

TEZHONG SHEBEI HANGONG KAOSHI SHIYONG PEIXUN JIAOCAI

特种设备焊工考试 实用培训教材

李隆骏 许林滔 主编

卢明技 主审

《特种设备焊工考证基础》的升级版



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

特种设备焊工考试

实用培训教材

主 编 李隆骏 许林滔

副主编 曹斌剑 王贤军 古朋赞 刘卫民 洪君华 郭黎群

参 编 (以姓氏笔画为序)

马 刚 方正中 王小华 王金友 毛天林

卢明技 朱湘康 陈云荣 陈灵江 陈建平

张义坚 张洪波 张翀宇 杨华平 杨欣军

杨继斌 胡家扬 姚舜刚 赵星波 顾荣见

顾宏波 盛丕根 温兴柔 董灵军

主 审 卢明技



机械工业出版社

本书是根据国家质量监督检验检疫总局 2010 年 11 月 4 日发布、2011 年 2 月 1 日起执行的《特种设备焊接操作人员考核细则》而编写的特种设备焊工考试用培训教材。内容包括：特种设备基础知识，材料，焊接方法、设备与工艺，特种设备常用材料的焊接，焊接应力与焊接变形，焊接缺陷与焊接检验，特种设备焊接质量控制，焊接安全与防护，特种设备焊工持证与考试规定，特种设备焊接操作技能考试实例，特种设备焊工基本知识考试参考题库等，共 11 章。

本书内容基本涵盖了特种设备焊工基本知识考试的全部范围，且附有基本知识考试最新的参考题库，还列出了多种常用的焊接操作技能项目的考试实例。

本书可作为特种设备焊工考试取证用培训教材，也可供初、中级焊接技术人员学习参考，以及承压类、机电类特种设备制造、安装、改造维修单位内部对上岗焊工培训与考试用。同时对特种设备制造、安装、改造维修单位的焊接质量控制也有一定的帮助，并可作为读者自学用书。

图书在版编目 (CIP) 数据

特种设备焊工考试实用培训教材/李隆骏，许林滔主编.

—北京：机械工业出版社，2014.3 (2016.3 重印)

ISBN 978 - 7 - 111 - 45490 - 8

I. ①特… II. ①李… ②许… III. ①焊接 - 技术培训
- 教材 IV. ①TG4

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 008589 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑：沈 红 责任编辑：沈 红

版式设计：霍永明 责任校对：张莉娟 任秀丽

封面设计：陈 沛 责任印制：乔 宇

北京京丰印刷厂印刷

2016 年 3 月第 2 版 · 第 2 次印刷

184mm × 260mm · 25.25 印张 · 706 千字

4 001—5 000 册

标准书号：ISBN 978 - 7 - 111 - 45490 - 8

定价：56.00 元

凡购本书，如有缺页、倒页、脱页，由本社发行部调换

电话服务

策划编辑电话：(010) 88379778

社服务 中心：(010) 88361066

网络服务

销 售 一 部：(010) 68326294

教 材 网：http://www.cmpedu.com

销 售 二 部：(010) 88379649

机 工 官 网：http://www.cmpbook.com

读者购书热线：(010) 88379203

机 工 官 博：http://weibo.com/cmp1952

封面无防伪标均为盗版

前　　言

自编者于2012年8月出版《特种设备焊工考证基础》一书后，由于切中热点，市场反应热烈，已两次印刷，广大读者、专家也提出许多宝贵的反馈意见，编者在充分吸收、过滤了各方意见后，重新编写了《特种设备焊工考试实用培训教材》，故本书相当于《特种设备焊工考证基础》的更新、升级版本。

全书在脉络上未进行大的调整，主要变化之处在于：

- 1) 对部分章节内容进行了删减、调整、修订，力求更加简洁、精练，方便焊工入门。
- 2) 考虑到便于焊工掌握初级焊接技术，将焊接设备与焊接工艺两章进行了合并。
- 3) 根据多数焊工培训机构的反馈意见，增加了“特种设备焊工基本知识考试参考题库”。内容丰富，涵盖了特种设备焊工基本知识考试的全部范围，并与最新法规、安全技术规范、标准配套。

根据国家质量监督检验检疫总局2010年11月4日发布、2011年2月1日起执行的《特种设备焊接操作人员考核细则》(以下简称《细则》)，凡焊接(一)、承压类特种设备受压元件的焊缝、与受压元件相焊的焊缝、受压元件母材表面堆焊；(二)机电类特种设备的主要受力结构(部)件焊缝、与主要受力结构(部)件相焊的焊缝；(三)熔入前两项焊缝内的定位焊缝的焊工都应按照《焊考规》考试合格并取得“特种设备作业人员证”，才允许担任合格项目范围内的焊接工作。

焊工考试包括基本知识考试和焊接技能考试两部分，全书内容基本涵盖了《细则》附件A3规定的特种设备焊工基本知识考试的全部14项范围，并列出了多种常用的焊接操作技能项目的考试实例。

随着社会分工的越来越细，编者认为，作为一名焊工，只要能按照编制正确的焊接工艺文件进行焊接作业，焊出质量合格的工件，就是一名合格的焊工，而事先进行焊接性试验、编制焊接工艺指导书、进行焊接工艺评定应是焊接工程师或焊接技术人员的职责，况且目前国内的实际情况是特种设备生产企业的一线焊工大多文化水平不高。所以，本书与以往焊工培训教材相比，未详细列出一些不必由普通焊工掌握的深奥难懂的金属学、焊接冶金、无损检测等知识内容，且由于焊接的对象是工件，也未列出某具体特种设备产品的焊接方法与工艺等。仅侧重于焊工基本知识与焊接操作技能两块内容。是一部浅显易懂、实用性较强的特种设备焊工考试用培训教材。也可供初、中级焊接技术人员、焊接质量管理、安全管理等有关人员学习参考之用。

本书由台州市特种设备监督检验中心组织编写，参加编写的还有来自特种设备生产企业和检验检测单位的多位同志。本书在编写过程中得到了许多焊接界同仁、特种设备系统领导专家的大力支持，提出了许多宝贵意见。本书编写时参考了有关专业教材及相关特种设备法规标准文献资料，在此对有关作者一并表示感谢。

由于编者水平有限，难免会有不当之处，敬请广大读者批评指正。

编者著

目 录

前言

第一章 特种设备基础知识	1
第一节 特种设备范围	1
一、锅炉	1
二、压力容器	2
三、压力管道	2
四、电梯	3
五、起重机械	4
六、客运索道	4
七、大型游乐设施	4
八、场（厂）内专用机动车辆	4
第二节 与特种设备相关的法律规范	
体系的基础结构	5
一、法律	5
二、行政法规	6
三、部门行政规章	6
四、安全技术规范	6
五、引用标准	7
第三节 特种设备事故及相关的教训	7
第二章 材料	10
第一节 金属材料	10
一、金属材料基础知识	10
二、金属材料热处理基础知识	13
三、金属材料的性能	17
四、特种设备用金属材料的基本要求	20
五、金属材料的分类	21
第二节 焊接材料	35
一、焊条	35
二、焊丝	51
三、焊剂	58
四、焊接用气体及钨极	62
五、承压设备用焊接材料	63
六、焊接材料选择的基本原则	65
第三章 焊接方法、设备与工艺	67
第一节 焊接方法的分类和选用	67
一、焊接方法的分类	67
二、焊接方法的选择	67
三、常用电弧焊焊接方法的适用范围	69
第二节 焊接设备——弧焊电源	70

一、弧焊电源基础知识	70
二、弧焊电源分类	72
三、常见弧焊电源	72
四、弧焊电源的外部接线	81
五、弧焊电源的正确使用和维护	81
六、弧焊电源的发展	81
第三节 焊接接头、坡口和焊缝	82
一、焊接接头	82
二、坡口	82
三、焊缝	83
第四节 焊条电弧焊	88
一、焊条电弧焊的特点和应用	88
二、焊条电弧焊设备	88
三、焊条电弧焊的焊接	
参数的选择	90
四、焊条电弧焊焊接操作技术	93
五、焊条电弧焊常见的缺陷与预防措施	102
第五节 埋弧焊	102
一、埋弧焊的特点和应用	102
二、埋弧焊设备的分类和组成	102
三、埋弧焊的焊接参数的选择	104
四、单丝埋弧焊操作技术	107
五、埋弧焊常见的缺陷和防止措施	110
第六节 钨极惰性气体保护焊（TIG）	112
一、钨极气体保护电弧焊的特点和应用	112
二、钨极惰性气体保护焊设备的组成	112
三、TIG 焊焊接参数的选择	114
四、TIG 焊操作技术	117
五、钨极氩弧焊常见的缺陷和防止措施	120
第七节 熔化极气体保护焊——CO ₂ 焊	121
一、熔化极气体保护焊的分类、特点和应用	121
二、CO ₂ 气体保护电弧焊设备的组成	122
三、CO ₂ 焊熔滴过渡形式和焊接参数的选择	124
四、CO ₂ 焊的焊接操作技术	128

五、CO ₂ 焊常见的缺陷和防止措施	134	一、不锈钢概述	164
第八节 熔化极惰性气体保护焊	135	二、不锈钢的焊接特点	165
一、熔化极惰性气体保护焊的 特点和应用	135	三、不锈钢焊接材料的选用	166
二、MIG 焊设备的组成	136	四、不锈钢的焊接工艺要点	167
三、MIG 焊熔滴过渡和工艺参 数的选择	137	五、双相不锈钢的焊接	168
第九节 药芯焊丝电弧焊	142	六、沉淀硬化型不锈钢的焊接	170
一、药芯焊丝电弧焊的特点及 应用范围	142	第六节 异种钢 (含复合钢板) 的 焊接	171
二、焊接设备的组成	142	一、异种钢焊接常用钢种及焊接 工艺原则	171
三、焊接工艺	142	二、同类型组织不同钢种的焊接	173
第十节 等离子弧焊	143	三、珠光体钢与奥氏体钢的焊接	174
一、等离子弧焊的分类、特点和应用	143	四、珠光体钢与马氏体钢的焊接	174
二、等离子弧焊设备的组成	143	五、珠光体钢与铁素体钢的焊接	175
三、等离子弧焊的主要工艺参数	146	六、复合钢板的焊接	175
四、等离子弧焊操作技术	147	第七节 堆焊	176
五、等离子弧焊常见缺陷及防止措施	148	一、堆焊工艺方法及堆焊材料形状	176
第十一节 碳弧气刨	148	二、堆焊合金的分类	176
一、碳弧气刨的特点及应用	148	三、铁基堆焊合金	176
二、碳弧气刨设备的组成	149	四、其他堆焊合金简介	178
三、碳弧气刨工艺参数	149	五、碳化钨及其他碳化物硬质 合金堆焊	179
四、碳弧气刨的操作	151	第八节 有色金属的焊接	179
五、碳弧气刨常见缺陷及防止措施	151	一、铜及铜合金的焊接	179
第四章 特种设备常用材料的焊接	152	二、镍及镍合金的焊接	181
第一节 低碳钢的焊接	152	三、铝及铝合金的焊接	183
一、低碳钢概述	152	四、钛及钛合金的焊接	184
二、低碳钢的焊材选用	152	第五章 焊接应力与焊接变形	187
三、低碳钢焊接工艺要点	155	第一节 焊接应力和变形概述	187
第二节 低合金高强度钢的焊接	156	一、焊接应力和变形的概念	187
一、低合金钢概述	156	二、焊接应力和变形产生的原因	187
二、低合金高强度钢的焊接特点	156	第二节 焊接残余应力	189
三、低合金高强度钢的焊材选用	157	一、焊接残余应力的分类	189
四、低合金高强度钢的焊接工艺要点	159	二、焊接残余应力的影响	190
第三节 低合金耐热钢的焊接	159	第三节 焊接接头应力集中	191
一、低合金耐热钢概述	159	一、焊接接头应力集中的概念	191
二、低合金耐热钢的焊接特点	160	二、焊接接头应力集中的原因	191
三、低合金耐热钢的焊材选用	160	第四节 焊接残余应力的控制和消除	192
四、低合金耐热钢焊接工艺要点	161	一、控制焊接残余应力的方法	192
第四节 低温钢的焊接	162	二、消除焊接残余应力的方法	193
一、低温钢概述	162	第五节 焊接变形	195
二、低温钢的焊接特点	163	一、焊接变形的分类	195
三、低温钢焊接材料的选用	163	二、焊接变形的危害性	196
四、低温钢焊接工艺要点	164	三、影响焊接变形的因素	197
第五节 不锈钢的焊接	164	第六节 焊接残余变形的预防与矫正	197

一、焊接残余变形的预防	197	标准简介	227
二、焊接残余变形的矫正	197	第五节 焊接工艺及焊接过程控制	227
第六章 焊接缺陷与焊接检验	200	一、工艺控制	227
第一节 焊接缺陷的分类	200	二、焊前准备及施焊环境	228
一、裂纹	200	三、焊接过程	228
二、孔穴	202	四、焊接检验	228
三、固体夹杂	203	第六节 产品焊接试件的控制	229
四、未熔合和未焊透	203	第七节 焊接返修控制	230
五、形状与尺寸不良	204	第八节 特种设备焊接质量控制系统的控制环节、控制点	230
六、其他缺陷	206	第八章 焊接安全与防护	234
第二节 焊接检验概述	207	第一节 危险源	234
一、焊接检验的分类	207	一、危险源主要来源	234
二、焊接接头的破坏性检验	207	二、一般作业环境和特殊作业环境	234
三、焊接接头的非破坏性检验	209	第二节 安全防护	234
第三节 特种设备的焊接检验	213	一、各种焊接方法的有害因素	234
一、焊接检验的对象	213	二、卫生安全防护	235
二、承压类设备的焊接检验	213	第三节 安全检查	235
三、机电类主要受力结构件的		一、焊接设备安全检查	235
焊接检验	215	二、气瓶和减压器的安全检查	236
四、特种设备焊工焊接操作技能考核		三、输气胶管和焊割炬的安全检查	237
试件的焊接质量检验	217	四、特殊作业环境的焊割安全技术	238
第七章 特种设备焊接质量控制	221	第四节 焊割典型事故案例	240
第一节 焊工管理	221	一、触电事故	240
一、焊工考试与培训	221	二、火灾事故	241
二、焊工资格	221	三、爆炸事故	243
三、持证焊工档案管理	222	四、特殊作业环境条件下的事故	246
第二节 焊接材料的管理	222	第五节 事故应急救援	248
一、供方评价	222	一、触电急救方法	248
二、焊接材料的采购	222	二、中毒急救方法	248
三、焊接材料的验收	222	第九章 特种设备焊工持证与	
四、焊接材料的储存	223	考试规定	249
五、焊接材料的烘烤	224		
六、焊接材料的领发和回收	224	第一节 涉及特种设备焊工持证的	
第三节 焊接设备的管理	225	相关法律法规依据	249
一、焊接设备的配置	225		
二、焊接设备进厂验收、调试及			
安装	225	一、法律依据	249
三、焊机的使用	225	二、行政法规依据	249
四、焊机的维护保养	226	三、部门行政规章依据	249
第四节 焊接工艺评定控制	226	四、安全技术规范依据	250
一、职责与分工	226	第二节 特种设备许可规则对焊工	
二、准备	226	资格的规定	251
三、评定程序	226		
四、NB/T 47014—2011 (JB/T 4708)		一、《锅炉压力容器制造许可条件》	
《承压设备焊接工艺评定》		的规定	251
		二、《空调制冷行业小型压力容器	
		制造许可条件(试行)》的规定	252

三、《压力管道元件制造许可规则》 的规定	252
四、《锅炉安装改造单位监督管理规则》 的规定	253
五、《压力容器安装改造维修许可规则》 的规定	254
六、《压力管道安装许可规则》的 规定	254
七、《机电类特种设备制造许可规则 (试行)》的规定	256
八、《机电类特种设备安装改造维修 许可规则(试行)》的规定	256
第三节 特种设备焊工考试与发证程序	256
一、特种设备焊工考试机构	256
二、考试的一般程序	257
三、发证	263
四、焊工证考试项目代号	263
五、特殊要求的考试项目	270
第四节 特种设备焊工证的复审	270
一、复审申请	270
二、复审要求	273
三、复审抽考	273
四、复审发证	274
第五节 特种设备焊工考试项目的 覆盖范围	274
一、焊接方法	274
二、金属材料的类别	274
三、填充金属的类别	275
四、焊剂、保护气体、钨极	275
五、试件位置	275
六、衬垫	276
七、焊缝金属厚度的有关要求	276
八、管材外径	277
九、耐蚀堆焊	278
十、其他规定	278
第十章 特种设备焊接操作技能	
考试实例	279
第一节 钢铁类板材对接	279
一、考前技术交底	279
二、实例一 SMAW-Fe II -1G-12-Fef3J	280
三、实例二 SMAW-Fe II -2G-12-Fef3J	283
四、实例三 SMAW-Fe II -3G-12-Fef3J	286
五、实例四 SMAW-Fe IV -3G-12-Fef4J	288
六、实例五 SMAW-Fe II -4G-12-Fef3J	290
七、实例六 SMAW-Fe IV -4G-12-Fef4J	292
八、实例七 GMAW-Fe II -1G-6-FefS- 11/16	293
九、实例八 FCAW-Fe II -1G-12- FefS-11/15	295
十、实例九 SAW-1G(K)-07/09/19	297
第二节 钢铁类管材对接	298
一、考前技术交底	298
二、实例一 SMAW-Fe II -2G-6/57- Fef3J	299
三、实例二 SMAW-Fe II -5G-6/57- Fef3J	302
四、实例三 SMAW-Fe II -6G-6/57- Fef3J	304
五、实例四 SMAW-Fe I -6G-6/57- Fef1	306
六、实例五 GTAW-Fe I -6G-3.5/57- 02/11/12	308
七、实例六 GTAW-Fe IV -6G-3/38- 02/10/12	310
八、实例七 GTAW-Fe III -5G-4.4/42.2- 02/10/12	312
九、实例八 GTAW-Fe IV -6G-3/57- 02/10/12 和 SMAW- Fe IV -6G (K) -3/57- Fef4J	314
第三节 钢铁类管-板角接	316
一、考前技术交底	316
二、实例一 SMAW-Fe I /Fe II - 2FG-12/57-Fef3J	317
三、实例二 SMAW-Fe I /Fe II - 5FG-12/57-Fef3J	319
四、实例三 SMAW-Fe I /Fe II - 6FG-12/57-Fef3J	320
第四节 钢铁类板材角焊	322
一、考前技术交底	322
二、实例 SMAW-Fe I -2F-6-Fef1	323
第五节 钢铁类板材耐蚀堆焊	325
一、考前技术交底	325
二、实例 SMAW(N6)-Fe II - 1G-Fef4J	325
第六节 有色金属板材对接	326
一、考前技术交底	326
二、实例一 GTAW-Ni II -3G-6- NifS2-02/10/12	327
三、实例二 SMAW-Ni II -3G-12-Nif2	329

第七节 有色金属管材对接	331	NiF2	340
一、考前技术交底	331	四、实例三 GTAW-Al I -5FG-12/27-	
二、实例一 GTAW-Al I -5G-5/60-		AlFS1-02/11/14	341
AlFS1-02/11/14	332	五、实例四 GTAW- Ti I -6FG-	
三、实例二 GTAW-Ti I -6G-3/18-		6/18-TiFS1-02/10/12	343
TiFS1-02/10/12	333		
四、实例三 GTAW-Cu I -6G-3/18-			
CuFS1-02/11/12	335		
第八节 有色金属管-板角接	337		
一、考前技术交底	337		
二、实例一 GTAW-Ni II -5FG-6/60-			
NiFS2-02/10/12	338		
三、实例二 SMAW-Ni II -5FG-12/60-			
		第十一章 特种设备焊工基本知识	
		考试参考题库	346
		一、是非题	346
		二、单选题	361
		三、多选题	383
		参考文献	394

第一章 特种设备基础知识

第一节 特种设备范围

《特种设备安全监察条例》所称特种设备是指涉及生命安全、危险性较大的锅炉、压力容器（含气瓶，下同）、压力管道、电梯、起重机械、客运索道、大型游乐设施和场（厂）内专用机动车辆。

《特种设备安全监察条例》所管辖的环节涉及特种设备的生产（含设计、制造、安装、改造、维修，下同）、使用、检验检测及其监督检查。特种设备包括本身及其所用的材料、附属的安全附件、安全保护装置和与安全保护装置相关的设施。

一、锅炉

锅炉是指利用各种燃料、电或者其他能源，将所盛装的液体加热到一定的参数，通过向外输出介质的形式提供热能的设备。其规定范围：容积大于或者等于30L的承压蒸汽锅炉；出口水压大于或者等于0.1MPa（表压），且额定功率大于或者等于0.1MW的承压热水锅炉、有机热载体炉。图1-1所示为几种典型的锅炉。



图1-1 几种典型的锅炉

锅炉的参数是指额定蒸发量或额定功率、压力、温度等。我们通常所说的几吨锅炉即其额定蒸发量是每小时几吨。

二、压力容器

压力容器是指盛装气体或者液体，承载一定压力的密闭设备。其规定范围：盛装最高工作压力大于或者等于 0.1 MPa （表压），且压力与容积的乘积大于或者等于 $2.5\text{ MPa}\cdot\text{L}$ 的气体、液化气体和最高工作温度高于或者等于标准沸点的液体的固定式容器和移动式容器；盛装公称工作压力大于或者等于 0.2 MPa （表压），且压力与容积的乘积大于或者等于 $1.0\text{ MPa}\cdot\text{L}$ 的气体、液化气体和标准沸点等于或者低于 60°C 液体的气瓶、氧舱等。图 1-2 为几种典型的压力容器。



图 1-2 几种典型的压力容器

根据《固定式压力容器安全技术监察规程》，压力容器按作用分为：反应容器、储存容器、分离容器、换热容器；按危险程度分为：Ⅰ类容器、Ⅱ类容器、Ⅲ类容器，其中Ⅲ类容器危险程度最高。

三、管道

管道是指利用一定的压力，用于输送气体或者液体的管状设备。其规定范围：输送最高工作压力大于或者等于 0.1 MPa （表压）的气体、液化气体、蒸汽介质或者可燃、易爆、有毒、有腐蚀性、最高工作温度高于或者等于标准沸点的液体介质，且公称直径大于 25 mm 的管道。图 1-3 所示为冷库管道外观。



图 1-3 冷库压力管道外观

压力管道分为以下几种：

- 1) 长输管道 长输（油气）管道是指产地、储存库、使用单位之间的用于输送商品介质的管道，划分为 GA1 级和 GA2 级，如西气东输管道。
- 2) 公用管道 公用管道是指城市或乡镇范围内的用于公用事业或民用的燃气管道和热力管道，划分为 GB1 级和 GB2 级，如城市燃气管网、工业园区的热力管网。
- 3) 工业管道 工业管道是指企业、事业单位所属的用于输送工艺介质的工艺管道、公用工程管道及其他辅助管道，划分为 GC1 级、GC2 级、GC3 级。其中，GC1 级危险程度最高。
- 4) 动力管道 火力发电厂用于输送蒸汽、汽水两相介质的管道，划分为 GD1 级、GD2 级。

四、电梯

电梯是指动力驱动，利用沿刚性导轨运行的箱体或者沿固定线路运行的梯级（踏步），进行升降或者平行运送人、货物的机电设备，包括载人（货）电梯、自动扶梯、自动人行道等，如图 1-4 所示。



图 1-4 电梯

五、起重机械

起重机械是指用于垂直升降或者垂直升降并水平移动重物的机电设备。其规定范围：额定起重量大于或者等于 $0.5t$ 的升降机；额定起重量大于或者等于 $1t$ ，且提升高度大于或者等于 $2m$ 的起重机和承重形式固定的电动葫芦等，如图 1-5 所示。



图 1-5 几种典型的起重机

六、客运索道

客运索道是指动力驱动，利用柔性绳索牵引箱体等运载工具运送人员的机电设备，包括客运架空索道、客运缆车、客运拖牵索道等，如图 1-6 所示。

七、大型游乐设施

大型游乐设施是指用于经营目的，承载乘客游乐的设施。其范围规定：最大运行线速度大于或者等于 $2m/s$ ，或者运行高度距地面高于或者等于 $2m$ 的载人大型游乐设施，如图 1-7 所示。

八、场（厂）内专用机动车辆

场（厂）内专用机动车辆是指除道路交通、农用车辆以外仅在工厂厂区、旅游景区、游乐场所等特定区域使用的专用机动车辆，如图 1-8 所示。



图 1-6 客运索道



图 1-7 大型游乐设施



a) 叉车



b) 景区观光车

图 1-8 场（厂）内专用机动车辆

第二节 与特种设备相关的法律规范体系的基础结构

特种设备法规规范体系由法律—行政法规—部门行政规章—安全技术规范—引用标准等五个层次构成，如图 1-9 所示。

一、法律

法律由全国人大及常委会通过，以中华人民共和国主席令的形式公布。现行法律中涉及特种设备安全和节能工作的主要有《特种设备安全法》《中华人民共和国劳动法》《中华人民共和国产品质量法》《中华人民共和国商品检验法》《中华人民共和国安全生产法》《中华人民共和国行政许可法》《中华人民共和国节约能源法》。

二、行政法规

行政法规这个层次包括行政法规、规范性文件和地方性法规等三种法规。行政法规、规范性文件由国务院制定,如:《特种设备安全监察条例》(国务院第549号:《国务院关于修改〈特种设备安全监察条例〉的决定》,2009年1月14日国务院第46次常务会议通过,自2009年5月1日起实施)、《国务院关于特大安全事故行政责任追究的规定》(2001年4月21日中华人民共和国国务院令第302号公布,自公布之日起施行)等。地方性法规由省、自治区、直辖市以及有立法权的较大城市人大制定,如一些地方的特种设备安全管理条例、劳动保护条例、劳动安全监察条例等。

三、部门行政规章

部门行政规章这个层次包括国务院部门行政规章和地方规章——省、自治区、直辖市和较大市的人民政府规章。部门行政规章是以国务院行政部门首长如国家质检总局局长“令”的形式颁布、行政管理内容较突出的文件(相关办法、规定),如《特种设备质量监督与安全监察规定》(国家质量技术监督局令第13号,2000年10月1日起施行)、《锅炉压力容器管道特种设备事故处理规定》(中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局令第2号,2001年9月17日起施行)、《锅炉压力容器管道特种设备安全监察行政处罚规定》(中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局令第14号,2001年12月29日起施行)、《锅炉压力容器制造监督管理办法》(国家质量监督检验检疫总局令第22号,2002年7月12日起施行)、《气瓶安全监察规定》(中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局令第46号,2003年4月24日起施行)、《特种设备作业人员监督管理办法》(国家质检总局第140号令:《国家质量监督检验检疫总局关于修改〈特种设备作业人员监督管理办法〉的决定》经2010年11月23日国家质量监督检验检疫总局局务会议审议通过,自2011年7月1日起施行)。地方规章是指省、自治区、直辖市和较大市的人民政府规章。

四、安全技术规范

安全技术规范是特种设备安全技术规范的简称。安全技术规范是指国家质量监督检验检疫总局依据《特种设备安全监察条例》,对特种设备的安全性能和相应的设计、制造、安装、改造、维修、使用和检验检测等活动制定、颁布的强制性规定。安全技术规范是特种设备法律规范体系的重要组成部分,其作用是把与特种设备有关的法律、法规和规章的原则规定具体化。“安全技术规范”通常称为大纲、规程、规则、导则、细则、技术要求,如《特种设备焊接操作人员考核细则》(TSG Z6002—2010,2010年11月4日国家质量监督检验检疫总局发布,2011年2月1日起实施)、《压力管道元件制造许可规则》(TSG D2001—2006,国家质量监督检验检疫总局2006年10月27日发布,2007年1月1日起施行)、《特种设备制造、安装、改造、维修质量保证体系基本要求》(TSG Z0004—2007,2007年8月8日国家质量监督检验检疫总局颁布,2007年10月1日起实施)等。

