAW+SAW 自动化等级 手工+机械化 焊接位置 平 技术标准 GB/T150-1998

接头坡口形式

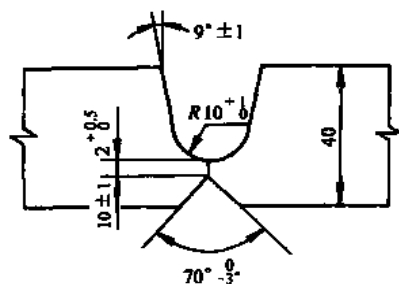
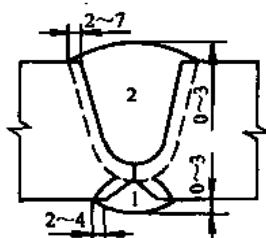


图 PY-2 左

焊接层次(顺序)



首先焊 70°坡口, 反面 SAW 焊前清根, 打磨后方可施焊

图 PY-2 右

对焊接接头的基本要求

1. 力学性能

σ_b /MPa	σ_s /MPa	δ_5 /%	弯曲角度/(°) ($d=3a$)	冲击试验			其 它
				缺口形式	试验温度/°C	A_{kv} /J	
390~530	≥205	≥25	180	V	20	≥35	/

2. 其它 无损探伤 RT

母材	牌号 <u>20g</u> 规格 <u>δ 40mm</u> 类别 <u>I-I</u>						
焊接材料	焊条牌号 <u>J507</u>	焊条规格 <u>φ4, φ5mm</u>	型号 <u>E5015</u>	钨极型号规格 <u>/</u>	焊剂 <u>HJ431</u>		
	焊丝牌号 <u>H08MnA</u>	焊丝规格 <u>φ4mm</u>	型号 <u>/</u>	保护气 <u>/</u>	流量 <u>/</u>	其它气体 <u>/</u>	流量 <u>/</u>
预热焊后热处理	预热温度 <u>/</u> 层间温度 <u>≤300°C</u> 后热温度, 时间 <u>/</u> 消氢温度, 时间 <u>/</u> 中间热处理 <u>/</u> 时间 <u>/</u> 焊后热处理 <u>(610±10)°C</u> 时间 <u>2.5h</u>						
焊接工艺参数要求	电流种类 <u>直流</u> 极性 <u>反接</u> 焊接电流 <u>SMAW: φ4mm: I 160~180A φ5mm: I 200~220A</u> 电弧电压 <u>U23~25V</u> SAW, 焊接电流 <u>I 500~600A</u> 电弧电压 <u>U 33~35V</u> 焊接速度 <u>25~30m/h</u> , 送丝速度 <u>85~95m/h</u>						
操作技术要求	1. 清理坡口内及两侧母材 20mm 内一切污物、杂质 2. 首先焊内坡口手工电弧焊焊缝 3. 外坡口埋弧焊前以电弧气刨清焊根, 打磨后施焊						
编 制		校 对		审 核		批 准	
日 期	/	日 期	/	日 期	/	日 期	/

焊接工艺评定书

编号 No HPY-2设计书编号 No HSY-2评定项目 压力容器 20g 钢壳体环缝对接 手电弧焊+埋弧焊接头焊接方法 SMAW+SAW 自动化等级 手工+机械化 焊接位置 平 技术标准 GB/T150-1998

接头坡口形式

焊接层次(顺序)

见图 PY-2 左

见图 PY-2 右

母材	检验编号 _____										钨极型号 _____ 直径 / _____		
	牌号 <u>20g</u>	规格 <u>δ 40mm</u>	类别 <u>I-I</u>										
化学成分 (%)	C	Si	Mn	P	S								
	0.21	0.26	0.52	0.017	0.018								
力学性能	σ_b /MPa		460, 471		σ_s /MPa		372, 313		δ_5 /%		27, 29	A_{KV} /(J)	200, 184, 196
焊材	检验编号 _____												
	焊丝牌号 <u>H08MnA</u> 焊丝规格 <u>φ4mm</u> 焊丝型号 / 焊剂牌号 <u>HJ431</u>												
化学成分 (%)	C	Si	Mn	P	S								
	0.09	0.10	1.10	0.019	0.020								
焊条	焊条牌号 <u>J507</u> 焊条规格 <u>φ4, φ5mm</u> 焊条型号 <u>E5015</u> 检验编号 _____												
熔敷金属化学成分 (%)	C	Si	Mn	P	S								
	0.10	0.21	1.04	0.010	0.009								

保护气体 / , 流量 / 其它气体 / , 流量 /

预热及焊后热处理

预热温度 / 层间温度 ≤ 300 °C 后热温度 / , 时间 /

消氢温度 / , 时间 / h 中间热处理温度 / 时间 /

焊后热处理温度 610 ± 10 °C 时间 2.5

(续)

焊接工艺参数

电流种类 直流 极性 反接 SMAW: 焊接电流 $\phi 4\text{mm}$: I 160~180A $\phi 5\text{mm}$: I 200~220A 电弧电压 U 23~25V SAW: 焊接电流 I 500~600A 焊接电压 U 33~35V 焊接速度 25~30m/h 送丝速度 85~95m/h

操作技术

1. 清理坡口内及两侧母材 20mm 内一切污物杂质
2. 首先手工电弧焊接内坡口, 第 1 层用 $\phi 4\text{mm}$ 焊条施焊, 其余层以 $\phi 5\text{mm}$ 焊条施焊
3. 外坡口用埋弧焊, 焊前以电弧气刨清根, 打磨后施焊

性能检验结果

拉伸试验

检验报告编号 _____

试样编号	试样形式	σ_b/MPa	σ_s/MPa	断裂位置	
P2-1	板状	470, 6 460, 4	/	焊缝外	

定向弯曲

检验报告编号 _____

试样编号	试样形式	弯轴直径/mm	弯曲角度/ (°)	检验结果
P2-2	侧弯	$d=3a$	180 180 180 180	合格

冲击韧性试验

检验报告编号 _____

试样编号	缺口形式	缺口位置	试验温度/°C	A_{KV}/J
P2-3	V	焊缝 热影响区	20	169, 176, 178.4 150.2, 147.4, 152.2

硬度试验结果 (H)

检验报告编号 _____

焊 缝	热影响区	母 材
/	/	/

金相检验结果

检验报告编号 _____

宏 观	微 观	其它检验
/	/	/

无损探伤检验结果 RT 合格

检验报告编号 _____

焊工 _____

钢印号 _____

焊工合格证号 _____

评定结论 合格

编 制	校 对	审 核	审 定
日 期	日 期	日 期	日 期

焊接工艺设计书

编号 No HSY-3工艺评定编号 HPY-3评定项目 压力容器 20g 钢壳体纵缝对接 双面埋弧焊接头焊接方法 SAW 自动化等级 自动 焊接位置 平 技术标准 GB/T150—1998

接头坡口形式

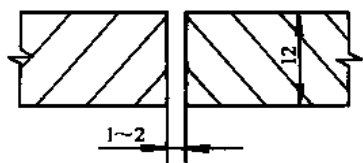
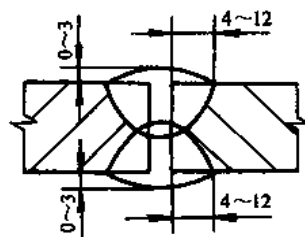


图 PY-3 左

焊接层次 (顺序)



正反面各焊一层

图 PY-3 右

对焊接接头的基本要求

1. 力学性能

σ_b /MPa	σ_s /MPa	δ_5 /%	弯曲角度/(°) ($d=3a$)	冲击试验			其它
				缺口形式	试验温度/°C	A_{KV} /J	
390~530	/	/	180	U	20	≥ 60	/

2. 其它 无损探伤

母材	牌号 <u>20g</u> 规格 δ <u>12mm</u> 类别 <u>I-1</u>
焊接材料	焊条牌号 <u>/</u> 焊条规格 <u>/</u> 型号 <u>/</u> 钨极型号规格 <u>/</u> 焊剂 <u>HJ430</u> 焊丝牌号 <u>H08MnA</u> 焊丝规格 <u>$\phi 4mm$</u> 型号 <u>/</u> 保护气 <u>/</u> 流量 <u>/</u> 其它气体 <u>/</u> 流量 <u>/</u>
预热焊后热处理	预热温度 <u>/</u> 层间温度 $\leq 300^\circ\text{C}$ 后热温度, 时间 <u>/</u> 消氢温度, 时间 <u>/</u> 中间热处理 <u>/</u> 时间 <u>/</u> 焊后热处理 <u>/</u> 时间 <u>/</u>
焊接工艺参数要求	电流种类 <u>直流</u> 极性 <u>反接</u> 焊接电流 <u>1600~650A</u> 电弧电压 <u>U34~37V</u> 焊速 <u>36m/h</u> 送丝速度 <u>85~95m/h</u>
操作技术要求	1. 清理坡口两侧母材 20mm 内一切污物和杂质 2. 首先焊反面, 埋弧焊一层, 焊前将试件压放在焊渣剂垫上 3. 清理焊渣后, 焊接反面焊缝, 焊前应将试板间隙内的焊渣清理干净

编制		校对		审核		批准	
日期		日期		日期		日期	

焊接工艺评定书

编号 No HSY-3设计书编号 No HPY-3评定项目 压力容器 20g 钢壳体纵缝对接 双面埋弧焊接头焊接方法 SAW 自动化等级 自动 焊接位置 平 技术标准 GB/T150-1998

接头接口形式

见图 PY-3 左

焊接层次(顺序)

见图 PY-3 右

母材	检验编号 _____										钢板型号 <u>/</u> , 直径 <u>/</u>	
	牌号 <u>20g</u>		规格 <u>δ 12mm</u>		类别 <u>I-1</u>							
化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S							
	0.19	0.28	0.58	0.01	0.018							
力学性能	σ_b /MPa		501, 498.4		σ_s /MPa		330.2, 310		δ_5 /%		31, 30	
									A_{KV} /(J)		121, 133, 140	
焊材	检验编号 _____											
	焊丝牌号 <u>H08MnA</u>		焊丝规格 <u>φ4mm</u>		焊丝型号 <u>/</u>		焊剂牌号 <u>HJ431</u>					
化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S							
	0.10	0.10	1.10	0.009	0.012							
焊条	焊条牌号 <u>/</u> 焊条规格 <u>/</u> 焊条型号 <u>/</u> 检验编号 _____											
	C	Si	Mn	P	S							
熔敷金属化学成分(%)	/	/	/	/	/							
保护气体 <u>/</u> 流量 <u>/</u> 其它气体 <u>/</u> 流量 <u>/</u>												
预热及焊后热处理												
预热温度 <u>/</u> 层间温度 <u>≤300°C</u> 后热温度 <u>/</u> 时间 <u>/</u>												
消氢温度 <u>/</u> 时间 <u>/</u> 中间热处理温度 <u>/</u> 时间 <u>/</u>												
焊后热处理温度 <u>/</u> °C 时间 <u>/</u>												

(续)

焊接工艺参数

电流种类 直流 极性 反接 焊接电流 1600~650A 焊接电压 U34~37V
 焊接速度 36m/h 送丝速度 85~95m/h

操作技术

1. 清理坡口及其两侧母材 20mm 内一切污物和杂质
2. 首先焊接反面焊缝,埋弧焊一层,焊后将试件压放在焊剂垫上
3. 清理试件正面间隙中的焊渣,埋弧焊一层焊缝

性能检验结果

拉伸试验

检验报告编号 _____

试样编号	试样形式	σ_b /MPa	σ_s /MPa	断裂位置	
P3-1	板状	501.2, 490.8	/	焊缝外	

定向弯曲

检验报告编号 _____

试样编号	试样形式	弯轴直径/mm	弯曲角度/(°)	检验结果
P3-2	面弯 背弯	$d=3a$	180, 180 180, 180	合格

冲击韧性试验

检验报告编号 _____

试样编号	缺口形式	缺口位置	试验温度/°C	A_{KV} /J
P3-3	U	焊缝 热影响区	20	98.116.4, 98 107.8, 91.90

硬度试验结果(H)

检验报告编号 _____

焊 缝	热影响区	母 材
/	/	/

金相检验结果

检验报告编号 _____

宏 观	微 观	其它检验
/	/	/

无损探伤检验结果 RT 合格

检验报告编号 _____

焊工 _____

钢印号 _____

焊工合格证号 _____

评定结论 合格

编 制		校 对		审 核		审 定	
日 期		日 期		日 期		日 期	

焊接工艺设计书

编号 No HSY-4

工艺评定编号 HPY-4

评定项目 压力容器 20g 钢 $\delta 100\text{mm}$ 壳体环缝对接 手弧焊+埋弧焊接头

焊接方法 SMAW+SAW 自动化等级 手工+机械化 焊接位置 平 技术标准 GB/T150—1998

接头坡口形式

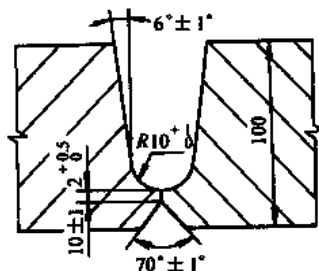


图 PY-4 左

焊接层次(顺序)

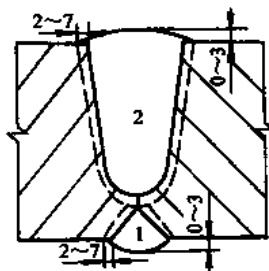


图 PY-4 右

首先 SMAW
焊接 70°坡口,
正面 SAW 前清
根,打磨后方可
施焊。

对焊接接头的基本要求

1. 力学性能

σ_b/MPa	σ_s/MPa	$\delta_5/\%$	弯曲角度/(°) ($d=3a$)	冲击试验			其 它
				缺口形式	试验温度/°C	A_{KV}/J	
390~530	/	/	180°	U	20	≥ 60	/

2. 其它 无损探伤 RT

母材	牌号 20g 规格 $\delta 100\text{mm}$ 类别 I-I						
焊接材料	焊条牌号 J507	焊条规格 $\phi 4\text{mm}, \phi 5\text{mm}$	型号 /	钨极型号规格 /	焊剂 HJ431		
	焊丝牌号 H08MnA	焊丝规格 $\phi 4\text{mm}$	型号 /	保护气 /	流量 /	其它气体 /	流量 /
预热 焊后 热处理	预热温度 手弧焊 $\geq 80^\circ\text{C}$ 埋弧焊 $100\sim 120^\circ\text{C}$ 层间温度 $\leq 300^\circ\text{C}$ 后热温度, 时间 / 消氢温度, 时间 / 中间热处理 / 时间 / 焊后热处理 $620\sim 640^\circ\text{C}$ 时间 5h						
焊接工艺参数要求	电流种类 直流 极性 反接 焊接电流 SMAW: $\phi 4\text{mm}$ I 160~180A; $\phi 5\text{mm}$ I 200~220A 电弧电压 U23~25V SAW: I 550~650A U 35~37V 焊接速度 26~28m/h 送丝速度 85~95m/h						
操作技术要求	1. 清理坡口及两侧母材 20mm 内一切污物和杂质 2. 首先手工电弧焊 70°坡口, 第一层采用 $\phi 4\text{mm}$ 焊条, 其它各层采用 $\phi 5\text{mm}$ 焊条施焊 3. 埋弧焊前应电弧气刨清根, 打磨后进行焊接						
编 制		校 对		审 核		批 准	
日 期		日 期		日 期		日 期	

焊接工艺评定书

编号 No HPY-4

设计书编号 No HSY-4

评定项目 压力容器 20g 钢 $\delta 100\text{mm}$ 壳体环缝对接 手弧焊+埋弧焊接头

焊接方法 SMAW+SAW 自动化等级 手工+机械化 焊接位置 平 技术标准 GB/T150—1998

接头坡口形式

焊接层次(顺序)

见图 PY-4 左

见图 PY-4 右

母材	检验编号 _____									
	牌号 20 钢	规格 $\delta 100\text{mm}$	类别 I-1	铸板型号 / , 直径 /						
化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S					
	0.20	0.18	0.55	0.021	0.02					
力学性能	σ_b/MPa	498,501	σ_s/MPa	342,325	$\delta_5/\%$	30,32	$A_{KV}/(\text{J})$	204,198,184		
焊材	检验编号 _____									
	焊丝牌号 H08MnA	焊丝规格 $\phi 4\text{mm}$	焊丝型号 /	焊剂牌号 HJ431						
化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S					
	0.08	0.10	1.18	0.018	0.010					
焊条	焊条牌号 J507 焊条规格 $\phi 4, \phi 5 \text{ mm}$ 焊条型号 E5015 检验编号 _____									
熔敷金属化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S					
	0.12	0.11	1.08	0.014	0.009					
保护气体 / , 流量 / 其它气体 / , 流量 /										
预热及焊后热处理										
预热温度 SMAW80°C SAW100~120°C 层间温度 $\leq 300^\circ\text{C}$ 后热温度 / 时间 /										
消氢温度 / 时间 / 中间热处理温度 / 时间 /										
焊后热处理温度 620~640°C 时间 5										

(续)

焊接工艺参数

电流种类 直流 极性 反接 焊接电流 SMAW: $\phi 4\text{mm}$ I 160~180A $\phi 5\text{mm}$ I 200~220A电弧电压 U 23~25V SAW: I 550~650A U 35~37V 焊接速度 26~28m/h

送丝速度 85~95m/h

操作技术

1. 清理坡口及两侧母材 20mm 内一切污物和杂质
2. 首先焊手工电弧焊 70°坡口, 第一层采用 $\phi 4\text{mm}$ 焊条, 其它层以 $\phi 5\text{mm}$ 焊条施焊。
3. 埋弧焊前应采用电气刨清根, 打磨后再进行焊接

性能检验结果

拉伸试验

检验报告编号 _____

试样编号	试样形式	σ_b/MPa	σ_t/MPa	断裂位置	
P4-1	板状	440, 431	/	焊缝外	

定向弯曲

检验报告编号 _____

试样编号	试验样式	弯轴直径/mm	弯曲角度/(°)	检验结果
P4-2	侧弯	$d=3a$	180	合格

冲击韧性试验

检验报告编号 _____

试样编号	缺口形式	缺口位置	试验温度/°C	A_{kv}/J
P4-3	U	焊缝 热影响区	20	201, 163, 177 132, 155, 137

硬度试验结果(H)

检验报告编号 _____

焊 缝	热影响区	母 材
/	/	/

金相检验结果

检验报告编号 _____

宏 观	微 观	其它检验
/	/	/

无损探伤检验结果 RT 合格

检验报告编号 _____

焊工 _____

钢印号 _____

焊工合格证号 _____

评定结论 合格

编 制		校 对		审 核		审 定	
日 期		日 期		日 期		日 期	

焊接工艺设计书

编号 No HSY-5

工艺评定编号 HPY-5

评定项目 压力容器 20g 钢 δ 100mm 壳体纵缝对接 电渣焊接头

焊接方法 ESW 自动化等级 自动 焊接位置 立 技术标准 GB/T150—1998

接头坡口形式

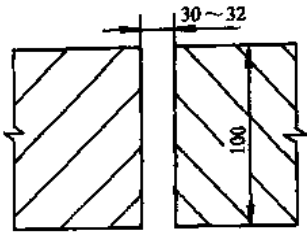


图 PY-5 左

焊接层次(顺序)

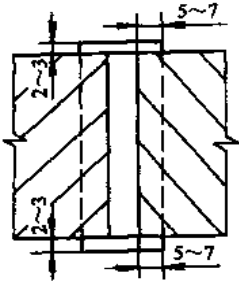


图 PY-5 右

对焊接接头的基本要求

1. 力学性能

σ_b /MPa	σ_s /MPa	δ_5 /%	弯曲角度/(°) ($d=3a$)	冲击试验			其它
				缺口形式	试验温度/°C	A_{KV} /J	
390~530	/	/	180°	U	20	≥ 60	/

2. 其它 无损探伤 UT

母材	牌号 <u>20g</u> 规格 <u>$\delta=100\text{mm}$</u> 类别 <u>I-1</u>						
焊接材料	焊条牌号 <u>/</u> 焊条规格 <u>/</u> 型号 <u>/</u> 钨极型号规格 <u>/</u> 焊剂 <u>HJ431</u> 焊丝牌号 <u>H10Mn2</u> 焊丝规格 <u>$\phi 3\text{mm}$</u> 型号 <u>/</u> 保护气 <u>/</u> 流量 <u>/</u> 其它气体 <u>/</u> 流量 <u>/</u>						
预热焊后热处理	预热温度 <u>/</u> 层间温度 <u>/</u> 后热温度,时间 <u>/</u> 消氢温度,时间 <u>/</u> 中间热处理 <u>/</u> 时间 <u>/</u> 焊后热处理正火 <u>910~930°C+回火 630~650°C</u> 时间 <u>2h,5h</u>						
焊接工艺参数要求	电流种类 <u>交流</u> 极性 <u>/</u> 焊接电流 <u>I 450~500A</u> 电弧电压 <u>U 39~41V</u> 焊接速度 <u>1m/h</u> 送丝速度 <u>180m/h</u> 3 根焊丝 渣池深度 <u>65~70mm</u> 焊丝距离 <u>55mm</u>						
操作技术要求							
编制		校对		审核		批准	
日期		日期		日期		日期	

焊接工艺评定书

编号 No HPY-5设计书编号 No HSY-5评定项目 压力容器 20g 钢 δ 100mm 壳体纵缝对接 电渣焊接头焊接方法 ESW 自动化等级 自动 焊接位置 立 技术标准 GB/T150—1998

接头坡口形式

焊接层次(顺序)

见图 PY-5 左

见图 PY-5 右

母材	检验编号 _____										
	牌号 <u>20g</u>		规格 <u>δ 100mm</u>		类别 <u>I-1</u>			钢板型号 <u>/</u> 直径 <u>/</u> mm			
化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S						
	0.20	0.18	0.55	0.021	0.02						
力学性能	σ_s /MPa		498,501		σ_b /MPa		342,325		δ_5 /%		
									30,32		
								A_{KV} /(J)		204,198,184	
焊材	检验编号 _____										
	焊丝牌号 <u>H10Mn2</u> 焊丝规格 <u>ϕ 3mm</u> 焊丝型号 <u>/</u> 焊剂牌号 <u>HJ431</u>										
化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S						
	0.10	0.07	1.80	0.01	0.009						
焊条	检验编号 _____										
	牌号 <u>/</u> 焊条规格 <u>/</u> 焊条型号 <u>/</u>										
熔敷金属化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S						
	/	/	/	/	/						
保护气体 <u>/</u> , 流量 <u>/</u> 其它气体 <u>/</u> 流量 <u>/</u>											

预热及焊后热处理

 预热温度 / 层间温度 / 后热温度 / 时间 / 消氢温度 / 时间 / 中间热处理温度 / 时间 / 焊后热处理温度 正火 910~930℃ 回火 630~650 时间 2.5 h

(续)

焊接工艺参数

电流种类 交流 极性 / 焊接电流 I 450~500A 焊接电压 U 39~41V 焊接速度 1m/h
 送丝速度 180m/h 3 根焊丝 渣池深度 65~70mm 焊丝距离 55mm

操作技术

性能检验结果

拉伸试验

检验报告编号 _____

试样编号	试样形式	σ_b /MPa	σ_s /MPa	断裂位置	
P5-1	板状	450 438 440	/	焊缝外 焊缝上 焊缝上	

定向弯曲

检验报告编号 _____

试样编号	试样形式	弯轴直径/mm	弯曲角度/(°)	检验结果
P5-2	侧弯	$d=3a$	180	合格

冲击韧性试验

检验报告编号 _____

试样编号	缺口形式	缺口位置	试验温度/°C	A_{KU} /J
P5-3	U	焊缝 热影响区	20	136,137.2,170.5 133,135,141

硬度试验结果(H)

检验报告编号 _____

焊 缝	热影响区	母 材
/	/	/

金相检验结果

检验报告编号 _____

宏 观	微 观	其它检验
/	/	/

无损探伤检验结果 UT 合格

检验报告编号 _____

焊工 _____

钢印号 _____

焊工合格证号 _____

评定结论

合格

编 制		校 对		审 核		审 定	
日 期		日 期		日 期		日 期	

焊接工艺设计书

编号 No HSY-6工艺评定编号 HPY-6评定项目 压力容器壳体纵缝对接 SM50B 钢 δ 36mm 电流焊接头焊接方法 ESW 自动化等级 自动 焊接位置 立 技术标准 JB4708—92

接头坡口形式

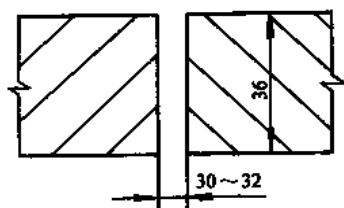


图 PY-6 左

焊接层次(顺序)

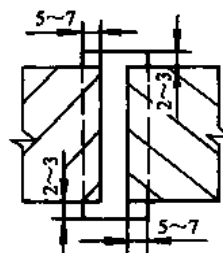


图 PY-6 右

对焊接接头的基本要求

1. 力学性能

σ_b /MPa	σ_s /MPa	δ_5 /%	弯曲角度/(°) ($d=3a$)	冲击试验			其它
				缺口形式	试验温度/°C	A_{KV} /J	
≥ 490	/	/	100	V	20	≥ 27	/

2. 其它 无损探伤 UT

母材	牌号 <u>SM50B</u> 规格 <u>δ36mm</u> 类别 <u>I-2</u>						
焊接材料	焊条牌号 <u> / </u> 焊条规格 <u> / </u> 型号 <u> / </u> 钨极型号规格 <u> / </u> 焊剂 <u>HJ431</u> 焊丝牌号 <u>H10Mn2</u> 焊丝规格 <u>φ 3mm</u> 型号 <u> / </u> 保护气 <u> / </u> 流量 <u> / </u> 其它气体 <u> / </u> 流量 <u> / </u>						
预热焊后热处理	预热温度 <u> / </u> 层间温度 <u> / </u> °C 后热温度,时间 <u> </u> 消氢温度,时间 <u> / </u> 中间热处理 <u> / </u> 时间 <u> / </u> 焊后热处理 <u>正火 910~930°C</u> 回火 <u>600~630°C</u> 时间 <u>1,1.5</u> h						
焊接工艺参数要求	电流种类 <u>交流</u> 极性 <u> / </u> 焊接电流 <u>I 450~480A</u> 电弧电压 <u>U 43~45V</u> 焊接速度 <u>1~1.2m/h</u> 单根焊丝 <u> </u> 送丝速度 <u>190m/h</u> 渣池深度 <u>65~70mm</u>						
操作技术要求							

编 制		校 对		审 核		批 准	
日 期		日 期		日 期		日 期	

焊接工艺评定书

编号 No HPY-6

设计书编号 No HSY-6

评定项目 压力容器壳体纵缝对接 SM50B 钢 $\delta 36\text{mm}$ 电渣焊接头

焊接方法 ESW 自动化等级 自动 焊接位置 立 技术标准 JB4708—92

接头坡口形式

见图 PY-6 左

焊接层次(顺序)

见图 PY-6 右

母材	检验编号 _____									
	牌号 SM50B	规格 $\delta 36\text{mm}$	类别 I-2	钨极型号 / 直径 /						
化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S					
	0.14	0.45	1.48	0.02	0.018					
力学性能	σ_s/MPa	552,548	σ_t/MPa	402 398	$\delta_5/\%$	26,27	$A_{KV}/(\text{J})$	154,166,180		
焊材	检验编号 _____									
	焊丝牌号 H10Mn2	焊丝规格 $\phi 3\text{mm}$	焊丝型号 /	焊剂牌号 HJ431						
化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S					
	0.10	0.07	1.80	0.01	0.009					
焊条	牌号 / 焊条规格 / 焊条型号 / 检验编号 _____									
熔敷金属化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S					
	/	/	/	/	/					
保护气体 / , 流量 / 其它气体 / 流量 /										
预热及焊后热处理										
预热温度 / 层间温度 / 后热温度 / 时间 /										
消氢温度 / 时间 /										
中间热处理温度 / 时间 / 焊后热处理温度 正火 910~930℃ 回火 600~630℃ 时间 1.1.5 h										

(续)

焊接工艺参数

电流种类 交 极性 / 焊接电流 I 450~480A 电弧电压 U 43~45V 焊接速度 1~1.2m/h单丝 送丝速度 190m/h 渣池深度 65~70mm

操作技术

性能检验结果

拉伸试验

检验报告编号 _____

试样编号	试样形式	σ_b /MPa	σ_s /MPa	断裂位置	
P6-1	板状	508 514	/	焊缝上	

定向弯曲

检验报告编号 _____

试样编号	试样形式	弯轴直径/mm	弯曲角度/(°)	检验结果
P6-2	侧弯	$d=3a$	180	合格

冲击韧性试验

检验报告编号 _____

试样编号	缺口形式	缺口位置	试验温度/°C	A_{KV} /J
P6-3	V	焊缝 热影响区	20	88.6, 89.4, 98 112, 150, 173

硬度试验结果

检验报告编号 _____

焊 缝	热影响区	母 材
/	/	/

金相检验结果

检验报告编号 _____

宏 观	微 观	其它检验
/	<u> / </u> <u> / </u> <u> / </u>	/

无损探伤检验结果 UT 合格

检验报告编号 _____

焊工 _____

钢印号 _____

焊工合格证号 _____

评定结论 合格

编 制		校 对		审 核		审 定	
日 期		日 期		日 期		日 期	

焊接工艺设计书

编号 No HSY-7工艺评定编号 HPY-7评定项目 压力容器 16MnR 钢 $\delta 20\text{mm}$ 壳体纵缝对接 手弧焊接头焊接方法 SHAW 自动化等级 手工 焊接位置 平 技术标准 JB4708-92

接头坡口形式

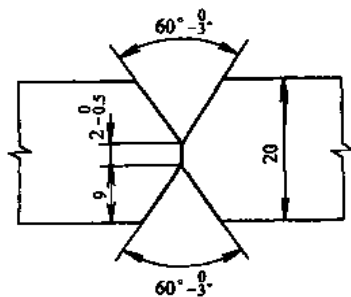


图 PY-7 左

焊接层次(顺序)

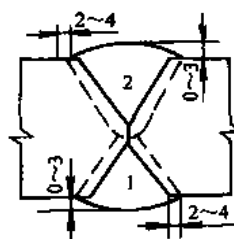


图 PY-7 右

首先焊接反面坡口(1), 正面坡口焊前应清根, 打磨后方可施焊

对焊接头的基本要求

1. 力学性能

σ_s/MPa	σ_b/MPa	$\delta_5/\%$	弯曲角度/(°) ($d=3a$)	冲击试验			其它
				缺口形式	试验温度/°C	A_{KV}/J	
490~635	/	/	100	U	20	≥ 60	/

2. 其它 无损探伤 RT

母材	牌号 <u>16MnR</u> 规格 <u>$\delta 20\text{mm}$</u> 类别 <u>I-2</u>					
焊接材料	焊条牌号 <u>J507</u>	焊条规格 <u>$\phi 4, \phi 5\text{mm}$</u>	型号 <u>E5015</u>	钨极型号规格 <u>/</u>	焊剂 <u>/</u>	
	焊丝牌号 <u>/</u>	焊丝规格 <u>/</u>	型号 <u>/</u>	保护气 <u>/</u>	流量 <u>/</u> L/min	
				其它气体 <u>/</u>	流量 <u>/</u> L/min	
预热焊后热处理	预热温度 <u>/</u> 层间温度 <u>$\leq 300^\circ\text{C}$</u> 后热温度, 时间 <u>/</u> 消氢温度, 时间 <u>/</u> 中间热处理 <u>/</u> 时间 <u>/</u> 焊后热处理 <u>/</u> 时间 <u>/</u> h					
焊接工艺参数要求	电流种类 <u>直流</u> 极性 <u>反接</u> 焊接电流 <u>$\phi 4\text{mm}, I 160\sim 180\text{A}$ $\phi 5\text{mm}, I 200\sim 220\text{A}$</u> 电弧电压 <u>$U 23\sim 25\text{V}$</u>					
操作技术要求	1. 清理坡口及两侧母材 15mm 内一切污物和杂质 2. 焊接反面坡口, 首层以 $\phi 4\text{mm}$ 焊条, 其余层以 $\phi 5\text{mm}$ 焊条施焊 3. 焊接正面坡口前应以电弧气刨清根, 打磨, 首层以 $\phi 4\text{mm}$ 焊条施焊, 其余层以 $\phi 5\text{mm}$ 焊条焊接					
编制		校对		审核		批准
日期		日期		日期		日期

焊接工艺评定书

编号 No HPY-7设计书编号 No HSY-7评定项目 压力容器 16MnR 钢 $\delta 20\text{mm}$ 壳体纵缝对接 手弧焊接头焊接方法 SMAW 自动化等级 手工 焊接位置 平 技术标准 JB4708-92

接头坡口形式

焊接层次(顺序)

见图 PY-7 左

见图 PY-7 右

母材	检验编号 _____										
	牌号 <u>16MnR</u>	规格 <u>$\delta 20\text{mm}$</u>	类别 <u>I-2</u>								
化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S						
	0.16	0.43	1.40	0.02	0.019						
力学性能	σ_b/MPa	560,551		σ_s/MPa	325,360		$\delta_5/\%$	26,23		$A_{KU}/(\text{J})$	135,150,148
焊材	检验编号 _____										
	焊丝牌号 <u>/</u> 焊丝规格 <u>/</u> 焊丝型号 <u>/</u> 焊剂牌号 <u>/</u>										
化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S						
	/	/	/	/	/						
焊条	牌号 <u>J507</u> 焊条规格 <u>$\phi 4, \phi 5$ mm</u> 焊条型号 <u>E5015</u> 检验编号 _____										
熔敷金属化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S						
	0.09	0.25	1.15	0.011	0.010						
保护气体 <u>/</u> 流量 <u>/</u> 其它气体 <u>/</u> 流量 <u>/</u>											
预热及焊后热处理											
预热温度 <u>/</u> 层间温度 <u>$\leq 300^\circ\text{C}$</u> 后热温度 <u>/</u> 时间 <u>/</u>											
消氢温度 <u>/</u> 时间 <u>/</u> 中间热处理温度 <u>/</u> 时间 <u>/</u>											
焊后热处理温度 <u>/</u> 时间 <u>/</u>											

(续)

焊接工艺参数

电流种类 直流 极性 反接 焊接电流, $\phi 4\text{mm}$: $I 160\sim 180\text{A}$ $\phi 5\text{mm}$: $I 200\sim 220\text{A}$ 电弧电压 $U 23\sim 25\text{V}$

操作技术

1. 清理坡口及两侧母材 15mm 内一切污物和杂质
2. 焊接反面坡口, 第一层以 $\phi 4\text{mm}$ 焊条施焊, 其它层以 $\phi 5\text{mm}$ 焊条焊接
3. 焊接正面先以电弧气刨清根, 打磨, 第一层以 $\phi 4\text{mm}$ 焊条施焊, 其它层以 $\phi 5\text{mm}$ 焊条焊接

性能检验结果

拉伸试验

检验报告编号 _____

试样编号	试样形式	σ_b/MPa	σ_t/MPa	断裂位置	
P7-1	板状	560 555	/	焊缝外	

定向弯曲

检验报告编号 _____

试样编号	试样形式	弯轴直径/mm	弯曲角度/(°)	检验结果
P7-2	面弯 背弯	$d=3a$	180	合格

冲击韧性试验

检验报告编号 _____

试样编号	缺口形式	缺口位置	试验温度/°C	A_{KV}/J
P7-3	U	焊缝 热影响区	20	110, 119, 134 100, 111, 116

硬度试验结果(H)

检验报告编号 _____

焊 缝	热影响区	母 材
/	/	/

金相检验结果

检验报告编号 _____

宏 观	微 观	其它检验
/	/	/

无损探伤检验结果 RT 合格

检验报告编号 _____

焊工 _____

钢印号 _____

焊工合格证号 _____

评定结论 合格

编 制		校 对		审 核		审 定	
日 期		日 期		日 期		日 期	

焊接工艺设计书

编号 No HSY-8工艺评定编号 HPY-8评定项目 低温容器 16MnDR 钢 $\delta 36$ mm 封头拼接 焊条电弧焊+埋弧焊接头焊接方法 SMAW+SAW 自动化等级 手工+机械化 焊接位置 平 技术标准 GB/T150-1998

接头坡口形式

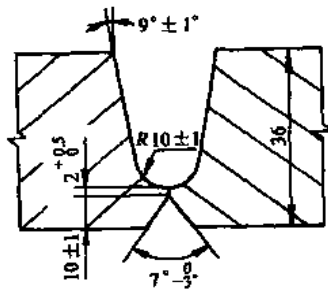


图 PY-8 左

焊接层次(顺序)

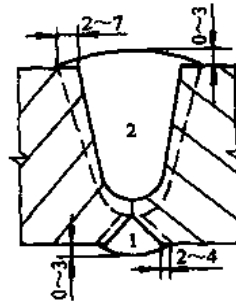


图 PY-8 右

先 SMAW
焊 70°坡口,
清根后焊正面
坡口,连续埋
弧焊

对接接头的基本要求

1. 力学性能

σ_b /MPa	σ_s /MPa	δ_5 /%	弯曲角度/(°) ($d=3a$)	冲击试验			其它
				缺口形式	试验温度/°C	A_{kv} /J	
≥490	/	/	100	V	-35°C	≥20	/

2. 其它 无损探伤

母材	牌号 <u>16MnDR</u> 规格 <u>$\delta 36$mm</u> 类别 <u>I-2</u>						
焊接材料	焊条牌号 <u>J507</u>	焊条规格 <u>$\phi 4, \phi 5$ mm</u>	型号 <u>E5015</u>	钨极型号规格 <u>/</u>	焊剂 <u>HJ350</u>		
	焊丝牌号 <u>H08MnMoA</u>	焊丝规格 <u>$\phi 4$mm</u>	型号 <u>/</u>	保护气 <u>/</u>	流量 <u>/</u>	其它气体 <u>/</u>	流量 <u>/</u>
预热焊后热处理	预热温度 <u>/</u> 层间温度 <u>/</u> 后热温度,时间 <u>/</u> 消氢温度,时间 <u>/</u> 中间热处理 <u>/</u> 时间 <u>/</u> 焊后热处理 <u>正火 910~930°C, 回火 610~630°C</u> 时间 <u>0.5h, 1.5h</u>						
焊接工艺参数要求	电流种类 <u>直流</u> 极性 <u>反接</u> 焊接电流 <u>SMAW: $\phi 4$mm, I 160~180A $\phi 5$mm, I 200~220A</u> 电弧电压 <u>U 23~25V</u> <u>SAW: I 580~620A U 32~34V</u> 焊接速度 <u>28~30m/h</u> 送丝速度 <u>90m/h</u>						
操作技术要求	1. 清理坡口内及两侧母材 20mm 内一切污物和杂质 2. 首先焊手工电弧焊 70°坡口,首层以 $\phi 4$ mm 焊条施焊,其它层以 $\phi 5$ mm 焊条焊接 3. 焊接正面埋弧焊坡口时,先以电弧气刨清根,打磨后施焊						
编制		校对		审核		批准	
日期		日期		日期		日期	

焊接工艺评定书

编号 No HPY-8

设计书编号 No HSY-8

评定项目 低温容器 16MnDR 钢 $\delta 36\text{mm}$ 封头拼接 手弧焊+埋弧焊接头

焊接方法 SMAW+SAW 自动化等级 手工+机械化 焊接位置 平 技术标准 GB/T-150

接头坡口形式

见图 PY-8 左

焊接层次(顺序)

见图 PY-8 右

首先焊接 70°坡口挑
焊根后,再焊接正面埋
弧焊坡口,焊缝尺寸见
图

母材	检验编号 _____									
	牌号 16MnDR	规格 $\delta 36\text{mm}$	类别 1-2	钢板型号 / , 直径 /						
化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S	Mo				
	0.18	0.10	1.28	0.017	0.010	0.45				
力学性能	σ_b/MPa	508,515	σ_s/MPa	324,310	$\delta_5/\%$	23,25	$A_{kv}/(\text{J})$ (-35℃)	42,48,52		
焊材	检验编号 _____									
	焊丝牌号 H08MnMoA , 焊丝规格 $\phi 4\text{mm}$ 焊丝类别 / 焊剂牌号 HJ350									
化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S					
	0.09	0.20	1.60	0.010	0.012					
焊条	牌号 J507 焊条规格 $\phi 4, \phi 5\text{mm}$ 焊条型号 E5015 检验编号 _____									
熔敷金属化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S					
	0.07	0.30	0.92	0.012	0.009					
保护气体 / , 流量 / 其它气体 / 流量 /										

预热及焊后热处理

预热温度 / 层间温度 $\leq 300^\circ\text{C}$ 后热温度 / 时间 / 消氢温度 / 时间 /中间热处理温度 / 时间 / 焊后热处理温度 正火 $910\sim 930^\circ\text{C}$, 回火 $610\sim 630$ 时间 0.5h , 1.5

(续)

焊接工艺参数

电流种类 直流 极性 反接 SMAW: $\phi 4\text{mm}$; $I 160\sim 180\text{A}$ $\phi 5\text{mm}$; $I 200\sim 220\text{A}$ 电弧电压 $U 23\sim 25\text{V}$ SAW: $I 580\sim 620\text{A}$ $U 32\sim 34\text{V}$ 焊接速度 $28\sim 30\text{m/h}$ 送丝速度 90m/h

操作技术

1. 首先焊接手工电弧焊坡口, 第一层以 $\phi 4\text{mm}$ 焊条施焊, 其它层以 $\phi 5\text{mm}$ 焊条施焊
2. 焊接正面埋弧焊坡口时, 以电弧气刨清根, 打磨后施焊

性能检验结果

拉伸试验

检验报告编号 _____

试样编号	试样形式	σ_b/MPa	σ_s/MPa	断裂位置	
P8-1	板状	501 513	/	焊缝外	

定向弯曲

检验报告编号 _____

试样编号	试样形式	弯曲直径/mm	弯曲角度/(°)	检验结果
P8-2	侧弯	$d=3a$	100	合格

冲击韧性试验

检验报告编号 _____

试样编号	缺口形式	缺口位置	试验温度/°C	A_{KV}/J
P8-3	V	焊缝 热影响区	-35	SAW 119, 120, 132 SMAW 120, 110, 98 SAW 20, 23, 24 SMAW 30, 27, 23

硬度试验结果(H)

检验报告编号 _____

焊 缝	热影响区	母 材
/	/	/

金相检验结果

检验报告编号 _____

宏 观	微 观	其它检验
/	/	/

无损探伤检验结果 RT 合格

检验报告编号 _____

焊工 _____

钢印号 _____

焊工合格证号 _____

评定结论 合格

编 制		校 对		审 核		审 定	
日 期		日 期		日 期		日 期	

焊接工艺设计书

编号 No HSY-9工艺评定编号 HPY-9评定项目 压力容器 16MnR 钢 $\delta 48\text{mm}$ 壳体环缝对接 手弧焊+窄间隙埋弧焊接头焊接方法 SMAW+NGSAW 自动化等级 手工+自动化 焊接位置 平 技术标准 GB/T150-150

接头坡口形式

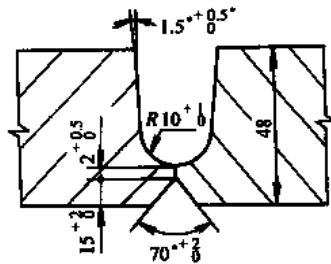
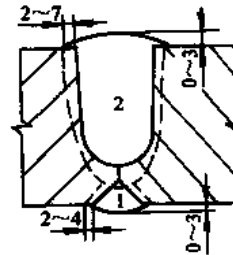


图 PY-9 左

焊接层次(顺序)



首先焊 70°
坡口正面埋
弧焊坡口,焊
前应清根,打
磨后方可施
焊

图 PY-9 右

对焊接接头的基本要求

1. 力学性能

σ_b/MPa	σ_s/MPa	$\delta_5/\%$	弯曲角度/(°) ($d=3a$)	冲击试验			其 它
				缺口形式	试验温度/°C	A_{kv}/J	
≥ 490	/	/	100°	V	20	≥ 27	/

2. 其它 无损探伤

母材	牌号 <u>16MnR</u> 规格 <u>$\delta 48\text{mm}$</u> 类别 <u>I-2</u>						
焊接材料	焊条牌号 <u>J507</u>	焊条规格 <u>$\phi 4, \phi 5$</u>	mm	型号 <u>E5015</u>	焊极型号规格 <u>/</u>	焊剂 <u>SJ101</u>	
	焊丝牌号 <u>H10Mn2</u>	焊丝规格 <u>$\phi 4\text{mm}$</u>		型号 <u>/</u>	保护气 <u>/</u>	流量 <u>/</u>	
					其它气体 <u>/</u>	流量 <u>/</u>	
预热焊后热处理	预热温度 <u>$\geq 150^\circ\text{C}$</u> 层间温度 <u>150~350°C</u> 后热温度,时间 <u>/</u> °C/h 消氢温度,时间 <u>/</u> 中间热处理 <u>/</u> °C 时间 <u>/</u> h 焊后热处理 <u>590~610°C</u> 时间 <u>2.5h</u>						
焊接工艺参数要求	电流种类 <u>直流</u> 极性 <u>反接</u> 焊接电流 SMAW: $\phi 4\text{mm}$ $I: 160\sim 180\text{A}$; $\phi 5\text{mm}$ $I: 200\sim 220\text{A}$, 电弧电压 <u>$U: 23\sim 25\text{V}$</u> SAW: $I: 550\sim 600\text{A}$ $U: 30\sim 32\text{V}$, 焊接速度焊 <u>30~32m/h</u> 送丝速度 <u>90m/h</u>						
操作技术要求	1. 清理坡口及两侧母材 20mm 内一切污物和杂质 2. 首先焊接 70°坡口,第一层以 $\phi 4\text{mm}$ 焊条施焊,其余层以 $\phi 5\text{mm}$ 焊条施焊 3. 正面坡口埋弧焊前应清根,打磨后方可施焊						
编 制		校 对		审 核		批 准	
日 期		日 期		日 期		日 期	

焊接工艺评定书

编号 No HPY-9设计书编号 No HSY-9评定项目 压力容器 16MnR 钢 $\delta 48\text{mm}$ 壳体环缝对接 手弧焊+窄间隙埋弧焊接头焊接方法 SMAW+NGSAW 自动化等级 手工+自动化 焊接位置 平 技术标准 GB/T150-1998

接头坡口形式

焊接层次(顺序)

见图 PY-9 左

见图 PY-9 右

母材	检验编号 _____										
	牌号 <u>16MnR</u>	规格 <u>δ 48mm</u>	类别 <u>I-2</u>	钢级型号 <u>/</u> 直径 <u>/</u>							
化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S						
	0.19	0.12	1.40	0.02	0.016						
力学性能	σ_s/MPa	555,561		σ_b/MPa	310,355		$\delta_5/\%$	23,22		$A_{KV}/(\text{J})$	130,148,135
焊材	检验编号 _____										
	焊丝牌号 <u>Hi0Mn2</u>	焊丝规格 <u>ϕ 3mm</u>	焊丝型号 <u>/</u>	焊剂牌号 <u>SJ101</u>							
化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S						
	0.12	0.10	1.80	0.019	0.02						
焊条	焊条牌号 <u>J507</u> 焊条规格 <u>ϕ 4、ϕ 5 mm</u> 焊条型号 <u>E5015</u> 检验编号 _____										
熔敷金属化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S						
	0.09	0.25	1.15	0.011	0.010						

保护气体 / 流量 / 其它气体 / 流量 /

预热及焊后热处理

预热温度 $\geq 150^\circ\text{C}$ 层间温度 150~350 $^\circ\text{C}$ 后热温度 / 时间 /消氢温度 / 时间 / 中间热处理温度 / 时间 /焊后热处理温度 590~610 时间 2.5 h

(续)

焊接工艺参数

电流种类 直流 极性 反接 SMAW: $\phi 4\text{mm}$: $I 160\sim 180\text{A}$ $\phi 5\text{mm}$: $I 200\sim 220\text{A}$ 电弧电压 $U 23\sim 25\text{V}$ NGSAW: $I 550\sim 600\text{A}$ $U 30\sim 32\text{V}$ 焊接速度 $30\sim 32\text{m/h}$ 送丝速度 90m/h

操作技术

1. 清理坡口及两侧母材 20mm 范围内一切污物和杂质
2. 首先焊 70°坡口侧,以 $\phi 4\text{mm}$ 焊条焊第一层,其它层用 $\phi 5\text{mm}$ 焊条施焊
3. 正面窄间隙埋弧焊前清根,打磨后施焊

性能检验结果

拉伸试验

检验报告编号 _____

试样编号	试样形式	σ_b/MPa	σ_s/MPa	断裂位置	
P9-1	板状	518 520	/	焊缝外	

定向弯曲

检验报告编号 _____

试样编号	试样形式	弯轴直径/mm	弯曲角度/(°)	检验结果
P9-2	侧弯	$d=3a$	100	合格

冲击韧性试验

检验报告编号 _____

试样编号	缺口形式	缺口位置	试验温度/°C	A_{kv}/J
P9-3	V	焊缝 热影响区	20	130,132,118 64,58,73

硬度试验结果(H)

检验报告编号 _____

焊 缝	热影响区	母 材
/	/	/

金相检验结果

检验报告编号 _____

宏 观	微 观	其它检验
/	/	/

无损探伤检验结果 RT 合格

检验报告编号 _____

焊工 _____

钢印号 _____

焊工合格证号 _____

评定结论 合格

编 制		校 对		审 核		审 定	
日 期		日 期		日 期		日 期	

焊接工艺设计书

编号 No HSY-10工艺评定编号 HPY-10评定项目 压力容器 16MnR 钢 $\delta 48\text{mm}$ 壳体纵缝对接 电渣焊接头焊接方法 ESW 自动化等级 自动 焊接位置 立焊 技术标准 ASMEⅩ

接头坡口形式

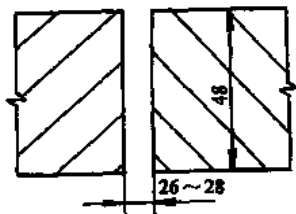


图 PY-10 左

焊接层次(顺序)

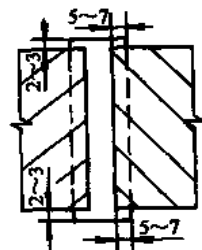


图 PY-10 右

对焊接接头的基本要求

1. 力学性能

σ_b/MPa	σ_s/MPa	$\delta_5/\%$	弯曲角度/(°) ($d=4a$)	冲击试验			其它
				缺口形式	试验温度/°C	A_{kv}/J	
≥ 470	/	/	180	V	20	≥ 27	/

2. 其它 无损探伤 UT

母材	牌 号 <u>16MnR</u> 规格 <u>$\delta 48\text{mm}$</u> 类别 <u>1-2</u>						
焊接材料	焊条牌号 <u> </u> / 焊条规格 <u> </u> / 型号 <u> </u> / 药板型号规格 <u> </u> / 焊剂 <u>HJ431</u> 焊丝牌号 <u>H10MnMo</u> 焊丝规格 <u>$\phi 3\text{mm}$</u> 型号 <u> </u> / 保护气 <u> </u> / 流量 <u> </u> / 其它气体 <u> </u> / 流量 <u> </u> /						
预热焊后热处理	预热温度 <u> </u> / 层间温度 <u> </u> / 后热温度,时间 <u> </u> / $^{\circ}\text{C}/\text{h}$ 消氢温度,时间 <u> </u> / 中间热处理 <u> </u> / 时间 <u> </u> / 焊后热处理 <u>$910\sim 940^{\circ}\text{C}+600\sim 630^{\circ}\text{C}; 550\sim 570^{\circ}\text{C}$</u> 时间 <u>$1+2.5+3.5\text{h}$</u>						
焊接工艺参数要求	电流种类 <u>交流</u> 极性 <u> </u> / 焊接电流 <u>$I 450\sim 500\text{A}$</u> 电弧电压 <u>$U 42\sim 43\text{V}$</u> 渣池深度 <u>$60\sim 65$</u> 焊丝伸出长度 <u>$65\sim 70$</u> 单丝 焊接速度: <u>$1\sim 1.1\text{m}/\text{h}$</u>						
操作技术要求							
编 制		校 对		审 核		批 准	
日 期		日 期		日 期		日 期	

焊接工艺评定书

编号 No HPY-10设计书编号 No HSY-10评定项目 压力容器 16MnR 钢 $\delta 48\text{mm}$ 壳体纵缝对接 电渣焊接头焊接方法 FSW 自动化等级 自动 焊接位置 立 技术标准 ASME X

接头坡口形式

见图 PY-10 左

焊接层次(顺序)

见图 PY-10 右

母材	检验编号 _____										
	牌号 <u>16MnR</u>	规格 <u>$\delta 48\text{mm}$</u>	类别 <u>P-1</u>	焊极型号 <u>/</u> 直径 <u>/</u>							
化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S						
	0.15	0.33	1.39	0.025	0.013						
力学性能	σ_b/MPa	560,550		σ_s/MPa	320,338		$\delta_5/\%$	27,25		$A_{KV}/(\text{J})$	178,162,158
焊材	检验编号 _____										
	焊丝牌号 <u>H10MnMo</u>	焊丝规格 <u>$\phi 3\text{mm}$</u>	焊丝型号 <u>/</u>	焊剂牌号 <u>HJ431</u>							
化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S	Mo					
	0.12	0.44	1.28	0.022	0.010	0.56					
焊条	牌号 <u>/</u> 焊条规格 <u>/</u> 焊条型号 <u>/</u> 检验编号 <u>/</u>										
熔敷金属化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S						
	/	/	/	/	/						

保护气体 /, 流量 / 其它气体 / 流量 /

预热及焊后热处理

预热温度 / 层间温度 / 后热温度 / 时间 /消氢温度 / 时间 / 中间热处理温度 / 时间 /焊后热处理温度 910~940+600~630;550~570 °C 时间 1+2.5;3.5 h

(续)

焊接工艺参数

电流种类 交流 极性 / 焊接电流 I 450~500A 电弧电压 U 42~43V 渣池深度 60~65mm
 焊丝伸出长度 65~70 mm 单丝 焊接速度 1~1.1m/h

操作技术

性能检验结果

拉伸试验

检验报告编号 _____

试样编号	试样形式	σ_b /MPa	σ_t /MPa	断裂位置	
P10-1	板状	545,555	/	焊缝外	

定向弯曲

检验报告编号 _____

试样编号	试样形式	弯轴直径/mm	弯曲角度/(°)	检验结果
P10-2	侧弯	$d=4a$	180	合格

冲击韧性试验

检验报告编号 _____

试样编号	缺口形式	缺口位置	试验温度/°C	A_{KV} /J
P10-3	V	焊缝 热影响区	室温	66,64,58 174,150,186

硬度试验结果(H)

检验报告编号 _____

接头硬度(H)

焊 缝	热影响区	母 材
/	/	/

金相检验结果

检验报告编号 _____

宏 观	微 观	其它检验
/	/	/

无损探伤检验结果 UT 合格

检验报告编号 _____

焊工 _____

钢印号 _____

焊工合格证号 _____

评定结论 合格

编 制		校 对		审 核		审 定	
日 期		日 期		日 期		日 期	

焊接工艺设计书

编号 No HSY-11 工艺评定编号 HPY-11

评定项目 压力容器管板与筒体环缝对接 SA299 钢+20MnMo 钢 δ50mm 手弧焊+埋弧焊接头

焊接方法 SMAW+SAW 自动化等级 手工+机械焊 焊接位置 平 技术标准 JB 4708-92

接头坡口形式

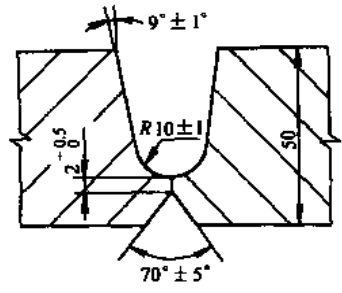


图 PY-11 左

焊接层次(顺序)

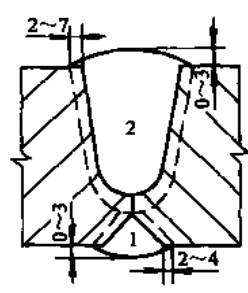


图 PY-11 右

首先焊接 70°
坡口 1, 挑焊根
后焊接正面埋
弧焊坡口 2, 焊
缝尺寸见图

对焊接接头的基本要求

1. 力学性能

σ_b /MPa	σ_s /MPa	δ_5 /%	弯曲角度/(°) ($d=3a$)	冲击试验			其它
				缺口形式	试验温度/°C	A_{kv} /J	
≥515	/	/	100°	V	常温	≥35	/

2. 其它 X 射线探伤

母材	牌号	SA299	规格	δ 50mm	类别	P1-2
		20MnMo				II-2
焊接材料	焊条牌号	J507	焊条规格	φ 4, φ 5mm	型号	E5015
					钨极型号规格	/
					保护气	/
					流量	/
	焊丝牌号	H08MnMo	焊丝规格	φ 4mm	其它气体	/
					流量	/
预热 焊后 热处理	预热温度 180°C 层间温度 180~350°C 后热温度, 时间 / 消氢温度, 时间 / 中间热处理 / 时间 / 焊后热处理 610~630°C 时间 4h					
焊接 工艺 参数 要求	电流种类 直流 极性 反接 焊接电流 SMAW, φ4mm I 170~190A φ5mm U 22~25V SAW, I 600~650A 电弧电压 U 34~36V SAW, 焊接速度 28~30m/h 送丝速度 98~108m/h					
操作 技术 要求						

编 制		校 对		审 核		批 准	
日 期		日 期		日 期		日 期	

焊接工艺评定书

编号 No HPY-11设计书编号 No HSY-11评定项目 压力容器管板与筒体环缝对接 SA299 钢+20MnMo 钢 $\delta 50\text{mm}$ 手弧焊+埋弧焊接头焊接方法 SMAW+SAW 自动化等级 手工+机械焊 焊接位置 平 技术标准 JB4708-92

接头坡口形式				焊接层次(顺序)						
见图 PY-11 左				见图 PY-11 右						
母材	检验编号 _____							钨极型号 <u>/</u> 直径 <u>/</u>		
	牌号 <u>SA299 20MnMo</u>	规格 <u>$\delta 50\text{mm}$</u>	类别 <u>P1-2 II-2</u>							
化学成分(%)	钢号	C	Si	Mn	P	S	Mo			
	SA299 钢	0.21	0.20	1.10	0.020	0.019				
	20MnMo 钢	0.20	0.30	1.20	0.023	0.020	0.09			
力学性能	σ_s/MPa	SA299:528,545 20MnMo:550,561		σ_t/MPa	292,301 276,290		$\delta_5/\%$	20,29.5 20.5,19.5	$A_{KV}/(\text{J})$	140,158,145 150,141,138
焊材	检验编号 _____									
	焊丝牌号 <u>H08MnMo</u> 焊丝规格 <u>$\phi 4\text{mm}$</u> 焊丝型号 <u>/</u> 焊剂牌号 <u>HJ350</u>									
化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S	Mo				
	0.10	0.35	1.20	0.010	0.011	0.39				
焊条	牌号 <u>J507</u> 焊条规格 <u>$\phi 4, \phi 5\text{mm}$</u> 焊条型号 <u>F5015</u> 检验编号 _____									
熔敷金属化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S					
	0.07	0.45	1.10	0.012	0.009					
保护气体 <u>/</u> 流量 <u>/</u> 其它气体 <u>/</u> 流量 <u>/</u>										
预热及焊后热处理										
预热温度 <u>180</u> °C 层间温度 <u>180~350</u> °C 后热温度 <u>/</u> 时间 <u>/</u>										
消氢温度 <u>/</u> °C 时间 <u>/</u> 中间热处理温度 <u>/</u> 时间 <u>/</u>										
焊后热处理温度 <u>610~630</u> °C 时间 <u>4</u> h										

(续)

焊接工艺参数

电流种类 直流 极性 反接 SMAW, $\phi 4\text{mm}$, I 170~190A $\phi 5\text{mm}$, I 220~240A U 22~25V
SAW, I 600~650A U 34~36V 焊接速度 28~30m/h 送丝速度 98~108m/h

操作技术

性能检验结果

拉伸试验

检验报告编号 _____

试样编号	试样形式	σ_b/MPa	σ_s/MPa	断裂位置	
P11-1	板状	535 540	/	焊缝外	

定向弯曲

检验报告编号 _____

试样编号	试样形式	弯轴直径/mm	弯曲角度/(°)	检验结果
P11-2	侧弯	$d=3a$	100	合格

冲击韧性试验

检验报告编号 _____

试样编号	缺口形式	试验温度/°C	缺口位置	A_{KV}/J
P11-3	V	室温	焊缝 热影响区	90,110,145 SA299 82,78,114 20MnMo 156,170,175

硬度试验结果(H)

检验报告编号 _____

焊 缝	热影响区	母 材
/	/	/

金相检验结果

检验报告编号 _____

宏 观	微 观	其它检验
/	/	/

无损探伤检验结果 X射线探伤 合格

检验报告编号 _____

焊工 _____

钢印号 _____

焊工合格证号 _____

评定结论 合格

编 制		校 对		审 核		审 定	
日 期		日 期		日 期		日 期	

焊接工艺设计书

编号 No HSY-12

工艺评定编号 HPY-12

评定项目 压力容器筒体纵缝对接 BCT3CM2 钢 $\delta 16\text{mm}$ 双面埋弧焊接头

焊接方法 SAW 自动化等级 机械化 焊接位置 平 技术标准 JB4708-92

接头坡口形式

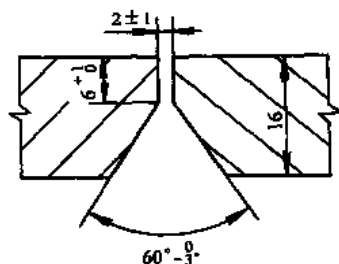


图 PY-12 左

焊接层次(顺序)

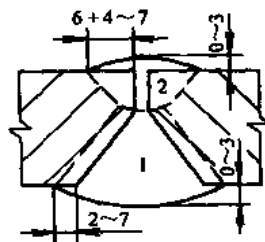


图 PY-12 右

首先焊接
坡口一侧,反
面清根打磨
后再焊一层

对焊接接头的基本要求

1. 力学性能

σ_b/MPa	σ_s/MPa	$\delta_5/\%$	弯曲角度/(°) ($d=3a$)	冲击试验			其 它
				缺口形式	试验温度/°C	A_{kv}/J	
≥ 380	/	/	180	V	常温	≥ 35	/

2. 其它 X射线探伤

母材	牌 号 <u>BCT3CM2</u> 规 格 <u>δ 16mm</u> 类 别 <u>P1-2</u>						
焊接材料	焊条牌号 <u> / </u> 焊条规格 <u> / </u> 型 号 <u> / </u>		钨极型号规格 <u> / </u> 焊 剂 <u>HJ431</u>				
	焊丝牌号 <u>H08MnA</u> 焊丝规格 <u>φ 4mm</u>		型号 <u> / </u> 保护气 <u> / </u> 流量 <u> / </u>		其它气体 <u> / </u> 流量 <u> / </u>		
预热焊后热处理	预热温度 <u> / </u> 层间温度 <u> / </u> 后热温度,时间 <u> / </u> 消氢温度,时间 <u> / </u>						
	中间热处理 <u> / </u> 时 间 <u> / </u> 焊后热处理 <u> / </u> 时 间 <u> / </u>						
焊接工艺参数要求	电 流 种 类 <u>交流</u> 极 性 <u> </u> 焊 接 电 流 <u>I 650~680A</u>						
	电 弧 电 压 <u>U 33~36V</u> 焊 接 速 度 <u>28~30m/h</u> 送 丝 速 度 <u>98~108m/h</u>						
操作技术要求							
编 制		校 对		审 核		批 准	
日 期		日 期		日 期		日 期	

焊接工艺评定书

编号 No HPY-12设计书编号 No HSY-12评定项目 压力容器筒体纵缝对接 BCT3CM2 钢 $\delta 16\text{mm}$ 双面埋弧焊接头焊接方法 SAW 自动化等级 机械化 焊接位置 平 技术标准 JB4708—92

接头坡口形式

焊接层次(顺序)

见图 PY-12 左

见图 PY-12 右

母材	检验编号 <u> </u>										
	牌号 <u>BCT3CM2</u> 规格 <u>$\delta 16\text{mm}$</u> 类别 <u>P1-2</u>					钨极型号 <u> / </u> 直径 <u> / </u> mm					
化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S						
	0.22	0.20	0.55	0.016	0.010						
力学性能	σ_b/MPa		485,528		σ_s/MPa		265,280		$\delta_5/\%$		
									22,23		
								A_{KV}/J		201,220,186	
焊材	检验编号 <u> </u>										
	焊丝牌号 <u>H08MnA</u> 焊丝规格 <u>$\phi 4\text{mm}$</u> 焊丝型号 <u> / </u> 焊剂牌号 <u>HJ431</u>										
化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S						
	0.07	0.10	0.95	0.020	0.014						
焊条	牌号 <u> / </u> 焊条规格 <u> / </u> 焊条型号 <u> / </u> 检验编号 <u> </u>										
熔敷金属化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S						
	/	/	/	/	/						
保护气体 <u> / </u> , 流量 <u> / </u> 其它气体 <u> / </u> 流量 <u> / </u>											
预热及焊后热处理											
预热温度 <u> / </u> 层间温度 <u> / </u> 后热温度 <u> / </u> 时间 <u> / </u>											
消氢温度 <u> / </u> 时间 <u> / </u> 中间热处理温度 <u> / </u> 时间 <u> / </u>											
焊后热处理温度 <u> / </u> 时间 <u> / </u>											

(续)

焊接工艺参数

电流种类 交流 极性 / 焊接电流 I 650~680A 电弧电压 U 33~36V焊接速度 28~30m/h 送丝速度 98~108m/h

操作技术

首先焊接坡口一面,反面清根并打磨后埋弧焊一层

性能检验结果

拉伸试验

检验报告编号

试样编号	试样形式	σ_b /MPa	σ_s /MPa	断裂位置	
P12-1	板状	482,520	/	焊缝外	

定向弯曲

检验报告编号

试样编号	试样形式	弯轴直径/mm	弯曲角度/(°)	检验结果
P12-2	侧弯	$d=3a$	180	合格

冲击韧性试验

检验报告编号

试样编号	缺口形式	试验温度/°C	缺口位置	A_{kv} /J
P12-3	V	室温	焊缝 热影响区	180,205,210 168,171,154

硬度试验结果(H)

检验报告编号

焊 缝	热影响区	母 材
/	/	/

金相检验结果

检验报告编号

宏 观	微 观	其它检验
/	<u> </u> <u> </u> <u> </u>	/

无损探伤检验结果 X射线探伤 合格检验报告编号 焊工 钢印号 焊工合格证号 评定结论 合格

编 制		校 对		审 核		审 定	
日 期		日 期		日 期		日 期	

焊接工艺设计书

编号 No HSY-13工艺评定编号 HPY-13评定项目 压力容器筒体环缝对接 19Mn6 钢 $\delta 50\text{mm}$ 手弧焊+埋弧焊接头焊接方法 SMAW+SAW 自动化等级 手工+机械化 焊接位置 平 技术标准 JB4708-92

接头坡口形式

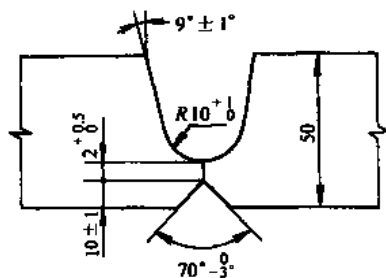
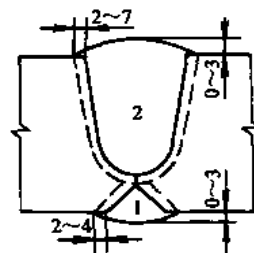


图 PY-13 左

焊接层次(顺序)



首先焊 70°
坡口, U 形坡
口埋弧焊前
清根, 打磨后
再施焊

图 PY-13 右

对焊接接头的基本要求

1. 力学性能

σ_b/MPa	σ_s/MPa	$\delta_5/\%$	弯曲角度/(°) ($d=3a$)	冲击试验			其 它
				缺口形式	试验温度/°C	A_{KV}/J	
≥ 510	/	/	100	V	常温	≥ 34	/

2. 其它 X射线探伤

母材	牌号 <u>19Mn6</u> 规格 <u>$\delta 50\text{mm}$</u> 类别 <u>/</u>					
焊接材料	焊条牌号 <u>J507</u> 焊条规格 <u>$\phi 4, \phi 5\text{mm}$</u> 型号 <u>E5015</u> 钨极型号规格 <u>/</u> 焊剂 <u>HJ350</u>					
	保护气 <u>/</u> 流量 <u>/</u>					
	焊丝牌号 <u>H08MnMo</u> 焊丝规格 <u>$\phi 4\text{mm}$</u> 型号 <u>/</u> 其它气体 <u>/</u> 流量 <u>/</u>					
预热焊后热处理	预热温度 <u>$\geq 100^{\circ}\text{C}$</u> 层间温度 <u>100~350$^{\circ}\text{C}$</u> 后热温度, 时间 <u>/</u> 消氢温度, 时间 <u>/</u> 中间热处理 <u>/</u> $^{\circ}\text{C}$ 时间 <u>/</u> h 焊后热处理 <u>550~570</u> $^{\circ}\text{C}$ 时间 <u>3.5</u> h					
焊接工艺参数要求	电流种类 <u>直流</u> 极性 <u>反接</u> 焊接电流 <u>SMAW: $\phi 4\text{mm}$ $I=170\sim 190\text{A}$ $\phi 5\text{mm}$ $I=200\sim 240\text{A}$ 电弧电压 <u>23~25V</u> SAW: <u>$I=600\sim 650\text{A}$ $U=34\sim 36\text{V}$</u> 焊接速度 <u>25~30m/h</u> 送丝速度 <u>95~98m/h</u></u>					
操作技术要求	/ /					

编 制		校 对		审 核		批 准	
日 期		日 期		日 期		日 期	

焊接工艺评定书

编号 No HPY-13

设计书编号 No HSY-13

评定项目 压力容器筒体环缝对接 19Mn6 钢 $\phi 50\text{mm}$ 焊条电弧焊+埋弧焊接头

焊接方法 SMAW+SAW 自动化等级 手工+机械化 焊接位置 平 技术标准 JB 4708-92

接头坡口形式

焊接层次(顺序)

见图 PY-13 左

见图 PY-13 右

母材	检验编号 _____												
	牌号 19Mn6 规格 $\phi 50\text{mm}$ 类别 /					筒壁型号 / 直径 /							
化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S								
	0.18	0.42	1.50	0.020	0.011								
力学性能	σ_b/MPa		572,564		σ_s/MPa		330,345		$\delta_s/\%$		21.5,23	A_{KV}/J	218,204,215
焊材	检验编号 _____												
	焊丝牌号 H08MnMo 焊丝规格 $\phi 4\text{mm}$ 焊丝型号 / 焊剂牌号 HJ350												
化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S	Mo							
	0.09	0.40	1.18	0.012	0.008	0.37							
焊条	牌号 J507 焊条规格 $\phi 4, \phi 5 \text{ mm}$ 焊条型号 E5015 检验编号 _____												
熔敷金属化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S								
	0.07	0.45	1.10	0.012	0.009								
保护气体 / 流量 / 其它气体 / 流量 /													
预热及焊后热处理													
预热温度 $\geq 100^\circ\text{C}$ 层间温度 $100\sim 350^\circ\text{C}$ 后热温度 / 时间 /													
消氢温度 / 时间 / 中间热处理温度 / 时间 /													
焊后热处理温度 $550\sim 570^\circ\text{C}$ 时间 3.5 h													

(续)

焊接工艺参数

电流种类 直流 极性 反接 SMAW: $\phi 4\text{mm}$ I 170~190A $\phi 5\text{mm}$ I 220~240A U 23~25VSAW: I 600~650A U 33~36V 焊接速度 25~30m/h 送丝速度 95~98m/h

操作技术

性能检验结果

拉伸试验

检验报告编号 _____

试样编号	试样形式	σ_b/MPa	σ_s/MPa	断裂位置	
P13-1	板状	560,601	/	焊缝外	

定向弯曲

检验报告编号 _____

试样编号	试样形式	弯轴直径/mm	弯曲角度/(°)	检验结果
P13-2	侧弯	$d=3a$	180	合格

冲击韧性试验

检验报告编号 _____

试样编号	缺口形式	试验温度/°C	缺口位置	A_{KV}/J
P13-3	V	室温	焊缝 热影响区	131,129,118 201,172,210

硬度试验结果(H)

检验报告编号 _____

焊 缝	热影响区	母 材
/	/	/

金相检验结果

检验报告编号 /

宏 观	微 观	其它检验
/	<u>/</u> <u>/</u> <u>/</u>	/

无损探伤检验结果 X射线探伤 合格

检验报告编号 _____

焊工 _____

钢印号 _____

焊工合格证号 _____

评定结论 合格

编 制		校 对		审 核		审 定	
日 期		日 期		日 期		日 期	

焊接工艺设计书

编号 No HSY-14

工艺评定编号 HPY-14

评定项目 压力容器封头拼接 19Mn6 钢 $\delta 65\text{mm}$ 电渣焊接头

焊接方法 ESW 自动化等级 自动 焊接位置 立 技术标准 JB4708-92

接头坡口形式

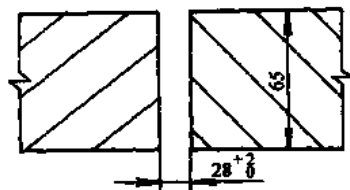


图 PY-14 左

焊接层次(顺序)

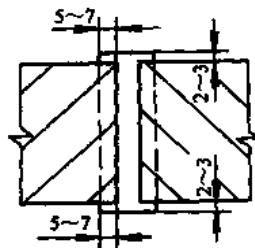


图 PY-14 右

对焊接接头的基本要求

1. 力学性能

σ_s/MPa	σ_t/MPa	$\delta_5/\%$	弯曲角度/(°) ($d=3a$)	冲击试验			其它
				缺口形式	试验温度/°C	A_{kv}/J	
≥ 510	/	/	100	V	室温	≥ 34	/

2. 其它 RT 检查

母材	牌号 <u>19Mn6</u> 规格 <u>δ 65mm</u> 类别 <u>/</u>							
焊接材料	焊条牌号 <u>/</u>		焊条规格 <u>/</u>		型号 <u>/</u>		钨极型号规格 <u>/</u>	焊剂 <u>HJ431</u>
	焊丝牌号 <u>H10Mn2Mo</u>		焊丝规格 <u>ϕ 3mm</u>		型号 <u>/</u>		保护气 <u>/</u>	流量 <u>/</u>
							其它气体 <u>/</u>	流量 <u>/</u>
预热焊后热处理	预热温度 <u>/</u> 层间温度 <u>/</u> 后热温度,时间 <u>/</u> 消氢温度,时间 <u>/</u> 中间热处理 <u>/</u> 时间 <u>/</u> 焊后热处理 <u>920~940 +550~570</u> °C 时间 <u>1.5 2.5</u> h							
焊接工艺参数要求	电流种类 <u>交流</u> 极性 <u>/</u> 焊接电流 <u>I 450~500A</u>							
	电弧电压 <u>U 41~43V</u> 单丝 焊丝伸出长度 <u>65~70mm</u>							
	渣池深度 <u>60~65mm</u> 焊接速度 <u>1.1m/h</u>							
操作技术要求								
编制		校对		审核		批准		
日期		日期		日期		日期		

焊接工艺评定书

编号 No HPY-14

设计书编号 No HSY-14

评定项目 压力容器封头拼接 19Mn6 钢 $\phi 65\text{mm}$ 电渣焊接头

焊接方法 ESW 自动化等级 自动 焊接位置 立 技术标准 JB4708—92

接头坡口形式

见图 PY-14 左

焊接层次(顺序)

见图 PY-14 右

母材	检验编号 _____										
	牌号	19Mn6	规格	$\phi 65\text{mm}$	类别	/	钢板型号 / 直径 / mm				
化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S						
	0.20	0.54	1.35	0.013	0.005						
力学性能	σ_b/MPa	605,615		σ_s/MPa	410,398		$\delta_5/\%$	25,27		A_{KV}/J	110,98,115
焊材	检验编号 _____										
	焊丝牌号	H10Mn2Mo	焊丝规格	$\phi 3\text{mm}$	焊丝型号		焊剂牌号	HJ431			
化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S	Mo					
	0.09	0.24	1.95	0.018	0.015	0.46					
焊条	牌号 / 焊条规格 / 焊条型号 / 检验编号 /										
熔敷金属化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S						
	/	/	/	/	/						
保护气体 / 流量 / 其它气体 / 流量 /											
预热及焊后热处理											
预热温度 / $^{\circ}\text{C}$ 层间温度 / $^{\circ}\text{C}$ 后热温度 / $^{\circ}\text{C}$ 时间 / h											
消氢温度 / $^{\circ}\text{C}$ 时间 / h 中间热处理温度 / $^{\circ}\text{C}$ 时间 / h											
焊后热处理温度 920~940+550~570 $^{\circ}\text{C}$ 时间 1.5 h											

(续)

焊接工艺参数

电流种类 交流 极性 / 焊接电流 I 450~500A 电弧电压 U 41~43V 单丝
 焊丝伸出长度 65~70 渣池深度 60~65mm 焊接速度 1.1m/h

操作技术

性能检验结果

拉伸试验

检验报告编号 _____

试样编号	试样形式	σ_b /MPa	σ_t /MPa	断裂位置	
P14-1	板状	530, 564	/	焊缝外	

定向弯曲

检验报告编号 _____

试样编号	试样形式	弯轴直径/mm	弯曲角度/(°)	检验结果
P14-2	侧弯	$d=3a$	180	合格

冲击韧性试验

检验报告编号 _____

试样编号	缺口形式	试验温度/°C	缺口位置	A_{kv} /J
P14-3	V	室温	焊缝 热影响区	70, 68, 52 134, 106, 121

硬度试验结果(H)

检验报告编号 _____

焊 缝	热影响区	母 材
—	—	—

金相检验结果

检验报告编号 _____

宏 观	微 观	其它检验
/	/	/

无损探伤检验结果 RT 检查合格

检验报告编号 _____

焊工 _____

钢印号 _____

焊工合格证号 _____

评定结论

合格

编 制		校 对		审 核		审 定	
日 期		日 期		日 期		日 期	

焊接工艺设计书

编号 No HSY-15 工艺评定编号 HPY-15

评定项目 压力容器壳体纵缝对接 15MnVR ϕ 26mm 双面埋弧焊

焊接方法 SAW 自动化等级 机械化 焊接位置 平 技术标准 JB4708-92

接头坡口形式

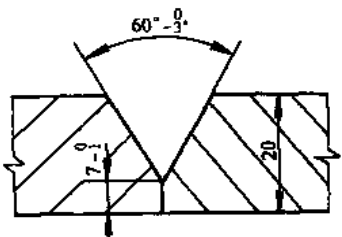
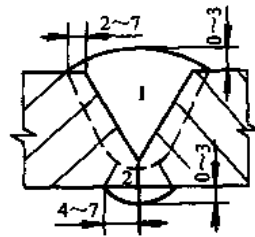


图 PY-15 左

焊接层次(顺序)



首先焊接第1面坡口焊缝,反面清根后焊一层

图 PY-15 右

对焊接接头的基本要求

1. 力学性能

σ_b /MPa	σ_s /MPa	δ_5 /%	弯曲角度/(°) ($d=3a$)	冲击试验			其它
				缺口形式	试验温度/°C	A_{KV} /J	
510~655	/	/	100°	U	室温	≥ 60	/

2. 其它 RT 检查

母材	牌号 <u>15MnVR</u> 规格 <u>ϕ 26mm</u> 类别 <u>Ⅱ-1</u>
焊接材料	焊条牌号 <u>/</u> 焊条规格 <u>/</u> 型号 <u>/</u> 钨极型号规格 <u>/</u> 焊剂 <u>HJ350</u> 焊丝牌号 <u>S3Mo</u> 焊丝规格 <u>ϕ 3mm</u> 型号 <u>/</u> 保护气 <u>/</u> 流量 <u>/</u> 其它气体 <u>/</u> 流量 <u>/</u>
预热焊后热处理	预热温度 <u>/</u> 层间温度 <u>$\leq 300^\circ\text{C}$</u> 后热温度,时间 <u>/</u> 消氢温度,时间 <u>/</u> 中间热处理 <u>/</u> 时间 <u>/</u> 焊后热处理 <u>/</u> 时间 <u>/</u>
焊接工艺参数要求	电流种类 <u>直流</u> 极性 <u>反接</u> 焊接电流 <u>1480~500A</u> 电弧电压 <u>U 33~36V</u> 焊接速度 <u>25~30m/h</u> 送丝速度 <u>95~100m/h</u>
操作技术要求	焊缝反面以电弧气刨清根,并打磨清除氧化皮,焊渣和渗碳层

编制		校对		审核		批准	
日期		日期		日期		日期	

焊接工艺评定书

编号 No HPY-15设计书编号 No HSY-15评定项目 压力容器壳体纵缝对接 15MnVR 钢 $\delta 26\text{mm}$ 双面埋弧焊焊接方法 SAW 自动化等级 机械化 焊接位置 平 技术标准 JB 4708—92

接头坡口形式

见图 PY-15 左

焊接层次(顺序)

见图 PY-15 右

母材	检验编号 _____												
	牌号 <u>15MnVR</u> 规格 <u>$\delta 26\text{mm}$</u> 类别 <u>II-1</u>						钢板型号 <u> </u> / 直径 <u> </u>						
化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S	V							
	0.15	0.26	1.42	0.020	0.018	0.09							
力学性能	σ_b/MPa		532,549		σ_s/MPa		327,366		$\delta_5/\%$		25,27.2	$A_{KV}/(\text{J})$	199,212,231
焊材	检验编号 _____												
	焊丝牌号 <u>S3Mo</u> 焊丝规格 <u>$\phi 3\text{mm}$</u> 焊丝型号 <u> </u> / 焊剂牌号 <u>HJ350</u>												
化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S	Mo							
	0.10	0.20	1.50	0.018	0.020	0.49							
焊条	焊条牌号 <u> </u> / 焊条规格 <u> </u> / 焊条型号 <u> </u> / 检验编号 _____												
熔敷金属化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S								
	/	/	/	/	/								
保护气体 <u> </u> 流量 <u> </u> 其它气体 <u> </u> 流量 <u> </u>													
预热及焊后热处理 预热温度 <u> </u> / 层间温度 <u>≤ 300</u> 后热温度 <u> </u> / 时间 <u> </u> / 消氢温度 <u> </u> / 时间 <u> </u> / 中间热处理温度 <u> </u> / 时间 <u> </u> / 焊后热处理温度 <u> </u> / 时间 <u> </u> /													

(续)

焊接工艺参数

电流种类 直流 极性 反接 焊接电流 I 480~500A 电弧电压 U 33~36V
 焊接速度 25~30m/h 送丝速度 95~100m/h

操作技术

第一面坡口焊满后,电弧气刨清根并清理焊渣及渗碳层后焊接一层

性能检验结果

拉伸试验

检验报告编号 _____

试样编号	试样形式	σ_b /MPa	σ_s /MPa	断裂位置	
P15-1	板状	520,530.5	/	焊缝外	

定向弯曲

检验报告编号 _____

试样编号	试样形式	弯轴直径/mm	弯曲角度/(°)	检验结果
P15-3	侧弯	$d=3a$	100	合格

冲击韧性试验

检验报告编号 _____

试样编号	缺口形式	试验温度/°C	缺口位置	A_{KV} /J
P15-3	U	室温	焊缝 热影响区	101,105.2,103 94,70,92

硬度试验结果(H)

检验报告编号 _____

焊 缝	热影响区	母 材
/	/	/

金相检验结果

检验报告编号 _____

宏 观	微 观	其它检验
/	_____ _____ _____	/

无损探伤检验结果 RT 检查合格

检验报告编号 _____

焊工 _____

钢印号 _____

焊工合格证号 _____

评定结论 合格

编 制		校 对		审 核		审 定	
日 期		日 期		日 期		日 期	

焊接工艺设计书

编号 No HSY-16

工艺评定编号 HPY-16

评定项目 球形高压容器环缝对接 15MnMoVN 钢 $\delta 66\text{mm}$ 手弧焊+埋弧焊接头

焊接方法 SMAW+SAW 自动化等级 手工+机械化 焊接位置 平 技术标准 JB 4708-92

接头坡口形式

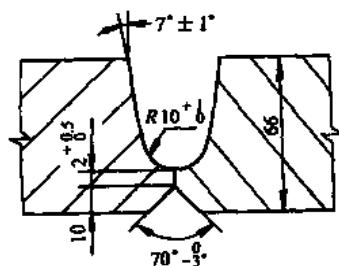


图 PY-16 左

焊接层次(顺序)

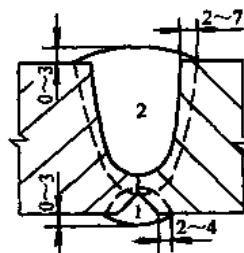


图 PY-16 右

首先用
SMAW 焊接
第 1 面坡口。
第 2 面用
SAW 焊坡口
清根后再焊
接

对焊接接头的基本要求

1. 力学性能

σ_b/MPa	σ_s/MPa	$\delta_5/\%$	弯曲角度/(°) ($d=3a$)	冲击试验			其 它
				缺口形式	试验温度/°C	A_{KV}/J	
620~675	/	/	100°	V	-20	≥ 34	/

2. 其它 RT 检查 金相组织

母材	牌号 15MnMoVN(调质钢) 规格 $\delta 66\text{mm}$ 类别 II-2					
焊接材料	焊条牌号 J707	焊条规格 $\phi 4, \phi 5$ mm	型号 E7015	焊条型号规格 /	焊剂 HJ350	
	焊丝牌号 H08Mn2NiMo	焊丝规格 $\phi 4\text{mm}$	型号 /	保护气 /	流量 /	
				其它气体 /	流量 /	
预热 焊后 热处理	预热温度 150~200°C 层间温度 150~350°C 后热温度, 时间 /					
	消氢温度, 时间 350~400°C/3h 中间热处理 / 时间 /					
	焊后热处理 600~620°C 时间 4h					
焊接 工艺 参数 要求	电流种类 直流 极性 反接 焊接电流 SMAW: $\phi 4\text{mm}$ I 170~190A $\phi 5\text{mm}$ I 220~240A					
	电弧电压 U 22~26V SAW: I 550~600A U 35~37V 焊接速度 25~29m/h					
	送丝速度 90~98m/h					
操作 技术 要求	采用电弧气刨挑焊根, 并应打磨, 清除焊渣, 氧化皮及渗碳层					

编 制		校 对		审 核		批 准	
日 期		日 期		日 期		日 期	

焊接工艺评定书

编号 No HPY-16

设计书编号 No HSY-16

评定项目 球形高压容器环缝对接 15MnMoVN 钢 $\delta 66\text{mm}$ 手弧焊+埋弧焊接头

焊接方法 SMAW+SAW 自动化等级 手工+机械化 焊接位置 平 技术标准 JB 4708-92

接头坡口形式

焊接层次(顺序)

见图 PY-16 左

见图 PY-16 右

母材	检验编号 _____								钨极型号 / 直径 /			
	牌号 15MnMoVN(调质钢)		规格 $\delta 66\text{mm}$		类别 II-2							
化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S	V	Mo	N				
	0.18	0.36	1.28	0.019	0.020	0.08	0.24	0.011				
力学性能	σ_s/MPa		621,619		σ_b/MPa		510,524		$\delta_5/\%$		19.0,20	
									$A_{KV}^{20^\circ\text{C}}/\text{J}$		94.1,120,108	
焊材	检验编号 _____											
	焊丝牌号 H08Mn2NiMo		焊丝规格 $\phi 4\text{mm}$		焊丝型号 /		焊剂牌号 HJ350					
化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S	Mo	Ni					
	0.12	0.36	1.84	0.015	0.009	0.54	1.30					
焊条	焊条牌号 J707 焊条规格 $\phi 4, \phi 5 \text{ mm}$ 焊条型号 E7015 检验编号 _____											
	C	Si	Mn	P	S	Mo						
熔敷金属化学成分(%)	0.10	0.45	1.74	0.011	0.018	0.40						
保护气体 / 流量 / 其它气体 / 流量 /												
预热及焊后热处理												
预热温度 150~200 °C 层间温度 150~350 后热温度 / 时间 /												
消氢温度 350~400 °C 时间 3 h 中间热处理温度 / 时间 /												
焊后热处理温度 600~620 °C 时间 4 h												

(续)

焊接工艺参数

电流种类 直流 极性 反接 SMAW, $\phi 4\text{mm}$ I 170~190A $\phi 5\text{mm}$ I 220~240AU 22~26V SAW, I 550~600A U 35~37V焊接速度 90~98m/h 送丝速度 90~98m/h

操作技术

采用电弧气刨挑焊根,并打磨清理焊渣,氧化皮及渗碳层

性能检验结果

拉伸试验

检验报告编号 _____

试样编号	试样形式	σ_b/MPa	σ_s/MPa	断裂位置	
P16-1	板状	650.3, 661.0	/	焊缝外	

定向弯曲

检验报告编号 _____

试样编号	试样形式	弯轴直径/mm	弯曲角度/(°)	检验结果
P16-2	侧 弯	$d=3a$	100	合 格

冲击韧性试验

检验报告编号 _____

试样编号	缺口形式	试验温度/°C	缺口位置	A_{KV}/J
P16-3	V	-20	焊缝 热影响区	48.0, 35.3, 49 94.1, 78.4, 40.2

硬度试验结果(H)

检验报告编号 _____

焊 缝	热影响区	母 材
/	/	/

金相检验结果

检验报告编号 _____

宏 观	微 观	其它检验
/	焊缝 <u>贝氏体+少量铁素体</u> 热影响区 <u>贝氏体</u>	/

无损探伤检验结果 RT 检验合格

检验报告编号 _____

焊工 _____

钢印号 _____

焊工合格证号 _____

评定结论 RT 合格

编 制		校 对		审 核		审 定	
日 期		日 期		日 期		日 期	

焊接工艺设计书

编号 No HSY-17工艺评定编号 HPY-17评定项目 小直径压力容器筒体环缝对接 SA516-70 钢 $\delta 60\text{mm}$ 手工钨极氩弧焊+手弧焊+埋弧焊焊接方法 手工 TIG+SMAW+SAW 自动化等级 手工+机械化 焊接位置 平 技术标准 ASME K

接头坡口形式

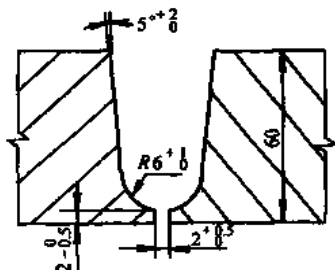
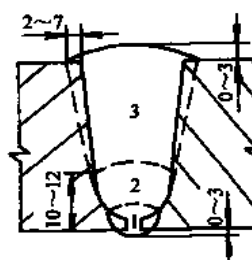


图 PY-17 左

焊接层次(顺序)



手工氩弧焊封
底焊 SMAW 加
原焊道至 10mm
以上,SAW 填充
盖面

图 PY-17 右

对焊接接头的基本要求

1. 力学性能

σ_b/MPa	σ_s/MPa	$\delta_5/\%$	弯曲角度/(°) ($d=4a$)	冲击试验			其它
				缺口形式	试验温度/°C	A_{KV}/J	
≥ 485	/	/	180	V	-10°	≥ 24	/

2. 其它 RT 检查

母材	牌号 SA516-70 规格 δ 60mm 类别 P1-2						
焊接材料	焊条牌号 LB-52	焊条规格 $\phi 4\text{mm}, \phi 5\text{mm}$	型号 /	钨极型号规格 /	焊剂 MF-300F		
	焊丝 TGS-5	焊丝 ϕ 2.4mm	型 YGT-50	保护气 Ar	流量 8~10 L/min		
	牌号 US49A	规格 $\phi 4\text{mm}$	号 YS-M1	其它气体 /	流量 /		
预热焊后热处理	预热温度 $\geq 150^{\circ}\text{C}$ 层间温度 150~300 $^{\circ}\text{C}$ 后热温度,时间 150~200 $^{\circ}\text{C}/1\text{h}$ 消氢温度,时间 / 中间热处理温度 / 时间 / 焊后热处理温度 610~640 $^{\circ}\text{C}$ 时间 2.5h						
焊接工艺参数要求	电流种类 直流 极性 反接、正接 焊接电流 手工 TIG,直流 正接 I 2110~130A 焊接电压 U 11~13V SMAW, $\phi 4\text{mm}$ I 160~180A $\phi 5\text{mm}$ I 210~230A U 24~27V SAW, I 600~650A U 33~35V 焊接速度 27~30m/h 送丝速度 95~105m/h						
操作技术要求	以手工 TIG 打底焊一层,以手弧焊 $\phi 4\text{mm}$ 及 $\phi 5\text{mm}$ 焊条焊至 10~12mm 厚,再以埋弧焊填满坡口,注意打底层的熔透及反面成形						
编 制		校 对		审 核		批 准	
日 期		日 期		日 期		日 期	

焊接工艺评定书

编号 No HPY-17设计书编号 No HSY-17评定项目 小直径压力容器筒体环缝对接 SA516-70 钢 δ 60mm 手工钨极氩弧焊+手弧焊+埋弧焊焊接方法 手工 TIG+SMAW+SAW 自动化等级 手工+机械化 焊接位置 平 技术标准 ASME K

接头坡口形式	焊接层次(顺序)
见图 PY-17 左	见图 PY-17 右

母材	检验编号 _____									
	牌号 <u>SA516-70</u>	规格 <u>δ 60mm</u>	类别 <u>P1-2</u>	钨极型号 <u>/</u> 直径 <u>/</u>						
化学成分 (%)	C	Si	Mn	P	S					
	0.26	0.03	1.10	0.018	0.010					
力学性能	σ_b /MPa	542, 563		σ_s /MPa	284, 291		δ_5 /%	24, 21.8		$A_{KV}^{10^\circ C}$ /J
										198, 207, 232

焊丝	检验编号 _____									
	焊丝 <u>TGS-50</u>	焊丝 <u>ϕ2.4</u>	焊丝 <u>YGT-50</u>	焊剂牌号 <u>MF-300F</u>						
	牌号 <u>US49A</u>	规格 <u>ϕ4</u>	型号 <u>YS-M1</u>							
化学成分 (%)	牌号	C	Si	Mn	P	S	Mo	Cu		
	TGS-50	0.09	0.77	1.36	0.011	0.016				
	US49A	0.11	0.05	1.83	0.008	0.009	0.25	0.11		

焊条	焊条牌号 <u>J707</u> 焊条规格 <u>ϕ4, ϕ5mm</u> 焊条型号 <u>E7015</u> 检验编号 _____									
熔敷金属化学成分 (%)	C	Si	Mn	P	S	Mo				
	0.081	0.50	1.94	0.014	0.009	0.41				

保护气体 Ar 流量 8~10L/min 其它气体 / 流量 /

预热及焊后热处理

预热温度 150~200℃ 层间温度 150~300℃ 后热温度 150~200℃ 时间 1 h消氢温度 / 时间 / 中间热处理温度 / 时间 /焊后热处理温度 610~640℃ 时间 2.5 h

(续)

焊接工艺参数

电流种类 直流 极性 反接 手工 TIG; I 110~130A U 11~13V 直流 正接SMAW; φ4mm I 160~180A φ5mm 210~230A U 24~27VSAW; I 600~650A U 33~35V 焊接速度 27~30m/h送丝速度 95~105m/h

操作技术

手工 TIG 焊打底一层, SMAW 焊至 10~12mm 厚, 再以埋弧焊焊满坡口

性能检验结果

拉伸试验

检验报告编号 _____

试样编号	试样形式	σ_b /MPa	σ_s /MPa	断裂位置	
P17-1	板状	539, 548 556, 520	/	焊缝外	

定向弯曲

检验报告编号 _____

试样编号	试样形式	弯轴直径/mm	弯曲角度/ (°)	检验结果
P17-2	侧弯	$d=4a$	180	合格

冲击韧性试验

检验报告编号 _____

试样编号	缺口形式	试验温度/°C	缺口位置	A_{kv} /J
P17-3	V	-10	焊缝 热影响区	SMAW 210, 64, 148 SAW 82, 180, 86 SMAW 204, 112, 94 SAW 140, 90, 120

硬度试验结果 (H)

检验报告编号 _____

焊 缝	热影响区	母 材
/	/	/

金相检验结果

检验报告编号 _____

宏 观	微 观	其它检验
/	/	/

无损探伤检验结果 RT 合格

检验报告编号 _____

焊工 _____

钢印号 _____

焊工合格证号 _____

评定结论 合格

编 制	校 对	审 核	审 定
日 期	日 期	日 期	日 期

焊接工艺设计书

编号 No HSY-18工艺评定编号 HPY-18评定项目 压力容器套管环缝对接 20MnMo 钢+12Cr1MoV 钢 $\delta 24\text{mm}$ 手弧焊接头焊接方法 SMAW 自动化等级 手工 焊接位置 平 技术标准 GB/T150-1998

接头坡口形式

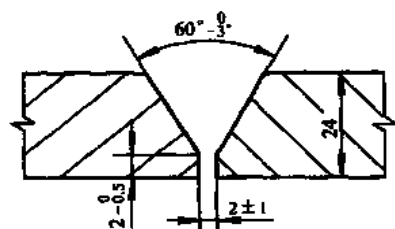


图 PY-18 左

焊接层次 (顺序)

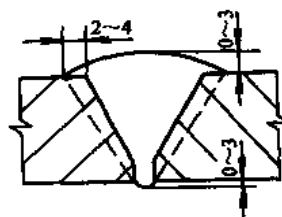


图 PY-18 右

对焊接接头的基本要求

1. 力学性能

σ_b/MPa	σ_s/MPa	$\delta_s/\%$	弯曲角度/(°) ($d=3a$)	冲击试验			其 它
				缺口形式	试验温度/°C	A_{kv}/J	
≥ 471	/	/	50	V	室温	$\geq 34\text{J}$	/

2. 其它 RT 检查 金相组织

母材	牌号 <u>20MnMo</u> <u>12Cr1MoV</u>	规格 <u>δ 24mm</u>	类别 <u>Ⅱ</u> <u>N-2</u>				
焊接材料	焊条牌号 <u>J557</u>	焊条规格 <u>φ4mm, φ5mm</u>	类别号 <u>E5515</u>	钨极型号规格 <u>/</u>	焊剂 <u>/</u>	保护气 <u>/</u>	流量 <u>/</u>
	焊丝牌号 <u>/</u>	焊丝规格 <u>/</u>	类别 <u>/</u>	其它气体 <u>/</u>	流量 <u>/</u>		
预热焊后热处理	预热温度 <u>200~250 °C</u> 层间温度 <u>200~350 °C</u> 后热温度, 时间 <u>/</u> 消氢温度, 时间 <u>/</u> 中间热处理 <u>/ °C</u> 时间 <u>/</u> 焊后热处理 <u>610~630 °C</u> 时间 <u>2h</u>						
焊接工艺参数要求	电流种类 <u>直流</u> 极性 <u>反接</u> 焊接电流 <u>φ4mm: I 170~190A φ5mm: I 200~230A</u> 焊接电压 <u>U22~25V</u>						
操作技术要求							

编 制		校 对		审 核		批 准	
日 期		日 期		日 期		日 期	

焊接工艺评定书

编号 No HPY-18设计书编号 No HSY-18评定项目 压力容器套管环缝对接 20MnMo 钢+12Cr1MoV 钢 δ 24mm 手弧焊接头焊接方法 SMAW 自动化等级 手工 焊接位置 平 技术标准 GB/T150-1998

接头坡口形式

见图 PY-18 左

焊接层次(顺序)

见图 PY-18 右

母材	检验编号 <u> </u>										钎板型号 <u> / </u> 直径 <u> / </u>	
	牌号	20MnMo 12Cr1MoV		规格	δ 24mm		类别	I N-2				
化学成分 (%)	牌号	C	Si	Mn	P	S	Mo	Cr	V			
	20MnMo	0.18	0.26	1.30	0.020	0.018	0.26					
	12Cr1MoV	0.12	0.25	0.58	0.009	0.009	0.27	1.05	0.27			
力学性能	σ_b /MPa	624, 610 523, 530		σ_s /MPa	386, 391 299, 310		δ_5 /%	19, 18.5 21, 23.5		A_{KV}/J	108, 114, 98 124, 131, 128	
焊丝	检验编号 <u> </u>											
	焊丝牌号 <u> / </u> 焊丝规格 <u> / </u> 焊丝型号 <u> / </u> 焊剂牌号 <u> / </u>											
化学成分 (%)	C	Si	Mn	P	S							
	/	/	/	/	/							
焊条	牌号 <u>J557</u> 焊条规格 <u>$\phi 4$、$\phi 5$ mm</u> 焊条型号 <u>E5515</u> 检验编号 <u> </u>											
熔敷金属化学成分 (%)	C	Si	Mn	P	S							
	0.08	0.41	1.20	0.016	0.020							
保护气体 <u> / </u> 流量 <u> / </u> 其它气体 <u> / </u> 流量 <u> / </u>												
预热及焊后热处理												
预热温度 <u>200~250</u> °C 层间温度 <u>200~350</u> °C 后热温度 <u> / </u> 时间 <u> / </u>												
消氢温度 <u> / </u> , 时间 <u> / </u> 中间热处理温度 <u> / </u> °C 时间 <u> / </u>												
焊后热处理温度 <u>610~630</u> °C 时间 <u>2</u> h												

(续)

焊接工艺参数

电流种类 直流 极性 反接 4mm I 170~190A 45mm I 200~230A U 22~25V

操作技术

性能检验结果

拉伸试验

检验报告编号 _____

试样编号	试样形式	σ_b /MPa	σ_s /MPa	断裂位置	
P18-1	板状	600, 627	/	焊缝外	

定向弯曲

检验报告编号 _____

试样编号	试样形式	弯轴直径/mm	弯曲角度/(°)	检验结果
P18-2	侧弯	$d=3a$	50	合格

冲击韧性试验

检验报告编号 _____

试样编号	缺口形式	试验温度/°C	缺口位置	A_{KV} /J
P18-3	V	室温	焊缝 热影响区	118,96,102 20MnMo 侧 84,72,68 12Cr1MoV 侧 118,100,75

硬度试验结果 (H)

检验报告编号 _____

焊 缝	热影响区	母 材
/	/	/

金相检验结果

检验报告编号 _____

宏 观	微 观	其它检验
/	焊缝 <u>贝氏体+珠光体+铁素体</u> 热影响区 <u>20MnMo 侧贝氏体+铁素体</u> <u>12Cr1MoV 侧贝氏体+铁素体</u>	/

无损探伤检验结果 RT 合格

检验报告编号 _____

焊工 _____

钢印号 _____

焊工合格证号 _____

评定结论 合格

编 制	校 对	审 核	审 定
日 期	日 期	日 期	日 期

焊接工艺设计书

编号 No HSY-19工艺评定编号 HPY-19评定项目 压力容器管板手工电弧堆焊焊接方法 SMAW 自动化等级 手工 焊接位置 平 技术标准 JB4708—92

接头坡口形式

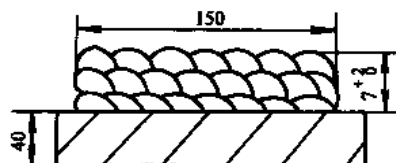


图 PY-19

焊接层次(顺序)

首先焊接 A312 过渡层 1 层
再以 A132 堆焊 2~3 层

对焊接接头的基本要求

1. 力学性能

σ_b /MPa	σ_s /MPa	δ_5 /%	弯曲角度/(°) ($d=3a$)	冲击试验			硬 度
				缺口形式	试验温度/°C	A_K /J	
/	/	/	180	/	/	/	$HV_{10} \leq 350$

2. 其它

母材	牌号 <u>20MnMo</u>	规格 <u>δ 40mm</u>	类别 <u>Ⅱ</u>				
焊接材料	焊条牌号 <u>A312</u>	焊条规格 <u>ϕ3.2mm</u>	型号 <u>E1-23-13Mo2-16</u>	钨极型号 <u>/</u>	焊剂 <u>/</u>		
	<u>A132</u>	<u>ϕ4mm</u>	<u>E0-19-10Nb-16</u>				
	焊丝牌号 <u>/</u>	焊丝规格 <u>/</u>	型号 <u>/</u>	保护气 <u>/</u>	流量 <u>/</u>		
				其它气体 <u>/</u>	流量 <u>/</u>		
预热焊后热处理	预热温度 <u>/</u> 层间温度 <u>$\leq 150^{\circ}\text{C}$</u> 后热温度,时间 <u>/</u> 消氢温度,时间 <u>/</u> 中间热处理 <u>/</u> 时间 <u>/</u> 焊后热处理 <u>$600\sim 620^{\circ}\text{C}$</u> 时间 <u>2h</u>						
焊接工艺参数要求	电流种类 <u>直流</u> 极性 <u>反接</u> 焊接电流 <u>ϕ3.2mm I 100~130A ϕ4mm I 120~140A</u> 电弧电压 <u>U 21~24V</u>						
操作技术要求	注意控制层间温度						
编 制		校 对		审 核		批 准	
日 期		日 期		日 期		日 期	

焊接工艺评定书

编号 No HPY-19设计书编号 No HSY-19评定项目 压力容器管板手工电弧堆焊焊接方法 SMAW 自动化等级 手工 焊接位置 平 技术标准 JB4708

接头坡口形式

见图 19PY-19

焊接层次(顺序)

首先以 A312 焊条焊接过渡层 1 层
再以 A132 焊条堆焊 2~3 层

母材	牌号 <u>20MnMo</u> 规格 <u>δ 40mm</u> 类别 <u>Ⅱ</u> 检验编号 _____ 筒模型号 <u>/</u> 直径 <u>/</u>										
化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S	Mo					
	0.18	0.30	1.18	0.020	0.018	0.25					
力学性能	σ_s /MPa	728,684		σ_b /MPa	602,617		δ_5 /%	20.6,21		A_{KV} /J	127,124,114
焊材	检验编号 _____ 焊丝牌号 <u>/</u> 焊丝规格 <u>/</u> 焊丝型号 <u>/</u> 焊剂牌号 <u>/</u>										
化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S						
	/	/	/	/	/						
焊条	焊条牌号 <u>A312</u> 焊条规格 <u>φ3.2mm</u> 焊条型号 <u>E1-23-13Mo2-16</u> 检验编号 _____ <u>A132</u> <u>φ4mm</u> <u>E0-19-10Nb-16</u>										
熔敷金属化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo			
	0.095	0.46	1.23	0.018	0.005	22.92	12.56	2.32			
	0.054	0.28	1.39	0.014	0.008	18.4	9.90				
保护气体 <u>/</u> 流量 <u>/</u> 其它气体 <u>/</u> , 流量 <u>/</u>											
预热及焊后热处理 预热温度 <u>/</u> 层间温度 <u>≤150℃</u> 后热温度 <u>/</u> 时间 <u>/</u> 消氢温度 <u>/</u> 时间 <u>/</u> h 中间热处理温度 <u>/</u> 时间 <u>/</u> 焊后热处理温度 <u>600~620</u> °C 时间 <u>2</u> h											

(续)

焊接工艺参数

电流种类 直流 极性 反接 $\phi 3.2\text{mm}$ $I100\sim 130\text{A}$ $\phi 4\text{mm}$ $I120\sim 140\text{A}$ U 21~24V

操作技术

层间温度控制在 $\leq 150^{\circ}\text{C}$ 。

性能检验结果

拉伸试验

检验报告编号 _____

试样编号	试样形式	σ_b/MPa	σ_s/MPa	断裂位置	
/	/	/	/	/	

定向弯曲

检验报告编号 _____

试样编号	试验形式	弯轴直径/mm	弯曲角度/(°)	检验结果
P19-1	侧弯	$d=3a$	180	合格

冲击韧性试验

检验报告编号 _____

试样编号	缺口形式	缺口位置	试验温度/ $^{\circ}\text{C}$	A_k/J
/	/	/	/	/

硬度试验结果(HV₁₀)

检验报告编号 _____

焊 缝	热影响区	母 材
242,235	203,209,199	205,206

金相检验结果

检验报告编号 _____

宏 观	微 观	其它检验
/	/	/

无损探伤检验结果

检验报告编号 _____

焊工 _____

钢印号 _____

焊工合格证号 _____

评定结论 合格

编 制	校 对	审 核	审 定
日 期	日 期	日 期	日 期

2 厚壁压力容器接头的焊接工艺评定实例

焊接工艺设计书

编号 No HSY-20工艺评定编号 HPY-20评定项目 厚壁压力容器管座与筒体对接 14MnMoVg 钢+20MnMo 钢 $\delta 95\text{mm}$ 手弧焊接头焊接方法 SMAW 自动化等级 手工 焊接位置 平 技术标准 GB/T150—1998

接头坡口形式

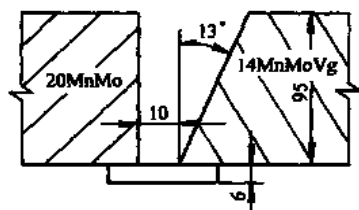


图 PY-20 左

焊接层次(顺序)

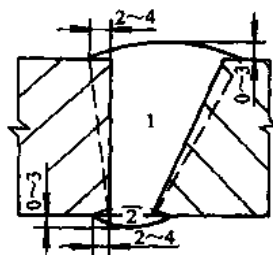


图 PY-20 左

正面焊缝焊
滴坡口后,以电
弧气刨清焊根,
并焊一层焊缝。

对焊接接头的基本要求

1. 力学性能

σ_b/MPa	σ_s/MPa	$\delta_5/\%$	弯曲角度/(°) ($d=3a$)	冲击试验			硬 度
				缺口形式	试验温度/°C	A_{kv}/J	
≥ 530	/	/	100	V	室温	≥ 27	$HV_{10} \leq 280$

2. 其它 UT 检查 金相微观 宏观检查

母材	牌号 <u>20MnMo</u> 规格 <u>$\delta 95\text{mm}$</u> 类别 <u>Ⅱ-1</u> <u>14MnMoVg</u> <u>Ⅱ-2</u>						
焊接材料	焊条牌号 <u>J607</u> 焊条规格 <u>$\phi 4\text{mm}, \phi 5\text{mm}$</u> 型号 <u>E6015</u> 药皮型号规格 <u>/</u> 焊剂 <u>/</u> 焊丝牌号 <u>/</u> 焊丝规格 <u>/</u> 型号 <u>/</u> 保护气 <u>/</u> 流量 <u>/</u> 其它气体 <u>/</u> 流量 <u>/</u>						
预热焊后热处理	预热温度 <u>150~200 °C</u> 层间温度 <u>150~250 °C</u> 后热温度, 时间 <u>/</u> 消氢温度, 时间 <u>350~400 °C/2h</u> 中间热处理 <u>/</u> 时间 <u>/</u> 焊后热处理 <u>610~630 °C</u> 时间 <u>7 h</u>						
焊接工艺参数要求	电流种类 <u>直流</u> 极性 <u>反接</u> 焊接电流 <u>$\phi 4\text{mm}$ $I 170 \sim 190\text{A}$; $\phi 5\text{mm}$ $I 220 \sim 240\text{A}$</u> 电弧电压 <u>$U 23 \sim 25\text{V}$</u>						
操作技术要求	正面焊缝焊满后, 反面垫板以电弧气刨清除, 打磨后, 根部焊接一层						
编 制		校 对		审 核		批 准	
日 期		日 期		日 期		日 期	

焊接工艺评定书

编号 No HPY-20设计书编号 No HSY-20评定项目 厚壁压力容器管座与筒体对接 14MnMoVg 钢+20MnMo 钢 $\delta 95\text{mm}$ 手弧焊接头焊接方法 SMAW 自动化等级 手工 焊接位置 平 技术标准 GB/T150—1998

接头坡口形式

焊接层次(顺序)

见图 PY-20 左

见图 PY-20 右

母材	检验编号 _____										
	牌号	20MnMo 14MnMoVg		规格	$\delta 95\text{mm}$		类别	I-1 II-2		钨极型号 / 直径 /	
化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S	Mo	V				
	0.21	0.32	1.40	0.020	0.019	0.28					
	0.11	0.28	1.30	0.009	0.012	0.30	0.16				
力学性能	σ_s/MPa	509,610 640,652		σ_b/MPa	384,392 491,498		$\delta_5/\%$	19.5,18.5 18,19		A_{kv}/J	114,135,108 98,94,102
焊材	检验编号 _____										
	焊丝牌号	/	焊丝规格	/	焊丝型号	/	焊剂牌号				
化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S						
	/	/	/	/	/						
焊条	焊条牌号 <u>J607</u> 焊条规格 <u>$\phi 4, \phi 5$ mm</u> 焊条型号 <u>E6015</u> 检验编号 _____										
	C	Si	Mn	P	S						
熔敷金属化学成分(%)	0.08	0.34	1.42	0.012	0.009						
保护气体 / 流量 / 其它气体 / 流量 /											
预热及焊后热处理											
预热温度 <u>150~200</u> °C 层间温度 <u>150~250</u> °C 后热温度 / 时间 /											
消氢温度 <u>350~400</u> °C 时间 <u>2</u> h 中间热处理温度 / 时间 /											
焊后热处理温度 <u>610~630</u> °C 时间 <u>7</u> h											

(续)

焊接工艺参数

电流种类 直流 极性 反接 $\phi 4\text{mm}$ I 170~190A $\phi 5\text{mm}$ I 220~240AU 23~25V

操作技术

正面坡口焊满后,刨除垫板,打磨,焊一层焊缝

性能检验结果

拉伸试验

检验报告编号 _____

试样编号	试样形式	σ_b/MPa	σ_s/MPa	断裂位置	
P20-1	板 状	565,588 555,571	/	焊缝外 焊缝外	

定向弯曲

检验报告编号 _____

试样编号	试样形式	弯轴直径/mm	弯曲角度/(°)	检验结果
P20-2	侧 弯	$d=3a$	100	合 格

冲击韧性试验

检验报告编号 _____

试样编号	缺口形式	试验温度/°C	缺口位置	A_{kv}/J
P20-3	V	室 温	焊缝 热影响区	98,107,121 76,89,94

硬度试验结果(HV₁₀)

检验报告编号 _____

焊 缝	热影响区	母 材
164,167	20MnMo 178,170 14MnMoVg 201,185	172,164 190,181

金相检验结果

检验报告编号 _____

宏 观	微 观	其它检验
合 格	焊缝 <u>铁素体+珠光体+贝氏体</u> 热影响区 <u>20MnMo 贝氏体+珠光体+铁素体</u> <u>14MnMoVg 贝氏体+珠光体+铁素体</u>	/

无损探伤检验结果 UT 合格

检验报告编号 _____

焊工 _____

钢印号 _____

焊工合格证号 _____

评定结论 合格

编 制	校 对	审 核	审 定
日 期	日 期	日 期	日 期

焊接工艺设计书

编号 No HSY-21工艺评定编号 HPY-21评定项目 厚壁压力容器环缝对接 13MnNiMoNb 钢 $\delta 100\text{mm}$ 手弧焊+埋弧焊接头焊接方法 SMAW+SAW 自动化等级 手工+机械化 焊接位置 平 技术标准 GB/T150-1998

接头坡口形式

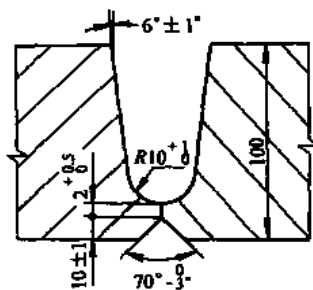


图 PY-21 左

焊接层次(顺序)

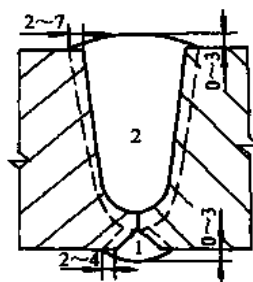


图 PY-21 右

首先焊接第 1 面
SMAW 焊坡口,第 2
面 SAW 焊坡口清根
后施焊

对焊接接头的基本要求

1. 力学性能

σ_b/MPa	σ_s/MPa	$\delta_5/\%$	弯曲角度/(°) ($d=3a$)	冲击试验			其 它
				缺口形式	试验温度/°C	A_K/J	
≥ 570	/	/	100	U	室温	≥ 59	/

2. 其它 RT 检查 金相组织

母材	牌号 <u>13MnNiMoNb</u> 规格 <u>$\delta 100\text{mm}$</u> 类别 <u>Ⅱ-2</u>						
焊接材料	焊条牌号 <u>J607</u>	焊条规格 <u>$\phi 4, \phi 5$ mm</u>	型号 <u>E6015</u>	焊极型号规格 <u>/</u>	焊剂 <u>HJ350</u>		
	焊丝牌号 <u>H08Mn2Mo</u>	焊丝规格 <u>$\phi 4\text{mm}$</u>	型号 <u>/</u>	保护气 <u>/</u>	流量 <u>/</u>	其它气体 <u>/</u>	流量 <u>/</u>
预热焊后热处理	预热温度 <u>$\geq 150^\circ\text{C}$</u> 层间温度 <u>$150\sim 350^\circ\text{C}$</u> 后热温度,时间 <u>$150\sim 200^\circ\text{C}/2\text{h}$</u> 消氢温度,时间 <u>/</u>						
	中间热处理 <u>/</u> 时间 <u>/</u> 焊后热处理 <u>$610\sim 630^\circ\text{C}$</u> 时间 <u>5h</u>						
焊接工艺参数要求	电流种类 <u>直流</u> 极性 <u>反接</u> 焊接电流 <u>SMAW: $\phi 4\text{mm}$ I 170~190A $\phi 5\text{mm}$ I 220~240A</u> 电弧电压 <u>U 23~25V</u> SAW: I 600~620A U 33~35V 焊接速度 <u>28~30m/h</u> 送丝速度 <u>95~100m/h</u>						
操作技术要求	首先手弧焊接第一面坡口,焊后反面清根打磨后进行埋弧焊焊满坡口						

编 制		校 对		审 核		批 准	
日 期		日 期		日 期		日 期	

焊接工艺评定书

编号 No HPY-21设计书编号 No HSY-21评定项目 厚壁压力容器环缝对接 13MnNiMoNb 钢 δ 100mm 手弧焊+埋弧焊接头焊接方法 SMAW+SAW 自动化等级 手工+机械化 焊接位置 平 技术标准 GB/T150—1998

接头坡口形式

焊接层次(顺序)

见图 PY-21 左

见图 PY-21 右

母材	检验编号 _____										钨极型号 / 直径 /		
	牌号 <u>13MnNiMoNb</u>		规格 <u>δ 100mm</u>		类别 <u>Ⅱ-2</u>								
化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	Nb				
	0.13	0.23	1.45	0.018	0.009	0.28	0.35	1.0	0.009				
力学性能	σ_s /MPa		691,680		σ_s /MPa		398,405		δ_5 /%		19,20.8	A_{KV}/J	201,198,221
焊材	检验编号 _____												
	焊丝牌号 <u>H08Mn2Mo</u> 焊丝规格 <u>ϕ 4mm</u> 焊丝类别 <u>/</u> 焊剂牌号 <u>HJ350</u>												
化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S	Mo							
	0.09	0.21	1.92	0.018	0.010	0.45							
焊条	牌号 <u>J607</u> 焊条规格 <u>ϕ 4.45 mm</u> 焊条类别 <u>E6015</u> 检验编号 _____												
熔敷金属化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S	Mo							
	0.08	0.34	1.42	0.009	0.012	0.30							
保护气体 / 流量 / 其它气体 / 流量 /													
预热及焊后热处理													
预热温度 <u>≥ 150 °C</u> 层间温度 <u>150~350 °C</u> 后热温度 <u>150~200 °C</u> 时间 <u>2 h</u>													
消氢温度 / 时间 / 中间热处理温度 / 时间 /													
焊后热处理温度 <u>610~630 °C</u> 时间 <u>5 h</u>													

(续)

焊接工艺参数

电流种类 直流 极性 反接 SMAW: $\phi 4\text{mm}$ I 170~190A $\phi 5\text{mm}$ I 220~240A U 23~25VSAW: I 600~620A U 33~35V 焊接速度 28m/h 送丝速度 98m/h

操作技术

首先焊接 70°手弧焊坡口,反面清根打磨后,焊满 U 形埋弧焊坡口

性能检验结果

拉伸试验

检验报告编号 _____

试样编号	试样形式	σ_b/MPa	σ_t/MPa	断裂位置	
P21-1	板 状	上: 680, 678 中: 676, 683 下: 684, 696	/	焊缝外	

定向弯曲

检验报告编号 _____

试样编号	试样形式	弯轴直径/mm	弯曲角度/(°)	检验结果
P21-2	侧 弯	$d=3a$	100	合 格

冲击韧性试验

检验报告编号 _____

试样编号	缺口形式	试验温度/°C	缺口位置	A_{KV}/J
P21-3	U	室温	焊缝 热影响区	221, 210, 228 176, 213, 184

硬度试验结果(H)

检验报告编号 _____

接头硬度(H)

焊 缝	热影响区	母 材
/	/	/

金相检验结果

检验报告编号 _____

宏 观	微 观	其它检验
/	母材 <u>贝氏体+铁素体+珠光体</u> 焊缝 <u>贝氏体+铁素体</u> 热影响区 <u>贝氏体+珠光体+铁素体</u>	/

无损探伤检验结果 RT 合格

检验报告编号 _____

焊工 _____

钢印号 _____

焊工合格证号 _____

评定结论 合格

编 制	校 对	审 核	审 定
日 期	日 期	日 期	日 期

焊接工艺设计书

编号 No HSY-22工艺评定编号 HPY-22评定项目 压力容器筒体与底座对接 BHW-35+Q235(A3) δ 30mm 手弧焊+埋弧焊接头焊接方法 SMAW+SAW 自动化等级 手工+机械化 焊接位置 平 技术标准 GB/T150—1998

接头坡口形式

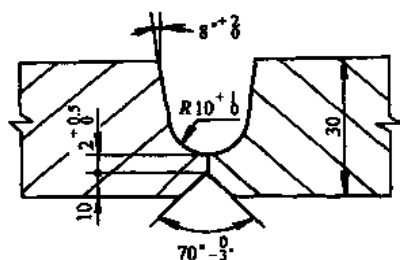


图 PY-22 左

焊接层次(顺序)

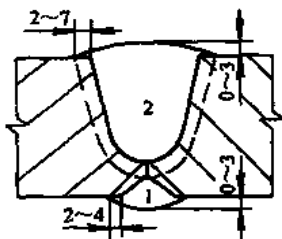


图 PY-22 右

首先焊接第 1 面
SMAW 焊坡口, 第 2
面 SAW 焊坡口清根
后施焊

对焊接接头的基本要求

1. 力学性能

σ_b /MPa	σ_s /MPa	δ_5 /%	弯曲角度/(°) ($d=3a$)	冲击试验			其它
				缺口形式	试验温度/°C	A_{KV} /J	
≥ 372	/	/	100	V		≥ 35	/

2. 其它 RT 检查

母材	牌号 <u>BHW-35</u> 规格 <u>δ 30mm</u> 类别 <u>Ⅱ-2</u> <u>Q235(A3)</u> <u>I-1</u>						
焊接材料	焊条牌号 <u>J507</u> 焊条规格 <u>$\phi 4, \phi 5$ mm</u> 型号 <u>E5015</u> 钨极型号规格 <u>/</u> 焊剂 <u>HJ350</u> 焊丝牌号 <u>H08MnA</u> 焊丝规格 <u>$\phi 4$ mm</u> 型号 <u>/</u> 保护气体 <u>/</u> 流量 <u>/</u> 其它气体 <u>/</u> 流量 <u>/</u>						
预热焊后热处理	预热温度 <u>150~200 °C</u> 层间温度 <u>150~350 °C</u> 后热温度, 时间 <u>/</u> 消氢温度, 时间 <u>/</u> 中间热处理 <u>/</u> 时间 <u>/</u> 焊后热处理 <u>600~620 °C</u> 时间 <u>7h</u>						
焊接工艺参数要求	电流种类 <u>直流</u> 极性 <u>反接</u> 焊接电流 <u>SMAW, $\phi 4$ mm I 170~190A $\phi 5$ mm I 220~240A</u> 电弧电压 <u>U 23~25V</u> <u>SAW, I 600~630A, U 32-34V, 焊接速度 29~30m/h, 送丝速度 95~98m/h</u>						
操作技术要求	首先焊接 70°手弧焊坡口, 反面清根打磨后, 焊清 U 形埋弧焊坡口						
编制		校对		审核		批准	
日期		日期		日期		日期	

焊接工艺评定书

编号 No HPY-22设计书编号 No HSY-22评定项目 压力容器筒体与底座对接 BHW-35+Q235(A3) δ 30mm 手弧焊+埋弧焊焊接方法 SMAW+SAW 自动化等级 手工+机械化 焊接位置 平 技术标准 GB/T150-1998

接头坡口形式

焊接层次(顺序)

见图 PY-22 左

见图 PY-22 右

母材	检验编号 _____								钎板型号 / 直径 /	
	牌号 <u>BHW-35</u> <u>Q235(A3)</u>	规格 <u>δ 30mm</u>	类别 <u>Ⅱ-2</u> <u>I-1</u>							
化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni		
	0.15	0.39	1.39	0.021	0.018	0.32	0.33	0.91		
	0.16	0.22	0.67	0.030	0.022					
力学性能	σ_s /MPa	681,672 420,432		σ_t /MPa	401,420 273,260		δ_5 /%	20,21 28,29	A_{kv} /J	54,91,89 223,210,225
焊丝	检验编号 _____									
	焊丝牌号 <u>H08MnA</u> 焊丝规格 <u>ϕ 4mm</u> 焊丝型号 / 焊剂牌号 <u>HJ350</u>									
化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S					
	0.07	0.20	0.98	0.012	0.020					
焊条	牌号 <u>J507</u> 焊条规格 <u>ϕ4,ϕ5 mm</u> 焊条型号 <u>E5015</u> 检验编号 _____									
熔敷金属化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S					
	0.08	0.41	1.10	0.008	0.017					
保护气体 / , 流量 / 其它气体 / , 流量 /										
预热及焊后热处理										
预热温度 <u>150~200</u> °C 层间温度 <u>150~350</u> °C 后热温度 / °C 时间 /										
消氢温度 / 时间 / 中间热处理温度 / 时间 /										
焊后热处理温度 <u>600~620</u> °C 时间 <u>7</u> h										

(续)

焊接工艺参数

电流种类 直流 极性 反接 SMAW: 4mm I 170~190A 45mm I 220~240A U 23~25VSAW: I 600~630A U 32~32V 焊接速度 29~30m/h 送丝速度 95~98m/h

操作技术

首先焊 70°手电弧焊坡口,反面电弧气刨清根,打磨后进行埋弧焊

性能检验结果

拉伸试验

检验报告编号 _____

试样编号	试样形式	σ_s /MPa	σ_b /MPa	断裂位置	
P22-1	板状	500,501	/	焊缝外	

定向弯曲

检验报告编号 _____

试样编号	试样形式	弯轴直径/mm	弯曲角度/(°)	检验结果
P22-2	侧弯	$d=3a$	100	合格

冲击韧性试验

检验报告编号 _____

试样编号	缺口形式	试验温度/°C	缺口位置	A_{kv}/J
P22-3	V	5	焊缝 热影响区	260,165,180 Q235(A3)侧 180,196,201 BHW-35 侧 72,99,84

硬度试验结果(H)

检验报告编号 _____

焊 缝	热影响区	母 材
/	/	/

金相检验结果

检验报告编号 _____

宏 观	微 观	其它检验
/	/	/

无损探伤检验结果 RT 合格

检验报告编号 _____

焊工 _____

钢印号 _____

焊工合格证号 _____

评定结论 合格

编 制		校 对		审 核		审 定	
日 期		日 期		日 期		日 期	

焊接工艺设计书

编号 No HSY-23

工艺评定编号 HPY-23

评定项目 厚壁压力容器管座角接 13MnNiMoNb 钢 δ 100mm 手弧焊+埋弧焊接头

焊接方法 SMAW+SAW 自动化等级 手工+机械化 焊接位置 平 技术标准 GB/T150—1998

接头坡口形式

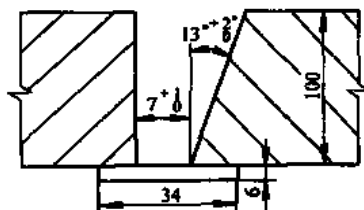
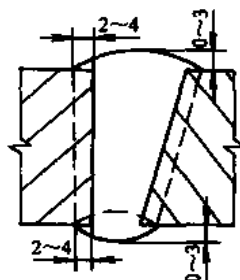


图 PY-23 左

焊接层次(顺序)



手弧焊坡口焊满
后,清除垫板,打磨
后,再焊一层手弧焊
焊缝

图 PY-23 右

对焊接接头的基本要求

1. 力学性能

σ_b /MPa	σ_s /MPa	δ_5 /%	弯曲角度/(°) ($d=3a$)	冲击试验			其 它
				缺口形式	试验温度/°C	A_{kv} /J	
≥ 570	/	/	100	U	室温	≥ 59	/

2. 其它 RT 检查 金相组织

母材	牌号 13MnNiMoNb 规格 δ 100mm 类别 II-2						
焊接材料	焊条牌号 J607 焊条规格 $\phi 4, \phi 5$ mm 型号 E6015 钨极型号规格 / 焊剂 / 焊丝牌号 / 焊丝规格 / 型号 / 保护气体 / 流量 / 其它气体 / 流量 /						
预热焊后热处理	预热温度 $\geq 150^\circ\text{C}$ 层间温度 $150\sim 350^\circ\text{C}$ 后热温度, 时间 $150\sim 200^\circ\text{C/h}$ 消氢温度, 时间 $350\sim 400^\circ\text{C/2h}$ 中间热处理 / 时间 / 焊后热处理 $610\sim 630^\circ\text{C}$ 时间 5h						
焊接工艺参数要求	电流种类 直流 极性 反接 焊接电流 $\phi 4\text{mm}$ I 170~190A $\phi 5\text{mm}$ I 220~240A 电弧电压 U 23~25V						
操作技术要求	手弧焊坡口焊满后,清除垫板打磨后再焊一层手弧焊缝						
编 制		校 对		审 核		批 准	
日 期		日 期		日 期		日 期	

焊接工艺评定书

编号 No HPY-23设计书编号 No HSY-23评定项目 厚壁压力容器管座对接 13MnNiMoNb 钢 δ 100mm 手弧焊接头焊接方法 SMAW 自动化等级 手工 焊接位置 平 技术标准 GB/T150—1998

接头坡口形式	焊接层次(顺序)
见图 PY-23 左	见图 PY-23 右

母材	检验编号 _____								钨极型号 <u>/</u> 直径 <u>/</u>		
	牌号 <u>13MnNiMoNb</u>	规格 <u>δ 100mm</u>		类别 <u>Ⅱ-2</u>							
化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S	Mo	Ni	Nb			
	0.13	0.23	1.45	0.018	0.009	0.35	1.0	0.09			
力学性能	σ_s /MPa	591,580		σ_b /MPa	398,405		δ_5 /%	19,20.8		A_{KV} /J	201,198,221
焊丝	检验编号 _____										
	焊丝牌号 <u>/</u> 焊丝规格 <u>/</u> 焊丝型号 <u>/</u> 焊剂牌号 <u>/</u>										
化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S						
	/	/	/	/	/						
焊条	牌号 <u>J607</u> 焊条规格 <u>ϕ 4, ϕ 5 mm</u> 焊条型号 <u>E6015</u> 检验编号 _____										
熔敷金属化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S	Mo					
	0.08	0.34	1.42	0.009	0.012	0.30					
保护气体 <u>/</u> 流量 <u>/</u> 其它气体 <u>/</u> 流量 <u>/</u>											
预热及焊后热处理 预热温度 <u>≥ 150</u> °C 层间温度 <u>/</u> 后热温度 <u>150~200</u> °C 时间 <u>2</u> h 消氢温度 <u>350~400</u> °C 时间 <u>/</u> h 中间热处理温度 <u>/</u> 时间 <u>/</u> 焊后热处理温度 <u>610~630</u> °C 时间 <u>5</u> h											

(续)

焊接工艺参数

电流种类 直流 极性 反接 焊接电流 $\phi 4\text{mm}$ I 170~190A $\phi 5\text{mm}$ I 220~240A电弧电压 U 23~25V

操作技术

首先手弧焊焊坡口,以电弧气刨清除垫板,打磨后,再以手弧焊焊接 1~2 层。

性能检验结果

拉伸试验

检验报告编号 _____

试样编号	试样形式	σ_b/MPa	σ_t/MPa	断裂位置	
P23-1	板状	上:666,681 中:671,670 下:681,677	/	焊缝外	

定向弯曲

检验报告编号 _____

试样编号	试验形式	弯轴直径/mm	弯曲角度/(°)	检验结果
P23-2	侧弯	$d=3a$	100	合格

冲击韧性试验

检验报告编号 _____

试样编号	缺口形式	试验温度/°C	缺口位置	A_{Ku}/J
P23-3	U	室温	· 焊缝 热影响区	198,181,223 114,124,146

硬度试验结果(H)

检验报告编号 _____

焊 缝	热影响区	母 材
/	/	/

金相检验结果

检验报告编号 _____

宏 观	微 观	其它检验
/	母材 <u>铁素体+珠光体+贝氏体</u> 焊缝 <u>贝氏体+铁素体</u> 热影响区 <u>贝氏体+珠光体</u>	/

无损探伤检验结果 RT 合格

检验报告编号 _____

焊工 _____

钢印号 _____

焊工合格证号 _____

评定结论 合格

编 制		校 对		审 核		审 定	
日 期		日 期		日 期		日 期	

焊接工艺设计书

编号 No HSY-24工艺评定编号 HPY-24评定项目 厚壁压力容器纵缝对接 13MnNiMoNb 钢 δ 100mm 电渣焊接头焊接方法 ESW 自动化等级 自动 焊接位置 立 技术标准 GB/T150—1998

接头坡口形式

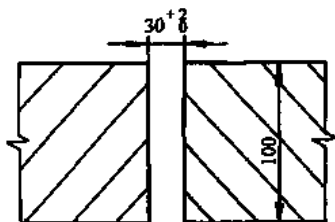


图 PY-24 左

焊接层次(顺序)

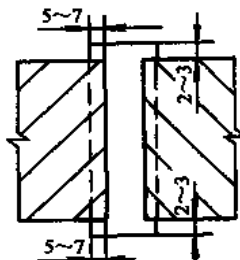


图 PY-24 右

对焊接接头的基本要求

1. 力学性能

σ_b /MPa	σ_s /MPa	δ_5 /%	弯曲角度/(°) ($d=3a$)	冲击试验			其它
				缺口形式	试验温度/°C	A_{KV} /J	
≥ 570	/	/	100°	U	室温	≥ 59	/