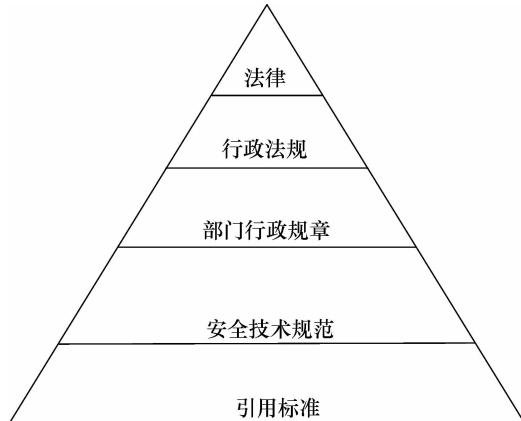


图1-9 特种设备法规规范体系的层次

五、引用标准

引用标准主要指安全技术规范中引用的标准。引用标准主要为国家标准和行业标准。安全技术规范与引用标准主要有如下关系：

- 1) 安全技术规范是强制性的，标准被安全技术规范引用后其引用部分即是强制性的。
- 2) 安全技术规范是提出特种设备安全要求的主体，标准被引用后形成对安全技术规范的补充。
- 3) 安全技术规范是对特种设备全方位、全过程的最低安全要求；产品标准中应当清晰表述如何实现安全技术规范的最低安全要求。

第三节 特种设备事故及相关的教训

图 1-10 所示为某厂鱼粉蒸干机内筒失稳导致破裂，造成一人死亡。从图中可以看出，工艺上要求内筒外壁与起刚度加强作用的槽钢之间要进行间断焊（焊 100mm，空 100mm，再焊 100mm），而实际上，焊接施工没有按照规定，有一段该焊的没有焊。

教训：焊接作业人员要按焊接工艺规程（卡）的要求施焊。

图 1-11 所示为某厂锅炉的管子出现裂纹后，焊接作业人员擅自补焊，并且焊补工艺不正确，导致裂纹扩展延伸到锅炉筒体，造成停产和重大修理。



图 1-10 鱼粉蒸干机内筒失稳导致破裂



图 1-11 锅炉的管子出现裂纹

教训：焊接作业人员不应擅自对受压元件施焊。

图 1-12 所示为某厂的土制压力容器开裂事故，造成一人死亡。该土制压力容器为半圆柱形结构，其中部存在很大的弯曲应力和拉应力，造成应力集中。

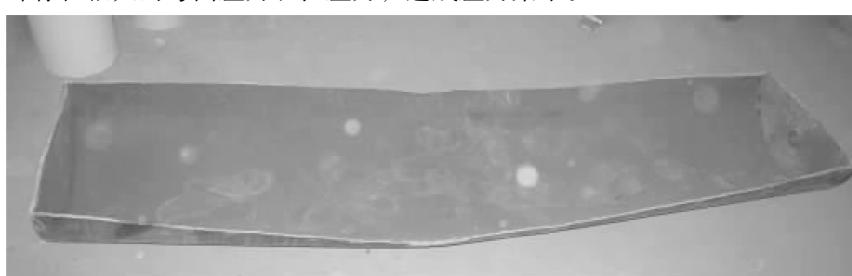


图 1-12 土制压力容器开裂

教训：焊接作业人员应基本了解受压元件焊缝的受力状况。

图 1-13 所示为某厂的氧气瓶爆炸事故，造成一人死亡。该氧气瓶严重腐蚀，应当是使用过程中有海水等腐蚀性物质接触内壁。



图 1-13 氧气瓶爆炸残骸

教训：焊割作业人员应在停止施工时及时关闭气瓶阀门，特别是在滩涂环境施工的情况下，防止海水等腐蚀性物质倒灌入内。

图 1-14 所示为某厂的氧气瓶爆炸事故，造成四人死亡。该氧气瓶呈化学性爆炸迹象，应当是使用过程中有油脂或氧化性物质接触瓶阀或瓶内。

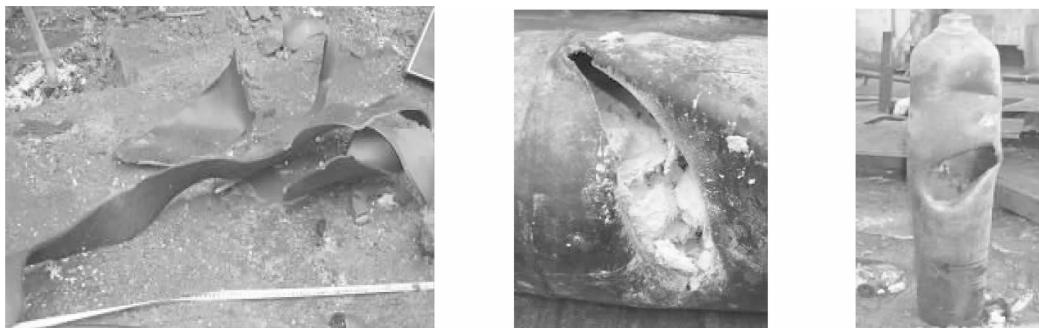


图 1-14 氧气瓶爆炸事故现场

教训：焊割作业人员应在操作气瓶阀门时，特别注意不得使其沾染上油脂或氧化性物质。

图 1-15 所示为龙门吊倾覆事故。

图 1-16 所示为某厂锅炉爆炸事故，原因是超压运行。爆炸最初破口位于存在未焊透的炉门圈角焊缝。

教训：焊接作业人员要按焊接工艺规程（卡）的要求施焊。

图 1-17 所示为某厂的液化石油气爆燃事故，造成四人死亡。该液化石油气软管已严重老化龟裂，泄漏的液化石油气与空气混合达到爆炸极限，遇明火爆燃，进而引发气瓶爆炸。

教训：焊割作业人员应特别注意检查软管泄漏与否，并定期更换。



图 1-15 龙门吊倾覆事故



图 1-16 锅炉爆炸事故

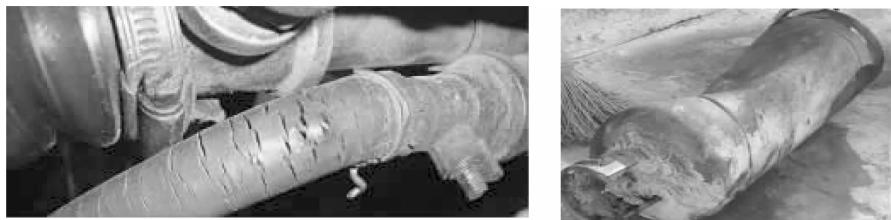


图 1-17 液化石油气爆燃事故

第二章 材 料

第一节 金 属 材 料

金属材料是制造特种设备最常用的材料。作为特种设备的焊接人员，应了解材料方面的有关知识。

一、金属材料基础知识

(一) 金属的晶体结构

所有固态金属都是晶体，晶体结构的排列如图 2-1 所示。

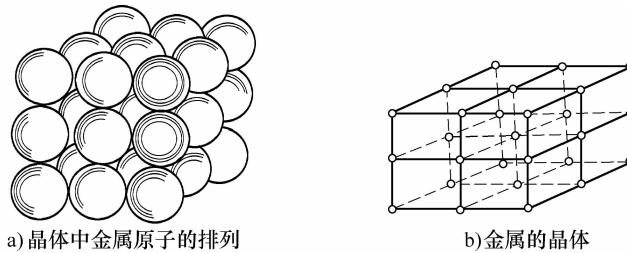


图 2-1 晶体结构排列图

晶体内部原子的排列方式称为晶体结构。常见的金属晶格如图 2-2 所示。

- 1) 体心立方晶格，属于此类的金属有 α -Fe、 δ -Fe、Cr、V、 β -Ti 等。
- 2) 面心立方晶格，属于此类的金属有 γ -Fe、Al、Cu、Ni 等。
- 3) 密排六方晶格，属于此类的金属有 Mg、Zn、 α -Ti 等。

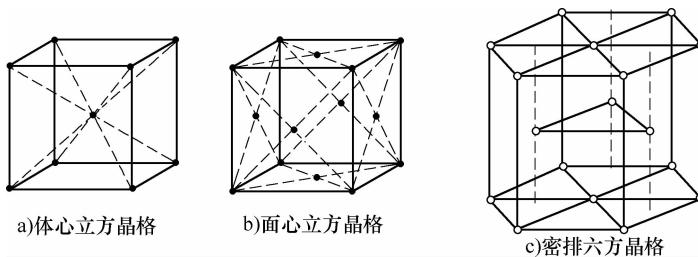


图 2-2 常见的金属晶格

(二) 铁碳合金的基本组织

铁碳相图又称铁碳平衡图或铁碳合金状态图。它以温度为纵坐标，碳含量为横坐标，表示在接近平衡条件（铁-碳）和亚稳条件（铁-碳化铁）下（或极缓慢的冷却条件下）以铁、碳为组元的二元合金在不同温度下所呈现的相和这些相之间的平衡关系。 $\text{Fe}-\text{Fe}_3\text{C}$ 相图由包晶、共晶、共析三个基本反应组成，图 2-3 所示为 $\text{Fe}-\text{Fe}_3\text{C}$ 相图。表 2-1 为 $\text{Fe}-\text{Fe}_3\text{C}$ 相图中各相点的特性。

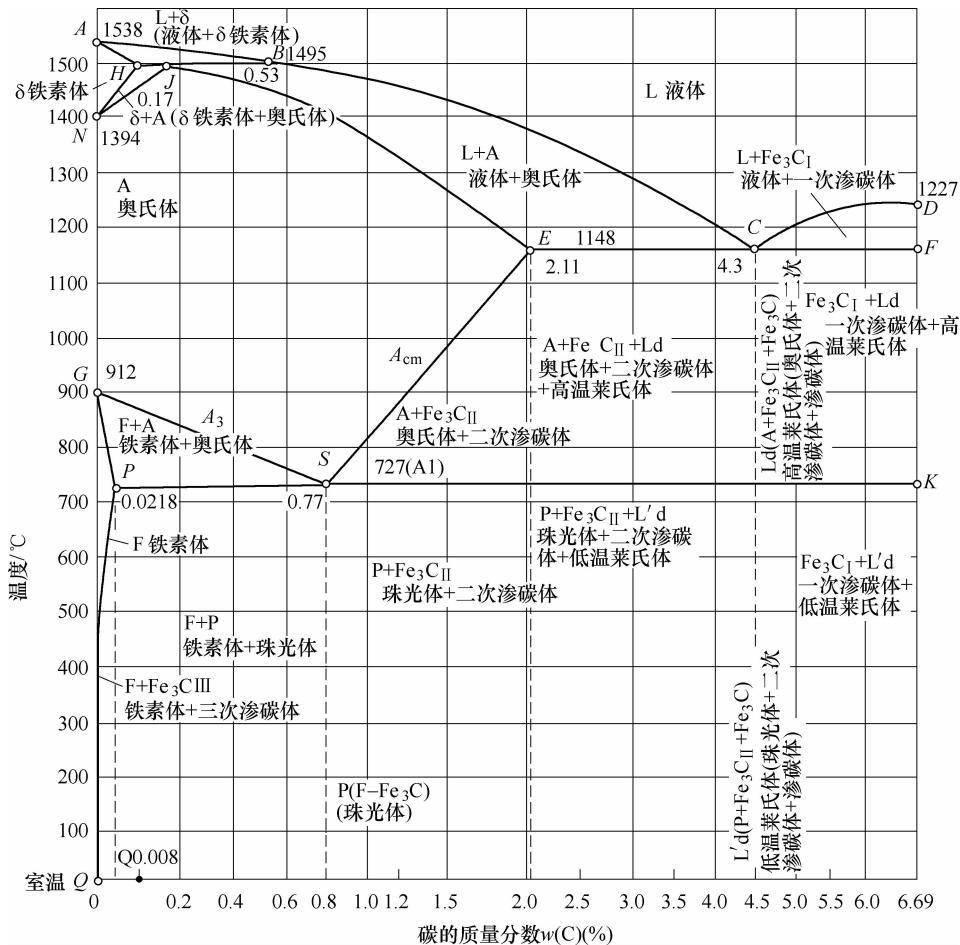


图 2-3 Fe-Fe₃C 相图

表 2-1 Fe-Fe₃C 相图各相点的特性

特性点	温度/℃	$w(C)(\%)$	说 明
<i>A</i>	1538	0	纯铁的熔点
<i>B</i>	1485	0.50	包晶转变时碳在液态合金中的溶解度
<i>E</i>	1148	2.06	碳在 γ -Fe 中最大溶解度
<i>G</i>	912	0	α -Fe \rightleftharpoons γ -Fe 纯铁的同素异晶转变点
<i>H</i>	1495	0.09	碳在 δ -Fe 中的最大溶解度
<i>J</i>	1495	0.17	包晶点 $L_B + \delta_H \rightleftharpoons A$
<i>N</i>	1394	0	γ -Fe \rightleftharpoons δ -Fe 同素异晶转变点
<i>P</i>	727	0.0218	碳在 α -Fe 中的最大溶解度
<i>S</i>	727	0.77	共析点 $A \rightleftharpoons F + Fe_3C$
<i>Q</i>	600	0.01	碳在 α -Fe 中的溶解度

铁碳合金相图明确反映出碳含量、温度与组织状态的关系，是研究钢铁的重要依据，也是铸造、锻造及热处理工艺的主要理论依据。它的许多基本特点即使对于复杂合金钢也具有重要的指

导意义，如在简单二元 Fe-C 系中出现的各种相，往往在复杂合金钢中也存在。当然，需要考虑到合金元素对这些相的形成和性质的影响，因此研究所有钢铁的组成和组织问题都必须从铁碳相图开始。工程上依据 Fe-Fe₃C 相图把铁碳合金分为三类，即工业纯铁、钢和铸铁。

碳含量对钢铁的性质有决定性的影响。例如，钢的碳含量低，其性质是“强而韧”，而普通铸铁的碳含量高，其性质是“弱而脆”。

Fe-Fe₃C 合金中的相结构主要有奥氏体 A、铁素体 F、渗碳体 (Fe₃C)、珠光体 P、马氏体 M、贝氏体、魏氏组织、δ 相 (高温下的铁素体) 和 σ 相等。

1. 奥氏体 A

奥氏体是碳在 γ-Fe 中的固溶体，在合金钢中是碳和合金元素溶解在 γ-Fe 中的固溶体。

奥氏体塑性很高，硬度和屈服点较低，布氏硬度值一般为 (170 ~ 220) HBW，是钢中比体积最小的组织。奥氏体在 1148℃ 时可溶解碳为 2.11% (质量分数)，在 727℃ 时可溶解碳为 0.77% (质量分数)。

奥氏体仍然保持 γ-Fe 的面心立方晶格，在金相组织中呈现为规则的多边形。

2. 铁素体 F

铁素体是碳与合金元素溶解在 α-Fe 中的固溶体。

铁素体性能接近纯铁，硬度低 (约为 80 ~ 100HBW)，塑性好。固溶有合金元素的铁素体能提高钢的强度和硬度。在 727℃ 时，碳在铁素体中的溶解度为 0.022% (质量分数)，在常温下碳含量为 0.008% (质量分数)。

铁素体仍然保持 α-Fe 的体心立方晶格，在金相组织中具有典型纯金属的多面体金相特征。

3. 渗碳体 (Fe₃C)

渗碳体是铁和碳的化合物，又称碳化铁，常温下铁碳合金中碳大部分以渗碳体存在。

根据铁碳相图，渗碳体可分为：

- 1) 一次渗碳体，是沿 CD 线由液体中结晶析出，多呈柱状。
- 2) 二次渗碳体，是从 γ 固溶体中沿 ES 线析出的，多以白色网状出现。

三次渗碳体是从 α 固溶体中沿 PQ 线析出的，多以白色网状出现。

渗碳体在低温下有弱磁性，高于 217℃ 时磁性消失。渗碳体的熔化温度约为 1600℃，碳含量为 6.67% (质量分数)，硬度很高 (约为 >700HBW)，脆性很大，塑性近乎于零。

4. 珠光体 P

珠光体是铁素体和渗碳体的混合物，是碳含量为 0.77% (质量分数) 的碳钢共析转变的产物，由铁素体和渗碳体相间排列的片层状组织。

珠光体的片间距取决于奥氏体分解时的过冷度，过冷度越大形成的珠光体片间距越小。按片间距的大小，又可分为珠光体、索氏体和托氏体。由于它们没有本质上区别，统称为珠光体。

铁素体、珠光体、渗碳体的力学性能见表 2-2。

表 2-2 铁素体、珠光体、渗碳体的力学性能

性 能	铁素体	珠光体	渗碳体	性 能	铁素体	珠光体	渗碳体
硬度 HBW	80	180	800	断面收缩率(%)	75	20	—
抗拉强度/MPa	250	750	35	冲击韧度/(J/cm ²)	300	30	—
伸长率(%)	50	20	0				

5. 马氏体 M

马氏体是碳在 α -Fe 中的过饱和固溶体。当钢高温奥氏体化之后，若快速冷却至马氏体点以下时，由于 γ -Fe 在低温下结构不稳定，便转变为 α -Fe，但冷却速度快，钢中碳原子来不及扩散，保留了高温时母相奥氏体的成分，因此马氏体是钢在奥氏体化后快速冷却到马氏体点之下发生无扩散性相变的产物。马氏体处于亚稳定状态，由于碳在 α -Fe 中过饱和，使 α -Fe 的体心立方晶格发生了畸变，形成了体心正方晶格。马氏体具有很高的硬度（约为 640 ~ 760HBW），很脆，冲击韧度低，断面收缩率和伸长率几乎等于零。由于过饱和的碳使晶格发生畸变，因此马氏体的比体积较奥氏体大，钢中马氏体形成时产生很大的相变应力。

马氏体在金相组织中，是互成一定角度的白色针状结构。正常的淬火工艺下，获得的马氏体大部分为细针或隐针状。

并非所有马氏体组织都是硬而脆的，例如含锰、铬、镍、钼等元素的低合金高强度钢经调质处理后的金相组织为回火低碳马氏体，这种回火低碳马氏体组织具有较高的强度和较好的韧性。

6. δ 相

δ 相是指在铬镍不锈钢（特别是含有铌、钛的铬镍不锈钢）中存在的少量铁素体。存在于奥氏体不锈钢的 δ 相可以保证不锈钢焊缝不产生结晶裂纹，可降低晶间腐蚀及应力腐蚀倾向，还能够提高强度。但 δ 铁素体数量超过某一限度后（例如 >8%），会使点蚀倾向增大，在高温条件下，还容易发生 δ 相向 σ 相的转变，引起金属脆化。

7. σ 相

σ 相是在研究 Fe-Cr 合金变脆时发现的一种合金相， σ 相在室温下无磁性，硬而脆，合金中如有 σ 相出现，特别是沿晶界分布时，使合金的塑性和韧性显著下降。

σ 相一般在 550 ~ 900℃ 高温下经成年累月的时间才逐步形成； σ 相形成会导致材料使用性能恶化。

σ 相的形成与钢的成分、组织、加热温度、保温时间以及预先变形等因素有关。在高铬和镍铬不锈钢中，含铬越高，越易形成 σ 相。奥氏体钢中的 δ 铁素体容易转变为 σ 相。冷变形也起着促进作用，使 σ 相形成的温度下移。

二、金属材料热处理基础知识

(一) 热处理的一般过程

热处理是将固态金属及其合金按预定的要求进行加热、保温和冷却，以改变其内部组织，从而获得要求性能的一种工艺过程。

为使材料具有不同的性能，在工程上采用不同的热处理方法，但其基本工艺都是由加热、保温、冷却三个阶段所构成，温度和时间是热处理的主要因素。任何热处理过程都可以用温度-时间曲线图来说明。如图 2-4 所示为热处理的基本工艺曲线。

(二) 热处理工艺

根据钢在加热和冷却时的组织与性能变化规律，热处理工艺分为退火、正火、淬火、回火及化学热处理、奥氏体不锈钢的固溶处理、稳定化处理等。

图 2-5 为钢在加热和冷却时 $Fe-Fe_3C$ 相图上临界点位置。

各临界点的意义如下。

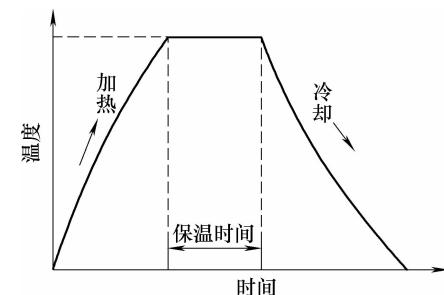


图 2-4 热处理的基本工艺曲线

Ac_1 ：加热时珠光体向奥氏体转变的开始温度。

Ar_1 ：冷却时奥氏体向珠光体转变的开始温度。

Ac_3 ：加热时游离铁素体全部转变为奥氏体的终了温度。

Ar_3 ：冷却时奥氏体开始析出游离铁素体的温度。

Ac_{cm} ：加热时二次渗碳体全部溶入奥氏体的终了温度。

Ar_{cm} ：冷却时奥氏体开始析出二次渗碳体的温度。

与承压类特种设备有关的热处理工艺简介如下。

1. 退火

将钢试件加热到适当温度，保温一定时间后缓慢冷却，以获得接近平衡状态组织的热处理工艺，称为退火。

退火的目的：

- 1) 消除残余应力。
- 2) 细化晶粒，改善组织。
- 3) 降低硬度，提高塑性。

根据钢的成分和目的的不同，退火又分为完全退火、不完全退火、消除应力退火、等温退火、球化退火等。

(1) 完全退火 完全退火又称重结晶退火，其方法是将工件加热到 Ac_3 以上 $30 \sim 50^{\circ}\text{C}$ ，保温后炉内缓慢冷却。其目的在于均匀组织，消除应力，降低硬度，改善切削加工性能。主要用于各种亚共析成分的碳钢和合金钢的铸、锻件，有时也用于焊接结构。完全退火的组织是接近 $\text{Fe}-\text{Fe}_3\text{C}$ 相图的平衡组织（对亚共析钢是铁素体 + 珠光体）。

(2) 不完全退火 不完全退火是将工件加热到 Ac_1 以上 $30 \sim 50^{\circ}\text{C}$ ，保温后缓慢冷却的方法。其主要目的是降低硬度，改善切削加工性能，消除内应力。应用于低合金钢，中、高碳钢的锻件和轧制件。

(3) 消除应力退火 对承压类特种设备来说，消除应力退火特别重要。

承压类特种设备的消除应力退火处理主要是指焊后热处理（PWHT），也有在焊接过程中间和冷变形加工后为减少内应力及冷作硬化而进行消除应力处理的。消除应力处理的加热温度根据材料不同而不同，一般将工件加热到 Ac_1 以下 $100 \sim 200^{\circ}\text{C}$ ，对碳钢和低合金钢大致在 $500 \sim 650^{\circ}\text{C}$ ，保温然后缓慢冷却。消除应力处理主要目的是消除焊接、冷变形加工、铸造、锻造等加工方法所产生的内应力，同时还能使焊缝的氢较完全地扩散，提高焊缝的抗裂性和韧性，此外对改善焊缝及热影响区的组织，稳定结构形状也有作用。

消除应力处理加热方法多种多样，可分整体焊后热处理和局部焊后热处理两大类，前者效果好于后者。整体焊后热处理可分炉内整体热处理和内部加热整体热处理，后者是利用容器本身作为炉子或烟道，在其内部加热来完成热处理过程，通常用于大型容器的现场热处理，称为现场整体消除应力退火处理。局部焊后热处理常用的方法有炉内分段热处理和圆周带状加热热处理。

(4) 等温退火 等温退火是为了保证奥氏体在珠光体转变区上部发生转变，因此冷却速度很缓慢，所需时间少则十几小时，多则数天，因此生产中常用等温退火来代替完全退火。等温退火的加热温度与完全退火相同，但钢经奥氏体化后，等温退火以较快速度冷却到 A_1 线以下，等温一定时间，使奥氏体在等温中发生珠光体转变，然后再以较快速度冷却至室温。等温退火时间

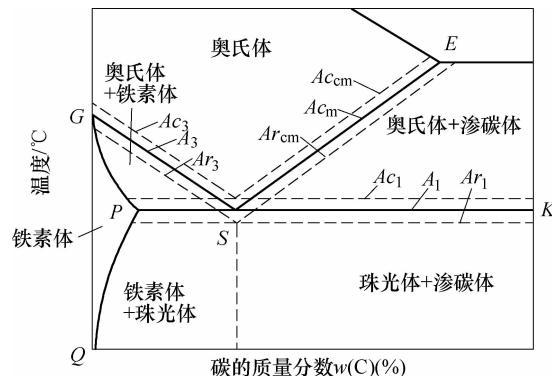


图 2-5 加热和冷却时 $\text{Fe}-\text{Fe}_3\text{C}$ 相图上临界点位置

短，效率高。

(5) 球化退火 球化退火是将过共析钢加热到 Ac_1 线以上约 $20 \sim 40^\circ\text{C}$ 保温一定时间，然后缓慢冷却到 600°C 以下出炉空冷。

当加热温度超过 Ac_1 线后，渗碳体开始溶解，但又未完全溶解，此时片状渗碳体逐渐断开为许多细小的链状或点状渗碳体，弥散分布在奥氏体基体上，同时由于低温短时加热，奥氏体成分也极不均匀，因此在以后缓冷或等温冷却的过程中，以原有的细小渗碳体质点为核心，在奥氏体富集的地方产生新核心，均匀形成颗粒状渗碳体。

球化退火多用于共析或过共析成分的碳钢和合金钢。

2. 正火

正火是将工件加热到 Ac_3 或 Ac_m 以上 $30 \sim 50^\circ\text{C}$ ，保持一定时间后在空气中冷却的热处理工艺。正火的目的与退火基本相同，主要是细化晶粒，均匀组织，降低内应力。正火与退火的不同之处在于前者的冷却速度较快，过冷度较大，使组织中珠光体量增多，且珠光体片层厚度减小。钢正火后的强度、硬度、韧性都较退火为高。许多承压类特种设备用的低合金钢钢板都是以正火状态供货的。超声波检测一些晶粒粗大的锻件时，会出现声能严重衰减，或出现大量草状回波，可通过正火使情况得到改善。

目的：

- 1) 晶粒细小而均匀，综合力学性能好。
- 2) 消除残余应力。
- 3) 最终热处理。

3. 淬火

淬火是将钢加热到临界温度以上（一般情况是：亚共析钢为 Ac_3 以上 $30 \sim 50^\circ\text{C}$ ，过共析钢为 Ac_1 以上 $30 \sim 50^\circ\text{C}$ ），经过适当保温后快冷，使奥氏体转变为马氏体的过程。材料通过淬火获得马氏体组织，可以提高其硬度和强度，这对于轴承、模具之类的工件是有益的，马氏体硬而脆，韧性很差，内应力很大，容易产生裂纹，承压类特种设备材料和焊缝的组织中一般不希望出现马氏体。

目的：提高钢的强度和硬度，增加其耐磨性，以及在随后的回火过程中获得高强度和高韧性相配合的性能。

4. 回火

回火是将经过淬火的钢加热到 Ac_1 以下的适当温度，保持一定时间，然后用符合要求的方法冷却（通常是空冷），以获得所需组织和性能的热处理工艺。回火的主要目的是降低材料的内应力，提高韧性。通过调整回火温度，可获得不同硬度、强度和韧性，以满足所要求的力学性能。此外，回火还可稳定零件尺寸，改善加工性能。