2. 其它 UT 检查 金相组织

母材	牌号 <u>13MnNiMoNb</u> 规格 <u>δ 100mm</u> 类别 <u>Ⅱ-2</u>
焊接材料	焊条牌号 <u>/</u> 焊条规格 <u>/</u> 型号 <u>/</u> 钨极型号规格 <u>/</u> 焊剂 <u>HJ431</u> 焊丝牌号 <u>H10Mn2NiMo</u> 焊丝规格 <u>ϕ 3mm</u> 型号 <u>/</u> 保护气 <u>/</u> 流量 <u>/</u> 其它气体 <u>/</u> 流量 <u>/</u>
预热焊后热处理	预热温度 <u>/</u> 层间温度 <u>/</u> 后热温度, 时间 <u>/</u> 消氢温度, 时间 <u>/</u> 中间热处理 <u>/</u> 时间 <u>/</u> 焊后热处理 <u>910~930+630~650, 610~630 °C</u> 时间 <u>3.5, 5h</u>
焊接工艺参数要求	电流种类 <u>交流</u> 极性 <u>/</u> 焊接电流 <u>I 450~500A</u> 电弧电压 <u>U 41~43V</u> 2 根焊丝 丝距 <u>60mm</u> 渣池深 <u>55~60mm</u> 焊丝伸出长度 <u>65~70mm</u> 焊接速度 <u>1m/h</u>
操作技术要求	

编制		校对		审核		批准	
日期		日期		日期		日期	

焊接工艺评定书

编号 No HPY-24设计书编号 No HSY-24评定项目 厚壁压力容器纵缝对接 13MnNiMoNb 钢 δ 100mm 电渣焊接头焊接方法 ESW 自动化等级 自动 焊接位置 立 技术标准 GB/T150—1998

接头坡口形式

焊接层次(顺序)

见图 PY-24 左

见图 PY-24 右

母材	检验编号 _____									
	牌号 <u>13MnNiMoNb</u>		规格 <u>δ 100mm</u>		类别 <u>II-2</u>		钨极型号 <u>/</u> 直径 <u>/</u>			
化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	Nb	
	0.13	0.23	1.45	0.018	0.09	0.28	1.0	0.35	0.009	
力学性能	σ_b /MPa		691.680		σ_s /MPa		398.405		δ_5 /%	
							19.20.8		A_{KV} /(J)	
焊材	检验编号 _____									
	焊丝牌号 <u>H10Mn2NiMo</u>		焊丝规格 <u>ϕ 3mm</u>		焊丝型号 <u>/</u>		焊剂牌号 <u>HJ431</u>			
化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S	Ni	Mo			
	0.09	0.21	1.94	0.020	0.012	1.10	0.50			
焊条	焊条牌号 <u>/</u> 焊条规格 <u>/</u> 焊条型号 <u>/</u> 检验编号 _____									
熔敷金属化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S					
	/	/	/	/	/					
保护气体 <u>/</u> 流量 <u>/</u> 其它气体 <u>/</u> 流量 <u>/</u>										
预热及焊后热处理										
预热温度 <u>/</u> 层间温度 <u>/</u> 后热温度 <u>/</u> 时间 <u>/</u>										
消氢温度 <u>/</u> 时间 <u>/</u> 中间热处理温度 <u>/</u> 时间 <u>/</u>										
焊后热处理温度 <u>910~930+630~650, 610~630</u> °C 时间 <u>3, 5, 5</u> h										

(续)

焊接工艺参数

电流种类 交流 极性 / I 450~500A U 41~43V 2根焊丝丝距 60mm 渣池深 55~60mm 焊丝伸出长度 65~70mm 焊接速度 1m/h

操作技术

性能检验结果

拉伸试验

检验报告编号 _____

试样编号	试样形式	σ_b /MPa	σ_s /MPa	断裂位置	
P24-1	板状	上:682.0,672.2 中:674.1,665.0 下:675.8,689.0	/	焊缝外	

定向弯曲

检验报告编号 _____

试样编号	试验形式	弯轴直径/mm	弯曲角度/(°)	检验结果
P24-2	侧弯	$d=3a$	100	合格

冲击韧性试验

检验报告编号 _____

试样编号	缺口形式	试验温度/°C	缺口位置	A_{KV}/J
P24-3	U	室温	焊缝 热影响区	146,121,100.5 160,184,201

硬度试验结果(H)

检验报告编号 _____

焊 缝	热影响区	母 材
—	—	—

金相检验结果

检验报告编号 _____

宏 观	微 观	其它检验
—	母材 <u>贝氏体+铁素体+珠光体</u> 焊缝 <u>贝氏体+铁素体</u> 热影响区 <u>贝氏体+铁素体+珠光体</u>	—

无损探伤检验结果 RT 合格

检验报告编号 _____

焊工 _____

钢印号 _____

焊工合格证号 _____

评定结论 合格

编 制		校 对		审 核		审 定	
日 期		日 期		日 期		日 期	

焊接工艺设计书

编号 No HSY-25工艺评定编号 HPY-25评定项目 压力容器环缝对接 14MnMoVg 钢 δ 46mm 手弧焊+埋弧焊接头焊接方法 SMAW+SAW 自动化等级 手工+机械化 焊接位置 平 技术标准 GB/T150-1998

接头坡口形式

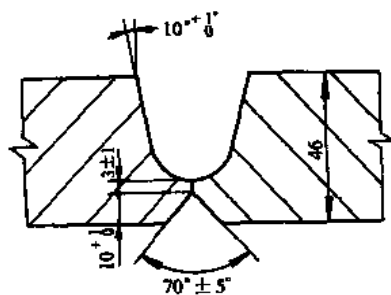


图 PY-25 左

焊接层次(顺序)

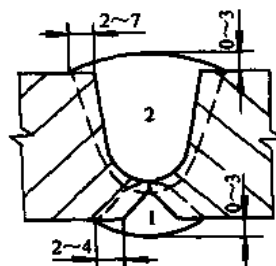


图 PY-25 右

首先焊接
70°手弧焊坡
口,反面挑焊
根,打磨后以
埋弧焊焊满
坡口

对焊接接头的基本要求

1. 力学性能

σ_b /MPa	σ_s /MPa	δ_5 /%	弯曲角度/(°) ($d=3a$)	冲击试验			其 它
				缺口形式	试验温度/°C	A_{KV} /J	
≥ 635	/	/	100°	V	50	≥ 34.3	$\sigma_{t, 150^\circ\text{C}} \geq 313.6$

2. 其它 RT 检查 金相组织

母材	牌号 <u>14MnMoVg</u> 规格 <u>δ 46mm</u> 类别 <u>Ⅱ-2</u>			
焊接材料	焊条牌号 <u>J607</u> 焊条规格 <u>ϕ 4, ϕ 5mm</u> 型号 <u>E6015</u> 钨极型号规格 <u>/</u> 焊剂 <u>HJ350</u>	焊丝牌号 <u>H08Mn2Mo</u> 焊丝规格 <u>ϕ 4mm</u> 型号 <u>/</u> 保护气 <u>/</u> 流量 <u>/</u>		
	其它气体 <u>/</u> 流量 <u>/</u>			
预热 焊后 热处理	预热温度 <u>150~200℃</u> 层间温度 <u>150~350℃</u> 后热温度,时间 <u>150~200℃/2h</u> 消氢温度,时间 <u>/</u> 中间热处理 <u>/</u> 时间 <u>/</u> 焊后热处理 <u>560~580℃</u> 时间 <u>3h</u>			
焊接 工艺 参数 要求	电流种类 <u>直流</u> 极性 <u>反接</u> 焊接电流 <u>SMAW, ϕ 4mm I 170~190A ϕ 5mm I 200~240A</u> 电弧电压 <u>U 22~25V</u> SAW: 第一层 <u>I 550~570A</u> 焊接速度 <u>22~25m/h</u> 送丝速度 <u>93~95m/h</u> 第二层 <u>I 600~650A</u> 焊接速度 <u>25~30m/h</u> 送丝速度 <u>95~105m/h</u> <u>U 33~35V</u>			
操作 技术 要求	首先焊接 70°手弧焊坡口,反面清根后焊接埋弧焊坡口			

编 制		校 对		审 核		批 准	
日 期		日 期		日 期		日 期	

焊接工艺评定书

编号 No HPY-25设计书编号 No HSY-25评定项目 压力容器环缝对接 14MnMoVg 钢 δ 46mm 手弧焊+埋弧焊接头焊接方法 SMAW+SAW 自动化等级 手工+机械化 焊接位置 平 技术标准 GB/T150—1998

接头坡口形式

焊接层次(顺序)

见图 PY-25 左

见图 PY-25 右

母材	检验编号 _____							钨极型号 / 直径 /		
	牌号 <u>14MnMoVg</u>	规格 <u>δ 46mm</u>	类别 <u>II-2</u>							
化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S	Mo	V			
	0.15	0.37	1.43	0.020	0.014	0.42	0.09			
力学性能	σ_s /MPa	668,694	σ_t /MPa	501,523	δ_5 /%	17,18	A_{KV}/J	98,105,109.8		
焊材	检验编号 _____									
	焊丝牌号 <u>H08Mn2Mo</u> 焊丝规格 <u>ϕ4mm</u> 焊丝型号 / 焊剂牌号 <u>HJ350</u>									
化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S	Mo				
	0.09	0.21	1.92	0.018	0.01	0.45				
焊条	焊条牌号 <u>J607</u> 焊条规格 <u>ϕ4, ϕ5 mm</u> 焊条型号 <u>E6015</u> 检验编号 _____									
熔敷金属化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S	Mo				
	0.08	0.34	1.42	0.018	0.01	0.30				
保护气体 / 流量 / 其它气体 / 流量 /										
预热及焊后热处理										
预热温度 <u>150~200</u> °C 层间温度 <u>150~350</u> °C 后热温度 <u>150~200</u> °C 时间 <u>2</u> h										
消氢温度 / 时间 / 中间热处理温度 / 时间 /										
焊后热处理温度 <u>560~580</u> °C 时间 <u>3</u> h										

(续)

焊接工艺参数

电流种类 直流 极性 反接 SMAW: $\phi 4\text{mm}$ $I 170\sim 190\text{A}$ $\phi 5\text{mm}$ $I 220\sim 240\text{A}$ U 22~25VSAW: 第一层 $I 550\sim 570\text{A}$ $U 33\sim 34\text{V}$ 焊接速度 22~25m/h 送丝速度 93~95m/h第二层 $I 600\sim 650\text{A}$ $U 34\sim 35\text{V}$ 焊接速度 25~30m/h 送丝速度 95~105m/h

操作技术

首先焊 70° 手弧焊坡口, 清根后进行埋弧焊

性能检验结果

拉伸试验

检验报告编号 _____

试样编号	试样形式	σ_b/MPa	σ_s/MPa	断裂位置	
P25-1	板状 棒状	637.8, 670.4 648, 641	506.7, 528	焊缝外	$\sigma_{\tau(250^\circ\text{C})} 363.6, 410.4$ $\delta_5 16.5\%, 18\%$

定向弯曲

检验报告编号 _____

试样编号	试样形式	弯轴直径/mm	弯曲角度/ $^\circ$	检验结果
P25-2	侧弯	$d=3a$	100	合格

冲击韧性试验

检验报告编号 _____

试样编号	缺口形式	试验温度/ $^\circ\text{C}$	缺口位置	A_{KV}/J
P25-3	V	50	焊缝 热影响区	76.2, 80.4, 108.2 58.8, 80.4, 68.8

硬度试验结果(H)

检验报告编号 _____

焊 缝	热影响区	母 材
/	/	/

金相检验结果

检验报告编号 _____

宏 观	微 观	其它检验
/	母材 <u>铁素体+珠光体</u> 焊缝 <u>铁素体+贝氏体</u> 热影响区 <u>铁素体+珠光体</u>	/

无损探伤检验结果 RT 合格

检验报告编号 _____

焊工 _____

钢印号 _____

焊工合格证号 _____

评定结论 合格

编 制		校 对		审 核		审 定	
日 期		日 期		日 期		日 期	

焊接工艺设计书

编号 No HSY-26

工艺评定编号 HPY-26

评定项目 压力容器筒体纵缝对接 14MnMoVg 钢 δ 46mm 电渣焊接头

焊接方法 ESW 自动化等级 自动 焊接位置 立 技术标准 GB/T150—1998

接头坡口形式

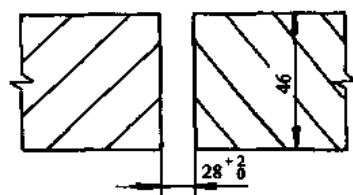


图 PY-26 左

焊接层次(顺序)

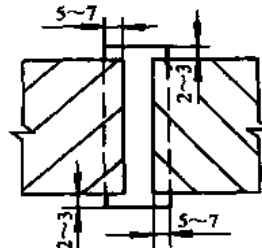


图 PY-26 右

对焊接接头的基本要求

1. 力学性能

σ_b /MPa	σ_s /MPa	δ_5 /%	弯曲角度/(°) ($d=3a$)	冲击试验			其它
				缺口形式	试验温度/°C	A_K /J	
≥ 635	/	/	100	V	50	≥ 34.3	$\sigma_s^{(250^\circ\text{C})} \geq 313.5$

2. 其它 RT 检查 金相组织

母材	牌号 14MnMoVg 规格 δ 46mm 类别 II-2						
焊接材料	焊条牌号 / 焊条规格 / 型号 / 钨极型号规格 / 焊剂 HJ431 焊丝牌号 S3NiMo1 焊丝规格 ϕ 3mm 型号 / 保护气 / 流量 / 其它气体 / , 流量 /						
预热焊后热处理	预热温度 / 层间温度 / 后热温度, 时间 / 消氢温度, 时间 / 中间热处理 / 时间 / 焊后热处理 930~960(卷), 950~980(拼), 830~850 °C(亚温正火)回火: 560~580 °C 时间 1, 1, 1, 3, 7h						
焊接工艺参数要求	电流种类 交流 极性 / 焊接电流 I 450~500A 电弧电压 U 41~43V 单丝 渣池深 60~65mm 焊丝伸出长度 65~70mm 焊接速度 1m/h						
操作技术要求							
编制		校对		审核		批准	
日期		日期		日期		日期	

焊接工艺评定书

编号 No HPY-26设计书编号 No HSY-26评定项目 压力容器纵缝对接 14MnMoVg 钢 δ 46mm 电渣焊接头焊接方法 ESW 自动化等级 自动 焊接位置 立 技术标准 GB/T150—1998

接头坡口形式

焊接层次(顺序)

见图 PY-26 左

见图 PY-26 右

母材	检验编号 _____								钨极型号 / 直径 /		
	牌号	14MnMoVg		规格	δ 46mm		类别	Ⅱ-2			
化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S	Mo	V				
	0.15	0.37	1.43	0.020	0.014	0.42	0.09				
力学性能	σ _b /MPa	660,694		σ _s /MPa	501,523		δ ₅ /%	17,18		A _{KV} /(J)	98,105,109.8
焊材	检验编号 _____										
	焊丝牌号 <u>S3NiMo1</u> 焊丝规格 <u>φ 3mm</u> 焊丝型号 / 焊剂牌号 <u>HJ431</u>										
化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S	Mo	Ni				
	0.10	0.15	1.48	0.018	0.008	0.48	1.34				
焊条	焊条牌号 / 焊条规格 / 焊条型号 / 检验编号 _____										
熔敷金属化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S						
	/	/	/	/	/						
保护气体 / 流量 / L/min 其它气体 / 流量 / L/min											

预热及焊后热处理

预热温度 / 层间温度 / 后热温度 / 时间 /

消氢温度 / 时间 / 中间热处理温度 / 时间 /

焊后热处理温度 930~960(卷),950~970(纵焊),830~850℃ 560~580℃ 时间 1,1,1,3,7 h

(续)

焊接工艺参数

电流种类 交流 极性 / 焊接电流 I 450~500A 电弧电压 U 41~43V 渣池深度 60~65mm单丝 焊丝伸出长度 65~70mm 焊接速度 3m/h

操作技术

性能检验结果

拉伸试验

检验报告编号 _____

试样编号	试样形式	σ_b /MPa	σ_t /MPa	断裂位置	其 它
P26-1	板状 棒状	591.9, 589 588.590	394.9, 370.5	焊缝外 /	$\sigma_{(250^\circ\text{C})}$ 350.2, 363.1 δ_5 17%, 18.5%

定向弯曲

检验报告编号 _____

试样编号	试样形式	弯轴直径/mm	弯曲角度/(°)	检验结果
P26-2	侧弯	$d=3a$	100	合 格

冲击韧性试验

检验报告编号 _____

试样编号	缺口形式	试验温度/°C	缺口位置	A_{KV} /J
P26-3	V	50	焊缝 热影响区	134, 135, 141 138, 142, 150

硬度试验结果(H)

检验报告编号 _____

焊 缝	热影响区	母 材
/	/	/

金相检验结果

检验报告编号 _____

宏 观	微 观	其它检验
/	母材 <u>珠光体+铁素体</u> 焊缝 <u>铁素体+珠光体+贝氏体</u> 热影响区 <u>铁素体+珠光体+贝氏体</u>	/

无损探伤检验结果 RT合格

检验报告编号 _____

焊工 _____

钢印号 _____

焊工合格证号 _____

评定结论 合格

编 制	校 对	审 核	审 定
日 期	日 期	日 期	日 期

焊接工艺设计书

编号 No HSY-27工艺评定编号 HPY-27评定项目 小直径压力容器纵缝对接 13CrMo44 钢 δ 40mm 手工氩弧焊+手弧焊+埋弧焊接头焊接方法手工 TIG+SMAW+SAW 自动化等级手工+机械化 焊接位置平 技术标准GB/T150—1998

接头坡口形式

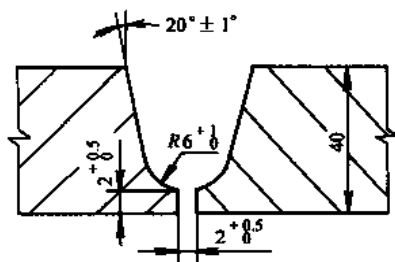


图 PY-27 左

焊接层次(顺序)

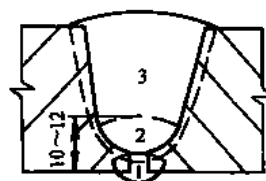


图 PY-27 右

对焊接接头的基本要求

1. 力学性能

σ_b /MPa	σ_s /MPa	δ_5 /%	弯曲角度/(°) ($d=3a$)	冲击试验			其它
				缺口形式	试验温度/°C	A_{KV} /J	
440~590	/	/	50°	V	室温	≥ 35	$Hv_{10} \leq 350$

2. 其它 RT 检查 金相组织

母材	牌号 <u>13CrMo44</u> 规格 <u>δ 40mm</u> 类别 <u>IV-1</u>						
焊接材料	焊条牌号 <u>R307</u> 焊条规格 <u>$\phi 4, \phi 5$mm</u> 型号 <u>E5515-B2</u> 钨极型号规格 <u>钨极 $\phi 2.5$mm</u> 焊剂 <u>HJ350</u> 焊丝 <u>H08CrMnSiMo</u> 焊丝 <u>$\phi 2.5$mm</u> 型号 <u></u> 保护气 <u>Ar</u> 流量 <u>8~10L/min</u> 牌号 <u>H12CrMo</u> 规格 <u>$\phi 3$mm</u> 其它气体 <u></u> 流量 <u></u>						
预热焊后热处理	预热温度 <u>$\geq 150^\circ\text{C}$</u> 层间温度 <u>150~350°C</u> 后热温度, 时间 <u>/</u> 消氢温度, 时间 <u>/</u> 中间热处理 <u>/</u> 时间 <u>/</u> 焊后热处理 <u>640~660 °C</u> 时间 <u>2.5h</u>						
焊接工艺参数要求	电流种类 <u>直流</u> 极性 <u>/</u> 焊接电流 <u>手工 TIG: 正接 I 110~120A</u> 电弧电压 <u>12~14V</u> <u>SMAW: $\phi 4$mm I 170~190A U 22~24V $\phi 5$mm I 220~240A U 23~25V</u> <u>SAW: 400~450A U 35~36V 焊接速度 20~25m/h 送丝速度 95~105m/h</u>						
操作技术要求	第一层以手工 TIG 打底后, 以 SMAW 焊至 10~12mm 厚, 再以埋弧焊焊满						
编制		校对		审核		批准	
日期		日期		日期		日期	

焊接工艺评定书

编号 No HPY-27设计书编号 No HSY-27评定项目 小直径压力容器纵缝对接 13CrMo44 钢 δ 40mm 手工氩弧焊+手弧焊+埋弧焊接头焊接方法 手工 TIG+SMAW+SAW 自动化等级 手工+机械化 焊接位置 平 技术标准 GB/T150-1998

接头坡口形式

焊接层次(顺序)

见图 PY-27 左

见图 PY-27 右

母材	检验编号 _____							钎极型号 <u>钎钎极</u> 直径 <u>ϕ2.5</u> mm				
	牌号 <u>13CrMo44</u>		规格 <u>δ 40mm</u>		类别 <u>N-1</u>							
化学成分 (%)	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo					
	0.15	0.20	0.61	0.020	0.014	0.94	0.47					
力学性能	σ_b /MPa		524,512		σ_s /MPa		287,290		δ_5 /%		21.5,19.8	
									A_{KV} /J		184,212,168	
焊材	检验编号 _____											
	焊丝牌号 <u>H08CrMnSiMo</u> <u>H12CrMo</u>		焊丝规格 <u>ϕ 2.5</u> <u>ϕ3mm</u>		焊丝型号 <u>/</u>		焊剂牌号 <u>HJ350</u>					
化学成分 (%)	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo					
	0.08	0.14	0.55	0.009	0.011	0.96	0.50					
	0.10	0.28	0.50	0.010	0.009	0.98	0.54					
焊条	焊条牌号 <u>R307</u> 焊条规格 <u>ϕ4、ϕ5mm</u> 焊条型号 <u>E5515-B2</u> 检验编号 _____											
熔敷金属化学成分 (%)	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo					
	0.07	0.21	0.46	0.012	0.010	1.10	0.45					
保护气体 <u>Ar</u> , 流量 <u>8~10</u> L/min 其它气体 <u>/</u> , 流量 <u>/</u>												
预热及焊后热处理												
预热温度 <u>$\geq$150</u> °C 层间温度 <u>150~350</u> °C 后热温度 <u>/</u> 时间 <u>/</u>												
消氢温度 <u>/</u> 时间 <u>/</u> 中间热处理温度 <u>/</u> 时间 <u>/</u>												
焊后热处理温度 <u>640~660</u> °C 时间 <u>2.5</u> h												

(续)

焊接工艺参数

电流种类 直流 极性 正接 反接 手工 TIG: I 110~120A U 12~14V

反接 { SMAW: ϕ 4mm I 170~190A U 22~24V ϕ 5mm I 220~240A U 23~25V
SAW: I 400~450A U 35~36V 焊接速度 20~25m/h 送丝速度 95~105m/h

操作技术

首先以手工 TIG 打底焊一层后,以 SMAW 焊至 10~12mm 厚,再以 SAW 焊满坡口

性能检验结果

拉伸试验

检验报告编号 _____

试样编号	试样形式	σ_b /MPa	σ_s /MPa	断裂位置	
P27-1	板状	518 521	/	焊缝外	

定向弯曲

检验报告编号 _____

试样编号	试样形式	弯轴直径/mm	弯曲角度/(°)	检验结果
P27-2	侧弯	$d=3a$	50	合格

冲击韧性试验

检验报告编号 _____

试样编号	缺口形式	试验温度/°C	缺口位置	A_{kv} /J
P27-3	V	室温	焊缝 热影响区	94.6, 98.1, 107.2 86, 121, 90

硬度试验结果(HV₁₀)

检验报告编号 _____

焊 缝	热影响区	母 材
197, 166	213, 264	202, 197

金相检验结果

检验报告编号 _____

宏 观	微 观	其它检验
/	母材 珠光体+铁素体 焊缝 贝氏体+铁素体+少量铁素体 热影响区 铁素体+贝氏体+珠光体	/

无损探伤检验结果 RT 合格

检验报告编号 _____

焊工 _____

钢印号 _____

焊工合格证号 _____

评定结论 合格

编 制		校 对		审 核		审 定	
日 期		日 期		日 期		日 期	

焊接工艺设计书

编号 No HSY-28

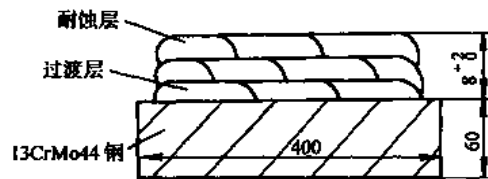
工艺评定编号 HPY-28

评定项目 压力容器 13CrMo44 钢壳体 不锈钢带极埋弧堆焊接头

焊接方法 SAW 自动化等级 机械化 焊接位置 平 技术标准 GB/T150-1998

接头坡口形式

焊接层次(顺序)



首先堆焊
一层过渡层
再在过渡层
上堆焊二层
耐蚀层

图 PY-28

对焊接接头的基本要求

1. 力学性能

σ_b /MPa	σ_s /MPa	δ_5 /%	弯曲角度 /(°)	冲击试验			其 它
				缺口形式	试验温度/°C	A_K /J	
/	/	/	/	/	/	/	/

2. 其它 堆焊金属化学成分,渗透检查,金相组织

母材	牌号 13CrMo44 规格 δ 60mm 类别 N-1					
焊接材料	焊条牌号 /	焊条规格 /	型号 /	钨极型号规格 /	焊剂 HJ260	
	焊带牌号 H00Cr28Ni11	焊带规格 0.6×60mm	型号 /	保护气 /	流量 /	
				其它气体 /	流量 /	
预热焊后热处理	预热温度 过渡层 120~150°C 层间温度 $\leq 200^\circ\text{C}$ 后热温度,时间 /°C/h 消氢温度,时间 / 中间热处理 / 时间 / 焊后热处理 640~660°C 时间 4h					
焊接工艺参数要求	电流种类 直流 极性 反接 焊接电流 第一层 I 750~800A 其它层 I 800~850A 电弧电压 U 29~30V 焊接速度 9~10m/h					
操作技术要求	首先堆焊过渡层,然后在过渡层上堆焊两层耐蚀层					

编 制		校 对		审 核		批 准	
日 期		日 期		日 期		日 期	

焊接工艺评定书

编号 No HPY-28设计书编号 No HSY-28评定项目 压力容器 13CrMo44 钢壳体 带极埋弧堆焊接头焊接方法 SAW 自动化等级 机械化 焊接位置 平 技术标准 GB/T150-1998

接头坡口形式

焊接层次(顺序)

见图 PY-28 左

见图 PY-28 右

母材	检验编号 <u> </u>									
	牌号 <u>13CrMo44</u>		规格 <u>δ 60mm</u>		类别 <u>IV-1</u>		钨极型号 <u>/</u> 直径 <u>/</u>			
化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo			
	0.14	0.26	0.60	0.014	0.010	0.98	0.46			
力学性能	σ_b /MPa		/		σ_s /MPa		/		δ_5 /%	/
									A_K /J	/
焊材	检验编号 <u> </u>									
	焊带牌号 <u>H00Cr28Ni11</u>		焊带规格 <u>0.6×60mm</u>		焊丝型号 <u> </u>		焊剂牌号 <u>HJ260</u>			
化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni			
	0.03	0.21	0.30	0.010	0.012	27.5	11.2			
焊条	牌号 <u>/</u> 焊条规格 <u>/</u> 焊条型号 <u>/</u> 检验编号 <u> </u>									
	C	Si	Mn	P	S					
熔敷金属化学成分(%)	/	/	/	/	/					
保护气体 <u>/</u> 流量 <u>/</u> 其它气体 <u>/</u> 流量 <u>/</u>										
预热及焊后热处理										
预热温度过被层 <u>120~150</u> °C 层间温度 <u>≤200</u> °C 后热温度 <u>/</u> 时间 <u>/</u>										
消氢温度 <u>/</u> 时间 <u>/</u> 中间热处理温度 <u>/</u> 时间 <u>/</u>										
焊后热处理温度 <u>640~660</u> °C 时间 <u>4</u> h										

(续)

焊接工艺参数

电流种类 直流 极性 反接 焊接电流 第一层 I 750~800A
 其它层 I 800~850A U 29~30V 焊接速度 9~10m/h

操作技术

首先以较小电流焊接一层过渡层,再按规定焊接两层耐蚀层

性能检验结果

拉伸试验

检验报告编号 _____

试样编号	试样形式	σ_b /MPa	σ_s /MPa	断裂位置	
/	/	/	/	/	

定向弯曲

检验报告编号 _____

试样编号	试样形式	弯轴直径/mm	弯曲角度/(°)	检验结果
/	/	$d=a$	/	/

冲击韧性试验

检验报告编号 _____

试样编号	缺口形式	缺口位置	试验温度/°C	A_K /J
/	/	/	/	/

硬度试验结果(H)

检验报告编号 _____

焊 缝	热影响区	母 材
/	/	/

金相检验结果

检验报告编号 _____

宏 观	微 观	其它检验
/	母材 <u>铁素体+珠光体</u> 焊缝 <u>奥氏体</u> 热影响区 <u>贝氏体+珠光体+铁素体</u>	化学成(分质量分数%):C 0.03,Si 0.24,Mn 0.58,P 0.013,S 0.012,Cr 27.0,Ni10.5

无损探伤检验结果 渗透检验合格

检验报告编号 _____

焊工 _____

钢印号 _____

焊工合格证号 _____

评定结论 合格

编 制		校 对		审 核		审 定	
日 期		日 期		日 期		日 期	

焊接工艺设计书

编号 No HSY-29工艺评定编号 HPY-29评定项目 压力容器壳体环缝对接 SA387-11-2 钢 δ 95mm 手弧焊+窄间隙埋弧焊接头焊接方法 SMAW+NGSAW 自动化等级 手工+自动 焊接位置 平 技术标准 ASME

接头坡口形式

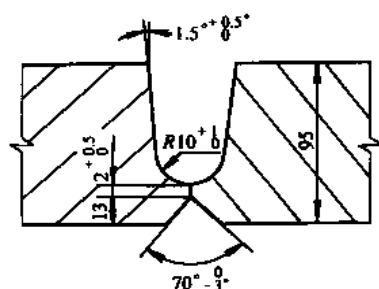


图 PY-29 左

焊接层次(顺序)

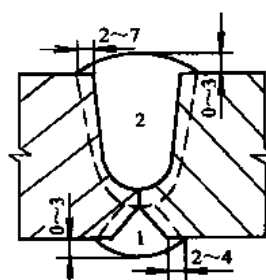


图 PY-29 右

对焊接接头的基本要求

1. 力学性能

σ_b /MPa	σ_s /MPa	δ_5 /%	弯曲角度/(°) ($d=4a$)	冲击试验			其它
				缺口形式	试验温度/°C	A_K /J	
≥ 515	/	/	180°	V	0	≥ 27	HBS ≤ 250

2. 其它 RT 检查

母材	牌号 <u>SA387-11-2</u> 规格 <u>δ 95mm</u> 类别 <u>P4-1</u>						
焊接材料	焊条牌号 <u>CMA-96</u> 焊条规格 <u>$\phi 4, \phi 5$mm</u> 型号 <u>F4/A3</u> 钨极型号规格 <u>/</u> 焊剂 <u>PF-200</u> 焊丝牌号 <u>US-511N</u> 焊丝规格 <u>$\phi 4$mm</u> 型号 <u>F6/A3</u> 保护气 <u>/</u> 流量 <u>/</u> 其它气体 <u>/</u> 流量 <u>/</u>						
预热焊后热处理	预热温度 <u>$\geq 150^\circ\text{C}$</u> 层间温度 <u>150~350°C</u> 后热温度, 时间 <u>200~250°C/2 h</u> 消氢温度, 时间 <u>/</u> 中间热处理 <u>/</u> 时间 <u>/</u> 焊后热处理 中间热处理 <u>640$\pm$15°C, 680$\pm$15°C</u> 时间 <u>2, 4 h</u>						
焊接工艺参数要求	电流种类 <u>直流</u> 极性 <u>反接</u> 焊接电流 <u>SMAM: $\phi 4$mm I 160~180A $\phi 5$mm I 220~240A</u> 电弧电压 <u>U 23~27V</u> NGSAW: I 570~590A U 29~31V 焊接速度 <u>27~29m/h</u> 焊丝伸出长度 <u>30~35mm</u>						
操作技术要求	首先焊接 70°手弧焊坡口, 窄间隙埋弧焊焊丝与坡口侧面距离为 4mm						
编制		校 对		审 核		批 准	
日 期		日 期		日 期		日 期	

焊接工艺评定书

编号 No HPY-29设计书编号 No HSY-29评定项目 压力容器壳体对接环缝 SA387-11-2 钢 δ 95mm 手弧焊+窄间隙埋弧焊焊接方法 SMAW+NGSAW 自动化等级 手工+自动 焊接位置 平 技术标准 ASME

接头坡口形式

见图 PY-29 左

焊接层次(顺序)

见图 PY-29 右

首先焊接 70°
SMAW 坡口, 再以
SAW 焊满正面坡口

母材	检验编号 _____							钨极型号 <u>/</u> 直径 <u>/</u> mm					
	牌号 <u>SA387-11-2</u>		规格 <u>δ 95 mm</u>		类别 <u>P4-1</u>								
化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo						
	0.12	0.48	0.55	0.018	0.010	1.21	0.49						
力学性能	σ_b /MPa		688,649		σ_s /MPa		372,384		δ_5 /%		19,21.5	$A_{KV}^{(°C)}/J$	258,206.256
焊材	检验编号 _____												
	焊丝牌号 <u>US-511N</u> 焊丝规格 <u>ϕ4mm</u> 焊丝型号 <u>F6/Q235(A3)</u> 焊剂牌号 <u>PF-200</u>												
化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo						
	0.13	0.09	0.67	0.005	0.002	1.53	0.55						
焊条	检验编号 _____												
	牌号 <u>CMA-96</u> 焊条规格 <u>ϕ4,ϕ5mm</u> 焊条型号 <u>F4/Q235(A3)</u> 检验编号 <u>/</u> <u>/</u>												
熔敷金属化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo						
	0.06	0.42	0.70	0.007	0.004	1.28	0.51						
保护气体 <u>/</u> 流量 <u>/</u> 其它气体 <u>/</u> 流量 <u>/</u>													
预热及焊后热处理 预热温度 ≥ 150 °C 层间温度 $150 \sim 350$ °C 后热温度 $200 \sim 250$ °C 时间 <u>2</u> h 消氢温度 <u>/</u> 时间 <u>/</u> 中间热处理温度 640 ± 15 °C 时间 <u>2</u> h 焊后热处理温度 680 ± 15 °C 时间 <u>4</u> h													

(续)

焊接工艺参数

电流种类 直流 极性 反接 SMAW: $\phi 4\text{mm}$ I 160~180A $\phi 5\text{mm}$ I 220~240A U 23~27VNGSAW: I 570~590A U 29~31V 焊接速度 27~29m/h 焊丝伸出长度 30~35mm

操作技术

首先焊 70°手弧焊坡口,第一层采用 $\phi 4\text{mm}$ 焊条,其余层采用 $\phi 5\text{mm}$ 焊条,窄间隙埋弧焊,焊丝与坡口两侧距离为 4mm,第一层焊接一道焊缝,其余层均为左、右两道焊缝

性能检验结果

拉伸试验

检验报告编号 _____

试样编号	试样形式	σ_b/MPa	σ_t/MPa	断裂位置	
P29-1	板状	上 618,628 中 610,625 下 662,673	/	焊缝上	

定向弯曲

检验报告编号 _____

试样编号	试样形式	弯轴直径/mm	弯曲角度/(°)	检验结果
P29-2	侧弯	$d=4a$	180	合格

冲击韧性试验

检验报告编号 _____

试样编号	缺口形式	试验温度/°C	缺口位置	A_{KV}/J
P29-3	V	0	焊缝	192,174,166
				114,182,162
			热影响区	192,258,258
				214,176,148

硬度试验结果(HBS)

检验报告编号 _____

焊 缝	热影响区	母 材
184,187	182,187,225,224	209,211,225,224
219,219		

金相检验结果

检验报告编号 _____

宏 观	微 观	其它检验
/	/	/

无损探伤检验结果 RT 合格

检验报告编号 _____

焊工 _____

钢印号 _____

焊工合格证号 _____

评定结论 合格

编 制	校 对	审 核	审 定
日 期	日 期	日 期	日 期

焊接工艺设计书

编号 No HSY-30

工艺评定编号 HPY-30

评定项目 压力容器壳体纵缝对接 13CrMo44 钢 δ 40mm 电渣焊接头

焊接方法 ESW 自动化等级 自动化 焊接位置 立 技术标准 GB/T150—1998

接头坡口形式

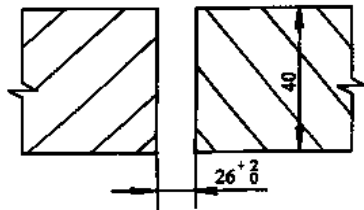


图 PY-30 左

焊接层次(顺序)

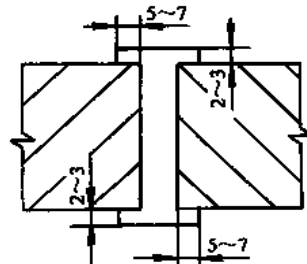


图 PY-30 右

对焊接接头的基本要求

1. 力学性能

σ_b /MPa	σ_s /MPa	δ_5 /%	弯曲角度/(°) ($d=3a$)	冲击试验			其它
				缺口形式	试验温度/°C	A_{kv} /J	
≥ 441	/	/	100°	V	室温	≥ 27	焊缝金属 $\sigma_s^{(450^\circ\text{C})} \geq 180$

2. 其它 RT 检查 金相组织

母材	牌号 13CrMo44 规格 δ 40mm 类别 N-1						
焊接材料	焊条牌号 / 焊条规格 / 型号 / 焊极型号规格 / 焊剂 HJ431 焊丝牌号 H13CrMo 焊丝规格 ϕ 3mm 型号 / 保护气体 / 流量 / 其它气体 / 流量 /						
预热焊后热处理	预热温度 / 层间温度 / 后热温度, 时间 / 消氢温度, 时间 / 中间热处理 / 时间 / 焊后热处理 940 $\pm$ 10 650 $\pm$ 10 650 $\pm$ 10 °C 时间 1, 2.5, 2.5h						
焊接工艺参数要求	电流种类 交流 极性 / 焊接电流 I 450~500A 电弧电压 U 41~43V 单根焊丝 渣池深度 60~70mm 焊接速度 1~1.2m/h						
操作技术要求							
编制		校对		审核		批准	
日期		日期		日期		日期	

焊接工艺评定书

编号 No HPY-30设计书编号 No HSY-30评定项目 压力容器壳体纵缝对接 13CrMo44 钢 $\delta 40\text{mm}$ 电渣焊接头焊接方法 ESW 自动化等级 自动 焊接位置 立 技术标准 GB/T150—1998

接头坡口形式

见图 PY-30 左

焊接层次(顺序)

见图 PY-30 右

母材	检验编号 _____							钨极型号 <u>/</u> 直径 <u>/</u>			
	牌号 <u>13CrMo44</u>	规格 <u>$\delta 40\text{mm}$</u>	类别 <u>N-1</u>								
化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo				
	0.13	0.25	0.54	0.019	0.002	0.82	0.47				
力学性能	σ_s/MPa	525,561		σ_s/MPa	331,314		$\delta_5/\%$	20.5,19		$A_{KV}/(\text{J})$	278,283,291
焊材	检验编号 _____										
	焊丝牌号 <u>H13CrMo</u> 焊丝规格 <u>$\phi 3\text{mm}$</u> 焊丝型号 <u>/</u> 焊剂牌号 <u>HJ431</u>										
化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo				
	0.11	0.18	0.59	0.014	0.015	0.86	0.52				
焊条	焊条牌号 <u>/</u> 焊条规格 <u>/</u> 焊条型号 <u>/</u> 检验编号 _____										
熔敷金属化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S						
	/	/	/	/	/						
保护气体 _____ 流量 _____ 其它气体 _____ 流量 _____											
预热及焊后热处理											
预热温度 <u>/</u> 层间温度 <u>/</u> 后热温度 <u>/</u> 时间 <u>/</u>											
消氢温度 <u>/</u> 时间 <u>/</u> 中间热处理温度 <u>/</u> 时间 <u>/</u>											
焊后热处理温度 <u>940$\pm$10 650$\pm$10 650$\pm$10</u> °C 时间 <u>1.2.5.2.5h</u>											

(续)

焊接工艺参数

电流种类 交流 极性 / 焊接电流 I 450~500A 电弧电压 U 41~43V单根焊丝 渣池深度 65~70mm 焊接速度 1~1.2m/h

操作技术

性能检验结果

拉伸试验

检验报告编号 _____

试样编号	试样形式	σ_s /MPa	σ_b /MPa	断裂位置	
P30-1	板状	457 470	/	焊缝上	全焊缝拉力 $\sigma_s^{(350^\circ\text{C})}$ 276,281 $\sigma_b^{(350^\circ\text{C})}$ 513,509

定向弯曲

检验报告编号 _____

试样编号	试样形式	弯轴直径/mm	弯曲角度/(°)	检验结果
P30-2	侧弯	$d=3a$	100	合格

冲击韧性试验

检验报告编号 _____

试样编号	缺口形式	试验温度/°C	缺口位置	A_{KV} /J
P30-3	V	室温	焊缝 热影响区	146,142,136 270,280,280

硬度试验结果(H)

检验报告编号 _____

焊 缝	热影响区	母 材
/	/	/

金相检验结果

检验报告编号 _____

宏 观	微 观	其它检验
/	母材 焊缝 <u>铁素体+珠光体+贝氏体</u> 热影响区	/

无损探伤检验结果 RT 合格

检验报告编号 _____

焊工 _____

钢印号 _____

焊工合格证号 _____

评定结论 合格

编 制		校 对		审 核		审 定	
日 期		日 期		日 期		日 期	

焊接工艺设计书

编号 No HSY-31工艺评定编号 HPY-31评定项目 压力容器小直径筒体纵缝对接 13CrMoV42 钢 $\delta 36\text{mm}$ 手工钨极氩弧焊+手弧焊+埋弧焊接头焊接方法 手工 TIG+SMAW+SAW 自动化等级 手工+机械化 焊接位置 平 技术标准 GB/T150—1998

接头坡口形式

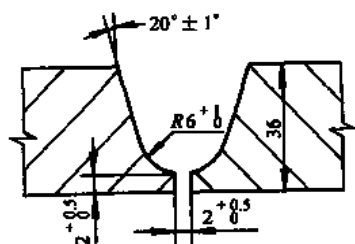


图 PY-31 左

焊接层次(顺序)

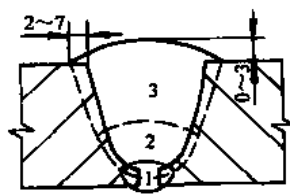


图 PY-31 右

对焊接接头的基本要求

1. 力学性能

σ_b/MPa	σ_s/MPa	$\delta_5/\%$	弯曲角度/ $^\circ$ ($d=3a$)	冲击试验			其它
				缺口形式	试验温度/ $^\circ\text{C}$	A_{kv}/J	
490~637	/	/	50°	V	常温	≥ 34.4	/

2. 其它 RT 检查 金相组织

母材	牌号 <u>13CrMoV42</u> 规格 <u>$\delta 36\text{mm}$</u> 类别 <u>N-2</u>					
焊接材料	焊条牌号 <u>R307</u>	焊条规格 <u>$\phi 4, \phi 5\text{mm}$</u>	型号 <u>E5515-B2-V</u>	钨极型号规格 <u>/</u>	焊剂 <u>HJ350</u>	
	焊丝牌号 <u>H08CrMnSiMoV</u> <u>H08CrMoV</u>	焊丝规格 <u>$\phi 2.5$</u> <u>$\phi 3\text{mm}$</u>	型号 <u>/</u>	保护气 <u>Ar</u>	流量 <u>8~10L/min</u>	其它气体 <u>/</u> 流量 <u>/</u>
预热焊后热处理	预热温度 <u>$\geq 200^\circ\text{C}$</u> 层间温度 <u>200~350$^\circ\text{C}$</u> 后热温度, 时间 <u>/</u> 消氢温度, 时间 <u>/</u> 中间热处理 <u>/</u> 时间 <u>/</u> 焊后热处理 <u>730~750$^\circ\text{C}$</u> 时间 <u>3h</u>					
焊接工艺参数要求	电流种类 <u>直流</u> 极性 <u>/</u> 焊接电流 <u>手工 TIG: 正接 $I 100\sim 120\text{A}$</u> 电弧电压 <u>$U 12\sim 14\text{V}$</u> <u>SMAW $\phi 4\text{mm}$ $I 160\sim 180\text{A}$ $\phi 5\text{mm}$ $I 220\sim 240\text{A}$ $U 23\sim 25\text{V}$</u> <u>SAW $I 400\sim 450\text{A}$ $U 34\sim 36\text{V}$ 焊接速度 <u>20~25m/h</u> 送丝速度 <u>95~105m/h</u></u>					
操作技术要求	根部第一层以手工 TIG 焊接后, 以 SMAW 焊至 10~12mm 厚, 再以 SAW 焊填坡口					

编制		校对		审核		批准	
日期		日期		日期		日期	

焊接工艺评定书

编号 No HPY-31设计书编号 No HSY-31评定项目 压力容器小直径筒体纵缝对接 13CrMoV42 钢 δ 36mm 手工钨极氩弧焊+手弧焊+埋弧焊接头焊接方法 手工 TIG+SMAW+SAW 自动化等级 手工+机械化 焊接位置 平 技术标准 GB/T150-1998

接头坡口形式						焊接层次(顺序)					
见图 PY-31 左						见图 PY-31 右 坡口根部以手工钨极氩弧焊打底焊 1 层后,以手弧焊至 10~12mm 厚,再以埋弧焊焊满口					
母材	检验编号 _____										
	牌号	13CrMoV42			规格	δ 36mm		类别	N-2		
化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	V			
	0.15	0.25	0.48	0.012	0.016	0.98	0.35	0.14			
力学性能	σ_s /MPa	513,538		σ_s /MPa	318,325		δ_5 /%	21.6,20.8		A_{KV} /J	170,162,154
焊材	检验编号 _____										
	焊丝牌号	H08CrMnSiMoV H08CrMoV			焊丝规格	ϕ 2.5 ϕ 3mm		焊丝型号	/		焊剂牌号
化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	V			
	0.09 0.08	0.60 0.21	1.13 0.46	0.012 0.009	0.013 0.014	1.08 1.08	0.45 0.40	0.29 0.28			
焊条	牌号 <u>R317</u> 焊条规格 <u>ϕ4,ϕ5mm</u> 焊条型号 <u>E5515-B2-V</u> 检验编号 _____										
熔敷金属化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	V			
	0.07	0.21	0.46	0.009	0.010	1.12	0.35	0.21			
保护气体 <u>Ar</u> 流量 <u>8~10</u> L/min 其它气体 <u>/</u> 流量 <u>/</u>											
预热及焊后热处理 预热温度 <u>≥ 200</u> $^{\circ}\text{C}$ 层间温度 <u>200~350</u> $^{\circ}\text{C}$ 后热温度 <u>/</u> 时间 <u>/</u> 消氢温度 <u>/</u> 时间 <u>/</u> 中间热处理温度 <u>/</u> 时间 <u>/</u> 焊后热处理温度 <u>730~750</u> $^{\circ}\text{C}$ 时间 <u>3</u> h											

(续)

焊接工艺参数

电流种类 直流 极性 手工 TIG, 正接 I 100~120A U 12~14VSMAW 反接 $\phi 4\text{mm}$ I 160~180A $\phi 5\text{mm}$ I 220~240A U 23~25VSAW 反接 I 400~450A U 34~36V 焊接速度 20~25m/h 送丝速度 95~105m/h

操作技术

根部第一层以手工 TIG 焊接后, 以 SMAW 焊至 10~12mm 厚, 再以 SAW 焊满坡口

性能检验结果

拉伸试验

检验报告编号 _____

试样编号	试样形式	σ_b/MPa	σ_s/MPa	断裂位置	
P31-1	板状	512.8 508.7	/	焊缝外	

定向弯曲

检验报告编号 _____

试样编号	试样形式	弯轴直径/mm	弯曲角度/(°)	检验结果
P31-2	侧弯	$d=3a$	50	合格

冲击韧性试验

检验报告编号 _____

试样编号	缺口形式	试验温度/°C	缺口位置	A_{KV}/J
P31-3	V	常温	焊缝 热影响区	173, 194, 145.8 184, 145, 150.2

硬度试验结果(H)

检验报告编号 _____

焊 缝	热影响区	母 材
/	/	/

金相检验结果

检验报告编号 _____

宏 观	微 观	其它检验
/	母材 <u>铁素体+珠光体</u> 焊缝 <u>贝氏体+铁素体</u> 热影响区 <u>贝氏体+铁素体+珠光体</u>	/

无损探伤检验结果 RT 合格

检验报告编号 _____

焊工 _____

钢印号 _____

焊工合格证号 _____

评定结论 合格

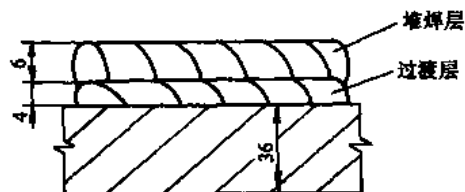
编 制		校 对		审 核		审 定	
日 期		日 期		日 期		日 期	

焊接工艺设计书

编号 No HSY-32工艺评定编号 HPY-32评定项目 压力容器变径管(2 $\frac{1}{4}$ Cr-1Mo 钢管)内壁不锈钢堆焊接头焊接方法 SMAW 自动化等级 手工 焊接位置 平 技术标准 GB/T150-1998

接头坡口形式

焊接层次(顺序)



首先焊过渡层
4mm 厚,再焊堆焊
层 6mm 厚

图 PY-32

对焊接接头的基本要求

1. 力学性能

σ_b /MPa	σ_t /MPa	δ_5 /%	弯曲角度/(°) ($d=4a$)	冲击试验			其它
				缺口形式	试验温度/°C	A_{KV} /J	
/	/	/	180°	/	/	/	抗剪强度 ≥ 195 MPa 硬度 $HV_{10} \leq 350$ HRC ≤ 22

2. 其它 1. 渗透检查 2. 堆焊层化学成分 金相组织

母材	牌号 <u>2 $\frac{1}{4}$Cr-1Mo</u> 规格 <u>δ 36mm</u> 类别 <u>N-3</u>						
焊接材料	焊条牌号 <u>E309L</u>	焊条规格 <u>ϕ4mm</u>	型号 <u>F5A8</u>	钨极型号规格 <u>/</u>	焊剂 <u>/</u>		
	<u>BM310Mo-L</u>	<u>ϕ4mm</u>	<u>F5A9</u>				
	焊丝牌号 <u>/</u>	焊丝规格 <u>/mm</u>	型号 <u>/</u>	保护气 <u>/</u>	流量 <u>/</u>		
				其它气体 <u>/</u>	流量 <u>/</u>		
预热焊后热处理	预热温度 <u>/</u> 层间温度 <u>$\leq 200^{\circ}\text{C}$</u> 后热温度,时间 <u>/</u> 消氢温度,时间 <u>/</u>						
	中间热处理 <u>/</u> 时间 <u>/</u> 焊后热处理 <u>/</u> 时间 <u>/</u>						
焊接工艺参数要求	电流种类 <u>直流</u> 极性 <u>反接</u> 焊接电流 <u>I ϕ4mm I 120~125A</u>						
	电弧电压 <u>U 22~24V</u>						
操作技术要求	首先焊接过渡层,焊至 4mm 原再以 BM310Mo-L 焊接堆焊层,并要求严格控制层间温度						
编 制		校 对		审 核		批 准	
日 期		日 期		日 期		日 期	

焊接工艺评定书

编号 No HPY-32

设计书编号 No HSY-32

评定项目 压力容器变径管(2 $\frac{1}{4}$ -Cr-1Mo 钢管)内壁不锈钢堆焊接头

焊接方法 SMAW 自动化等级 手工 焊接位置 平 技术标准 GB/T150—1998

接头坡口形式

焊接层次(顺序)

见图 PY-32

母材	检验编号 _____							钨极型号 / 直径 /				
	牌号 2 $\frac{1}{4}$ -Cr-1Mo		规格 δ 36mm		类别 W-3							
化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo					
	0.08	0.26	0.42	0.023	0.018	2.12	0.93					
力学性能	σ_b /MPa		/		σ_s /MPa		/		δ_5 /%		/	
									A_K /J		/	
焊材	检验编号 _____											
	焊丝牌号 /		焊丝规格 /		焊丝型号 /		焊剂牌号 /					
化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S							
	/	/	/	/	/							
焊条	牌号 E309Mo		焊条规格 ϕ 4mm		焊条型号 F5/A8		检验编号 _____					
	BM310Mo-L		ϕ 4mm		F5/A9							
熔敷金属化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo				
	0.04	0.38	0.68	0.009	0.012	24.30	12.18	1.25				
	0.03	0.51	4.4	0.010	0.014	25.18	22.27	2.3				
保护气体 / 流量 / 其它气体 / 流量 /												

预热及焊后热处理

预热温度 / 层间温度 $\leq 200^\circ\text{C}$ 后热温度 / 时间 /

消氢温度 / 时间 / 中间热处理温度 / 时间 /

焊后热处理温度 / 时间 /

(续)

焊接工艺参数

电流种类 直流 极性 反接 焊接电流 I 120~125A 电弧电压 U 22~24V

操作技术

首先以 E309Mo 焊条焊接 4mm 厚过渡层,再以 BM310Mo-L 焊条焊接 6mm 堆焊层。焊接过程中要求严格控制层间温度

性能检验结果

拉伸试验

检验报告编号 _____

试样编号	试样形式	σ_b /MPa	σ_s /MPa	断裂位置	抗剪强度/MPa
P32-1	/	/	/	/	254,254

定向弯曲

检验报告编号 _____

试样编号	试样形式	弯轴直径/mm	弯曲角度/(°)	检验结果
P32-2	面弯 侧弯	$d=4a$	180	合格

冲击韧性试验

检验报告编号 _____

试样编号	缺口形式	缺口位置	试验温度/°C	A_K /J
/	/	/	/	/

硬度试验结果(H)

检验报告编号 _____

焊 缝	热影响区	母 材
RHC 20.5,18,19	308,171,289	/

金相检验结果

检验报告编号 _____

宏 观	微 观	其它检验
/	—	堆焊金属化学成分(质量分数)% C 0.032, Si 0.5, Mn 5.19 Cr 25.58, Ni 20.41, Mo 2.20 S 0.005, P 0.013

无损探伤检验结果 渗透检查合格

检验报告编号 _____

焊工 _____

钢印号 _____

焊工合格证号 _____

评定结论 合格

编 制	校 对	审 核	审 定
日 期	日 期	日 期	日 期

焊接工艺设计书

编号 No HSY-33工艺评定编号 HPY-33评定项目 压力容器壳体环缝对接 $2\frac{1}{4}\text{Cr-1Mo}$ 钢 $\delta 106\text{mm}$ 手弧焊+埋弧焊接头焊接方法 SMAW+SAW 自动化等级 手工+机械化 焊接位置 平 技术标准 GB/T150-1998

接头坡口形式

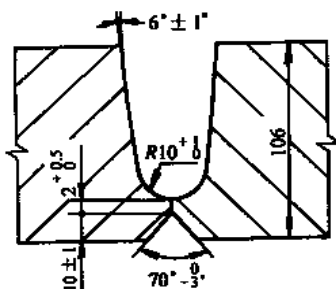


图 PY-33 左

焊接层次(顺序)

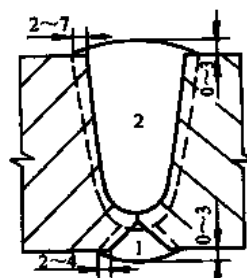


图 PY-33 右

首先焊接
第1面 70°坡
口,清根后再
焊接第2面
埋弧焊坡口

对焊接接头的基本要求

1. 力学性能

σ_b/MPa	σ_s/MPa	$\delta_5/\%$	弯曲角度/(°) ($d=3a$)	冲击试验			其 它
				缺口形式	试验温度/°C	A_{KV}/J	
450~600	/	/	100°	V	常温	≥ 34	$HV_{10} \leq 350$

2. 其它 RT 检查 金相组织

母材	牌号 $2\frac{1}{4}\text{Cr-1Mo}$ 规格 $\delta 106\text{mm}$ 类别 <u>N-3</u>						
焊接材料	焊条牌号 <u>R407</u> 焊条规格 $\phi 4, \phi 5\text{mm}$ 类别号 <u>E6015-B3</u> 钨极型号规格 <u>/</u> 焊剂 <u>HJ350</u> 焊丝牌号 <u>H10Cr3MoMnA</u> 焊丝规格 $\phi 4\text{mm}$ 类别 <u>/</u> 保护气 <u>/</u> 流量 <u>/</u> 其它气体 <u>/</u> 流量 <u>/</u>						
预热焊后热处理	预热温度 <u>SMAW: 150~120°C</u> 层间温度 <u>120~350°C</u> 后热温度, 时间 <u>150~200°C/2h</u> 消氢温度, 时间 <u>350~400°C/2h</u> 中间热处理 <u>/</u> 时间 <u>/</u> 焊后热处理 <u>660~680°C</u> 时间 <u>7h</u>						
焊接工艺参数要求	电流种类 <u>直流</u> 极性 <u>反接</u> 焊接电流 <u>SMAW: $\phi 4\text{mm}$ / 160~190A $\phi 5\text{mm}$ / 220~240A</u> 电弧电压 <u>U 23~25V</u> SAW: <u>I 600~650A U 34~36V</u> 焊接速度 <u>25~30m/h</u> 送丝速度 <u>95~105m/h</u>						
操作技术要求	首先焊 70°手弧焊坡口,清根后,焊接 U 形埋弧焊坡口。焊接过程中断应立即后热,焊接结束后立即作消氢处理						
编制		校 对		审 核		批 准	
日 期		日 期		日 期		日 期	

焊接工艺评定书

编号 No HPY-33

设计书编号 No HSY-33

评定项目 压力容器壳体环缝对接 $2\frac{1}{4}$ -Cr-1Mo 钢 $\delta 106\text{mm}$ 手弧焊+埋弧焊接头

焊接方法 SMAW+SAW 自动化等级 手工+机械化 焊接位置 平 技术标准 GB/T150-1998

接头坡口形式

焊接层次(顺序)

见图 PY-33 左

见图 PY-33 右

母材	检验编号 _____												
	牌号 $2\frac{1}{4}$ -Cr-1Mo		规格 $\delta 106\text{mm}$		类别 N-3			钢板型号 / 直径 /					
化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo						
	0.10	0.22	0.48	0.012	0.015	2.33	1.02						
力学性能	σ_s/MPa		538,569		σ_t/MPa		314,328		$\delta_5/\%$		19,21.5	A_{KV}/J	194,170,181
焊材	检验编号 _____												
	焊丝牌号 HI10Cr3MoMnA		焊丝规格 $\phi 4\text{mm}$		焊丝型号 /		焊剂牌号 HJ350						
化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo						
	0.10	0.23	0.78	0.011	0.007	2.84	1.05						
焊条	牌号 R407 焊条规格 $\phi 4, \phi 5\text{mm}$ 焊条型号 E6015-B3 检验编号 _____												
熔敷金属化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo						
	0.08	0.20	0.62	0.009	0.014	2.24	1.02						
保护气体 / , 流量 / 其它气体 / , 流量 /													

预热及焊后热处理

预热温度 SMAW:150~120 °C 层间温度 120~350 °C 后热温度 150~120 °C 时间 2 h

消氢温度 350~400 °C 时间 2 h 中间热处理温度 / 时间 /

焊后热处理温度 660~680 °C 时间 7 h

(续)

焊接工艺参数

电流种类 直流 极性 反接 SMAW: $\phi 4\text{mm}$ I 160~190A $\phi 5\text{mm}$ I 220~240A U 23~25V
 SAW: I 600~650A U 34~36V 焊接速度 25~30m/h 送丝速度 95~105m/h

操作技术

首先以手弧焊焊接 70°坡口,清根后进行 U 形坡口埋弧焊。焊接过程中断立即后热,焊接结束后立即作消氢处理

性能检验结果

拉伸试验

检验报告编号 _____

试样编号	试样形式	σ_b/MPa	σ_s/MPa	断裂位置	
P33-1	板状	上:555.7,567 中:560,543 下:551.538	/	焊缝外	

定向弯曲

检验报告编号 _____

试样编号	试样形式	弯轴直径/mm	弯曲角度/(°)	检验结果
P33-2	侧弯	$d=3a$	100	合格

冲击韧性试验

检验报告编号 _____

试样编号	缺口形式	试验温度/°C	缺口位置	A_{KV}/J
P33-3	V	常温	焊缝 热影响区	132.2,121.0,176.4 109.8,124.2,166

硬度试验结果(HV₁₀)

检验报告编号 _____

焊 缝	热影响区	母 材
197,217,219	207,229,241	153,164

金相检验结果

检验报告编号 _____

宏 观	微 观	其它检验
/	母材 <u>铁素体+珠光体</u> 焊缝 <u>铁素体+珠光体</u> 热影响区 <u>铁素体+珠光体</u>	/

无损探伤检验结果 RT 合格

检验报告编号 _____

焊工 _____

钢印号 _____

焊工合格证号 _____

评定结论 合格

编 制		校 对		审 核		审 定	
日 期		日 期		日 期		日 期	

焊接工艺设计书

编号 No HSY-34

工艺评定编号 HPY-34

评定项目 厚壁容器大直径管座对接 $2\frac{1}{4}\text{Cr-1Mo}$ δ 106mm 手弧焊接头

焊接方法 SMAW 自动化等级 手工 焊接位置 平 技术标准 GB/T150-1998

接头坡口形式

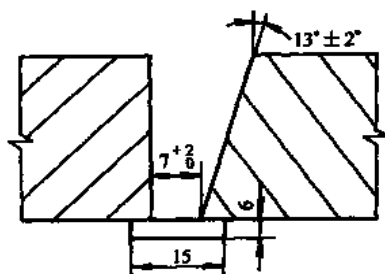


图 PY-34 左

焊接层次(顺序)

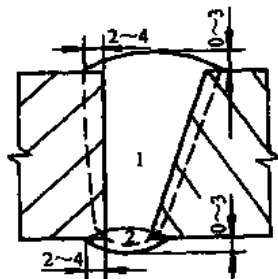


图 PY-34 左

首先焊接正
面坡口,反面清
除垫板后焊 1~
2 层焊缝

对焊接接头的基本要求

1. 力学性能

σ_s/MPa	σ_t/MPa	$\delta_5/\%$	弯曲角度/(°) ($d=3a$)	冲击试验			其它
				缺口形式	试验温度/°C	A_{KV}/J	
450~600	/	/	100	V	常温	≥ 34	$HV_{10} \leq 350$

2. 其它 RT 检查 金相组织

母材	牌号 $2\frac{1}{4}\text{Cr-1Mo}$ 规格 δ 106mm 类别 N-3					
焊接材料	焊条牌号 R407	焊条规格 $\phi 4, \phi 5\text{mm}$	型号	焊极型号规格 /	焊剂 /	
	焊丝牌号 /	焊丝规格 /	型号 /	保护气 /	流量 /	
				其它气体 /	流量 /	
预热焊后热处理	预热温度 150~200°C 层间温度 150~350°C 后热温度,时间 消氢温度,时间 350~400°C/2h 中间热处理 / 时间 / 焊后热处理 590~610°C 时间 7h					
焊接工艺参数要求	电流种类 直流 极性 反接 焊接电流: $\phi 4\text{mm}$ $I=160\sim 190\text{A}$ $\phi 5\text{mm}$ $I=220\sim 240\text{A}$ 电弧电压 U 23~25V					
操作技术要求	正面坡口手弧焊焊满后,清除掉垫板,再以手弧焊 1~2 层。焊接过程中断及焊接结束后立即作消氢处理					
编制		校对		审核		批准
日期		日期		日期		日期

焊接工艺评定书

编号 No HPY-34

设计书编号 No HSY-34

评定项目 厚壁容器大直径管座对接 $2\frac{1}{4}\text{Cr-1Mo}$ $\delta 106\text{mm}$ 手弧焊接头

焊接方法 SMAW 自动化等级 手工 焊接位置 平 技术标准 GB/T150—1998

接头坡口形式

焊接层次 (顺序)

见图 PY-34 左

见图 PY-34 右

母材	检验编号 _____							钨极型号 / / , 直径 / / mm			
	牌号 $2\frac{1}{4}\text{Cr-1Mo}$		规格 $\delta 106\text{mm}$		类别 IV-3						
化学成分 (%)	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo				
	0.10	0.22	0.48	0.012	0.015	2.33	1.22				
力学性能	σ_s/MPa	558, 569		σ_b/MPa	314, 328		$\delta_5/\%$	19, 21.5		$A_{kv}/(\text{J})$	194, 170, 181
焊材	检验编号 _____										
	焊丝牌号 / / 焊丝规格 / / 焊丝类别 / / 焊剂牌号 / /										
化学成分 (%)	C	Si	Mn	P	S						
	/	/	/	/	/						
焊条	焊条牌号 R407 焊条规格 $\phi 4, \phi 5\text{mm}$ 焊条类别 E6015-B3 检验编号 _____										
熔敷金属化学成分 (%)	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo				
	0.08	0.20	0.62	0.009	0.014	2.24	1.06				
保护气体 / / 流量 / / 其它气体 / / 流量 / /											
预热及焊后热处理											
预热温度 150~200 °C 层间温度 150~350 °C 后热温度 / / 时间 / /											
消氢温度 350~400 °C 时间 2 h 中间热处理温度 / / 时间 / /											
焊后热处理温度 590~610 °C 时间 7 h											

(续)

焊接工艺参数

电流种类 直流 极性 反接 焊接电流 4mm I 160~190A 5mm I 220~240A 电源电压 U 23~25V

操作技术

正手手弧焊焊满坡口后,以电弧气刨清除垫板,打磨清理再以手弧焊焊1~2层焊缝

性能检验结果

拉伸试验

检验报告编号 _____

试样编号	试样形式	σ_b /MPa	σ_t /MPa	断裂位置	
P34-1	板状	上: 553, 564 中: 538, 571 下: 560, 545	/	焊缝外	

定向弯曲

检验报告编号 _____

试样编号	试样形式	弯轴直径/mm	弯曲角度/ (°)	检验结果
P34-2	侧弯	$d=3a$	100	合格

冲击韧性试验

检验报告编号 _____

试样编号	缺口形式	试验温度/°C	缺口位置	A_{kv} /J
P34-3	V	常温	焊缝 热影响区	198, 201, 200 117.6, 128, 98

硬度试验结果 (HV₁₀)

检验报告编号 _____

焊 缝	热影响区	母 材
187, 197	193, 187, 197	149, 156

金相检验结果

检验报告编号 _____

宏 观	微 观	其它检验
/	母材 <u>铁素体+珠光体+贝氏体</u> 焊缝 <u>贝氏体</u> 热影响区 <u>贝氏体+铁素体+珠光体</u>	/

无损探伤检验结果 RT 合格

检验报告编号 _____

焊工 _____

钢印号 _____

焊工合格证号 _____

评定结论 合格

编 制		校 对		审 核		审 定	
日 期		日 期		日 期		日 期	

焊接工艺设计书

编号 No HSY-35工艺评定编号 HPY-35评定项目 厚壁压力容器壳体纵缝对接 $2\frac{1}{4}\text{-Cr-1Mo}$ $\delta 106\text{mm}$ 电渣焊接头焊接方法 ESW 自动化等级 自动 焊接位置 立 技术标准 GB/T150—1998