按回火温度的不同可将回火分为低温回火、中温回火、高温回火三种。

(1) 低温回火 ($150 \sim 250^\circ\text{C}$) 低温回火所得组织为回火马氏体。其目的是在保持淬火钢的高硬度和高耐磨性的前提下，降低其淬火内应力和脆性，以免使用时崩裂或过早损坏。它主要用于各种高碳的切削刀具、量具、冷冲模具、滚动轴承以及渗碳件等，回火后硬度一般为 $58 \sim 64\text{HRC}$ 。

(2) 中温回火 ($350 \sim 500^\circ\text{C}$) 中温回火所得组织为回火托氏体。其目的是获得高的屈服强度、弹性极限和较高的韧性，因此它主要用于各种弹簧和热作模具的处理，回火后硬度一般为 $35 \sim 50\text{HRC}$ 。

(3) 高温回火 ($500 \sim 650^\circ\text{C}$) 高温回火所得组织为回火索氏体。

5. 调质热处理

习惯上将淬火加高温回火相结合的热处理称为调质处理，其目的是获得强度、硬度和塑性、韧性都较好的综合力学性能。

调质处理可以使钢的性能、材质得到很大程度的调整，其强度、塑性和韧性都较好，具有良好的综合力学性能。回火后硬度一般为 200 ~ 330HBW。

在锅炉、压力容器制造过程中，调质热处理方式主要用于处理设备主螺栓和钢质高压无缝气瓶等。

在理论上，淬火钢回火后冲击韧度提高，在 400℃ 以上尤为显著，但在有些结构钢中发现，在 250 ~ 400℃ 回火后冲击韧度反而降低，甚至比 150 ~ 200℃ 低温回火时的冲击韧度还低，这种现象称为“第一回火脆性”。某些合金结构钢在 450 ~ 575℃ 出现“第二次回火脆性”。

6. 铬镍奥氏体不锈钢的固溶处理和稳定化处理

把铬镍奥氏体不锈钢加热到 1050 ~ 1100℃（在此温度下，碳在奥氏体中固溶），保温一定时间（大约每 25mm 厚度不小于 1h），然后快速冷却至 427℃ 以下（要求从 925℃ 至 538℃ 冷却时间小于 3min），以获得均匀的奥氏体组织，这种方法称为固溶处理，其强度和硬度较低而韧性较好，具有很高的耐蚀性和良好的高温性能。

对于含有钛或铌的铬镍奥氏体不锈钢，为了防止晶间腐蚀，必须使钢中的碳全部固定在碳化钛或碳化铌中，以此为目的的热处理称为稳定化处理。稳定化处理的工艺条件是：将工件加热到 850 ~ 900℃，保温足够长的时间，快速冷却。

（三）与焊接有关的其他热过程概念

1. 焊接前预热

预热温度一般选择在 50 ~ 250℃ 之间，预热温度与施焊时的环境温度、钢种的强度级别、坡口的形式、焊接材料类型或焊缝金属可能的氢含量等有关。

通过预热可以显著降低该温度范围内的焊接冷却速度，从而减小淬硬倾向。预热对焊接热影响区晶粒细化的影响较小，同时预热还有利于焊缝中氢的逸出，因此是一种较好的降低高强度钢焊接冷裂纹倾向的措施。

焊前预热的有利作用：

- 1) 可改变焊接过程的循环，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件，降低残余应力峰值。
- 5) 延长焊接区在 100℃ 以上温度的停留时间，有利于氢从焊缝金属中逸出。

2. 后热

焊接后立即对工件的全部（或局部）进行加热或保温，使其缓冷的工艺措施，它不同于焊后热处理。

由于冷裂纹存在潜伏期，例如根部裂纹一般要在焊后几分钟以后才会产生，所以在裂纹产生以前，若及时进行加热处理，即所谓紧急后热，将有利于防止冷裂纹的产生。紧急后热的温度一般在 300 ~ 600℃。

后热有三种有利作用：

- 1) 减轻残余应力。
- 2) 改善组织，降低淬硬性。

3) 减少扩散氢。

3. 缓冷

为消除钢材中的白点和避免再冷却过程中热应力与组织应力造成的裂纹, 将某些钢材放置到专门的缓冷装置中进行缓慢冷却, 称为缓冷。

4. 道间温度 (俗称层间温度)

多层多道焊时, 在施焊后继焊道之前, 其相邻焊道应保持的温度, 即称为层间温度。对后一焊道而言, 前一焊道具有预热的作用, 层间温度即相当于预热温度; 对前一焊道而言, 后一焊道起“后热”作用, 产生一定的热处理效果。

但对低温钢和铬镍不锈钢的焊接, 都不希望层间温度高。以低温钢焊接为例, 采用快速多道焊是低温钢焊接的重要原则之一。快速多道焊有利于细化晶粒, 提高焊缝的韧性。在多道中, 为了减小焊道过热, 应尽可能降低层间温度, 也就是尽可能不要连续焊接。

(四) 金属材料不同加热温度下的颜色

金属材料在不同加热温度下的色彩变化见表 2-3。

表 2-3 金属材料在不同加热温度下的色彩变化

温度/℃	金属颜色	温度/℃	金属颜色	温度/℃	金属颜色
550 ~ 580	暗褐色	780 ~ 800	樱红色	1050 ~ 1150	暗黄色
580 ~ 650	赤褐色	800 ~ 830	亮樱红色	1150 ~ 1250	亮黄色
650 ~ 750	暗樱红色	830 ~ 880	亮红色	1250 ~ 1300	黄白色
750 ~ 780	深樱红色	880 ~ 1050	橘黄色		

三、金属材料的性能

通常所指的金属材料的性能包括以下两个方面:

1) 使用性能即为了保证机械零件、设备、结构件等能正常工作, 材料所应具备的性能, 主要有力学性能 (强度、硬度、刚度、塑性、韧性等)、物理性能 (密度、熔点、导热性、热膨胀性等)、化学性能 (耐蚀性、热稳定性等)。使用性能决定了材料的应用范围, 使用安全可靠性和使用寿命。

2) 工艺性能即材料在被制成机械零件、设备、结构件的过程中适应各种冷、热加工的性能, 例如铸造、焊接、热处理、压力加工、切削加工等方面的性能。工艺性能对制造成本、生产效率、产品质量有重要影响。

(一) 金属材料力学性能基本知识

金属材料在加工和使用过程中都要承受不同形式外力的作用, 当外力达到或超过某一限度时, 材料就会发生变形至断裂。材料在外力作用下所表现的一些性能称为材料的力学性能。特种设备材料的力学性能指标主要有强度、硬度、塑性、韧性等。这些性能指标可以通过力学性能试验测定。

1. 强度

金属的强度是指金属抵抗永久变形和断裂的能力。

材料强度指标可以通过拉伸试验测出。

可以将拉伸过程分为四个阶段, 如图 2-6 所示。

(1) 弹性阶段 即曲线 0 ~ a 段。在此段若加载不超过 a 点的应力值, 卸载后试件的变形可全部消失, 因此 a 点的应力值为材料只产生弹性变形时的最高值, 称

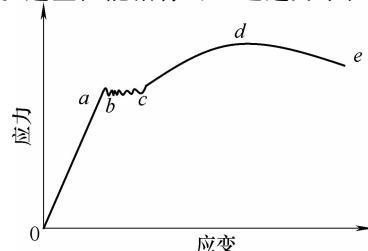


图 2-6 金属材料的拉伸试验图

为弹性极限。

(2) 屈服阶段 即 $b \sim c$ 点的一段曲线。当金属材料呈现屈服现象时，在试验期间达到塑性变形发生而力不增加的应力点，称为屈服强度。应区分上屈服强度和下屈服强度，如图 2-7 所示。上屈服强度 (R_{eH}) 是指试样发生屈服而力首次下降前的最高应力。下屈服强度 (R_{eL}) 是指在屈服期间，不计初始瞬时效应时的最低应力。

有些材料没有明显的屈服点，这些材料通常采用规定非此例延伸强度 $R_{p0.2}$ 作为屈服阶段的特征值。低碳钢材料存在上屈服点和下屈服点，不加说明，一般都是指下屈服点。

(3) 强化阶段 即曲线 $c \sim d$ 段，曲线 d 点所对应的力是拉伸过程中试样承受的最大载荷值，相应的应力即为材料的抗拉强度，用 R_m 表示。抗拉强度是金属材料重要的力学性能指标之一，由于抗拉强度易于确定且可重复测定，因此经常用于检测材料和产品的质量，也是鉴别材料的有效方法之一。

在强化阶段如果卸载，弹性变形会随之消失，塑性变形将会永久保留下。重新加载后，材料的比例极限明显提高，而塑性性能会相应下降。这种现象称之为形变硬化或冷作硬化。冷作硬化是金属材料的宝贵性质之一，工程中利用冷作硬化工艺的例子很多，如挤压、冷拔、喷丸等。

(4) 颈缩阶段 即曲线 $d \sim e$ 段。载荷达到最大值后，由于材料本身存在缺陷，于是无效变形转化为集中变形，导致颈缩。颈缩阶段，承载面积急剧减小，直至断裂。断裂后，试件的弹性变形消失，塑性变形则永久保留在破断的试件上。

2. 塑性

塑性是指材料在载荷作用下断裂前发生不可逆永久变形的能力。评定材料塑性的指标通常用伸长率和断面收缩率。

持久塑性则是表征材料在一定温度和长时间应力作用下的塑性能力，它是材料高温力学性能的重要指标之一，也是衡量材料蠕变脆性的指标。通常要求持久伸长率不小于 3%。

3. 硬度

硬度是材料抵抗局部塑性变形或表面损伤的能力。

由于规定了不同的测试方法，所以有不同的硬度标准。各种硬度标准的力学含义不同，相互不能直接换算，但可通过试验加以对比。

强度与硬度之间存在一定的对应关系，其经验式为：

对碳钢： $R_{eL} = (3.3 \sim 3.6) \text{ HBW}$

对铸铁： $R_{eL} = (\text{HBW} - 80) / 0.3504$ ($R_{eL} \geq 196 \text{ N/mm}^2$ 时)

$R_{eL} = (\text{HBW} - 35.2) / 0.57924$ ($R_{eL} < 196 \text{ N/mm}^2$ 时)

硬度试验是力学性能试验中最简单易行的一种试验方法。一般硬度越高，耐磨性越好。

硬度按其测定范围分为：布氏硬度 (HBW)、洛氏硬度 (HRA、HRB、HRC 等标尺)、维氏硬度 (HV) 等。

(1) 布氏硬度 (HBW) 压头为硬质合金球。布氏硬度试验的优点是测定数据准确、稳定。通常用于测定铸铁、有色金属、低合金钢等材料以及退火、正火和调质工件的硬度。缺点是不宜测定高硬度或厚度很薄的材料。

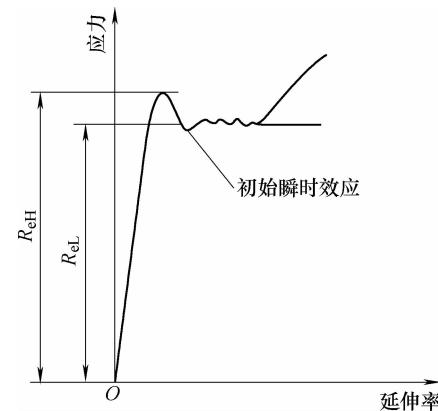


图 2-7 上屈服强度和下屈服强度的定义

(2) 洛氏硬度 (HRA、HRB、HRC 等标尺) 洛氏硬度 B 标尺, 一般用于测定较软的金属和未经淬火的钢件的硬度; C 标尺一般用于测定经热处理淬硬的钢试件的硬度; A 标尺一般用于测定硬度极高而不宜采用 C 标尺的场合, 如测定硬质合金及表面硬化钢件的硬度。由于 A 标尺灵敏度较差, 因而在其他场合下很少使用。

洛氏硬度试验的优点是操作简便、迅速, 可直接从硬度计表盘读出硬度值, 不必计算或查表; 压痕小, 可测量较薄工件。缺点是准确度差。

(3) 维氏硬度 (HV) 维氏硬度试验法广泛用于精密元件和材料的研究领域, 特别适用于细小、极薄的材料以及氮化、渗碳等表面处理的试件和各种镀层试样的表层硬度测定。

维氏硬度试验的优点是: 不受试验力的影响, 对任一均质材料用不同试验力所得到的压痕几乎相似, 其硬度值是相同的; 有统一的标尺, 可适用于较大范围的硬度测试。

4. 冲击韧度

冲击韧度是指材料在外加冲击载荷作用下, 断裂时消耗能量大小的特性。反映金属材料对外来冲击负荷的抵抗能力, 一般用冲击韧度 (a_k) 和冲击吸收能量 (KU 或 KV) 表示, 其单位分别为 J/cm^2 和 J (焦耳)。

冲击试验因试验温度不同而分为常温、低温等; 按试样缺口形状分为“V”形缺口和“U”形缺口冲击试验两种。

实验证明, 冲击韧度对材料组织缺陷非常敏感, 能灵敏地反映出材料品质、宏观缺陷和显微组织方面的微小变化, 如白点、夹杂及过热、过烧、回火脆性等。因此冲击韧度试验是检验材料冶金质量和脆化倾向的有效方法之一, 也是检验焊接接头性能的试验方法之一。

(二) 金属材料的脆性

用于制作特种设备受压元件所用的钢材在常温静载条件下一般都有较好的塑性和韧性, 工程上习惯称之为塑性材料。人们在使用这些材料时, 对可能会发生的脆性破坏往往不够注意, 实际上, 在一些不利的条件或环境下使用的塑性材料会发生脆化, 即塑性和韧性降低的现象, 这一现象对特种设备的使用安全是不利的。常见的钢材脆化现象有以下几种:

1. 冷脆性

随着温度的降低, 大多数钢材的强度有所增加, 而韧性下降, 金属材料在低温下呈现的脆性称为冷脆性。

2. 热脆性

钢材长时间停留在 $400 \sim 500^{\circ}\text{C}$ 后再冷却至室温时, 冲击韧度值会有明显的下降, 这种现象称为钢材的热脆性。具有热脆性的钢材, 金相组织没有明显的变化。无损检测不能检测和判定热脆性, 材料是否产生热脆一般采用冲击试验方法判断。

3. 氢脆

钢材中的氢会使材料的力学性能脆化, 这种现象称为氢脆。氢脆主要发生在碳钢和低合金钢, 钢中氢的来源主要为下列四个方面: 冶炼过程中溶解在钢液中的氢, 在结晶冷凝时没有能及时逸出而存留在钢材中; 焊接过程中由于水分或油污在电弧高温下分解出的氢溶解入钢材中; 设备运行过程中, 工作介质中的氢进入钢材中; 此外, 钢试件酸洗不当也可能导致氢脆。

4. 应力腐蚀脆性断裂

由拉应力与腐蚀介质联合作用而引起的低应力脆性断裂称为应力腐蚀。不论是塑性材料还是脆性材料都可能产生应力腐蚀。它与单纯的由应力造成的破坏或由腐蚀引起的破坏不同, 在一定的条件下在很低的应力水平或腐蚀性很弱的介质中, 也能引起应力腐蚀。应力腐蚀所引起的破坏在事先往往没有明显的变形预兆, 突然发生脆性断裂, 故它的危害性很大。

应力腐蚀只有在特定条件下才会发生:

- 1) 元件承受拉应力的作用。
- 2) 具有与材料种类相匹配的特定腐蚀介质环境。
- 3) 材料的应力腐蚀敏感性。

(三) 钢的焊接性

钢的焊接性是指钢材在给定的焊接工艺和焊接结构条件下，获得预期焊接接头质量要求的性能。由于焊缝主要经历的是冶金、结晶过程，而焊缝的热影响区主要经历的是焊接热循环过程，所以钢的焊接性要从钢的冶金焊接性和热循环焊接性两方面来分析。

1. 碳钢的焊接性

碳钢以铁为基础，以碳为合金元素，碳含量一般不超过1%。碳钢的焊接性主要取决于碳的含量，随着含碳量的增加，焊接性逐渐变差。另外，碳钢中的锰和硅对焊接性也有一定的影响，随着锰和硅含量的增加，其焊接性也随之变差。可用碳当量(C_{eq} , %)经验公式来表示，即

$$C_{eq} = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Si}{24}$$

C_{eq} 增加，则产生冷裂纹的可能性增加，焊接性变差。通常 C_{eq} 值大于0.4%时，冷裂纹的敏感性将增大。

焊接性的好坏不只取决于碳、锰、硅的含量，还取决于焊接接头的冷却速度。不同碳钢在不同的冷却速度下，可能会在焊缝和热影响区中形成硬化组织甚至马氏体，且马氏体越多，硬度愈高，焊接性也越差。焊后的大量马氏体或它表现的高硬度，在焊接应力下还可能引起热影响区和焊缝的裂纹，从而表现出焊接性较差。因此，测定焊接接头的硬度，可以粗略地判断裂纹倾向或焊接性的优劣。

焊接时，母材已确定，即 C_{eq} 值已确定，若改善焊接性，即改善组织、避免裂纹控制冷却速度是关键途径。冷却速度主要取决于：钢材厚度和接头的几何形状；焊接时母材的原始温度；焊接热输入的大小。

2. 合金钢的焊接性

通常把金属材料在焊接时形成裂纹的倾向及焊接接头性能变坏的倾向作为评价焊接性的重要指标。合金钢的焊接性主要取决于其化学成分，同时也与结构的复杂程度、刚性、焊接方法、焊接材料和焊接工艺有关。钢中的碳是对焊接性影响最大的元素，其他合金元素对焊接性的影响为碳的几分之一至十几分之一。按合金成分对钢焊接性进行估算，即把合金元素对焊接性的影响的大小折算成相当碳元素的含量，即碳当量 C_{eq} 。其经验公式为

$$C_{eq} = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr + Mo + V}{5} + \frac{Ni + Cu}{12} \quad (\%)$$

当 $C_{eq} < 0.4\%$ 时，钢材的淬硬倾向不明显，焊接性优良，焊接时不必预热。

当 $C_{eq} = 0.4\% \sim 0.6\%$ 时，钢的淬硬倾向逐渐明显，需要采取适当的预热，控制线能量等工艺措施。

当 $C_{eq} > 0.6\%$ 时，钢的淬硬倾向更强，属于难以焊接的材料，需要采取较高的预热温度和严格的工艺措施。

四、特种设备用金属材料的基本要求

特种设备都是在承压或承重状态下运行，材料要承受较大的工作应力，有些还要同时承受高温或腐蚀介质的作用，工作条件更为恶劣，如果在使用过程中发生破坏性事故，将会造成严重损失，因此对制造特种设备的材料有一定的要求。这些要求包括：

- 1) 为保证安全性和经济性, 所用材料应有足够的强度, 即较高的屈服强度和抗拉强度。
- 2) 为保证在承受外加载荷时不发生脆性破坏, 所用材料应良好的韧性。根据使用状态的不同, 材料的韧性指标包括常温冲击韧度, 低温冲击韧度以及时效冲击韧度等。
- 3) 所用材料应有良好的加工工艺性能, 包括冷、热加工成形性能。
- 4) 所用材料应有良好的低倍组织和表面质量, 分层、疏松、非金属夹杂物、气孔等缺陷应尽可能少, 不允许有裂纹和白点。
- 5) 用以制造高温受压元件的材料应具有良好的高温特性, 包括足够的蠕变极限、持久强度和持久塑性, 良好的高温组织稳定性和高温抗氧化性。
- 6) 与腐蚀介质接触的材料应具有优良的耐蚀性。

五、金属材料的分类

(一) 概述

金属材料按组成成分可分为黑色金属和有色金属及其合金两大类。

1. 黑色金属

铁和铁的合金均称为黑色金属。

(1) 纯铁 化学纯铁碳含量几乎为零, 工业纯铁碳含量 $< 0.05\%$ (质量分数)。纯铁是很软的, 一般不应用到实际中。

(2) 铁碳合金 以铁为基础, 以碳为主要添加元素的合金, 统称为铁碳合金。

(3) 生铁 把铁矿石放到高炉中冶炼而成的, 碳含量为 $2\% \sim 4.3\%$ (质量分数, 也有资料称 $3.5\% \sim 5.5\%$ 、 $2.11\% \sim 6.67\%$) 的铁碳合金称为生铁。生铁质硬而脆, 缺乏韧性, 几乎没有塑性变形能力, 因此不能通过锻造、轧制、拉拔等方法加工成形, 主要用来炼钢和制造铸件, 如白口铁、灰铁和球墨铸铁。也有习惯上把炼钢生铁叫做生铁, 把铸造生铁简称为铸铁。

(4) 钢 碳含量在 (质量分数) 2% 以下, 并含有其他元素的铁碳合金称为钢。为了保证其韧性和塑性, 碳含量一般不超过 1.7% (质量分数)。钢的主要元素除铁、碳外, 还有硅、锰、硫、磷等。

2. 有色金属

除黑色金属以外的金属称为有色金属。

(二) 钢材的分类

钢可按化学成分分类, 也可按主要质量等级和主要性能及使用特性分类。

1. 按化学成分分类

按钢的化学成分, 钢可分为碳素钢和合金钢两大类。

(1) 碳素钢

1) 分类:

①按碳含量不同, 碳素钢可分为: 低碳钢, 碳含量不大于 0.30% (质量分数); 中碳钢, 碳含量 $0.30\% \sim 0.6\%$ (质量分数); 高碳钢, 碳含量大于 0.6% (质量分数)。

②按冶炼时的脱氧程度不同可分为: 沸腾钢、半镇静钢、镇静钢。

③按钢材的冶炼质量可分为: 普通碳素钢, $P \leq 0.045\%$ 、 $S \leq 0.055\%$ (质量分数); 优质碳素钢, $P \leq 0.04\%$ 、 $S \leq 0.045\%$ (质量分数); 高级优质钢, $P \leq 0.035\%$ 、 $S \leq 0.035\%$ (质量分数)。

④按钢的用途分为: 碳素结构钢, 主要用于制作各种结构件和机器零件, 一般为低碳钢; 碳素工具钢, 主要用于制作各种刀具、量具、模具等, 一般为高碳钢。

2) 碳素钢的牌号表示方法:

①普通碳素结构钢。现行标准规定普通碳素结构钢的表示方法为 $Q \times \times \times - \times \times$ 。其中第一部分 Q 是“屈服强度”的汉语拼音第一个字母大写；第二部分 $\times \times \times$ 为钢材的屈服强度值（单位：MPa）；第三部分 \times 是质量等级，分为 A、B、C、D 四级，其中 A 级质量为最低；第四部分 \times 是脱氧方法，有 F、b、Z 三种，其中 F 代表沸腾钢，b 代表半镇静钢，Z 代表镇静钢。镇静钢 Z 符号可省略，如 Q235AF、Q235B。

②优质碳素结构钢。优质碳素结构钢的牌号用两位数字表示，这两位数字是钢平均碳含量质量的万分比。例如：10 钢表示平均碳含量为 0.10%，20 钢表示平均碳含量为 0.20%。优质碳素结构钢按锰含量的不同分为普通锰含量（0.35% ~ 0.8%）和较高锰含量（0.7% ~ 1.2%）两组。对锰含量较高的一组，牌号数字后面应附加“Mn”，如 16Mn 等，以示与普通锰含量的区别。如为沸腾钢，则在牌号数字后面加“F”，如 08F。

③专门用途的碳素钢。专门用途的碳素钢应在牌号尾部加代表用途的符号。例如制作锅炉或压力容器的专用碳素钢应在牌号数字后面加“R”，如 Q245R。

④碳素铸钢。铸钢牌号用“铸钢”的汉语拼音字首 ZG 表示，后面两位数字分别表示该铸钢的屈服强度值和抗拉强度值，如 ZG200-400、ZG270-500 等。

⑤碳素工具钢。碳素工具钢的编号是在“碳”字的汉语拼音字首“T”之后附加数字表示，数字表示平均碳含量质量的千分比。如 T8、T12，分别表示碳含量为 0.8% 和 1.2% 的碳素工具钢，如为高级优质碳素工具钢，则在数字后面加 A，如 T8A、T12A。

(2) 合金钢 合金钢是指除碳钢所含元素外，还含有其他一些合金元素，如 Cr、Ni、Mo、W、V、B 等的钢。

1) 分类:

①按合金元素含量，可分为：低合金钢，合金元素含量小于 5%（质量分数）；中合金钢，合金元素含量等于 5% ~ 10%（质量分数）；高合金钢，合金元素含量大于 10%（质量分数）。

②按钢的用途，可分为：合金结构钢，专用于制造各种工具结构和机器零件的钢种；合金工具钢，专用于制造各种工具的钢种。

③按钢的金相组织，可分为：珠光体钢、奥氏体钢、铁素体钢、马氏体钢等。

④按钢中所含的主要合金元素，可分为：铬钢、铬镍钢、锰钢、硅锰钢等。

2) 合金钢的牌号表示方法：我国合金钢牌号按碳含量、合金元素种类和含量、质量级别和用途来编排。牌号首部用数字表明碳含量，为区别用途，即低合金钢、合金结构钢用两位数表示平均碳含量的万分比；高合金钢、不锈耐酸钢、耐热钢用一位数表示平均碳含量的千分比，在碳的质量分数大于或等于 0.04% 时，取两位小数，在碳的质量分数不大于 0.030% 时，取三位小数。牌号的第二部分用元素符号表明钢中主要合金元素，含量由其后数字标明，当平均质量分数小于 1.5% 时不标数字；平均质量分数为 1.5% ~ 2.49% 时，标数字 2；平均质量分数为 2.5% ~ 3.49% 时，标数字 3；……。高级优质合金钢在牌号后部加 A，专门用途的低合金钢、合金结构钢，在牌号后部加代表用途的符号。例如：16MnDR，表明该合金钢碳的平均质量分数为 0.16%，锰的平均质量分数小于 0.15%，是低温压力容器专用钢。

长输管道中常用的管线钢现行标准规定：以钢的规定总伸长应力表示，即钢的表示方法为 $L \times \times \times$ 。其中第一部分 L 是“总伸长应力”的代号；第二部分 $\times \times \times$ 为钢材规定总伸长应力。例如 L360，表明该钢材的规定总伸长应力为 360 MPa。

2. 特种设备常用钢种

特种设备常用的低合金钢，包括低合金高强度钢、低温钢、低合金耐热钢、耐腐蚀用钢。低

合金钢中通常添加的合金元素有锰、硅、铬、镍、钼、钒、硼和稀土元素等。

在锅炉、压力容器中广泛使用的低合金钢有：Q345R。

用于锅炉汽包的有 13MnNiMoNbR、20MnMo。

用于锅炉集箱、受热面管的有 15CrMoG、12Cr1MoVG、T91（Cr9Mo1VNb）。

用于大型球罐的有 16MnDR、07MnCrMoVR、07MnNiCrMoVDR。

用于低温设备的有 15MnNiDR、09Mn2VDR、09MnNiDR。

用于耐热抗氢条件下的铬钼钢如 15CrMoR、14Cr1MoR。

在长输管道中常用的管线钢（属低合金高强钢）有 L360、L415、L450、L480…

（1）低合金高强度钢 这类钢既有较高的强度，又有较好的塑性和韧性，低合金钢的合金含量较少，价格较低，冷、热成形及焊接工艺性能良好。常用的钢号有 Q345R、15MnVg、15MnVR、18MnMoNbR、Q345、15CrMo、1Cr5Mo、L360 等。

如 Q345 钢，其具有良好的力学性能，一般在热轧状态使用。一般情况下，钢板厚度在 34mm 以下时焊前可不预热；对于厚度大于 34mm 的钢板，焊后一般需进行消除应力热处理，通常是加热至 600~650℃，保温后空冷。

（2）低温用钢 对于在低温条件下工作的特种设备，其最重要的是低温韧性，影响低温韧性的因素有晶体结构、晶粒尺寸、冶炼的脱氧方法、热处理状态及合金元素等，尤以合金元素的影响最为显著。

在低温用钢中，碳含量多限制在 0.2%（质量分数）以下。

锰和镍是低温用钢中常用的合金元素，随着锰含量的增加，钢的冷脆转变温度下降，镍含量每增加 1%（质量分数），冷脆转变温度约可降低 10℃。

常用的低温用钢有：16MnDR、15MnNiDR、09Mn2VDR、09MnNiDR 等。

（3）低合金耐热钢 当工作温度在 400~600℃ 时，所使用的钢材多为低合金耐热钢，如钼钢、铬钼钢和铬钼钒钢等。按材料显微组织可分为珠光体耐热钢和贝氏体耐热钢，属于珠光体耐热钢的有 12CrMoR、15CrMoR、14Cr1MoR 等，属于贝氏体耐热钢的有 12Cr2Mo1R。

（4）耐腐蚀用钢 耐腐蚀用钢的主要合金化元素是 Cu 和 P，如 GB/T 4171—2008《耐候结构钢》中的 Q235NH、Q295NH、Q355NH 等，Cu 的含量均为 0.25%~0.55%（质量分数），因为要保证焊接性，其 P 的含量不大于 0.03%（质量分数）。

（5）高合金钢 对于某些承压设备，由于其苛刻的操作条件，高温、低温、高压、工作介质的危害（易爆、有毒、腐蚀），大量使用的是具有优良耐高温、耐低温、耐腐蚀性能的铬镍系高合金钢。

铬在氧化性介质中能生成一层稳定而致密氧化膜，从而保护金属使其具有耐腐蚀性。为了减少钢中脆性碳化铬的形成，钢中含碳量较低、而含铬量尽量高。

不锈钢按其钢的组织不同可分为三类，即铬不锈钢（铁素体不锈钢、马氏体不锈钢）、奥氏体不锈钢和奥氏体+铁素体双相不锈钢三类。

1) 铬不锈钢。承压设备中大量使用的铬不锈钢中铬含量都在 13%（质量分数）以上，如铁素体不锈钢（06Cr13、06Cr13Al、10Cr17）和马氏体不锈钢（12Cr13、20Cr13），这类钢耐潮湿大气、淡水、海水腐蚀，对温度较低的弱腐蚀性介质，如盐水溶液、低浓度有机酸等也有较好的耐蚀性。

2) 铬镍奥氏体不锈钢。承压设备中大量应用的典型铬镍不锈钢牌号是 06Cr19Ni10，由于镍元素的存在，在铬镍不锈钢中能形成奥氏体组织，经固溶处理后在常温下也能以单一的奥氏体组织存在。但是经过热加工，在 1050~1100℃ 加热后淬火，含镍低至 8%（质量分数）也可获得亚稳定的单相状态的奥氏体组织，即 Cr18Ni8 钢，这是一种较经济的奥氏体不锈钢。

这种钢在耐腐蚀方面，不但与铬不锈钢类似具有氧化铬保护膜，而且由于镍的存在而形成的单一奥氏体组织，使得铬镍钢在很多介质中比铬不锈钢具有更好的耐蚀性，例如对浓度 60% 以下，温度低于 100℃ 的硝酸、硫酸盐、硫化氢、醋酸等都有很好的耐蚀性，另外还有很好的耐氢、氮腐蚀性能。

铬镍奥氏体不锈钢同时又是承压设备中广泛使用的低温用钢和中高温用钢，使用温度范围从深冷的极低温度直至 700℃。

3) 双相不锈钢（奥氏体 + 铁素体）。双相不锈钢具有奥氏体 + 铁素体双相组织，且两个相组织的含量基本相当，故兼有奥氏体不锈钢和铁素体不锈钢的特点。与铁素体不锈钢相比，双相不锈钢的韧性高，脆性转变温度低，耐晶间腐蚀性能和焊接性均得到显著提高；同时又保留了铁素体不锈钢的一些特点，如 475℃ 脆性、热导率高、线胀系数小，具有超塑性及磁性等。与奥氏体不锈钢相比，双相不锈钢的强度高，特别是屈服点显著地提高，其屈服点可达 400 ~ 500 MPa，是普通奥氏体不锈钢的两倍。且耐蚀性、耐应力腐蚀、耐腐蚀疲劳等性能也有明显的改善。

双相不锈钢按其化学成分分类，可分为 Cr18 型、Cr23（不含 Mo）型、Cr22 型和 Cr25 型四类。对于 Cr25 型双相不锈钢又可分为普通型和超级双相不锈钢，其中近年来应用较多的是 Cr22 型和 Cr25 型。

4) 沉淀硬化不锈钢是在不锈钢中单独或复合添加硬化元素，通过适当热处理获得高强度、高韧性并具有良好耐蚀性的一类不锈钢。通常作为耐磨、耐蚀、高强度结构件，如轴、齿轮、垫圈、销子、弹簧、高强度压力容器、化工处理设备等。

（三）有色金属及其合金

在承压的化工、石化、空分等工业设备装置中，由于腐蚀、低温等特殊条件的要求，经常使用有色金属及其合金。有色金属的种类很多，如铝、铜、钛、镍、铅。

1. 钛及钛合金

钛及钛合金具有良好的耐蚀性，在氧化性、中性及有氯离子介质中，其耐腐蚀性优于不锈钢。工业纯钛塑性好，但强度较低，具有良好的低温性能，其线胀系数和热导率都不大，这都不会给焊接带来困难。钛合金的比强度大，又具有良好的韧性和焊接性，在航天工业中应用最为广泛。钛及钛合金在我国现行标准中按其退火态的组织分为 α 钛合金、 β 钛合金和 $\alpha + \beta$ 钛合金三类，分别用 TA、TB 和 TC 表示。在石化行业的压力容器制作中，牌号为 TA2 的工业纯钛使用居多。

其主要标准有：GB/T 3621—2007《钛及钛合金板材》，GB/T 3624—2010《钛及钛合金无缝管》，GB/T 3625—2007《换热器及冷凝器用钛及钛合金管》，GB/T 8547—2006《钛-钢复合板》。

2. 镍及镍基合金

镍及镍基合金特殊的物理、力学及耐腐蚀性能，镍基耐蚀合金在 200 ~ 1090℃ 范围内能耐各种腐蚀介质的侵蚀，同时具有良好的高温和低温力学性能。在一些苛刻腐蚀条件下是一般不锈钢所无法取代的优良材料。纯镍一般在工业中应用较少，但在镍中添加铬、铜、铁、钼、铝、钛、铌、钨等元素后，通过固溶强化，不但改善其力学性能，而且具有优良的耐腐蚀性，可适应于各种腐蚀介质的工作环境。

镍基耐蚀合金根据其合金元素的含量和所占比例进行分类和命名，如 Ni-Cu 合金定名为蒙乃尔（Monel）合金；Ni-Cr-Fe 合金中镍含量占优势，便称因康镍（Inconel）合金；若铁含量较高则称因康洛依（Incoley）合金；对于钼含量较高的 Ni-Cr-Mo 合金则多数称哈斯特洛依（Hastelloy）合金，也称为海氏合金或哈氏合金。

其主要标准有：GB/T 2054—2005《镍及镍合金板》，GB/T 2072—2007《镍及镍合金带材》，JB 4741—2000《压力容器用镍铜合金热轧板材》，JB 4742—2000《压力容器用镍铜合金无缝管》，JB 4743—2000《压力容器用镍铜合金锻件》。

3. 铜及铜合金

常用的铜及铜合金有四种：纯铜、黄铜、青铜和白铜。在承压设备中纯铜与黄铜使用较多。

纯铜是 $w(\text{Cu})$ 不低于 99.5% 的工业纯铜，具有良好的导电性、导热性，良好的强度、常温和低温塑性、压力加工性能和耐磨性，易于成形与焊接以及对海水等的耐腐蚀性等性能。纯铜中的杂质如氧、硫、铋等，都不同程度地降低了纯铜的优良性能，以及增加材料的冷脆性和接头中出现热裂纹的倾向。黄铜是铜和锌组成的二元合金，黄铜比纯铜强度、硬度和耐腐蚀能力都高，且保持一定塑性，能很好地承受热加工。

其主要标准有：GB/T 2040—2008《铜及铜合金板材》，GB/T 13238—1991《铜钢复合钢板》，GB/T 8890—2007《热交换器用铜合金无缝管》，GB/T 1527—2006《铜及铜合金拉制管》。

4. 铝及铝合金

铝在空气和氧化性水溶液介质中，表面产生致密的氧化铝钝化膜，因而在氧化性介质中具有良好的耐蚀性。铝在低温下与铁素体钢不同，不存在脆性转变。

铝按性能和用途可分为纯铝、防锈铝、硬铝、超硬铝、锻铝和特殊铝几类。纯铝按纯度分为高纯铝、工业高纯铝和工业纯铝三个等级。在压力容器中使用的牌号主要是塑性和耐蚀性好的工业纯铝（牌号为：1050A、1060、1200、1A85、1100 等）和铝-锰合金（牌号为 5A02、5A03、5083、3A21、5A12）和铝-镁合金，多以板材和管材的类型用于压力容器中。铝锰合金仅可变形强化，其强度比纯铝略高，成形工艺性及耐蚀性、焊接性好。铝镁合金仅可变形强化，其 $w(\text{Mg})$ 一般为 0.5% ~ 7.0%，与其他铝合金相比，铝镁合金具有中等强度，其延性、焊接性、耐蚀性良好。铝容器的设计温度可达 -269℃。

铝相对于铝合金而言，强度较低，为了达到强化的目的，必须经过热处理。具体的工艺是淬火（固溶处理），然后进行时效处理以达到强化，固溶时效热处理是铝合金的主要强化手段。

铝锰合金和铝镁合金不能进行热处理强化，常用冷加工方法使其强化。铝锰合金塑性好，易于进行压力加工。铝镁合金在退火状态和冷变形后使用，冷变形后一般要进行退火。

其主要标准有：GB/T 3880.1 ~ 3880.3—2006《一般工业用铝及铝合金板、带材》，GB/T 6892—2006《一般工业用铝及铝合金挤压型材》，GB/T 6893—2010《铝及铝合金拉（轧）制无缝管》。

（四）《特种设备焊接操作人员考核细则》中的材料分类

TSG Z6002—2010《特种设备焊接操作人员考核细则》中焊接人员持证项目所体现的金属材料的分类见表 2-4 金属材料（钢）类别与示例和表 2-5 金属材料（有色金属）类别与示例。

表 2-4 金属材料（钢）类别与示例

种类	类别	代号	型号、牌号、级别			
钢	低碳钢	Fe I	Q195	10	HP245	L175
			Q215	15	HP265	L210
			Q235	20		WCA
			Q245R	25		
			Q275	20G		

(续)

种类	类别	代号	型号、牌号、级别				
钢	低合金钢	Fe II	HP295	L245	Q345R	15MoG	09MnD
			HP325	L290	16Mn	20MoG	09MnNiD
			HP345	L320	Q370R	12CrMo	09MnNiDR
			HP390	L360	15MnV	12CrMoG	16MnD
			Q295	L415	20MnMo	15CrMo	16MnDR
			Q345	L450	10MoWVNb	15CrMoR	16MnDG
			Q390	L485	13MnNiMoR	15CrMoG	15MnNiDR
			Q420	L555	20MnMoNb	14Cr1Mo	15MnNiNbDR
			S240		07MnMoVR	14Cr1MoR	20MnMoD
			S290		12MnNiVR	12Cr1MoV	07MnNiVDR
			S315		20MnG	12Cr1MoVG	08MnNiMoVD
			S360		10MnDG	12Cr2Mo	10Ni3MoVD
			S385			12Cr2Mo1	06Ni3MoDG
			S415			12Cr2Mo1R	ZG230-450
			S450			12Cr2MoG	ZG20CrMo
			S480			12CrMoWVTiB	ZG15Cr1Mo1V
						12Cr3MoVSiTiB	ZG12Cr2Mo1G
	Cr ≥ 5% 铬钼钢、 铁素体、马氏体钢	Fe III	1Cr5Mo	06Cr13	12Cr13	10Cr17	1Cr9Mo1
			10CrMoVNR	00Cr27Mo	06Cr13Al	ZG16Cr5MoG	
	奥氏体钢、奥氏体 与铁素体双相钢	Fe IV	06Cr19Ni10		06Cr17Ni12Mo2	06Cr23Ni13	
			06Cr19Ni11Ti		06Cr17Ni12Mo2Ti	06Cr25Ni20	
			022Cr19Ni10		06Cr19Ni13Mo3	12Cr18Ni9	
			CF3		022Cr12Ni12Mo2		
			CF8		022Cr19Ni13Mo3		
					022Cr23Ni15Mo3N		

- 注：1. “HP”字母开头的为 GB 6653—2008《焊接气瓶用钢板和钢带》中所列气瓶用钢。
 2. “S”字母开头的为 SY5297—1991《石油天然气输送管道用直缝电阻焊钢管》中所列的钢种（该标准现已被 GB/T 9711.1—1997《石油天然气工业输送钢管交货技术条件第1部分：A级钢管》所替代，新标准中没有“S”开头的牌号）。
 3. “L”字母开头的为 GB/T 9711.1—1997、GB/T 9711.2—1999 和 GB/T 9711.3—1999《石油天然气工业输送钢管交货技术条件》中所列的钢种。

表 2-5 金属材料（有色金属）类别与示例

种类	类别	代号	型号、牌号、级别			
铜与 铜合金	纯铜	Cu I	T2	TU1	TU2	TP1
	铜锌合金、铜锌 锡合金	Cu II	H62	HA177-2	HSn70-1	HSn62-1
	铜硅合金	Cu III	QSi3-1			
	铜镍合金	Cu IV	B19	BFe10-1-1	BFe30-1-1	
	铜铝合金	Cu V	QA15	QA19-4	ZCuAl10Fe3	
镍与 镍合金	纯镍	Ni I	N5	N6	N7	
	镍铜合金	Ni II	NCu30			

(续)

种类	类别	代号	型号、牌号、级别			
镍与 镍合金	镍铬铁合金、 镍铬钼合金	NiⅢ	NS312	NS315	NS334	NS335 NS336
	镍钼铁合金	NiⅣ	NS321	NS322		
	镍铬铁合金	NiⅤ	NS111	NS112	NS142	NS143
铝与 铝合金	纯铝、铝锰合金	AlⅠ	IA85	1060	1050A	1200 3003
	铝镁合金 (Mg≤4%)	AlⅡ	3004	5052	5A03	5454
	铝镁硅合金	AlⅢ	6061	6063	6A02	
	铝镁合金 (Mg>4%)	AlⅣ	5A05	5083	5086	
钛与 钛合金	低强纯铁、钛钯合金	TiⅠ	TA0	TA1	TA9	TA1-A ZTi1
	高强合金、钛钼镍合金	TiⅡ	TA2	TA3	TA10	ZTi2

(五) 《承压设备焊接工艺评定》中的材料分类

NB/T47014 《承压设备焊接工艺评定》中材料的分类见表 2-6。

表 2-6 NB/T47014 《承压设备焊接工艺评定》中材料的分类

母材	牌号、级别、型号		标 准
类别	组别		
Fe-1	Fe-1-1	10	GB/T 699, GB/T 711, GB 3087, GB 6479, GB/T 8163, GB 9948, GB/T 12459
		15	GB/T 710, GB/T 711, GB/T 13237
		20	GB/T 699, GB/T 710, GB/T 711, GB3087, GB 6479, GB/T 8163, GB 9948, GB/T 12459, GB/T 13237, NB/T 47008
		20G	GB 5310, GB/T 12459
		Q195	GB/T 700
		Q215A	GB/T 700, GB/T 3091
		Q235A. F	GB/T 3274
		Q235A	GB/T 700, GB/T 912, GB/T 3091, GB/T 3274, GB/T 13401
		W235B	GB/T 700, GB/T 912, GB/T 3091, GB/T 3274, GB/T 13401
		Q235C	GB/T 700, GB/T 912, GB/T 3274
		Q235D	GB/T 700, GB/T 3274
		Q245R	GB713
		Q295	GB/T 1591, GB/T 8163
		L175	GB/T 9711
		L210	GB/T 9711
		L245	GB/T 9711, GB/T 12459
		L290	GB/T 9711
		L245NB	GB/T 9711
		L245MB	GB/T 9711

(续)

母材		牌号、级别、型号	标 准
类别	组别		
Fe-1	Fe-1-1	L290NB	GB/T 9711. 2
		L290MB	GB/T 9711. 2
		10MnDG	GB/T 12459, GB/T 18984
		20MnG	GB 5310, GB/T 12459
		WCA	GB/T 12229
		ZG200-400	GB/T 11352
Fe-1	Fe-1-2	25	GB/T 699
		HP295	GB 6653
		HP325	GB 6653
		HP345	GB 6653
		Q345	GB 1591, GB/T 8163, GB/T 12459
		Q345R	GB 713
		Q390	GB/T 1591
		L320	GB/T 9711
		L360	GB/T 9711
		L390	GB/T 9711
		L415	GB/T 9711
		L360QB	GB/T 9711
		L360MB	GB/T 9711
		L415NB	GB/T 9711
		L415QB	GB/T 9711
		ZG230-450	GB/T 11352
		ZG240-450BD	GB/T 16253
		09MnD	GB 150. 2
		16Mn	GB 6479, GB/T 12459, NB/T 47008
		25MnG	GB 5310, GB/T 12459
		16MnD	NB/T 47009
		16MnDG	GB/T 12459, GB/T 18984
		16MnDR	GB 3531, GB/T 13401
		09MnNiD	GB 150. 2, NB/T 47009
		09MnNiDR	GB 3531, GB/T 13401
		15MnNiDR	GB 3531
		WCB	GB/T 12229
		WCC	GB/T 12229
Fe-1-3		HP365	GB 6653
		Q370R	GB 713

(续)

母材		牌号、级别、型号	标 准
类别	组别		
Fe-1	Fe-1-3	L450	GB/T 9711
		L450QB	GB/T 9711
		L450MB	GB/T 9711
		15MnNiNbDR	GB 150. 2
	Fe-1-4	07MnMoVR	GB 19189
		07MnNiVDR	GB 19189
		07MnNiMoDR	GB 19189
		12MnNiVR	GB 19189
		08MnNiMoVD	NB/T 47009
		L485	GB/T 9711
		L555	GB/T 9711
		L485MB	GB/T 9711
		L555MB	GB/T 9711
		L485QB	GB/T 9711
		L555QB	GB/T 9711
Fe-2	—	—	—
Fe-3	Fe-3-1	15MoG	GB 5310
		20MoG	GB 5310
		12CrMo	GB 6479, GB 9948, JB/T 9626
		12CrMoG	GB 5310
	Fe-3-2	20MnMo	NB/T 47008
		20MnMoD	NB/T 47009
		10MoWVNb	GB 6479, GB/T 12459
		12SiMoVNb	GB 6479
	Fe-3-3	20MnNiMo	NB/T 47008
		20MnMoNb	NB/T 47008
		13MnNiMoR	GB 713
		18MnMoNbR	GB 713
Fe-4	Fe-4-1	09CrCuSb	GB 150. 2
		14Cr1Mo	NB/T 47008
		14Cr1MoR	GB713, GB/T 13401
		15CrMo	GB/T 3077, GB 6479, GB 9948, GB/T 12459, JB/T 9626, NB/T 47008
		15CrMoG	GB 5310
		15CrMoR	GB 713, GB/T 12459, GB/T 13401
		ZG15Cr1MoG	GB/T 16253
		ZG20CrMo	JB/T 9625, JB/T 10087

(续)

母材		牌号、级别、型号	标 准
类别	组别		
Fe-4	Fe-4-2	12CrMoV	GB/T 3077, JB/T 9626, NB/T 47008
		12Cr1MoVG	GB 5310
		12Cr1MoVR	GB 713
		ZG15Cr1MoV	JB/T 9625, JB/T 10087
		ZG20CrMoV	JB/T 9625, JB/T 10087
Fe-5A	—	08Cr2AlMo	GB 150. 2
		12Cr2Mo	GB 6479, GB/T 12459
		12Cr2MoG	GB 5310, GB/T 12459
		12Cr2Mo1	GB 150. 2, NB/T 47008
		ZG12Cr2Mo1G	GB/T 16253
		12Cr2Mo1R	GB 713, GB/T 13401
Fe-5B	Fe-5B-1	1Cr5Mo	GB 6479, GB 9948, GB/T 12459, NB/T 47008
		ZG16Cr5MoG	GB/T 16253
	Fe-5B-2	10Cr9Mo1VNb	GB 5310
Fe-5C	—	12Cr2MoWVTiB	GB 5310
		12Cr2Mo1VR	GB 150. 2
		12Cr2Mo1V	NB/T 47008
		12Cr3Mo1V	NB/T 47008
		12Cr3MoVSiTiB	GB 5310
Fe-6	—	06Cr13(S41008)	GB/T 3280, GB/T 14976, GB/T 20878
		12Cr13	GB/T 3280
		20Cr13	GB/T 3280
Fe-7	Fe-7-1	06Cr13(S11306)	GB 24511, NB/T 47010
		06Cr13Al	GB 24511
	Fe-7-2	1Cr17	GB 13296
		10Cr17	GB/T 3280
		O19Cr19Mo2NbTi	GB 24511
Fe-8	Fe-8-1	12Cr18Ni9	GB/T 3280
		022Cr19Ni10(S30403)	GB/T 12771, GB 24511, GB/T 24593, NB/T 47010
		06Cr19Ni10(S30408)	GB/T 12771, GB 24511, GB/T 24593, NB/T 47010
		07Cr19Ni10(S30409)	GB 24511, NB/T 47010
		06Cr18Ni11Nb	GB/T 3280, GB/T 4237
		06Cr18Ni11Ti(S32168)	GB/T 12771, GB 24511, GB/T 24593, NB/T 47010
		022Cr17Ni12Mo2(S31603)	GB/T 12771, GB 24511, GB/T 24593, NB/T 47010
		06Cr17Ni12Mo2(S31608)	GB/T 12771, GB 24511, GB/T 24593, NB/T 47010

(续)

母材		牌号、级别、型号	标 准
类别	组别		
Fe-8	Fe-8-1	022Cr19Ni13Mo3 (S31703)	GB 24511, NB/T 47010
		06Cr19Ni13Mo3	GB 24511
		06Cr17Ni12Mo2Ti (S31668)	GB 24511, NB/T 47010
		07Cr17Ni12Mo2 (S31609)	NB/T 47010
		0Cr18Ni9	GB/T 12459, GB/T 12771, GB 13296, GB/T 13401, GB/T 14976
		1Cr18Ni9	GB 5310, GB/T 12459
		1Cr19Ni9	GB 13296, GB 9948
		00Cr19Ni10	GB/T 12459, GB/T 12771, GB 13296, GB/T 13401, GB/T 14976
		0Cr18Ni10Ti	GB/T 12459, GB/T 12771, GB 13296, GB/T 13401, GB/T 14976
		1Cr18Ni9Ti	GB 13296
		1Cr18Ni11Ti	GB 13296
		0Cr18Ni11Nb	GB/T 12459, GB/T 12771, GB 13296, GB/T 13401, GB/T 14976
		1Cr19Ni11Nb (S34779)	GB 5310, GB 9948, GB/T 12459, GB 13296, NB/T 47010
		00Cr17Ni14Mo2	GB/T 12459, GB/T 12771, GB 13296, GB/T 13401, GB/T 14976
		0Cr17Ni12Mo2	GB/T 12459, GB/T 12771, GB 13296, GB/T 13401, GB/T 14976
		1Cr17Ni12Mo2	GB 13296
		00Cr19Ni13Mo3	GB 13296, GB/T 14976
		0Cr19Ni13Mo3	GB 13296, GB/T 14976
		0Cr18Ni12Mo2Ti	GB 13296, GB/T 14976
		1Cr18Ni12Mo2Ti	GB 13296
		1Cr18Ni12Mo3Ti	GB 13296
		0Cr18Ni13Si4	GB 13296
		CF3	GB/T 12230
		CF3M	GB/T 12230
		CF8	GB/T 12230
		CF8M	GB/T 12230
		CF8C	GB/T 12230
Fe-8-2	Fe-8-2	06Cr23Ni13	GB/T 4237
		0Cr23Ni13	GB/T 12459, GB/T 12771, GB 13296, GB/T 13401, GB/T 14976
		2Cr23Ni13	GB 13296
		06Cr25Ni20 (S31008)	GB 24511, NB/T 47010
		0Cr25Ni20	GB/T 12459, GB/T 12771, GB 13296, GB/T 13401, GB/T 14976
		2Cr25Ni20	GB 13296

(续)

母材		牌号、级别、型号	标 准
类别	组别		
Fe-9B	—	10Ni3MoVD	NB/T 47009
		06Ni3MoDG	GB/T 12459, GB/T 18984
		ZG14Ni4D	GB/T 16253
		08Ni3DR	GB 150. 2
		08Ni3D	NB/T 47009
Fe-10I	—	00Cr27Mo	GB 13296
Fe-10H	—	022Cr19Ni5Mo3Si2N (S21953)	GB/T 21832, GB/T 21833, GB 24511, NB/T 47010
		022Cr22Ni5Mo3N (S22253)	GB/T 21832, GB/T 21833, GB 24511, NB/T 47010
		022Cr23Ni5Mo3N (S22053)	GB/T 21832, GB/T 21833, GB 24511, NB/T 47010
		022Cr25Ni7Mo4N	GB/T 21833
A1-1	—	1050A	GB/T 3880. 2, GB/T 4437. 1, GB/T 6893
		1060	GB/T 3880. 2, GB/T 4437. 1, GB/T 6893
		1200	GB/T 3880. 2, GB/T 4437. 1, GB/T 6893
		3003	GB/T 3880. 2, GB/T 4437. 1, GB/T 6893, JB/T4734
A1-2	—	3004	GB/T 3880. 2
		5052	GB/T 3880. 2, GB/T 4437. 1, GB/T 6893
		5454	GB/T 4437. 1
		5A03	GB/T 3880. 2, GB/T 6893
A1-3	—	6061	GB/T 4437. 1, GB/T 6893, JB/T4734
		6063	GB/T 4437. 1, GB/T 6893
		6A02	GB/T 3880. 2, GB/T 4437. 1, GB/T 6893
A1-4	—	—	—
A1-5	—	5083	GB/T 3880. 2, GB/T 4437. 1, GB/T 6893, JB/T4734
		5086	GB/T 3880. 2, GB/T 4437. 1
		5A05	GB/T 3880. 2, GB/T 6893
Ti-1	—	TA0	GB/T 3621, GB/T 3624, GB/T 3625, GB/T 16598
		TA1	GB/T 3621, GB/T 3624, GB/T 3625, GB/T 16598
		ZTi1	GB/T 6614
		TA1-A	GB/T 14845
		TA9	GB/T 3621, GB/T 3624, GB/T 3625, GB/T 16598
Ti-2	—	TA2	GB/T 3621, GB/T 3624, GB/T 3625, GB/T 16598
		TA3	GB/T 3621, GB/T 16598
		TA10	GB/T 3621, GB/T 3624, GB/T 3625, GB/T 16598
		ZTi2	GB/T 6614

(续)