接头坡口形式

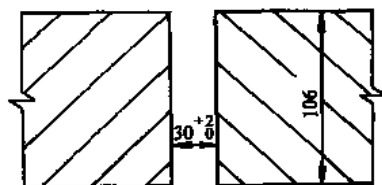


图 PY-35 左

焊接层次 (顺序)

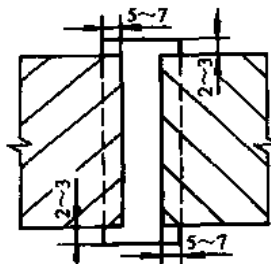


图 PY-35 右

对焊接接头的基本要求

1. 力学性能

σ_b/MPa	σ_s/MPa	$\delta_5/\%$	弯曲角度/(°) ($d=3a$)	冲击试验			其它
				缺口形式	试验温度/°C	A_{kv}/J	
450~600	/	/	100	V	常温	≥ 34	$HV_{10} \leq 350$

2. 其它 RT 检查 金相检查

母材	牌号 $2\frac{1}{4}\text{-Cr-1Mo}$ 规格 $\delta 106\text{mm}$ 类别 <u>IV-3</u>						
焊接材料	焊条牌号 <u> </u> / <u> </u> 焊条规格 <u> </u> / <u> </u> 型号 <u> </u> / <u> </u> 钨极型号规格 <u> </u> / <u> </u> 焊剂 <u>HJ431</u> 焊丝牌号 <u>H10Cr3MoMnA</u> 焊丝规格 $\phi 3\text{mm}$ 型号 <u> </u> / <u> </u> 保护气 <u> </u> / <u> </u> 流量 <u> </u> / <u> </u> 其它气体 <u> </u> / <u> </u> 流量 <u> </u> / <u> </u>						
预热焊后热处理	预热温度 <u> </u> / <u> </u> 层间温度 <u> </u> / <u> </u> 后热温度, 时间 <u> </u> / <u> </u> 消氢温度, 时间 <u> </u> / <u> </u> 中间热处理 <u> </u> / <u> </u> 时间 <u> </u> / <u> </u> 焊后热处理 $960 \pm 10^\circ\text{C} + 660 \pm 10^\circ\text{C}$ 时间 <u>3.5, 7h</u>						
焊接工艺参数要求	电流种类 <u>交流</u> 极性 <u> </u> / <u> </u> 焊接电流 I <u>450~500A</u> , 电弧电压 U <u>43~45V</u> 3 根焊丝 丝距 <u>60mm</u> 渣池深 <u>60~65mm</u> 焊丝伸出长度 <u>65~70mm</u> 焊接速度 <u>1~1.2m/h</u>						
操作技术要求							
编制		校对		审核		批准	
日期		日期		日期		日期	

焊接工艺评定书

编号 No HPY-35设计书编号 No HSY-35评定项目 厚壁压力容器纵缝对接 2 $\frac{1}{4}$ Cr-1Mo δ 106mm 电渣焊接头焊接方法 ESW 自动化等级 自动 焊接位置 立 技术标准 GB/T150—1998

接头坡口形式				焊接层次(顺序)							
见图 PY-35 左				见图 PY-35 右							
母材	检验编号 _____										
	牌号	2 $\frac{1}{4}$ Cr-1Mo		规格	δ 106mm		类别	N-2			钢板型号 / 直径 /
化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo				
	0.10	0.22	0.48	0.012	0.015	2.33	1.02				
力学性能	σ_s /MPa	558,569		σ_s /MPa	314,328		δ_5 /%	19,21.5		A_{KV} /(J)	194,170,181
焊材	检验编号 _____										
	焊丝牌号	H10Cr3MoMnA		焊丝规格	ϕ 3mm		焊丝型号	/		焊剂牌号	HJ431
化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo				
	0.12	0.29	0.78	0.012	0.010	2.76	1.06				
焊条	焊条牌号 / 焊条规格 / 焊条型号 / 检验编号 _____										
熔敷金属化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S						
保护气体 / 流量 / 其它气体 / 流量 /											
预热及焊后热处理											
预热温度 / 层间温度 / 后热温度 / 时间 /											
消氢温度 / 时间 / 中间热处理温度 / 时间 /											
焊后热处理温度 <u>960$\pm$10 660$\pm$10°C</u> 时间 <u>3.5,7 h</u>											

(续)

焊接工艺参数

电流种类 交流 极性 / 焊接电流 I 450~500A 电弧电压 U 43~45V 3 根焊丝 丝距 60mm
 渣池深 60~65mm 焊丝伸出长度 65~70mm 焊接速度 1~1.2m/h

操作技术

性能检验结果

拉伸试验

检验报告编号 _____

试样编号	试样形式	σ_b /MPa	σ_s /MPa	断裂位置	
P35-1	板状	上 542.9, 451 中 530, 528 下 539, 552	/	焊缝外	

定向弯曲

检验报告编号 _____

试样编号	试样形式	弯轴直径/mm	弯曲角度/(°)	检验结果
P35-2	侧弯	$d=3a$	100	合格

冲击韧性试验

检验报告编号 _____

试样编号	缺口形式	试验温度/°C	缺口位置	A_K /J
P35-3	V	常温	焊缝 热影响区	142.1, 125.4, 147 161.7, 135.2, 140.1

硬度试验结果(HV₁₀)

检验报告编号 _____

焊 缝	热影响区	母 材
156, 165, 172	139, 156, 165	153, 159, 141

金相检验结果

检验报告编号 _____

宏 观	微 观	其它检验
/	母材 铁素体(F)+珠光体(P) 焊缝 铁素体+珠光体 热影响区 铁素体+珠光体	/

无损探伤检验结果 RT 合格

检验报告编号 _____

焊工 _____

钢印号 _____

焊工合格证号 _____

评定结论 合格

编 制		校 对		审 核		审 定	
日 期		日 期		日 期		日 期	

焊接工艺设计书

编号 No HSY-36

工艺评定编号 HPY-36

评定项目 压力容器厚壁管环缝对接 Cr5Mo 钢 δ 14mm 手工钨极氩弧焊打底 手弧焊盖面接头

焊接方法 手工 TIG+SMAW 自动化等级 手工 焊接位置 平 技术标准 GB/T 150-1998

接头坡口形式

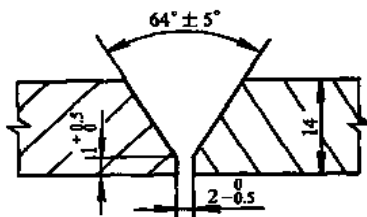


图 PY-36 左

焊接层次(顺序)

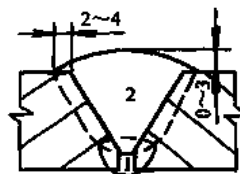


图 PY-36 右

首先焊接
第一层手工
钨极氩弧焊
打底层,然后
以手弧焊盖
面

对焊接接头的基本要求

1. 力学性能

σ_b /MPa	σ_s /MPa	δ_5 /%	弯曲角度/(°) ($d=3a$)	冲击试验			其 它
				缺口形式	试验温度/°C	A_{kv} /J	
≥ 539	/	/	50°	V	常温	≥ 27	$HV_{10} \leq 350$

2. 其它 RT 检查 金相组织

母材	牌号 Cr5Mo 规格 δ 14mm 类别 V-1						
焊接材料	焊条牌号 R507	焊条规格 $\phi 3.2, \phi 4mm$	型号 EI-5MoV-15	钨极型号规格 钨极 $\phi 2.5mm$	焊剂		
	焊丝牌号 ER502	焊丝规格 $\phi 2.5mm$	型号 F6A4	保护气 Ar	流量 8~10L/n	其它气体 /	流量 /
预热焊后热处理	预热温度 250~300°C 层间温度 250~350°C 后热温度,时间 / 消氢温度,时间 / 中间热处理 / 时间 / h 焊后热处理 750~770 时间 1.5h						
焊接工艺参数要求	电流种类 直流 极性 反接 焊接电流 手工 TIG: I 100~130A 电弧电压 U 12~14V SMAW: $\phi 3.2mm, I$ 110~130A $\phi 4mm, I$ 130~150A U 23~25V						
操作技术要求	首先以手弧焊打底一层,再以手弧焊满坡口						

编 制		校 对		审 核		批 准	
日 期		日 期		日 期		日 期	

焊接工艺评定书

编号 No HPY-36设计书编号 No HSY-36评定项目 压力容器厚壁管环缝对接 Cr5Mo 钢 δ 14mm 手工钨极氩弧焊打底 手弧焊盖面接头焊接方法 手工 TIG+SMAW 自动化等级 手工 焊接位置 平 技术标准 GB/T150-1998

接头坡口形式

见图 PY-36 左

焊接层次(顺序)

见图 PY-36 右

母材	检验编号 _____										
	牌号 <u>Cr5Mo</u>		规格 <u>δ 14mm</u>		类别 <u>V-1</u>		钨极型号 <u>铈钨极</u> , 直径 <u>ϕ2.5 mm</u>				
化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo				
	0.10	0.21	0.30	0.012	0.009	4.55	0.60				
力学性能	σ_s /MPa		572,599		σ_b /MPa		327,366		δ_5 /%		21,22.5
									$A_{KV}/(J)$		199,212,231
焊材	检验编号 _____										
	焊丝牌号 <u>ER502</u>		焊丝规格 <u>ϕ 2.5mm</u>		焊丝型号 <u>F6/A4</u>		焊剂牌号 <u>/</u>				
化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo				
	0.08	0.36	0.51	0.010	0.007	5.21	0.62				
焊条	焊条牌号 <u>R507</u> 焊条规格 <u>ϕ3.2, ϕ4mm</u> 焊条型号 <u>E1-5MoV-15</u> 检验编号 _____										
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo				
熔敷金属化学成分(%)	0.09	0.28	0.70	0.009	0.010	5.20	0.61				
	保护气体 <u>Ar</u> 流量 <u>8~10 L/min</u> 其它气体 <u>/</u> 流量 <u>/</u>										
预热及焊后热处理											
预热温度 <u>250~300</u> °C 层间温度 <u>250~350</u> °C 后热温度 <u>/</u> 时间 <u>/</u>											
消氢温度 <u>/</u> 时间 <u>/</u> 中间热处理温度 <u>/</u> 时间 <u>/</u>											
焊后热处理温度 <u>750~770</u> °C 时间 <u>1.5</u> h											

(续)

焊接工艺参数

电流种类 直流 极性 / 手工 TIG: 正接 焊接电流 I 100~130A 电源电压 U 12~14V
 SMAW: 反接 φ3.2mm, I 110~130A φ4mm, I 130~150A U 23~25V

操作技术

以手工氩弧焊打底一层, 手弧焊焊满坡口

性能检验结果

拉伸试验

检验报告编号 _____

试样编号	试样形式	σ_b /MPa	σ_s /MPa	断裂位置	
P36-1	板状	569, 501	/	焊缝外	

定向弯曲

检验报告编号 _____

试样编号	试样形式	弯轴直径/mm	弯曲角度/(°)	检验结果
P36-2	面背	$d=3a$	50	合格

冲击韧性试验

检验报告编号 _____

试样编号	缺口形式	试验温度/°C	缺口位置	A_{kv} /J
P36-3	V	常温	焊缝 热影响区	187, 190, 168 201, 184, 191

硬度试验结果(HV₁₀)

检验报告编号 _____

焊 缝	热影响区	母 材
238, 245	242, 233, 262	231, 220

金相检验结果

检验报告编号 _____

宏 观	微 观	其它检验
/	母材 <u>贝氏体+铁素体</u> 焊缝 <u>贝氏体+少量铁素体</u> 热影响区 <u>贝氏体+铁素体+珠光体</u>	/

无损探伤检验结果 RT 合格

检验报告编号 _____

焊工 _____

钢印号 _____

焊工合格证号 _____

评定结论 合格

编 制		校 对		审 核		审 定	
日 期		日 期		日 期		日 期	

焊接工艺设计书

编号 No HSY-37

工艺评定编号 HPY-37

评定项目 不锈钢压力容器环缝对接 1Cr18Ni9Ti 钢 δ 25mm 手工钨极氩弧焊+手弧焊接头

焊接方法 手工 TIG+SMAW 自动化等级 手工 焊接位置 平 技术标准 GB/T150—1998

接头坡口形式

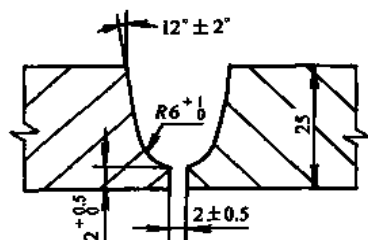


图 PY-37 左

焊接层次(顺序)

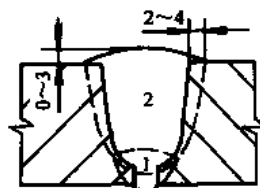


图 PY-37 右

首先进行
手工钨极氩
弧焊打底焊
一层,再以手
弧焊焊满坡
口

对焊接接头的基本要求

1. 力学性能

σ_b /MPa	σ_s /MPa	δ_5 /%	弯曲角度/(°) ($d=3a$)	冲击试验			其 它
				缺口形式	试验温度/°C	A_{KV} /J	
≥ 519.4	/	/	180°	V	常温	≥ 27	/

2. 其它 RT 检查 L 法腐蚀 金相组织

母材	牌号 1Cr18Ni9Ti 规格 δ 25mm 类别 VI-1
焊接材料	焊条牌号 A132 焊条规格 $\phi 3.2, \phi 4mm$ 型号 E0-19-10Nb-16 钨极型号规格 钨钨板 $\phi 2.5mm$ 焊剂 _____ 焊丝牌号 ER347 焊丝规格 $\phi 2.4mm$ 型号 F6/A8 保护气 Ar 流量 8~10L/min 其它气体 背面 Ar 流量 10~12L/min
预热焊后热处理	预热温度 / 层间温度 $\leq 150^\circ\text{C}$ 后热温度, 时间 / 消氢温度, 时间 / 中间热处理 / 时间 / 焊后热处理 / 时间 /
焊接工艺参数要求	电流种类 直流 极性 正接 反接 焊接电流 $\phi 3.2mm$ I 90~110A $\phi 4mm$ I 120~140A 电弧电压 21~23V 手工 TIG: 正接 I 90~100A U 12~14V
操作技术要求	首先以手工钨极氩弧焊打底焊一层,再以手弧焊焊满坡口,严格控制层间温度

编 制		校 对		审 核		批 准	
日 期		日 期		日 期		日 期	

焊接工艺评定书

编号 No HPY-37设计书编号 No HSY-37评定项目 不锈钢压力容器环缝对接 1Cr18Ni9Ti δ 25mm 手工钨极氩弧焊+手弧焊接头焊接方法 手工 TIG+SMAW 自动化等级 手工 焊接位置 平 技术标准 GB/T150-1998

接头坡口形式				焊接层次(顺序)							
见图 PY-37 左				见图 PY-37 右							
母材	检验编号 _____							钨极型号 <u>钨钨极</u> 直径 <u>ϕ2.5mm</u>			
	牌号 <u>1Cr18Ni9Ti</u> 规格 <u>δ 25mm</u> 类别 <u>VI-1</u>										
化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Ti			
	0.04	0.57	0.67	0.018	0.012	17.8	9.8	0.20			
力学性能	σ_b /MPa		534,552		σ_s /MPa		301,287		δ_5 /%		41,43
									A_{kv}/J		221,232,218
焊材	检验编号 _____										
	焊丝牌号 <u>ER347</u> 焊丝规格 <u>ϕ 2.4mm</u> 焊丝型号 <u>F6A8</u> 焊剂牌号 <u>/</u>										
化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Nb+Ta	Mo		
	0.04	0.48	1.12	0.009	0.008	20.3	8.9	0.54	0.60		
焊条	焊条牌号 <u>A132</u> 焊条规格 <u>ϕ3.2,ϕ4mm</u> 焊条型号 <u>E0-19-10Nb-16</u> 检验编号 _____										
熔敷金属化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Nb			
	0.06	0.50	0.52	0.014	0.009	19.8	8.7	0.30			
保护气体 <u>Ar</u> 流量 <u>8~10</u> L/min 其它气体 <u>背面 Ar</u> ,流量 <u>10~12</u> L/min											
预热及焊后热处理											
预热温度 <u>/</u> 层间温度 <u>≤ 100</u> 后热温度 <u>/</u> 时间 <u>/</u>											
消氢温度 <u>/</u> 时间 <u>/</u> 中间热处理温度 <u>/</u> 时间 <u>/</u>											
焊后热处理温度 <u>/</u> 时间 <u>/</u>											

(续)

焊接工艺参数

电流种类 直流 极性 正接 手工 TIG, 正接 I 90~100A U 12~14V
反接

SMAW: 反接 $\phi 3.2\text{mm}$ I 90~110A $\phi 4\text{mm}$ I 120~140A U 21~23V

操作技术

首先以手工氩弧焊打底焊一层,再以手弧焊焊满坡口

性能检验结果

拉伸试验

检验报告编号 _____

试样编号	试样形式	σ_b/MPa	σ_s/MPa	断裂位置	
P37-1	板状	524.4, 530.6	/	焊缝外	

定向弯曲

检验报告编号 _____

试样编号	试样形式	弯轴直径/mm	弯曲角度/(°)	检验结果
P37-2	侧弯	$d=3a$	180	合格

冲击韧性试验

检验报告编号 _____

试样编号	缺口形式	试验温度/°C	缺口位置	A_{KV}/J
P37-3	V	常温	焊缝 热影响区	121.5, 186.2, 137 201.9, 180.3, 186.1

硬度试验结果(H)

检验报告编号 _____

焊 缝	热影响区	母 材
/	/	/

金相检验结果

检验报告编号 _____

宏 观	微 观	其它检验
/	母材 <u>奥氏体</u> 焊缝 <u>奥氏体+少量铁素体</u> 热影响区 <u>奥氏体</u>	焊接接头 L 法腐蚀检验通过

无损探伤检验结果 RT 检查合格

检验报告编号 _____

焊工 _____

钢印号 _____

焊工合格证号 _____

评定结论 合格

编 制		校 对		审 核		审 定	
日 期		日 期		日 期		日 期	

焊接工艺设计书

编号 No HSY-38工艺评定编号 HPY-38评定项目 不锈钢容器法兰与夹套异种钢手弧焊接头焊接方法 SMAW 自动化等级 手工 焊接位置 平 技术标准 GB/T150-1998

接头坡口形式

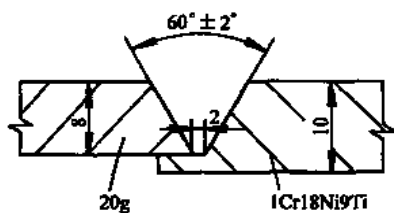


图 PY-38 左

焊接层次(顺序)

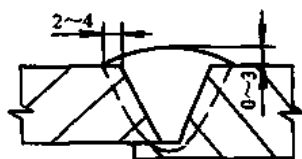


图 PY-38 右

对焊接接头的基本要求

1. 力学性能

σ_b /MPa	σ_s /MPa	δ_5 /%	弯曲角度/(°) ($d=3a$)	冲击试验			其它
				缺口形式	试验温度/°C	A_K /J	
390~530	/	/	180°	/	/	/	$HV_{10} \leq 350$

2. 其它 RT 检查 各区金相组织

母材	牌号	20g	规格	δ 8mm	类别	I-1
		1Cr18Ni9Ti		δ 10mm		W-1
焊接材料	焊条牌号	A312	焊条规格	ϕ 3.2mm	型号	E1-23-13Mo2-16
	焊丝牌号	/	焊丝规格	/	类别	/
预热焊后热处理	预热温度	/	层间温度	$\leq 100^\circ\text{C}$	后热温度, 时间	/
	消氢温度, 时间	/	中间热处理	/	时间	/
焊接工艺参数要求	电流种类	直流	极性	反接	焊接电流	I 80~110A
	电弧电压	U 20~21V	焊接速度	> 8m/h		
操作技术要求						

编制		校对		审核		批准	
日期		日期		日期		日期	

焊接工艺评定书

编号 No HPY-38设计书编号 No HSY-38评定项目 不锈钢容器法兰与夹套异种钢手弧焊接头焊接方法 SMAW 自动化等级 手工 焊接位置 平 技术标准 GB/T150—1998

接头坡口形式

见图 PY-38 左

焊接层次(顺序)

见图 PY-38 右

母材	检验编号 _____ 牌号 <u>20g</u> <u>1Cr18Ni9Ti</u> 规格 <u>δ 8</u> <u>δ10 mm</u> 类别 <u>1-1</u> <u>Ⅷ-1</u> 钨极型号 <u>/</u> 直径 <u>/</u>									
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Ti		
化学成分(%)	0.21	0.25	0.47	0.023	0.017					
	0.04	0.32	0.43	0.020	0.014	18.20	9.80	0.43		
力学性能	σ_s /MPa		490, 1,502		σ_t /MPa		285, 292		δ_5 /%	26, 28
			556, 580				381, 339			
焊材	检验编号 _____ 焊丝牌号 <u>/</u> 焊丝规格 <u>/</u> 焊丝型号 <u>/</u> 焊剂牌号 <u>/</u>									
	C	Si	Mn	P	S					
化学成分(%)	/	/	/	/	/					
焊条	焊条牌号 <u>A312</u> 焊条规格 <u>φ3.2mm</u> 焊条型号 <u>E1-23-13Mo2-16</u> 检验编号 _____									
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo		
熔敷金属化学成分(%)	0.08	0.51	1.08	0.009	0.011	23.00	11.8	2.10		
保护气体 <u>/</u> 流量 <u>/</u> 其它气体 <u>/</u> 流量 <u>/</u>										
预热及焊后热处理 预热温度 <u>/</u> 层间温度 <u>≤150</u> °C 后热温度 <u>/</u> 时间 <u>/</u> 消氢温度 <u>/</u> 时间 <u>/</u> 中间热处理温度 <u>/</u> 时间 <u>/</u> 焊后热处理温度 <u>/</u> 时间 <u>/</u>										

(续)

焊接工艺参数

电流种类 直流 极性 反接 焊接电流 I 80~110A 电弧电压 U 20~21V 焊接速度 ≥8m/h

操作技术

性能检验结果

拉伸试验

检验报告编号 _____

试样编号	试样形式	σ_b /MPa	σ_s /MPa	断裂位置	
P38-1	板状	484.6 491.8	/	焊缝外	

定向弯曲

检验报告编号 _____

试样编号	试样形式	弯轴直径/mm	弯曲角度/(°)	检验结果
P38-3	面弯 背弯	$d=3a$	180	合格

冲击韧性试验

检验报告编号 _____

试样编号	缺口形式	缺口位置	试验温度/°C	A_K /J
/	/	/	/	/

硬度试验结果(HV₁₀)

检验报告编号 _____

焊 缝	热影响区	母 材
286,290	20g 侧 302,208 1Cr18Ni9Ti 侧 227,197	20g 157,172 1Cr18Ni9Ti 212,198

金相检验结果

检验报告编号 _____

宏 观	微 观	其它检验
合格	焊缝 <u>A+F</u> 20g 侧 P+F 热影响区 <u>1Cr18Ni9Ti 侧 A+F</u>	/

无损探伤检验结果 RT 合格

检验报告编号 _____

焊工 _____

钢印号 _____

焊工合格证号 _____

评定结论 合格

编 制		校 对		审 核		审 定	
日 期		日 期		日 期		日 期	

焊接工艺设计书

编号 No HSY-39

工艺评定编号 HPY-39

评定项目 复合板压力容器环缝对接 SA516-70+304L δ 65mm+3.5mm 手弧焊+窄间隙埋弧焊接头

焊接方法 SMAW+NGSAW 自动化等级 手工+自动 焊接位置 平 技术标准 ASME

接头坡口形式

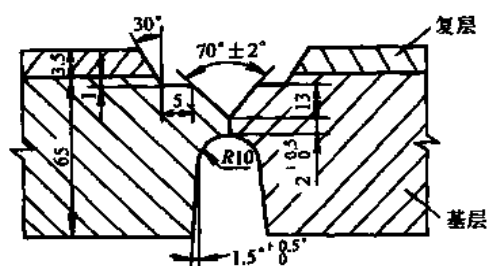


图 PY-39 左

焊接层次(顺序)

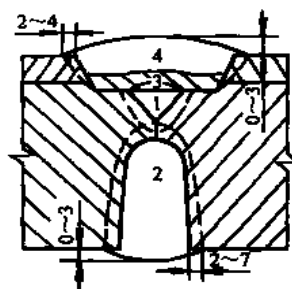


图 PY-39 右

1. 手弧焊 70°坡口 1
2. 窄间隙埋弧焊 U形坡口 2
3. 将 70°坡口焊缝余高磨平
4. 焊接过渡层 3
5. 焊接复层 4

对焊接接头的基本要求

1. 力学性能

σ_b /MPa	σ_s /MPa	δ_5 /%	弯曲角度/(°) ($d=4a$)	冲击试验			其它
				缺口形式	试验温度/°C	A_{KV} /J	
≥ 485	/	/	180	V	常温	≥ 27	/

2. 其它 基层 100%MT+RT 复合层 100%PT 热处理后 100%MT,PT 复合层化学成分: $w_C \leq 0.02\%$ $w_C \geq 18\%$ $w_M \geq 9\%$

母材	牌号 SA516—70+ 304L	规格 δ 65 δ 3.5mm	类别 P1-2 P8-1				
焊接材料	焊条 LB-52(基层) WEL309L(过渡层)) 牌号 WEL308ULC(复层)	焊条 ϕ 4, ϕ 5 ϕ 3.2 规格 ϕ 4.0mm	型号 D5016 F6/A8 F6/A8	钨极型	焊剂 MF-300N		
	焊丝牌号 US49A	焊丝规格 ϕ 4mm	型号 YS-M1	保护气 /	流量 /		
				其它气体 /	流量 /		
预热焊后热处理	预热温度 基层 ≥ 100 °C 过渡层 ≥ 80 °C	层间温度 100~300°C ≤ 150 °C	后热温度, 时间 /	消氢温度, 时间 /			
	中间热处理 / 时间 /	焊后热处理 625 $\pm$ 15 °C	时间 2.5h				
焊接工艺参数要求	电流种类 直流 极性 反接	焊接电流 基层 SMAW, ϕ 4mm I 160~180A ϕ 5mm I 220~240A					
	电弧电压 U 23~27V 过渡层, ϕ 3.2mm I 100~120A U 22~24V 复层: I 130~150A						
操作技术要求	U 23~25V	NGSAW, I 550~580A U 29~31V	焊接速度 28~31m/h				
	首先进行基层的焊接, 在进行过渡层焊接之前应将手工电弧焊缝余高磨平, 并以丙酮将需焊接部位清洗干净。过渡层焊后打磨进行 PT 检查, 以丙酮清洗后, 再进行复层的焊接。对复层打磨后进行 PT 检查						

编制		校对		审核		批准	
日期		日期		日期		日期	

焊接工艺评定书

编号 No HPY-39设计书编号 No HSP-39评定项目 复合板压力容器环缝对接 SA516-70+304L δ 65mm+3.5mm 手弧焊+窄间隙埋弧焊焊接方法 SMAW+NGSAW 自动化等级 手工+自动 焊接位置 平 技术标准 ASME

接头坡口形式

焊接层次(顺序)

见图 PY-39 左

见图 PY-39 右

母材	检验编号 _____ 牌号 <u>SA516Gr70</u> 规格 <u>δ 26</u> 类别 <u>P1-2</u> <u>304L</u> <u>δ 3.5mm</u> <u>P8-1</u>								钨极型号 <u>/</u> 直径 <u>/</u>				
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni						
化学成分(%)	0.19 0.025	0.31 0.87	1.19 1.56	0.019 0.020	0.008 0.012	/ 19.19	/ 10.01						
力学性能	σ_b /MPa		557,559 499,521		σ_s /MPa		299,314 284,291		δ_5 /%		22.5,23 45,42.5	A_{kv} /(J)	152,150,174
焊材	检验编号 _____ 焊丝牌号 <u>US49A</u> 焊丝规格 <u>/</u> 焊丝型号 <u>/</u> 焊剂牌号 <u>MF-300N</u>												
	C	Si	Mn	P	S	Mo							
化学成分(%)	0.09	0.02	1.50	0.008	0.008	0.53							
焊条	焊条牌号 <u>LB-52</u> 焊条规格 <u>ϕ4.5</u> 焊条型号 <u>D5016</u> 检验编号 _____ <u>WEL309L</u> <u>ϕ3.2</u> mm <u>F6/A8</u> <u>WEL308ULC</u> <u>ϕ4</u> <u>F6/A8</u>												
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo					
熔敷金属化学成分(%)	0.08	0.61	0.89	0.011	0.004								
	0.03	0.45	1.85	0.022	0.011	23.47	13.35	0.55					
	0.014	0.58	1.97	0.014	0.004	19.87	10.23						

保护气体 _____, 流量 _____ 其它气体 _____, 流量 _____

预热及焊后热处理

 预热温度 基层 $\geq$ 100 °C 层间温度 基层 100~350 °C 后热温度 / °C 时间 /
过渡层 $\geq$ 80 °C $\leq$ 150 °C

 消氢温度 / 时间 / 中间热处理温度 / 时间 / 焊后热处理温度 625 $\pm$ 15 °C 时间 2.5h

(续)

焊接工艺参数

电流种类 直流 极性 反接 基层 SMAW: $\phi 4\text{mm}$ I 160~180A $\phi 5\text{mm}$ I 220~240A U 23~27V NG-
SAW: I 550~580A U 29~31V

焊接速度 $28\sim 31\text{m/h}$ 过渡层: I 100~120A U 22~24V 复层: I 130~150A U 23~25V

操作技术

首先焊基层 SMAW 及 NGSAW, 将 SMAW 焊缝磨平, 清理, 过渡层焊缝高 2.5mm 打磨至 1.5~2mm, 清理做 PT, 复层焊接 2 层, 焊缝做 PT。焊缝热处理后对基层焊缝进行 MT 及 UT, 对复层进行 PT 检查

性能检验结果

拉伸试验

检验报告编号 _____

试样编号	试样形式	σ_b/MPa	σ_s/MPa	断裂位置	
P39-1	板状	上: 550, 557 下: 557, 560	/	焊缝外	

定向弯曲

检验报告编号 _____

试样编号	试样形式	弯轴直径/mm	弯曲角度/(°)	检验结果
P39-2	侧弯	$d=4a$	180	合格

冲击韧性试验

检验报告编号 _____

试样编号	缺口形式	试验温度/°C	缺口位置	A_{kv}/J
P39-3	V	常温	焊缝 热影响区	SMAW 84.68, 102 SAW 86.104, 84 SMAW 170.136, 148 SAW 148.174, 150

硬度试验结果(H)

检验报告编号 _____

焊 缝	热影响区	母 材
/	/	/

金相检验结果

检验报告编号 _____

宏 观	微 观	其它检验
/	/	焊缝化学成分(质量分数)%: C 0.02, 0.021 Cr 19.0, 18.9 Ni 10.1, 9.98

无损探伤检验结果 RT, PT, UT, MT 合格

检验报告编号 _____

焊工 _____

钢印号 _____

焊工合格证号 _____

评定结论 合格

编 制		校 对		审 核		审 定	
日 期		日 期		日 期		日 期	

焊接工艺设计书

编号 No HSY-40

工艺评定编号 HPY-40

评定项目 核能容器 Ni 基 Incoloy 825 δ 12mm 管对接 自动 TIG 焊接头

焊接方法 自动 TIG 自动化等级 机械化 焊接位置 平 技术标准 ASME

接头坡口形式

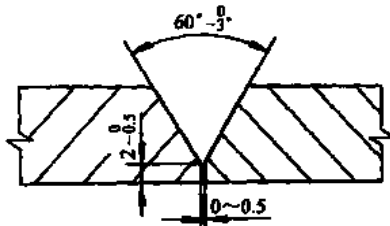


图 PY-40 左

焊接层次(顺序)

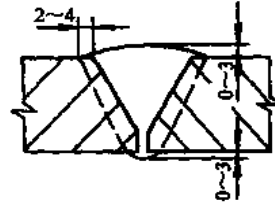


图 PY-40 右

焊接 6~7 层

对接接头的基本要求

1. 力学性能

σ_b /MPa	σ_s /MPa	δ_5 /%	弯曲角度/(°) ($d=4a$)	冲击试验			其它
				缺口形式	试验温度/°C	A_K /J	
≥ 620	/	/	180	/	/	/	/

2. 其它 RT 检查 金相组织

母材	牌号 <u>Incoloy825</u> 规格 <u>δ12mm</u> 类别 <u>/</u>						
焊接材料	焊条牌号 <u>/</u>	焊条规格 <u>/</u>	型号 <u>/</u>	钨极型号规格 <u>钨钨极 φ2.5mm</u>	焊剂 <u>/</u>		
	焊丝规格 <u>φ2.4mm</u> 型号 <u>/</u>			保护气 <u>Ar</u>	流量 <u>10~12L/min</u>		
	焊丝牌号 <u>WELTIG82</u>			其它气体 <u>背面保护 Ar</u>	流量 <u>20~24L/min</u>		
预热焊后热处理	预热温度 <u>/</u> 层间温度 <u>≤150°C</u> 后热温度,时间 <u>/</u> 消氢温度,时间 <u>/</u> 中间热处理 <u>/</u> 时间 <u>/</u> 焊后热处理 <u>/</u> 时间 <u>/</u>						
焊接工艺参数要求	电流种类 <u>直流</u> 极性 <u>正接</u> 焊接电流 <u>I 120~140A</u> 电弧电压 <u>U 12~14V</u> 电流衰减 <u>5~6s</u>						
操作技术要求	严格清理焊件,严格控制层间温度						

编制		校对		审核		批准	
日期		日期		日期		日期	

焊接工艺评定书

编号 No HPY-40

设计书编号 No HSY-40

评定项目 核能容器 Ni 基 Incoloy825 δ 12mm 管对接 自动 TIG 焊接头

焊接方法 自动 TIG 自动化等级 机械化 焊接位置 平 技术标准 ASME

接头坡口形式

见图 PY-40 左

焊接层次(顺序)

见图 PY-40 右

母材	检验编号 _____									
	牌号 <u>Incoloy825</u> 规格 <u>δ 12mm</u> 类别 <u>/</u>									
钨极型号 <u>铸钨极</u> 直径 <u>ϕ2.5</u> mm										
化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	Ti	
	0.020	0.18	0.71	/	0.002	20.56	43.19	2.68	1.12	
力学性能	σ_b /MPa		720,738		σ_s /MPa		340		ϕ_5 /%	
							58		A_K /J	
焊材	检验编号 _____									
	焊丝牌号 <u>WELTIG82</u> 焊丝规格 <u>ϕ 1.2mm</u> 焊丝型号 <u>/</u> 焊剂牌号 <u>/</u>									
化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Cu	Ti	Fe
	0.09	0.23	3.2	0.011	0.003	68.68	19.0	0.051	0.31	1.32
焊条	焊条牌号 <u>/</u> 焊条规格 <u>/</u> 焊条型号 <u>/</u> 检验编号 _____									
熔敷金属化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S					
	/	/	/	/	/					

保护气体 Ar 流量 10~12 L/min 其它气体 背面保护气 Ar 流量 20~24 L/min

预热及焊后热处理

预热温度 / 层间温度 ≤ 150 C 后热温度 / 时间 / h

消氢温度 / 时间 / h 中间热处理温度 / 时间 / h

焊后热处理温度 / 时间 /

(续)

焊接工艺参数

电流种类 直流 极性 正接 I 120~140A U 12~14V电流衰减 5~6s

操作技术

以丙酮清洗焊接坡口及周围 10mm 内母材,并按要求控制层间温度

性能检验结果

拉伸试验

检验报告编号 _____

试样编号	试样形式	σ_b /MPa	σ_s /MPa	断裂位置	
P-1	板状	734 764	/	焊缝外	

定向弯曲

检验报告编号 _____

试样编号	试样形式	弯轴直径/mm	弯曲角度/(°)	检验结果
P-2	面弯 背弯	$d=4a$	180	合格

冲击韧性试验

检验报告编号 _____

试样编号	缺口形式	缺口位置	试验温度/°C	A_K /J
/	/	/	/	/

硬度试验结果(H)

检验报告编号 _____

焊 缝	热影响区	母 材
/	/	/

金相检验结果

检验报告编号 _____

宏 观	微 观	其它检验
/	母材 <u>A</u> 焊缝 <u>A+F</u> 热影响区 <u>A+F</u>	/

无损探伤检验结果 RT 合格

检验报告编号 _____

焊工 _____

钢印号 _____

焊工合格证号 _____

评定结论 合格

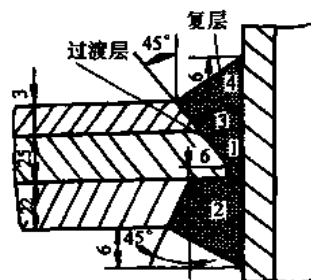
编 制		校 对		审 核		审 定	
日 期		日 期		日 期		日 期	

焊接工艺设计书

编号 No HSY-41工艺评定编号 HPY-41评定项目 不锈钢复合板压力容器筒体与管接头角接焊接方法 SMAW 自动化等级 手工 焊接位置 平 技术标准 GB/T150-1998

接头坡口形式

焊接层次(顺序)



首先焊接基层和
加强板与接管焊缝,
再焊过渡层 1 层,复
层焊接 2 层~3 层

图 PY-41

对焊接接头的基本要求

1. 力学性能

σ_b /MPa	σ_s /MPa	δ_5 /%	弯曲角度/(°)	冲击试验			其 它
				缺口形式	试验温度/°C	A_K /J	
/	/	/	/	/	/	/	HV ₁₀ ≤350

2. 其它 MT 检查 PT 检查 金相宏观

母材	16MnR	规格 $\delta 22$	类别 1-2				
	牌号 SU321TP SU321+SB49	规格 $\delta 6$ $\delta 3+25mm$	类别 VI-1 VI-1+1-2				
焊接材料	焊条牌号 E309-16 E347-16 J507	焊条规格 $\phi 3.2$ $\phi 4$ $\phi 4, \phi 5mm$	型号 F6/A8 F6/A8 E5015	钨极型号规格	/	焊剂	/
	焊丝牌号 /	焊丝规格 /	型号 /	保护气	/	流量	/
				其它气体	/	流量	/
预热焊后热处理	预热温度 $80\sim 120^{\circ}\text{C}$ 层间温度 复合层 $\leq 150^{\circ}\text{C}$ 后热温度,时间 / 消氢温度,时间 / 中间热处理 / 时间 / 焊后热处理 / 时间 /						
焊接工艺参数要求	电流种类 直流 极性 反接 焊接电流 基层: $\phi 4mm$; $I 160\sim 180A$ $\phi 5mm$; $I 200\sim 230A$ 电弧电压 $U 22\sim 25V$ 过渡层: E309-16 焊条 $\phi 3.2mm$; $I 110\sim 115A$ $U 22\sim 24V$ 复层: E347-16 焊条 $\phi 4mm$; $I 125\sim 135A$ $U 23\sim 25V$						
操作技术要求	基层坡口焊满后,以 E309-16 焊条焊接一层过渡层后,再以 E347-16 焊条 2~3 层复层焊缝						

编制		校 对		审 核		批 准	
日期		日期		日期		日期	

焊接工艺评定书

编号 No HPY-41设计书编号 No HSY-41评定项目 不锈钢复合板压力容器筒体与管接头角接焊接方法 SMAW 自动化等级 手工 焊接位置 平 技术标准 GB/T150-1998

接头坡口形式

焊接层次(顺序)

见图 PY-41

母材	检验编号 _____ 牌号 <u>16MnR</u> <u>SU321TP</u> <u>SU321+SB49</u> 规格 <u>δ 22</u> <u>δ 6</u> <u>δ 3+25mm</u> 类别 <u>I-2</u> <u>W-1</u> <u>W-1+I-2</u> 钨极型号 <u>/</u> 直径 <u>/</u>											
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Ti				
化学成分(%)	0.19	0.38	1.45	0.011	0.012							
	0.03	0.53	1.50	0.011	0.008	17.90	9.63	0.44				
	0.15	0.58	1.83	0.019	0.010							
	0.04	0.29	1.42	0.010	0.012	18.50	10.21	0.33				
力学性能	σ_b /MPa		/		σ_s /MPa		/		δ_5 /%		/	
									A_K /J		/	
焊材	检验编号 <u>/</u> 焊丝牌号 <u>/</u> 焊丝规格 <u>/</u> 焊丝型号 <u>/</u> 焊剂牌号 <u>/</u>											
	C	Si	Mn	P	S							
化学成分(%)	/	/	/	/	/							
焊条	焊条牌号 <u>J507</u> <u>E309-16</u> <u>E347-16</u> 焊条规格 <u>φ4.φ5</u> <u>φ3.2</u> <u>φ4mm</u> 焊条型号 <u>E5015</u> <u>F6/A8</u> <u>F6/A8</u> 检验编号 _____											
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni					
熔敷金属化学成分(%)	0.08	0.41	1.10	0.011	0.012							
	0.08	0.45	1.50	0.008	0.010	23.90	12.81					
	0.05	0.58	1.62	0.012	0.013	19.62	11.00					

保护气体 / 流量 / 其它气体 / 流量 /

预热及焊后热处理

预热温度 80~120 °C 层间温度 基层:80~350 过渡层:80~150 °C 后热温度 / 时间 /消氢温度 / 时间 / 中间热处理温度 / 时间 /焊后热处理温度 / 时间 /

(续)

焊接工艺参数

电流种类 直流 极性 反接 基层: J507 焊条 $\phi 4\text{mm}$ I 140~160A $\phi 5\text{mm}$ I 200~230A U 22~25V过渡层: E309-16 焊条 $\phi 3.2\text{mm}$ I 110~115A U 22~25V层 层: E347-16 焊条 $\phi 4\text{mm}$ I 125~135A U 23~25V

操作技术

首先焊接基层焊缝,在焊过渡层焊缝前打磨焊缝,去除余高。过渡层焊接1层后,焊接复层2~3层

性能检验结果

拉伸试验

检验报告编号 _____

试样编号	试样形式	σ_b/MPa	σ_t/MPa	断裂位置	
/	/	/	/	/	

定向弯曲

检验报告编号 _____

试样编号	试样形式	弯轴直径/mm	弯曲角度/(°)	检验结果
/	/		/	/

冲击韧性试验

检验报告编号 _____

试样编号	缺口形式	缺口位置	试验温度/°C	A_K/J
/	/	/	/	/

硬度试验结果(HV₁₀)

检验报告编号 _____

焊 缝	热影响区	母 材
220,196	301,218,224	162,189

金相检验结果

检验报告编号 _____

宏 观	微 观	其它检验
无缺陷	/	/

无损探伤检验结果 MT PT 合格

检验报告编号 _____

焊工 _____

钢印号 _____

焊工合格证号 _____

评定结论 合格

编 制		校 对		审 核		审 定	
日 期		日 期		日 期		日 期	

焊接工艺设计书

编号 No HSY-42

工艺评定编号 HPY-42

评定项目 压力容器不锈钢堆焊的管板与不锈钢管角接

焊接方法 手工 TIG+SMAW 自动化等级 手工 焊接位置 平 技术标准 GB 150—1998

接头坡口形式

焊接层次(顺序)

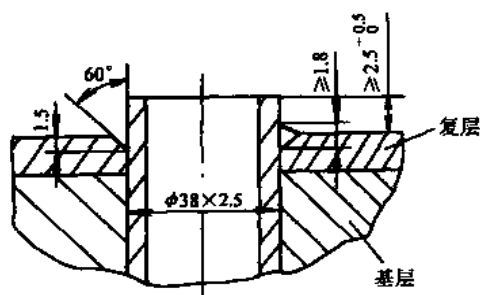


图 PY-42

首先以
TIG 焊焊接
1 层, 再以
SMAW 焊接
复面焊 1 层

对焊接接头的基本要求

1. 力学性能

σ_b /MPa	σ_s /MPa	δ_5 /%	弯曲角度/(°)	冲击试验			其它
				缺口形式	试验温度	A_K /J	
/	/	/	/	/	/	/	拉脱力 $\geq 19800N$ $HV_{10} \leq 350$

2. 其它 PT 检查 金相组织 宏观

母材	牌号 1Cr18Ni9Ti 00Cr28Ni11+16MnR	规格 $\phi 38 \times 2.5$ 5+50mm	类别 VI-1 VI-1+1-2				
焊接材料	焊条牌号 A132 焊条规格 $\phi 3.2\text{mm}$	型号 E0-19-10Nb-16	钨极型号规格 铈钨极 $\phi 2.5\text{mm}$	焊剂			
	焊丝牌号 / 焊丝规格 /	型号 /	保护气 Ar	流量 8~10L/min			
			其它气体 /	流量			
预热焊后热处理	预热温度 / 层间温度 / 后热温度, 时间 / 消氢温度, 时间 / 中间热处理 / 时间 / h 焊后热处理 600~650℃ 时间 2.5h						
焊接工艺参数要求	电流种类 直流 极性 反接 焊接电流 手工 TIG: I 90~110A 电弧电压 U 12~14V SMAW: I 100~120A U 21~23V						
操作技术要求							

编 制		校 对		审 核		批 准	
日 期		日 期		日 期		日 期	

焊接工艺评定书

编号 No HPY-42设计书编号 No HSY-42评定项目 压力容器不锈钢堆焊管板与不锈钢管角接焊接方法 手工 TIG+SMAW 自动化等级 手工 焊接位置 平 技术标准 GB/T150—1998

接头坡口形式

焊接层次(顺序)

见图 PY-42

母材	检验编号 _____ 牌号 <u>1Cr18Ni9Ni</u> 规格 <u>φ38×2.5</u> 类别 <u>Ⅱ-1</u> <u>00Cr28Ni11+16MnR</u> <u>5+50mm</u> <u>Ⅱ-1+Ⅱ-2</u> 钨极型号 <u>钨钨极</u> 直径 <u>φ2.5</u> mm							
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Ti
化学成分(%)	0.06	0.62	1.21	0.009	0.010	19.10	8.75	0.40
	0.012	0.25	0.32	0.005	0.003	27.77	11.25	
力学性能	σ_b /MPa		/		σ_s /MPa		/	
	δ_5 /%		/		A_K /J		/	
焊材	检验编号 _____ 焊丝牌号 <u>/</u> 焊丝规格 <u>/</u> 焊丝型号 <u>/</u> 焊剂牌号 <u>/</u>							
	C	Si	Mn	P	S			
化学成分(%)	/	/	/	/	/			
焊条	焊条牌号 <u>A132</u> 焊条规格 <u>φ3.2mm</u> 焊条型号 <u>E0-19-10Nb-16</u> 检验编号 _____							
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	
熔敷金属化学成分(%)	0.05	0.41	1.00	0.010	0.008	18.30	9.19	
保护气体 <u>Ar</u> 流量 <u>8~10</u> L/min 其它气体 <u>/</u> 流量 <u>/</u>								
预热及焊后热处理 预热温度 <u>/</u> 层间温度 <u>/</u> 后热温度 <u>/</u> 时间 <u>/</u> 消氢温度 <u>/</u> 时间 <u>/</u> h 中间热处理温度 <u>/</u> 时间 <u>/</u> 焊后热处理温度 <u>600~650</u> °C 时间 <u>2.5</u> h								

(续)

焊接工艺参数

电流种类 直流 极性 反接 手工 TIG: I 90~110A U 12~14VSMAW: I 100~120A U 21~23V

操作技术

首先以手工 TIG 焊自熔 1 层,再以 SMAW 盖面焊一层

性能检验结果

拉伸试验

检验报告编号 _____

试样编号	试样形式	σ_s /MPa	σ_b /MPa	断裂位置	拉脱力(N ²)
/	/	/	/	/	132000 126000 122000

定向弯曲

检验报告编号 _____

试样编号	试样形式	弯轴直径/mm	弯曲角度/(°)	检验结果
/	/	/	/	/

冲击韧性试验

检验报告编号 /

试样编号	缺口形式	缺口位置	试验温度/°C	A_K /J
/	/	/	/	/

硬度试验结果(HV₁₀)

检验报告编号 _____

焊 缝	热影响区	母 材
283,256	333,336	247,254(管) 289,283(堆焊层)

金相检验结果

检验报告编号 _____

宏 观	微 观	其它检验
合格	焊缝 <u>A+F</u> 热影响区 <u>A+F</u> 母材 <u>A+F</u>	/

无损探伤检验结果 PT 合格

检验报告编号 _____

焊工 _____

钢印号 _____

焊工合格证号 _____

评定结论 合格

编 制		校 对		审 核		审 定	
日 期		日 期		日 期		日 期	

焊接工艺设计书

编号 No HSY-43

工艺评定编号 HPY-43

评定项目 复合板筒体与接管对接 手弧焊接头

焊接方法 SMAW 自动化等级 手工 焊接位置 平,横 技术标准 ASME

接头坡口形式

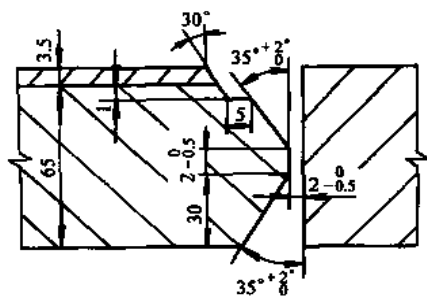


图 PY-43 左

焊接层次(顺序)

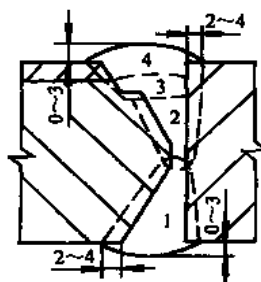


图 PY-43 右

首先焊接第一部分坡口,反面清根后焊第二部分坡口,打磨平余高,焊第三部分(过渡层),最后焊接第四部分坡口

对焊接头的基本要求

1. 力学性能

σ_b /MPa	σ_s /MPa	δ_5 /%	弯曲角度/(°) ($d=4a$)	冲击试验			其它
				缺口形式	试验温度/°C	冲击功 J	
≥483	/	/	180°	V	-10	≥24	HBS≤200

2. 其它 RT PT 复层化学成分的质量分数%, $C \leq 0.03$ $Cr \geq 18, Ni \geq 9$

母材	牌号 SA516-70+304L SA516-70	规格 65+3.5 64mm	类别 P1+P8 P1				
焊接材料	焊条牌号 基层:LB-52 过渡层:WEL309L 复层:WEL308ULC	焊条规格 $\phi 3.2, \phi 4, \phi 5$ $\phi 3.2$ $\phi 4mm$	型号 /	钨极型号规格 /	焊剂 /		
	焊丝牌号 /	焊丝规格 /	型号 /	保护气 /	流量 /	其它气体 /	流量 /
预热焊后热处理	预热温度 基层 ≥ 100 °C 过渡层 ≥ 180 °C	层间温度 基层:100~350 过渡层: ≤ 150 °C	后热温度,时间 /	消氢温度,时间 /			
	中间热处理 /	时间 /	焊后热处理 625 $\pm$ 15 °C	时间 2h+10min			
焊接工艺参数要求	电流种类 直流 极性 反接 焊接电流 基层: $\phi 3.2mm$ I 110~130A $\phi 4mm$ I 160~180A $\phi 5mm$ I 200~220A	电弧电压 U 23~26V 过渡层:I 100~120A U 21~23V 复层:I 130~150A U 22~25V					
操作技术要求	首先焊接正面(35°)坡口,焊满后反面清根后焊满复合板侧基层坡口,然后焊接复合板过渡焊缝,打磨,清理,PT检查后,再焊接复层焊缝,层间温度控制在 150°C 以下						
编制		校对		审核		批准	
日期		日期		日期		日期	

焊接工艺评定书

编号 No HPY-43

设计书编号 No HSY-43

评定项目 复合板容器筒体与接管对接 手弧焊接头

焊接方法 SMAW 自动化等级 手工 焊接位置 平,横 技术标准 ASME

接头坡口形式

焊接层次(顺序)

见图 PY-43 左

见图 PY-43 右

母材	牌号 SA516Gr70+304L SA516Gr70		规格 65+3.5 64mm		类别 P1+P8 P1		检验编号		钨极型号 / 直径 /	
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni			
化学成分(%)	0.19	0.31	1.19	0.019	0.008	/	/			
	0.025	0.87	1.56	0.012	0.012	19.19	10.01			
	0.24	0.03	1.10	0.020	0.018	/	/			
力学性能	σ_b /MPa		557,559 499,521 555,561		σ_s /MPa		/		δ_5 /%	
									$A_{KV}/(J)$	
									(-10℃) 174,150,152 241,168,201	
焊材	检验编号									
	焊丝牌号 / 焊丝规格 / 焊丝型号 / 焊剂牌号 /									
化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S					
	/	/	/	/	/					
焊条	LB-52 焊条牌号 WEL-309L WEL-308ULC		焊条规格 $\phi 3.2, \phi 4, \phi 5$ $\phi 3.2$ $\phi 4.0mm$		焊条型号 JIS, Z3212, D5016 SFA, 5.4, E309L-16 SFA, 5.4, E308L-16		检验编号			
熔敷金属化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	Cu	
	0.08	0.61	0.89	0.012	0.004	/	/	/	/	
	0.03	0.45	1.85	0.022	0.011	23.47	13.35	0.55	0.03	
	0.014	0.58	1.97	0.014	0.004	19.87	10.23	/	0.01	
保护气体 / 流量 / 其它气体 / 流量 /										
预热及焊后热处理										
预热温度 基层 $\geq 100^\circ\text{C}$ 层间温度 基层 $100\sim 350^\circ\text{C}$ 后热温度 / 时间 / 消氢温度 / 时间 / 过渡层 $\geq 80^\circ\text{C}$ 过渡层 $\leq 150^\circ\text{C}$										
中间热处理温度 / 时间 / 焊后热处理温度 $625\pm 15^\circ\text{C}$ 时间 $2h+10min$										

(续)

焊接工艺参数

电流种类 直流 极性 反接 基层: $\phi 3.2\text{mm}$ I 110~130A U 23~24V $\phi 4\text{mm}$ I 160~180A U 24~25V
 $\phi 5\text{mm}$ I 200~220A U 25~26V
 过渡层: I 100~120A U 21~23V 复层: I 200~220A U 22~25V

操作技术

首先焊接正面 35°坡口,清根后焊满复合层侧基层 35°坡口,去余高,打磨平后焊过渡层,最后焊复层,控制过渡层及复层焊接时的层间温度 $\leq 150^\circ\text{C}$

性能检验结果

拉伸试验

检验报告编号

试样编号	试样形式	σ_b/MPa	σ_t/MPa	断裂位置	
P43-1	上 板状 下	542,542 542,537	/	焊缝外	

定向弯曲

检验报告编号

试样编号	试样形式	弯轴直径/mm	弯曲角度/(°)	检验结果
P43-2	侧弯	$d=4a$	180,180 180,180	合格

冲击韧性试验

检验报告编号

试样编号	缺口形式	缺口位置	试验温度/°C	A_K/J
P43-3	V	焊缝 热影响区	-10	66,63,154 156,148,60 80,184,288 132,266,150

硬度试验结果(HBS)

检验报告编号

焊 缝	热影响区	母 材
182,181	185,181	187,188

金相检验结果

检验报告编号

宏 观	微 观	其它检验
/	/	w_C 0.02%, 0.019%
	/	w_{Cr} 20.0%, 20.0%
	/	w_{Ni} 9.83%, 9.98%

无损探伤检验结果 RT PT 合格

检验报告编号

焊工

钢印号

焊工合格证号

评定结果 合格

编 制		校 对		审 核		审 定	
日 期		日 期		日 期		日 期	

焊接工艺设计书

编号 No HSY-44

工艺评定编号 HPY-44

评定项目 压力容器不锈钢堆焊壳体与接管对接 手弧焊接头

焊接方法 SMAW 自动化等级 手工 焊接位置 平 技术标准 ASME

接头坡口形式

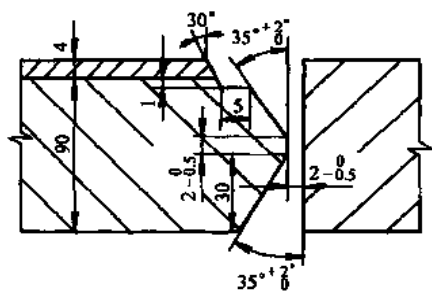


图 PY-44 左

焊接层次(顺序)

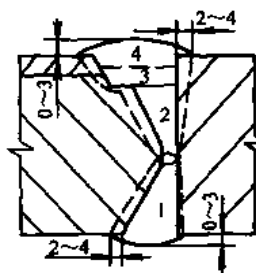


图 PY-44 右

首先焊第一部分坡口,反面清根打磨后,焊第二部分坡口,打磨平余高,焊接第三部分过渡层,最后焊接第四部分复层

对焊接接头的基本要求

1. 力学性能

σ_b /MPa	σ_t /MPa	δ_5 /%	弯曲角度/(°) ($d=4a$)	冲击试验			其它
				缺口形式	试验温度/°C	A_{kv} /J	
≥ 517	/	/	180	V	0	≥ 27	HBS ≤ 225

2. 其它 UT PT MT 检查 复层焊缝化学成分的质量分数%:C ≤ 0.02 Cr ≥ 18 Ni ≥ 9 铁素体 5%~10%

母材	牌号 (SA387-11-L2+304L) SA387-11-L2	规格 $\delta 90+4$ $\delta 94$ mm	类别 P4-1+P8-1 P4-1		
焊接材料	焊条牌号 CMA96 WEL309L WEL308ULC	焊条规格 $\phi 3.2, \phi 4, \phi 5$ $\phi 3.2$ $\phi 4.0$ mm	型号 DT2316 F6/A8 F6/A8	钨极型号规格 /	焊剂 /
	焊丝牌号 /	焊丝规格 /	型号 /	保护气 /	流量 /
				其它气体 /	流量 /
预热焊后热处理	预热温度 基层 ≥ 150 °C 层间温度 基层 150~300 °C 后热温度,时间 300~350 C/2h 复层 ≥ 120 °C 复层 ≤ 150 °C 消氢温度,时间 / 中间热处理 640 ± 15 °C 时间 2h 焊后热处理 680 ± 15 时间 4 h				
焊接工艺参数要求	电流种类 直流 极性 反接 焊接电流 基层: $\phi 3.2$ mm, I 110~130A $\phi 4$ mm I 160~180A $\phi 5$ mm I 220~240A 电弧电压 22~27V 复层: $\phi 3.2$ mm I 100~120A U 22~25V $\phi 4$ mm I 130~150A U 23~26V				
操作技术要求	基层手比弧焊坡口先焊复层背面的坡口,经电弧气刨清根后焊满另一侧坡口,并磨掉余高,清理后以 $\phi 3.2$ mm WEL309L 焊条焊一层过渡层,打磨,经 PT 检查后进行复层焊接,以 WEL308ULC 焊条焊接 2~3 层				

编制		校对		审核		批准	
日期		日期		日期		日期	

焊接工艺评定书

编号 No HPY-44

设计书编号 No HSY-44

评定项目 压力容器不锈钢堆焊壳体与接管对接 手弧焊接头

焊接方法 SMAW 自动化等级 手工 焊接位置 平 技术标准 ASME

接头坡口形式

见图 PY-44 左

焊接层次(顺序)

见图 PY-44 右

母材	检验编号 _____ 牌号 SA387-11-L2+304L 规格 $\delta 90+4$ 类别 P4-1+P8-1 SA387-11-L2 $\delta 94\text{mm}$ P4-1 钢板型号 / 直径 /									
化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni		
	0.14	0.52	0.61	0.010	0.009	1.32	0.58	9.21		
	0.029	0.12	1.72	0.012	0.008	19.2				
	0.10	0.51	0.63	0.018	0.010	1.40	0.52			
力学性能	σ_b/MPa		526,558		σ_s/MPa		201,210		$\delta_5/\%$	
	617,669				401,412		45,50		24,25	
								$A_K/(J)$		/
焊材	检验编号 _____ 焊丝牌号 / 焊丝规格 / 焊丝型号 / 焊剂牌号 /									
化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S					
	/	/	/	/	/					
焊条	焊条牌号 CMA96 焊条规格 $\phi 3.2, \phi 4, \phi 5$ 焊条型号 DT2316 WEL309L $\phi 3.2$ F6/A8 检验编号 _____ WEL308ULC $\phi 4\text{mm}$ F6/A8									
熔敷金属化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni		
	0.06	0.42	0.70	0.007	0.004	1.28	0.52			
	0.03	0.45	1.85	0.022	0.011	23.47	0.05	13.35		
	0.014	0.58	1.97	0.014	0.004	19.87		10.23		
保护气体 / 流量 / 其它气体 / , 流量 /										
预热及焊后热处理 预热温度 基层 ≥ 150 °C 层间温度 基层 150~300 °C 后热温度 300~350 °C 时间 2 h 复层 ≥ 120 °C 复层 ≤ 150 °C 消氢温度 / 时间 / 中间热处理温度 640 ± 15 °C 时间 2 h 焊后热处理温度 680 ± 15 °C 时间 4h										

(续)

焊接工艺参数

电流种类 直流 极性 反接 基层: $\phi 3.2\text{mm}$ $I 110\sim 130\text{A}$ $U 22\sim 25\text{V}$ $\phi 4.0\text{mm}$ $I 160\sim 180\text{A}$ $U 23\sim 26\text{V}$ $\phi 5.0\text{mm}$ $I 220\sim 240\text{A}$ $U 24\sim 27\text{V}$ 过渡层: $\phi 3.2\text{mm}$ $I 100\sim 120\text{A}$ $U 22\sim 25\text{V}$ 复层: $\phi 4.0\text{mm}$ $I 130\sim 150\text{A}$ $U 23\sim 26\text{V}$

操作技术

首先焊接复层背面坡口,电弧气刨清根后,焊接另一侧坡口,打磨掉余高,MT检查、RT检查后,焊接过渡层(WEL309L焊条)一层,打磨表面,PT检查,清理后以WEL308ULC焊条焊接复层,表面打磨后PT检查,热处理后UT、MT、PT检查

性能检验结果

拉伸试验

检验报告编号 _____

试样编号	试样形式	σ_b/MPa	σ_s/MPa	断裂位置	
P44-1	板状	上 658,660 中 653,627 下 630,636	/	焊缝上 焊缝外 焊缝上	

定向弯曲

检验报告编号 _____

试样编号	试样形式	弯轴直径/mm	弯曲角度/(°)	检验结果
P44-2	侧弯	$d=4a$	180,180 180,180	合格

冲击韧性试验

检验报告编号 _____

试样编号	缺口形式	试验温度/°C	缺口位置	冲击功 A_{KV}/J
P44-3	V	0	焊缝 热影响区	上部 84,132,158 下部 68,128,168 上部 142,198,144 下部 158,148,208

硬度试验结果(HBS)

检验报告编号 _____

焊 缝	热影响区	母 材
191,195	217,217	209,209

金相检验结果

检验报告编号 _____

宏 观	微 观	其它检验
/	/	复层焊缝化学成分(质量分数)%: C 0.018, Cr 20.19, Ni 10.0 铁素体的质量分数%; 8.5, 7.4

无损探伤检验结果 UT、RT、MT、PT 合格

检验报告编号 _____

焊工 _____

钢印号 _____

焊工合格证号 _____

评定结论 合格

编 制		校 对		审 核		审 定	
日 期		日 期		日 期		日 期	

焊接工艺设计书

编号 No HSP-45

工艺评定编号 HPY-45

评定项目 压力容器不锈钢板 1Cr18Ni9Ti $\delta 50\text{mm}$ 拼接 手弧焊接头

焊接方法 SMAW 自动化等级 手工 焊接位置 平 技术标准 ASME

接头坡口形式

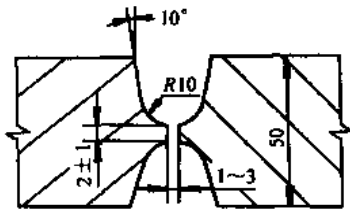


图 PY-45 左

焊接层次(顺序)

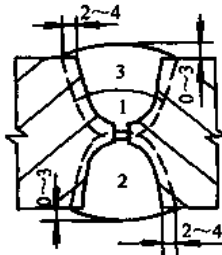


图 PY-45 右

首先焊接正面坡口的1/2翻身,挑焊根后全部焊满坡口,再将正面第三部分焊满

对焊接接头的基本要求

1. 力学性能

σ_b/MPa	σ_s/MPa	$\delta_5/\%$	弯曲角度/(°) ($d=4a$)	冲击试验			其它
				缺口形式	试验温度/°C	A_K/J	
≥ 519	/	/	180	/	/	/	/

2. 其它 RT 检查 按 ASTM A262-81E 法晶间腐蚀检查 铁素体检查 5%~10%。

母材	牌号 1Cr18Ni9Ti 规格 $\delta 50\text{mm}$ 类别 VI-1					
焊接材料	焊条牌号 A132	焊条规格 $\phi 3.2, \phi 4\text{mm}$	型号 E0-19-10Nb-16	钨极型号规格 /	焊剂 /	
	焊丝牌号 /	焊丝规格 /	型号 /	保护气 /	流量 /	
				其它气体 /	流量 /	
预热焊后热处理	预热温度 / 层间温度 $\leq 120^\circ\text{C}$ 后热温度, 时间 / 消氢温度, 时间 / 中间热处理 / 时间 / 焊后热处理 $900 \pm 20^\circ\text{C}$ 时间 2.5h					
焊接工艺参数要求	电流种类 直流 极性 反接 焊接电流 $\phi 3.2\text{mm}$ / 80~110A $\phi 4\text{mm}$ / 110~140A 电弧电压 U 21~22V					
操作技术要求	首先焊接正面坡口的一半, 反面清根后焊满, 再焊接正面坡口的另一半					
编制		校对		审核		批准
日期		日期		日期		日期

焊接工艺评定书

编号 No HSY-45设计书编号 No HPY-45评定项目 压力容器不锈钢板 1Cr18Ni9Ti δ 50mm 拼接 手弧焊接头焊接方法 SMAW 自动化等级 手工 焊接位置 平 技术标准 ASME

接头坡口形式

焊接层次(顺序)

见图 PY-45 左

见图 PY-45 右

母材	检验编号 _____									
	牌号 <u>1Cr18Ni9Ti</u>		规格 <u>δ 50mm</u>		类别 <u>VI-1</u>		钨极型号 <u>/</u> 直径 <u>/</u>			
化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Ti		
	0.07	0.67	1.25	0.013	0.008	17.52	10.76	0.52		
力学性能	σ_b /MPa		586,581		σ_s /MPa		312,287		δ_5 /%	
							45,46		A_K /(J)	
焊材	检验编号 <u>/ /</u>									
	焊丝牌号 <u>/</u> 焊丝规格 <u>/</u> 焊丝型号 <u>/</u> 焊剂牌号 <u>/</u>									
化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S					
	/	/	/	/	/					
焊条	焊条牌号 <u>A132</u> 焊条规格 <u>ϕ3.2、ϕ4mm</u> 焊条型号 <u>E1-19-10Nb-16</u> 检验编号 _____									
熔敷金属化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Nb		
	0.06	0.51	1.16	0.009	0.010	18.85	8.9	0.49		
保护气体 <u>/</u> 流量 <u>/</u> 其它气体 <u>/</u> 流量 <u>/</u>										
预热及焊后热处理										
预热温度 <u>/</u> 层间温度 <u>≤ 120</u> C 后热温度 <u>/</u> 时间 <u>/</u>										
消氢温度 <u>/</u> 时间 <u>/</u> 中间热处理温度 <u>/</u> 时间 <u>/</u>										
焊后热处理温度 <u>900$\pm$20</u> C 时间 <u>2.5</u> h										

(续)

焊接工艺参数

电流种类 直流 极性 反接 φ3.2mm I 80~110A φ4.0mm I 110~140A U 21~22V

操作技术

首先焊接正面坡口的一半,电弧气刨清根打磨后焊满另一面坡口,再焊接正面另一半坡口

性能检验结果

拉伸试验

检验报告编号 _____

试样编号	试样形式	σ_b /MPa	σ_s /MPa	断裂位置	
P45-1	板状	580 584	/	焊缝外 焊缝外	

定向弯曲

检验报告编号 _____

试样编号	试样形式	弯轴直径/mm	弯曲角度/(°)	检验结果
P45-2	侧弯	$d=4a$	180	合格

冲击韧性试验

检验报告编号 _____

试样编号	缺口形式	缺口位置	试验温度/°C	A_K /J
/	/	/	/	/

硬度试验结果(H)

检验报告编号 _____

焊 缝	热影响区	母 材
/	/	/

金相检验结果

检验报告编号 _____

宏 观	微 观	其它检验
/	<u> </u> <u> </u> <u> </u>	铁素体%:7.2,8.0 晶间腐蚀按 ASTM, A262-81E 法 通过

无损探伤检验结果 RT 合格

检验报告编号 _____

焊工 _____

钢印号 _____

焊工合格证号 _____

评定结论 合格

编 制		校 对		审 核		审 定	
日 期		日 期		日 期		日 期	

焊接工艺设计书

编号 No HSY-46

工艺评定编号 HPY-46

评定项目 压力容器不锈钢板 1Cr18Ni9Ti δ 20mm 对接 埋弧焊接头

焊接方法 SMA 自动化等级 机械化 焊接位置 平 技术标准 ASME

接头坡口形式

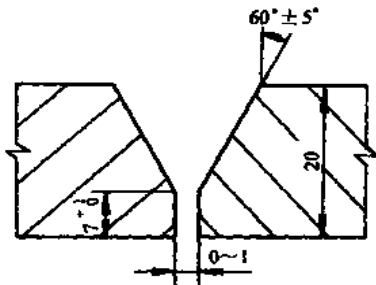


图 PY-46 左

焊接层次(顺序)

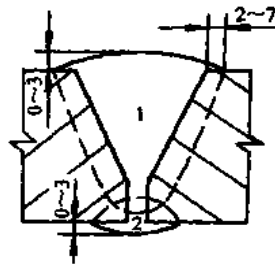


图 PY-46 右

首先焊正
面坡口,反面
焊接1层

对焊接接头的基本要求

1. 力学性能

σ_b /MPa	σ_s /MPa	δ_5 /%	弯曲角度/(°) ($d=4a$)	冲击试验			其它
				缺口形式	试验温度/°C	A_K /J	
≥ 519	/	/	180	/	/	/	/

2. 其它 RT 检查 晶间腐蚀 ASTM, A262-81E 法 铁素体质量分数% 5~10

母材	牌号 1Cr18Ni9Ti 规格 δ 20mm 类别 VI-1
焊接材料	焊条牌号 / 焊条规格 / 型号 / 钨极型号规格 / 焊剂 HJ260 焊丝牌号 H00Cr22Ni10 焊丝规格 $\phi 3$ mm 型号 / 保护气 / 流量 / 其它气体 / 流量 /
预热焊后热处理	预热温度 / 层间温度 $\leq 120^\circ\text{C}$ 后热温度, 时间 / 消氢温度, 时间 / 中间热处理 / 时间 / 焊后热处理 $900 \pm 20^\circ\text{C}$ 时间 1h
焊接工艺参数要求	电流种类 直流 极性 反接 焊接电流 I 350~400A 电弧电压 U 30~30V 第一层焊接速度 26~28m/h 其它层焊接速度 30~32m/h
操作技术要求	首先焊接正面坡口, 反面焊接1层

编制		校对		审核		批准	
日期		日期		日期		日期	

焊接工艺评定书

编号 No HPY-46

设计书编号 No HSY-46

评定项目 压力容器不锈钢板 1Cr18Ni9Ti δ 20mm 对接 埋弧焊接头

焊接方法 SAW 自动化等级 机械化 焊接位置 平 技术标准 ASME

接头坡口形式

见图 PY-46 左

焊接层次(顺序)

见图 PY-46 右

母材	检验编号 _____								钨极型号 / , 直径 / mm			
	牌号 1Cr18Ni9Ti		规格 δ 20mm		类别 VI-1							
化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Ti				
	0.07	0.51	1.26	0.009	0.008	18.13	10.01	0.52				
力学性能	σ_b /MPa		623,609		σ_s /MPa		287,299		δ_5 /%		45,46.5	
									A_K /(J)		/	
焊材	检验编号 _____											
	焊丝牌号 H00Cr22Ni10		焊丝规格 ϕ 3mm		焊丝型号 /		焊剂牌号 HJ260					
化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni					
	0.03	0.42	1.10	0.012	0.004	21.98	10.07					
焊条	焊条牌号 / 焊条规格 / 焊条型号 / 检验编号 _____											
熔敷金属化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S							
	/	/	/	/	/							
保护气体 / , 流量 / 其它气体 / 流量 /												
预热及焊后热处理												
预热温度 / 层间温度 ≤ 120 °C 后热温度 / 时间 /												
消氢温度 / 时间 / 中间热处理温度 / 时间 /												
焊后热处理温度 900 ± 20 °C 时间 1 h												

焊接工艺参数

电流种类 直流 极性 反接 I 350~400A U 30~32V焊接速度 第一层 26~28m/h 其它层 30~32m/h

操作技术

首先焊接正面坡口,反面根部清理后焊接1层

性能检验结果

拉伸试验

检验报告编号 _____

试样编号	试样形式	σ_b /MPa	σ_s /MPa	断裂位置	
P46-1	板状	620 625	/	焊缝外	

定向弯曲

检验报告编号 _____

试样编号	试样形式	弯轴直径/mm	弯曲角度/(°)	检验结果
P46-2	侧弯	$d=4a$	180	合格

冲击韧性试验

检验报告编号 _____

试样编号	缺口形式	缺口位置	试验温度/°C	A_K /J
/	/	/	/	/

硬度试验结果(H)

检验报告编号 _____

焊 缝	热影响区	母 材
/	/	/

金相检验结果

检验报告编号 _____

宏 观	微 观	其它检验
/	/	铁素体%:平均 5.9 最大 6.6 晶间腐蚀按 ASTM, A262-81E 法 通过

无损探伤检验结果 RT 合格

检验报告编号 _____

焊工 _____

钢印号 _____

焊工合格证号 _____

评定结论 合格

编 制	校 对	审 核	审 定
日 期	日 期	日 期	日 期

焊接工艺设计书

编号 No HSY-47工艺评定编号 HPY-47评定项目 压力容器壳顶盖 16MnR+20Cr 对接 手弧焊+埋弧焊+带极堆焊不锈钢层接头焊接方法 SMAW+SAW+带极 SAW 自动化等级 手工+机械化 焊接位置 平 技术标准 GB/T150-1998

接头坡口形式

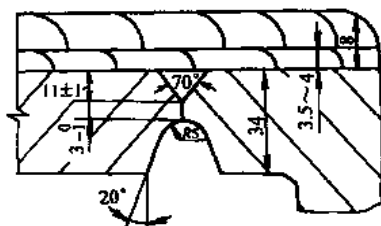


图 PY-47 左

焊接层次(顺序)

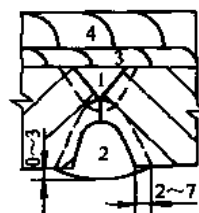


图 PY-47 右

首先焊接第一部分
手弧焊坡口,清根后焊
接第二部分埋弧焊坡
口,再焊第三部分过渡
层带极堆焊,最后进行
复层带极堆焊

对焊接接头的基本要求

1. 力学性能

σ_b /MPa	σ_s /MPa	δ_5 /%	弯曲角度/(°) ($d=3a$)	冲击试验			其它
				缺口形式	试验温度/°C	A_{KV} /J	
470~620	/	/	100	U	常温	≥ 59	/

2. 其它 RT、PT 检查,堆焊层化学成分的质量分数%, $C \leq 0.04$ $Cr \geq 18$ $Ni \geq 9$

母材	牌号 <u>16MnR</u> <u>20Cr</u>	规格 <u>δ 34mm</u>	类别 <u>1-2</u> <u>N-1</u>				
焊接材料	焊条牌号 <u>J507</u>	焊条规格 <u>ϕ3.2, ϕ4mm</u>	型号 <u>E5015-16</u>	钨极型号规格 <u>/</u>	焊剂 <u>HJ431</u> <u>HJ260</u>		
	焊丝牌号 <u>H10Mn2</u> <u>00Cr28Ni11</u> <u>00Cr22Ni10</u>	焊丝规格 <u>ϕ4</u> <u>0.6$\times$60mm</u>	型号 <u>/</u>	保护气 <u>/</u>	流量 <u>/</u>		
				其它气体 <u>/</u>	流量 <u>/</u>		
预热焊后热处理	预热温度 <u>基层:150~200</u> °C <u>复层:100~120</u> °C 层间温度 <u>200~350</u> °C <u>≤ 150</u> °C 后热温度,时间 <u>/</u> 消氢温度,时间 <u>/</u> 中间热处理 <u>/</u> 时间 <u>/</u> 焊后热处理 <u>590$\pm$20</u> 时间 <u>2h</u>						
焊接工艺参数要求	电流种类 <u>直流</u> 极性 <u>反接</u> 焊接电流 <u>SMAW: ϕ3.2mm I 120~130A ϕ4mm</u> <u>I 160~180A</u> 电弧电压 <u>21~24V</u> SAW: <u>I 600~650A U 34~36V</u> 焊接速度 <u>25~25m/h</u> 带极 SAW: <u>I 900~1000A U 34~37V</u> 焊接速度 <u>10~11m/h</u> 焊带伸出长度 <u>30~35mm</u>						
操作技术要求	首先以手弧焊 70°坡口,反面清根埋弧焊。打磨手弧焊缝去掉余高,清理后进行过渡层带极堆焊,打磨 PT 检查,清理后焊接过渡层带极堆焊,PT 检查后,整个接头进行 RT 检查						
编制		校对		审核		批准	
日期		日期		日期		日期	

焊接工艺评定书

编号 No HPY-47设计书编号 No HSY-47评定项目 压力容器壳顶盖 16MnR+20Cr 对接 焊条电弧焊+埋弧焊+带板堆焊接头焊接方法 SMAW+SAW+带板 SAW 自动化等级 手工+机械化 焊接位置 平 技术标准 GB/T150-1998

接头坡口形式						焊接层次(顺序)							
见图 PY-47 左						见图 PY-47 右							
母材	检验编号 _____												
	牌号 <u>16MnR</u> <u>20Cr</u>	规格 <u>δ 34mm</u>	类别 <u>I-2</u> <u>N-1</u>	钎板型号 <u>/</u> , 直径 <u>/</u>									
化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S	Cr							
	0.18 0.21	0.31 0.21	1.38 0.65	0.010 0.012	0.012 0.007	0.84							
力学性能	σ_s /MPa		524,535 540,557		σ_t /MPa		342,337 331,341		δ_5 /%		21.5,23 20.5,19	A_K /J	172,154,183 128,131,142
焊材	检验编号 _____												
	焊丝牌号 焊带	<u>H10Mn2</u> <u>H00Cr28Ni11</u> <u>H00Cr22Ni10</u>		焊丝规格 焊带	<u>φ4</u> <u>0.6×60</u> <u>0.6×60mm</u>		焊丝型号 <u>/</u>	焊剂牌号 <u>HJ431</u> <u>HJ260</u>					
化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni						
	0.10 0.03 0.03	0.28 0.26 0.49	1.98 0.32 0.29	0.009 0.007 0.010	0.010 0.005 0.006	27.43 21.52	10.93 9.98						
焊条	焊条牌号 <u>J507</u> 焊条规格 <u>φ3.2, φ4mm</u> 焊条型号 <u>E5015-16</u> 检验编号 _____												
熔敷金属化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S								
	0.08	0.28	1.03	0.010	0.009								
保护气体 <u>/</u> 流量 <u>/</u> 其它气体 <u>/</u> 流量 <u>/</u>													
预热及焊后热处理													
预热温度 <u>基层 150~200</u> °C <u>复层 120~150</u> °C 层间温度 <u>基层 200~350</u> °C <u>复层 ≤150</u> °C 后热温度 <u>/</u> 时间 <u>/</u> 消氢温度 <u>/</u> 时间 <u>/</u> 中间热处理温度 <u>/</u> 时间 <u>/</u> 焊后热处理温度 <u>590±20</u> °C 时间 <u>2</u> h													

(续)

焊接工艺参数

电流种类 直流 极性 反接 SMAW: $\phi 3.2\text{mm}$ I 120~130A $\phi 4\text{mm}$ I 160~180A U 21~24V
 SAW: I 600~650A U 34~36V 焊接速度 23~25m/h 带极 SAW 堆焊 I 900~1000A U 34~37V
 焊接速度 10~11m/h 焊带伸出长度 30~35mm

操作技术

首先手弧焊接 70°坡口,反面电弧气刨清根后焊接埋弧焊,打磨去掉手弧焊缝余高,清理后以 H00Cr28Ni11 焊带堆焊过渡层,清理后,PT 检查最后进行复层堆焊,以 H00Cr22Ni10 焊带堆焊 2 层,PT 检查后,接头做 RT 检查

性能检验结果

拉伸试验

检验报告编号 _____

试样编号	试样形式	σ_b/MPa	σ_s/MPa	断裂位置	
P47-1	板状	516.5, 519.4	/	焊缝外	

定向弯曲

检验报告编号 _____

试样编号	试样形式	弯轴直径/mm	弯曲角度/(°)	检验结果
P47-2	侧弯	$d=3a$	100	合格

冲击韧性试验

检验报告编号 _____

试样编号	缺口形式	缺口位置	试验温度/°C	A_{KV}/J
P47-3	U	焊缝 热影响区	常温	195, 153.9, 114.1 16MnR 侧 171.5, 108.8, 170 20Cr 侧 108.8, 93.1, 116.6

硬度试验结果(H)

检验报告编号 _____

焊 缝	热影响区	母 材
/	/	/

金相检验结果

检验报告编号 _____

宏 观	微 观	其它检验
/	/	复层化学成分(质量分数)%: C: 0.031 Cr: 20.69 Ni: 10.00

无损探伤检验结果 RT, PT 合格

检验报告编号 _____

焊工 _____

钢印号 _____

焊工合格证号 _____

评定结论 合格

编 制	校 对	审 核	审 定
日 期	日 期	日 期	日 期

焊接工艺设计书

编号 No HSY-48工艺评定编号 HPY-48评定项目 压力容器不锈钢板 X2CrNiMo18-12 拼接 等离子弧焊接头焊接方法 PAW 自动化等级 机械化 焊接位置 平 技术标准 GB/T150-1998

接头坡口形式

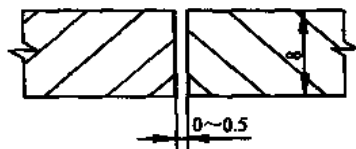


图 PY-48 左

焊接层次(顺序)

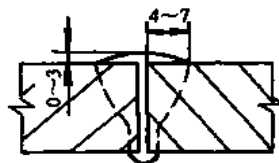


图 PY-48 右

对焊接接头的基本要求

1. 力学性能

σ_b /MPa	σ_s /MPa	δ_5 /%	弯曲角度/(°) ($d=3a$)	冲击试验			其它
				缺口形式	试验温度/°C	A_K /J	
539~686	/	/	180	/	/	/	HV ₁₀ ≤280

2. 其它 PT,RT 检查 金相组织检查 Huey 法均匀腐蚀<3.3μm/48h 选择性腐蚀≤100μm

母材	牌号 <u>X2CrNiMo18-12</u> 规格 <u>δ 8mm</u> 类别 <u>/</u>						
焊接材料	焊条牌号 <u>/</u>	焊条规格 <u>/</u>	型号 <u>/</u>	钨极型号规格 <u>钨钨板 φ4mm</u>	焊剂 <u>/</u>		
	焊丝牌号 <u>2RM69</u>	焊丝规格 <u>φ 4mm</u>	型号 <u>/</u>	保护气 <u>Ar</u>	背面: <u>Ar</u>	流量 <u>10~12</u>	
	其它气体 <u>离子气 Ar</u>				流量 <u>4.3~4.5L/min</u>		
预热焊后热处理	预热温度 <u>/</u> 层间温度 <u>/</u> 后热温度,时间 <u>/</u> 消氢温度,时间 <u>/</u> 中间热处理 <u>/</u> 时间 <u>/</u> 焊后热处理 <u>/</u> 时间 <u>/</u>						
焊接工艺参数要求	电流种类 <u>直流</u> 极性 <u>正接</u> 焊接电流 <u>I 240~250A</u> 电源电压 <u>U 29~30V</u> 喷嘴孔径 <u>φ3.2mm</u> 孔道长 <u>3.6mm</u> 钨极内缩 <u>1.2mm</u> 焊接速度 <u>9~9.5m/h</u>						
操作技术要求							
编制		校对		审核		批准	
日期		日期		日期		日期	

焊接工艺评定书

编号 No HPY-48设计书编号 No HSY-48评定项目 压力容器不锈钢板 X2CrNiMo18-12 拼接 等离子弧焊接头焊接方法 PAW 自动化等级 机械化 焊接位置 平 技术标准 GB/T150—1998

接头坡口形式

见图 PY-48 左

焊接层次(顺序)

见图 PY-48 右

母材	检验编号 _____								钨极型号 <u>铈钨极</u> 直径 <u>φ4</u> mm		
	牌号 <u>X2CrNi18-12</u>	规格 <u>δ 8mm</u>	类别 <u>/</u>								
化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo			
	0.04	0.29	1.39	0.012	0.004	17.77	13.57	2.9			
力学性能	σ_b /MPa		574,568		σ_s /MPa		284,301		δ_5 /%		41,42
									A_K /J		/
焊材	检验编号 _____										
	焊丝牌号 <u>2RM69</u> 焊丝规格 <u>φ 4mm</u> 焊丝型号 <u>/</u> 焊剂牌号 <u>/</u>										
化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo			
	0.04	0.20	4.42	0.010	0.011	24.92	18.8	2.2			
焊条	焊条牌号 <u>/</u> 焊条规格 <u>/</u> 焊条型号 <u>/</u> 检验编号 _____										
熔敷金属化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S						
	/	/	/	/	/						

保护气体 Ar 背面 Ar 流量 10~12 L/min 其它气体 离子气 Ar, 流量 4.3~4.5 L/min

预热及焊后热处理

预热温度 / 层间温度 / 后热温度 / 时间 /消氢温度 / 时间 / 中间热处理温度 / 时间 /焊后热处理温度 / 时间 /

(续)

焊接工艺参数

电流种类 直流 极性 正接 焊接电流 I 240~250A 电弧电压 U 29~30V喷嘴孔径 φ3.2mm 孔道长 3.6mm 钨极内缩 1.2mm 焊接速度 9~9.5m/h

操作技术

焊接过程应保证等离子弧始终对准工件的对接缝

性能检验结果

拉伸试验

检验报告编号 _____

试样编号	试样形式	σ_b /MPa	σ_s /MPa	断裂位置	
P48-1	板状	563.5 572.3	/	焊缝外	

定向弯曲

检验报告编号 _____

试样编号	试样形式	弯轴直径/mm	弯曲角度/(°)	检验结果
P48-2	面弯 背弯	$d=3a$	100	合格

冲击韧性试验

检验报告编号 _____

试样编号	缺口形式	缺口位置	试验温度/°C	A_K /J
/	/	/	/	/

硬度试验结果(HV₁₀)

检验报告编号 _____

接头硬度(HV₁₀)

焊 缝	热影响区	母 材
184,168	207,167	187,179

金相检验结果

检验报告编号 _____

宏 观	微 观	其它检验
合格	焊缝 <u>A+F</u> 热影响区 <u>A</u> 母材 <u>A</u>	Huey 法腐蚀试验: 均匀腐蚀 2.25μm/148h 选择性腐蚀 16μm

无损探伤检验结果 RT 合格,PT 合格

检验报告编号 _____

焊工 _____

钢印号 _____

焊工合格证号 _____

评定结论 合格

编 制		校 对		审 核		审 定	
日 期		日 期		日 期		日 期	

焊接工艺设计书

编号 No HSY-49工艺评定编号 HPY-49评定项目 压力容器钛材 TA2 δ 35mm 板对接 自动氩弧焊接头焊接方法 自动 GTAW 自动化等级 机械化 焊接位置 平 技术标准 GB/T150—1998

接头坡口形式

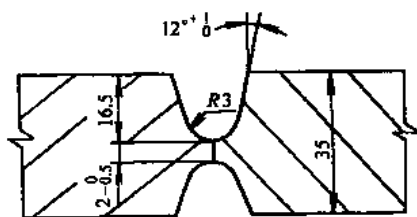


图 PY-49 左

焊接层次(顺序)

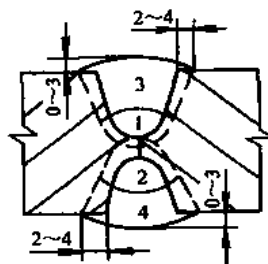


图 PY-49 右

首先焊接
正面坡口第
一层,翻身焊
接反面坡口
至 1/2,再将
正面坡口焊
满,最后将第
四部分,坡口
焊满

对焊接接头的基本要求

1. 力学性能

σ_b /MPa	σ_s /MPa	δ_5 /%	弯曲角度/(°) ($d=3a$)	冲击试验			其 它
				缺口形式	试验温度/°C	A_{kv} /J	
441~588	/	/	90°	/	/	/	HV ₁₀ ≤280

2. 其它 RT,PT 检查 金相组织检查

母材	牌号 <u>TA2</u> 规格 <u>δ 35mm</u> 类别 <u></u>
焊接材料	焊条牌号 <u>/</u> 焊条规格 <u>/</u> 型号 <u>/</u> 钨极型号规格 <u>钍钨极 ϕ4mm</u> 焊剂 <u>/</u> 焊丝牌号 <u>TA1</u> 焊丝规格 <u>ϕ 2mm</u> 型号 <u>/</u> 保护气 <u>Ar</u> 流量 <u>25L/min</u> 其它气体 拖罩保护:Ar 流量 <u>8~10L/min</u> 背面保护:Ar 流量 <u>10~15L/min</u>
预热焊后热处理	预热温度 <u>/</u> 层间温度 <u>≤120°C</u> 后热温度,时间 <u>/°C/h</u> 消氢温度,时间 <u>°C/h</u> 中间热处理 <u>/</u> 时间 <u>/</u> 焊后热处理 <u>570±10°C</u> 时间 <u>1h</u>
焊接工艺参数要求	电流种类 <u>直流</u> 极性 <u>正接</u> 焊接电流 正面第 1 层 <u>180A</u> ,背面第 1 层 <u>250A</u> 其它层 <u>1220~240A</u> 电弧电压 <u>U 11~14V</u> 焊接速度 <u>7~9m/h</u> 送丝速度 <u>25~35m/h</u>
操作技术要求	正面坡口焊接 1 层,翻身反面坡口焊至 1/2,再焊接正面坡口,焊满后翻身,将反面坡口焊满

编 制		校 对		审 核		批 准	
日 期		日 期		日 期		日 期	

焊接工艺评定书

编号 No HPY-49

设计书编号 No HSY-49

评定项目 压力容器钛材 TA2 δ 35mm 板对接 自动氩弧焊

焊接方法 自动 GTAW 自动化等级 机械化 焊接位置 平 技术标准 GB/T150—1998

接头坡口形式

见图 PY-49 左

焊接层次(顺序)

见图 PY-49 右

母材	检验编号 _____										
	牌号 TA2	规格 δ 35mm	类别 /	钨极型号 钍钨极 直径 ϕ 4 mm							
化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S	Fe	N	H ₂	O ₂	Ti	
	0.02	<0.04	/	/	/	0.13	0.01	0.003	0.018	余量	
力学性能	σ_b /MPa	512 490	σ_s /MPa	254.8 254.9	δ_5 /%	/	A_k /J	/			
	检验编号 _____										
焊材	焊丝牌号 TA1 焊丝规格 ϕ 2mm 焊丝型号 / 焊剂牌号 /										
	C	Si	Mn	P	S	Fe	N	H ₂	O ₂	Ti	
化学成分(%)	0.033	<0.05	/	/	/	0.06	<0.005	<0.001	0.023	余量	
	焊条牌号 / 焊条规格 / 焊条型号 / 检验编号 _____										
熔敷金属化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S						
	/	/	/	/	/						

保护气体 正面 Ar , 流量 25 L/min 背面 Ar , 流量 10~15 L/min 其它气体 拖罩保护 Ar , 流量 8~10 L/min

预热及焊后热处理

预热温度 / 层间温度 ≤ 120 后热温度 / 时间 /

消氢温度 / 时间 / 中间热处理温度 / 时间 /

焊后热处理温度 570 ± 10 °C 时间 1 h

(续)

焊接工艺参数

电流种类 直流 极性 正接 焊接电流 正面第1层 I 180A 反面第1层 I 250A其它层 I 220~240A 电弧电压 U 11~14V 焊接速度 $7\sim 9\text{m/h}$ 送丝速度 $25\sim 35\text{m/h}$

操作技术

性能检验结果

拉伸试验

检验报告编号 _____

试样编号	试样形式	σ_b/MPa	σ_s/MPa	断裂位置	
P49-1	板状	529.2 529.2	/	焊缝外	

定向弯曲

检验报告编号 _____

试样编号	试样形式	弯轴直径/mm	弯曲角度/(°)	检验结果
P49-2	面弯 背弯	$d=3a$	90	合格

冲击韧性试验

检验报告编号 _____

试样编号	缺口形式	缺口位置	试验温度/°C	A_K/J
/	/	/	/	/

硬度试验结果(HV₁₀)

检验报告编号 _____

焊 缝	热影响区	母 材
173,173	198,201	206,206

金相检验结果

检验报告编号 _____

宏 观	微 观	其它检验
合格	焊缝 <u>针状α</u> 热影响区 <u>针状α</u>	/

无损探伤检验结果 RT合格 PT合格

检验报告编号 _____

焊工 _____

钢印号 _____

焊工合格证号 _____

评定结论 合格

编 制		校 对		审 核		审 定	
日 期		日 期		日 期		日 期	

焊接工艺设计书

编号 No HSY-50工艺评定编号 HPY-50评定项目 压力容器钛板 TA2 δ 8mm 对接 手工钨极氩弧焊接头焊接方法 手工 GTAW 自动化等级 手工 焊接位置 平 技术标准 ASME

接头坡口形式

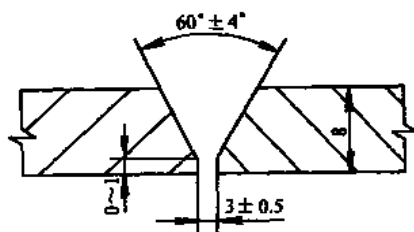


图 PY-50 左

焊接层次(顺序)

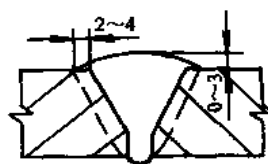


图 PY-50 右

焊接 3~4
层,每层焊缝
高 2.5mm 左
右,第三层以
上分两边焊

对焊接接头的基本要求

1. 力学性能

σ_b /MPa	σ_s /MPa	δ_5 /%	弯曲角度/(°) ($d=8a$)	冲击试验			其 它
				缺口形式	试验温度/°C	A_K /J	
≥ 441	/	/	180°	/	/	/	HV ₁₀ 与母材差 ≤ 50

2. 其它 RT 检查

母材	牌号 <u>TA2</u> 规格 <u>δ 8mm</u> 类别 <u>/</u>
焊接材料	焊条牌号 <u> </u> 焊条规格 <u> </u> 类别号 <u> </u> 钨极型号规格 <u>钍钨极 ϕ3mm</u> 焊剂 <u> </u> 焊丝牌号 <u>TA1</u> 焊丝规格 <u>ϕ 3mm</u> 类别 <u> </u> 保护气 <u>背面 Ar</u> 流量 <u>14~16</u> <u>Ar</u> <u>14~16L/min</u> 其它气体 <u>拖罩保护气 Ar</u> 流量 <u>22~24L/min</u>
预热焊后热处理	预热温度 <u>/</u> 层间温度 <u>$\leq 120^\circ\text{C}$</u> 后热温度,时间 <u>/</u> 消氢温度,时间 <u>/</u> 中间热处理 <u>/</u> 时间 <u>/</u> 焊后热处理 <u>/</u> 时间 <u>/</u>
焊接工艺参数要求	电流种类 <u>直流</u> 极性 <u>正接</u> 焊接电流 第一层 I <u>110~120A</u> 其它层 I <u>160~170A</u> 电弧电压 <u>U 12~14V</u> 焊接速度 <u>50~60m/h</u> 电流衰减 <u>3~4s</u>
操作技术要求	每层焊缝高约 2.5mm,第三层以上分两道焊

编 制		校 对		审 核		批 准	
日 期		日 期		日 期		日 期	

焊接工艺评定书

编号 No HPY-50设计书编号 No HSY-50评定项目 压力容器钛板 TA2 $\delta 8\text{mm}$ 对接 手工钨极氩弧焊焊接方法 手工 GTAW 自动化等级 手工 焊接位置 平 技术标准 ASME

接头坡口形式

见图 PY-50 左

焊接层次(顺序)

见图 PY-50 右

母 材	检验编号 _____										
	牌号 <u>TA2</u>		规格 <u>$\delta 8\text{mm}$</u>		类别 <u>/</u>		钨极型号 <u>钍钨极</u> 直径 <u>$\phi 3$</u> mm				
化 学 成 分 (%)	C	Si	Mn	P	S	H ₂	O ₂	N	Ti		
	0.018	0.030			0.003	0.0005	0.015	<0.05	余量		
力 学 性 能	σ_b/MPa	512,565		σ_s/MPa	256,248		$\delta_5/\%$	/		$A_K/(J)$	/
焊 材	检验编号 _____										
	焊丝牌号 <u>TA1</u>		焊丝规格 <u>$\phi 3\text{mm}$</u>		焊丝型号 <u>/</u>		焊剂牌号 <u>/</u>				
化 学 成 分 (%)	C	Si	Mn	P	S	Fe	H ₂	O ₂	N	Ti	
	0.036	<0.10				<0.10	0.0005	0.004	<0.01	余量	
焊 条	焊条牌号 <u>/</u> 焊条规格 <u>/</u> 焊条型号 <u>/</u> 检验编号 <u>/</u>										
熔 敷 金 属 化 学 成 分 (%)	C	Si	Mn	P	S						
	/	/	/	/	/						

保护气体 背面 Ar 流量 14~16 L/min 其它气体 拖罩保护气 Ar , 流量 22~24 L/min

预热及焊后热处理

预热温度 / 层间温度 ≤ 120 °C 后热温度 / 时间 /消氢温度 / 时间 / 中间热处理温度 / 时间 /焊后热处理温度 / 时间 /

(续)

焊接工艺参数

电流种类 直流 极性 正接 第一层 焊接电流 110~120A 焊接电压 U 12~13V
 其它层焊接电流 I 160~170A 电弧电压 U 13~14V 焊接速度 50~60m/h 电流衰减: 3~4s

操作技术

第三层焊缝分左右两道焊

性能检验结果

拉伸试验

检验报告编号 _____

试样编号	试样形式	σ_b /MPa	σ_s /MPa	断裂位置	
P50-1	板状	526 577	/	焊缝外	

定向弯曲

检验报告编号 _____

试样编号	试样形式	弯轴直径/mm	弯曲角度/(°)	检验结果
P50-2	面弯 背弯	$d=8a$	180	合格

冲击韧性试验

检验报告编号 _____

试样编号	缺口形式	缺口位置	试验温度/°C	A_K /J
/	/	/	/	/

硬度试验结果(HV₁₀)

检验报告编号 _____

焊 缝	热影响区	母 材
199,210	215,242	206,201,213

金相检验结果

检验报告编号 _____ /

宏 观	微 观	其它检验
/	<u> / </u> <u> / </u> <u> / </u>	/

无损探伤检验结果 RT 合格

检验报告编号 _____

焊工 _____

钢印号 _____

焊工合格证号 _____

评定结论 合格

编 制		校 对		审 核		审 定	
日 期		日 期		日 期		日 期	

第7章 船体结构的焊接工艺评定实例

船体结构部件的焊接工艺评定，均按照船建规范的有关规定进行（参见附录B）。

1 船体结构部件的焊接工艺评定实例

船体结构部件的焊接工艺评定实例按焊接方法，分别介绍如下（ChP-1~ChP17）。

焊接工艺设计书

编号 No ChS-1

工艺评定编号 ChP-1

评定项目 $\text{CO}_2 + \text{Ar}$ 三丝倾斜位置自动焊接头

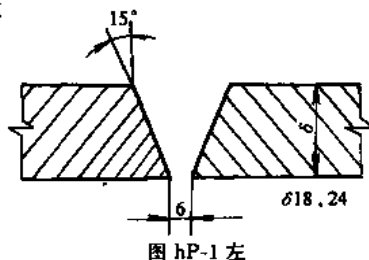
焊接方法 $\text{CO}_2 + \text{Ar}$ 气体保护焊

自动化等级 自动

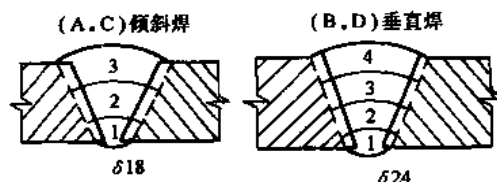
焊接位置 倾斜垂直

技术标准 LR CCS-89

接头坡口形式



焊接层次(顺序)



对焊接接头的基本要求

1. 力学性能

σ_b/MPa	σ_t/MPa	$\delta_5/\%$	弯曲角度/(°) ($d=4a$)	冲击试验			其它
				缺口形式	试验温度/°C	A_{KV}/J	
400~490	≥ 235	≥ 22	120(不裂)	V	0	≥ 20	-

2. 其它

母材	牌号	A	规格	18	mm	类别	
		D		24			
焊接材料	焊条牌号	/	焊条规格	/	型号	/	钨极型号规格
	焊丝 Union K56		焊丝 $\phi 1.0$	mm	型		保护气 $\phi \text{CO}_2 50\%$
	牌号 H08Mn2SiA		规格 $\phi 1.0$		号		其它气体 $\phi \text{Ar} 50\%$
预热 焊后 热处理	预热温度		层间温度		后热温度, 时间		消氢温度, 时间
	中间热处理		时间		焊后热处理		时间
焊接 工艺 参数 要求	电流种类	直流	极性	反	焊接电流: $\phi 18\text{mm}$	第1根 $I_1 160 \sim 170\text{A}$	第2根 $I_2 170 \sim 180\text{A}$
	电弧电压	$U_1 21\text{V}$	$U_2 20\text{V}$	$U_3 19\text{V}$	焊接速度	7cm/min	第3根 $I_3 140 \sim 150\text{A}$
		1	第1根	第2根	第3根		
	焊接电流: $\phi 24\text{mm}$	$I_1 170 \sim 180\text{A}$	$I_2 160 \sim 170\text{A}$	$I_3 120 \sim 130\text{A}$			
操作 技术 要求	电弧电压	$U_1 21\text{V}$	$U_2 20\text{V}$	$U_3 19\text{V}$			
	焊接速度	5.5~6cm/min					
编 制			校 对		审 核		批 准
日 期			日 期		日 期		日 期

注: 船体结构焊接工艺评定实例由上海江南造船(集团)公司张林工程师提供

焊接工艺评定书

编号 No ChP-1

设计书编号 No ChS-1

评定项目 CO₂+Ar 三丝倾斜位置自动焊接头焊接方法 CO₂+Ar 气体保护焊 自动化等级 自动 焊接位置 倾斜垂直 技术标准 LR CCS-89

接头坡口形式

见图 hP-1 左

焊接层次(顺序)

见图 hP-1 右

母材	检验编号 _____								钨极型号 _____ 直径 _____		
	牌号 <u>A</u> <u>D</u>	规格 <u>18</u> <u>24</u> mm	类别 _____								
化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S	Al					
	0.12 0.14	0.23 0.18	0.94 0.86	0.014 0.015	0.008 0.007	/ 0.025					
力学性能	σ_b /MPa		438 433	σ_s /MPa		299 274	δ_5 /%		30 30	A_{KV}/J (0℃)	192
焊材	检验编号 _____										
	焊丝 Union K56		焊丝 $\phi 1.0$	焊丝		焊剂					
化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S						
	/	/	/	/	/						
焊条	焊条牌号 / 焊条规格 / 焊条型号 / 检验编号 /										
熔敷金属化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S						
	/	/	/	/	/						

保护气体 CO₂ 流量 10L/min 其它气体 Ar 流量 10L/min

预热及焊后热处理

预热温度 / 层间温度 / 后热温度 / 时间 /

消氢温度 / 时间 / 中间热处理温度 / 时间 /

焊后热处理温度 / 时间 /

注：表中化学成分“%”，均指该化学成分中该元素的质量分数(w%)，下同。

(续)

焊接工艺参数

电流种类 直流 极性 反接

$\delta 18\text{mm}$	焊接电流/A	电弧电压/V	焊接速度/(cm/min)	$\delta 24\text{mm}$	焊接电流/A	电弧电压/V	焊接速度/(cm/min)
焊道 1	160~170	21	7	焊道 1	160~170	20	5.5
焊道 2	170~180	20	7	焊道 2	170~180	21	6
焊道 3	140~150	19	7	焊道 3	160~170	20	6
摆动次数 25~30 焊丝间距 75mm				焊道 4	120~130	19	6

操作技术

性能检验结果

拉伸试验

检验报告编号 _____

试样编号	试样形式	σ_b/MPa	σ_s/MPa	断裂位置	
A		466,466		断熔合线,断母材	
B		500,500			
C		475,475			
D		495,490			

定向弯曲

检验报告编号 _____

试样编号	试样形式	弯轴直径/mm	弯曲角度/(°)	检验结果
A	正弯、反弯	52	120	好
B		64		好
C		52		好(裂 3mm 补好)
D		64		好

冲击韧性试验

检验报告编号 _____

试样编号	缺口形式	缺口位置	试验温度/°C	A_{KV}/J
A	V	正面 焊缝中心	0	41,45,45
B		反面 焊缝中心		46,49,34
		正面 焊缝中心		49,59,58
C		反面 焊缝中心		53,61,63
		正面 焊缝中心		63,65,73
D		反面 焊缝中心		76,95,92
		正面 焊缝中心		73,72,79
		反面 焊缝中心		108,90,84

硬度试验结果(H)

检验报告编号 _____

焊 缝	热影响区	母 材
/	/	/

金相检验结果

检验报告编号 _____

宏 观	微 观	其它检验
焊缝充分焊透 无焊接缺陷	/	/

无损探伤检验结果 均为 I 级片 检验报告编号 _____

焊工 _____ 钢印号 _____ 焊工合格证号 _____

评定结论 合格

编 制	校 对	审 核	审 定
日 期	日 期	日 期	日 期

焊接工艺设计书

编号 No ChS-2工艺评定编号 ChP-2评定项目 铸钢件电渣焊接头焊接方法 电渣焊 自动化等级 自动 焊接位置 垂直 技术标准 LR

接头坡口形式

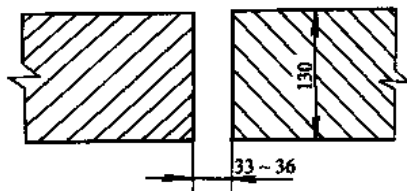


图 hP-2 左

焊接层次(顺序)

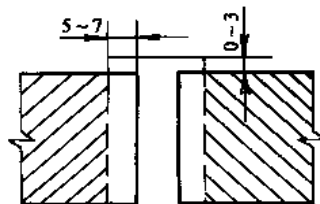


图 hP-2 右

对焊接接头的基本要求

1. 力学性能

σ_b /MPa	σ_s /MPa	δ_5 /%	弯曲角度/(°) ($d=75\text{mm}$)	冲击试验			其 它
				缺口形式	试验温度/°C	A_{kv} /J	
≥ 420	≥ 230	≥ 16	120(不裂)	V	20	20	HV30 $\leq$ 280

2. 其它 UT 金相组织 焊缝金属化学成分

母材	牌号 <u>ZG20Mn1.5</u> 规格 <u>130mm</u> 类别 <u>/</u>					
焊接材料	焊条牌号 <u>/</u>	焊条规格 <u>/</u>	型号 <u>/</u>	钨极型号规格 <u>/</u>	焊剂 <u>SH431</u>	
	焊丝牌号 <u>HI0Mn2</u>	焊丝规格 <u>$\phi 3\text{mm}$</u>	型号 <u>/</u>	保护气 <u>/</u>	流量 <u>/</u>	
				其它气体 <u>/</u>	流量 <u>/</u>	
预热焊后热处理	预热温度 <u>/</u> 层间温度 <u>/</u> 后热温度,时间 <u>/</u> 消氢温度,时间 <u>/</u> 中间热处理 <u>/</u> 时间 <u>/</u> 焊后热处理 <u>正火+回火</u> 时间 <u>5.8 h</u>					
焊接工艺参数要求	电流种类 <u>直流</u> 极性 <u>反接</u> 焊接电流 I <u>450~500A</u> 电弧电压 U <u>50~52V</u> 焊丝根数 <u>2</u> 摆动速度 <u>96cm/min</u> 渣池深度 <u>65~75mm</u> 二丝间距 <u>70mm</u> 停留时间 <u>3s</u> 焊丝摆动距离 <u>45mm</u> 焊接速度 <u>1.0cm/min</u>					
操作技术要求						

编 制		校 对		审 核		批 准	
日 期		日 期		日 期		日 期	

焊接工艺评定书

编号 No ChP-2设计书编号 No ChS-2评定项目 铸钢件电渣焊接头焊接方法 电渣焊 自动化等级 自动化 焊接位置 垂直 技术标准 LR

接头坡口形式

见图 hP-2 左

焊接层次(顺序)

见图 hP-2 右

母材	检验编号 _____									钨极型号 <u>/</u> 直径 <u>/</u>	
	牌号 <u>ZG20Mn1.5</u> 规格 <u>130mm</u> 类别 <u>/</u>										
化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo			
	0.17	0.34	1.02	0.016	0.010	0.10	0.14	0.03			
力学性能	σ_b /MPa		475		σ_s /MPa		260		δ_5 /%		27
									A_{KV} /J		/
焊丝	检验编号 _____										
	焊丝牌号 <u>H10Mn2</u> 焊丝规格 <u>φ3mm</u> 焊丝类别 <u>/</u> 焊剂牌号 <u>SH431</u>										
化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S						
	/	/	/	/	/						
焊条	焊条牌号 <u>/</u> 焊条规格 <u>/</u> 焊条类别 <u>/</u> 检验编号 _____										
熔敷金属化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S						
	/	/	/	/	/						
保护气体 <u>/</u> 流量 <u>/</u> 其它气体 <u>/</u> 流量 <u>/</u>											

预热及焊后热处理

预热温度 / 层间温度 / 后热温度 / 时间 /消氢温度 / 时间 / 中间热处理温度 / 时间 /焊后热处理温度 正火+回火 时间 5.8 h

(续)

焊接工艺参数

电流种类 直流 极性 反接焊接电流 I 450~500A 摆动速度 96cm/min 焊接电压 U 50~52V 停留时间 3s焊丝根数 2根 焊接速度 1.0cm/min 二丝间距 70mm 渣池深度 65~75mm焊丝摆动距离 45mm

操作技术

性能检验结果

拉伸试验

检验报告编号 _____

试样编号	试样形式	σ_s /MPa	σ_b /MPa	断裂位置	$\sigma_s/\%$	$\phi/\%$
C2-1	圆棒拉伸($\phi 14$ mm)	436	255		32.5 30.5	68.0 63.0
C2-2	接头拉伸	441				
补充检验	接头拉伸	441	260	断焊缝	32.0	65.5
	圆棒拉伸($\phi 4$ mm)	441				
	圆棒拉伸($\phi 4$ mm)	450			34.0	65.0

定向弯曲

检验报告编号 _____

试样编号	试样形式	弯轴直径/mm	弯曲角度/(°)	检验结果
C2-3	正弯、正弯	$d=75$ mm	120	好

冲击韧性试验

检验报告编号 _____

试样编号	缺口形式	缺口位置/mm	试验温度/°C	A_{kv}/J
C2-4	V	焊缝中心	20	129,128,141
C2-5		熔合线 2		147,138,137
C2-6		热影响区 2		130,120,118
		热影响区 5		117,136,129
		热影响区 40		135,141,119

硬度试验结果(HV30)

检验报告编号 _____

测定位置	硬度值
	125,128,125,128,132,132,128,128 128,130,128,128,128,126,125,135 135,135,135,155

金相检验结果

检验报告编号 _____

宏 观	微 观	其它检验
/	焊缝 热影响区	焊缝化学成分(质量分数)% C0.13 Si0.22 Mn1.16 S0.012 P0.015

无损探伤检验结果 超声波探伤无任何缺陷 检验报告编号 _____

焊工 _____ 钢印号 _____ 焊工合格证号 _____

评定结论 合格

编 制	校 对	审 核	审 定
日 期	日 期	日 期	日 期

焊接工艺设计书

编号 No ChS-3

工艺评定编号 ChP-3

评定项目 高强度船体结构钢 CO₂ 半自动平角焊接头焊接方法 CO₂ 平角焊 自动化等级 半自动 焊接位置 2F 技术标准 CCS-89

接头坡口形式

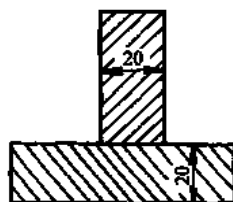


图 hP-3 左

焊接层次(顺序)

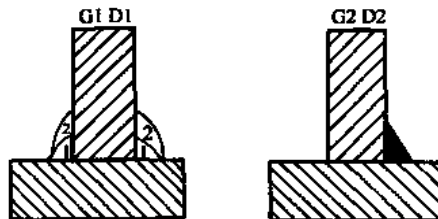


图 hP-3 右

对焊接接头的基本要求

1. 力学性能

σ_b /MPa	σ_s /MPa	δ_5 /%	弯曲角度 /(°)	冲击试验			其 它
				缺口形式	试验温度/°C	A_K /J	
/	/	/	/	/	/	/	HV30 ^① ≤ 280

2. 其它 宏观检查

母材	牌号 <u>DH36</u> 规格 <u>20mm</u> 类别 <u>/</u>					
焊接材料	焊条牌号	焊条规格	型号	钨极型号规格	焊剂	
	<u>MG-507</u>	$\phi 1.2$	型	保护气 <u>CO₂</u>	流量 <u>15~20L/min</u>	
	焊丝牌号 <u>DW-100</u>	焊丝规格 $\phi 1.2\text{mm}$	号	其它气体 <u>/</u>	流量 <u>/</u>	
预热焊后热处理	预热温度 <u>/</u> 层间温度 <u>/</u> 后热温度, 时间 <u>/</u> 消氢温度, 时间 <u>/</u> 中间热处理 <u>/</u> 时间 <u>/</u> 焊后热处理 <u>/</u> 时间 <u>/</u>					
焊接工艺参数要求	电流种类 <u>直流</u> 极性 <u>反接</u> 焊接电流 <u>D₁ G₁ I₁ 240~260A I₂ 180~200A</u> <u>G₂ D₂ I 200~240A</u> 电弧电压 <u>U₁ 26~28V U₂ 24~26V U 29~31V</u>					
操作技术要求						
编制		校对		审核		批准
日期		日期		日期		日期

① 表示试验力为 30kgf 即 294.2N, 下同。

焊接工艺评定书

编号 No ChP-3设计书编号 No ChS-3评定项目 高强度船体结构钢 CO₂ 半自动平角焊接头焊接方法 CO₂ 平角焊 自动化等级 半自动 焊接位置 2F 技术标准 CCS-89

接头坡口形式

焊接层次(顺序)

见图 hP-3 左

见图 hP-3 右

母材	检验号 牌号 <u>DH36</u> 规格 <u>20mm</u> 类别 <u>/</u>										钢板型号 <u>/</u> 直径 <u>/</u>	
化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S	Cu						
	0.14	0.32	1.45	0.019	0.009	0.13						
力学性能	σ_b /MPa		503		σ_s /MPa		360		δ_5 /%		28	
									A_k /J (0℃)		143	
焊材	检验编号 <u> </u> 焊丝 <u>MG-50T</u> 焊丝 ϕ 1.2 焊丝 <u>/</u> 焊剂 <u>/</u> 牌号 <u>DW-100</u> 规格 ϕ 1.2mm 型号 <u>/</u> 牌号 <u>/</u>											
化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S							
	/	/	/	/	/							
焊条	焊条牌号 <u>/</u> 焊条规格 <u>/</u> 焊条型号 <u>/</u> 检验编号 <u> </u>											
熔敷金属化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S							
	/	/	/	/	/							
保护气体 <u>CO₂</u> 流量 <u>15~20L/min</u> 其它气体 <u>/</u> 流量 <u>/</u>												
预热及焊后热处理 预热温度 <u>/</u> 层间温度 <u>/</u> 后热温度 <u>/</u> 时间 <u>/</u> 消氢温度 <u>/</u> 时间 <u>/</u> 中间热处理温度 <u>/</u> 时间 <u>/</u> 焊后热处理温度 <u>/</u> 时间 <u>/</u>												

(续)

焊接工艺参数

电流种类 直流 极性 反接

G_1	D_1	焊接电流	电弧电压	G_2	D_2	焊接电流	电弧电压
I		240~260A	U 26~28V	I		200~240A	U 29~31V
I		180~200A	U 24~26V				

操作技术

性能检验结果

拉力试验

检验报告编号 _____

试样编号	试样形式	σ_b /MPa	σ_s /MPa	断裂位置	
/	/	/	/	/	

定向弯曲

检验报告编号 _____

试样编号	试样形式	弯轴直径/mm	弯曲角度/(°)	检验结果
/	/	$d=a$	/	/

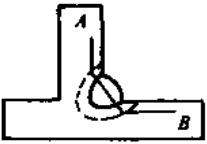
冲击韧性试验

检验报告编号 _____

试样编号	缺口形式	缺口位置	试验温度/°C	A_K /J
/	/	/	/	/

硬度试验结果(HV30)

检验报告编号 _____

测定位置	硬 度 值	硬 度 值
	G_1 : 165, 160, 160, 214, 274, 198, 202, 206, 206, 191, 198, 178, 198, 262, 171, 160, 150 D_1 : 155, 155, 165, 171, 274, 210, 206, 206, 214, 214, 214, 287, 198, 171, 165, 155	G_2 : 150, 155, 155, 214, 198, 222, 214, 214, 222, 214, 222, 222, 274, 185, 171, 171, 160, 160 D_2 : 165, 160, 222, 231, 222, 231, 231, 231, 231, 231, 222, 274, 231, 165, 165

金相检验结果

检验报告编号 _____

宏 观	微 观	其它检验
/	/	/

无损探伤检验结果 _____ 检验报告编号 _____

焊工 _____ 钢印号 _____ 焊工合格证号 _____

评定结论 合格

编 制	校 对	审 核	审 定
日 期	日 期	日 期	日 期

焊接工艺设计书

编号 No ChS-4

工艺评定编号 ChP-4

评定项目 3C, 4C, D 钢 手弧焊对接接头

焊接方法 SMAW 自动化等级 手工 焊接位置 平、立、仰 技术标准 LR

接头坡口形式

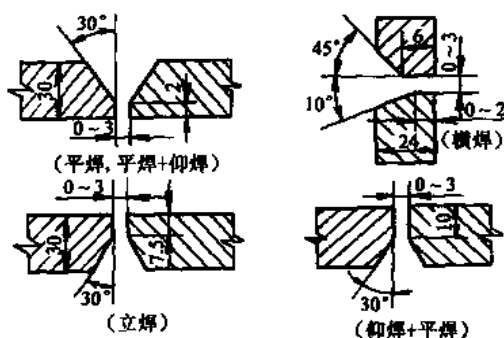


图 hP-4 左

焊接层次(顺序)

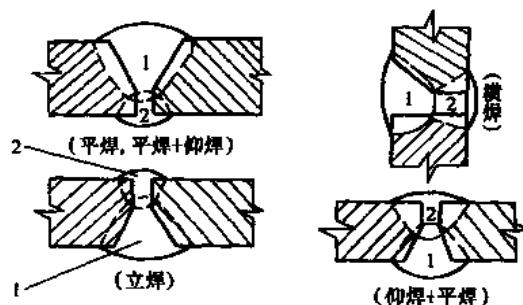


图 hP-4 右

对焊接接头的基本要求

1. 力学性能

σ_s /MPa	σ_b /MPa	δ_5 /%	弯曲角度/(°) ($d=68\text{mm}$)	冲击试验			其它
				缺口形式	试验温度/°C	A_{kv} /J	
400~490	/	/	120(不裂)	V	0	20	/

2. 其它 宏观检查

母材	牌号	4C D 3C	规格	30 24 20mm	类别	/
	焊条牌号	SH427.01	焊条规格	$\phi 4, \phi 5\text{mm}$	型号	/
焊接材料	焊丝牌号	/	焊丝规格	/	型号	/
			保护气	/	流量	/
预热焊后热处理			其它气体	/	流量	/
	预热温度 / 层间温度 / 后热温度, 时间 / 消氢温度, 时间 /					
	中间热处理 / 时间 / 焊后热处理 / 时间 /					
焊接工艺参数要求	电流种类 直流 极性 反 焊接电流 平焊: $\phi 4\text{mm}; I 170 \sim 190\text{A}$ $\phi 5\text{mm}; I 200 \sim 240\text{A}$					
	电弧电压 $U 29 \sim 31\text{V}$ $U 31 \sim 33\text{V}$ 焊接电流 平焊+仰焊, 平焊 $\phi 4\text{mm}; I 170 \sim 190\text{A}$ $\phi 5\text{mm}; I 200 \sim 240\text{A}$ 仰焊: $\phi 4\text{mm}; I 150 \sim 170\text{A}$ 电弧电压 $U 29 \sim 31\text{V}$ $U 31 \sim 33\text{V}$ $U 27 \sim 29\text{V}$					
操作技术要求	焊接电流 立焊: 打底 $\phi 4\text{mm}; I 140 \sim 160\text{A}$ 其它: $\phi 4\text{mm}$ 时 $150 \sim 170\text{A}$ 电弧电压 $U 27 \sim 29\text{V}$					
	27~29V 焊接电流 横焊: $\phi 4\text{mm}; I 160 \sim 180\text{A}$ $\phi 5\text{mm}; I 200 \sim 230\text{A}$ 电弧电压 $U 29 \sim 31\text{V}$ $31 \sim 33\text{V}$ 焊接电流 仰焊+平焊: 仰焊 $\phi 4\text{mm}; I 150 \sim 170\text{A}$ 平焊 $\phi 5\text{mm}; I 200 \sim 240\text{A}$					
	电弧电压 $U 27 \sim 29\text{V}$ $U 31 \sim 33\text{V}$					
编制	日期		校 对		审 核	
	日期		日期		批 准	
日期	日期		日期		日期	
	日期		日期		日期	

焊接工艺评定书

编号 No ChP-4

设计书编号 No ChS-4

评定项目 3C,4C,D 钢 手弧焊对接接头

焊接方法 SMAW 自动化等级 手工 焊接位置 平、立、仰 技术标准 LR

接头坡口形式

焊接层次(顺序)

见图 hP-4 左

见图 hP-4 右

母材	检验编号 _____										钢板型号 / , 直径 /	
	牌号	4C D 3C	规格	30 24 mm 20	类别	/						
化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S	Cu						
	0.122	0.236	0.770	0.022	0.026	0.073						
	0.14	0.25	0.90	0.019	0.012							
	0.15	0.206	0.72	0.014	0.026	0.137						
力学性能	σ_s /MPa	431 470 451	σ_t /MPa	245 334 265	δ_5 /%	33 25 29	A_{KV} /J	(-40℃) (-20℃)	54,62,62,137 53,57,40			
焊材	检验编号 _____											
	焊丝牌号	/	焊丝规格	/	焊丝型号	/	焊剂牌号	/				
化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S							
	/	/	/	/	/							
焊条	焊条牌号 SH427-01 焊条规格 $\phi 4, \phi 5\text{mm}$ 焊条型号 / 检验编号 _____											
熔敷金属化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S							
	/	/	/	/	/							

保护气体 / 流量 / 其它气体 / , 流量 /

预热及焊后热处理

预热温度 / 层间温度 / 后热温度 / 时间 /

消氢温度 / 时间 / 中间热处理温度 / 时间 /

焊后热处理温度 / 时间 /

(续)

焊接工艺参数									
电流种类 <u>直流</u> 极性 <u>反接</u>									
	(平焊) ($\phi 4 \sim \phi 5 \text{mm}$)		平焊+仰焊 (平焊 $\phi 4 \sim \phi 5 \text{mm}$) 仰焊 $\phi 4 \text{mm}$			立焊 (打底 $\phi 4 \text{mm}$) 其它 $\phi 4 \text{mm}$		横焊 ($\phi 4 \sim \phi 5 \text{mm}$)	
焊接电流/A	170~190A	200~240	170~190	200~240	150~170	140~160	150~170	160~180	200~230
电弧电压/V	29~31	31~33	29~31	31~33	27~29	27~29	27~29	29~31	31~33
仰焊+平焊 焊接电流: 仰焊 $\phi 4 \text{mm}$, 150~170A 平焊 $\phi 5 \text{mm}$, 1200~240A									
电弧电压 $U_{27 \sim 29 \text{V}}$ $U_{31 \sim 33 \text{V}}$									
操作技术									
性能检验结果									
拉伸试验 检验报告编号 _____									
试样编号	试样形式		σ_b/MPa		σ_s/MPa		断裂位置		
平焊 平焊+仰焊 立焊 横焊 仰焊+平焊	/		475, 475 475, 475 466, 466 495, 495 524, 524		/		断母材、断母材		
定向弯曲 检验报告编号 _____									
试样编号	试验形式		弯轴直径/mm		弯曲角度/(°)		检验结果		
平焊 平焊+仰焊 立焊 横焊 仰焊+平焊	正弯、反弯		68		120		好、好		
冲击韧性试验 检验报告编号 _____									
试样编号	缺口形式		缺口位置		试验温度/°C		A_{KV}/J		
平焊 平焊+仰焊 立焊 横焊 仰焊+平焊	V		焊缝中心		0		179, 67, 124 142, 166, 167 32, 46, 38 153, 143, 153 166, 171, 120		
硬度试验结果(H) 检验报告编号 _____									
焊 缝			热影响区			母 材			
/			/			/			
金相检验结果 检验报告编号 _____									
宏 观			微 观			其它检验			
均无缺陷			/			/			
无损探伤检验结果 <u>合格</u> 检验报告编号 _____									
焊工 _____ 钢印号 _____ 焊工合格证号 _____									
评定结论 <u>合格</u>									
编 制		校 对		审 核		审 定			
日 期		日 期		日 期		日 期			

焊接工艺设计书

编号 No ChS-5

工艺评定编号 ChP-5

评定项目 砂绳衬垫手弧焊单面焊接头

焊接方法 单面 SMAW 焊 自动化等级 手工 焊接位置 平、斜角 技术标准 CCS-LR

接头坡口形式

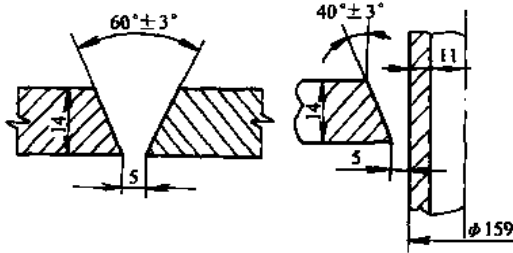


图 hP-5 左

焊接层次(顺序)

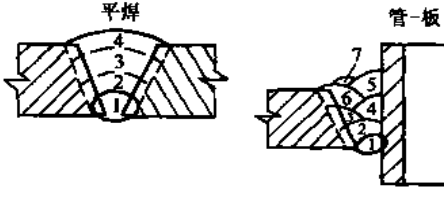


图 hP-5 右

对焊接接头的基本要求

1. 力学性能

σ_b /MPa	σ_s /MPa	δ_5 /%	弯曲角度/(°) ($d=4a$)	冲击试验			其 它
				缺口形式	试验温度/°C	A_{kv} /J	
≥ 333	/	/	120(不裂)	V	0	≥ 20	/

2. 其它 无损探伤 宏观检查

母材	牌号 A 10 钢管 规格 $\phi 14, \phi 159 \times 11$ mm 类别 /					
焊接材料	焊条牌号 SH427-01	焊条规格 $\phi 4$ mm	砂绳衬垫 JNSSD	钨极型号规格 /	焊剂 /	
	焊丝牌号 /	焊丝规格 /	型号 /	保护气 /	流量 /	
				其它气体 /	流量 /	
预热 焊后 热处理	预热温度 层间温度 后热温度, 时间 消氢温度, 时间 中间热处理 时间 焊后热处理 时间					
焊接 工艺 参数 要求	电流种类 直流 极性 反接 焊接电流 平焊位置 1: $I 170 \sim 190A$ 2~5: $I 180 \sim 200A$ 倾斜位置 1: $I 140 \sim 160A$ 2~4: $I 170 \sim 180A$ 角接(管-板) 1: $I 180A$ 2~7: $I 180 \sim 200A$					
操作 技术 要求						
编 制		校 对		审 核		批 准
日 期		日 期		日 期		日 期

焊接工艺评定书

编号 No ChP-5设计书编号 No ChS-5评定项目 砂绳衬垫手工单面焊接头焊接方法 单面 SMAW 焊 自动化等级 手工 焊接位置 平、斜角 技术标准 CCS-LR

接头坡口形式

见图 hP-5 左

焊接层次(顺序)

见图 hP-5 右

母材	检验编号 _____												
	牌号 <u>A10 钢管</u>		规格 <u>φ14, φ159×11mm</u>		类别 <u>/</u>		钢板型号 <u>/</u> 直径 <u>/</u> mm						
化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S								
	0.10	0.19	0.62	0.015	0.026								
	0.12	0.24	0.50	0.008	0.016								
力学性能	σ_b /MPa		431 387		σ_s /MPa		294,300		δ_5 /%		30,33.2	A_{kv}/J	/
焊丝	检验编号 _____												
	焊丝牌号 <u>/</u> 焊丝规格 <u>/</u> 焊丝型号 <u>/</u> 焊剂牌号 <u>/</u>												
化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S								
	/	/	/	/	/								
焊条	焊条牌号 <u>SH427-01</u> 焊条规格 <u>φ4mm</u> 焊条型号 _____ 检验编号 _____												
熔敷金属化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S								
	/	/	/	/	/								
保护气体 <u>/</u> 流量 <u>/</u> 其它气体 <u>/</u> 流量 <u>/</u>													
预热及焊后热处理 预热温度 <u>/</u> 层间温度 <u>/</u> 后热温度 <u>/</u> 时间 <u>/</u> 消氢温度 <u>/</u> 时间 <u>/</u> 中间热处理温度 <u>/</u> 时间 <u>/</u> 焊后热处理温度 <u>/</u> 时间 <u>/</u>													

(续)

焊接工艺参数

电流种类 直流 极性 反接

平位置	焊接电流	倾斜位置	焊接电流	角接(管-板)	焊接电流
1	I170~190A	1	I140~160A	1	I180A
2~5	I180~200A	2~4	I170~180A	2~7	I180~200A

操作技术

性能检验结果

拉伸试验

检验报告编号 _____

试样编号	试样形式	σ_b /MPa	σ_s /MPa	断裂位置		
平位置	接头抗拉	441	/	断熔合线		
		431				
倾斜位置	接头抗拉	470		断母材		
		460				

定向弯曲

检验报告编号 _____

试样编号	试样形式	弯轴直径/mm	弯曲角度/(°)	检验结果
平位置 斜位置	正弯 反弯 正弯 反弯	40	120	好

冲击韧性试验

检验报告编号 _____

试样编号	缺口形式	缺口位置	试验温度/°C	A_{KV} /J
平位置 倾斜位置 补做	V	焊缝中心	0	182,163,192 15.68,47.04,129 179,194,169

硬度试验结果(H)

检验报告编号 _____

焊 缝	热影响区	母 材
/	/	/

金相检验结果

检验报告编号 _____

宏 观	微 观	其它检验
无焊接缺陷	/	/

无损探伤检验结果 1级 检验报告编号 _____

焊工 _____ 钢印号 _____ 焊工合格证号 _____

评定结论 合格

编 制		校 对		审 核		审 定	
日 期		日 期		日 期		日 期	

焊接工艺设计书

编号 No ChS-6

工艺评定编号 ChP-6

评定项目 ZJ-I 型衬垫单面手工焊接头

焊接方法 单面 SMAW 焊 自动化等级 手工 焊接位置 平、垂直 技术标准 CCS-89

接头坡口形式

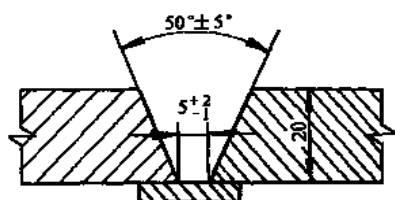


图 hP-6 左

焊接层次(顺序)

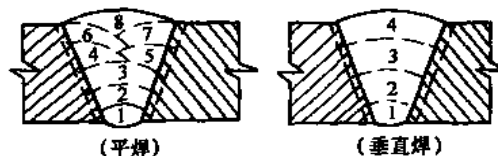


图 hP-6 右

对焊接头的基本要求

1. 力学性能

σ_b /MPa	σ_s /MPa	δ_5 /%	弯曲角度/(°) ($d=3a$)	冲击试验			其它
				缺口形式	试验温度/°C	A_{kv} /J	
400~490	≥235	≥22	正、反弯 120 (不裂) 侧弯 180	V	0	≥20	HV30 ≤280

2. 其它 RT

母材	牌号 D 规格 20mm 类别 /					
焊接材料	焊条牌号 SH427-01	焊条规格 $\phi 4, \phi 5$ mm	型号 /	钨极型号规格 /	衬垫 ZJ-I	
	焊丝牌号 /	焊丝规格 /	型号 /	保护气 /	流量 /	
				其它气体 /	流量 /	
预热焊后热处理	预热温度 / 层间温度 / 后热温度, 时间 / / 消氢温度, 时间 / 中间热处理 / 时间 / 焊后热处理 / 时间 /					
焊接工艺参数要求	电流种类 直流 极性 反接 焊接电流 平焊 1: $\phi 4$ mm; I 130~150A 2~8: $\phi 5$ mm; I 220~240A 电弧电压 23~26V 24~28V 焊接电流 垂直 1: $\phi 4$ mm; I 130~150A 2~3: $\phi 4$ mm; I 140~160A 4: $\phi 4$ mm; I 120~140A 电弧电压 23~26V 23~26 23~26V					
操作技术要求						

编制		校对		审核		批准	
日期		日期		日期		日期	

焊接工艺评定书

编号 No ChP-6设计书编号 No ChS-6评定项目 ZJ-I 型衬垫单面手工焊接头焊接方法 单面 SMAW 焊 自动化等级 手工 焊接位置 平、垂直 技术标准 CCS-89