母材		牌号、级别、型号	标 准
类别	组别		
Cu-1	—	T2	GB/T 1527, GB/T 2040, GB/T 4423, GB/T 17791
		TP1	GB/T 1527, GB/T 2040, GB/T 17791
		TP2	GB/T 1527, GB/T 2040, GB/T 17791
		TU2	GB/T 2040, GB/T 17791
Cu-2	—	H62	GB/T 1527, GB/T 2040
		HSn62-1	GB/T 1527, GB/T 2040
		HSn70-1	GB/T 1527, GB/T 8890
		HA177-2	GB/T 8890
Cu-3	—	QSi3-1	GB/T 4423
Cu-4	—	B19	GB/T 2040
		BFe10-1-1	GB/T 2040, GB/T 8890
		BFe30-1-1	GB/T 2040, GB/T 4423, GB/T 8890
Cu-5	—	QA15	GB 2040
		ZCuAl10Fe3	GB/T 1176
Ni-1	—	N5	GB/T 2054
		N6	GB/T 2054, GB/T 2882, GB/T 4435, GB/T 12459, YB/T 5264
		N7	GB/T 2054
Ni-2	—	NCu30	GB/T 2054, GB/T 12459, JB 4741, JB 4742, JB 4743
Ni-3	—	NS312	GB/T 2882, GB/T 12459, GB/T 15008, YB/T 5353, YB/T 5264
		NS315	GB/T 15008
		NS334	GB/T 2882, GB/T 12459, GB/T 15008, YB/T 5353, YB/T 5354
		NS335	GB/T 15008, YB/T 5264, YB/T 5353, YB/T 5353, YB/T 5354
		NS336	GB/T 15008, YB/T 5353, YB/T 5354
Ni-4	—	NS321	GB/T 15008, YB/T 5353, YB/T 5354
		NS322	GB/T 15008, YB/T 5353, YB/T 5354
Ni-5	—	NS111	GB/T 2882, G/T 12459, GB/T 15008, YB/T 5264, YB/T 5353, YB/T 5354
		NS112	GB/T 2882, GB/T 12459, GB/T 15008, YB/T 5264, YB/T 5353, YB/T 5354
		NS142	GB/T 15008, YB/T 5353, YB/T 5354
		NS143	GB/T 15008
		015Cr21Ni26Mo5Cu2	GB/T 24511, NB/T 47010

注：标准名称说明：

GB 150—2011（所有部分）

《压力容器》

GB/T 699—1999

《优质碳素结构钢》

GB/T 700—2006

《碳素结构钢》

GB/T 710—2008

《优质碳素结构钢热轧薄钢板和钢带》

GB/T 711—2008	《优质碳素结构钢热轧厚钢板和钢带》
GB 713—2008	《锅炉和压力容器用钢》
GB 912—2008	《碳素结构钢和低合金结构钢热轧薄钢板和钢带》
GB/T 1176—1987	《铸造铜合金技术条件》
GB/T 1527—2006	《铜及铜合金拉制管》
GB/T 1591—2008	《低合金高强度结构钢》
GB/T 2040—2008	《铜及铜合金板材》
GB/T 2054—2005	《镍及镍合金板》
GB/T 2882—2005	《镍及镍合金管》
GB/T 3077—1999	《合金结构钢》
GB/T 3087—2008	《低中压锅炉用无缝钢管》
GB/T 3091—2008	《低压流体输送用焊接钢管》
GB/T 3274—2007	《碳素结构钢和低合金结构钢热轧厚钢板和钢带》
GB/T 3280—2007	《不锈钢冷轧钢板和钢带》
GB 3531—2008	《低温压力容器用低合金钢钢板》
GB/T 3621—2007	《钛及钛合金板材》
GB/T 3624—2010	《钛及钛合金无缝管》
GB/T 3625—2007	《换热器及冷凝器用钛及钛合金管》
GB/T 3880—2006 (所有部分)	《一般工业用铝及铝合金板、带材》
GB/T 4237—2007	《不锈钢热轧钢板和钢带》
GB/T 4423—2007	《铜及铜合金拉制管》
GB/T 4435—2010	《镍及镍合金棒》
GB/T 4437.1—2000	《铝及铝合金热挤压管 第一部分：无缝圆管》
GB 5310—2008	《高压锅炉用无缝钢管》
GB 6479—2000	《高压化肥设备用无缝钢管》
GB/T 6614—1994	《钛及钛合金铸件》
GB 6653—2008	《焊接气瓶用钢板和钢带》
GB/T 6893—2010	《铝及铝合金拉(轧)制无缝管》
GB/T 8163—2008	《输送流体用无缝钢管》
GB/T 8890—2009	《热交换器用铜合金无缝管》
GB/T 9711—2011	《石油天然气工业 管线输送系统用钢管》
GB 9948—2006	《石油裂化用无缝钢管》
GB/T 11352—2009	《一般工程用铸造碳钢件》
GB/T 12229—2005	《通用阀门 碳素钢铸件技术条件》
GB/T 12230—2005	《通用阀门 不锈钢铸件技术条件》
GB/T 12459—2005	《钢制对焊无缝管件》
GB/T 12771—2008	《流体输送用不锈钢焊接钢管》
GB/T 13237—1991	《优质碳素结构钢冷轧薄钢板和钢带》
GB 13296—2009	《锅炉、热交换器用不锈钢无缝钢管》
GB/T 13401—2005	《钢板制对焊管件》
GB/T 14845—2007	《板式换热器用钛板》
GB/T 14976—2002	《流体输送用不锈钢无缝钢管》
GB/T 15008—2008	《耐蚀合金棒》
GB/T 16253—1996	《承压钢铸件》
GB/T 16598—1996	《钛及钛合金饼和环》
GB/T 17791—2007	《空调与制冷设备用无缝铜管》
GB/T 18984—2003	《低温管道用无缝钢管》
GB 19189—2011	《压力容器用调质高强度钢板》

GB/T 20878—2007	《不锈钢和耐热钢 牌号及化学成分》
GB/T 21832—2008	《奥氏体-铁素体型双相不锈钢焊接钢管》
GB/T 21833—2008	《奥氏体-铁素体型双相不锈钢无缝钢管》
GB 24511—2009	《承压设备用不锈钢钢板及钢带》
GB/T 24593—2009	《锅炉和热交换器用奥氏体不锈钢焊接钢管》
NB/T 47008—2010	《承压设备用碳素钢和合金钢锻件》
NB/T 47009—2010	《低温承压设备用低合金钢锻件》
NB/T 47010—2010	《承压设备用不锈钢和耐热钢锻件》
JB/T 4734—2002	《铝制焊接容器》
JB 4741—2000	《压力容器用镍铜合金热轧板材》
JB 4742—2000	《压力容器用镍铜合金无缝管》
JB 4743—2000	《压力容器用镍铜合金锻件》
JB/T 9625—1999	《锅炉管道附件承压铸钢件 技术条件》
JB/T 9626—1999	《锅炉锻件 技术条件》
JB/T 10087—2001	《汽轮机承压铸钢件 技术条件》
YB/T 5264—1993	《耐蚀合金锻件》
YB/T 5353—2006	《耐蚀合金热轧板》
YB/T 5354—2006	《耐蚀合金冷轧薄板》

第二节 焊接材料

焊接材料是指焊接时所消耗的材料的通称，如焊条、焊丝、焊带、金属粉末、焊剂和气体等。广义的焊接材料也包括非熔化电极和衬垫。本节主要介绍常用的焊接材料，即焊条、焊丝、焊剂、气体和非熔化电极（钨极）。

一、焊条

（一）焊条的组成及作用

焊条就是涂有药皮的供焊条电弧焊使用的熔化电极，它是由药皮和焊芯两部分组成的。药皮均匀、向心地压涂在焊芯上。在焊条前端药皮有45°左右的倒角，这是为了便于引弧。在尾部有一段裸焊芯，约占焊条总长1/16，便于焊钳夹持并有利于导电。

1. 焊芯

焊条中被药皮包覆的金属芯称为焊芯。焊接时焊芯传导焊接电流，产生电弧，并与熔化的基体金属熔合形成焊缝。焊条种类不同，焊芯也不同，为保证焊缝的质量与性能，焊芯中各元素的含量均有严格的规定，特别是对有害杂质（如硫、磷等）的含量比母材有更为严格的限制。焊芯有低碳钢焊芯、低合金钢焊芯、不锈钢焊芯及有色金属焊芯等。焊芯的长度和直径即是焊条的长度和直径。

2. 药皮

压涂在焊芯表面的涂层称为药皮，药皮在焊接过程中起着极为重要的作用。若采用无药皮的光焊条焊接，则在焊接过程中，空气中的氧和氮会大量侵入熔化金属，将铁和有益元素如碳、硅、锰等氧化和氮化，形成各种氧化物和氮化物，并残留在焊缝中，造成焊缝夹渣或裂纹，而溶入熔池中的气体使焊缝产生大量气孔，这些因素都能使焊缝的力学性能大大降低，同时使焊缝变脆。此外焊接过程中，电弧很不稳定，飞溅严重，焊缝成形很差。

因此，焊接特性和焊缝金属的力学性能受药皮的影响很大。药皮在焊接过程中分解熔化后形成气体和熔渣，起到机械保护、冶金处理、改善工艺性能的作用。药皮中的组成物可以概括为六

类：造渣剂、脱氧剂、造气剂、稳弧剂、粘接剂及合金化元素（如需要时）。此外，加入铁粉可以提高焊条熔敷效率，但对焊接位置有影响。按照焊条药皮的主要化学成分划分药皮类型，有钛型、纤维素、金红石、碱性、钛铁矿、氧化铁及各自的混合物或与铁粉的混合物。

（二）焊条型号的分类及编制方法

焊条型号是以国家标准为依据，可分为非合金钢及细晶粒钢焊条、热强钢焊条、不锈钢焊条、堆焊焊条、铸铁焊条、铜及铜合金焊条、铝及铝合金焊条、镍及镍合金焊条。

1. 非合金钢及细晶粒钢焊条型号编制方法

（1）GB/T 5117—2012《非合金钢及细晶粒钢焊条》适用于抗拉强度低于 510MPa 的非合金钢及细晶粒钢，其型号是按熔敷金属力学性能、药皮类型、焊接位置、电流类型、熔敷金属化学成分和焊后状态等进行划分。

（2）型号编制方法 焊条型号由五部分组成：

①第一部分用字母“E”表示焊条。

②第二部分为字母“E”后面的紧邻两位数字表示熔敷金属的最小抗拉强度代号，见表 2-7。

③第三部分为“E”后面的第三和第四两位数字，表示药皮类型、焊接位置和电流类型，见表 2-8。

④第四部分为熔敷金属的化学成分分类代号，可为“无标记”或短划“-”后的字母、数字或字母和数字的组合，见表 2-9。

⑤第五部分为熔敷金属的化学成分代号之后的焊后状态代号，其中“无标记”表示焊态，“P”表示热处理状态，“AP”表示焊态和焊后热处理状态均可。

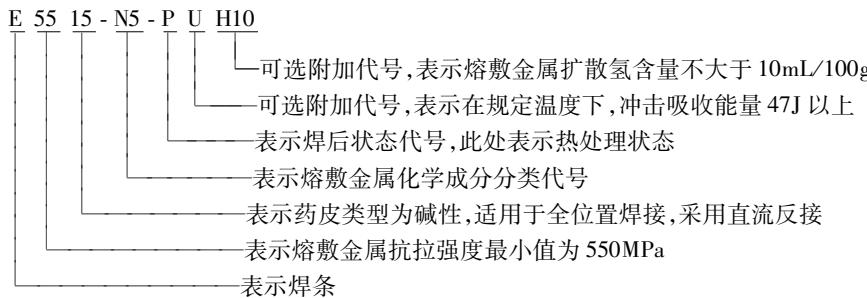
除以上强制分类代号外，根据供需双方协商，可在型号后依次附加可选代号：

①字母“U”，表示在规定试验温度下，冲击吸收能量可以达到 47J 以上。

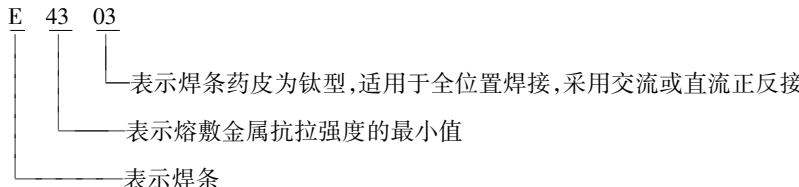
②扩散氢代号“HX”，其中 X 代表 15、10 或 5，分别表示每 100g 熔敷金属中扩散氢含量的最大值（单位为 mL）。

（3）型号示例

示例 1：



示例 2：



常见焊条型号示例见表 2-10。

表 2-7 非合金钢及细晶粒钢焊条熔敷金属抗拉强度代号

抗拉强度代号	最小抗拉强度值/MPa	抗拉强度代号	最小抗拉强度值/MPa
43	430	55	550
50	490	57	570

表 2-8 非合金钢及细晶粒钢药皮类型代号

代号	药皮类型	焊接位置 ^①	电流类型	备注
03	钛型	全位置 ^②	交流和直流正、反接	包含 TiO_2 和 $CaCO_3$ 的混合物, 同时具有金红石焊条和碱性焊条的某些性能
10	纤维素	全位置	直流反接	含有大量可燃有机物, 尤其是纤维素, 强电弧特性适用于向下立焊。含钠 ^③
11	纤维素	全位置	交流和直流反接	含有大量可燃有机物, 尤其是纤维素, 强电弧特性适用于向下立焊。含钾 ^③
12	金红石	全位置 ^②	交流和直流正接	含有大量的 TiO_2 (金红石), 电弧柔软, 适合简单装配下大根部间隙焊接
13	金红石	全位置 ^②	交流和直流正、反接	含有大量的 TiO_2 (金红石) 和钾, 比药皮类型 12 电弧稳定, 适合于薄板焊
14	金红石 + 铁粉	全位置 ^②	交流和直流正、反接	与药皮类型 12、13 类似, 但加了少量铁粉, 提高了电流承载能力和熔敷效率
15	碱性	全位置 ^②	直流反接	含有大量 CaO 和 CaF_2 (萤石)。含钠, 可以得到低氢含量、高冶金性能的焊缝
16	碱性	全位置 ^②	交流和直流反接	含有大量 CaO 和 CaF_2 (萤石)。含钾, 可以得到低氢含量、高冶金性能的焊缝
18	碱性 + 铁粉	全位置 ^②	交流和直流反接	与药皮类型 16 相似, 药皮略厚并含有大量铁粉, 提高了电流承载能力和熔敷效率
19	钛铁矿	全位置 ^②	交流和直流正、反接	含有钛和铁的氧化物, 不属于碱性药皮, 但是可以制造出高韧性的焊缝金属
20	氧化铁	PA、PB	交流和直流正接	含有大氧的铁氧化物。熔渣流动性好, 适合平焊和横焊, 通常用于角焊缝和搭接焊缝
24	金红石 + 铁粉	PA、PB	交流和直流正、反接	与药皮类型 14 相似, 药皮略厚并含有大量铁粉, 通常用于角焊缝和搭接焊缝
27	氧化铁 + 铁粉	PA、PB	交流和直流正、反接	与药皮类型 20 相似, 药皮略厚并含有大量铁粉, 加了铁氧化物, 用于高速焊
28	碱性 + 铁粉	PA、PB、PC	交流和直流反接	与药皮类型 18 相似, 药皮略厚并含有大量铁粉, 能得到低氢含量、高冶金性能的焊缝
40	不做规定	由制造商确定		特定使用要求, 不作规定
45	碱性	全位置	直流反接	与药皮类型 15 相似, 主要用于向下立焊
48	碱性	全位置	交流和直流反接	与药皮类型 18 相似, 主要用于向下立焊

① PA = 平焊、PB = 平角焊、PC = 横焊、PG = 向下立焊。

② 此处“全位置”并不一定包含向下立焊, 由制造商确定。

③ 由于钠影响电弧稳定性, 通常采用直流反接, 钾增强电弧的稳定性, 适用于交直流两用焊接, 直流焊接时使用直流反接。

表 2-9 非合金钢及细晶粒钢熔敷金属化学成分分类代号

分类代号	主要化学成分的名义含量(质量分数,%)					备注
	Mn	Ni	Cr	Mo	Cu	
无标记、-1、-P1、-P2	1.0	—	—	—	—	碳钢
-1M3	—	—	—	0.5	—	碳钼钢
-3M2	1.5	—	—	0.4	—	锰钼钢
-3M3	1.5	—	—	0.5	—	
-N1	—	0.5	—	—	—	镍钢
-N2	—	1.0	—	—	—	
-N3	—	1.5	—	—	—	
-3N3	1.5	1.5	—	—	—	
-N5	—	2.5	—	—	—	
-N7	—	3.5	—	—	—	
-N13	—	6.5	—	—	—	
-N2M3	—	1.0	—	0.5	—	镍钼钢
-NC	—	0.5	—	—	0.4	耐候钢(镍铜)
-CC	—	—	0.5	—	0.4	耐候钢(铬铜)
-NCC	—	0.2	0.6	—	0.5	耐候钢(镍铬铜)
-NCC1	—	0.6	0.6	—	0.5	
-NCC2	—	0.3	0.2	—	0.5	
-G	其他成分					其他

表 2-10 常见非合金钢及细晶粒钢焊条型号

GB/T 5117—2012	主要用途	GB/T 5117—1995	GB/T 5118—1995	牌号示例
碳钢				
E4303	用于碳钢结构件的焊接	E4303	—	J422
E4315	用于碳钢与相应强度等级低合金钢的焊接	E4315	—	J427
E4327	用于碳钢结构高效率焊接	E4327	—	J424Fe14
E5003	用于Q345等低合金钢结构的焊接	E5003	—	J503
E5015	用于中碳钢及16Mn等低合金钢的焊接	E5015	—	J507
E5018	用于碳钢与相应强度等级低合金钢的高效率焊接	E5018	—	J506Fe
E5028	用于碳钢与相应强度等级低合金钢的高效率焊接	E5028	—	J506Fe16
E5048	用于碳钢与相应强度等级低合金钢的高效率焊接,向下立焊性能好	E5048	—	J506FeX
管线钢				
E5010-P1	用于相应强度等级的管道焊接	E5010	—	J507GX
E5518-P2	用于相应强度等级、硫磷和低温韧性有较高要求的管道焊接	—	E5518-G	J558GX

(续)

GB/T 5117—2012	主要用途	GB/T 5117—1995	GB/T 5118—1995	牌号示例
碳钼钢				
E5015-1M3	用于工作温度在 510℃ 以下的珠光体耐热钢的焊接	—	E5015-A1	R107
E5018-1M3	用于工作温度在 510℃ 以下的珠光体耐热钢的焊接	—	E5018-A1	R108
锰钼钢				
E5515-3M3	用于相应强度等级的低合金钢焊接	—	E5515-D3	—
E5516-3M3	用于相应强度等级的低合金钢焊接	—	E5516-D3	—
E5518-3M3	用于相应强度等级的低合金钢焊接	—	E5518-D3	—
镍钢				
E5515-N2	用于相应强度等级的低合金钢焊接	—	E5515-C3	J557Ni
E5516-N2	用于相应强度等级的低合金钢焊接	—	E5516-C3	J556Ni
E5518-N2	用于相应强度等级的低合金钢焊接	—	E5518-C3	J558Ni
E5015-N5	用于低温用钢的焊接	—	E5015-C1L	—
E5015-N7	用于 -100℃ 低温用钢的焊接	—	E5015-C2L	W107
镍钼钢				
E5518-N2M3	用于相应强度等级的低合金钢焊接	—	E5518-NM	J558NiMo
耐候钢				
E5016-NC	用于焊接相同级别的低合金钢重要结构,如海上平台	—	E5016-G	J506NiLH
E5016-CC	用于相应强度等级的低合金耐候钢的焊接	—	E5016-G	J506CrCu
E5016-NCC	用于相应强度等级的低合金耐候钢的焊接	—	E5016-G	J506NiCrCu
E5518-NCC1	用于相应强度等级的低合金耐候钢的焊接	—	E5518-W	J556FeNiCrCu
其他				
EXXX-G	含其他成分,由供需双方协商	—	EXXX-G	—

2. 热强钢焊条型号编制方法

(1) GB/T 5118—2012《热强钢焊条》 标准规定型号是按熔敷金属力学性能、药皮类型、焊接位置、电流类型、熔敷金属化学成分等进行划分。

(2) 型号编制方法 焊条型号由四部分组成:

①第一部分用字母“E”表示焊条。

②第二部分为字母“E”后面的紧邻两位数字表示熔敷金属的最小抗拉强度代号,见表 2-11。

③第三部分为“E”后面的第三和第四两位数字,表示药皮类型、焊接位置和电流类型,见表 2-12。

④第四部分为短划“-”后的字母、数字或字母和数字的组合,表示熔敷金属的化学成分分类代号,见表 2-13。

除以上强制分类代号外,根据供需双方协商,可在型号后附加扩散氢代号“HX”,其中 X 代表 15、10 或 5,分别表示每 100g 熔敷金属中扩散氢含量的最大值 (mL)。

表 2-11 热强钢熔敷金属抗拉强度代号

抗拉强度代号	最小抗拉强度值/MPa	抗拉强度代号	最小抗拉强度值/MPa
50	490	55	550
52	520	62	620

表 2-12 热强钢药皮类型代号

代号	药皮类型	焊接位置 ^①	电流类型	备注
03	钛型	全位置 ^③	交流和直流正、反接	
10 ^②	纤维素	全位置	直流反接	
11 ^②	纤维素	全位置	交流和直流反接	
13	金红石	全位置 ^③	交流和直流正、反接	
15	碱性	全位置 ^③	直流反接	
16	碱性	全位置 ^③	交流和直流反接	
18	碱性 + 铁粉	全位置(PG 除外)	交流和直流反接	
19 ^②	钛铁矿	全位置 ^③	交流和直流正、反接	
20 ^②	氧化铁	PA、PB	交流和直流正接	
27 ^②	氧化铁 + 铁粉	PA、PB	交流和直流正接	
40	不做规定	由制造商确定		

① PA = 平焊、PB = 平角焊、PG = 向下立焊。

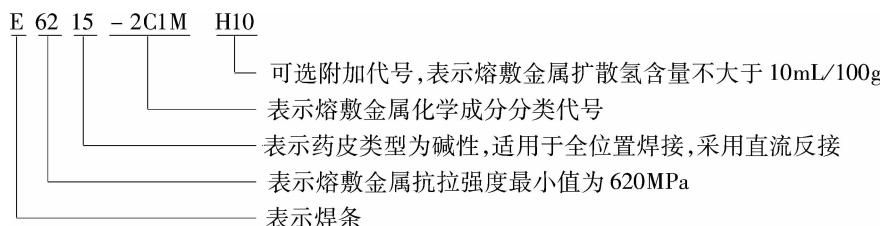
② 仅限于熔敷金属化学成分代号 1M3。

③ 此处“全位置”并不一定包含向下立焊，由制造商确定。

表 2-13 热强钢熔敷金属化学成分分类代号

分类代号	主要化学成分的名义含量
- 1M3	此类焊条中含有 Mo, Mo 是在非合金钢焊条基础上的唯一添加合金元素。数字 1 约等于名义上 Mn 含量两倍的整数, 字母“M”表示 Mo, 数字 3 表示 Mo 的名义含量, 大约 0.5%
- × C × M ×	对于含铬-钼的热强钢, 标志“C”前的整数表示 Cr 的名义含量, “M”前的整数表示 Mo 的名义含量。对于 Cr 或者 Mo, 如果名义含量少于 1%, 则字母前不标记数字。如果在 Cr 和 Mo 之外还加入了 W、V、B、Nb 等合金成分, 则按照此顺序, 加于铬和钼标记之后。标志末尾的“L”表示含碳量较低。最后一个字母后的数字表示成分有所改变
- G	其他成分

(3) 型号示例



GB/T 5118—2012 规定常见焊条型号示例见表 2-14。

表 2-14 常见热强钢焊条型号

GB/T 5118—2012	主要用途	GB/T 5118—1995	牌号示例
E50XX-1M3	用于工作温度在 510℃ 以下的 15Mo 等珠光体耐热钢等的焊接	E50XX-A1	R106Fe、R107
E5515-CM	用于工作温度在 510℃ 以下的 12CrMo 等珠光体耐热钢的焊接	E5515-B1	R207
E5515-1CM	用于工作温度在 520℃ 以下的 15CrMo 等珠光体耐热钢的焊接	E5515-B2	R307、R307H
E5515-1CMV	用于工作温度在 540℃ 以下的 12CrMo 等珠光体耐热钢的焊接	E5515-B2-V	R317
E5515-1CMVNb	用于工作温度在 570℃ 以下的 15CrMo 等珠光体耐热钢的焊接	E5515-B2-VNb	R337
E5515-2CMWVB	用于工作温度在 620℃ 以下的珠光体耐热钢的焊接	E5515-B3-VWB	R347
E6015-2C1M	用于工作温度在 550℃ 以下的 Cr2.5Mo 类珠光体耐热钢的焊接	E6015-B3	R407
E5515-2CMVNb	用于工作温度在 620℃ 以下的 12Cr3MoVSiTiB 类钢的焊接	E5515-B3-VNb	R417

3. 不锈钢焊条型号的编制方法

(1) GB/T 983—2012《不锈钢焊条》标准规定型号是按熔敷金属化学成分、焊接位置和药皮类型等进行划分。

(2) 型号编制方法 焊条型号由四部分组成：

①第一部分用字母“E”表示焊条。

②第二部分为字母“E”后面的数字表示熔敷金属的化学成分分类，数字后面的“L”表示碳含量较低，“H”表示碳含量较高，如有其他特殊要求的化学成分，该化学成分用元素符号表示放在后面，见表 2-15。

③第三部分为短线“-”后的第一位数字，表示焊接位置，见表 2-16。

④第四部分为最后一位数字，表示药皮类型和电流类型，见表 2-17。

(3) 型号示例

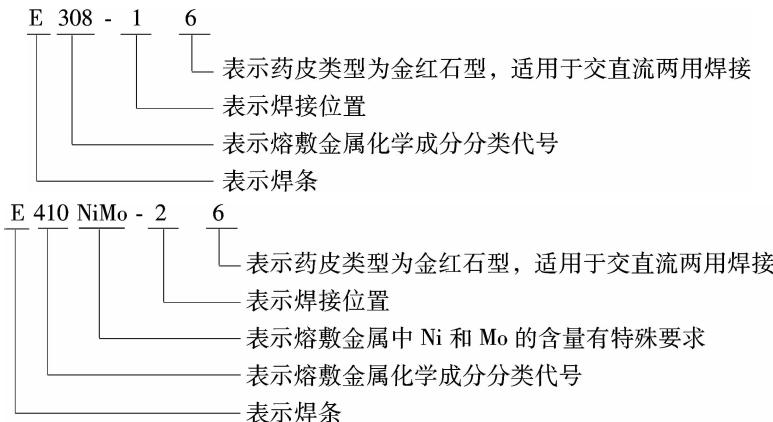


表 2-15 常用不锈钢焊条熔敷金属主要化学成分 (摘自 GB/T 983—2012)

化学成分 焊条型号	熔敷金属主要化学成分(质量分数, %)				用途	牌号示例
	C	Cr	Ni	Mo		
E308-XX	0.08	18.0 ~ 21.0	9.0 ~ 11.0	0.75	焊接相同类型的不锈钢	A102、A107
E308H-XX	0.04 ~ 0.08				除含 C 量限制在上限外, 其他与 E308 相同, 高温强度好	A102H
E308L-XX	0.04				除含 C 量低外, 其他与 E308 相同, 抗晶间腐蚀好	A002
E308Mo-XX	0.08				除 Mo 含量较高外, 其他同 E308, 用于焊接同类型不锈钢	A102Mo
E308LMo-XX	0.04				用于焊接相同类型的不锈钢	A002Mo