接头坡口形式

见图 hP-6 左

焊接层次(顺序)

见图 hP-6 右

母材	检验编号 _____								钨极型号 / 直径 / mm		
	牌号 <u>D</u>	规格 <u>20mm</u>	类别 /								
化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S	Cu	Al				
	0.12	0.24	1.01	0.028	0.021	0.05	0.028				
力学性能	σ_s /MPa	588		σ_t /MPa	314		δ_5 /%	34%		A_{KV}/J (-20℃)	49,62,60
焊材	检验编号 _____										
	焊丝牌号 / 焊丝规格 / 焊丝型号 / 焊剂牌号 /										
化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S						
	/	/	/	/	/						
焊条	焊条牌号 <u>SH427-01</u> 焊条规格 <u>44,45</u> mm 焊条型号 / 检验编号 _____										
熔敷金属化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S						
	/	/	/	/	/						
保护气体 / 流量 / 其它气体 / 流量 /											
预热及焊后热处理											
预热温度 / 层间温度 / 后热温度 / 时间 /											
消氢温度 / 时间 / 中间热处理温度 / 时间 /											
焊后热处理温度 / 时间 /											

(续)

焊接工艺参数

电流种类 直流 极性 反接

平焊	焊接电流	电弧电压	垂直焊	焊接电流	电弧电压
1 $\phi 4\text{mm}$	130~150A	23~26V	1 $\phi 4\text{mm}$	130~150A	23~26V
2~8 $\phi 5\text{mm}$	220~240A	24~28V	2~3 $\phi 4\text{mm}$	140~160A	23~26V
			4 $\phi 4\text{mm}$	120~140A	23~26V

操作技术

性能检验结果

拉伸试验

检验报告编号 _____

试样编号	试样形式	σ_b/MPa	σ_s/MPa	断裂位置	$\delta_5/\%$	断面收缩 $\psi/\%$
平焊	$\phi 10\text{mm}$ 圆棒拉伸 接头拉伸	522 490	433	断母材	27.0	78.0
垂直焊	$\phi 10\text{mm}$ 圆棒拉伸 接头拉伸	510 489	408		25.0	74.0

定向弯曲

检验报告编号 _____

试样编号	试样形式	弯轴直径 D/mm	弯曲角度 $\alpha/^\circ$	检验结果
平焊	正弯、反弯	3t	120	无裂
	侧弯	38	180	
垂直焊	正弯、反弯	3t	120	
	侧弯	38	180	

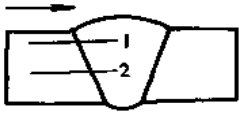
冲击韧性试验

检验报告编号 _____

试样编号	缺口形式	缺口位置/mm	试验温度/ $^\circ\text{C}$	A_{KV}/J
平焊	V	焊缝中心	0	186, 180, 186
		熔合线进 2		72, 72, 152
		熔合线出 2		104, 94, 90
垂直焊		焊缝中心		125, 55, 98
		熔合线进 2		102, 65, 48
		熔合线出 2		108, 86, 98

硬度试验结果 (HV30)

检验报告编号 _____

测定位置	硬度值	硬度值
	平焊 1: 140, 140, 140, 150, 162, 162, 162, 165, 165, 165, 160, 165, 165, 162 2: 145, 145, 150, 155, 160, 171, 171, 168, 171, 171, 171, 168, 165	垂直焊 1: 132, 132, 140, 140, 150, 160, 160, 171, 171, 171, 166, 160, 160, 160 2: 136, 136, 140, 142, 145, 150, 150, 150, 150, 147, 147, 147, 145, 145

金相检验结果

检验报告编号 _____

宏 观	微 观	其它检验
/	/	/

无损探伤检验结果 均合格 检验报告编号 _____

焊工 _____ 钢印号 _____ 焊工合格证号 _____

评定结论 合格

编 制	校 对	审 核	审 定
日 期	日 期	日 期	日 期

焊接工艺设计书

编号 No ChS-7工艺评定编号 ChP-7评定项目 单面埋弧焊(铜衬垫)对接接头焊接方法 单面 SAW 弧 自动化等级 机械化 焊接位置 平 技术标准 LR

接头坡口形式

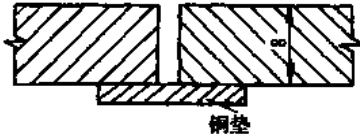


图 hP-7 左

焊接层次(顺序)



图 hP-7 右

对焊接接头的基本要求

1. 力学性能

σ_b /MPa	σ_s /MPa	δ_5 /%	弯曲角度/(°) ($d=3a$)	冲击试验			其它
				缺口形式	试验温度/°C	A_{KV} /J	
400~490	/	/	120(不裂)	V	20	≥ 20	/

2. 其它 无损探伤 宏观检查

母材	牌号 <u>ZC-A</u> 规格 <u>8mm</u> 类别 <u>/</u>						
焊接材料	焊条牌号 <u>/</u> 焊条规格 <u>/</u> 型号 <u>/</u> 钨极型号规格 <u>/</u> 焊剂 <u>SH431</u> 焊丝牌号 <u>H08A</u> 焊丝规格 <u>φ5mm</u> 型号 <u>/</u> 保护气 <u>/</u> 流量 <u>/</u> 其它气体 <u>/</u> 流量 <u>/</u>						
预热焊后热处理	预热温度 <u>/</u> 层间温度 <u>/</u> 后热温度,时间 <u>/</u> 消氢温度,时间 <u>/</u> 中间热处理 <u>/</u> 时间 <u>/</u> 焊后热处理 <u>/</u> 时间 <u>/</u>						
焊接工艺参数要求	电流种类 <u>直流</u> 极性 <u>反接</u> 焊接电流 <u>φ 5mm: I770~820A</u> 电弧电压 <u>U 37~39V</u> 焊接速度 <u>52~54cm/min</u>						
操作技术要求							

编 制		校 对		审 核		批 准	
日 期		日 期		日 期		日 期	

焊接工艺评定书

编号 No ChP-7设计书编号 No ChS-7评定项目 单面埋弧焊(钢衬垫)对接接头焊接方法 单面 SAW 焊 自动化等级 机械化 焊接位置 平 技术标准 LR

接头坡口形式

见图 hP-7 左

焊接层次(顺序)

见图 hP-7 右

母材	检验编号 _____ 牌号 <u>ZC-A</u> 规格 <u>8mm</u> 类别 <u>/</u> 钨极型号 <u>/</u> 直径 <u>/</u>									
	C	Si	Mn	P	S					
化学成分(%)	0.1	0.26	0.67	0.016	0.016					
力学性能	σ_s /MPa 451		σ_s /MPa 223		δ_s /%		36		Akv/J	/
焊材	检验编号 _____ 焊丝牌号 <u>H08A</u> 焊丝规格 <u>φ5mm</u> 焊丝型号 <u>/</u> 焊剂牌号 <u>SH431</u>									
	C	Si	Mn	P	S					
化学成分(%)	/	/	/	/	/					
焊条	牌号 <u>/</u> 焊条规格 <u>/</u> 焊条型号 <u>/</u> 检验编号 _____									
熔敷金属化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S					
	/	/	/	/	/					
保护气体 <u>/</u> 流量 <u>/</u> 其它气体 <u>/</u> 流量 <u>/</u>										
预热及焊后热处理 预热温度 <u>/</u> 层间温度 <u>/</u> 后热温度 <u>/</u> 时间 <u>/</u> 消氢温度 <u>/</u> 时间 <u>/</u> 中间热处理温度 <u>/</u> 时间 <u>/</u> 焊后热处理温度 <u>/</u> 时间 <u>/</u>										

(续)

焊接工艺参数

电流种类 直流 极性 反接焊接电流 I 770~820A 焊接电压 U 37~39V 焊接速度 52~54cm/h

操作技术

性能检验结果

拉伸试验

检验报告编号 _____

试样编号	试样形式	σ_b /MPa	σ_s /MPa	断裂位置	
	板状	485 495	/	断母材 断焊缝	

定向弯曲

检验报告编号 _____

试样编号	试样形式	弯轴直径/mm	弯曲角度/(°)	检验结果
	正弯、反弯	24	120	好

冲击韧性试验

检验报告编号 _____

试样编号	缺口形式	缺口位置	试验温度/°C	A_{kv} /J
	V	焊缝中心	20	35, 38, 41

硬度试验结果(H)

检验报告编号 _____

焊 缝	热影响区	母 材
/	/	/

金相检验结果

检验报告编号 _____

宏 观	微 观	其它检验
无焊接缺陷	/	/

无损探伤检验结果 1级 检验报告编号 _____

焊工 _____ 钢印号 _____ 焊工合格证号 _____

评定结论 合格

编 制	校 对	审 核	审 定
日 期	日 期	日 期	日 期

注:冲击试样面积为 $5 \times 10 \text{mm}^2$ 。

焊接工艺设计书

编号 No ChS-8

工艺评定编号 ChP-8

评定项目 JN4 和 JN6 衬垫二氧化碳半自动单面焊接头

焊接方法 二氧化碳单面焊 自动化等级 半自动 焊接位置 1G、2G、3G、2F 技术标准 CCS-89

接头坡口形式

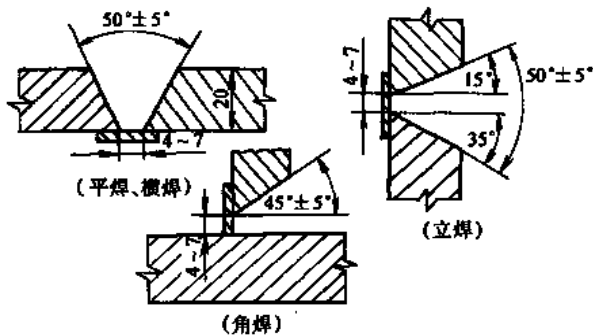


图 hP-8 左

焊接层次(顺序)

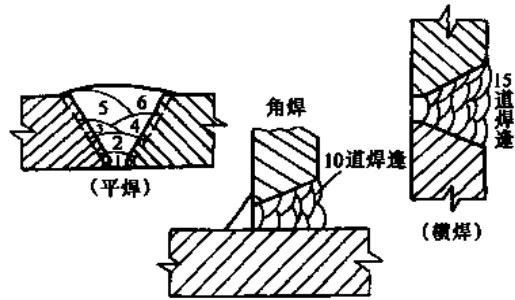


图 hP-8 右

对焊接接头的基本要求

1. 力学性能

σ_b /MPa	σ_s /MPa	δ_5 /%	弯曲角度/(°) ($d=4a$)	冲击试验			其 它
				缺口形式	试验温度/°C	A_{KV} /J	
400~490	/	/	180	V	-10°C	≥ 20	HV ₁₀ ≤280

2. 其它 RT

母材	牌号 D 规格 20mm 类别 /
焊接材料	焊条牌号 焊条规格 型号 钨极型号规格 / 焊剂 / 焊丝牌号 MG-507 焊丝规格 $\phi 1.2$ mm 衬垫 JN4、JN6 保护气 CO ₂ 流量 15~20L/min 其它气体 / 流量 /
预热焊后热处理	预热温度 / 层间温度 / 后热温度, 时间 / 消氢温度, 时间 / 中间热处理 / 时间 / 焊后热处理 / 时间 /
焊接工艺参数要求	电流种类 直流 极性 反接 焊接电流 I 平焊 JN4 I1: 180~200A 1: 2~6: 250~300A 立焊 JN4 I1: 130~150A 2~5: 150~180A 横 JN4 I1: 180~200 2: 10: 200~220A 11~15: 150~180A 平角焊 JN6 I1: 180~200A 2~10: 220~260A 电弧电压 U 22~26V 26~30V 20~24V 22~26V 22~26V 24~28V 22~26V 22~26V 24~28V
操作技术要求	
编制	校 对 审 核 批 准
日期	日期 日期 日期 日期

焊接工艺评定书

编号 No ChP-8

设计书编号 No ChS-8

评定项目 JN4 和 JN6 衬垫二氧化碳半自动单面焊接头

焊接方法 二氧化碳单面焊 自动化等级 手工(半自动) 焊接位置 1G、2G、3G、2F 技术标准 CCS-89

接头坡口形式	焊接层次(顺序)
见图 hP-8 左	见图 hP-8 右

母材	检验编号 _____							钨极型号 / 直径 /		
	牌号 D	规格 20mm	类别 /							
化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S	Cu	Al			
	0.12	0.19	0.86	0.017	0.021	0.03	0.022			
力学性能	σ_b /MPa	440	σ_s /MPa	290	δ_5 /%	27	(-10℃) A_{kv}/J	81,74,94		

焊材	检验编号 _____									
	焊丝牌号 MG-50T	焊丝规格 $\phi 1.2mm$	焊丝类别 /	衬垫牌号 JN4, JN6						
化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S					
	/	/	/	/	/					

焊条	焊条牌号 / 焊条规格 / 焊条型号 / 检验编号 _____									
熔敷金属化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S					
	/	/	/	/	/					

保护气体 CO₂ 流量 15~20L/min 其它气体 / , 流量 /

预热及焊后热处理

预热温度 / 层间温度 / 后热温度 / 时间 /

消氢温度 / 时间 / 中间热处理温度 / 时间 /

焊后热处理温度 / 时间 /

(续)

焊接工艺参数

电流种类 直流 极性 反接

平焊	焊接电流 (I)	电弧电压 (U)	立焊	焊接电流 (I)	电弧电压 (U)	横焊	焊接电流 (I)	电弧电压 (U)	平角焊	焊接电流 (I)	电弧电压 (U)
JN4 1	180~200A	22~26V	JN4 1	130~150A	20~24V	JN4 1	180~200A	22~26V	1	180~200A	22~26V
2~5	250~300A	26~30V	2~5	150~180A	22~26V	2~10	200~220A	24~28V	2~10	220~260A	24~28V
						11~15	150~180A	22~26V			

操作技术

性能检验结果

拉伸试验

检验报告编号 _____

试样编号	试样形式	σ_b /MPa	σ_s /MPa	断裂位置	
平焊	接头拉伸	488,490	/	断母材	
立焊		491,497			
横焊		493,501			

定向弯曲

检验报告编号 _____

试样编号	试样形式	弯轴直径/mm	弯曲角度/(°)	检验结果
平焊 立焊 横焊	正弯、反弯	4a	180	无裂

冲击韧性试验

检验报告编号 _____

试样编号	缺口形式	缺口位置	试验温度/°C	A_{KV} /J
平焊	V	大面焊缝中心 大面熔合线 大面熔合线出2mm 小面焊缝中心 小面熔合线	-10	74,64,56 68,66,94 48,54,60 68,50,84 78,92,98

硬度试验结果(HV₁₀)

检验报告编号 _____

测定位置	硬 度 值	
	A 170,170,170,170,170,170,170, 160,143,135,135	B 151,151,151,160,143,143,143, 135,135

金相检验结果

检验报告编号 _____

宏 观	微 观	其它检验
焊缝完全焊透无缺陷可见	/	/

无损探伤检验结果 I 级

检验报告编号 _____

焊工 _____

钢印号 _____

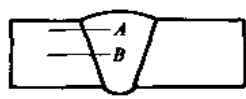
焊工合格证号 _____

评定结论 合格

编 制	校 对	审 核	审 定
日 期	日 期	日 期	日 期

(续)

冲击韧性试验		检验报告编号		
试样编号	缺口形式	缺口位置	试验温度/°C	A _{KV} /J
立焊	V	大面焊缝中心 大面熔合线 大面熔合线出 2mm 小面焊缝中心 小面熔合线	-10	74,70,48 90,122,152 74,84,68 150,100,122 150,124,74

硬度试验结果(HV ₁₀)		检验报告编号	
测定位置	硬 度 值		
	A 170,170,170,170,160,160,170, 143,135,135,135	B 151,151,151,143,143,143,143, 135	

金相检验结果		检验报告编号	
宏 观	微 观	其它检验	
焊缝完全焊透无缺陷可见	/	/	

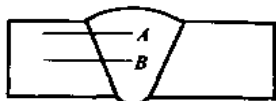
无损探伤检验结果 I 级 检验报告编号

焊工 钢印号 焊工合格证号

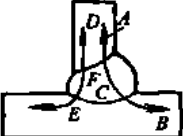
评定结论 合格

编 制	校 对	审 核	审 定
日 期	日 期	日 期	日 期

冲击韧性试验		检验报告编号		
试样编号	缺口形式	缺口位置	试验温度/°C	A _{KV} /J
横焊	V	大面焊缝中心 大面熔合线 大面熔合线出 2mm 小面焊缝中心 小面熔合线	-10	118,120,114 54,116,120 44,42,60 110,72,74 160,158,108

硬度试验结果(HV ₁₀)		检验报告编号	
测定位置	硬 度 值		
	A 170,193,193,181,193,193,193, 220,193,143,139	B 181,170,170,170,170,160,151, 143,143	

(续)

金相检验结果		检验报告编号 _____			
宏 观	微 观	其它检验			
焊缝完全焊透无缺陷可见	/	/			
无损探伤检验结果 <u>I级</u> 检验报告编号 _____ 焊工 _____ 钢印号 _____ 焊工合格证号 _____					
评定结论 <u>合格</u>					
编 制	校 对	审 核	审 定		
日 期	日 期	日 期	日 期		
冲击韧性试验		检验报告编号 _____			
试样编号	缺口形式	缺口位置	试验温度/°C		
/	/	/	/		
硬度试验结果(HV ₁₀)		检验报告编号 _____			
测定位置	硬 度 值				
	<table style="width: 100%; border: none;"> <tr> <td style="width: 50%; border: none;"> A 181,160,135,135 B 187,181,160,143,135 C 187,181,187,170,170,170,176, 176,176 D 160,151,151,143,135 E 180,160,151,135,135 F 170,176,181,181 </td> <td style="width: 50%; border: none;"> A 187,176,139,135 B 181,170,147,131,135 C 187,180,187,165,160,176,165, 170,170,170 D 160,150,143,143,135 E 181,160,157,143 F 176,180,180,180 </td> </tr> </table>			A 181,160,135,135 B 187,181,160,143,135 C 187,181,187,170,170,170,176, 176,176 D 160,151,151,143,135 E 180,160,151,135,135 F 170,176,181,181	A 187,176,139,135 B 181,170,147,131,135 C 187,180,187,165,160,176,165, 170,170,170 D 160,150,143,143,135 E 181,160,157,143 F 176,180,180,180
A 181,160,135,135 B 187,181,160,143,135 C 187,181,187,170,170,170,176, 176,176 D 160,151,151,143,135 E 180,160,151,135,135 F 170,176,181,181	A 187,176,139,135 B 181,170,147,131,135 C 187,180,187,165,160,176,165, 170,170,170 D 160,150,143,143,135 E 181,160,157,143 F 176,180,180,180				
金相检验结果		检验报告编号 _____			
宏 观	微 观	其它检验			
焊缝完全焊透无缺陷可见	/	/			
无损探伤检验结果 _____ 检验报告编号 _____ 焊工 _____ 钢印号 _____ 焊工合格证号 _____					
评定结论 <u>合格</u>					
编 制	校 对	审 核	审 定		
日 期	日 期	日 期	日 期		

焊接工艺设计书

编号 No ChS-9

工艺评定编号 ChP-9

评定项目 碳钢倾斜位置的 CO₂ 自动气电立焊接头焊接方法 CO₂ 气电立焊 自动化等级 机械化 焊接位置 倾斜 45°~90° 技术标准 CCS-89

接头坡口形式

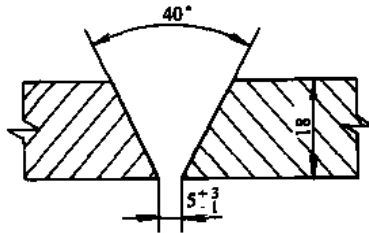


图 hP-9 左

焊接层次(顺序)



图 hP-9 右

对焊接接头的基本要求

1. 力学性能

σ_b /MPa	σ_s /MPa	δ_5 /%	弯曲角度/(°) ($d=4a$)	冲击试验			其它
				缺口形式	试验温度/°C	A_{KV} /J	
400~490	/	/	180(不裂)	V	0	≥ 20	HV

2. 其它 RT 宏观检查

母材	牌号 B 规格 18mm 类别 /						
焊接材料	焊条牌号 / 焊条规格 / 型号 / 钨极型号规格 / 焊剂 / 焊丝牌号 DWS-43G 焊丝规格 $\phi 1.6\text{mm}$ 衬垫 KL-4GT 保护气 CO ₂ 流量 30L/min 其它气体 / 流量 /						
预热 焊后 热处理	预热温度 / 层间温度 / 后热温度, 时间 / 消氢温度, 时间 / 中间热处理 / 时间 / 焊后热处理 / 时间 /						
焊接 工艺 参数 要求	电流种类 直流 极性 反接 焊接电流 I 350~380A 电弧电压 U 33~36V 焊枪摆幅 4~7mm 停留时间 正面 0.4~0.6s 反面 0.5~0.8s 焊丝伸出长度 30~35mm 焊接速度 约 10cm/min						
操作 技术 要求							
编制		校对		审核		批准	
日期		日期		日期		日期	

焊接工艺评定书

编号 No ChP-9设计书编号 No ChS-9评定项目 强度钢倾斜位置的 CO₂ 自动气电立焊接头

3)

焊接方法 CO₂ 自动气电立焊 自动化等级 机械化 焊接位置 倾斜 45°~90° 技术标准 CCS-89

接头坡口形式

焊接层次(顺序)

见图 hP-9 左

见图 hP-9 右

母材	检验编号 _____									
	牌号 <u>B</u>	规格 <u>18mm</u>	类别 <u>/</u>	钨极型号 <u>/</u> 直径 <u>/</u>						
化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S					
	0.16	0.15	0.64	0.024	0.011					
力学性能	σ_s /MPa	450	σ_b /MPa	290	δ_5 /%	31	A_{kv}/J 0℃	123,149,140		
焊丝	检验编号 _____									
	焊丝牌号 <u>DW1-43G</u> 焊丝规格 <u>φ1.6mm</u> 焊丝型号 <u>/</u> 衬垫牌号 <u>KL-4GT</u>									
化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S					
焊条	焊条牌号 <u>/</u> 焊条规格 <u>/</u> 焊条型号 <u>/</u> 检验编号 _____									
熔敷金属化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S					
	/	/	/	/	/					
保护气体 <u>CO₂</u> 流量 <u>30</u> L/min 其它气体 <u>/</u> 流量 <u>/</u>										
预热及焊后热处理										
预热温度 <u>/</u> 层间温度 <u>/</u> 后热温度 <u>/</u> 时间 <u>/</u>										
消氢温度 <u>/</u> 时间 <u>/</u> 中间热处理温度 <u>/</u> 时间 <u>/</u>										
焊后热处理温度 <u>/</u> 时间 <u>/</u>										

(续)

焊接工艺参数						
电流种类 <u>直流</u> 极性 <u>反接</u>						
焊接电流	电弧电压	焊枪摆幅	停留时间	焊丝伸出长度	焊接速度	
350~380A	33~36V	4~7mm	正面 0.4~0.6s 反面 0.5~0.8s	30~35mm	约 10cm/min	
操作技术						
性能检验结果						
拉伸试验			检验报告编号 _____			
试样编号	试样形式	σ_b /MPa	σ_s /MPa	断裂位置		
	接头拉伸	465 475	/	断母材		
定向弯曲			检验报告编号 _____			
试样编号	试样形式	弯轴直径/mm	弯曲角度/(°)	检验结果		
	正弯、反弯	4a	180	无裂		
冲击韧性试验			检验报告编号 _____			
试样编号	缺口形式	缺口位置	试验温度/°C	A_{KV} /J		
	V	焊缝中心 熔合线 熔合线出 2mm 焊缝中心 熔合线	0	56.33,34 32.42,50 50.54,72 20.24,22 24.24,22		
硬度试验结果(HV ₁₀)			检验报告编号 _____			
测定位置		硬 度 值				
		A 170,160,160,165,160,156,151, 147,143,135			B 160,160,165,165,147,151,151, 132,135	
金相检验结果			检验报告编号 _____			
宏 观		微 观		其它检验		
焊缝充分焊透无焊接缺陷		/		/		
无损探伤检验结果 <u>I级</u> 检验报告编号 _____						
焊工 _____ 钢印号 _____ 焊工合格证号 _____						
评定结论 <u>合格</u>						
编 制		校 对		审 核		审 定
日 期		日 期		日 期		日 期

焊接工艺设计书

编号 No ChS-10

工艺评定编号 ChP-10

评定项目 高强钢 CO₂ 半自动单面焊接头焊接方法 CO₂ 单面焊 自动化等级 手工(半自动) 焊接位置 1G 技术标准 CCS-89

接头坡口形式

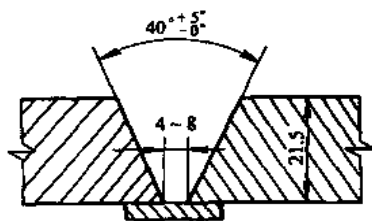


图 hP-10 左

焊接层次(顺序)



图 hP-10 右

对焊接接头的基本要求

1. 力学性能

σ_b /MPa	σ_s /MPa	δ_5 /%	弯曲角度/(°) ($d=4a$)	冲击试验			其它
				缺口形式	试验温度/°C	A_{KV} /J	
440~590			180	V	-20	≥22	/

2. 其它

母材	牌号 DH32 规格 21.5mm 类别 /					
焊接材料	焊条牌号 /	焊条规格 /	型号 /	钨极型号规格 /	焊剂 /	
	焊丝 DW-100	焊丝 $\phi 1.2$ mm	型号 /	保护气 CO ₂	流量 15L/min	
	牌号 MG-50T	规格 $\phi 1.2$ mm		其它气体 /	流量 /	
预热焊后热处理	预热温度 _____ 层间温度 _____ 后热温度,时间 _____ 消氢温度,时间 _____ 中间热处理 _____ 时间 _____ 焊后热处理 _____ 时间 _____					
焊接工艺参数要求	电流种类 直流 极性 反接 9"焊接电流 1: 180A 2~3: 220A 4~5: 260A 6~7: 260A 电弧电压 24V 26V 28V 28V 10"焊接电流 1: 200A 2~3: 220A 4~5: 280A 6~8: 280A 电弧电压 25V 26V 30V 30V 11"焊接电流 280A 2~3: 280A 4~5: 280A 6~7: 280A 电弧电压 26V 30V 30V 30V 12"焊接电流 280A 2: 280A 3~6: 320A 7~8: 300A 电弧电压 26V 30V 34V 32V					
操作技术要求						
编制		校对		审核		批准
日期		日期		日期		日期

焊接工艺评定书

编号 No ChP-10设计书编号 No ChS-10评定项目 高强钢 CO₂ 半自动单面焊接头焊接方法 CO₂ 半自动焊 自动化等级 半自动 焊接位置 1G 技术标准 CCS-89

接头坡口形式

见图 hP-10 左

焊接层次(顺序)

见图 hP-10 右

母材	检验编号 _____										
	牌号 <u>DH32</u>	规格 <u>21.5mm</u>	类别 <u>/</u>								
化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Cr	Mo	V	
	0.14	0.28	1.47	0.020	0.003	0.002	0.03	0.03	0.002	0.003	
力学性能	σ_b /MPa	534		σ_s /MPa	407		δ_5 /%	25		(-20℃) A_{KV} /J	205, 271, 290
焊材	检验编号 _____										
	焊丝 <u>DW-100</u>	焊丝 ϕ <u>1.2mm</u>	焊丝型号 <u>/</u> 焊剂牌号 <u>/</u>								
化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S						
	/	/	/	/	/						
焊条	焊条牌号 <u>/</u> 焊条规格 <u>/</u> 焊条型号 <u>/</u> 检验编号 _____										
熔敷金属化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S						
	/	/	/	/	/						
保护气体 <u>CO₂</u> 流量 <u>15</u> L/min 其它气体 <u>/</u> 流量 <u>/</u>											

预热及焊后热处理

预热温度 / 层间温度 / 后热温度 / 时间 /消氢温度 / 时间 / 中间热处理温度 / 时间 /焊后热处理温度 / 时间 /

(续)

焊接工艺参数

电流种类 电流 极性 反接

9"	焊接电流/A	电弧电压/V	10"	焊接电流/A	电弧电压/V	11"	焊接电流/A	电弧电压/V	12"	焊接电流/A	电弧电压/V
1	180	24	1	200	25	1	220	26	1	220	26
2~3	220	26	2~3	220	26	2~3	280	30	2	280	30
4~5	260	28	4~5	280	30	4~5	280	30	3~6	320	34
6~7	260	28	6~8	280	30	6~7	280	30	7~8	300	32

操作技术

性能检验结果

拉伸试验

检验报告编号

试样编号	试样形式	σ_b /MPa	σ_s /MPa	断裂位置	
9	/	515 520	/	断母材	
10		510 510			
11		560 545			
12		560 540			

定向弯曲

检验报告编号

试样编号	试样形式	弯轴直径/mm	弯曲角度/(°)	检验结果
9	正弯、反弯	4a	180	裂 1.4mm
10				无裂
11				无裂
12				无裂

冲击韧性试验

检验报告编号

试样编号	缺口形式	缺口位置	试验温度/°C	A_{kv} /J
9"	V	正面焊缝中心 正面熔合线 正面热影响区 背面焊缝中心 背面熔合线	-20	37,38,46 48,65,86 100,120,100 60,66,75 75,97,139

硬度试验结果(H)

检验报告编号

接头硬度(H)

焊 缝	热影响区	母 材
/	/	/

金相检验结果

检验报告编号

宏 观	微 观	其它检验
/	/	/

无损探伤检验结果

检验报告编号

焊工 钢印号 焊工合格证号

评定结论 合格

编 制	校 对	审 核	审 定
日 期	日 期	日 期	日 期

(续)

冲击韧性试验		检验报告编号		
试样编号	缺口形式	缺口位置	试验温度/°C	A_{KV}/J
10 [#]	V	正面焊缝中心	-20	63,61,76
		正面熔合线		113,76,77
		正面热影响区		70,93,51
		背面焊缝中心		58,50,67
		背面熔合线		147,117,92

硬度试验结果(H)		检验报告编号	
焊 缝	热影响区	母 材	
/	/	/	

金相检验结果		检验报告编号	
宏 观	微 观	其它检验	
/	/	/	

无损探伤检验结果 / 检验报告编号

焊工 钢印号 焊工合格证号

评定结论 合格

编 制	校 对	审 核	审 定
日 期	日 期	日 期	日 期

冲击韧性试验		检验报告编号		
试样编号	缺口形式	缺口位置	试验温度/°C	A_{KV}/J
11 [#]	V	正面焊缝中心	-20	92,84,96
		正面熔合线		94,118,96
		正面热影响区		92,80,76
		背面焊缝中心		56,64,66
		背面熔合线		84,90,110

硬度试验结果(H)		检验报告编号	
焊 缝	热影响区	母 材	
/	/	/	

金相检验结果		检验报告编号	

(续)

宏 观	微 观	其它检验
/	/	/

无损探伤检验结果_____ 检验报告编号_____

焊工_____ 钢印号_____ 焊工合格证号_____

评定结论 合格

编 制		校 对		审 核		审 定	
日 期		日 期		日 期		日 期	

冲击韧性试验 检验报告编号_____

试样编号	缺口形式	缺口位置	试验温度/°C	A _{KV} /J
12 [#]	V	正面焊缝中心 正面熔合线 正面热影响区 背面焊缝中心 背面熔合线	-20	124,134,112 94,102,64 96,117,80 142,116,120 75,76,77

硬度试验结果(H) 检验报告编号_____

焊 缝	热影响区	母 材
/	/	/

金相检验结果 检验报告编号_____

宏 观	微 观	其它检验
/	/	/

无损探伤检验结果_____ 检验报告编号_____

焊工_____ 钢印号_____ 焊工合格证号_____

评定结论 合格

编 制		校 对		审 核		审 定	
日 期		日 期		日 期		日 期	

焊接工艺设计书

编号 No ChS-11

工艺评定编号 ChP-11

评定项目 SG-2 垂直气电焊(A、DH32)接头

焊接方法 垂直气电焊 自动化等级 自动化 焊接位置 3G 技术标准 CCS-96

接头坡口形式

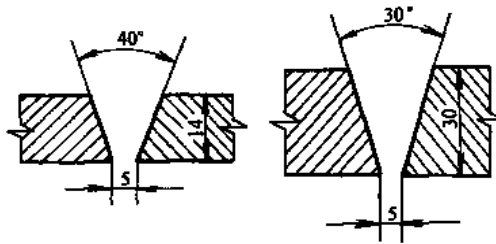


图 bP-11 左

焊接层次(顺序)



图 bP-11 右

对焊接接头的基本要求

1. 力学性能

σ_b /MPa	σ_t /MPa	δ_5 /%	弯曲角度/(°) ($d=4a$)	冲击试验			其它
				缺口形式	试验温度/°C	A_{KV} /J	
400~520	/	/	180(不裂)	V	20	≥ 34	/
400~590					0		

2. 其它 无损探伤 宏观检查

母材	牌号 A DH32 规格 14 30 mm 类别 /						
焊接材料	焊条牌号 / 焊条规格 / 型号 / 钨极型号规格 / 衬垫 JIL-0 焊丝牌号 DWS-43G 焊丝规格 $\phi 1.6$ mm 型号 / 保护气 CO ₂ 流量 20L/min 其它气体 / 流量 /						
预热焊后热处理	预热温度 / 层间温度 / 后热温度, 时间 / 消氢温度, 时间 / 中间热处理 / 时间 / 焊后热处理 / 时间 /						
焊接工艺参数要求	电流种类 直流 极性 反接 焊接电流 4" 290~310A 1J" 350~370A 电弧电压 28~30V 34~36V						
操作技术要求							
编制		校对		审核		批准	
日期		日期		日期		日期	

焊接工艺评定书

编号 No ChP-11设计书编号 No ChS-11评定项目 SG-2 垂直气电焊(A,DH32)接头焊接方法 垂直气电焊 自动化等级 自动化 焊接位置 3G 技术标准 CCS-96

接头坡口形式

见图 hP-11 左

焊接层次(顺序)

见图 hP-11 右

母材	检验编号 _____									
	牌号 <u>A DH32</u>	规格 <u>14/30mm</u>	类别 <u>/</u>							
化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S					
	0.16	0.16	0.77	0.013	0.016					
	0.17	0.28	1.18	0.017	0.005					
力学性能	σ_s /MPa	440	σ_t /MPa	310	δ_5 /%	34	A_{kv} /J	(20℃)	126,136,126	
		540		350		27		(-20℃)	62,46,60	
焊丝	检验编号 _____									
	焊丝牌号 <u>DWS-43G</u>		焊丝规格 <u>φ1.6mm</u>		焊丝型号 <u>/</u>		衬垫牌号 <u>JJL-O</u>			
化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S					
	/	/	/	/	/					
焊条	焊条牌号 <u>/</u> 焊条规格 <u>/</u> 焊条型号 <u>/</u> 检验编号 <u>/</u> <u>/</u>									
	C	Si	Mn	P	S					
熔敷金属化学成分(%)	/	/	/	/	/					

保护气体 CO₂ 流量 20 L/min 其它气体 _____ 流量 _____

预热及焊后热处理

预热温度 / 层间温度 / 后热温度 / 时间 /消氢温度 / 时间 / 中间热处理温度 / 时间 /焊后热处理温度 / 时间 /

(续)

焊接工艺参数					
电流种类 <u>直流</u> 极性 <u>反接</u>					
4 [#]		1J [#]			
焊接电流 I	290~300A	350~370A			
电弧电压 U	28~30V	34~36V			
焊矩摆幅	10次				
停留时间	前 1.0s 后 0.5s				
焊接速度	10cm/min	4cm/min			
操作技术					
性能检验结果					
拉伸试验 检验报告编号 _____					
试样编号	试样形式	σ_b /MPa	σ_t /MPa	断裂位置	
4 [#]	板状	455	/	断母材	
1J [#]		450			
		515			
		515			
定向弯曲 检验报告编号 _____					
试样编号	试样形式	弯轴直径/mm	弯曲角度/(°)	检验结果	
4 [#]	正弯、反弯	4a	180	裂 3.5mm (补, 无裂), 无裂	
1J [#]				2.4mm (补, 无裂), 无裂	
冲击韧性试验 检验报告编号 _____					
试样编号	缺口形式	缺口位置	试验温度/°C	A_{KV} /J	
4 [#]	V	焊缝中心	室温	90, 125, 96	
		熔合线		74, 94, 86	
		熔合线出 2mm		42, 36, 34	
1J [#]		焊缝中心	0	70, 53, 59	
		熔合线		114, 106, 106	
		熔合线出 2mm		37, 108, 38	
		焊缝中心	反面	68, 64, 66	
		熔合线		40, 18, 95 (补: 38, 76, 94)	
硬度试验结果 检验报告编号 _____					
接头硬度(H)					
焊 缝		热影响区		母 材	
/		/		/	
金相检验结果 检验报告编号 _____					
宏 观		微 观		其它检验	
未发现裂纹与熔合		/		/	
		/			
		/			
无损探伤检验结果 I 级 检验报告编号 _____					
焊工 _____ 钢印号 _____ 焊工合格证号 _____					
评定结论 <u>合格</u>					
编 制		校 对		审 核	
日 期		日 期		日 期	

焊接工艺设计书

编号 No ChS-12工艺评定编号 ChP-12评定项目 管子 CO₂+Ar 半自动焊接头焊接方法 CO₂+Ar 焊 自动化等级 半自动 焊接位置 水平固定 技术标准 CCS-LR

接头坡口形式

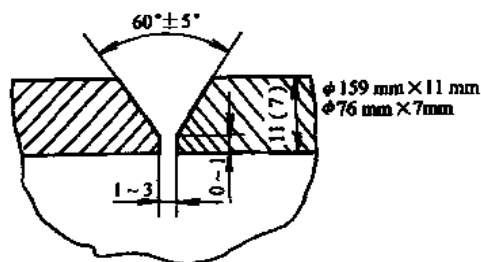


图 hP-12 左

焊接层次(顺序)

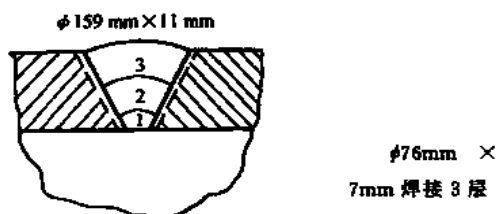


图 hP-12 右

对焊接接头的基本要求

1. 力学性能

σ_b /MPa	σ_s /MPa	δ_5 /%	弯曲角度/(°) ($d=4a$)	冲击试验			其它
				缺口形式	试验温度/°C	A_{KV} /J	
≥333	/	/	120	/	/	/	/
≥390	/	/					

2. 其它 RT 宏观检查

母材	牌号 <u>10、20 钢管</u> 规格 <u>φ159×11、φ76×7mm</u> 类别 <u>/</u>						
焊接材料	焊条牌号 <u>/</u>	焊条规格 <u>/</u>	型号 <u>/</u>	焊极型号规格 <u>/</u>	焊剂 <u>/</u>	焊丝 <u>K56</u>	焊丝 <u>φ1.2 mm</u>
	牌号 <u>H08Mn2SiA</u>	规格 <u>φ1.2mm</u>	型号 <u>/</u>	其它气体 <u>/</u>	流量 <u>/</u>	保护气 <u>CO₂, Ar</u>	流量 <u>20L/min</u>
预热焊后热处理	预热温度 <u>/</u> 层间温度 <u>/</u> 后热温度, 时间 <u>/</u> 消氢温度, 时间 <u>/</u> 中间热处理 <u>/</u> 时间 <u>/</u> 焊后热处理 <u>/</u> 时间 <u>/</u>						
焊接工艺参数要求	电流种类 <u>直流</u> 极性 <u>反接</u> 焊接电流 I <u>φ159mm×11mm 1: 80~120A 2~3: 100~140A</u> <u>φ76mm×7mm 1: 80~120A 2: 100~140A</u> 电弧电压 U <u>17~19V 19~21V 17~19V 19~21V</u>						
操作技术要求							
编制		校对		审核		批准	
日期		日期		日期		日期	

焊接工艺评定书

编号 No ChP-12设计书编号 No ChS-12评定项目 管子 CO₂+Ar 半自动焊接头焊接方法 CO₂+Ar 焊 自动化等级 手工(半自动) 焊接位置 水平固定 技术标准 CCS LR

接头坡口形式				焊接层次(顺序)							
见图 hP-12 左				见图 hP-12 右							
母材	检验编号 _____						钨极型号 / 直径 /				
	牌号 <u>10 钢管</u>	规格 <u>φ159×11</u>	类别 /								
化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Cu	Mo		
	0.12	0.24	0.50	0.015	0.026						
力学性能	σ _b /MPa	387	σ _s /MPa	300	δ ₅ /%	33.2	A _{KV} /J	/			
		441		323		31					
焊材	检验编号 _____										
	焊丝牌号 <u>K56</u>	焊丝规格 <u>φ1.2</u>	焊丝型号 /	焊剂牌号 /							
化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S						
	/	/	/	/	/						
焊条	焊条牌号 / 焊条规格 / 焊条型号 / 检验编号 /										
熔敷金属化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S						
	/	/	/	/	/						
保护气体 <u>CO₂+Ar</u> 流量 <u>20L/min</u> 其它气体 / 流量 /											
预热及焊后热处理											
预热温度 / 层间温度 / 后热温度 / 时间 /											
消氢温度 / 时间 / 中间热处理温度 / 时间 /											
焊后热处理温度 / 时间 /											

(续)

焊接工艺参数

电流种类 直流 极性 反接

$\phi 159 \times 11/\text{mm}$	焊接电流/A	电弧电压/V	$\phi 76 \times 7/\text{mm}$	焊接电流/A	电弧电压/V
焊道 1	80~120	17~19	焊道 1	80~120	17~19
焊道 2~3	100~140	19~21	焊道 2	100~140	19~21

操作技术

性能检验结果

拉伸试验

检验报告编号 _____

试样编号	试样形式	σ_b/MPa	σ_t/MPa	断裂位置	
1	接头拉伸	436, 441	/	断母材	2", 4" 整管拉伸
2		470			
3		421, 431			
4		470			

定向弯曲

检验报告编号 _____

试样编号	试样形式	弯轴直径/mm	弯曲角度/(°)	检验结果
1	正弯、反弯	24 20	120	好
2				
3				
4				

冲击韧性试验

检验报告编号 _____

试样编号	缺口形式	缺口位置	试验温度/°C	A_{KV}/J
/	/	/	/	/

硬度试验结果(H)

检验报告编号 _____

接头硬度(H)

焊 缝	热影响区	母 材
/	/	/

金相检验结果

检验报告编号 _____

宏 观	微 观	其它检验
合格	/	/

无损探伤检验结果 I 级无缺陷 检验报告编号 _____

焊工 _____ 钢印号 _____ 焊工合格证号 _____

评定结论 合格

编 制	校 对	审 核	审 定
日 期	日 期	日 期	日 期

焊接工艺设计书

编号 No ChS-13工艺评定编号 ChP-13评定项目 "FAB"衬垫双丝单面埋弧对接接头焊接方法 单面埋弧焊 自动化等级 机械化 焊接位置 1G 技术标准 CCS-89

接头坡口形式

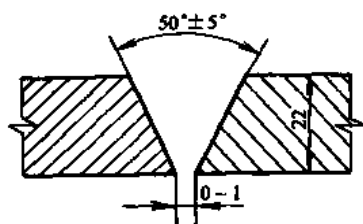


图 hP-13 左

焊接层次(顺序)



图 hP-13 右

对焊接接头的基本要求

1. 力学性能

σ_b /MPa	σ_s /MPa	δ_5 /%	弯曲角度/(°) ($d=64\text{mm}$)	冲击试验			其它
				缺口形式	试验温度/°C	A_{KV} /J	
400~490	/	/	120	V	0	≥ 20	/

2. 其它 无损探伤 宏观检查

母材	牌号 <u>D</u> 规格 <u>22mm</u> 类别 <u>/</u>						
焊接材料	填充金属粉 <u>RR-2</u> 焊条规格 <u> </u> 型号 <u> </u> 钨极型号规格 <u>/</u> 焊剂 <u>PFI-45</u> 焊丝牌号 <u>US-43</u> 焊丝规格 <u>φ 4.8mm</u> 衬垫 <u>FAB-1</u> 保护气 <u>/</u> 流量 <u>/</u> 其它气体 <u>/</u> 流量 <u>/</u>						
预热焊后热处理	预热温度 <u>/</u> 层间温度 <u>/</u> 后热温度, 时间 <u>/</u> °C/h 消氢温度, 时间 <u>/</u> 中间热处理 <u>/</u> 时间 <u>/</u> 焊后热处理 <u>/</u> 时间 <u>/</u>						
焊接工艺参数要求	电流种类 <u>前丝 DC</u> 极性 <u>反接</u> 焊接电流 I <u>前丝 950~1000A 后丝 830~850A</u> 电弧电压 U <u>32~33V 36~37V</u> 焊丝伸出长度 <u>前丝 35mm 后丝 45mm</u> 焊丝间距 <u>70mm</u> 填充金属粉厚度 <u>22mm</u> 焊丝倾斜 <u>前丝 10° 后丝 0°</u>						
操作技术要求							
编制		校对		审核		批准	
日期		日期		日期		日期	

焊接工艺评定书

编号 No ChP-13设计书编号 No ChS-13评定项目 "FAB"衬垫双丝单面埋弧对接接头焊接方法 单面埋弧焊 自动化等级 机械化 焊接位置 平 技术标准 CCS-89

接头坡口形式					焊接层次(顺序)					
见图 hP-13 左					见图 hP-13 右					
母材	检验号 <u> </u>								钨极型号 <u> / </u> 直径 <u> / </u>	
	牌号 <u>D</u>	规格 <u>22mm</u>	类别 <u>/</u>							
化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Cr	Al	
	0.12	0.21	1.01	0.015	0.009	0.01	0.01	0.02	0.029	
力学性能	σ_b /MPa	423		σ_s /MPa	274		δ_5 /%	33		(-10℃) A_{kv} /J
	219									
焊材	检验编号 <u> </u>									
	焊丝牌号 <u>US-43</u>	焊丝规格 <u>φ 4.8mm</u>	衬垫 <u>FAB-1</u>	焊剂牌号 <u>PFI-45</u>	填充金属粉 <u>RR-2</u>					
化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S					
	/	/	/	/	/					
焊条	焊条牌号 <u>/</u> 焊条规格 <u>/</u> 焊条型号 <u>/</u> 检验编号 <u> </u>									
熔敷金属化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S					
	/	/	/	/	/					
保护气体 <u>/</u> 流量 <u>/</u> 其它气体 <u>/</u> 流量 <u>/</u>										
预热及焊后热处理										
预热温度 <u>/</u> 层间温度 <u>/</u> 后热温度 <u>/</u> 时间 <u>/</u>										
消氢温度 <u>/</u> 时间 <u>/</u> 中间热处理温度 <u>/</u> 时间 <u>/</u>										
焊后热处理温度 <u>/</u> 时间 <u>/</u>										

(续)

焊接工艺参数

电流种类 前丝、后丝 极性 反接

	焊接电流/A	电弧电压/V	焊接速度/(cm/min)	焊丝伸出长度/mm	焊丝倾斜/(°)	焊出间距/mm
前丝	950~1000	32~33	30	35	10	70
后丝	830~850	36~37	/	45	0	

操作技术

性能检验结果

拉伸试验

检验报告编号 _____

试样编号	试样形式	σ_b /MPa	σ_s /MPa	断裂位置	
	板状	446	/	断焊缝	

定向弯曲

检验报告编号 _____

试样编号	试样形式	弯轴直径/mm	弯曲角度/(°)	检验结果
	正弯、反弯	$d=64$	120	好

冲击韧性试验

检验报告编号 _____

试样编号	缺口形式	缺口位置	试验温度/°C	A_{KV} /J
	V	正面焊缝中心 反面焊缝中心	0	94,100,105 110,118,90

硬度试验结果(H)

检验报告编号 _____

焊 缝	热影响区	母 材
/	/	/

金相检验结果

检验报告编号 _____

宏 观	微 观	其它检验
合格	/	/

无损探伤检验结果 I 级片 检验报告编号 _____

焊工 _____ 钢印号 _____ 焊工合格证号 _____

评定结论 合格

编 制		校 对		审 核		审 定	
日 期		日 期		日 期		日 期	

焊接工艺设计书

编号 No ChS-14

工艺评定编号 ChP-14

评定项目 D 钢熔嘴电渣焊对接接头

焊接方法 熔嘴电渣焊 自动化等级 自动 焊接位置 垂直 技术标准 ZC LR

接头坡口形式

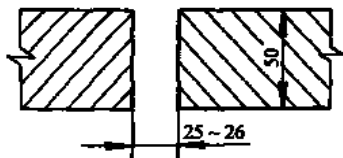


图 hP-14 左

焊接层次(顺序)



图 hP-14 右

对焊接接头的基本要求

1. 力学性能

σ_s /MPa	σ_t /MPa	δ_s /%	弯曲角度/(°) ($d=3a$)	冲击试验			其它
				缺口形式	试验温度/°C	A_{KV} /J	
400~490	≥ 235	≥ 22	120	V	0	≥ 20	/

2. 其它 RT 宏观检查

母材	牌号 <u>D</u> 规格 <u>50mm</u> 类别 <u>/</u>							
焊接材料	焊条牌号 <u>/</u>		焊条规格 <u>/</u>		型号 <u>/</u>		钨极型号规格 <u>/</u>	焊剂 <u>SH431</u>
	焊丝牌号 <u>H10Mn2</u>		焊丝规格 <u>φ 3mm</u>		熔嘴 <u>JCN-1、φ12mm</u>		保护气 <u>/</u>	流量 <u>/</u>
	其它气体 <u>/</u>						流量 <u>/</u>	
预热焊后热处理	预热温度 <u>/</u> 层间温度 <u>/</u> 后热温度,时间 <u>/</u> 消氢温度,时间 <u>/</u> 中间热处理 <u>/</u> 时间 <u>/</u> 焊后热处理 <u>正火+回火</u> 时间 <u>1.2 h</u>							
焊接工艺参数要求	电流种类 <u>交流</u> 极性 <u>/</u> 焊接电流 <u>I 470~520A</u> 焊接电压 <u>U 32~36V</u> 渣池深度 <u>40~60mm</u>							
操作技术要求								
编制		校对		审核		批准		
日期	<u>/</u>	日期	<u>/</u>	日期	<u>/</u>	日期	<u>/</u>	

焊接工艺评定书

编号 No ChP-14设计书编号 No ChS-14评定项目 D 钢熔嘴电渣焊对接接头焊接方法 熔嘴电渣焊 自动化等级 自动 焊接位置 垂直 技术标准 ZC LR

接头坡口形式

见图 hP-14 左

焊接层次(顺序)

见图 hP-14 右

母材	检验编号 <u> </u>										
	牌号 <u>D</u> 规格 <u>50mm</u> 类别 <u>/</u>					钨极型号 <u>/</u> 直径 <u>/</u>					
化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S						
	0.13	0.24	1.04	0.013	0.010						
力学性能	σ_b /MPa	431		σ_s /MPa	255		δ_5 /%	22.5		A_{KV}/J 0℃	194
焊材	检验编号 <u> </u>										
	焊丝牌号 <u>10Mn2</u> 焊丝规格 <u>φ3mm</u> 焊嘴 <u>JCN-1 φ12</u> 焊剂牌号 <u>SH431</u>										
化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S						
	/	/	/	/	/						
焊条	焊条牌号 <u>/</u> 焊条规格 <u>/</u> 焊条型号 <u>/</u> 检验编号 <u>/</u> <u>/</u>										
熔敷金属化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S						
	/	/	/	/	/						
保护气体 <u>/</u> 流量 <u>/</u> 其它气体 <u>/</u> 流量 <u>/</u>											
预热及焊后热处理											
预热温度 <u>/</u> 层间温度 <u>/</u> 后热温度 <u>/</u> 时间 <u>/</u>											
消氢温度 <u>/</u> 时间 <u>/</u> 中间热处理温度 <u>/</u> 时间 <u>/</u>											
焊后热处理温度 <u>正火+回火</u> 时间 <u>1.2 h</u>											

(续)

焊接工艺参数

电流种类 交流 极性 /

焊接电流 电弧电压 渣池深度

470~520A 32~36V 40~60mm

应用范围

钢板级别 低碳钢 A、B 和 D 级

钢板厚度 20~50mm

接头形式 对接和角接

焊接位置 垂直位置

性能检验结果

拉伸试验

检验报告编号 _____

试样编号	试样形式	σ_b /MPa	σ_s /MPa	断裂位置	δ_5 /%	ψ /%
	全焊缝纵向拉伸($\phi 10$)	495	328	断熔合线	33.0	61.5
	接头拉伸	485	323	断母线	29.0	68.5

定向弯曲

检验报告编号 _____

试样编号	试样形式	弯轴直径/mm	弯曲角度/(°)	检验结果
	正弯 反弯	a	120	好

冲击韧性试验

检验报告编号 _____

试样编号	缺口形式	缺口位置	试验温度/°C	A_{kv} /J
	V	焊缝中心	0	254,59,35
		熔合线进 2mm		105,96,75
		熔合线出 2mm		55,50,71
		熔合线出 4mm		94,84,78

硬度试验结果(HV)

检验报告编号 _____

焊 缝	热影响区	母 材
/	/	/

金相检验结果

检验报告编号 _____

宏 观	微 观	其它检验
合格	/	/

无损探伤检验结果 X 光检查均为 I 级片 检验报告编号 _____

焊工 _____ 钢印号 _____ 焊工合格证号 _____

评定结论 合格

编 制	校 对	审 核	审 定
日 期	日 期	日 期	日 期

焊接工艺设计书

编号 No ChS-15工艺评定编号 ChP-15评定项目 硅砂衬垫单面手弧焊+埋弧焊接头焊接方法 单面 SMAW+SAW 自动化等级 手工+机械化 焊接位置 平 技术标准 CS-89

接头坡口形式

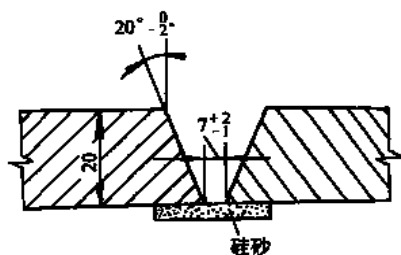


图 hP-15 左

焊接层次(顺序)

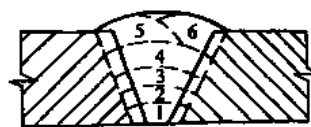


图 hP-15 右

SMAW 焊
焊 1~3 层。
SAW 焊 4~6
层

对焊接接头的基本要求

1. 力学性能

σ_b /MPa	σ_s /MPa	δ_5 /%	弯曲角度/(°) ($d=60\text{mm}$)	冲击试验			其 它
				缺口形式	试验温度/°C	A_{kv} /J	
440~590	≥ 315	≥ 22	38	V	0	≥ 20	HV30
400~490	≥ 235	≥ 22	120, 180				

2. 其它

母材	牌号 <u>DH32</u> <u>B</u>	规格 <u>20</u> <u>20</u> mm	类别 <u>/</u>				
焊接材料	焊条牌号 <u>SH427-01</u>	焊条规格 <u>$\phi 4$</u> <u>$\phi 5\text{mm}$</u>	型号 <u>/</u>	药皮型号规格 <u>/</u>	焊剂 <u>PFH-55</u> <u>SH431</u>		
	焊丝 <u>US-43</u>	焊丝 <u>$\phi 4.8\text{mm}$</u>	保护气 <u>/</u>		流量 <u>/</u>		
	牌号 <u>H08A</u>	规格 <u>$\phi 5.0\text{mm}$</u>	型号 <u>/</u>	其它气体 <u>/</u>	流量 <u>/</u>		
预热焊后热处理	预热温度 <u>/</u> 层间温度 <u>/</u> 后热温度, 时间 <u>/</u> 消氢温度, 时间 <u>/</u> 中间热处理 <u>/</u> 时间 <u>/</u> 焊后热处理 <u>/</u> 时间 <u>/</u>						
焊接工艺参数要求	电流种类 <u>直流</u> 极性 <u>反接</u> 焊接电流 I <u>SMAW: 1 道 $\phi 4\text{mm}$ 140~160A 2 道 $\phi 5\text{mm}$ 240~260A</u> <u>3 道 $\phi 5\text{mm}$ 240~260A</u> 电弧电压 U <u>23~25V 25~27V 25~27V</u> SAW: 焊接电流 I <u>US-43 $\phi 48$ H08A $\phi 5$ 725~775A 700~750A 700~750A</u> SAW: 电弧电压 U <u>35~36V 35~36V 35~36V</u> 焊接速度 <u>31.5 38.5 38.5</u> cm/min						
操作技术要求							
编 制		校 对		审 核		批 准	
日 期		日 期		日 期		日 期	

焊接工艺评定书

编号 No ChP-15

设计书编号 No ChS-15

评定项目 硅砂衬垫单面埋弧焊手弧焊+埋弧焊接头

焊接方法 单面 SMAW+SAW 自动化等级 手工+机械化 焊接位置 平 技术标准 CS-89

接头坡口形式

见图 hP-15 左

焊接层次(顺序)

见图 hP-15 右

母材	检验编号 _____									
	牌号 DH32 B	规格 20 20mm	类别 /	钢板型号 / , 直径 /						
化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Cr	Mo	
	0.15 0.14	0.30 0.23	1.30 0.95	0.016 0.019	0.008 0.019	0.01 0.01	0.02 0.02	0.02 0.03	0.01	
力学性能	σ_s /MPa	511 457	σ_t /MPa	372 199	δ_5 /%	29 36	A_{KV}/J (-20℃) (0℃)		170,181,181 122,132,137	
焊材	检验编号 _____									
	焊丝牌号 US-43 H08A	焊丝规格 $\phi 4.8$ $\phi 5.0$ mm	焊丝型号 /	焊剂牌号 PFH-55 SH431						
化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S					
	/	/	/	/	/					
焊条	焊条牌号 SH427.01 焊条规格 $\phi 4$ $\phi 5$ mm 焊条型号 / 检验编号 _____									
熔敷金属化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S					
	/	/	/	/	/					

保护气体 _____ 流量 / 其它气体 _____ 流量 _____

预热及焊后热处理

预热温度 / 层间温度 / 后热温度 / 时间 /

消氢温度 / 时间 / 中间热处理温度 / 时间 /

焊后热处理温度 / 时间 /

(续)

焊接工艺参数 电流种类 <u>直流</u> 极性 <u>反接</u>	SMAW	焊道数	焊条 焊丝 直径/mm	焊接电流 /A	电弧电压 /V	焊接速度 /(cm/min)
		1	φ4	140~160	23~25	
		2	φ5	240~260	25~27	
	SAW	3	φ5	240~260	25~27	
		4	US-43 H08A φ4.8 φ5	725~775	35~36	31.5
		5	φ4.8 φ5	700~750	35~36	38.5
		6	φ4.8 φ5	700~750	35~36	38.5

应用范围

钢材级别 低碳钢 A、B、D 高强度 AH32 DH32

钢板厚度 25mm 以下

接头种类 中、大合拢对接

性能检验结果

拉伸试验

检验报告编号 _____

试样编号	试样形式	σ_b /MPa	σ_s /MPa	断裂位置	δ_5 /%	φ /%
D32×D32	焊缝纵向拉伸 接头拉伸	568	475 529	断母材	26.0	72.0

定向弯曲

检验报告编号 _____

试样编号	试验形式	弯轴直径/mm	弯曲角度/(°)	检验结果
	正弯 反弯 侧弯	$d=60$ $d=38$	120 180	好

操作技术

性能检验结果

拉伸试验

检验报告编号 _____

试样编号	试样形式	σ_b /MPa	σ_s /MPa	断裂位置	δ_5 /%	φ /%
DH32×B	焊缝纵向拉伸 接头拉伸	475 461	348		32	70

定向弯曲

检验报告编号 _____

试样编号	试验形式	弯轴直径/mm	弯曲角度/(°)	检验结果
	正弯 反弯 侧弯	$d=60$ $d=38$	120 180	好

(续)

冲击韧性试验		检验报告编号		
试样编号	缺口形式	缺口位置	试验温度/°C	A_{KV}/J
DH32×DH32	V	正面焊缝中心 反面焊缝中心 正面熔合线进 2mm 正面熔合线出 2mm	0	121,152,75 148,95,168 112,130,135 175,204,197

硬度试验结果(HV ₃₀)		检验报告编号	
测定位置	硬 度 值	硬 度 值	
	A 158,160,160,160,160,178,198, 198,214,226,226,222,231,236, 241,214,214,198	B 160,163,160,155,160,160,160, 158,155,155	

金相检验结果		检验报告编号	
宏 观	微 观	其它检验	
/	/	/	

冲击韧性试验		检验报告编号		
试样编号	缺口形式	缺口位置	试验温度/°C	A_{KV}/J
DH32×B	V	正面焊缝中心 反面焊缝中心 正面熔合线进 2mm 正面熔合线出 2mm	0	50,49,75 41,39,74 84,94,60 179,179,197

硬度试验结果(HV ₃₀)		检验报告编号	
测定位置	硬 度 值	硬 度 值	
	A 136,140,136,155,155,155,160, 155,155,160,150,160,165,165, 150,145,145,145,145,153,155, 155,155,155,191,191,178,160, 160,163,163	C 136,136,136,136,136,136,145, 145,150,150,155,155,150,150, 158,160,163	

金相检验结果		检验报告编号	
宏 观	微 观	其它检验	
/	/	/	

无损探伤检验结果 检验报告编号

焊工 钢印号 焊工合格证号

评定结论 合格

编 制		校 对		审 核		审 定	
日 期		日 期		日 期		日 期	

焊接工艺设计书

编号 No ChS-16

工艺评定编号 ChP-16

评定项目 高强度埋弧焊与 CO₂ 单面焊对接接头焊接方法 埋弧焊+CO₂ 单面焊

自动化等级 手工+机械化

焊接位置 平

技术标准 CCS-89

接头坡口形式

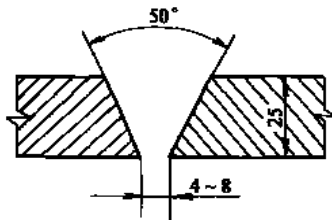


图 hP-16 左

焊接层次(顺序)



图 hP-16 右

第 1~2 层
CO₂ 气体保
护焊 3~10
道为埋弧焊

对焊接接头的基本要求

1. 力学性能

σ_b /MPa	σ_s /MPa	δ_5 /%	弯曲角度/(°) ($d=4a$)	冲击试验			其 它
				缺口形式	试验温度/°C	A_{KV} /J	
440~590	/	/	180	V	0	≥22	HV30≤280

2. 其它 RT 宏观检查

母材	牌号 DH32 规格 25mm 类别 /					
焊接材料	焊条牌号 / 焊条规格 / 型号 / 钨极型号规格 / 焊剂 SH331 焊丝 MG-50T(CO ₂) 焊丝 ϕ 1.2mm 保护气 CO ₂ 流量 20L/min 牌号 H10Mn2(埋弧焊) 规格 ϕ 5.0 mm 型号 / 其它气体 / 流量 /					
预热焊后热处理	预热温度 / 层间温度 / 后热温度, 时间 / 消氢温度, 时间 / 中间热处理 / 时间 / 焊后热处理 / 时间 /					
焊接工艺参数要求	电流种类 直流 极性 反接 焊接电流 I 焊道 1: ϕ 12mm 180~190A 焊道 2: ϕ 12mm 230~240A 焊道 3~4: ϕ 5.0mm 625~675A 焊道 5~8: ϕ 5.0mm 675~725A 焊道 9~12: ϕ 5.0mm 675~725A 电弧电压 U 20~27V 33~34V 32~33V 32~33V 32~33V 焊接速度 48~50cm/min 40~42cm/min 33~35cm/min					
操作技术要求						
编 制		校 对		审 核		批 准
日 期		日 期		日 期		日 期

焊接工艺评定书

编号 No ChP-16

设计书编号 No ChS-16

评定项目 高强度埋弧与 CO₂ 单面焊对接接头焊接方法 埋弧+CO₂ 单面焊 自动化等级 手工+机械化 焊接位置 平 技术标准 CCS-89

接头坡口形式

焊接层次(顺序)

见图 hP-16 左

见图 hP-16 右

母材	检验编号 _____									
	牌号 DH32	规格 25mm	类别 /	钢板型号 / 直径 /						
化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S	Cu	Mo	Cr		
	0.14	0.29	1.42	0.014	0.005	0.01	0.01	0.03		
力学性能	σ_s /MPa	506	σ_b /MPa	392	δ_5 /%	29%	A_{kv}/J (-20°C)	241,249,249		
焊材	检验编号 _____									
	焊丝牌号 MG-507(CO ₂) H10Mn2(埋弧焊)	焊丝规格 $\phi 1.2$ $\phi 5.0$ mm	焊丝型号 /	焊剂牌号 SH331						
化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S					
	/	/	/	/	/					
焊条	焊条牌号 / 焊条规格 / 焊条型号 / 检验编号 _____									
熔敷金属化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S					
	/	/	/	/	/					

保护气体 CO₂ 流量 20L/min 其它气体 / 流量 /

预热及焊后热处理

预热温度 / 层间温度 / 后热温度 / 时间 /

消氢温度 / 时间 / 中间热处理温度 / 时间 /

焊后热处理温度 / 时间 /

(续)

焊接工艺参数

焊接种类 直流 极性 反接

焊道数	焊条直径/mm	焊接电流/A	电弧电压/V	焊接速度/(cm/min)	
1	φ1.2	180~190	20~27		
2	φ1.2	230~240	33~34		
3~4	φ5	625~675	32~33	48~50	
5~8	φ5	675~725	32~33	40~42	
9~10	φ5	675~725	32~33	33~35	

操作技术

性能检验结果

拉伸试验

检验报告编号 _____

试样编号	试样形式	σ_b /MPa	σ_t /MPa	断裂位置	
	板状	506 511	/	断母材	

定向弯曲

检验报告编号 _____

试样编号	试样形式	弯轴直径/mm	弯曲角度/(°)	检验结果
	侧弯	$d=4a$	180	无裂

冲击韧性试验

检验报告编号 _____

试样编号	缺口形式	缺口位置	试验温度/°C	A_{kv} /J
	V	焊缝中心 熔合线 熔合线出 2mm 焊缝中心 熔合线	0	133,141,141 54,83,53 57,54,53 145,131,131 92,95,68

硬度试验结果(HV₁₀)

测定位置	硬 度 值	硬 度 值
	A 155,165,171,171,175,175,181, 181,175,181,155,155	B 160,160,163,165,168,163,155, 155,155

金相检验结果

检验报告编号 _____

宏 观	微 观	其它检验
合格	/	/

无损探伤检验结果 I 级片 检验报告编号 _____

焊工 _____ 钢印号 _____ 焊工合格证号 _____

评定结论 合格

编 制	校 对	审 核	审 定
日 期	日 期	日 期	日 期

焊接工艺设计书

编号 No ChS-17

工艺评定编号 ChP-17

评定项目 4C、D 钢手弧焊+埋弧焊对接接头

焊接方法 SMAW+SAW 自动化等级 手工+机械化 焊接位置 仰、平 技术标准 CCS-89

接头坡口形式

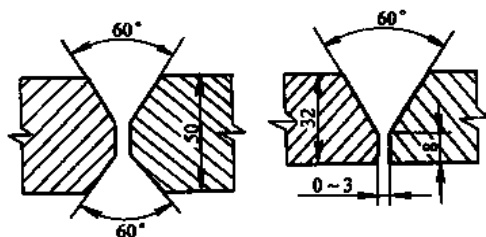
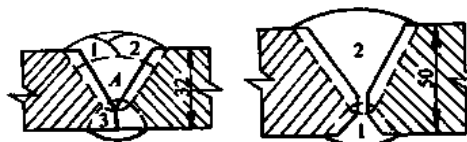