(续)

化学成分 焊条型号	熔敷金属主要化学成分(质量分数, %)				用途	牌号示例
	C	Cr	Ni	Mo		
E309-XX	0.15	22.0 ~ 25.0	12.0 ~ 14.0	0.75	焊接相同类型的不锈钢, 异种钢	A302
E309L-XX	0.04				除含 C 量低外, 其他与 E309 相同, 抗晶间腐蚀好	A062
E309Nb-XX	0.12			2.0 ~ 3.0	除含 C 量较低并加入铌外, 其他与 E309 相同, 用于 06Cr18Ni11Nb 复合钢板的焊接或碳钢表面堆焊	A302Nb
E309Mo-XX					除含 C 量较低并加入钼外, 其他与 E309 相同, 用于 06Cr17Ni12Mo2 复合钢板的焊接或碳钢表面堆焊	A312
E309LMo-XX	0.04				除含 C 量较低外, 其他与 E309Mo 相同, 抗晶间腐蚀好	A042
E310-XX	0.08 ~ 0.20	25.0 ~ 28.0	20.0 ~ 22.5	0.75	通常用于焊接相同类型的不锈钢, 如 06Cr25Ni20	A402、A407
E316-XX	0.08	17.0 ~ 20.0	11.0 ~ 14.0	2.0 ~ 3.0	通常用于焊接相同类型的不锈钢	A202、A207
E316H-XX	0.04 ~ 0.08				除含 C 量限制在上限外, 其他与 E316 相同, 高温强度好	A202H
E316L-XX	0.04				除含 C 量低外, 其他与 E316 相同, 抗晶间腐蚀好	A022L
E317-XX	0.08	18.0 ~ 21.0	12.0 ~ 14.0	3.0 ~ 4.0	焊接同类型的不锈钢	A242
E317L-XX	0.04				除含 C 量低外, 其他与 E317 相同, 抗晶间腐蚀好	A032
E347-XX	0.08	18.0 ~ 21.0	9.0 ~ 11.0	0.75	用铌或铌加钼作稳定剂, 提高抗晶间腐蚀能力, 用于焊接以铌或钛作稳定剂的成分相近的铬镍合金	A132、A137
E318-XX	0.08	17.0 ~ 20.0	11.0 ~ 14.0	2.0 ~ 3.0	除加 Nb 外, 合金元素含量与 E316 相近, 通常用于焊接相同类型的不锈钢	A212
E410-XX	0.12	11.0 ~ 14.0	0.7	0.75	通常用于焊接相同类型的不锈钢, 焊接接头属空气淬硬型, 焊接时需要预热和后热	G202、G207
E410NiMo-26	0.06	11.0 ~ 12.5	4.0 ~ 5.0	0.4 ~ 0.7	通常用于 06Cr13 不锈钢的焊接	G232
E2209-XX	0.04	21.5 ~ 23.5	7.5 ~ 10.5	2.5 ~ 3.5	通常用于焊接含 Cr 量约为 22% 的双相不锈钢, 熔敷金属组织为奥氏体和铁素体双相结构	—
E2253-XX	0.06	24.0 ~ 27.0	6.5 ~ 8.5	2.9 ~ 3.9	通常用于焊接含 Cr 量约为 25% 的双相不锈钢, 熔敷金属组织为奥氏体和铁素体双相结构	—

注: 表中单值均为最大值。

表 2-16 焊接位置代号

代号	焊接位置
-1	PA、PB、PD、PF
-2	PA、PB
-4	PA、PB、PD、PF、PG

PA = 平焊、PB = 平角焊、PD = 仰角焊、PF = 向上立焊、PG = 向下立焊

表 2-17 药皮类型代号

代号	药皮类型	电流以类型	备 注
5	碱性	直流	此类型药皮含有大量碱性物质和化学物质,通常只使用直流反接
6	金红石	交流和直流 ^①	此类型药皮含有大量金红石矿物质,可交直流两用
7	钛酸型	交流和直流 ^②	此类型药皮是改进的金红石类,熔渣流动性好,引弧性能好,电弧易喷射过渡。但不适用于薄板的立向上位置的焊接

① 46 型采用直流焊接。

② 47 型采用直流焊接。

4. 堆焊焊条型号的编制方法

(1) GB/T 984—2001《堆焊焊条》 标准规定焊条型号是根据熔敷金属的化学成分、药皮类型及焊接电流种类划分,仅有碳化钨管状焊条的型号根据芯部碳化钨粉的化学成分和粒度划分。

(2) 焊条型号的编制方法 型号中的第一字母“E”表示焊条;第二字母“D”表示用于表面耐磨堆焊;后面用一或两位字母、元素符号表示焊条熔敷金属化学成分分类代号(见表 2-18),还可附加一些主要成分的元素符号;在基本型号内可用数字、字母进行细分类,细分类代号也可用短线“-”与前面符号分开;型号中最后两位数字表示药皮类型和焊接电流种类,用短线“-”与前面符号分开,见表 2-19。

药皮类型和焊接电流种类不要求限定时,型号可以简化,如 EDPCrMo-Al-03 可简化成 ED-PCrMo-Al。

表 2-18 熔敷金属化学成分分类

型号分类	熔敷金属化学成分分类	型号分类	熔敷金属化学成分分类
EDP × × - × ×	普通低中合金钢	EDZ × × - × ×	合金铸铁
EDR × × - × ×	热强合金钢	EDZCr × × - × ×	高铬铸铁
EDCr × × - × ×	高铬钢	EDCoCr × × - × ×	钴基合金
EDMn × × - × ×	高锰钢	EDW × × - × ×	碳化钨
EDCrMn × × - × ×	高铬锰钢	EDT × × - × ×	特殊型
EDCrNi × × - × ×	高铬镍钢	EDNi × × - × ×	镍基合金
EDD × × - × ×	高速钢		

表 2-19 药皮类型和焊接电流种类

型号	药皮类型	焊接电流种类
ED × × -00	特殊型	交流或直流
ED × × -03	钛钙型	
ED × × -15	低氢钠型	直流
ED × × -16	低氢钾型	交流或直流
ED × × -08	石墨型	

(3) 对于碳化钨管状焊条 其型号中第一字母“E”表示焊条；第二字母“D”表示用于表面耐磨堆焊；后面用字母“G”和元素符号“WC”表示碳化钨管状焊条，其后用数字1、2、3表示芯部碳化钨化学成分分类代号，见表2-20；短线“-”后面为碳化钨粉粒度代号，用通过筛网的两个目数表示，以斜线“/”相隔，或是只用通过筛网的一个目数表示，见表2-21。

表 2-20 碳化钨粉的化学成分

化学成分(质量分数, %)								
型号	C	Si	Ni	Mo	Co	W	Fe	Th
EDGWC1- × ×	3.6 ~ 4.2	≤0.3	≤0.3	≤0.6	≤0.3	≥94.0	≤1.0	≤0.01
EDGWC2- × ×	6.0 ~ 6.2					≥91.5	≤0.5	
EDGWC3- × ×	由供需双方商定							

表 2-21 碳化钨粉的粒度

型号	粒度分布	型号	粒度分布
EDGWC × -12/30	1.70mm ~ 600μm (-12 目 +30 目)	EDGWC × -40	<425μm (-40 目)
EDGWC × -20/30	850 ~ 600μm (-20 目 +30 目)	EDGWC × -40/120	425 ~ 125μm (-40 目 +120 目)
EDGWC × -30/40	600 ~ 425μm (-30 目 +40 目)		

注：1. 焊条型号中的“×”代表“1”、“2”或“3”。

2. 允许通过(“-”)筛网的筛上物≤5%，不通过(“+”)筛网的筛下物≤20%。

(4) 完整的焊条 型号举例如下：

E D PCrMo-Al - 03
 └──药皮类型为钛钙型，采用交流或直流焊接
 └──细分类代号
 └──普通低中合金钢类型，含铬钼合金元素
 └──用于表面耐磨堆焊
 └──焊条

E D GWC - 1 -12/30
 └──碳化钨粉粒度分布为 1.7mm ~ 600μm (-12 目 +30 目)
 └──细分类代号
 └──普通低中合金钢类型，含铬钼合金元素
 └──用于表面耐磨堆焊
 └──焊条

(5) 堆焊焊条 其熔敷金属硬度及主要用途见表2-22。

表 2-22 堆焊焊条的熔敷金属硬度及主要用途(摘自 GB/T 984—2001)

序号	焊条型号	熔敷金属硬度 HRC(HBW)	主要用途
1	EDPMn2- × ×	(220)	EDPMn、EDPCrMo、EDPCrMnSi、EDPCrMoV、EDPCrSi 型为普通低中合金钢堆焊焊条。一般用于常温及非腐蚀条件下工作的零部件的堆焊
2	EDPMn6- × ×	50	
3	EDPCrMo-A2- × ×	30	
4	EDPCrMo-A5- × ×	—	
5	EDPCrMnSi-A1- × ×	50	
6	EDPCrMoV-A2- × ×	55	
7	EDPCrSi-A- × ×	45	

(续)

序号	焊条型号	熔敷金属硬度 HRC(HBW)	主要用途
8	EDRCrMnMo- × ×	40、45	
9	EDRCrW- × ×	48	
10	EDRCrMoWV-A1- × ×	55	
11	EDRCrMoWV-A2- × ×	60	
12	EDRCrMoWCo-A- × ×	52 ~ 58	适用于工作条件差的热模具
13	EDCr-A1- × ×	40	
14	EDCr-A2- × ×	37	
15	EDCr-B- × ×	45	
16	EDMn-A- × ×	(170)	EDMn 型为高 Mn 钢堆焊焊条。该类焊条堆焊后硬度不高, 但经加工硬化后可达 450 ~ 500HBW
17	EDMn-F- × ×	—	
18	EDCrMn-A- × ×	30	EDCrMn 型为高铬锰钢堆焊焊条。熔敷金属具有较好的耐磨、耐热、耐腐蚀和气蚀性能
19	EDCrMn-D- × ×	(210)	
20	EDCrNi-A- × ×	(270 ~ 320)	EDCrNi 型为高铬镍钢堆焊焊条。熔敷金属具有较好的抗氧化、气蚀、腐蚀性能和热强性能
21	EDCrNi-C- × ×	37	
22	EDD-A- × ×	55	
23	EDD-B1- × ×		EDD 型为高速钢堆焊焊条。熔敷金属具有很高的硬度、耐磨性和韧性
24	EDD-D- × ×		
25	EDZ-B1- × ×	50	EDZ 型为合金铸铁堆焊焊条
26	EDZCr-A- × ×	40	
27	EDZCr-B- × ×	45	EDZCr 型为高铬铸铁堆焊焊条。常用于高炉料钟、矿石破碎机、煤孔挖掘器等耐磨耐蚀件的堆焊
28	EDZCr-D- × ×	58	
29	EDCoCr-A- × ×	40	
30	EDCoCr-D- × ×	28 ~ 35	EDCoCr 型为钴基合金堆焊焊条。熔敷金属具有综合热强性、耐腐蚀性及抗氧化性能
31	EDW-A- × ×	60	
32	EDW-B- × ×		EDW 型为碳化钨堆焊焊条。适用于受岩石强烈磨损的机械零件
33	EDNiCr-C	—	
34	EDNiCrFeCo		EDNi 型为镍基合金堆焊焊条。熔敷金属具有综合耐热性、耐腐蚀性, 适用于低应力磨损场合
35	EDGWC1- × ×	30 ~ 60	
36	EDGWC3- × ×		EDGWC 型为碳化钨管状堆焊焊条。耐磨性能优良, 适用于低冲击的耐磨场合

5. 铜及铜合金焊条

(1) 焊条型号 GB/T 3670—1995 《铜及铜合金焊条》型号表示方法为: 字母“E”表示焊条, “E”后面的字母直接用元素符号表示型号分类, 同一分类中有不同化学成分要求时, 用字母或数字表示, 并以短划“-”与前面的元素符号分开。

(2) 铜及铜合金焊条 其型号及熔敷金属力学性能见表 2-23。

表 2-23 铜及铜合金焊条型号及熔敷金属力学性能

序号	焊条型号	焊条类别	抗拉强度/MPa	伸长率(%)	主要用途
1	ECu	铜焊条	170	20	用于脱氧铜、无氧铜及电解铜的焊接及这些材料或钢的表面堆焊
2	ECuSi-A		250	22	适用于焊接铜硅合金,也可用于焊接铜、铜合金和某些铁基金属及表面耐蚀堆焊
3	ECuSi-B		270	20	
4	ECuSn-A	磷青铜	250	15	焊接类似成分的磷青铜,也可用于焊接黄铜及堆焊
5	ECuSn-B		270	12	
6	ECuAl-A2	铝青铜	410	20	焊接类似成分的铝青铜、高强度铜锌合金、硅青铜、锰青铜、部分镍基合金、多数黑色金属与合金及异种金属
7	ECuAl-B		450	10	强度高,主要用于修补铝青铜和其他铜合金铸件,也用于耐磨、耐蚀表面堆焊
8	ECuAl-C		390	15	铝锰青铜焊条,耐磨耐蚀性优良。用于铝青铜及其他铜合金和钢的焊接
9	ECuNi-A	白铜	270	20	主要用于焊接铜镍合金板材、锻件或铸件
10	ECuNi-B		350	20	
11	ECuAlNi	铝青铜	490	13	焊接锰-铝青铜的锻件与铸件
12	ECuMnAlNi		520	13	焊接锰-镍-铝青铜的锻件与铸件

6. 镍及镍合金焊条

(1) 焊条分类 GB/T 13814—2008《镍及镍合金焊条》按熔敷金属合金体系分为镍、镍铜、镍铬、镍铬铁、镍钼、镍铬钼和镍铬钴钼等7类。

(2) 型号划分 焊条按照熔敷金属化学成分进行型号划分。

(3) 型号编制方法 焊条型号由三部分组成。第一部分为字母“ENi”，表示镍及镍合金焊条；第二部分为四位数字，表示焊条型号；第三部分为可选部分，表示化学成分代号。

(4) 完整的焊条 其型号示例如下：



第二部分四位数字中第一位数字表示熔敷金属的类别，其中2表示非合金系列；4表示镍铜合金；6表示含铬，且铁含量不大于25%的NiCrMo合金；8表示含铬，且铁含量大于25%的NiFeCr合金；10表示不含铬，含钼的NiMo合金。

(5) 焊条型号、化学成分代号 (表 2-24)

表 2-24 镍及镍合金焊条型号及化学成分代号 (摘自 GB/T 13814—2008)

焊条型号	化学成分代号	主要用途	GB/T 13814—1992
镍			
ENi2061	NiTi3	用于焊接纯镍锻造及铸铁构件,复合镍钢的焊接和钢表面堆焊及异种金属的焊接	ENi-1
ENi2061A	NiNbTi		ENi-0

(续)

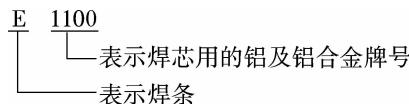
焊条型号	化学成分代号	主要用途	GB/T 13814—1992
镍铜			
ENi4060	NiCu30Mn3Ti	用于焊接镍铜等合金,镍铜复合钢的焊接和钢的表面堆焊	ENiCu-7
镍铬			
ENi6082	NiCr20Mn3Nb	用于镍铬合金和镍铬铁合金的焊接,也用于复合钢和异种金属的焊接	—
镍铬铁			
ENi6062	NiCr15Fe8Nb	用于镍铬铁合金的焊接	ENiCrFe-1
ENi6093	NiCr15Fe8NbMo	用于9Ni钢的焊接,焊缝强度比ENi6133高	ENiCrFe-4
ENi6133	NiCr16Fe12NbMo	用于镍铁铬合金和镍铬铁合金的焊接,也用于异种金属的焊接	ENiCrFe-2
ENi6182	NiCr15Fe6Mn	用于镍铬铁合金的焊接	ENiCrFe-3
ENi6704	NiCr25Fe10Al3YC	用于同类镍基合金的焊接	—
镍钼			
ENi1001	NiMo28Fe5	用于同类镍钼合金的焊接	ENiMo-1
ENi1004	NiMo25Cr5Fe5	用于异种镍基、钴基和铁基合金的焊接	ENiMo-3
ENi1066	NiMo28	用于镍钼合金的焊接	ENiMo-7
ENi1069	NiMo28Fe4Cr	用于镍基、钴基和铁基合金与异种金属的焊接	—
镍铬钼			
ENi6002	NiCr22Fe18Mo	用于镍铬钼合金的焊接	ENiCrMo-2
ENi6024	NiCr26Mo14	用于奥氏体-铁素体双向不锈钢的焊接	—
ENi6030	NiCr29Mo5Fe15W2	用于低碳镍铬钼合金的焊接	—
ENi6200	NiCr23Mo16Cu2	用于镍铬钼铜合金的焊接	—
ENi6275	NiCr15Mo16Fe5W3	用于镍铬钼合金的焊接	ENiCrMo-5
ENi6276	NiCr15Mo15Fe6W4	用于镍铬钼合金的焊接	ENiCrMo-4
ENi6455	NiCr16Mo15Ti	用于低碳镍铬钼合金的焊接、低碳镍铬钼复合合金的焊接,以及低碳镍铬钼合金与钢和其他镍基合金的焊接	ENiCrMo-7
ENi6620	NiCr14Mo7Fe	用于Ni9%钢的焊接	ENiCrMo-6
ENi6625	NiCr22Mo9Nb	用于镍铬钼合金的焊接,也可用于Ni9%钢焊接	ENiCrMo-3
ENi6985	NiCr22Mo7Fe19	用于低碳镍铬钼合金的焊接	ENiCrMo-9
镍铬钴钼			
ENi6117	NiCr22Mo7Fe19	用于镍铬钴钼合金的焊接	—

7. 铝及铝合金焊条

(1) 焊条型号 GB/T 3669—2001《铝及铝合金焊条》是根据焊芯的化学成分和焊接接头力学性能划分。

(2) 焊条型号编制方法 字母“E”表示焊条, E后面的数字表示焊芯用的铝及铝合金牌号。

(3) 完整的焊条 其型号举例如下:



(4) 焊芯 其化学成分和焊接接头的抗拉强度 (表 2-25)

表 2-25 焊芯化学成分 (摘自 GB/T 3669—2001)

焊条 型号	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Zn	Ti	Be	其他		Al	焊接接头 抗拉强度 /MPa	主要用途
									单个	合计			
E1100	Si + Fe0.95	0.05 ~ 0.05 ~	0.05	—	—	—	—	—	—	—	≥99.00	≥80	用于焊接 1100 和其他工业用的纯铝合金
E3003	0.6	0.7	2.0	1.0 ~ 1.5	—	0.10	—	0.0008	0.05	0.15	—	—	用于焊接 1100 和 3003 铝合金
E4043	4.5 ~ 6.0	—	0.30	0.05	0.05	—	0.20	—	—	—	余量	≥95	用于焊接铝镁硅、铝镁合金和铝-硅铸造合金, 以及 1100、3003 铝合金

注: 表中单值除规定外, 其他均为最大值。

(三) 焊条牌号的分类及表示方法

焊条型号和牌号都是焊条的代号, 国家标准都是以焊条型号制定的, 而焊条牌号则是多年来焊接行业习惯的称呼, 仅用来区别不同焊条熔敷金属的力学性能、化学成分, 药皮类型和焊接电流种类。与焊条型号相比, 牌号中没有区别焊接位置的编号。

按牌号焊条分为十大类, 牌号前以大写汉语拼音字母(或汉字)表示焊条各大类; 字母后的第1、2位数字表示焊条牌号各大类中的若干小类, 以主要性能或化学成分的代号表示; 第3位数字表示焊条的药皮类型及电源种类, 其表示方法, 见表 2-26 和表 2-27, 结构钢焊条有特殊性能和用途要求的, 则在牌号后面加注起主要作用的元素符号(如 Cr、Ni、Cu、P 等)或代表主要性能或用途的代号(如 H—超低氢, R—高韧性, RH—高韧性超低氢, GM—盖面焊条等), 常见的代号和含义见表 2-28。

表 2-26 焊条牌号的分类、代号及含义

焊条类别	字母	第1位数字	第2位数字	举例
结构钢焊条	J	表示熔敷金属抗拉强度等级 42, 420 MPa, 50, 490 MPa, 55, 540 MPa 60, 590 MPa, 70, 690 MPa, 75, 740 MPa...		J507CuP J: 结构钢焊条 50: 熔敷金属的抗拉强度不低于 490 MPa 7: 低氢钠型药皮, 直流 CuP: 用于焊接铜磷钢, 有特殊用途

(续)

焊条类别	字母	第1位数字	第2位数字	举例
钼和铬钼耐热钢焊条	R	表示熔敷金属主要化学成分(质量分数%)等级 1:含 Mo≈0.5 2:含 Cr≈0.5, Mo≈0.5 3:含 Cr≈1~2, Mo≈0.5 ~1 4:含 Cr≈2.5, Mo≈1 5:含 Cr≈5, Mo≈0.5 6:含 Cr≈7, Mo≈1 7:含 Cr≈9, Mo≈1 8:含 Cr≈11, Mo≈1	表示同一熔敷金属主要化学成分组成等级中的不同牌号。对于同一药皮类型焊条可有10个牌号,按0,1,2,...,9顺序排列	R347 R:耐热钢焊条 3:熔敷金属主要化学成分(Cr≈1%~2%, Mo≈0.5%~1%, 质量分数) 4:牌号编号为4 7:低氢钠型药皮, 直流
低温钢焊条	W	表示低温钢焊条工作温度(℃)等级 60: -60, 70: -70, 80: -80, 90: -90, 10: -100, 19: -196, 25: -253		W707 W:低温钢焊条 70:低温温度等级为-70℃ 7:低氢钠型药皮, 直流
不锈钢焊条	G (铬不锈钢焊条)	表示熔敷金属主要化学成分(质量分数%)等级 2:含 Cr≈13 3:含 Cr≈17	表示同一焊缝金属主要化学成分组成等级中的不同牌号。对于同一类药皮类型的焊条, 可有10个牌号, 按0, 1, 2, ..., 9顺序排列	G202 G:铬不锈钢焊条 2:熔敷金属主要化学成分(Cr≈13%, 质量分数) 0:牌号编号为0 2:钛钙型药皮, 交直流两用
	A (奥氏体不锈钢焊条)	0:含 C≤0.04, 超低碳 1:含 Cr≈19, Ni≈9 2:含 Cr≈18, Ni≈12 3:含 Cr≈24, Ni≈13 4:含 Cr≈26, Ni≈21 6:含 Cr≈16, Ni≈25 7:含 Cr-Mn-N不锈钢 8:含 Cr≈18, Ni≈18 9:待发展		A022 A:奥氏体不锈钢焊条 0:熔敷金属主要化学成分, 含C≤0.04% (质量分数), 超低碳 2:牌号编号为2, Cr18-Ni12型 2:钛钙型药皮, 交直流两用
堆焊焊条	D	表示堆焊焊条的用途、组织或熔敷金属主要成分 0:不规定 1:普通常温用 2:普通常温用及常温高锰钢型 3:刀具及工具用 4:刀具及工具用 5:阀门型 6:合金铸铁型 7:碳化钨型 8:钴基合金 9:待发展	表示同一用途组织或熔敷金属主要成分中的不同牌号, 对同一药皮类型的堆焊焊条, 按0, 1, 2, ..., 9顺序排列	D127 D:堆焊焊条 1:普通常温用 2:牌号编号为2 7:低氢钠型药皮, 直流

(续)

表 2-27 烟条牌号中第 3 位数字的含义

焊条牌号	药皮类型	焊接电源种类	焊条牌号	药皮类型	焊接电源种类
□×x0	不属于已规定类型	直流或交流	□×x5	纤维素型	直流或交流
□×x1	氧化钛型(金红石)		□×x6	低氢钾型(碱性)	
□×x2	氧化钛钙型(钛型)		□×x7	低氢钠型(碱性)	直流
□×x3	钛铁矿型		□×x8	石墨型(铸铁焊条用到)	直流或交流
□×x4	氧化铁型		□×x9	盐基型(铝焊条中用到)	直流

注：表中□表示焊条牌号中的拼音字母或汉字，××表示牌号中的前两位数字。

表 2-28 结构钢焊条表示特殊性能和用途的代号及含义

代号	含义	代号	含义
D	底层焊条	GM	盖面焊条
H	超低氢焊条	RH	高韧性超低氢焊条
X	向下立焊用焊条	SL	渗铝钢焊条
Z	重力焊条	LMA	低吸潮焊条
R	压力容器用焊条	GR	高韧性压力容器用焊条
G	高韧性焊条	Fe	高效铁粉焊条
DF	低尘焊条	CuP	含铜和磷的抗大气腐蚀焊条
XG	管道向下立用焊焊条	Fe15	高效铁粉焊条, 焊条名义熔敷效率 150%

(四) 焊条型号与牌号的对照

国标焊条型号与焊条牌号(大类)的对照, 见表 2-29。

表 2-29 焊条型号与焊条牌号对照表

焊条型号			焊条牌号			
焊条大类(按化学成分分类)			焊条大类(按用途分类)			
国标	名称	代号	类别	名称	代号	
					字母	汉字
GB/T 5117—2012	非合金钢及细晶粒钢焊条	E	一	结构钢焊条	J	结
			三	低温钢焊条	W	温
GB/T 5118—2012	热强钢焊条	E	二	钼和铬钼耐热钢焊条	R	热
GB/T 983—2012	不锈钢焊条	E	四	不锈钢焊条	G	铬
					A	奥
GB/T 984—2001	堆焊焊条及焊丝	ED	五	堆焊焊条	D	堆
GB/T 10044—2006	铸铁焊条及焊丝	EZ	六	铸铁焊条	Z	铸
GB/T 13814—2008	镍及镍合金焊条	ENi	七	镍及镍合金焊条	Ni	镍
GB/T 3670—1995	铜及铜合金焊条	ECu	八	铜及铜合金焊条	T	铜
GB/T 3669—2001	铝及铝合金焊条	E	九	铝及铝合金焊条	L	铝
—	—	—	十	特种用途焊条	TS	特

二、焊丝

(一) 焊丝的作用

焊丝的作用在于传导电流、填充金属、过渡合金, 自保护药芯焊丝在焊接过程中还起保护或脱氧和去氮的作用。焊丝是埋弧焊、气体保护焊和电渣焊等焊接方法的主要焊接材料。

(二) 焊丝的分类

焊丝的分类方法很多, 按结构形状的不同可分为实心芯焊丝和药芯焊丝两大类。按其适用的焊接方法可分为埋弧焊焊丝、气保焊焊丝、电渣焊焊丝、堆焊焊丝等。按适用的焊接材料的不同可分为碳钢焊丝、低合金钢焊丝、不锈钢焊丝、铸铁焊丝和有色金属焊丝等。

1. 实心焊丝

实心焊丝是轧制的线材经拉拔加工而成的。为了防止焊丝生锈, 碳钢和低合金钢焊丝要进行

表面处理，目前主要是镀铜处理。实心焊丝主要用于埋弧焊、气保焊、电渣焊和堆焊等。不同的焊接方法应采用不同直径的焊丝。埋弧焊电流大，采用粗丝，直径 $\phi 3.2 \sim \phi 6.4\text{mm}$ ，气保焊时，为了得到良好的保护效果，采用细焊丝，直径大多为 $\phi 0.8 \sim \phi 1.6\text{mm}$ 。实心焊丝配合相应的焊接方法可以适用于低碳钢、低合金钢、不锈钢、耐蚀堆焊和耐磨堆焊等。