图 hP-17 左

焊接层次(顺序)



A—手弧焊缝 1—手工仰焊缝
1、2、3—埋弧焊缝 2—埋弧焊缝
图 hP-17 右 (20 道焊缝)

对焊接接头的基本要求

1. 力学性能

σ_b /MPa	σ_s /MPa	δ_5 /%	弯曲角度/(°) ($d=75$ mm)	冲击试验			其 它
				缺口形式	试验温度/°C	A_{KV} /J	
400~490			120	V	0	≥ 20	/

2. 其它 RT 宏观检查

母材	牌号 4C D 规格 32 mm 类别 /						
焊接材料	焊条牌号 SH427-01 焊条规格 $\phi 4$ mm 型号 / 药极型号规格 / 焊剂 SH431 焊丝牌号 H08A 焊丝规格 $\phi 5$ mm 型号 / 保护气 / 流量 / 其它气体 / 流量 /						
预热焊后热处理	预热温度 / 层间温度 / 后热温度, 时间 / °C/h 消氢温度, 时间 / 中间热处理 / 时间 / 焊后热处理 / 时间 /						
焊接工艺参数要求	电流种类 直流 极性 反接 焊接电流 I $\phi 32$ mm SMAW $\phi 5$ mm 220~240A SAW $\phi 5$ mm 1: 625~675A 2: 625~675A 3: 825~875A 电弧电压 U 31~33V 33~35V 33~35V 33~35V 焊接速度, 1: 46~48cm/min 2: 46~48 1: 31~33cm/min $\phi 50$ mm 焊接电流 I SAW $\phi 4$ mm 140~170A SAW1: 975~1025A 2~4: 825~875A 5~15: 825~875A 16~20: 675~725A 焊接电压 27~29V 33~35V 34~36V 33~35V 32~34V 焊接速度, 36~38cm/min 31~33cm/min 40~42cm/min 46~48cm/min						
操作技术要求							
编制		校 对		审 核		批 准	
日期		日期		日期		日期	

焊接工艺评定书

编号 No ChP-17设计书编号 No ChS-17评定项目 4C、D 钢手弧焊+埋弧焊对接接头焊接方法 SMAW+SAW 自动化等级 手工+机械化 焊接位置 仰、平 技术标准 CCS-89

接头坡口形式

焊接层次(顺序)

见图 hP-17 左

见图 hP-17 右

母材	检验编号 _____						钨极型号 / 直径 /				
	牌号 <u>4C D</u>	规格 <u>32 mm</u>	类别 /								
化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S	Cu					
	0.18 0.13	0.238 0.24	0.695 1.02	0.012 0.018	0.029 0.011	0.149					
力学性能	σ_b /MPa	461 431	σ_s /MPa	294 274	δ_5 /%	27 35	A_{kv}/J	(-40°C) 0°C	37 220		
焊材	检验编号 _____										
	焊丝牌号 <u>H08A</u> 焊丝规格 <u>φ5 mm</u> 焊丝型号 / 焊剂牌号 <u>SH431</u>										
化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S						
	/	/	/	/	/						
焊条	焊条牌号 <u>SH427-01</u> 焊条规格 <u>φ4.5mm</u> 焊条型号 / 检验编号 _____										
熔敷金属化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S						
	/	/	/	/	/						

保护气体 / 流量 / 其它气体 / , 流量 /

预热及焊后热处理

预热温度 / 层间温度 / 后热温度 / 时间 /

消氢温度 / 时间 / 中间热处理温度 / 时间 /

焊后热处理温度 / 时间 /

(续)

焊接工艺参数

电流种类 直流 极性 反接

$\delta 32\text{mm}$	焊接方法	焊条(丝)直径/mm	焊接电流/A	电弧电压/V	焊接速度/(cm/min)	$\delta 50\text{mm}$	焊接方法	焊条(丝)直径/mm	焊接电流/A	电弧电压/V	焊接速度/(cm/min)
焊道数	SMAW	$\phi 5$	200~240	31~33		焊接层次	SMAW	$\phi 4$	140~170	27~29	
1	SAW		625~675	33~35	46~48	1	SAW		975~1025	33~35	36~38
2		$\phi 5$	625~675	33~35	46~48	2~4		$\phi 5$	825~875	34~36	31~33
3			825~875	33~35	31~33	5~15			825~875	33~35	40~42
						16~20			675~725	32~34	46~48

操作技术

性能检验结果

拉伸试验

检验报告编号

试样编号	试样形式	σ_b/MPa	σ_s/MPa	断裂位置	
$\delta 32\text{mm}$	接头拉伸	495	/	断母材	/
		485			
$\delta 50\text{mm}$		500			
		485			

定向弯曲

检验报告编号

试样编号	试验形式	弯轴直径/mm	弯曲角度/(°)	检验结果
$\delta 32\text{mm}$	正弯、反弯	$D=75$	120	好
$\delta 50\text{mm}$		$d=a$		

冲击韧性试验

检验报告编号

试样编号	缺口形式	缺口位置	试验温度/°C	A_{KV}/J
$\delta 32\text{mm}$	V	焊缝中心	0	74, 74, 74
$\delta 50\text{mm}$		焊缝中心	0	110, 59, 95

硬度试验结果(H)

检验报告编号

接头硬度(H)

焊 缝	热影响区	母 材

金相检验结果

检验报告编号

宏 观	微 观	其它检验
焊缝充分焊透 无焊接缺陷	/	/

无损探伤检验结果 I 级片 检验报告编号焊工 钢印号 焊工合格证号 评定结论 合格

编 制	校 对	审 核	审 定
日 期	日 期	日 期	日 期

2 其它钢结构部件的焊接工艺评定实例

其它钢结构部件的焊接工艺评定实例按焊接方法, 分别介绍如下 (ChP-18~ChP-29)

焊接工艺设计书

编号 No ChS-18

工艺评定编号 ChP-18

评定项目 主管管倾斜相交节点角接接头

焊接方法 SMAW 自动化等级 手工 焊接位置 2F 技术标准 CCS-89

接头坡口形式

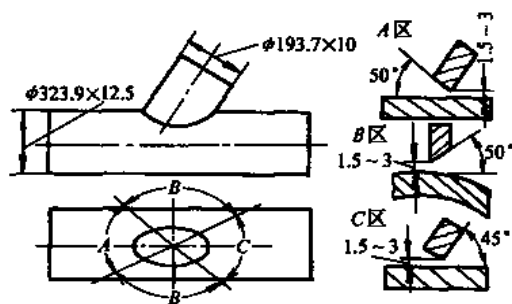


图 hp-18 左

焊接层次(顺序)

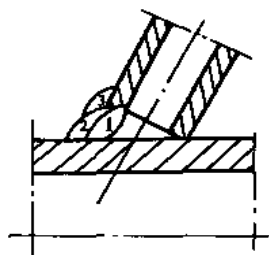


图 hp-18 右

对焊接接头的基本要求

1. 力学性能

σ_b /MPa	σ_s /MPa	δ_5 /%	弯曲角度/(°) $d=a$	冲击试验			其它
				缺口形式	试验温度/°C	A_K /J	
/	/	/	/	/	/	/	/

2. 其它 宏观金相检查 A、B区焊透 A、B区焊脚尺寸 $K=9\text{mm}$

母材	牌号 <u>50D</u> 规格 <u>φ193.7×10, φ323.9×12.5mm</u> 类别 <u>/</u>	
焊接材料	焊条牌号 <u>SH507.01</u> 焊条规格 <u>φ3.2、φ4</u> mm 型号 <u>/</u> 钨极型号规格 <u>/</u> 焊剂 <u>/</u> 焊丝牌号 <u>/</u> 焊丝规格 <u>/</u> 型号 <u>/</u> 保护气 <u>/</u> 流量 <u>/</u> 其它气体 <u>/</u> 流量 <u>/</u>	
预热焊后热处理	预热温度 <u>/</u> 层间温度 <u>/</u> 后热温度, 时间 <u>/</u> 消氢温度, 时间 <u>/</u> 中间热处理 <u>/</u> 时间 <u>/</u> 焊后热处理 <u>/</u> 时间 <u>/</u>	
焊接工艺参数要求	电流种类 <u>直流</u> 极性 <u>反接</u> 焊接电流 <u>I</u> 根部焊道 <u>φ3.2mm, 110~130A</u> 其余: <u>φ4mm 140~160A</u> 电弧电压 <u>U 23~25V 25~27V</u>	
操作技术要求		

编 制		校 对		审 核		批 准	
日 期		日 期		日 期		日 期	

焊接工艺评定书

编号 No ChP-18

设计书编号 No ChS-18

评定项目 主管倾斜相交节点角接接头

焊接方法 SMAW 自动化等级 手工 焊接位置 2F 技术标准 CCS-89

接头坡口形式	焊接层次(顺序)
见图 hP-18 左	见图 hP-18 右

母材	检验编号 _____							钢板型号 / 直径 /		
	牌号 50D	规格 $\phi 193.7 \times 10$	$\phi 323.9 \times 12.5\text{mm}$	类别 /						
	C	Si	Mn	P	S	V	Nb			
化学成分(%)	0.18	0.10	1.39	0.015	0.011	0.003	0.038			
	0.16	0.377	1.34	0.022	0.010	0.003	0.037			
力学性能	σ_b/MPa	420.0		σ_s/MPa	547.0	$\delta_5/\%$	28	$A_K/(J)$	130,121,124,	
		371			542		34	-20°C	162,165,155	

焊材	检验编号 _____									
	焊丝牌号 /	焊丝规格 /	焊丝型号 /	焊剂牌号 /						
化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S					
	/	/	/	/	/					
焊条	焊条牌号 SH507.01 焊条规格 $\phi 3.2\text{mm}$, $\phi 4\text{mm}$ 焊条型号 / 检验编号 _____									
熔敷金属化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S					

保护气体 / 流量 / 其它气体 / 流量 /

预热及焊后热处理

预热温度 / 层间温度 / 后热温度 / 时间 / 消氢温度 /
 时间 / 中间热处理温度 / 时间 / 焊后热处理温度 /°C 时间 /

(续)

焊接工艺参数

焊接电流 I 电流种类 直流 极性 反接根部焊道 $\phi 3.2\text{mm}$ 时 110~130A 23~25V其余焊道 $\phi 4\text{mm}$ 时 140~160A 25~27V

操作技术

性能检验结果

拉伸试验

检验报告编号 _____

试样编号	试样形式	σ_b/MPa	σ_s/MPa	断裂位置	
/	/	/	/	/	

定向弯曲

检验报告编号 _____

试样编号	试验形式	弯轴直径/mm	弯曲角度/(°)	检验结果
/	/		/	/

冲击韧性试验

检验报告编号 _____

试样编号	缺口形式	缺口位置	试验温度/°C	A_K/J
/	/	/	/	/

硬度试验结果(H)

检验报告编号 _____

焊 缝	热影响区	母 材
/	/	/

金相检验结果

检验报告编号 _____

宏 观	微 观	其它检验
宏观断面无裂纹和未熔合缺陷 焊脚尺寸 K 符合要求	/	/

无损探伤检验结果 _____

检验报告编号 _____

焊工 _____

钢印号 _____

焊工合格证号 _____

评定结论 合格

编 制		校 对		审 核		审 定	
日 期		日 期		日 期		日 期	

焊接工艺设计书

编号 NoChS-19

工艺评定编号 ChP-19

评定项目 重量节点角接头

焊接方法 SMAW 自动化等级 手工 焊接位置 2F 技术标准 CCS-89

接头坡口形式

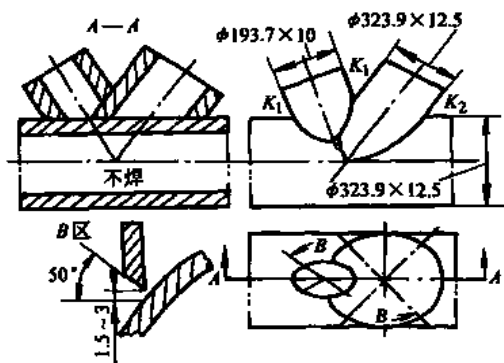


图 hp-19 左

焊接层次(顺序)

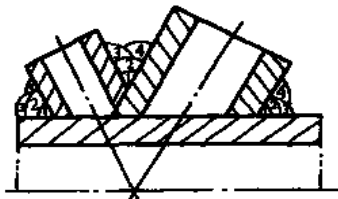


图 hp-19 右

对焊接接头的基本要求

1. 力学性能

σ_b /MPa	σ_s /MPa	δ_5 /%	弯曲角度/(°) ($d=3a$)	冲击试验			其它
				缺口形式	试验温度/°C	A_K /J	
/	/	/	/	/	/	/	/

2. 其它 宏观金相检查 B区焊透, 焊脚尺寸 K_1 11.5mm K_2 14.5mm

母材	牌号 <u>50D</u> 规格 <u>$\phi 193.7 \times 10$ $\phi 323.9 \times 12.5$mm</u> 类别 <u>/</u>													
焊接材料	焊条牌号 <u>SH507.01</u>		焊条规格 <u>$\phi 3.2$ $\phi 4$ mm</u>		型号 <u>/</u>		钨极型号规格 <u>/</u>		焊剂 <u>/</u>					
	焊丝牌号 <u>/</u>		焊丝规格 <u>/</u>		型号 <u>/</u>		保护气 <u>/</u>		流量 <u>/</u>					
							其它气体 <u>/</u>		流量 <u>/</u>					
预热焊后热处理	预热温度 <u>/</u> 层间温度 <u>/</u> 后热温度, 时间 <u>/</u> 消氢温度, 时间 <u>/</u> 中间热处理 <u>/</u> 时间 <u>/</u> 焊后热处理 <u>/</u> 时间 <u>/</u>													
焊接工艺参数要求	电流种类 <u>直流</u> 极性 <u>反接</u> 焊接电流 / 部道 $\phi 3.2$ mm 时 110~130A 其余焊道 $\phi 4$ mm 时 140~160A 电弧电压 <u>U 23~25V 25~27V</u>													
操作技术要求	按设计要求 B 区焊透, 其余部分的焊脚均要达到设计要求的焊脚尺寸, K_1 11.5mm K_2 14.5mm													
编制			校 对				审 核				批 准			
日期			日 期				日 期				日 期			

焊接工艺评定书

编号 No ChP-19

设计书编号 No ChS-19

评定项目 重叠节点角接头焊接方法 SMAW 自动化等级 手工 焊接位置 2F 技术标准 CCS-89

接头坡口形式

见图 hp-19 左

焊接层次(顺序)

见图 hp-19 右

母材	检验编号 _____								钢板型号 <u>/</u> 直径/mm		
	牌号 <u>50D</u>	规格 <u>φ193.7×10mm</u>		<u>φ323.9×12.5mm</u>		类别 <u>/</u>					
化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S						
	0.18	0.10	1.39	0.015	0.011						
	0.16	0.377	1.34	0.022	0.010						
力学性能	σ_b /MPa		547.0		σ_s /MPa		420.0		δ_5 /%	28	A_K /(J) -20°C
			542				371				
焊材	检验编号 _____										
	焊丝牌号 <u>/</u> 焊丝规格 <u>/</u> 焊丝型号 <u>/</u> 焊剂牌号 <u>/</u>										
化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S						
	/	/	/	/	/						
焊条	焊条牌号 <u>SH507.01</u> 焊条规格 <u>φ3.2 φ4mm</u> 焊条型号 <u>/</u> 检验编号 _____										
熔敷金属化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S						
	/	/	/	/	/						
保护气体 <u>/</u> 流量 <u>/</u> 其它气体 <u>/</u> 流量 <u>/</u>											
预热及焊后热处理											
预热温度 <u>/</u> 层间温度 <u>/</u> 后热温度 <u>/</u> 时间 <u>/</u> 消氢温度 <u>/</u> 时间 <u>/</u>											
中间热处理温度 <u>/</u> 时间 <u>/</u> 焊后热处理温度 <u>/</u> 时间 <u>/</u>											

焊接工艺参数

电流种类 直流 极性 反接焊接电流 / 根部焊道 $\phi 3.2\text{mm}$ 110~130A U 23~25V其余焊道 $\phi 4\text{mm}$ 140~160A U 25~27V

操作技术

性能检验结果

拉伸试验

检验报告编号 _____

试样编号	试样形式	σ_b/MPa	σ_s/MPa	断裂位置	
/	/	/	/	/	

定向弯曲

检验报告编号 _____

试样编号	试验形式	弯曲直径/mm	弯曲角度/(°)	检验结果
/	/	$d=a$	/	/

冲击韧性试验

检验报告编号 _____

试样编号	缺口形式	缺口位置	试验温度/°C	A_K/J
/	/	/	/	/

硬度试验结果(H)

检验报告编号 _____

接头硬度(H)

焊 缝	热影响区	母 材
/	/	/

金相检验结果

检验报告编号 _____

宏 观	微 观	其它检验
无裂纹和未熔合缺陷	/	/

无损探伤检验结果 _____

检验报告编号 _____

焊工 _____

钢印号 _____

焊工合格证号 _____

评定结论 合格

编 制	校 对	审 核	审 定
日 期	日 期	日 期	日 期

焊接工艺设计书

编号 No ChS-20工艺评定编号 ChP-20评定项目 Q345(16Mn)钢 CO₂ 自动角焊接头焊接方法 药芯焊丝 CO₂ 自动焊(单道) 自动化等级 机械化 焊接位置 2F 技术标准 CCS-89

接头坡口形式

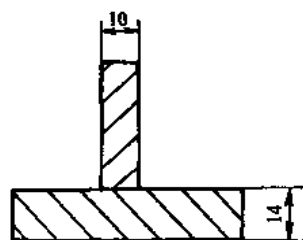


图 hp-20 左

焊接层次(顺序)

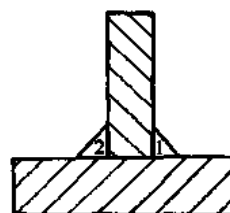


图 hp-20 右

对焊接接头的基本要求

1. 力学性能

σ_b /MPa	σ_s /MPa	δ_5 /%	弯曲角度/(°)	冲击试验			其 它
				缺口形式	试验温度	A_K /J	
/	/	/	/	/	/	/	$H_{V1} \leq 280$

2. 其它 宏观检查 焊脚尺寸 $K=7/7$

母材	牌号 <u>Q345(16Mn)</u> 规格 <u>10 14mm</u> 类别 <u>/</u>						
焊接材料	焊条牌号 <u>/</u> 焊条规格 <u>/</u> 型号 <u>/</u> 药极型号规格 <u>/</u> 焊剂 <u>/</u> 焊丝牌号 <u>DW-100</u> 焊丝规格 <u>φ1.2mm</u> 型号 <u>/</u> 保护气 <u>CO₂</u> 流量 <u>20L/min</u> 其它气体 <u>/</u> 流量 <u>/</u>						
预热焊后热处理	预热温度 <u>/</u> 层间温度 <u>/</u> 后热温度, 时间 <u>/</u> 消氢温度, 时间 <u>/</u> 中间热处理 <u>/</u> 时间 <u>/</u> 焊后热处理 <u>/</u> 时间 <u>/</u>						
焊接工艺参数要求	电流种类 <u>直流</u> 极性 <u>反接</u> 焊接电流 I <u>300~320A</u> 电弧电压 U <u>34~36V</u> 焊接速度 <u>370cm/min</u>						
操作技术要求	焊脚尺寸 $K=7/7$						
编 制		校 对		审 核		批 准	
日 期		日 期		日 期		日 期	

焊接工艺评定书

编号 No ChP-20设计书编号 No ChS-20评定项目 Q345(16Mn)钢 CO₂ 自动焊角接头焊接方法 药芯焊丝 CO₂ 自动角焊(单道) 自动化等级 机械化 焊接位置 2F 技术标准 CCS-89

接头坡口形式

见图 hp-20 左

焊接层次(顺序)

见图 hp-20 右

母材	检验编号 _____										钢板型号 <u> / </u> 直径 <u> / </u>			
	牌号 <u>Q345(16Mn)</u> 规格 <u>10 14mm</u> 类别 <u> / </u>													
化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S									
	0.15	0.37	1.34	0.017	0.027									
	0.16	0.41	1.45	0.023	0.010									
力学性能	σ_b /MPa		525 550		σ_s /MPa		385 345		δ_5 /%		26 28		A_K /(J)	/
焊材	检验编号 _____													
	焊丝牌号 <u>DW-100</u> 焊丝规格 <u>φ1.2mm</u> 焊丝型号 <u> / </u> 焊剂牌号 <u> / </u>													
化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S									
	/	/	/	/	/									
焊条	焊条牌号 <u> / </u> 焊条规格 <u> / </u> 焊条型号 <u> / </u> 检验编号 _____													
熔敷金属化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S									
	/	/	/	/	/									
保护气体 <u>CO₂</u> 流量 <u>20L/min</u> 其它气体 <u> / </u> 流量 <u> / </u>														
预热及焊后热处理														
预热温度 <u> / </u> 层间温度 <u> / </u> 后热温度 <u> / </u> 时间 <u> / </u> 消氢温度 <u> / </u> 时间 <u> / </u>														
中间热处理温度 <u> / </u> 时间 <u> / </u> 焊后热处理温度 <u> / </u> 时间 <u> / </u>														

(续)

焊接工艺参数

电流种类 直流 极性 反接

焊道数	焊丝直径/mm	焊接电流/A	电弧电压/V	焊接速度/(cm/min)	
1	φ1.2	300~320A	34~36	370	
2	φ1.2	300~320A	34~36	370	

操作技术

性能检验结果

拉伸试验

检验报告编号 _____

试样编号	试样形式	σ_b /MPa	σ_t /MPa	断裂位置	
/	/	/	/	/	

定向弯曲

检验报告编号 _____

试样编号	试验形式	弯轴直径/mm	弯曲角度/(°)	检验结果
/	/	/	/	/

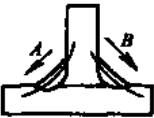
冲击韧性试验

检验报告编号 _____

试样编号	缺口形式	缺口位置	试验温度/°C	A_K /J
/	/	/	/	/

硬度试验结果(HV₁₀)

检验报告编号 _____

测定位置		
	170,170,181,206,270,254,220,220 A. 220,220,220,220,220,220,220, 220,220,317,206,181,176,181,170	B. 170,181,206,254,270,236,220, 220,220,220,220,220,220,209,301, 236,181,181,176

金相检验结果

检验报告编号 _____

宏 观	微 观	其它检验
无缺陷 焊脚尺寸 K 符合要求	/ / /	/

无损探伤检验结果 _____

检验报告编号 _____

焊工 _____

钢印号 _____

焊工合格证号 _____

评定结论 合格

编 制		校 对		审 核		审 定	
日 期		日 期		日 期		日 期	

焊接工艺设计书

编号 No ChS-21

工艺评定编号 ChS-21

评定项目 不锈钢带极埋弧堆焊接头

焊接方法 带极堆埋弧 自动化等级 机械化 焊接位置 平 技术标准 JB4708-92

接头坡口形式

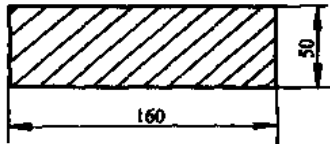


图 hp-21 左

焊接层次(顺序)

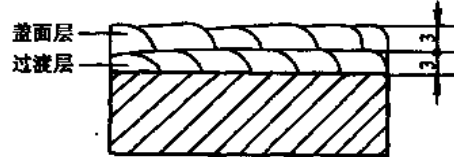


图 hp-21 右

对焊接接头的基本要求

1. 力学性能

σ_b /MPa	σ_s /MPa	δ_5 /%	弯曲角度/(°) ($d=4a$)	冲击试验			其它
				缺口形式	试验温度/°C	A_K /J	
/	≥ 395	/	180	/	/	/	$HV_{10} \leq 280$

2. 其它 金相宏观 微观检验 焊缝化学成分 RT

母材	牌号 ZG270-500 规格 50mm 类别 /				
焊接材料	焊条牌号 /	焊条规格 /	型号 /	焊极型号规格 /	焊剂 SJ602A
	焊带牌号 过渡层 E309L	焊带规格 30×0.5	型号 /	保护气 /	流量 /
	盖面层 E308L	30×0.5mm		其它气体 /	流量 /
预热焊后热处理	预热温度 / 层间温度 / 后热温度, 时间 / 消氢温度, 时间 / 中间热处理 / 时间 / 焊后热处理 / 时间 /				
焊接工艺参数要求	电流种类 直流 极性 反接 焊接电流 I 380~420A 380~420A 电弧电压 U 27~28V 27~28V 焊接速度 19~20cm/min				
操作技术要求					

编制		校对		审核		批准	
日期		日期		日期		日期	

焊接工艺评定书

编号 No ChP-21

设计书编号 No ChS-21

评定项目 不锈钢带极埋弧堆焊接头

焊接方法 带极埋弧堆焊 自动化等级 机械化 焊接位置 平 技术标准 JB4708-92

接头坡口形式

见图 hp-21 左

焊接层次(顺序)

见图 hp-21 右

母材	检验编号 _____								钨极型号 / , 直径 /	
	牌号 ZG270-500		规格 50mm		类别 /					
化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S					
力学性能	σ_b /MPa	/		σ_s /MPa	/		δ_5 /%	/		A_K /(J)
焊材	检验编号 _____									
	焊带牌号 过渡层 E309L 盖面层 E308L 焊带规格 30×0.5 30×0.5mm 焊带 /									
化学成分(%)	焊剂牌号 SJ602A									
	C	Si	Mn	P	S					
	/	/	/	/	/					
焊条	焊条牌号 / 焊条规格 / 焊条型号 / 检验编号 _____									
	C	Si	Mn	P	S					
熔敷金属化学成分(%)	/	/	/	/	/					
保护气体 / 流量 / 其它气体 / 流量 /										

预热及焊后热处理

预热温度 100~150 层间温度 >150 °C 后热温度 / 时间 / 消氢温度 / 时间 /h
 中间热处理温度 / 时间 / 焊后热处理温度 / 时间 /

(续)

焊接工艺参数			
电流种类 <u>直流</u> 极性 <u>反接</u>			
焊接层次	焊接电流/A	电弧电压/V	焊接速度/(cm/min)
过渡层:	380~420	27~28	19~20
盖面层:	380~420	27~28	19~20
操作技术			
性能检验结果			
拉伸试验 检验报告编号 _____			
试样编号	试样形式	σ_b /MPa	σ_s /MPa 断裂位置
/	圆棒拉伸	/	390 395 /
定向弯曲 检验报告编号 _____			
试样编号	试验形式	弯轴直径/mm	弯曲角度/(°) 检验结果
/	纵向 横向	$d=4a$	180 无裂
冲击韧性试验 检验报告编号 _____			
试样编号	缺口形式	缺口位置	试验温度/°C A_K /J
/	/	/	/
硬度试验结果(HV ₁₀) 检验报告编号 _____			
接头硬度			
测定位置	D193,193,187,181,193,187,193, 220,187,176,160,160,165		E199,170,181,181,193,206,187, 199,170,170,170,170
	A206,187,187,181,181,181,187, 199,181,187,193,181,193,193,199, 199,193,199,199,187,193,187,181, 199,181,193,187 C181,193,193,199,193,193,181, 193,193,193,181,160,160,160		B193,187,170,170,170,176,176, 187,193,193,187,176,187,193,193, 187,181,187,193,181,181,170, 187,176,176,193
金相检验结果 检验报告编号 _____			
宏观	微观		其它检验
经宏观检查,未发现未熔合和裂纹等缺陷	过热区 魏氏组织 过渡层 奥氏体+铁素体 盖面层 奥氏体+铁素体		焊缝金属的化学成分(质量分数%) 分析 C0.05 Si1.00 Mn1.95 S0.012 P0.023 Cr20.5 Ni11.0
无损探伤检验结果 <u>渗透探伤合格</u>			检验报告编号 _____
焊工 _____ 钢印号 _____		焊工合格证号 _____	
评定结论 <u>合格</u>			
编制	校对	审核	审定
日期	日期	日期	日期

焊接工艺设计书

编号 No ChS-22工艺评定编号 ChP-22评定项目管子 CO₂ 半自动焊对接接头焊接方法 CO₂ 焊 自动化等级 半自动 焊接位置 平 技术标准 JB4708-92

接头坡口形式

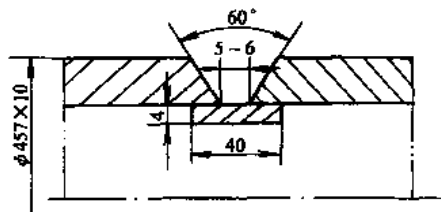


图 hp-22 左

焊接层次(顺序)

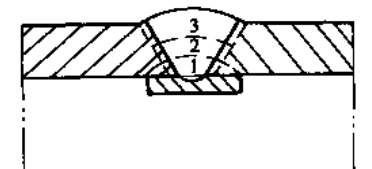


图 hp-22 右

对焊接接头的基本要求

1. 力学性能

σ_b /MPa	σ_s /MPa	δ_5 /%	弯曲角度/(°) ($d=3a$)	冲击试验			其它
				缺口形式	试验温度/°C	Akv/J	
490~630	/	/	100	V	-20	27	

2. 其它 UT

母材	牌号 <u>50D</u> 规格 <u>457×10mm</u> 类别 <u> </u>						
焊接材料	焊条牌号 <u> </u> 焊条规格 <u> </u> 型号 <u> </u> 钨极型号规格 <u> </u> 焊剂 <u> </u> 焊丝牌号 <u>MG-50T</u> 焊丝规格 <u>φ1.2mm</u> 型号 <u> </u> 保护气 <u>CO₂</u> 流量 <u>15~20L/min</u> 其它气体 <u> </u> 流量 <u> </u>						
预热焊后热处理	预热温度 <u> </u> 层间温度 <u> </u> 后热温度, 时间 <u> </u> 消氢温度, 时间 <u> </u> 中间热处理 <u> </u> 时间 <u> </u> 焊后热处理 <u> </u> 时间 <u> </u>						
焊接工艺参数要求	电流种类 <u>直流</u> 极性 <u>反接</u> 焊接电流 I <u>130~150A 220~240A 210~230A</u> 电弧电压 U <u>21~22V 26~27V 26~27V</u>						
操作技术要求							
编制		校 对		审 核		批 准	
日 期		日 期		日 期		日 期	

焊接工艺评定书

编号 No ChP-22设计书编号 No ChS-22评定项目 管子 CO₂ 半自动焊对接接头焊接方法 CO₂ 焊 自动化等级 手工半自动 焊接位置 平 技术标准 JB4708-92

接头坡口形式

见图 hp-22 左

焊接层次(顺序)

见图 hp-22 右

母材	检验编号 <u> </u>										钨极型号 <u> / </u> 直径 <u> </u>		
	牌号 <u>50D</u>		规格 <u>φ457×10mm</u>		类别 <u> / </u>								
化学成分 (%)	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	Al	N	Ti		
	0.17	0.351	1.34	0.013	0.010	0.030	0.006	0.028	0.036	0.0093	0.003		
力学性能	σ_b /MPa		548		σ_s /MPa		405		δ_5 /%		30	A_{KV} /J -20℃	100,106,101
焊材	检验编号 <u> </u>												
	焊丝牌号 <u>MG-50T</u> 焊丝规格 <u>φ1.2mm</u> 焊丝型号 <u> / </u> 焊剂牌号 <u> / </u>												
化学成分 (%)	C	Si	Mn	P	S								
	/	/	/	/	/								
焊条	焊条牌号 <u> / </u> 焊条规格 <u> / </u> 焊条型号 <u> / </u> 检验编号 <u> </u>												
熔敷金属 化学成分 (%)	C	Si	Mn	P	S								
	/	/	/	/	/								

保护气体 CO₂ 流量 15~20 L/min 其它气体 / , 流量 / L/min

预热及焊后热处理

预热温度 / 层间温度 / 后热温度 / 时间 / 消氢温度 / 时间 / 中间热处理温度 / 时间 / 焊后热处理温度 / 时间 /

(续)

焊接工艺参数

电流种类 直流 极性 反接

焊道数	焊丝直径/mm	焊接电流/A	电弧电压/V
1	$\phi 1.2$	130~150	21~22
2		220~240	26~27
3		210~230	26~27

操作技术

性能检验结果

拉伸试验

检验报告编号 _____

试样编号	试样形式	σ_b /MPa	σ_s /MPa	断裂位置	
	板状	540 545	/	断母材	

定向弯曲

检验报告编号 _____

试样编号	试样形式	弯轴直径/mm	弯曲角度/(°)	检验结果
	正弯 反弯 反弯	$d=3a$	100	裂 0.6mm(横裂)无裂 裂 0.4mm, 0.2mm(横), 裂 0.6mm(横)

冲击韧性试验

检验报告编号 _____

试样编号	缺口形式	缺口位置	试验温度/°C	A_{KV} /J
	V	焊缝中心热影响区母材	-20	30, 31, 36, 50, 102, 79 105, 144, 125

硬度试验结果(H)

检验报告编号 _____

焊 缝	热影响区	母 材
/	/	/

金相检验结果

检验报告编号 _____

宏 观	微 观	其它检验
/	/	/

无损探伤检验结果 _____

超声波探伤合格

检验报告编号 _____

焊工 _____

钢印号 _____

焊工合格证号 _____

评定结论 合格

编 制	校 对	审 核	审 定
日 期	日 期	日 期	日 期

焊接工艺设计书

编号 No ChS-23

工艺评定编号 ChP-23

评定项目 Q345(16Mn)钢手弧焊+埋弧焊对接接头

焊接方法 SMAW+SAW 自动化等级 手工+机械化 焊接位置 平 技术标准 JB4708-92

接头坡口形式

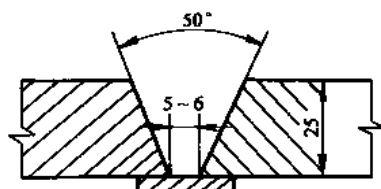


图 hp-23 左

焊接层次(顺序)

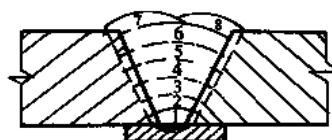


图 hp-23 右

对焊接接头的基本要求

1. 力学性能

σ_b /MPa	σ_s /MPa	δ_5 /%	弯曲角度/(°) ($d=3a$)	冲击试验			其它
				缺口形式	试验温度/°C	A_{kv} /J	
490~640			100	V	常温	≥ 27 (设计要求)	

2. 其它 焊缝金属化学成分 RT

母材	牌号 16Mn 规格 25mm 类别 /						
焊接材料	焊条牌号 SH507-01	焊条规格 $\phi 4$ $\phi 5$ mm	衬垫牌号 JN-1	钨极型号规格 /	焊剂 HJ431		
	焊丝牌号 10Mn2	焊丝规格 $\phi 5$ mm	型号 /	保护气 /	流量 /	其它气体 /	流量 /
预热焊后热处理	预热温度 / 层间温度 / 后热温度, 时间 / 消氢温度, 时间 / 中间热处理 / 时间 / 焊后热处理 / 时间 /						
焊接工艺参数要求	电流种类 直流 交流 极性 反接 SMAW 焊接电流 1~2 焊道: 140~160A 3~4 焊道: 220~240A SMAW: 电弧电压 23~25V 24~26V SMAW: 电弧电压 U 23~25V 24~26V SAW: 焊接电流 I 与焊道 675~725A 6 焊道: 725~775A 7 焊道: 650~700A SAW: 电弧电压 U 32~34V 32~34V 32~34V SAW: 焊接速度 37cm/min 32cm/min 42cm/min						
操作技术要求							

编制		校对		审核		批准	
日期		日期		日期		日期	

焊接工艺评定书

编号 No ChP-23设计书编号 No ChS-23评定项目 Q345(16Mn)手弧焊+埋弧焊对接接头焊接方法 SMAW+SAW 自动化等级 手工+机械化 焊接位置 平 技术标准 JB4708-92

接头坡口形式

见图 hp-23 左

焊接层次(顺序)

见图 hp-23 右

母材	检验编号 _____										钨极型号 <u>/</u> 直径 <u>/</u>	
	牌号 <u>Q345(16Mn)</u>		规格 <u>25mm</u>		类别 <u>/</u>							
化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S							
	0.20	0.42	1.40	0.020	0.018							
力学性能	σ_b /MPa		535		σ_s /MPa		325		δ_5 /%		29	
									A_{KV}/J		/	
焊材	检验编号 _____											
	焊丝牌号 <u>H10Mn2</u>		焊丝规格 <u>φ5mm</u>		焊丝型号 <u>/</u>		焊剂牌号 <u>HJ431</u>					
化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S							
	/	/	/	/	/							
焊条	焊条牌号 <u>SH507-01</u> 焊条规格 <u>φ4 φ5mm</u> 牌号 <u>JN-1</u> 检验编号 _____											
	C	Si	Mn	P	S							
化学成分(%)	/	/	/	/	/							

保护气体 / 流量 / 其它气体 / 流量 /

预热及焊后热处理

 预热温度 / 层间温度 / 后热温度 / 时间 / 消氢温度 / 时间 / 中间热处理温度 / 时间 / 焊后热处理温度 / 时间 /

(续)

焊接工艺参数

电流种类 SMAW:直流 SAW:交流 极性 反接

焊接方法	焊接道数	焊接电流/A	电弧电压/V	焊接速度/(cm/min)	
SMAW	1~2	140~160	23~25		
	3~4	220~240	24~26		
SAW	5	675~725	32~34	37	
	6	725~775	32~34	32	
	7~8	650~700	32~34	42	

操作技术

性能检验结果

拉伸试验

检验报告编号 _____

试样编号	试样形式	σ_b /MPa	σ_s /MPa	断裂位置	
	板状	535	/	断母材	

定向弯曲

检验报告编号 _____

试样编号	试样形式	弯轴直径/mm	弯曲角度/(°)	检验结果
	面弯 背弯	$d=3a$	100	无裂

冲击韧性试验

检验报告编号 _____

试样编号	缺口形式	缺口位置	试验温度/°C	A_{KV}/J
	V	焊缝中心 } 正面 热影响区 } 焊缝中心 } 反面 热影响区 }	常温	114,96,102 114,118,114 113,118,120 112,112,120

硬度试验结果(H)

检验报告编号 _____

接头硬度(H)

焊 缝	热影响区	母 材
/	/	/

金相检验结果

检验报告编号 _____

宏 观	微 观	其它检验
/	/	焊缝金属的化学成分(质量分数%) C0.05 Mn1.51 Si0.44 P0.020 S0.014

无损探伤检验结果X 射线探伤 I 级

检验报告编号 _____

焊工 _____

钢印号 _____

焊工合格证号 _____

评定结论 合格

编 制	校 对	审 核	审 定
日 期	日 期	日 期	日 期

焊接工艺设计书

编号 No ChS-24

工艺评定编号 ChP-24

评定项目 Q345(16Mn)钢 手弧焊倾斜角接头

焊接方法 SMAW 自动化等级 手工 焊接位置 角接 技术标准 AWS D1.1-88

接头坡口形式

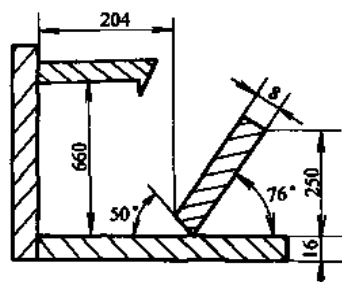


图 hp-24 左

焊接层次(顺序)

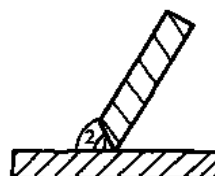


图 hp-24 右

对焊接接头的基本要求

1. 力学性能

σ_b /MPa	σ_s /MPa	δ_5 /%	弯曲角度/(°)	冲击试验			其它
				缺口形式	试验温度/°C	A_K /J	
/	/	/	/	/	/	/	/

2. 其它 金相宏观检验

母材	牌号 Q345(16Mn) 规格 δ 16mm 类别 /					
焊接材料	焊条牌号 SH507-01	焊条规格 $\phi 3.2 \phi 4mm$	型号 /	钨极型号规格 /	焊剂 /	
	焊丝牌号 /	焊丝规格 /	型号 /	保护气 /	流量 /	
				其它气体 /	流量 /	
预热焊后热处理	预热温度 层间温度 后热温度,时间 消氢温度,时间 中间热处理 时间 焊后热处理 时间					
焊接工艺参数要求	电流种类 直流 极性 反 焊接电流 I 1 焊道: $\phi 3.2mm$ 110~130A 2 焊道: $\phi 4mm$ 160~180A 电弧电压 U 22~23V 23~24V					
操作技术要求	焊接有坡口的一面另一面不焊					

编制		校对		审核		批准	
日期		日期		日期		日期	

焊接工艺评定书

编号 No ChP-24

设计书编号 No ChS-24

评定项目 Q345(16Mn)钢 手弧焊倾斜角接头

焊接方法 SMAW 自动化等级 手工 焊接位置 2F 技术标准 AWS D1.1-88

接头坡口形式

见图 hp-24 左

焊接层次(顺序)

见图 hp-24 右

母材	检验编号 _____										钨极型号 / 直径 /		
	牌号 Q345(16Mn)		规格 8, 16mm		类别 /								
化学成分 (%)	C	Si	Mn	P	S								
	0.14	0.44	1.44	0.023	0.007								
	0.16	0.33	1.34	0.036	0.023								
力学性能	σ_b /MPa		550, 520		σ_s /MPa		370, 350		δ_5 /%		29, 30	A_K /J	/
焊材	检验编号 _____												
	焊丝牌号 / 焊丝规格 / 焊丝型号 / 焊剂牌号 /												
化学成分 (%)	C	Si	Mn	P	S								
	/	/	/	/	/								
焊条	焊条牌号 SH507-01 焊条规格 $\phi 3.2$ $\phi 4$ mm 焊条型号 / 检验编号 _____												
熔敷金属化学成分 (%)	C	Si	Mn	P	S								
	/	/	/	/	/								
保护气体 / 流量 / 其它气体 / 流量 /													
预热及焊后热处理													
预热温度 / 层间温度 / 后热温度 / 时间 / 消氢温度 / 时间 /													
中间热处理温度 / 时间 / 焊后热处理温度 / 时间 /													

(续)

焊接工艺参数

电流种类 直流 极性 反接

焊道数	焊条直径/mm	焊接电流/A	电弧电压/V	
1	φ3.2	110~130	22~23	
2	φ4	160~180	23~24	

操作技术

性能检验结果

拉伸试验

检验报告编号 _____

试样编号	试样形式	σ_b /MPa	σ_s /MPa	断裂位置	
/	/	/	/	/	

定向弯曲

检验报告编号 _____

试样编号	试样形式	弯轴直径/mm	弯曲角度/(°)	检验结果
/	/		/	/

冲击韧性试验

检验报告编号 _____

试样编号	缺口形式	缺口位置	试验温度/°C	A_K /J
/	/	/	/	/

硬度试验结果(H)

检验报告编号 _____

焊 缝	热影响区	母 材
/	/	/

金相检验结果

检验报告编号 _____

宏 观	微 观	其它检验
经宏观检验,未发现焊接裂纹和未熔合缺陷	/	/

无损探伤检验结果 /

检验报告编号 _____

焊工 钢印号 焊工合格证号 评定结论 合格

编 制		校 对		审 核		审 定	
日 期		日 期		日 期		日 期	

焊接工艺设计书

编号 No ChS-25工艺评定编号 ChP-25评定项目 Q235-A+ZG270-500 手弧焊角接头焊接方法 SMAW 自动化等级 手工 焊接位置 角接 技术标准 JB4708-92

接头坡口形式

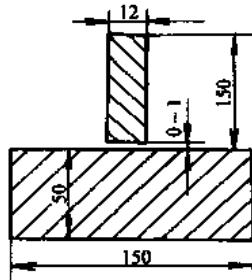


图 hp-25 左

焊接层次(顺序)

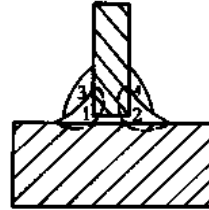


图 hp-25 右

对焊接接头的基本要求

1. 力学性能

σ_b /MPa	σ_s /MPa	δ_5 /%	弯曲角度/(°)	冲击试验			其它
				缺口形式	试验温度/°C	A_K /J	
/	/	/	/	/	/	/	

2. 其它 宏观检验 两面焊透 焊脚尺寸 K9mm

母材	牌号 <u>Q235-A ZG270-500</u> 规格 <u>12 50mm</u> 类别 <u>/</u>						
焊接材料	焊条牌号 <u>SH427-01</u>	焊条规格 <u>φ5mm</u>	型号 <u>/</u>	钨极型号规格 <u>/</u>	焊剂 <u>/</u>		
	焊丝牌号 <u>/</u>	焊丝规格 <u>/</u>	型号 <u>/</u>	保护气 <u>/</u>	流量 <u>/</u>	其它气体 <u>/</u>	流量 <u>/</u>
预热焊后热处理	预热温度 <u>100~150°C</u> 层间温度 <u> </u> 后热温度,时间 <u> </u> 消氢温度,时间 <u> </u> 中间热处理 <u> </u> 时间 <u> </u> 焊后热处理 <u> </u> 时间 <u> </u>						
焊接工艺参数要求	电流种类 <u>直流</u> 极性 <u>反接</u> 焊接电流 I <u>200~220A</u> 焊接电压 U <u>25~27V</u>						
操作技术要求	要求两面焊透,焊脚尺寸 K9mm						

编制		校对		审核		批准	
日期		日期		日期		日期	

焊接工艺评定书

编号 No ChP-25

设计书编号 No ChS-25

评定项目 Q235A+ZG270-500 手弧焊角接头

焊接方法 SMAW 自动化等级 手工 焊接位置 2F 技术标准 JB4708-92

接头坡口形式

见图 hp-25 左

焊接层次(顺序)

见图 hp-25 右

母材	检验编号 _____								钨极型号 / 直径 /	
	牌号	Q235-A	ZG270~500	规格	12mm	50mm	类别	/		
化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S					
	0.14 0.38	0.23 0.30	0.44 0.66	0.023 0.026	0.025 0.020					
力学性能	σ_b /MPa	405,535		σ_s /MPa	280,315		δ_5 /%	32 26	A_K /(J) (常温)	32,31,30
焊材	检验编号 _____									
	焊丝牌号 / 焊丝规格 / 焊丝型号 / 焊剂牌号 /									
化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S					
	/	/	/	/	/					
焊条	焊条牌号 SH427-01 焊条规格 $\phi 5$ mm 焊条型号 / 检验编号 _____									
熔敷金属化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S					
	/	/	/	/	/					
保护气体 / 流量 / 其它气体 / 流量 /										
预热及焊后热处理										
预热温度 100~150 层间温度 / 后热温度 / 时间 / 消氢温度 / 时间 / 中间热处理温度 / 时间 / 焊后热处理温度 / 时间 /										

(续)

焊接工艺参数

电流种类 直流 极性 反接 焊接电流 I 1~4 焊道 200~220A 电弧电压 U 25~27V

操作技术

性能检验结果

拉伸试验

检验报告编号 _____

试样编号	试样形式	σ_b /MPa	σ_t /MPa	断裂位置	
/	/	/	/	/	

定向弯曲

检验报告编号 _____

试样编号	试样形式	弯轴直径/mm	弯曲角度/(°)	检验结果
/	/	$d=a$	/	/

冲击韧性试验

检验报告编号 _____

试样编号	缺口形式	缺口位置	试验温度/°C	A_K /J
/	/	/	/	/

硬度试验结果(H)

检验报告编号 _____

接头硬度(H)

焊 缝	热影响区	母 材
/	/	/

金相检验结果

检验报告编号 _____

宏 观	微 观	其它检验
合格	/	/

无损探伤检验结果 _____

检验报告编号 _____

焊工 _____

钢印号 _____

焊工合格证号 _____

评定结论 合格

编 制		校 对		审 核		审 定	
日 期		日 期		日 期		日 期	

焊接工艺设计书

编号 No ChS-26

工艺评定编号 ChP-26

评定项目 (16MnR)单面埋弧焊对接接头

焊接方法 SAW 自动化等级 机械化 焊接位置 平 技术标准 JB4708-92

接头坡口形式

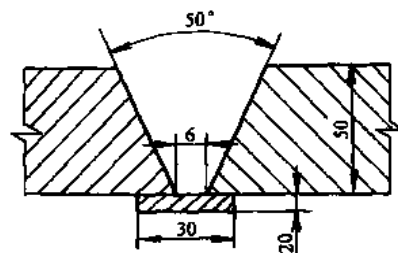


图 hp-26 左

焊接层次(顺序)

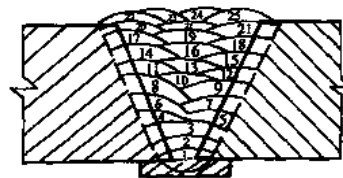


图 hp-26 右

对焊接接头的基本要求

1. 力学性能

σ_b /MPa	σ_s /MPa	δ_5 /%	弯曲角度/(°) ($d=3a$)	冲击试验			其它
				缺口形式	试验温度/°C	A_{KV} /J	
490~640			100°	V	常温	≥ 27	

2. 其它 RT

母材	牌号 16MnR 规格 50mm 类别 /						
焊接材料	焊条牌号 / 焊条规格 / 型号 / 焊极型号规格 / 焊剂 SH431 焊丝牌号 10Mn2 焊丝规格 $\phi 5$ mm 型号 / 保护气 / 流量 /L/min 其它气体 / 流量 /L/min						
预热焊后热处理	预热温度 150 层间温度 150 后热温度,时间 焊后缓冷 消氢温度,时间 / 中间热处理 / 时间 / 焊后热处理 / 时间 /						
焊接工艺参数要求	电流种类 交流 极性 / 焊接电流 I 1~3 焊道:950~100A 4~5 焊道:700~750A 电弧电压 U 36~38V 34~36V 焊接速度 35~37cm/min 40~42cm/min						
操作技术要求							
编制		校 对		审 核		批 准	
日 期		日 期		日 期		日 期	

焊接工艺评定书

编号 No ChP-26设计书编号 No ChS-26评定项目 16MnR 单面埋弧焊对接接头焊接方法 单面 SAW 自动化等级 机械化 焊接位置 平 技术标准 JB4708-92

接头坡口形式

见图 hp-26 左

焊接层次(顺序)

见图 hp-26 右

母材	检验编号 <u> </u>										钨极型号 <u> / </u> 直径/mm	
	牌号 <u>16MnR-3</u>	规格 <u>50mm</u>	类别 <u> / </u>									
化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S	Al						
	0.16	0.40	1.45	0.016	0.009	0.031						
力学性能	σ_b /MPa		570		σ_s /MPa		335		δ_5 /%		30	
									A_{KV}/J		(常温) 100,106,101	
焊材	检验编号 <u> </u>											
	焊丝牌号 <u>H10Mn2</u> 焊丝规格 <u>φ5.0mm</u> 焊丝型号 <u> / </u> 焊剂牌号 <u>SH431</u>											
化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S							
	/	/	/	/	/							
焊条	焊条牌号 <u> / </u> 焊条规格 <u> / </u> 焊条型号 <u> / </u> 检验编号 <u> </u>											
	C	Si	Mn	P	S							
化学成分(%)	/	/	/	/	/							
	保护气体 <u> / </u> 流量 <u> / </u> 其它气体 <u> / </u> 流量 <u> / </u>											

预热及焊后热处理

预热温度 150 °C 层间温度 150 °C 后热温度 焊后缓冷(石棉布覆盖) °C 时间 / 消氢温度 / 时间 / 中间热处理温度 / 时间 / 焊后热处理温度 / 时间 /

(续)

焊接工艺参数

电流种类 交流 极性 /1~3 焊道 I 950~1000A U 36~38V 焊接速度 35~37cm/min4~25 焊道 I 700~750A U 34~36V 焊接速度 40~42cm/min

操作技术

性能检验结果

拉伸试验

检验报告编号 _____

试样编号	试样形式	σ_b /MPa	σ_s /MPa	断裂位置	备 注
	接头 拉伸	555, 565, 570 570	/	断母材	每只试样 一分为二

定向弯曲

、 检验报告编号 _____

试样编号	试样形式	弯轴直径/mm	弯曲角度/(°)	检验结果
	侧弯	3a	100	无裂(每只试样一 分为二)共 8 只

冲击韧性试验

检验报告编号 _____

试样编号	缺口形式	缺口位置	试验温度/°C	A_{KV}/J
	V	焊缝中心 热影响区	室温	38.44.60 62.54.62

硬度试验结果(H)

检验报告编号 _____

接头硬度(H)

焊 缝	热影响区	母 材
/	/	/

金相检验结果

检验报告编号 _____

宏 观	微 观	其它检验
/	/	/

无损探伤检验结果 RT 合格

检验报告编号 _____

焊工 _____

钢印号 _____

焊工合格证号 _____

评定结论 合格

编 制	校 对	审 核	审 定
日 期	日 期	日 期	日 期

焊接工艺设计书

编号 No ChS-27工艺评定编号 ChP-27评定项目 Q345(16Mn)二氧化碳单面焊接头焊接方法 CO₂ 单面焊 自动化等级 半自动 焊接位置 平 技术标准 JB4708-92

接头坡口形式

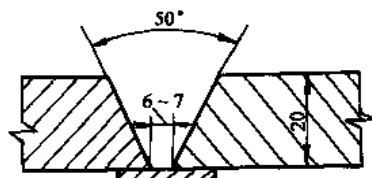


图 hp-27 左

焊接层次(顺序)

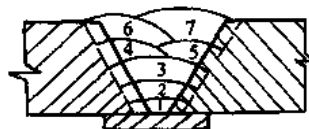


图 hp-27 右

对焊接接头的基本要求

1. 力学性能

σ_b /MPa	σ_s /MPa	δ_5 /%	弯曲角度/(°) ($d=3a$)	冲击试验			其它
				缺口形式	试验温度/°C	A_{kv}/J	
490~640	/	/	100	V	常温	≥ 27 (设计要求)	

2. 其它 RT 焊缝金属化学成分

母材	牌号 <u>Q345(16Mn)</u> 规格 <u>20mm</u> 类别 <u> </u>						
焊接材料	焊条牌号 <u>/</u>	焊条规格 <u>/</u>	型号 <u>/</u>	钨极型号规格 <u>/</u>	焊剂 <u>/</u>		
	焊丝牌号 <u>XH-506</u>	焊丝规格 <u>φ1.2mm</u>	衬垫 <u>SB-41</u>	保护气 <u>CO₂</u>	流量 <u>15</u> L/min	其它气体 <u>/</u>	流量 <u> </u>
预热焊后热处理	预热温度 <u> </u> 层间温度 <u> </u> 后热温度,时间 <u> </u> 消氢温度,时间 <u> </u> 中间热处理 <u> </u> 时间 <u> </u> 焊后热处理 <u> </u> 时间 <u> </u>						
焊接工艺参数要求	电流种类 <u>直流</u> 极性 <u>反接</u> 焊接电流 I <u>1</u> 焊道:190~210 <u>2~3</u> 焊道:250~270 <u>4~7</u> 焊道 250~270A 电弧电压 U <u>24~26V</u> <u>29~31V</u> <u>29~31V</u>						
操作技术要求							
编制		校 对		审 核		批 准	
日 期		日 期		日 期		日 期	

焊接工艺评定书

编号 No ChP-27

设计书编号 No ChS-27

评定项目 Q345(16Mn)二氧化碳单面焊接头

焊接方法 CO₂ 单面焊 自动化等级 手工(半自动) 焊接位置 平 技术标准 JB4708-92

接头坡口形式

见图 hp-27 左

焊接层次(顺序)

见图 hp-27 右

母材	检验编号 _____										钨极型号 / 直径 /		
	牌号 16Mn		规格 20mm		类别 /								
化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S								
	0.20	0.50	1.56	0.034	0.026								
力学性能	σ_b /MPa		585		σ_s /MPa		370		δ_5 /%		22	A_{kv} /J	/
焊材	检验编号 _____												
	焊丝牌号 XH-506 焊丝规格 $\phi 1.2$ mm 焊丝型号 / 衬垫牌号 SB-41												
化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S								
	/	/	/	/	/								
焊条	牌号 / 焊条规格 / 焊条型号 / 检验编号 _____												
熔敷金属化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S								
	/	/	/	/	/						0=L/min		
保护气体 CO ₂ 流量 15 L/min 其它气体 / 流量 /													

预热及焊后热处理

预热温度 / 层间温度 / 后热温度 / 时间 / 消氢温度 / 时间 /

中间热处理温度 / 时间 / 焊后热处理温度 / 时间 /

(续)

焊接工艺参数

电流种类 直流 极性 反接

焊道	焊接电流/A	电弧电压/V
1	190~210	24~26
2~3	250~270	29~31
4~7	250~270	29~31

操作技术

性能检验结果

拉伸试验

检验报告编号 _____

试样编号	试样形式	σ_b /MPa	σ_s /MPa	断裂位置	
	板状	550	/	断母材	

定向弯曲

检验报告编号 _____

试样编号	试样形式	弯轴直径/mm	弯曲角度/(°)	检验结果
	面弯 背弯	$d=3a$	100	无裂

冲击韧性试验

检验报告编号 _____

试样编号	缺口形式	缺口位置	试验温度/°C	A_{kv} /J
	V	焊缝中心 } 正面 热影响区 } 焊缝中心 } 反面 热影响区 }	常温	114,109,112 39,36,53 109,115,116 58,54,58

硬度试验结果(H)

检验报告编号 _____

接头硬度(H)

焊 缝	热影响区	母 材
/	/	/

金相检验结果

检验报告编号 _____

宏 观	微 观	其它检验
/	/	焊缝金属化学成分(质量分数)% C0.08 Mn1.11 Si0.55 P0.028 S0.015

无损探伤检验结果X射线探伤Ⅰ级

检验报告编号 _____

焊工 _____

钢印号 _____

焊工合格证号 _____

评定结论 合格

编 制	校 对	审 核	审 定
日 期	日 期	日 期	日 期

焊接工艺设计书

编号 No ChS-28

工艺评定编号 ChP-28

评定项目 ML15 钢 $\phi 19$ mm 螺栓与螺栓的焊接接头

焊接方法 螺栓焊 自动化等级 机械化 焊接位置 平 技术标准 AWS D1.1-92

接头坡口形式

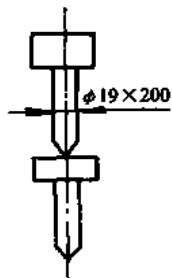


图 hp-28 左

焊接层次(顺序)



图 hp-28 右

对焊接接头的基本要求

1. 力学性能

σ_b /MPa	σ_s /MPa	δ_5 /%	弯曲角度/(°) ($d=a$)	冲击试验			其它
				缺口形式	试验温度/°C	A_K /J	
≥ 373	/	/	/	/	/	/	

2. 其它

母材	牌号 ML15 规格 $\phi 19 \times 200$ mm 陶瓷护罩 $\phi 20 \times 16$ mm					
焊接材料	焊条牌号 /	焊条规格 /	型号 /	钨极型号规格 /	焊剂 /	
	焊丝牌号 /	焊丝规格 /	型号 /	保护气 /	流量 /	
				其它气体 /	流量 /	
预热焊后热处理	预热温度 / 层间温度 / 后热温度, 时间 / 消氢温度, 时间 / 中间热处理 / 时间 / 焊后热处理 / 时间 /					
焊接工艺参数要求	电流种类 直流 极性 反接 焊接电流 / 1600A 焊接周期 48Hz 焊丝伸出长度 2.5~3mm					
操作技术要求						
编制		校对		审核		批准
日期		日期		日期		日期

焊接工艺评定书

编号 No ChP-28设计书编号 No ChS-28评定项目 ML15 钢 $\phi 19$ mm 螺栓与螺栓的焊接接头焊接方法 螺柱焊 自动化等级 机械化 焊接位置 平 技术标准 AWS D1.1-92

接头坡口形式 见图 hP-28 左	焊接层次(顺序) 见图 hP-28 右																						
母材	检验编号 _____ 牌号 <u>ML15</u> 规格 <u>$\phi 19 \times 200$ 陶瓷护圈 $\phi 20 \times 16$ mm</u> 类别 <u>/</u>																						
化学成分(%)	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 10%;">C</td> <td style="width: 10%;">Si</td> <td style="width: 10%;">Mn</td> <td style="width: 10%;">P</td> <td style="width: 10%;">S</td> <td style="width: 10%;">Cr</td> <td style="width: 10%;">Ni</td> <td style="width: 10%;">Cu</td> <td style="width: 10%;"></td> <td style="width: 10%;"></td> <td style="width: 10%;"></td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">0.15</td> <td style="text-align: center;">0.02</td> <td style="text-align: center;">0.41</td> <td style="text-align: center;">0.017</td> <td style="text-align: center;">0.018</td> <td style="text-align: center;">0.01</td> <td style="text-align: center;">0.01</td> <td style="text-align: center;">0.05</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </table>	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Cu				0.15	0.02	0.41	0.017	0.018	0.01	0.01	0.05			
C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Cu																
0.15	0.02	0.41	0.017	0.018	0.01	0.01	0.05																
力学性能	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 15%;">σ_b/MPa</td> <td style="width: 15%; text-align: center;">453</td> <td style="width: 15%;">σ_s/MPa</td> <td style="width: 15%; text-align: center;">348</td> <td style="width: 15%;">δ_5/%</td> <td style="width: 15%; text-align: center;">23.78</td> <td style="width: 15%;">A_K/J</td> <td style="width: 15%; text-align: center;">/</td> </tr> </table>	σ_b /MPa	453	σ_s /MPa	348	δ_5 /%	23.78	A_K /J	/														
σ_b /MPa	453	σ_s /MPa	348	δ_5 /%	23.78	A_K /J	/																
焊材	检验编号 _____ 焊丝牌号 <u>/</u> 焊丝规格 <u>/</u> 焊丝型号 <u>/</u> 焊剂牌号 <u>/</u>																						
化学成分(%)	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 10%;">C</td> <td style="width: 10%;">Si</td> <td style="width: 10%;">Mn</td> <td style="width: 10%;">P</td> <td style="width: 10%;">S</td> <td style="width: 10%;"></td> <td style="width: 10%;"></td> <td style="width: 10%;"></td> <td style="width: 10%;"></td> <td style="width: 10%;"></td> <td style="width: 10%;"></td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">/</td> <td style="text-align: center;">/</td> <td style="text-align: center;">/</td> <td style="text-align: center;">/</td> <td style="text-align: center;">/</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </table>	C	Si	Mn	P	S							/	/	/	/	/						
C	Si	Mn	P	S																			
/	/	/	/	/																			
焊条	牌号 <u>/</u> 焊条规格 <u>/</u> 焊条型号 <u>/</u> 检验编号 _____																						

(续)

熔敷金属化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S						
	/	/	/	/	/						

保护气体 / 流量 / 其它气体 / 流量 /

预热及焊后热处理

预热温度 / 层间温度 / 后热温度 / 时间 / 消氢温度 / 时间 /

中间热处理温度 / °C 时间 / 焊后热处理温度 / 时间 /

焊接工艺参数

电流种类 直流 极性 反接

焊接电流 I~1600A 焊接周期 48Hz 伸出长度 2.5~3mm

操作技术

性能检验结果

拉伸试验

检验报告编号

试样编号	试样形式	σ_b /MPa	σ_s /MPa	断裂位置	
		430 450		断母材	
		415 105		断母材 断焊缝(密集气孔)不合格	
		440 410		断母材	
		425 470		断焊缝(气孔断焊缝气孔)	
		400 340	/	断母材 断焊缝(气孔)	
		495 430		断母材 断焊缝(气孔)不合格	} 第1次补做
		440 280		断焊缝(气孔)第2次补做	
		435 470			

定向弯曲

检验报告编号

评定结论 合格

编 制		校 对		审 核		审 定	
日 期		日 期		日 期		日 期	

焊接工艺设计书

编号 No ChS-29

工艺评定编号 ChP-29

评定项目 16Mn 钢+ML15 钢 $\phi 19$ mm 螺栓的螺栓焊接接头

焊接方法 螺栓焊 自动化等级 机械化 焊接位置 平 技术标准 AWS D1.1-92

接头坡口形式

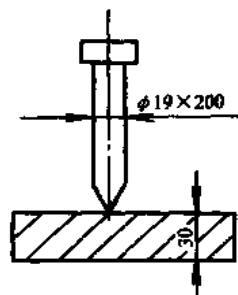


图 hp-29 左

焊接层次(顺序)

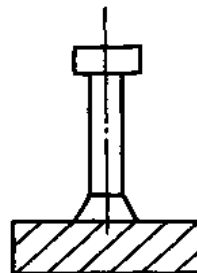


图 hp-29 右

对焊接接头的基本要求

1. 力学性能

σ_b /MPa	σ_s /MPa	δ_5 /%	弯曲角度/(°)	冲击试验			其它
				缺口形式	试验温度/°C	A_k /J	
≥ 373	/	/	90°	/	/	/	/

2. 其它

母材	牌号 <u>16Mn ML15 螺栓</u> 规格 <u>30 $\phi 19 \times 200$mm</u> 陶瓷护圈 <u>$\phi 20 \times 16$mm</u>						
焊接材料	焊条牌号 <u>/</u>	焊条规格 <u>/</u>	型号 <u>/</u>	钨极型号规格 <u>/</u>	焊剂 <u>/</u>		
	焊丝牌号 <u>/</u>	焊丝规格 <u>/</u>	类别 <u>/</u>	保护气 <u>/</u>	流量 <u>/</u>		
	其它气体 <u>/</u>				流量 <u>/</u>		
预热焊后热处理	预热温度 <u>/</u> 层间温度 <u>/</u> 后热温度, 时间 <u>/</u> 消氢温度, 时间 <u>/</u> 中间热处理 <u>/</u> 时间 <u>/</u> 焊后热处理 <u>/</u> 时间 <u>/</u>						
焊接工艺参数要求	电流种类 <u>直流</u> 极性 <u>反接</u> 焊接电流 <u>$I \sim 1600$A</u> 焊接周期 <u>48Hz</u> <u>伸出长度 2.5~3mm</u>						
操作技术要求							
编制		校对		审核		批准	
日期		日期		日期		日期	

焊接工艺评定书

编号 No ChP-29

设计书编号 No ChS-29

评定项目 16Mn 钢+ML15 钢 $\phi 19\text{mm}$ 螺栓的螺柱焊接接头

焊接方法 螺柱焊 自动化等级 机械化 焊接位置 平 技术标准 AWS D1.1-92

接头坡口形式				焊接层次(顺序)							
见图 hP-29 左				见图 hP-29 右							
母材	检验编号 _____							钨极型号 / 直径 /			
	牌号 16Mn ML15 螺栓 规格 30 $\phi 19\text{mm}$ 陶瓷护圈 $\phi 20 \times 16 \text{ mm}$										
化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Cu			
	0.13	0.30	1.29	0.020	0.012						
	0.15	0.02	0.41	0.017	0.018	0.01	0.01	0.05			
力学性能	σ_b/MPa		530	σ_s/MPa		345	$\delta_5/\%$	22	$A_K/\%$	/	
			453			348		23.78			
焊丝	检验编号 _____										
	焊丝牌号 / 焊丝规格 / 焊丝型号 / 焊剂牌号 /										
化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S						
	/	/	/	/	/						
焊条	焊条牌号 / 焊条规格 / 焊条型号 / 检验编号 /										