2. 药芯焊丝

药芯焊丝的制造方法有带钢成形法、钢管拔制法等。药芯焊丝主要用于 CO_2 焊接、MAG 焊接和自保护焊接。可焊接低碳钢、低合金钢、不锈钢及表面堆焊等。药芯焊丝和实心焊丝相比具有如下优点：

- 1) 合金成分调整方便、对钢材适应性强。
- 2) 飞溅小。
- 3) 焊缝成形美观。
- 4) 熔敷速度高。
- 5) 可以采用较大的焊接电流。

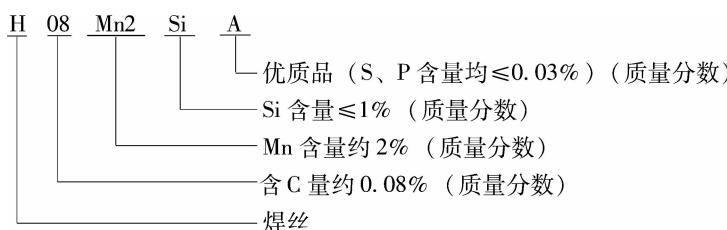
(三) 实心焊丝的牌号、型号编制

1. 碳钢、低合金钢、不锈钢实心焊丝的牌号编制

除 GB/T 8110—2008《气体保护焊用碳钢、低合金钢焊丝》中的焊丝以型号编制外，其余标准如 GB/T 14957—1994《熔化焊用钢丝》、GB/T 5293—1999《埋弧焊用碳钢焊丝和焊剂》、GB/T 17854—1999《埋弧焊用不锈钢焊丝和焊剂》及 YB/T 5092—2005《焊接用不锈钢丝》中的焊丝均以牌号编制，实心焊丝的牌号均以字母“H”开头，后面以元素符号及数字来表示该元素近似含量。具体编制方法如下。

- 1) 字母“H”表示焊丝。
- 2) 在“H”之后的一位或两位数字表示含碳量（平均约数）。
- 3) 化学元素符号及其后的数字表示该元素的近似含量，当某合金元素的含量低于1%时，可省略数字，只记元素符号。
- 4) 在焊丝牌号尾部标有“A”或“E”时，分别表示为“优质品”或“高级优质品”，表明硫、磷等杂质含量更低。

完整的焊丝牌号示例如下：



各类实心焊丝的常见牌号见表 2-30。

表 2-30 各类实心钢焊丝常见牌号

焊丝种类	焊丝牌号
碳素钢焊丝	H08A、H08E、H08C、H08Mn、H08MnA、H15A、H15Mn
合金钢焊丝	H10Mn2、H08MnSi、H10MnSiMo、H08MnMoA、H08Mn2MoA、H08Mn2MoVA
铬钼钢焊丝	H08CrMoA、H13CrMoA、H08CrMoVA、H1Cr5Mo
不锈钢焊丝	H12Cr13、H10Cr17、H08Cr21Ni10、H03Cr21Ni10、H08Cr19Ni12Mo2、H03Cr19Ni12Mo2、H08Cr20Ni10Nb、H03Cr19Ni14Mo3

2. 气体保护电弧焊用碳钢、低合金钢焊丝的型号编制

GB/T 8110—2008《气体保护焊用碳钢、低合金钢焊丝》中焊丝的分类是按化学成分分为碳钢、碳钼钢、铬钼钢、镍钢、锰钼钢和其他低合金钢等6类，而焊丝型号是按化学成分和采用熔化极气体保护电弧焊时熔敷金属的力学性能进行划分。

焊丝型号由三部分组成，第一部分用字母“ER”表示焊丝；第二部分两位数字表示焊丝熔敷金属的最低抗拉强度；第三部分为短线“-”后的字母或数字，表示焊丝化学成分代号。还有的型号后附加扩散氢代号H_x，其中x代表15、10、5。

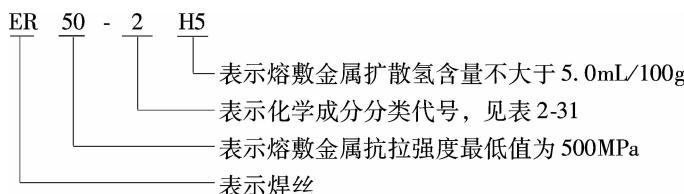


表 2-31 碳钢、低合金钢焊丝化学成分分类代号（摘自 GB/T 8110—2008）

焊丝化学成分分类	焊丝型号
碳钢	ER50-2、ER50-3、ER50-4、ER50-6、ER50-7、ER49-1
碳钼钢	ER49-A1
铬钼钢	ER55-B2、ER49-B2L、ER55-V2-MnV、ER55-B2-Mn、ER62-B3、ER55-B6、ER55-B8、ER55-B9
镍钢	ER55-Ni、ER55-Ni2
锰钼钢	ER55-D2、ER62-D2、ER55-D2-Ti
其他低合金钢	ER55-1、ER69-1、ER76-1、ER83-1
供需双方协商	ERXX-G

3. 铜及铜合金焊丝的型号编制

1) 焊丝分类：GB/T 9460—2008《铜及铜合金焊丝》中焊丝按化学成分分为铜、黄铜、青铜、白铜等四类。

2) 型号划分：焊丝按化学成分进行划分。

3) 型号编制方法：焊丝型号由三部分组成。第一部分为字母“SCu”，表示铜及铜合金焊丝；第二部分为四位数字，表示焊丝型号；第三部分为可选部分，表示化学成分代号。焊丝型号与化学成分代号对应表见表 2-32。

完整的焊丝型号示例如下：

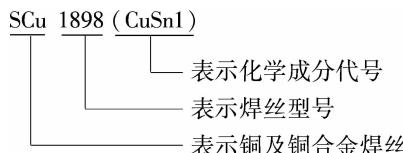


表 2-32 铜及铜合金焊丝型号与化学成分代号对应表

序号	类别	焊丝型号	化学成分代号	主要用途	相当于 GB/T 9460—1988
1	铜	SCu1898	CuSn1	焊接脱氧铜或电解铜	HS Cu
2	黄铜	SCu4700	CuZn40Sn	焊接铜、铜镍合金。焊前预热	HS CuZn-1
3		3SCu6800	CuZn40Ni	含有少量铁、硅、锰的锡黄铜焊丝，可用于铜、钢、铜镍合金、灰铸铁的熔化极气体保护焊，以及	HS CuZn-2
4		SCu6810A	CuZn40SnSi	镶嵌硬质合金刀具。焊前预热	HS CuZn-3
5		SCu7730	CuZn40Ni10	主要用于钎焊钢、镍及硬质合金	HS CuZnNi

(续)

序号	类别	焊丝型号	化学成分代号	主要用途	相当于 GB/T 9460—1988
6	青铜	SCu6560	CuSi3Mn	焊接青铜和黄铜,也可焊接纯铜(允许有锡时)	HS CuSi
7		SCu5210	CuSn8P		HS CuSn
8		SCu6100	CuAl7	铝青铜焊丝,焊接或补焊类似成分的铝青铜,也用于堆焊和异种金属焊(铝青铜与钢、铜与钢)	—
9		SCu6100A	CuAl8		HS CuAl
10		SCu6325	CuAl8Fe4Mn2Ni2	焊接镍铝青铜的铸件或锻件	HS CuAlNi
11	白铜	SCu7158	CuNi30Mn1FeTi	焊接铜镍合金	HS CuNi

4. 镍及镍合金焊丝的型号编制

1) 焊丝分类: GB/T 15620—2008《镍及镍合金焊丝》中焊丝按化学成分分为镍、镍铜、镍铬、镍铬铁、镍钼、镍铬钼、镍铬钴、镍铬钨等八类。

2) 型号划分: 焊丝按化学成分进行划分。

3) 型号编制方法: 焊丝型号由三部分组成。第一部分为字母“SNi”, 表示镍及镍合金焊丝; 第二部分为四位数字, 表示焊丝型号; 第三部分为可选部分, 表示化学成分代号。部分焊丝型号与化学成分代号对应表见表 2-33。

完整的焊丝型号示例如下:

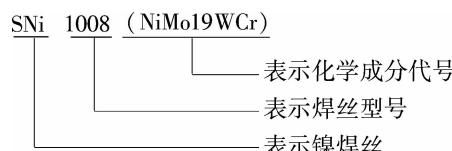


表 2-33 部分镍及镍合金焊丝型号与化学成分代号对应表

序号	类别	焊丝型号	化学成分代号	主要用途	相当于 GB/T 9460—1988
1	镍	SNi2061	NiTi3	焊接工业纯镍,也可用于堆焊及异种金属的焊接	ERNi-1
2	镍铜	SNi4060	NiCu30Mn3Ti	焊接镍铜合金,也可用于复合钢、镍铜复合面的焊接以及钢表面堆焊	ERNiCu-7
3		SNi4061	NiCu30Mn3Nb		—
4		SNi5504	NiCu25Al3Ti	焊接时效强化铜镍合金	—
5	镍铬	SNi6072	NiCr44Ti	焊接 Cr50Ni50 镍铬合金	—
6		SNi6076	NiCr20	焊接镍铬铁合金	—
7		SNi6082	NiCr20Mn3Nb	焊接镍铬合金	—
8	镍铬铁	SNi6002	NiCr21Fe18Mo9	焊接低碳镍铬钼合金	ERNiCrMo-2
9		SNi6062	NiCr15Fe8Nb	焊接镍铬铁合金、镍铬铁合金,工作温度高	ERNiCrFe-5
10		SNi6975	NiCr25Fe13Mo6	焊接镍铬钼合金及其与钢材、镍铬钼复合钢以及其他镍基合金的焊接	ERNiCrMo-8
11		SNi6985	NiCr22Fe20Mo7Cu2	用于镍铬铁复合钢焊接及与镍基合金的焊接	ERNiCrMo-9
12		SNi7092	NiCr15Ti3Mn	用于镍铬铁复合钢焊接及与镍基合金的焊接	ERNiCrFe-6
13		SNi7718	NiFe19Cr19Nb5Mo3	焊接镍铬钼合金	ERNiFeCr-2
14		SNi8065	NiFe30Cr21Mo3	焊接铬镍钼铜、镍铬钼合金及堆焊	ERNiFeCr-1

(续)

序号	类别	焊丝型号	化学成分代号	主要用途	相当于 GB/T 9460—1988
15	镍钼	SNi1001	NiMo28Fe	焊接镍钼合金	ERNiMo-1
16		SNi1003	NiMo17Cr7	焊接镍钼合金及其与钢及其他镍基合金	ERNiMo-2
17		SNi1004	NiMo25Cr5Fe5	用于镍基、钴基和铁基合金的异种金属焊接	ERNiMo-3
18		SNi1066	NiMo28	焊接镍钼合金及其与钢和其他镍基合金	ERNiMo-7
19	镍铬钼	SNi6276	NiCr15Mo16Fe6W4	焊接镍铬钼合金	ERNiCrMo-4
20		SNi6455	NiCr16Mo16Ti	焊接低碳镍铬钼合金	ERNiCrMo-7
21		SNi6625	NiCr22Mo9Nb	焊接镍铬钼合金	ERNiCrMo-3
22	镍铬钴	SNi6160	NiCr28Co30Si3	焊接镍铬硅合金	—
23		SNi6617	NiCr22Co12Mo9	焊接低碳镍铬钼合金	—
24	镍铬钨	SNi6231	NiCr22W14Mo2	焊接镍铬钴钼合金	—

5. 铝及铝合金焊丝的型号编制

1) 焊丝分类: GB/T 10858—2008《铝及铝合金焊丝》中焊丝按化学成分分为铝、铝铜、铝锰、铝硅、铝镁等五类。

2) 型号划分: 焊丝按化学成分进行划分。

3) 型号编制方法: 焊丝型号由三部分组成。第一部分为字母“SAI”, 表示铝及铝合金焊丝; 第二部分为四位数字, 表示焊丝型号; 第三部分为可选部分, 表示化学成分代号。焊丝型号与化学成分代号对应表见表 2-34。

完整的焊丝型号示例如下:



表 2-34 铝及铝合金焊丝型号与化学成分代号对应表

序号	类别	焊丝型号	化学成分代号	主要用途	GB/T 10858—1989	AWS A5.10:1999
1	铝	SAI 1070	Al99.7	用于纯铝母材的焊接	SAI-2	
2		SAI 1188	Al99.88			ER1188
3		SAI 1100	Al99.0Cu			ER1100
4		SAI 1200	Al99.0		SAI-1	
5		SAI 1450	Al99.5Ti		SAI-3	
6	铝铜	SAI 2319	AlCu5MgZrTi	用于成分相同或相近的铝合金母材的焊接, 合金成分应略高于母材的合金含量	SAICu	ER2319
7	铝锰	SAI 3103	AlMn1		SAlMn	
8	铝硅	SAI 4043	AlSi5		SAlSi-1	ER4043
9		SAI 4047	AlSi12		SAlSi-2	ER4047
10		SAI 4145	AlSi10Cu4			ER4145
11		SAI 4643	AlSi4Mg			ER4643
12	铝镁	SAI 5554	AlMg2.7Mn		SAlMg-1	ER5554
13		SAI 5654	AlMg3.5Ti		SAlMg-2	ER5564
14		SAI 5356	AlMg5CrA			ER5356
15		SAI 5556	AlMg5Mn1Ti		SAlMg-5	ER5556
16		SAI 5556C	AlMg5Mn1Ti		SAlMg-5	
17		SAI 5183	AlMg4.5Mn0.7(A)		SAlMg-3	ER5183

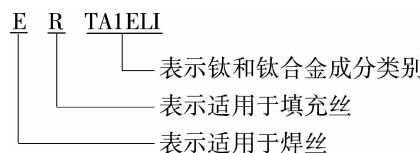
6. 钛及钛合金丝的牌号编制

(1) 焊丝分类 GB/T 3623—2007《钛及钛合金丝》中钛丝按化学成分分为工业纯钛、钛钯合金、钛钼镍合金、钛铝、钛钼等类。前三类是特种设备常用的钛丝。

(2) 型号划分 钛丝按化学成分进行划分,如工业纯钛丝 TA1ELI、TA2ELI、TA3ELI、TA4ELI 等,钛钯合金丝 TA9、钛钼镍合金丝 TA10 等。

(3) 牌号编制方法 NB/T 47018.7《钛及钛合金焊丝和填充丝》中规定:字母“E”表示适用于焊丝,字母“R”表示适用于填充丝,“ER”表示既适用于焊丝,也适用于填充丝。“R”或“ER”后面的数字或英文字母为牌号系列。

焊丝和填充丝牌号示例如下:



NB/T 47018.7—2011 与 GB/T 3623—2007 钛及钛合金焊丝、AWS A5.16—2004 钛和钛合金焊丝和填充丝三个标准中的焊丝、填充丝代号对比见表 2-35。

表 2-35 钛和钛合金焊丝和填充丝标准对比

标准号	NB/T 47018.7—2011	GB/T 3623—2007	AWS A5.16—2004	类别
钛和钛合金焊丝及填充丝代号	ER TA1ELI	TA1ELI	ER Ti-1	纯钛
	ER TA2ELI	TA2ELI	ER Ti-2	
	ER TA3ELI	TA3ELI	ER Ti-3	
	ER TA4ELI	TA4ELI	ER Ti-4	
	ER TA9	TA9	ER Ti-7	钛钯合金
	ER TA10	TA10	ER Ti-12	钛钼镍合金

(四) 药芯焊丝的型号编制

1. 碳钢药芯焊丝的型号编制

(1) 分类依据 GB/T 10045—2001《碳钢药芯焊丝》中焊丝型号分类的依据是:熔敷金属的力学性能、焊接位置、焊丝类别特点(包括保护类型、电流种类、渣系特点等)。

(2) 表示方法 焊丝型号的表示方法为: E × × × T-× ML, 字母“E”表示焊丝,字母“T”表示药芯焊丝。型号中的符号按排列顺序分别说明如下:

1) 熔敷金属力学性能。字母“E”后面的前 2 个符号“× ×”表示熔敷金属的力学性能。

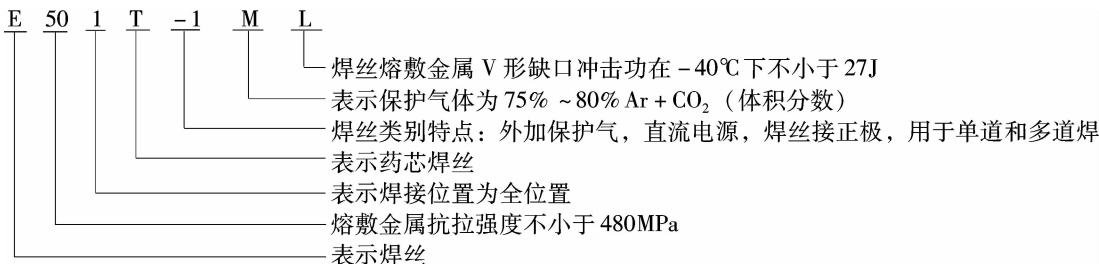
2) 焊接位置。字母“E”后面的第 3 个符号“×”表示推荐的焊接位置,其中,“0”表示平焊和横焊位置,“1”表示全位置。

3) 焊丝类别特点。短线后面的符号“×”表示焊丝的类别特点。

4) 字母“M”表示保护气体为 75% ~ 80% Ar + CO₂ (体积分数)。当无字母“M”时,表示保护气体为 CO₂ 或为自保护类型。

5) 字母“L”表示焊丝熔敷金属的冲击性能在 -40℃ 时,其 V 形缺口冲击功不小于 27J。当无字母“L”时,表示焊丝熔敷金属的冲击性能符合一般要求。

完整的焊丝型号示例如下:



2. 低合金钢药芯焊丝的型号编制

(1) 焊丝分类 GB/T 17493—2008《低合金钢药芯焊丝》中焊丝按药芯类型分为非金属粉型药芯焊丝和金属粉型药芯焊丝。

非金属粉型药芯焊丝按化学成分分为钼钢、铬钼钢、镍钢、锰钼钢和其他低合金钢等五类; 金属粉型药芯焊丝按化学成分分为铬钼钢、镍钢、锰钼钢和其他低合金钢等四类。

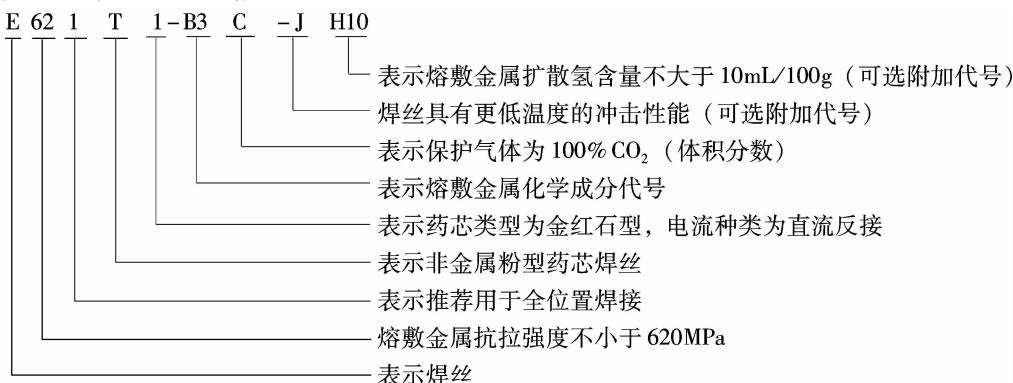
(2) 型号划分 非金属粉型药芯焊丝型号按熔敷金属的抗拉强度和化学成分、焊接位置、药芯类型和保护气体进行划分; 金属粉型药芯焊丝型号按熔敷金属的抗拉强度和化学成分进行划分。

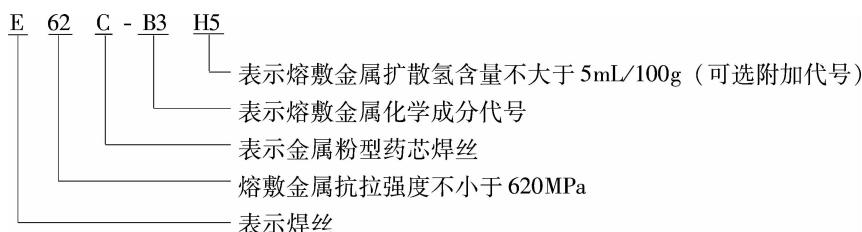
(3) 型号编制方法

1) 非金属粉型药芯焊丝型号为 E × × × T × - × × (-JH ×), 其中字母“E”表示焊丝, 字母“T”表示非金属粉型药芯焊丝, 其他符号说明如下: ①熔敷金属抗拉强度以字母“E”后面的前两个符号“× ×”表示熔敷金属的最低抗拉强度。②焊接位置以字母“E”后面的第三个符号“×”表示推荐的焊接位置。③药芯类型以字母“T”后面的符号“×”表示药芯类型及电流种类。④熔敷金属化学成分以第一个短线“-”后面的符号“×”表示熔敷金属化学成分代号。⑤保护气体以化学成分代号后面的符号“×”表示保护气体类型: “C”表示 CO₂ 气体, “M”表示 Ar + (20% ~ 25%) CO₂ (体积分数) 混合气体, 当该位置没有符号出现时, 表示不采用保护气体, 为自保护型。⑥更低温度的冲击性能 (可选附加代号), 型号中如果出现第二个短线“-”及字母“J”时, 表示焊丝具有更低温度的冲击性能。⑦熔敷金属扩散氢含量 (可选附加代号), 型号中如果出现第二个短线“-”及字母“H ×”时, 表示熔敷金属扩散氢含量, ×为扩散氢含量最大值。

2) 金属粉型药芯焊丝型号为 E × × C- × (- H ×), 其中字母“E”表示焊丝, 字母“C”表示金属粉型药芯焊丝, 其他符号说明如下: ①熔敷金属抗拉强度以字母“E”后面的前两个符号“× ×”表示熔敷金属的最低抗拉强度。②熔敷金属化学成分以第一个短线“-”后面的符号“×”表示熔敷金属化学成分代号。③熔敷金属扩散氢含量 (可选附加代号) 以型号中如果出现第二个短线“-”及字母“H ×”时, 表示熔敷金属扩散氢含量, ×为扩散氢含量最大值。

完整的焊丝型号示例如下:





3. 不锈钢药芯焊丝的型号编制

(1) 型号划分依据 GB/T 17853—1999 《不锈钢药芯焊丝》根据熔敷化学成分、焊接位置、保护气体及焊接电流类型划分型号。

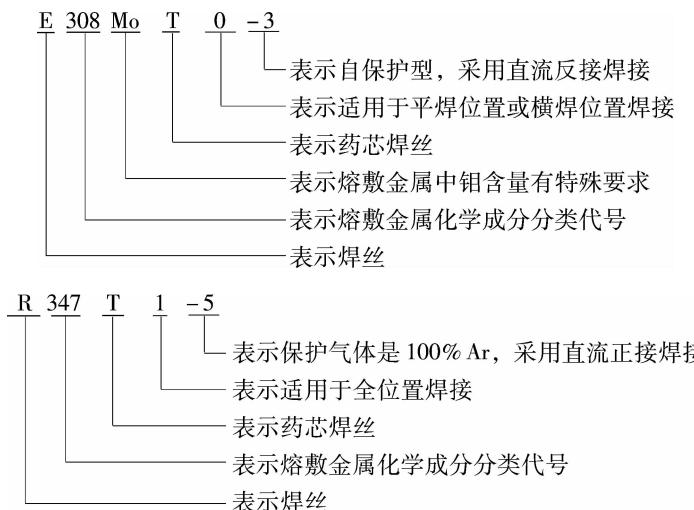
(2) 型号表示方法 采用字母“E”表示焊丝，“R”表示填充焊丝；后面用三位或四位数字表示焊丝熔敷金属化学成分分类代号；如有特殊要求的化学成分，将其元素符号附加在数字后面，或者用“L”表示碳含量较低、“H”表示碳含量较高、“K”表示焊丝应用于低温环境；最后用“T”表示药芯焊丝，之后用一位数字表示焊接位置，“0”表示焊丝适用于平焊位置或横焊位置焊接，“1”表示焊丝适用于全位置焊接；“-”后面的数字表示保护气体及焊接电流类型，见表 2-36。

表 2-36 保护气体、电流类型及焊接方法列表

型号	保护气体	电流种类	焊接方法
E × × × T × -1	CO ₂	直流反接	FCAW
E × × × T × -3	无(自保护)		
E × × × T × -4	75% ~ 80% Ar + CO ₂		
R × × × T1-5	100% Ar	直流正接	GTAW
E × × × T × -G	不规定	不规定	FCAW
R × × × T1-G			GTAW

注：FCAW 为药芯焊丝电弧焊，GTAW 为钨极惰性气体保护焊。

(3) 完整的焊丝型号 示例如下：



三、焊剂

焊剂是焊接时能够熔化形成熔渣和气体，对熔化金属起保护和冶金作用的一种颗粒状物质。

其作用与焊条药皮相似，与焊丝（相当于焊条中的焊芯）配合使用是决定焊缝金属化学成分和力学性能的重要因素。

（一）焊剂的分类

焊剂有多种分类方法，如可按用途分为钢用焊剂和有色金属用焊剂；钢用焊剂又可分为碳钢焊剂、合金钢焊剂及高合金钢焊剂。焊剂按照生产工艺的不同，还可分为熔炼焊剂和烧结焊剂。

熔炼焊剂是将各种矿物性的原料按给定的比例混合后，利用电弧炉和火焰炉等加热到1300℃以上，使其熔化，搅拌均匀后出炉，通常在水中激冷以使粒化。再经过烘干、粉碎、过筛、包装，检验合格后出厂。烧结焊剂是按照给定的比例配料先进行干混合，然后加入粘接剂（水玻璃）进行湿混合，混合均匀后送入造粒机造粒。之后将颗粒状的焊剂送入干燥炉内烧结，经400~500℃烧结者称为低温烧结焊剂，经700~1000℃烧结者称为高温烧结焊剂。

烧结焊剂与熔炼焊剂相比，可以向焊剂中添加一定量的脱氧剂和合金剂，参与熔池的脱氧和合金化，这样熔敷金属的力学性能能够得到控制，在使用的焊丝受到限制时，能够通过焊剂中的合金加以补充，达到所要求的力学性能。烧结焊剂具有熔炼焊剂不可比拟的优越性，不仅可以渗合金，而且具有脱渣性好、节约能源、焊剂成分易控制、生产环境污染小等优点。

（二）焊剂的型号

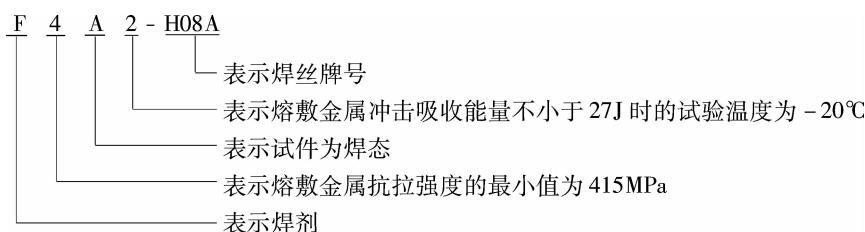
焊剂的型号是依据GB/T 5293—1999《埋弧焊用碳钢焊丝和焊剂》、GB/T 12470—2003《埋弧焊用低合金钢焊丝和焊剂》和GB/T 17854—1999《埋弧焊用不锈钢焊丝和焊剂》的规定来划分的。