(续)

熔敷金属化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S						
	/	/	/	/	/						

保护气体 / 流量 / 其它气体 / 流量 /

预热及焊后热处理

预热温度 / 层间温度 / 后热温度 / 时间 / 消氢温度 / 时间 /

中间热处理温度 / 时间 / 焊后热处理温度 / 时间 /

焊接工艺参数

电流种类 直流 极性 反接

焊接电流~1600A 焊接周期 48Hz 伸出长度 2.5~3mm

操作技术

性能检验结果

拉伸试验

检验报告编号 _____

试样编号	试样形式	σ_b /MPa	σ_t /MPa	断裂位置	
		440 520	/	断母材	
		440 500		断母材 断焊缝	
		525 470		断焊缝 断母材	
		495 440			
		535 420		断母材	

定向弯曲

检验报告编号 _____

试样编号	试样形式	弯轴直径/mm	弯曲角度/(°)	检验结果
/	螺柱接头	$d=a$	90	10只试样均无裂

评定结论 合格

编制		校对		审核		审定	
日期		日期		日期		日期	

附 录

附录 A 国内现行焊接工艺评定标准主要内容对比

评定项目及 评定规则	标准编号及名称		
	JB4708—92 钢制压力容器焊接工艺评定	JB4420—89 锅炉焊接工艺评定	JB/T6963—93 钢制件熔化焊工艺评定
所涉及的焊接方法	气焊,焊条电弧焊,埋弧焊,熔化极气体保护焊,钨极气体保护焊,电渣焊	焊条电弧焊,埋弧焊,气体保护焊,电渣焊,气焊,堆焊,螺柱焊	气焊,焊条电弧焊,埋弧焊,熔化极气体保护焊,非熔化极气体保护焊,等离子弧焊,气电立焊,电渣焊,电子束焊
对重要参数和补加重要参数的规定 1. 接头形式	次要因素	除堆焊外,均为重要参数	除电子束焊外,均为次要因素
2. 母材	1) 母材按化学成分、力学性能焊接性能分类分组 2) 除下列规定外,改变母材组别号,需重新评定 3) 组别号Ⅱ-1母材的评定适用于组别号Ⅰ-1的母材 4) 在同类别号中,高组别号母材的评定适用于低组别号母材的评定,适用于该组别号母材与低组别号母材所组成的焊接接头 5) 当不同类别号的母材组成焊接接头时,即使母材各自都已评定合格,其焊接接头仍需重新评定,但类别号为Ⅰ,组别号为Ⅵ-1的同钢号母材的评定适用于该类别号,或该组别号母材上类别号为Ⅰ的母材所组成的焊接接头	1) 板材、管材、锻件按化学成分、力学性能分类 2) 铸件与化学成分相同的板材、管材或锻件的评定不能相互取代 3) 母材类别号与原评定母材不同,应予重评 4) 同组别母材不必重评,同类别中高组别母材的评定适用于低组别母材 5) 未列入本标准的钢材应予重评 6) 凡与本标准所列某一钢号类同且符合压力容器用钢标准的钢材,可不必重评 7) 由两种类别或两种组别母材组成的异种钢焊接接头,即使两种母材的焊接工艺均已各自评定合格,该异种钢接头焊接工艺仍需重评	1) 母材按化学成分、力学性能划分为不同的类别和组号 2) 在其他主要因素相同条件下,某一钢材的工艺评定可代表同一类组号中其他钢材的工艺评定 3) 不同类别—组号钢材之间的异种材料焊接工艺评定,必须采用相应类别—组号的钢材组合进行,尽管各类组号钢材自身的工艺评定已经通过 4) 对于P-1、P-3、P-4、P-5类钢材,除小孔效应等离子弧焊外,较高类组号钢材的工艺评定,可代表该类组号钢材与较低类组号钢材之间的工艺评定 5) 未列入本标准的低合金钢和中合金钢,应单独作工艺评定

(续)

评定项目及 评定规则	标准编号及名称		
	JB4708—92 钢制压力容器焊接工艺评定	JB4420—89 锅炉焊接工艺评定	JB/T6963—93 钢制件熔化焊工艺评定
3. 填充金属	1) 焊条电弧焊时,改变焊条牌号(第三位数字除外)用非低氢型药皮焊条代替低氢型药皮焊条为补加重要参数 2) 气焊,埋弧焊,气体保护焊,电渣焊时改变焊丝钢号 3) 埋弧焊,电渣焊时,改变焊剂牌号和混合焊剂的混合比例 4) 埋弧焊,气体保护焊时,添加或取消附加的填充金属及改变附加填充金属的数量和化学成分范围 5) 电渣焊时,由丝极改为板极或反之 6) 熔嘴电渣焊时,熔嘴改为非熔嘴或反之,或改变熔嘴钢号 7) 气体保护焊时,实芯焊丝改为药芯焊丝或反之	1) 碳素钢和低合金结构钢焊条按强度分类低合金耐热钢和奥氏体钢焊条,按熔敷金属化学成分分类 2) 任一类焊条均需单独评定,同类焊条中低氢焊条代替非低氢焊条应予重评 3) 焊丝、焊剂按牌号分类,任一牌号焊丝或焊剂均需单独评定,不带“高”或“特”焊丝的评定可取代带“高”或“特”焊丝的评定 4) 气体保护焊时,改变保护气体种类或混合气体中某一组成气体的容积比,增加或取消背面保护气体 5) 国外焊接材料应重新评定	1) 焊条电弧焊时,焊条按全焊缝金属的化学成分、抗拉强度划分类组号,通过某一类组号焊条的工艺评定,可代表同一类组号其他焊条的工艺评定 2) 所有其他焊接方法,其工艺评定结果只适用于同一型号或钢号的焊材,包括焊丝、焊棒、药芯焊丝、焊剂及其配组 3) 对于有冲击韧度要求的接头,改变焊条型号第三、四位数字,为补加重要因素 4) 电渣焊时,丝极改为板极或反之,熔嘴改为非熔嘴或反之 5) 气体保护焊时,由实芯焊丝改为药芯焊丝或反之 6) 钨极惰性气体保护焊,等离子弧焊时增加或删除填充金属 7) 电子束焊时,增加或删除还原剂或填充金属
4. 预热及焊后热处理	1) 预热温度比评定合格值低 50°C 以上 2) 最高层间温度比评定合格值高 50°C 以上 3) 改变焊后热处理类别需重新评定,焊后热处理分为不热处理,消除应力处理,正火,正火加回火,淬火加回火,熔炼不锈钢热处理,固溶处理和稳定化处理 4) 试件消除应力处理时,试件保温时间不得少于焊件在制造过程中累计保温时间的 80%	1) 采用预热的焊接工艺经评定合格后,如取消预热应予重评 2) 预热温度的最低值比原评定时降低 50°C 以上应予重评 3) 作焊后热处理的焊接工艺经评定合格后,如取消焊后热处理,应予重评 4) 改变焊后热处理类别,均应重评 5) 焊后热处理分类为:退火、正火、正火+回火,调质,奥氏体钢焊后热处理:固溶处理、稳定化处理 6) 试件保温时间不少于生产中焊件热处理总保温时间的 80%,允许将生产中的多次热处理循环,合并为一次热处理循环	1) 最低预热温度比原评定温度低 50°C 以上的焊接工艺必须重新评定 2) 对接头有冲击韧度要求时,最高层间温度比原评定温度高 50°C 以上的焊接工艺必须重评 3) 下列焊后热处理形式的改变应重新工艺评定 a) 焊后不热处理 b) 退火(消除应力处理),加热温度低于下临界点 c) 正火,加热温度高于上临界点 d) 正火+回火,或淬火+回火 e) 加热温度在上下临界点之间的热处理 4) 奥氏体不锈钢和奥氏体+铁素体不锈钢焊后热处理形式:固溶化处理或稳定化处理

(续)

评定项目及 评定规则	标准编号及名称		
	JB4708—92 钢制压力容器焊接工艺评定	JB4420—89 锅炉焊接工艺评定	JB/T6963—93 铜制件熔化焊工艺评定
4. 预热焊 后热处理		7) 堆焊时, 预热温度最低值比 原评定温度降低 50°C 以上 或层间温度最大值比原评 定温度增加 50°C 以上应重 评 8) 堆焊件总热处理时间比原 评定时增加 25% 以上应重 评	5) 对接头有冲击韧度要求的 焊接工艺, 改变焊后热处理 的温度范围和时间范围, 应 重新评定 6) 评定试件热处理的保温时 间不得低于产品制造过程 中累计保温时间的 80%, 但可在一次热周期中完成
5. 焊接能 量参数 IU	1) 对接头有冲击韧度要求时, 焊条电弧焊、埋弧焊、气体 保护焊电流种类或极性的 改变, 增加热输入或单位长 度焊道的熔敷金属体积超 过评定合格值为补加重要 因素 2) 电渣焊时, 电流值或电压值 超过评定合格值的 15% 为 重要因素 3) 耐蚀层的手工堆焊首层时, 变更焊条直径或首层施焊 电流比评定范围的上限值 增加 10% 以上为重要因素 4) 对于埋弧堆焊和气体保护 堆焊, 焊丝或附加填充金属 公称横截面积的变化超过 原评定的 10%, 或单位长 度焊道内熔敷金属体积比 评定合格范围上限值增加 10% 以上需重新评定	1) 熔化极气体保护焊时, 从短 路过渡改为非短路过渡或 反之, 均应重评 2) 电渣焊时, 电流或电压值比 原评定值变化 $\pm 15\%$ 以上, 应予重评 3) 焊条电弧焊、埋弧焊、气体 保护焊时, 电流种类或极性 改变为补加重要参数, 焊接 线能量超过原评定范围亦 为补加重要参数 4) 焊条电弧焊、堆弧焊和气体 保护焊堆焊时, 电流种类和 极性的改变应重新评定 5) 焊条电弧焊堆焊耐磨层或 耐蚀层时, 首层堆焊焊条直 径与原评定焊条直径不同, 或首层堆焊电流比原评定 规定值增加 10% 以上 6) 螺柱焊时, 电流种类或极 性的改变, 电流值比原评定 值变化 10% 以上, 电压超 过原评定的范围, 电弧燃烧 时间比原评定值变化 $\pm 0.1s$ 以上	1) 熔化极气体保护焊时, 熔滴 过渡方式从粗滴过渡、喷射 过渡或脉冲过渡改为短路 过渡或反之应重新评定 2) 电渣焊时, 改变电压或电 流值 $\pm 15\%$ 以上, 为重要参 数 3) 对接头有冲击韧度要求时, 对焊条电弧焊、埋弧焊、气 电立焊、等离子焊、气体保 护焊的电流种类、直流电源 极性的改变和热输入增加 需重作评定 4) 电子束焊时, 改变脉冲时 间, 改变电子束流 $\pm 5\%$ 以 上, 改变电子束电压 $\pm 2\%$ 以上, 改变焊接速度 $\pm 2\%$ 以上, 改变电子枪-工件距 离 $\pm 5\%$ 以上, 均需重新评 定 5) 焊接调质钢时, 热输入超过 评定上限值需重新评定
6. 其它焊 接参数	1) 电渣焊时, 由单丝焊改为多 丝焊, 或反之, 电极摆动幅 度、频率和两端停留时间增 加或取消非金属或非熔化 金属成形滑块均为重要因 素	1) 电渣焊时, 电极的摆动幅度 频率和在两端的停留时间 超过原评定的范围应予重 评	1) 电渣焊和电子束焊时改变 摆动频率、摆动宽度或改变 停留时间应予重新评定

(续)

评定项目及 评定规则	标准编号及名称		
	JB4708—92 钢制压力容器焊接工艺评定	JB4420—89 锅炉焊接工艺评定	JB/T6963—93 钢制件熔化焊工艺评定
7. 工艺评 定厚度适用范 围	1. 如试件的焊接条件属于下列情况之一者, 焊件最大适用厚度另有规定 1) 试件经超过临界温度的焊后热处理 2) 试件单道焊或多道焊时其中任一焊道的厚度大于 13mm 3) 试件用电渣焊焊接和短路过渡熔化极气体保护焊接焊件最大适用厚度为 1.1T 4) 当试件厚度大于 150mm 时, 对于焊条电弧焊、埋弧焊、熔化极气体保护焊(短路过渡除外)和钨极气体保护焊多道焊, 焊件母材和焊缝金属最大适用厚度分别为 1.3T 和 1.3t 5) 气焊试件的焊件最大适用厚度为 T 2. 当采用两种或两种以上焊接方法(或焊接工艺)焊接的试件评定合格后, 焊件厚度的有效适用范围不得以每种焊接方法(或焊接工艺)评定后所适用的最大厚度进行叠加 3. 对于补焊和打底焊, 当试件母材厚度不小于 40mm 时, 评定合格的焊接工艺所适用的焊件母材最大厚度不限 4. 对接焊缝试件评定合格的焊接工艺适用于不等厚对接焊缝焊件, 但厚边和薄边母材的厚度都应在所评定的有效范围内 5. 对接焊缝试件或角焊缝试件评定合格的焊接工艺用于角焊缝焊件时, 焊件适用厚度范围不限 6. 板材对接焊缝试件评定合格的焊接工艺适用于管材对接焊缝反之亦可	1. 如焊件厚度大于 200mm, 并采用多道焊工艺, 焊件母材和焊缝金属厚度适用范围相应为 1.3T 和 1.3t 2. 如试件焊接条件属于下列情况之一则焊件最大适用厚度另作规定 1) 当单道焊焊道厚度或多道焊任一焊道厚度大于 13mm 时 2) 采用电渣焊或短路过渡气体保护焊时 3) 试件经高于临界温度的焊后热处理时 焊件最大适用厚度为 1.1T 4) 当采用气焊时, 焊件最大适用厚度为 T 3. T 形接头对接焊缝试件的厚度适用范围与对接接头焊缝相同 4. 对于管子/管板角焊缝, 如焊件的管壁厚度小于评定试件管壁厚度则应重新评定 5. 当对接头有冲击韧度要求时, 焊条电弧焊、埋弧焊、气体保护焊工艺评定厚度适用范围的最小值, 当 T 小于 8mm 时, 为 0.5T, 当 T 等于或大于 8mm 时为 T 和 16mm 取较小值 6. 堆焊层试件厚度适用范围的最小值为最小堆焊层厚度	2. 当对接头有冲击韧度要求时, 焊件最小适用厚度为: $t \leq 6\text{mm}$ 时, $T_{\min} = 0.5t$ $t > 6\text{mm}$ 时, $T_{\min} = t$ 或 16mm 取其中较小值 3. 角焊缝工艺评定试件厚度适用于任意厚度的焊件, 但工艺评定试件焊脚尺寸与焊件焊脚尺寸适用范围按如下规定: 试件焊脚尺寸 K/mm ≤ 20 > 20 焊件焊脚尺寸适用范围/mm $> 0.75K \sim 1.5K$ > 15

(续)

评定项目及 评定规则	标准编号及名称											
	JB4708-92 钢制压力容器焊接工艺评定				JB4420-89 锅炉焊接工艺评定				JB/T6963-93 钢制件熔化焊工艺评定			
7. 工艺评 定厚度适用范 围	7. 当组合焊缝焊件为全焊透 时,可采用坡口形式和尺寸 类同的对接焊缝试件评定, 当组合焊缝焊件不全焊透 时,如坡口深度大于焊件中 较薄母材厚度的一半,则按 对接焊缝评定,如坡口深度 小于或等于较薄母材厚度 的一半,则按角焊缝评定											
8. 评定试 件检验项目	1. 对接焊缝试件的检验项目 外观检查、无损探伤和力学 性能试验 力学性能试验项目:拉伸、 弯曲(面弯、背弯、侧弯)和 冲击(当要求时) 力学性能试验的试样类别 和数量取决于试件母材的 厚度,按下表规定				1. 对接焊缝的检验项目: 外观检查,射线检验,力学 性能试验,力学性能试验项 目:拉伸、弯曲、冲击取样数 量按下表规定				1. 对接焊缝的检验项目: 力学性能试验:接头拉伸、 正弯、背弯、侧弯、冲击(当 要求时) 取样数量按下表规定:			
	试件 厚度 T/mm	拉伸 (接头)	面弯	背弯	侧弯	冲击焊 缝及热 影响区	试件 厚度 T/mm	拉伸 (接头)	正弯	背弯	侧弯	冲击焊 缝及热 影响区
	<1.5	2	2	2	—	—	<19	2	2	2	—	各3
	$1.5 \leq T < 10$	2	2	2	—	—	双面焊	2	2	—	2	各3
	$10 \leq T < 20$	2	2	2	—	—	>19	2	—	2	2	各3
	$T \geq 20$	2	—	—	4	各3	单面焊	2	—	2	2	各3
	1) 当试件采用两种或两种以上 焊接方法焊成时,拉伸和弯 曲试样的受拉面应包括每种 焊接方法焊接的焊缝金属, 当要求作冲击试验时,每种 焊接方法的焊缝区及热影响 区都要作冲击试验				1) 当试件厚度小于20mm但 不小于10mm时,可用4个 侧弯代替2个面弯和2个 背弯试样				1) 对接焊缝试件两侧母材或 母材与焊缝之间的延伸率 差异较大,可取纵向弯曲试 样代替横向弯曲试样			
	2) 一根管子对接接头全截面 试样,可以代替两个板状接 头试样当试件两侧母材或焊 缝和母材之间的弯曲性能有 显著差别时,可改用纵向弯 曲试验代替横向弯曲试验				2) 厚度10mm以上筒体纵缝 工艺评定力学试验中应包 括全焊缝金属拉力试验,其 取样数量当试件厚度不大 于70mm时为1个,大于 70mm时为2个				2) 当要求作冲击试验时,不同 P号母材相焊对接接头热 影响区冲击试样应从两种 母材各取3个			
					3) 低合金耐热钢,当试件厚度 大于16mm时,应在外观检 查后进行磁粉检验				2. 角焊缝试件检验项目: 金相宏观检验和断口检验 取样数量:金相宏观1个 断口2个			
					4) 要求附加金相检验时,可作 宏观或宏观加微观检验,按 产品要求而定							

(续)

评定项目及 评定规则	标准编号及名称		
	JB4708—92 钢制压力容器焊接工艺评定	JB4420—89 锅炉焊接工艺评定	JB/T6963—93 钢制件熔化焊工艺评定
8. 评定试 件检验项目	3) 当试样厚度大于 10mm 时, 可以用四个侧弯试样代替二个面弯和二个背弯试样 4) 当焊缝两侧母材钢号不同时, 每侧热影响区都应取三个冲击试样 2. 角焊缝试件的检验项目 外观检查、金相宏观检验 1) 板材角焊缝试样, 试件两端各舍去 25mm, 沿试件横向等分切取 5 个试样, 每块试样取一个面进行金相宏观检验 2) 管/板角焊缝试样, 将试件等分切取 4 个试样, 焊缝起始端和收弧点应位于试样焊缝的中部, 每块试样取一个面进行金相宏观检验 3. 组合焊缝试件的检验项目 外观检验和金相宏观检验, 取样数量同角焊缝试件 4. 耐蚀层堆焊试件的检验项目 渗透检验、弯曲试验和化学成分分析 1) 渗透检验合格后在试件上切取 4 个侧弯试样平行和垂直于焊接方向各取 2 个。试样厚度至少应包括堆焊层全部、熔合区和基层热影响区 2) 化学成分分析 试样应在规定的堆焊层最小厚度上占取, 取样深度最大为 0.5mm	2. T 形接头焊缝 T 形接头焊缝力学性能试验可用对接焊缝试件检验, 取样数量同对接缝 当 T 形接头要求附加磁粉检验和超声波检验时, 应在外观检查后进行 金相检验采用宏观或宏观+微观检验, 按产品要求而定 3. 角焊缝检验项目: 外观检查和金相宏观检验、宏观检验 试样数量: 板材角焊缝: 5 个 管材角焊缝: 4 个 管/板角焊缝: 10 个 膜式壁板/管角焊缝: 4 个 4. 堆焊层检验项目: 耐磨堆焊层: 外观、着色检验、宏观金相检验、硬度试验、化学分析 取样数量: 宏观检验 2 个, 硬度试验 3 个, 化学分析 1 个 耐蚀堆焊层: 外观检查、着色检验、侧弯试验、化学分析 取样数量: 侧弯 4 个 化学分析 1 个	
9. 评定合格标准	1. 对接焊缝拉伸试验合格标准: 当试件母材为同钢号时, 每个试样的抗拉强度应不低于母材钢号标准规定的下限值 当试件母材为两种钢号时, 每个试样的抗拉强度应不低于两种钢号标准规定的较低下限值 当采用两片或多片试样时, 每片试样的抗拉强度都应符合上述规定	1. 评定试件的外观检查合格标准 1) 焊缝和热影响区不允许有裂纹、未熔合、夹渣、弧坑和气孔 2) 对咬边的要求, 锅筒、集箱、封头、管板拼接缝工艺评定试件焊缝不允许有咬边, 管子对接焊缝工艺评定试件焊缝咬边深度不大于 0.5mm, 咬边总长度不大于管子周长的 20% 和 40mm 取二者中较小值, 其他受压元件, 咬边深度不大于 0.5mm	1. 对接试件的力学性能合格标准 1) 对接接头拉伸试验的抗拉强度不得低于母材最低的规定值, 异种钢接头为强度较低母材最低的规定值或产品设计技术条件规定值 2) 对接接头弯曲试验合格标准 弯曲芯棒直径为 $4t$ 弯曲角 180° 试样弯到 180° 后, 在焊缝和热影响区上不得有长度大

(续)

评定项目及 评定规则	标准编号及名称				
	JB4708—92 钢制压力容器焊接工艺评定				
9. 评定合格标准	2. 对接焊缝弯曲试验合格标准: 弯曲试样的弯轴直径 D 和弯曲角度要求按下表				
	焊缝形式	钢种	弯轴直径 D	支座间距	弯曲角度/(°)
	双面焊	碳钢 奥氏体钢	3s	5.2s	180
		其他低合金钢 合金钢	3s	5.2	100
	单面焊	碳钢 奥氏体钢	3s	5.2s	90
		其他低合金钢 合金钢	3s	5.2s	50
	试样弯曲到规定的角度后,其拉伸面上出现长度大于 1.5mm 的任一横向(沿试样宽度方向)裂纹,或缺陷,或长度大于 3mm 的任一纵向(沿试样长度方向)裂纹或缺陷,则评为不合格,试样的棱角开裂一般不计,但夹渣或其他焊接缺陷引起的棱角开裂应计入				
	3. 冲击试验合格标准 每个区三个试样的冲击吸收功平均值应不低于母材标准规定值,并至多允许有一个试样的冲击吸收功低于规定值,但不低于规定值的 70%				
	4. 角焊缝金相宏观检验合格标准 1) 焊缝根部应焊透,焊缝金属和热影响区不得有裂纹未熔合 2) 角焊缝两焊脚尺寸之差不得大于 3mm 5. 角焊缝和组合焊缝外观检查合格标准试件接头表面不得有裂纹和未熔合				
	3) 堆焊层表面平整,没有裂纹、气孔和凹坑 2. 无损检验 1) 对接焊缝射线检验焊缝质量Ⅰ级为合格 2) 对接焊缝磁粉检验合格标准: a) 不允许有任何裂纹和成排气孔 b) 缺陷显示不超过Ⅰ级 3) 大口径管角焊缝试件超声波检验不超过 JB3144 规定的判度条件 4) 堆焊层超声波检验合格标准 1) 堆焊层和熔合面均不允许有裂纹 2) 堆焊层缺陷当量小于 1.5mm 横孔 3) 熔合面缺陷当量小于 $\phi 10\text{mm}$,平底孔 5) 堆焊层着色检验合格标准: 不允许有表面裂纹 3 力学性能试验 1) 对接焊缝拉伸试验合格标准: a) 同种钢接头抗拉强度不低于母材抗拉强度规定值的下限,异种钢接头不低于强度较低一侧母材抗拉强度规定值的下限 b) 全焊缝金属的抗拉强度和屈服点不低于母材抗拉强度和屈服点规定值的下限,如母材抗拉强度规定值的下限大于 490MPa 且焊缝金属的屈服点大于母材屈服点规定值的下限,则允许焊缝金属的抗拉强度比母材抗拉强度规定值的下限低 19.6MPa,全焊缝金属的伸长率不小于母材伸长率下限的 80%				
于 3.0mm 的裂口,试样棱角处的开裂,只要不属夹渣或内部缺陷引起,则不予考虑 3) 冲击试样的冲击吸收功,不得低于相关标准或产品技术条件规定值 冲击试样的试验温度可按产品的使用温度或按产品技术条件的规定 2. 角焊缝检验的合格标准 1) 宏观检验试样不得有肉眼可见的未熔合和裂纹 2) 断口试验试件在折断面上各缺陷长度之和不得超过受检焊缝长度的 30% 3. 力学性能试验复试 如力学性能试验时,出现某一试样不合格,则容许取 2 倍试样复试,同时应符合下列条件之一 1) 试样抗拉强度低于最低规定值,但大于最低规定值的 90%并确认由母材缺陷所引起 2) 弯曲试样弯曲角低于合格标准,其原因属非焊接缺陷所引起 3) 3 个冲击试样中,有一个试样的冲击吸收功低于要求值,但 3 个试样冲击功的算术平均值大于要求值					

(续)

评定项目及 评定规则	标准编号及名称									
	JB4708-92 钢制压力容器焊接工艺评定				JB4420-89 锅炉焊接工艺评定				JB/T6963-93 铜制件熔化焊工艺评定	
9. 评定合格标准	6. 耐蚀层堆焊弯曲试验合格标准 弯曲试样的弯轴直径 D 和弯曲角要求按下表				2) 对接焊缝和堆焊层弯曲试验合格标准 弯轴直径为 $3t$, 支点间距为 $5.2t$ 弯曲角度要求按下表:					
	试样厚度 t	弯轴直径 D	支座间距	弯曲角 / (°)	钢种	碳钢和奥氏体钢	低合金钢和合金耐热钢			
	10	40	63	180	焊缝形式	单面焊	双面焊	单面焊	双面焊	
	<10	4t	6t+3		弯曲角 / (°)	90	180	50	100	
	试样弯曲试验后在拉伸面上的堆焊层不得有超过 1.5mm 长的任一裂纹和缺陷, 在熔合线上不得有超过 3mm 长的任一裂纹或缺陷				当试样弯曲到规定角度后, 焊缝拉伸面上所允许的裂纹或缺陷长度为: 沿试样宽度方向不大于 0.5mm, 沿试样长度方向不大于 3mm, 试样棱边开裂不计, 但因夹渣或其他缺陷引起的棱角开裂长度应计入					
	7. 堆焊层化学分析合格标准 按产品技术条件的规定				3) 对接焊缝冲击试验合格标准 每一部位 3 个试样冲击韧度的算术平均值不低于母材冲击韧度规定值的下限且至多只允许 1 个试样的冲击韧度低于规定值但不低于规定值下限的 70%					
					4. 金相检验合格标准					
					1) 对接焊缝宏观金相检验合格标准为: 不允许有疏松, 未熔合、未焊透和裂纹					
					2) 对接焊缝微观金相检验合格标准为: 不允许有过烧组织, 淬硬马氏体组织和显微裂纹					
					3) 角焊缝宏观金相检验合格标准: T 形接头和管/板角焊缝, 焊缝根部不允许有未熔合, 裂纹 膜式壁角焊缝、焊缝和热影响区不允许有裂纹, 角焊缝厚度 $a_1 + a_2$ 应大于 $1.25A$ (A 为板厚度), 未焊透 δ 不大于 $0.4A$, 直径 2mm 及以上的非贯穿性气孔不超过 1 个					

(续)

评定项目及 评定规则	标准编号及名称		
	JB4708—92 钢制压力容器焊接工艺评定	JB4420—89 锅炉焊接工艺评定	JB/T6963—93 钢制件熔化焊工艺评定
9. 评定合格标准		4) 堆焊层宏观金相检验合格标准, 堆焊层和母材不允许有裂纹,未熔合或其他线状缺陷 5. 断口检查合格标准 参照 GB1814, 应无裂纹, 未熔合, 及超容限的气孔和夹渣 6. 硬度试验合格标准 3 个试样硬度的平均值不低于产品技术条件的规定值, 只允许 1 个试样低于规定值 7. 堆焊层化学分析合格标准: 分析结果应满足产品技术条件的规定 8. 螺柱焊缝试验合格标准 螺柱焊缝冲击试验和折弯试验合格标准 5 个试验螺柱焊缝均不应有裂纹 螺柱焊缝拉伸试验或扭转试验的断裂强度或扭矩应符合产品技术条件的规定	

附录 B 德国劳埃德船建法规中

关于船体结构焊接工艺评定的规定^①

1. 对焊接工艺评定的基本要求

1.1 母材的类别

除了 A 至 D 级船体结构钢外, 下列材料以及复合材料均要求作焊接工艺评定。

这些材料是: E 级和 F 级普通强度船体结构钢、高强度船体结构钢和铸钢、高强度 (淬火+回火) 细晶粒结构钢、低温韧性钢、不锈钢和复合钢板、铝合金和其它非铁金属。

船体结构钢按强度等级作如下分类:

1) A、B、D 和 E 级普通强度船体结构钢, 包括最小屈服点为 280MPa 及以下的普通结构钢。

^① 本附录由江南造船 (集团) 公司张林、刘放、陈徽等译陈裕川摘录。

2) A32、D32、E32、F32、A36、D36、E36 和 F36 级高强度船体结构钢，包括最小屈服点大于 280MPa 和 355MPa 以下的普通结构钢。

3) A40、D40、E40、F40 级高强度船体结构钢。

在上列每类钢材中，较高韧性级别钢材的焊接工艺评定适用于较低韧性级别的钢材。

在相同韧性级别的钢材中，例如 A、A32、A36、A40 较高强度级别钢材的焊接工艺评定，适用于较低强度级别的钢材。

一种焊接方法的工艺评定适用范围，如包括同一强度级别或韧性级别的各种钢材，则焊接工艺评定试验至少应从每类强度级别或每组韧性级别的钢材中取两种钢材进行。其中一种是最低级别的，而另一种是最高级别的钢材。

焊接工艺评定试板所用母材及其所评定的钢种范围，见表 B-1。

表 B-1 焊接工艺评定所用母材及其所评定的母材钢种范围

焊接工艺评定所用母材	所评定的母材钢种范围	焊接工艺评定所用母材	所评定的母材钢种范围
A 或 B 级	A 和 B 级	A40 和 D40 级	A40 级至 D40 级
A 和 D 级	A 级至 D 级	A40 和 E40 级	A40 级至 E40 级
A 和 E 级	A 级至 E 级	A40 和 F40 级	A40 级至 F40 级
A36 和 D36 级	A32 级至 D36 级	A 级、D 级和 D36 级	A 级至 D 级及 A32 级至 D36 级
A36 和 E36 级	A32 级至 E36 级	A、D 级或 E 级和 E36 级	A 级至 E 级及 A32 级至 E36 级
A36 和 F36 级	A32 级至 E36 级		

1.2 焊接方法

除了焊工资格考试中规定的焊接方法外，下列焊接方法均需作焊接工艺评定。

手工焊接方法：垂直向下焊接、深熔焊和带衬垫的单面焊。

半机械化焊接方法：重力焊，带衬垫的单面焊，自保护药芯焊丝电弧焊。

全机械化焊接方法：埋弧焊、药芯焊丝电弧焊、多丝埋弧焊、单面焊、电渣焊和熔嘴电渣焊、熔化极气体保护焊和气电立焊。

特种焊接方法：螺柱焊、闪光对接焊、摩擦焊、激光束焊、堆焊、管子对接环缝全位置焊和机器人焊接等。

对于 A 级至 D 级普通强度船体结构钢的常规单丝埋弧焊，在首次应用之前，经验船师同意，可通过试验焊缝和无损检测（例如射线探伤），证明这种方法的可靠性和工艺适应性，而不必作工艺评定试验，但所用的焊接材料和辅助材料必须经船级社认可。

1.3 焊接材料和辅助材料

(1) 所使用的各种焊接材料和辅助材料 包括药皮焊条、焊丝-保护气体组合和焊丝-焊剂组合等必须经船级社认可。

(2) 焊接船体结构钢的焊接材料和辅助材料的质量等级 应符合表 B-2 的规定。

(3) 对于不同钢号船体结构钢之间的焊接，焊接材料及辅助材料的质量等级 应按下列规定：

1) 不同钢号的普通强度船体结构钢之间的焊接，焊接材料和辅助材料的质量等级，应按较高质量等级（较高韧性等级）的船体结构钢选定质量等级。如 A 级钢与 D 级钢相焊，焊接

材料的质量等级应为 2 级。

2) 不同钢号的高强度船体结构钢之间的焊接, 焊接材料和辅助材料的质量等级, 应按较高质量等级 (较高韧性级别) 的船体结构钢而定。如, A36 级钢与 E36 级钢相焊, 焊接材料的质量等级应为 3y 级。

表 B-2 船体结构钢用焊接材料和辅助材料的质量等级

焊接材料和辅助材料的质量等级代号	船体结构钢钢号											
	A	B	D	E	A32/36	D32/36	E32/36	F32/36	A40	D40	E40	F40
1, 1S, 1T, 1M, 1TM, 1V	⊗											
1YS, 1YT, 1YM, 1YTM, 1YV	⊗	①			⊗ ^②							
2, 2S, 2T, 2M, 2TM, 2V	⊗	⊗	⊗									
2Y, 2YS, 2YT, 2YM, 2YTM, 2YV	⊗	⊗	⊗		⊗	⊗						
2Y40, 2Y40S, 2Y40T, 2Y40M, 2Y40TM, 2Y40V	①	①	①		⊗	⊗			⊗	⊗		
3, 3S, 3T, 3M, 3TM, 3V	⊗	⊗	⊗	⊗								
3Y, 3YS, 3YT, 3YM, 3YTM, 3YV	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗					
3Y40, 3Y40S, 3Y40T, 3Y40M, 3Y40TM, 3Y40V	①	①	①	①	⊗	⊗	⊗		⊗	⊗	⊗	
4Y, 4YS, 4YT, 4YM, 4YTM, 4YV	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗				
4Y40, 4Y40S, 4Y40T, 4Y40M, 4Y40TM, 4Y40V	①	①	①	①	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗

① 尽可能不使用, 否则应取得本船级社认可。

② 对于 A32/36, 在焊接较薄钢板 (25mm 以下) 时, 应尽可能采用质量级别为 1Y, …, 的焊接材料和辅助材料。

3) 普通强度船体结构钢与质量等级相当的较高强度船体结构钢相焊, 焊接材料和辅助材料的质量等级, 应按拟采用的普通强度船体结构钢而定。如 D 级钢与 D36 级钢相焊, 焊材的质量等级应为 2 级。

4) 普通强度船体结构钢与不同质量等级的较高强度船体结构钢相焊, 应采用质量等级相当于较高质量等级 (较高韧性等级), 而强度相当于普通强度钢的焊接材料和辅助材料。如, A 级钢与 D36 钢相焊, 焊接材料的质量等级应为 2 级。

5) 对于壁厚 30mm 以上的构件及铸件的焊接, 应采用质量等级为 3H15 (H) 的低氢型焊接材料和辅助材料。对于较高强度船体结构钢, 焊接材料的质量等级应为 3YH10 (HH)。

6) 对于较高强度船体结构钢之间的焊接, 或与其与较低强度钢相焊, 如这些钢的碳当量 (w_{CE}) 超过 0.41%, 应采用低氢型焊接材料和辅助材料。

7) 对于奥氏体不锈钢与另一种钢及与船体结构钢之间的焊接, 焊接材料和辅助材料应经船级社认可。铝合金焊接材料亦应按本法规的有关规定, 经船级社认可。

(4) 焊接材料和辅助材料 只能在被认可的焊接位置下使用, 并采用焊接材料制造厂推荐的焊接参数。如焊接电流强度和极性。

(5) 对于特种材料的组合、焊接材料与辅助材料的组合 船级社可附加要求作焊接工艺评定。

1.4 焊缝形状和工艺参数

船级社只是对超出常规的,特殊形状的焊缝以及特别的焊接工艺参数的组合,才提出作焊接工艺评定的要求。

1.5 试件厚度

(1) 试件厚度应符合表 B-3 的规定 对于每种级别的母材(参见表 B-2)至少应评定两种不同厚度的试件。

表 B-3 试件厚度及适用的母材厚度范围

试板厚度 t/mm	适 用 范 围	
	单道焊和每边一道焊(双道焊)	多 道 焊
$t \leq 3$	$0.8 \sim 1.1t$	$t \sim 2t$
$3 < t \leq 12$	$0.8 \sim 1.1t$	$3\text{mm} \sim 2t$
$12 < t \leq 100$	$0.8 \sim 1.1t$	$0.5 \sim 2t$, 最大 150mm
$t > 100$	$0.8 \sim 1.1t$	$0.5 \sim 1.5t$

注: 1. 如果必须遵循特定的冷却条件,或规定特殊的焊缝形状,在选择试板厚度时要考虑这些因素。

2. 对于不等厚的试板,按如下规定:对于对接焊缝,以较小厚度作为规定尺寸,对于角焊缝,应取较大厚度。

3. 对垂直向下焊,在任何情况下试件厚度取适用范围的上限。

(2) 对于角焊缝,试验焊缝的厚度“ a ”与所评定的角焊缝厚度的关系为 $0.75a \sim 1.5a$ 如试验焊缝的厚度 $a \geq 10\text{mm}$,则其适用的焊缝厚度范围 $a \geq 10\text{mm}$ 。

(3) 如采用深熔焊接方法,可以降低所规定的角焊缝厚度 当使用易引起气孔的车间底漆,或采用根部熔透不足的焊接方法时,需增加焊缝厚度“ a ”。

(4) 在涂有车间底漆的钢板或部件上进行角焊缝焊接时,焊接工艺评定试件应涂相似的底漆。所用的车间底漆的种类和厚度应在试验报告中注明。

1.6 特殊要求

在某些个别的情况下,例如采用特殊的焊接方法或特殊的焊接工艺,船级社可规定各不相同的母材,试件的厚度或规定不同的适用范围。

2 焊接工艺评定试验

2.1 工艺评定试件的形状和尺寸

1) 焊条(手工)电弧焊和半机械化焊接的对接接头试件形状和尺寸,如图 B-1 所示。

2) 焊条(手工)电弧焊和半机械化角接缝试件形状(十字形接头试件)和尺寸,如图 B-2 所示。接合面的间隙不应大于 0.5mm 。角焊缝的厚度与产品中使用的焊缝厚度相当,但不应大于板厚的 0.5 倍。

与垂直向下焊,或最小屈服点大于 460MPa 的高强度钢、复合板和有色金属焊接有关的焊接工艺评定均要求焊制图 2-2 所示的角接缝试件。对于其它的焊接方法或材料,船级社也可要求做十字形试件。

3) 对于焊条(手工)电弧焊和半机械化焊接方法,经船级社同意,可以采用图 B-3 所示的简化角接缝试件(T形接头)。

4) 垂直立焊方法以外的全机械化焊接方法的对接焊试件形状和尺寸, 如图 B-4 所示。若试件在夹紧装置上焊接时, 试件的尺寸应符合夹紧装置的规格。对于单面焊, 试件长度至少为 3.0m。

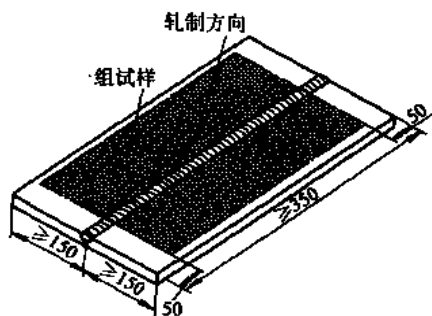


图 B-1 焊条电弧焊和半机械化焊接对接接头试件

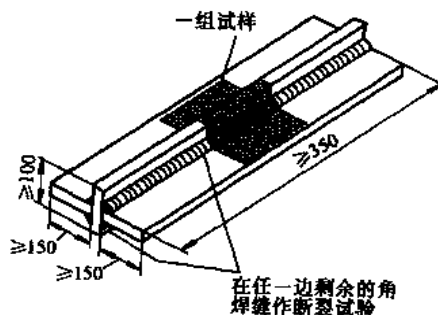


图 B-2 焊条电弧焊和半机械化焊接角接缝试件（十字接试样）

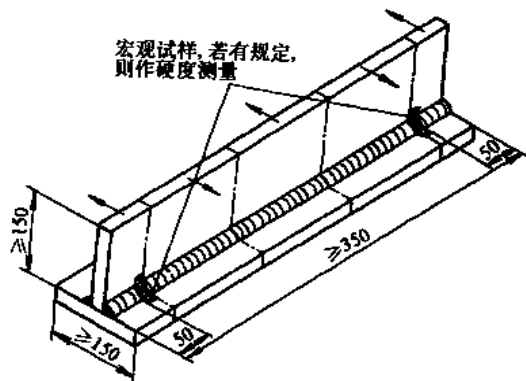


图 B-3 焊条电弧焊、半机械化焊接简化型角接缝试件（T形接头试件）

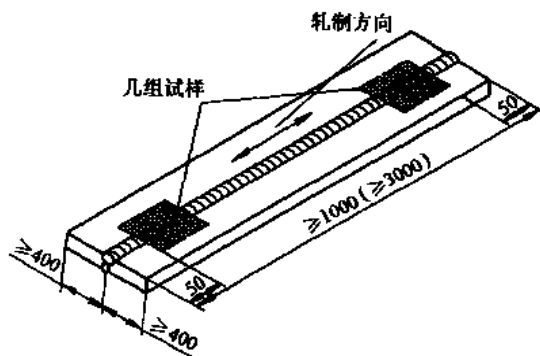


图 B-4 全机械化焊接的对接焊试件

5) 对于垂直立焊, 试件长度（焊缝长度）应符合生产中使用的夹紧装置规格。对于熔嘴电渣焊, 试件的长度应符合熔嘴的长度或待焊部件的高度。

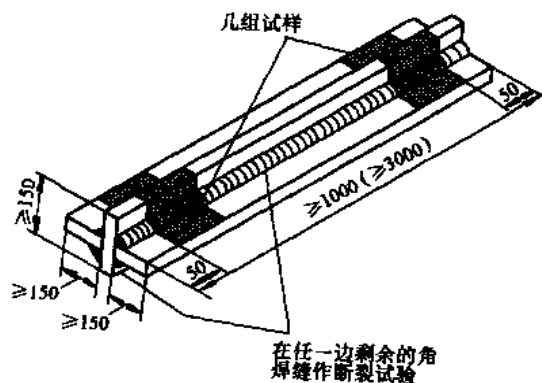


图 B-5 全机械化焊接的角接缝试件（十字形接头试件）

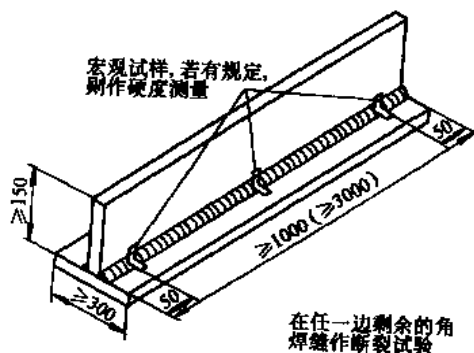


图 B-6 全机械化焊接简化型角接缝试件（T形接头试件）

(6) 对于全机械化焊接方法,若要求作角接缝的评定试验,应采用如图 B-5 所示的试件,接合面的间隙不应大于 0.5mm,角焊缝的厚度应与产品角焊缝的厚度相当,但不应大于板厚的 0.5 倍。对于双角焊缝焊接,试件长度至少为 3.0m。

(7) 经船级社同意,全机械化焊接工艺评定,也可采用如图 B-6 所示的简化型角接缝试件(T-形接头试件)。

2.2 试件的焊接位置

通常试件的焊接位置应与产品施焊的位置相同。按照焊接方法和材料的类别,也可将试件的焊接位置限制在特定的位置。例如焊条电弧焊和半机械化熔化极气体保护焊可限于与焊工考核相应的焊接位置,仰焊可结合平焊进行评定。

2.3 试件的焊接

(1) 所有焊接工艺评定试件的焊接条件 应与车间的施工条件相一致,并应考虑焊前的冷加工成形、焊缝的坡口准备、装配间隙公差以及在产品上所使用的涂料(车间底漆)。困难的生产条件(如有限的可达性),应在试件的焊接中加以模拟。

(2) 在工艺评定试验中使用的装备、焊接设备,辅助装配机械和定位焊等 应与实际生产中应用的相同。在平焊和立焊位置焊接中应计及可能产生的与理论焊接位置的最大倾角偏差,如船台的倾角。

(3) 在可能的情况下应组织几名焊工(至少为 2 名)或几个班组共同完成焊接工艺评定试验 每个焊工或班组应重新完成试件的准备(定位焊),焊接设备的调整、焊接电源和送丝速度的调节等。

(4) 预热温度、单位热输入量,层间温度,焊条更换和焊接设备的启动和停止 应与实际施工条件相一致。焊条电弧焊焊条应熔化到夹持端。

(5) 在焊接工艺评定试验中增加盖面层焊道,清根或不清根不作硬性规定 单面焊中,应使用与实际生产相同类型的衬垫。

(6) 在机械化焊接中,焊接操作的中断,试件完全冷却,设备的再起应进行模拟 弧坑的机械修正和再引弧点的准备应按常规做法。这些焊缝区域的试验结果应分别评定。

(7) 在工艺评定试板焊接过程中出现的小缺陷 经验船师同意,容许修补或在试样制备时去除。如出现严重的缺陷,则应查明原因,采取纠正措施,重新焊接试板。

(8) 在试板焊接过程中,应记录下列数据:

- 1) 坡口形状和加工方法。
- 2) 焊缝熔敷顺序和焊道数。
- 3) 焊接材料和辅助材料(型号,牌号,规格、数量)。
- 4) 清根和层间清理方法。
- 5) 预热和层间温度。
- 6) 焊接设备和工艺参数(焊接电流、电弧电压、焊接速度和单位热输入量)。
- 7) 焊接程序中断和故障。
- 8) 焊工的姓名。
- 9) 试验中出现的特殊情况(例如气候的影响)。

2.4 试件的焊后热处理

1) 如产品部件生产过程中规定需作焊后热处理(如消除应力处理),则试件亦应作相同的焊后热处理。这也适用于其它形式的后处理,例如焊缝界面的钨极氩弧焊后处理。如要求焊后不处理和焊后处理两种状态作出评定,则应完成两种状态的试验。

2) 在可能的情况下,试件的焊后热处理应在产品部件所用的退火炉中完成。退火炉必须装有温度记录仪,应记录实际的温度时间曲线。其它形式的后处理应在试验报告中说明。

2.5 试件焊缝的无损检测

1) 每一付对接焊接试件在取样前应对焊缝全长进行目视检查 and 无损检测,以查明焊缝表面和内部的焊接缺陷。通常采用射线探伤。对于厚度 $\geq 30\text{mm}$ 的试件,包括厚度 $\geq 10\text{mm}$ 的单面埋弧焊试板,应外加超声波检验,并记录所有的缺陷和信号。

2) 当母材或焊缝金属具有裂纹倾向,还应进行表面裂纹检验。普通钢材可采用磁粉检验,非磁性材料应采用渗透检验法。对于特种钢材,船级社可要求在焊接工作结束后延迟作裂纹检验,如规定相隔72h。

3) 对于每一K形接头,或T形角接头,或十字形接头的试件需作焊缝目视检查。对于有裂纹倾向钢材的试件,还需另加表面裂纹检验。

3 工艺评定试件的取样要求

3.1 对接焊试件的取样要求

1) 对于焊条电弧焊、半机械化和全机械化对接焊试件,应按图B-7的取样位置截取一组或多组试样。试样的种类、形式和数量按表B-4的规定。

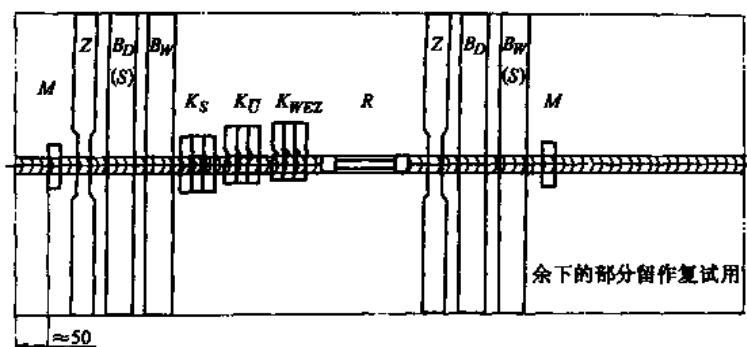


图 B-7 对接焊试件的取样部位

2) 缺口冲击试样应分别从焊缝中心,过渡区(熔合线)和热影响区截取,如图B-8所示。ISO-V形缺口应垂直于钢板表面。如钢板相当厚且焊缝中心区域存在偏析,则应从板厚的中间部位另取三组冲击试样。

缺口冲击试样的中心线和缺口正中的交点,应在热影响区的粗晶区内,图B-8所示的“x”值通常取2mm。若试件的材料为低温韧性钢,则应分别制备 $x=1\text{mm}$ 、 $x=3\text{mm}$ 、 $x=5\text{mm}$ 的三组缺口冲击试样。

按所采用的母材和焊接方法，也可要求从其它区域切取缺口冲击试样。对于某些材料，如奥氏体不锈钢或铝合金，若不用于低温，可免作缺口冲击试验。

表 B-4 焊接工艺评定试件的取样种类、形式和数量

试件接头形式	所要求的试样种类形式和数量									
	拉伸	数量 /个	横向弯曲	数量 /个	纵向弯曲	数量 /个	缺口冲击的 试样取位	数量 /个	宏观	硬度
对接焊试件 (焊条电弧焊 半机械和全机 械化焊接)	板状拉伸 试样 焊材未经 认可取焊缝 金属纵向圆 棒拉伸试样	2 1	面弯 背弯 试件厚度 >20mm 横向弯曲 侧向弯曲	2 2 2 2	接头两侧 母材强度不 同时取纵向 弯曲	4	焊缝中心 过渡区 热影响区	3 3 3	2 必要时作 微观检验	维氏硬度 (HVS, HV ₁₀)
单面对接焊 试件	焊缝金属 圆棒拉伸 试样	1	横向弯曲 侧向弯曲 试件厚度 ≥20mm 侧向弯曲	2 2 4	/	/	焊缝中心 过渡区 热影响区	3 3 3	2	必要时作 硬度测定
垂直对接焊 试件	板状拉伸 试样 焊材未经 认可取焊缝 金属圆棒拉 伸	2 1	面弯 背弯 侧弯	1 1 2	/	/	焊缝中心 焊缝边界 区 过渡区 热影响区	3 3 3 3	2 必要时作 微观检验	必要时 测定硬度
十字形接头 角接焊试件	十字形接 头拉伸试样	3	/	/	/	/	/	/	1 必要时作 微观检验	必要时 测定硬度
T形接头角 接焊试件	/	/	/	/	/	/	/	/	2~3 断口检验	必要时 测定硬度

3) 为评定焊缝及热影响区的晶粒组织，应取 2 个宏观试样。如母材的淬硬性较高以及焊接热循环可能导致接头硬度增高，而损害焊缝的韧性和强度特性时，应按图 B-9 测定接头各区的维氏硬度 (HV₅ 或 HV₁₀)。对于厚度大于 20mm 的较高强度船体结构钢，以及最小屈服点大于 355MPa 的高强度淬火+回火细晶粒结构钢焊接试件均应作硬度测定。

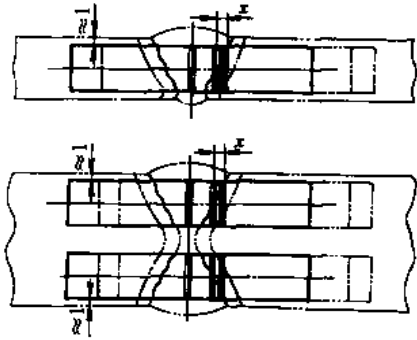


图 B-8 缺口冲击试样取样部位

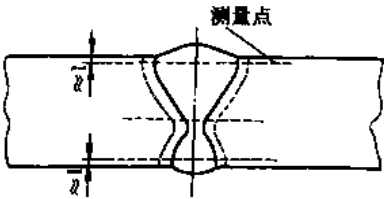


图 B-9 硬度测点行列

3.2 单面对接焊试件取样要求

- 1) 单面对接焊试件截取的试样种类、形式和数量按表 B-4 的规定, 取样部位按图 B-7。
- 2) 如单面焊时采用附加焊接材料, 如铁粉及相似的填充材料或必须考虑衬垫金属对焊缝金属的稀释作用时, 应从焊缝金属长度方向取一个圆棒拉伸试样。
- 3) ISO-V 形缺口冲击韧性试样应按图 B-10 切取。

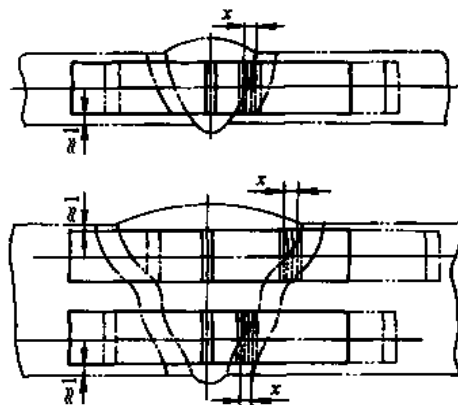


图 B-10 单面对接焊试件缺口
冲击试样切取部位

- 4) 如所采用的焊条电弧焊和半机械化焊接已得到船级社的认可, 只是将其适用范围扩大到带衬垫的单面焊, 则应取两个横向背弯试样和两个侧弯试样, 或当试件的板厚大于 20mm 时, 取四个侧弯试样。对于较高强度船体结构钢及其它规定的材料, 可只从根部区域取三个为一组的缺口冲击试样。

3.3 垂直对接焊试件的取样要求

- 1) 从垂直对接焊试件中截取的试样种类、形式和数量按表 B-4 的规定, 取样部位按图 B-11。

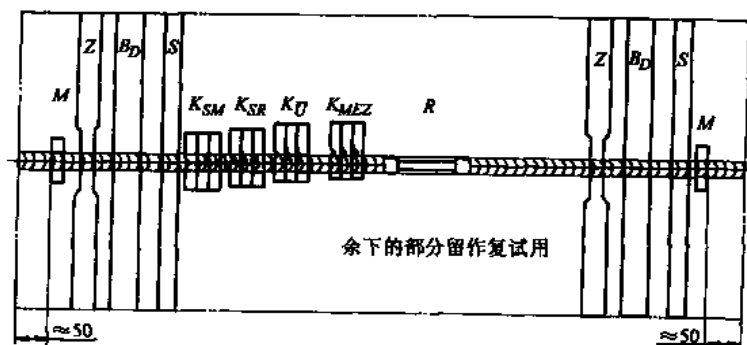


图 B-11 垂直对接焊试件试样切取部位

- 2) 若拟采用的焊接材料和辅助材料未经船级社认可, 或使用附加焊接材料, 如铁粉、熔嘴等, 则应从焊缝金属长度方向取一个圆棒拉伸试样。
- 3) 焊缝金属中心、焊缝金属边界区、过渡区 (熔合线) 和热影响区缺口冲击试样按图 B-12 切取。其中 “y” 值确定方法与 “x” 值相同。

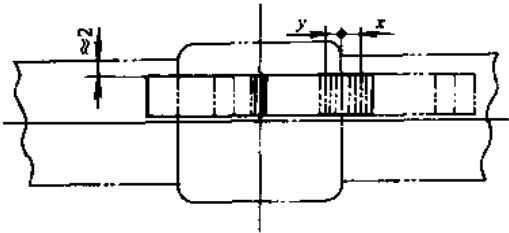


图 B-12 垂直对接焊试件中缺口
冲击试样切取部位

3.4 十字形角接缝试件的取样要求

1) 十字形角接缝试件中切取试样的种类、形式和数量，按表 B-4 的规定，试样的切取部位如图 B-13 所示。

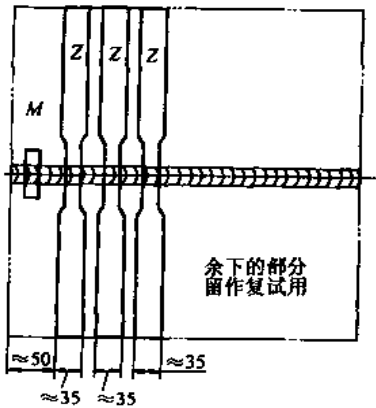


图 B-13 十字形角接
试件的取样部位

2) 规定切取的十字形接头拉伸试样横剖面及拉伸-抗剪综合强度（其单位为 MPa）计算公式示于图 B-14。

3) 如要求测定接头的硬度，则测点的行列按图 B-15 的规定。

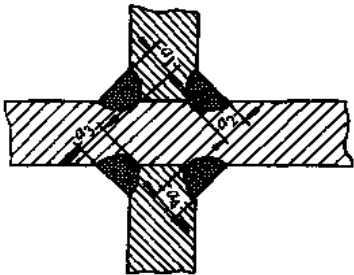


图 B-14 十字形接头拉伸试样横剖面

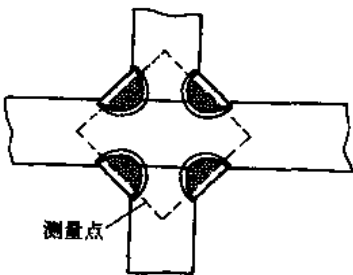


图 B-15 十字形接头硬度测点行列

$$\begin{aligned} a_1 + a_2 &= \text{断口截面 } S/2 \\ a_3 + a_4 &= \text{断口截面 } S3/4 \\ \text{拉伸抗剪强度} &= \frac{\text{断裂载荷 } F}{S_B \text{ 试样宽度}} \\ S_B &= S_{1/2} \text{ 或 } S_{3/4} \text{ 按断口位置} \end{aligned}$$

3.5 T形角接缝试件的取样要求

1) T形角接缝试件的取样种类、形式和数量按表 B-4 的规定,必要时按图 B-15 所示的测点位置作硬度测定。

2) 试件的剩余部分切割成适当长度的试块,将一侧焊缝加工掉,将另一侧角焊缝打开,以评定断口。

3.6 试样的制备

1) 试样应采用机械加工方法切取。如用热切割方法切取,则应留出足够的机械加工余量,并必须将热影响区加工掉。

2) 取样前,应在每个试样上作标记,并在机械加工全过程中都能加以识别,而试件的方向性应能被判别。

3) 对于焊条电弧焊、半机械化焊,通常是从所有的对接缝和角接缝试件中取每种一组试样进行试验。而对于全机械化焊接,应从试件的起始端和末端各取每种一组试样进行试验。在特殊情况下,可能要求从焊缝中间部位取第 3 组试样。

4 工艺评定试样接头性能合格标准

4.1 船体结构钢焊接工艺评定试样接头性能合格标准

1) 船体结构钢对接接头焊接工艺评定试样,必须符合表 B-5 所列的各项最低要求。

表 B-5 船体结构钢对接接头工艺评定试样最低性能要求

钢号	屈服点 (焊缝金属)/MPa	抗拉强度 /MPa	伸长率 (焊缝金属)($L_0=5d_0$)/%	冲击吸收功 ^① /J			弯曲角度 ^② ($D=3t$)	弯曲伸长率 (标距长度 $2B_N$ ^③ /%)
				手工和半机械焊	机械焊	温度/°C		
A/B	305	400	22	47	34	+20	180	22
D						±0		
E						-20		
A32	335	440	22	47	34	+20	180	22
D32						±0		
E32						-20		
F32						-40		
A36	375	490	22	47	34	+20	180	22
D36						±0		
E36						-20		
F36						-40		
A40	400	510	22	47	34	+20	180	22
D40						±0		
E40						-20		
F40						-40		

① ISO V 形缺口试样,三个试样的平均值。最小单个值和重复试验。

② 为确保试验结果的准确性,则本船级社可以同意用直径为四倍试样厚度的弯芯。

③ 标距长度 $2B_N$ 按照 DIN50121,等于焊缝宽度加上每边半个焊缝宽度。

2) 表 B-5 中所列的最小冲击吸收功值适用于焊缝中心、过渡区、熔合线和母材热影响区。对于焊条电弧焊和半机械化焊接方法,除了垂直向上焊外,这些合格标准适用于所有的焊接位置。对于全机械化焊接可适用于各种垂直焊位置(相应为 34J 或 41J)。

3) 在一些特殊的情况下,例如构件的工作温度低于 -10°C ,则亦可按所焊钢种材料规范中规定的试验温度和冲击吸收功作为合格标准。

4) 当钢板厚度小于 10mm,可以采用试样宽度与板厚相对应的缺口冲击试样。试样宽度取 7.5mm 或 5mm 即可。冲击吸收功的合格标准应按表 B-6 的规定进行折算。

对于厚度小于 5mm 的钢板,一般不要求做缺口冲击试验,但可以规定做其它的抗脆断试验。

5) 弯曲试验应用直径为 3 倍试样厚度的弯芯进行。如能确保试验结果的准确性,可以采用直径为 4 倍试样厚度的弯芯。弯曲角均为 180° 。所要求的弯曲伸长率必须在第一条裂纹出现之前达到。张开的小气孔和长度不超过 3mm 的裂口是允许的。如试样弯曲时断裂,应对断口表面作出评定。

6) 十字形接头拉伸试样上测定的最小抗拉(拉伸/剪切)强度,应满足表 B-7 的规定。

表 B-6 宽度缩小的冲击试样
冲击吸收功的要求

试样截面/mm ²	冲击吸收功折算系数
10×7.5	5/6
10×5.0	2/3

表 B-7 十字形接头拉伸
试样的强度要求

钢 号	抗拉强度/MPa
A~E	350
A32~F36	430
A40~F40	450

4.2 铝合金焊接工艺评定试样接头性能合格标准

(1) 对于铝合金的焊接工艺评定,如对接焊试件的板厚不超过 14mm。试样性能合格标准,可按焊接材料的检验标准。所规定的抗拉强度值适用于保留焊缝余高的试样。如板厚超过 14mm,则按产品的技术条件而定。

2) 可采用侧向弯曲试样代替横向弯曲试样。弯曲伸长率应在出现第一条裂纹之前测定。其值不应低于母材相应标准规定的伸长率。

3) 十字形接头拉伸试样测定的最小抗拉/抗剪强度,一般不应低于标准规定的抗拉强度的 60%。

4) 对于低温使用场合,各项性能要求另作规定。

4.3 其它材料焊接工艺评定试样接头性能的要求

对于其它材料的焊接工艺评定、试样性能的要求,应考虑母材的力学性能和预定的使用条件,参考表 B-5 所列要求确定。对于高强度(淬火-回火)细晶粒结构钢,缺口冲击试验的温度应为 -20°C 或更低。

5 力学性能和工艺性能试验

5.1 试验准备和试验过程

力学性能和工艺性能试验的准备工作、试验过程和试验结果的测定,均应符合有关标准和材料规范的规定。

5.2 试验人员的资格和试验设备的标定

所有试验人员均应经过专门的培训,并取得相应的资格。试验设备应由使用者维护,使其保持良好的状态。所使用的试验设备必须经过标准,并应定期由独立的检验机构校验和标定。

5.3 试验过程的监督

所有力学性能和工艺性能试验都应在验船师在场的情况下进行,金相试样照片也应送交验船师评定。

5.4 重复试验

1) 在试验过程中,如个别试样的试验结果达不到规定要求,或这些试样试验结果不合格是,由于局部的缺陷或试验设备的故障引起的,则应取两个重复试样或一组重复试样。这些试样的试验结果必须符合规定的要求。

2) 在缺口冲击韧性试验中,试验结果应是三个试样的平均值、但任一试样的冲击吸收功值不应低于规定值的 70%,如出现这种情况且平均值不低于规定值的 85%,则可取 3 个试样重复试验,并将试验结果加到前次测定值上,这 6 个试样的平均值必须符合规定标准。如果 3 个试样的平均值低于规定值的 85%,则应重复试验 6 个试样,其平均值必须符合规定的要求。

3) 如果大多数试样和/或大部分试验不符合规定的要求,则应分析不合格的原因,采取纠正措施,重新焊接试板并作全套试验。

5.5 试验报告的编写

试验过程结束后,必须正确填写试验报告、试验方法、试样形式和试验结果的描述和评定,应字迹清晰,使用有关标准规定的统一标准术语和符号。

试验报告的内容必须包括评定程序要求的所有内容,主要是:

- 1) 检验或试验的种类。
- 2) 试件的形式、尺寸和数量。
- 3) 母材牌号。
- 4) 焊缝坡口准备。
- 5) 焊接方法和焊接位置。
- 6) 焊接材料种类、牌号、规格和焊接辅助材料。
- 7) 焊接电源的种类及型号。
- 8) 焊接电流及焊接电压值。
- 9) 焊后热处理方法及温度。
- 10) 试验方法及试验结果。

5.6 试验报告的审核

试验报告应由试验员和监督员签字,并一式两份提交验船师审阅,验船师应在试验报告

上盖印章及签名，确认检验工作符合法规要求及试验结果正确。

5.7 试件、试样和试验记录的保存

试件余料、试样和试验记录应妥善保存，直到船级社对所有的试验和检验项目颁发认可证书，焊缝的无损检测记录（X光底片）的保存时间按有关的无损检测标准。

6 焊接工艺评定的有效期限

- 6.1** 如船级社确认的工况条件未发生重大的变化，则焊接工艺评定的有效性无时间的限制。然而，当焊接车间认可期满时，焊接工艺评定的有效性受制于焊接车间认可复查中所要完成的焊接工作及期限。在各个应用范围内，对于产品的检验，保持焊接工艺评定的有效性是必要的，船级社在三年一次对焊接车间认可复查中将检查上述工况条件。
- 6.2** 如果船级社对某种焊接方法正确和安全地用于生产有怀疑，或用这种焊接方法焊接的焊缝中产生缺陷导致焊接接头的质量不合格，则船级社可以撤销全部和部分的焊接工艺评定认可，要求重新进行焊接工艺评定试验。
- 6.3** 通常在焊接车间完成的焊接工艺评定试验对现场焊接是无效的、在这种情况下，由船级社决定是否重复全部或部分的焊接工艺评定试验。如果产品检验证明现场焊缝的质量满意，船级社可同意免作重复的工艺评定试验。

参 考 文 献

- 1 ASME • Boiler and Pressure Vessel Code, Section IX "Welding and Brazing Qualification", 1996
- 2 ANSI/AWS D1.1 • Structural Welding Code-Steel, 1996
- 3 Germanischer Lloyd, Rules for Classification and Construction, I -Material and Welding Technology Part3—Welding, 1992
- 4 中国机械工程学会焊接学会编 • 焊接手册: I、II、III、卷. 北京: 机械工业出版社, 1992
- 5 中国机械工程学会焊接学会. 压力容器锅炉与管道委员会编. 钢制压力容器焊接工艺. 北京: 机械工业出版社, 1986
- 6 陈裕川编. 锅炉压力容器制造厂的焊接工艺管理 (上、下). 焊接, 1991 (5)、(6)
- 7 J.A.Sowell. A Beginner's Guide to wps preparation' Welding Journal, 1996 (5)
- 8 S.D.Reynolds. Is a wps enough Welding Journal, 1996 (6)

ISBN 7-111-07446-7/TG 1323

封面设计 / 电脑制作 李南桥

ISBN 7-111-07446-7



9 787111 074465 >

定价: 88.00 元