1. 埋弧焊用碳钢焊剂

（1）分类依据 埋弧焊用碳钢焊剂的型号是根据焊丝-焊剂组合的熔敷金属力学性能、热处理状态进行分类的。

（2）型号编制方法 焊丝-焊剂组合的型号编制方法如下：字母“F”表示焊剂；第一位数字表示焊丝-焊剂组合的熔敷金属抗拉强度的最小值；第二位字母表示试件的热处理状态，“A”表示焊态，“P”表示焊后热处理状态；第三位数字表示熔敷金属冲击吸收能量不小于27J时的最低试验温度；“-”后面表示焊丝的牌号，焊丝的牌号按GB/T 14957—1994编制。

（3）完整的焊丝-焊剂型号示例如下：

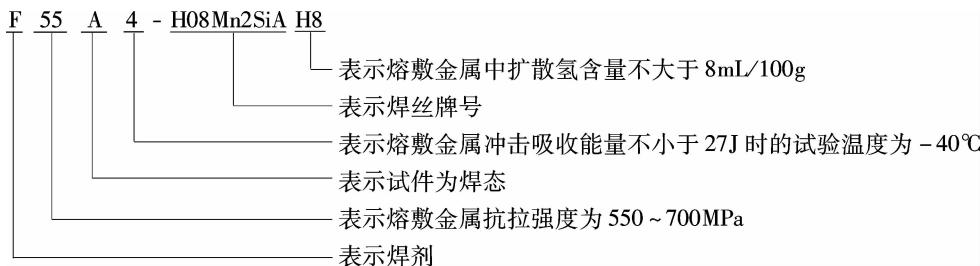


2. 埋弧焊用低合金钢焊剂

（1）分类依据 埋弧焊用低合金钢焊剂是按焊丝-焊剂组合的熔敷金属力学性能，热处理状态进行划分的。

（2）型号编制方法 焊丝-焊剂组合的型号编制方法为F × × × × -H × × ×。其中字母“F”表示焊剂；“F”后面的两位数字表示焊丝-焊剂组合的熔敷金属抗拉强度的最小值；第二位字母表示试件的热处理状态，“A”表示焊态，“P”表示焊后热处理状态；第三位数字表示熔敷金属冲击吸收能量不小于27J时的最低试验温度；“-”后面表示焊丝的牌号，焊丝的牌号按GB/T 14957—1994和GB/T 3429—2002。如果需要标注熔敷金属中扩散氢含量时，可用后缀“H ×”表示。

（3）完整的焊丝-焊剂型号示例如下：

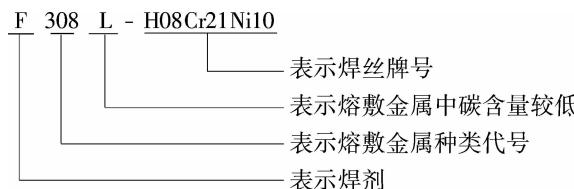


3. 埋弧焊用不锈钢焊丝和焊剂

(1) 分类依据 埋弧焊用不锈钢焊剂是根据焊丝-焊剂组合的熔敷金属化学成分、力学性能进行划分的。

(2) 型号编制方法 字母“F”表示焊剂；“F”后面的数字表示熔敷金属种类代号，如有特殊要求的化学成分，该化学成分用元素符号表示，放在数字的后面；“-”后面表示焊丝的牌号，焊丝的牌号按 YB/T 5092—2005 编制。

(3) 完整的焊丝、焊剂型号示例如下：



4. 焊剂类型

按照焊剂中添加脱氧剂、合金剂分类，焊剂可分为中性焊剂、活性焊剂和合金焊剂。

(1) 中性焊剂 中性焊剂是指焊接后，熔敷金属化学成分与焊丝化学成分不产生明显变化的焊剂。中性焊剂用于多道焊，特别适应于厚度大于 25mm 的母材的焊剂。

(2) 活性焊剂 活性焊剂指加入少量锰、硅脱氧剂的焊剂，提高抗气孔能力和抗裂性能。

(3) 合金焊剂 合金焊剂指使用碳钢焊丝，其熔敷金属为合金钢的焊剂。焊剂中添加较多的合金成分，用于过渡合金，多数合金焊剂为粘结焊剂和烧结焊剂。合金焊剂主要用于低合金钢和耐磨堆焊的焊接。

(三) 焊剂的牌号

1. 熔炼焊剂

(1) 牌号编制方法 熔炼焊剂由字母“HJ”和三位数字表示，字母“HJ”表示埋弧焊及电渣焊用熔炼焊剂，牌号第一位数字表示焊剂中氧化锰的含量，其范围按表 2-37 规定编排。牌号第二位数字表示焊剂中二氧化硅、氟化钙的含量，其范围按表 2-38 编排。牌号第三位数字表示同一类型焊剂的不同牌号，按 0, 1, 2, …, 9 顺序排列，对同一牌号焊剂有两种颗粒度时，在细颗粒焊剂牌号后面加“X”字。

表 2-37 焊剂牌号中第一位数字的含意

焊剂牌号	焊剂类型	氧化锰含量(质量分数, %)	焊剂牌号	焊剂类型	氧化锰含量(质量分数, %)
HJ1 × ×	无锰	< 2	HJ3 × ×	中锰	15 ~ 30
HJ2 × ×	低锰	2 ~ 15	HJ4 × ×	高锰	> 30

(2) 焊剂牌号示例



2. 烧结焊剂

(1) 牌号编制方法 烧结焊剂的牌号由字母“SJ”和三位数字组成，字母“SJ”表示烧结焊剂。牌号第一位数字表示焊剂熔渣的渣系，其系列按表 2-39 的规定编排。牌号第二位、第三位数字表示同一渣系类型焊剂中的不同牌号，按 01, 02, …, 09 顺序排列。

表 2-38 焊剂牌号中第二位数字的含意

焊剂牌号	焊剂类型	二氧化硅及氟化钙含量(质量分数, %)	
HJ × 1 ×	低硅低氟	SiO ₂ < 10	CaF ₂ < 10
HJ × 2 ×	中硅低氟	SiO ₂ 10 ~ 30	CaF ₂ < 10
HJ × 3 ×	高硅低氟	SiO ₂ > 30	CaF ₂ < 10
HJ × 4 ×	低硅中氟	SiO ₂ < 10	CaF ₂ 10 ~ 30
HJ × 5 ×	中硅中氟	SiO ₂ 10 ~ 30	CaF ₂ 10 ~ 30
HJ × 6 ×	高硅中氟	SiO ₂ > 30	CaF ₂ 10 ~ 30
HJ × 7 ×	低硅高氟	SiO ₂ < 10	CaF ₂ > 30
HJ × 8 ×	中硅高氟	SiO ₂ 10 ~ 30	CaF ₂ > 30
HJ × 9 ×	其他		

(2) 焊剂牌号示例

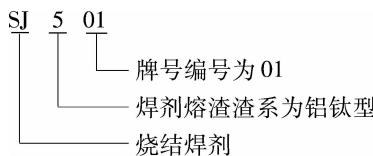


表 2-39 烧结焊剂渣系编号含义

焊剂牌号	熔渣渣系类型	主要组成范围
SJ1 × ×	氟碱型	CaF ≥ 15%, CaO + MgO + MnO + CaF ₂ ≥ 50%, SiO ₂ ≤ 20%
SJ2 × ×	高铝型	Al ₂ O ₃ ≥ 20%, Al ₂ O ₃ + CaO + MgO > 45%
SJ3 × ×	硅钙型	CaO + MgO + SiO ₂ ≥ 60%
SJ4 × ×	硅锰型	MnO + SiO ₂ ≥ 50%
SJ5 × ×	铝钛型	Al ₂ O ₃ + TiO ₂ ≥ 45%
SJ6 × ×	其他型	

3. 常用焊剂牌号和型号

焊剂型号是根据使用各种焊丝与焊剂组合而形成的熔敷金属的力学性能而划分的。任何牌号

的焊剂，由于使用的焊丝、热处理状态及生产厂家不同，其分类型号可能有许多类别，表 2-40 列举了几种焊剂牌号和型号示例。

表 2-40 几种焊剂牌号和型号示例

焊剂牌号	焊剂型号	用途
HJ431	F4A0-H08A、F4A2-H08MnA、F5A2-H08MnA	碳钢或低合金钢
HJ250、HJ350	F5A2-H10Mn2 或 F55A2-H08MnMoA	碳钢或低合金钢
HJ260	F308-H08Cr21Ni10	不锈钢
SJ101	F5A4-H08MnA、F4A4-H08MnA、F5A4-H10MnA、F5A2-H08MnMoA、F6A2-H08MnMoA、F48A0-H08CrMoA、F48A0-H13CrMoA	碳钢或低合金钢
SJ301、SJ316、SJ501	F4A0-H08A	碳钢或低合金钢
SJ601	F316L-H03Cr19Ni12Mo2	不锈钢

四、焊接用气体及钨极

(一) 焊接用气体

焊接用气体主要是指气体保护焊中使用的保护性气体（如 Ar、CO₂、He、H₂、O₂、N₂ 等）和可燃气体（C₂H₂、C₃H₅、C₃H₆、CH₄、H₂）。

1. 氩气 (Ar)

氩气是一种惰性气体，它既不与金属起化学反应，也不溶于金属中。因此可以避免焊缝中合金元素的烧损和由此带来的其他焊接缺陷，使焊接冶金反应变得简单和易于控制，为获得高质量的焊缝提供了有利条件。氩气导热系数小，且是单原子气体，高温时不分解吸热，电弧在氩气中燃烧时热量损失少，故在各类气体保护焊中氩气保护焊的电弧燃烧稳定性最好。氩气的密度较大，在保护时不易漂浮散失，保护效果良好。

氩弧焊适用于高强钢、钛、铝、镁、铜及其合金的焊接和异种金属的焊接。氩气作为焊接用保护气体，一般要求纯度为 99.9% ~ 99.999%（体积分数），视被焊金属的性质和焊缝质量要求而选定。

2. 二氧化碳气 (CO₂)

CO₂ 是氧化性保护气体，有固态、液态和气态三种状态。液态 CO₂ 是无色液体，其密度随温度不同而变化，当温度低于 -11℃ 时比水重，高于 -11℃ 则比水轻。CO₂ 由液态变为气态的沸点很低（-78℃），所以工业用 CO₂ 都是液态，常温下即可气化。液态 CO₂ 中可溶解 0.05% 的水，多余的水则成自由状态沉于瓶底。这些水在焊接过程中随 CO₂ 挥发并混入 CO₂ 气体中，一起进入焊接区。因此水分是 CO₂ 气体中最主要的有害杂质，随 CO₂ 气体中水分的增加即露点温度的提高，焊缝金属中含氢量增高、塑性下降，甚至产生气孔等缺陷。焊接用 CO₂ 的纯度应大于 99.5%，国外有时还要求纯度大于 99.8%、露点低于 -40℃。

3. 氦气 (He)

氦气是一种无色、无味的惰性气体，与氩气一样也不和其他元素组成化合物，不溶于金属，是一种单原子气体，沸点为 -269℃。与氩气相比它的导热系数大，在相同的电弧长度下电弧电压高，电弧温度高，母材输入热量大，焊接速度快。这是氦弧焊的优点，但电弧稳定性不如氩弧焊。

4. 氢气 (H₂)

氢气是无色无臭的可燃性气体，氢的相对原子质量最小，可溶于水，导热性能好，分解时吸

收大量分解热。氢气常被用于等离子弧的切割和焊接；熔化极气体保护焊时在氩气中加入适量氢气，可增大母材的输入热量，提高焊接速度和效率。

5. 氧气 (O₂)

氧气在常温常压下是无色无味的气体。在标准状态（即0℃和101.325kPa压力）下，1m³ 氧气质量为1.13kg，比空气重。氧气本身不能燃烧，是一种活泼的助燃气体。氧气常用作惰性气体保护焊时的附加气体，可细化熔滴，克服电弧阴极斑点漂移，增加母材输入热量，提高焊接速度等。

6. 氮气 (N₂)

氮气在空气约占78%（体积），沸点-196℃，氮的电离势较低，相对原子质量较氩小，分解时吸收热量较大。氮气可用作焊接时的保护气体；由于氮气导热及携热性较好，常用作等离子弧切割的工作气体，有较长的弧柱、又有分子复合热能，故可切割较厚的金属。

7. 焊接用气体的选用

选用气体总的原则是根据被焊材料而定：对易氧化的金属如铝、钛、铜等及它们的合金应选用惰性气体（氩气、氦气或氩气加氦气等）；对碳素钢、低合金钢、不锈钢等不宜采用惰性气体，而应选用氧化性的保护气体（如CO₂、氩气加CO₂、氩气加氧气等），可细化熔滴，克服电弧阴极斑点漂移及焊缝咬边等。从生产效率考虑，在氩气中加入氦、氮、氢、CO₂、氧等气体，可增加母材的热输入量，提高焊接速度。如焊接大厚度铝板，推荐用氩气加氦气；焊接不锈钢可采用氩气加CO₂或氩气加氧气等。

（二）钨电极

焊接用钨电极主要指非熔化极氩弧焊时的电极。常用电极材料分钨极、钍钨极和铈钨极三种，此外还有锆钨极。

1) 纯钨极的熔点高，不易熔化挥发，但电子发射能量比铈钨极、钍钨极差。

2) 钍钨极是在纯钨极配料中加入1.0%~2.0%的氧化钍的电极。钍钨极电子发射能力高，可使用较大的电流密度，电弧燃烧稳定，但由于含有微量放射性元素钍，使其应用受到一定限制。

3) 铈钨极是在纯钨中加入1.8%~2.0%的氧化铈，杂质小于或等于0.1%的电极。其优点是铈钨极的X射线剂量及抗氧化性能比钍钨极有较大改善，电子逸出功比钍钨极约低10%，故易于引弧，电弧稳定性好；另外，铈钨极化学稳定性好、阴极斑点小、压降低、烧损少等，因此是目前非熔化极氩弧焊中应用最广的一种钨极。

4) 钨极的选用。

①纯钨极：熔点和沸点高，不易熔化挥发、烧损，尖端污染少，但电子发射较差，不利于电弧的稳定燃烧。

②钍钨极：电子发射能力强，允许电流密度高，电弧燃烧稳定，但钍元素具有一定放射性，推广应用受到一定影响。

③铈钨极：电子逸出功低，化学稳定增长性高，允许电流密度大，无放射性，是目前普遍采用的一种电极。

④锆钨极：对必须防止电极污染基体金属的特殊条件下，可采用这种钨极，这种电极的尖端易保持半球形，适于交流焊接。

五、承压设备用焊接材料

NB/T 47018.1~47018.7—2011《承压设备用焊接材料订货技术条件》，是根据承压设备对焊接材料的要求，在国家标准基础上增加、修改或补充条款而成，也有一部分是重新编写的，适用

范围包括锅炉、压力容器、气瓶和压力管道。焊接材料用于承压设备时，应遵从 NB/T47018 的标准。当该标准中无相应焊材时，可选用通用的国家标准或其他行业标准，但应在订货合同中注明技术条件不低于该标准中相应的性能或者产品使用要求。

该标准分为以下七个部分：采购通则、钢焊条、气体保护电弧焊钢焊丝和填充丝、埋弧焊钢焊丝和焊剂、堆焊用不锈钢焊带和焊剂、铝及铝合金焊丝和填充丝、钛及钛合金焊丝和填充丝。

（一）采购通则

NB/T 47018. 1《采购通则》规定了焊接材料采购基本要求、批量划分、检验范围、供应和复验，适用于焊条、焊带、焊丝、填充丝和焊剂。其中规定了生产商（供应商）的责任，如生产商或经销商应向焊接材料订货单位提供焊接材料质量证明书原件，允许经销商提供复印件，但需加盖经销商检验章和检验人员章，生产商应向焊接材料订货单位提供产品说明书，内容包括产品特点、性能指标、适用范围、保管要求、使用注意事项。

（二）钢焊条

NB/T 47018. 2《钢焊条》是对 JB/T 4747—2002 的修订，在符合 GB/T983、GB/T5117、GB/T5118 的基础上，每批最高限量按 NB/T 47018. 1 规定；主要变更新如下：

- 1) 进一步降低相应焊条熔敷金属中磷、硫含量。
- 2) 限制了抗拉强度上限。
- 3) 增加焊条熔敷金属弯曲试验要求，提高了断后伸长率。
- 4) 进一步提高相应焊条熔敷金属冲击试验要求。
- 5) 低氢型药皮焊条药皮含水量和熔敷金属扩散氢含量比相应的国家标准低。
- 6) 更改了射线检测标准和合格级别。
- 7) 包装和质保书上增加本标准焊材标志。

（三）气体保护电弧焊钢焊丝和填充丝

NB/T 47018. 3《气体保护电弧焊钢焊丝和填充丝》是在 GB/T 8110—2008 基础上编制的。降低了焊丝中磷、硫含量，提高了熔敷金属冲击值；增加熔敷金属的弯曲试验和降低了扩散氢含量，更改了射线检测标准和合格级别，批量等级按 NB/T 47018. 1 规定，包装和质保书上增加该标准焊材标志。

（四）埋弧焊钢焊丝和焊剂

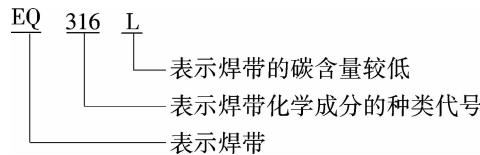
NB/T 47018. 4《埋弧焊钢焊丝和焊剂》是在 GB/T 5293、GB/T 12470、GB/T 17854 和 YB/T 5092 基础上编制的。埋弧焊熔敷金属性能受到焊丝与焊剂双重影响，该部分标准增加了熔敷金属力学性能试验（拉伸、冲击、伸长率和弯曲试验），降低了熔敷金属硫、磷含量及焊剂中硫、磷含量；由焊材生产厂根据承压设备常用钢焊丝和填充丝牌号，配套提供相应的焊剂牌号组成相应的熔敷金属型号（等级）供制造厂选用；批量等级按 NB/T 47018. 1 规定；包装和质保书上增加碳钢和低合金钢焊剂类型和本标准焊材标志。

熔敷金属抗拉强度下限值和国家标准相同，按上下限值差不应超过 120MPa 规定了上限，即降低了国家标准中的上限值，这样能更好地与相应强度的母材匹配。熔敷金属拉伸试样断后伸长率不低于 20%。

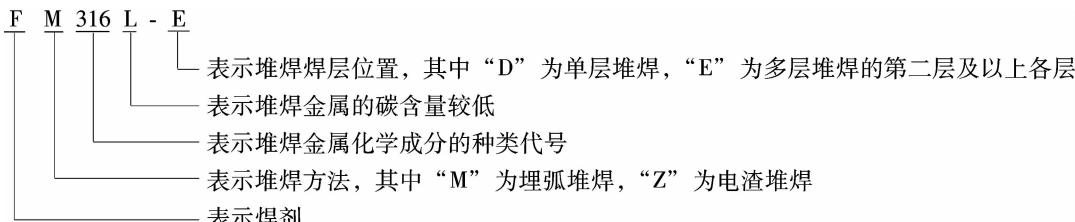
（五）堆焊用不锈钢焊带和焊剂

NB/T 47018. 5《堆焊用不锈钢焊带和焊剂》是国内第一个堆焊用焊带与焊剂标准。

焊带的型号示例如下：



焊带与焊剂组合后的堆焊金属型号示例如下：



承压设备用焊带型号有 EQ308, EQ308L、EQ309(A)、EQ309(B)、EQ309L(A)、EQ309L(B)、EQ309LMo、EQ316、EQ316L、EQ347、EQ347L、EQ309LNb、EQ385 十三种, 配合专用的堆焊焊剂形成十种堆焊金属型号 $F \times 308-E$ 、 $FZ308-D$ 、 $F \times 308L-E$ 、 $F \times 316-E$ 、 $FZ316-D$ 、 $F \times 316L-E$ 、 $F \times 347-E$ 、 $FZ347-D$ 、 $F \times 347L-E$ 、 $F \times 385-E$ 。耐蚀堆焊熔敷金属化学成分与堆焊方法、过渡层和耐蚀层焊带型号有关。根据产品要求决定焊带型号。

(六) 铝及铝合金焊丝和填充丝

NB/T 47018.6 《铝及铝合金焊丝和填充丝》是在 GB/T 10858 的基础上编制的, 型号表达方法与化学成分与 GB/T 10858 基本相同, 就是焊丝与填充丝用“ER”表示, 增加了熔敷金属的弯曲试验, 增加了焊丝的熔敷金属射线检测和填充丝平板堆焊焊道检测, 批量等级按 NB/T 47018.1 规定; 包装和质保书上增加本标准焊材标志。

(七) 钛及钛合金焊丝和填充丝

NB/T 47018.7 《钛及钛合金焊丝和填充丝》在 GB/T 3623 的基础上编制的, 提高了焊丝本身的化学成分, 杂质元素限定更严, 牌号表示不同; 增加了熔敷金属的弯曲试验, 增加了焊丝的熔敷金属射线检测, 批量等级按 NB/T 47018.1 规定, 包装和质保书上增加本标准焊材标志。

六、焊接材料选择的基本原则

(一) 焊件材料的力学性能及化学成分

(1) 等强度 等强度是指所选用的焊接材料熔敷金属的抗拉强度与被焊母材金属的抗拉强度相等或相近, 这是焊接钢结构最常用最基本的原则。

(2) 等韧性 等韧性是指所选用焊接材料熔敷金属的韧性与焊件金属的韧性相等或相近。在焊接高强度钢结构时, 从实际使用情况看, 这种结构的破坏往往不是强度不够, 而是韧性不足, 导致产生裂纹或脆断。因此往往选择用熔敷金属强度等级略低于母材金属, 而韧性相等或相近的焊接材料。这就是高强度钢焊接时所说的“低组配等韧性”接头形式。

(3) 等成分 等成分是指熔敷金属的化学成分符合或接近母材金属, 这是不锈钢和耐热钢焊接时选择焊接材料的原则。

(4) 化学成分 当被焊材料的焊接性较差或碳、硫、磷等有害杂质含量较高时, 应选用抗裂性好的焊条, 如同等强度的低氢型焊接材料。

(二) 考虑焊件的工作条件和使用性能

(1) 承受动载荷或冲击载荷 焊件在承受动载荷或冲击载荷的情况下, 焊缝金属不仅应保证足够的抗拉强度和屈服强度, 而且对冲击韧性和塑性有较高要求, 此时应首先选用具有优良韧

性和塑性的低氢型焊接材料。

(2) 焊件在腐蚀条件下工作 应该根据介质的种类、浓度、工作温度、腐蚀类型等选用相应的不锈钢焊接材料。

(3) 承受磨损时 焊件在有磨损的条件下工作时, 应根据磨损的性质(如金属间磨损、冲击磨损、磨粒磨损等)、工作温度或腐蚀介质等来选用适宜的堆焊材料。

(4) 工作温度 处在高温或低温下工作的焊件, 根据焊件所处的工作温度不同, 选择相应的焊接材料, 以保证在高温或低温时的力学性能, 即选用适宜的耐热钢或低温钢焊接材料。

(三) 焊件的复杂程度及刚度的大小

(1) 焊件的形状及刚度 对形状复杂、厚度大、刚度大的焊件, 在焊接过程中, 冷却速度快, 收缩应力大, 易产生裂纹, 在选用焊材时, 应选用抗裂性能好、韧性好、塑性高、含氢量低的焊材, 如低氢型焊条、超低氢型焊条或高韧度焊条等。

(2) 焊接部位的限制 当焊件的焊接部位不能翻转时, 应选用适于全位置焊接的焊条。

(3) 受工作条件限制 某些焊接部位难以清理干净时, 应尽量选用氧化性强, 对水、锈、油等脏物不敏感的酸性焊材。

(4) 施焊工作条件 在实际生产中, 往往还应根据设备条件和生产现场的工作条件来合理选择焊接方法及焊接材料。如没有直流焊机时, 需选用可交/直流两用的焊条。焊后不能进行热处理消除应力的, 可选用与母材成分不同, 但抗裂性好的焊条。如珠光体型耐热钢焊接时选用奥氏体型不锈钢焊材。避免焊后热处理, 但应考虑到使用温度下两者线膨胀系数不同带来的影响。在密闭容器内或通风不良的现场进行焊接时, 应尽量选用低尘低毒的碱性焊条。在特殊条件下施焊如水下焊接, 应选用水下焊条等。

(四) 生产效率和经济性

对焊接工作量大的结构, 在可能的条件下, 应尽量选用高效率的焊接方法和焊材。焊条电弧焊可以选用高效率的焊条, 如铁粉焊条、重力焊条等。这不仅有利于生产效率的提高, 而且也有利于焊接质量的提高和稳定。

第三章 焊接方法、设备与工艺

第一节 焊接方法的分类和选用

金属焊接是指通过加热或加压或两个同时作用，使两个分离的金属物体（同种金属或异种金属）产生原子（分子）间的结合而连成一体的连接方法。在各种金属产品制造工业中，焊接是一种重要的加工工艺。焊接不仅可以解决各种钢材的连接，而且还可以解决铝、铜、钛、镍等有色金属及锆等难熔金属材料的连接。

一、焊接方法的分类

焊接方法按族系法分为熔焊、压焊、钎焊三大类。其中熔焊又分为电弧焊、气焊、铝热焊、电渣焊、电子束焊、激光焊；压焊分电阻对焊、电阻点（缝）焊、冷压焊、超声波焊、爆炸焊、锻焊、扩散焊；钎焊分火焰钎焊、感应钎焊、炉中钎焊、盐浴钎焊、电子束钎焊。电弧焊分焊条电弧焊、埋弧焊、熔化极电弧焊、非熔化极电弧焊、等离子弧焊、螺柱焊等；气焊分氢氧焊、氧乙炔焊、液化气（煤气）焊。本章重点介绍常用电弧焊焊接方法。

二、焊接方法的选择

选择焊接方法时，必须符合以下要求：能保证焊接产品的质量优良可靠，生产率高，生产费用低，能获得较好的经济效益。影响这几方面的因素概括如下。

（一）产品结构特点

1. 产品结构类型

焊接的产品按结构大致分为四类：结构类、机械零件类、半成品类、微电子类。这些不同结构的产品由于焊缝的长短、形状、焊接位置等各不相同，适用的焊接方法也不同。

结构类产品中规则的长焊缝和环焊缝宜用埋弧焊和熔化极电弧焊。焊条电弧焊用于打底焊和短焊缝的焊接。机械类产品接头一般较短，根据其准确度要求，选用熔化极电弧焊（一般厚度）、电渣焊、气电焊（厚件）、电阻焊（薄件）、摩擦焊（圆形断面）或电子束焊（高精度）。半成品的产品规则的选用埋弧焊、熔化极电弧焊、高频焊。微型电子器材的接头主要要求密封、导电性、受热程度小等，宜用电子束焊、激光焊、超声波焊、扩散焊、钎焊和电容储能焊。

对于不同结构的产品通常有几种焊接方法可选择，因此还要综合考虑产品的其他特点。

2. 工件厚度

工件厚度可在一定程度上决定所用的焊接方法。每种焊接方法由于所用的热源不同，都有一定的适用范围，在推荐的厚度范围内焊接，较易控制焊缝的质量和保持合理的生产率。推荐的各种焊接方法的厚度范围如图 3-1 所示。

3. 接头形式和焊接位置

根据产品的使用要求和所用母材的厚度及形状，设计的产品可采用对接、搭接、角接等几种类型的接头形式，其中对接形式适用于大多数焊接方法。钎焊一般只适用于连接面积比较大而材料厚度较小的搭接接头。

产品中各个接头的位置往往根据产品的结构要求和受力情况决定。这些接头可能需要在不同

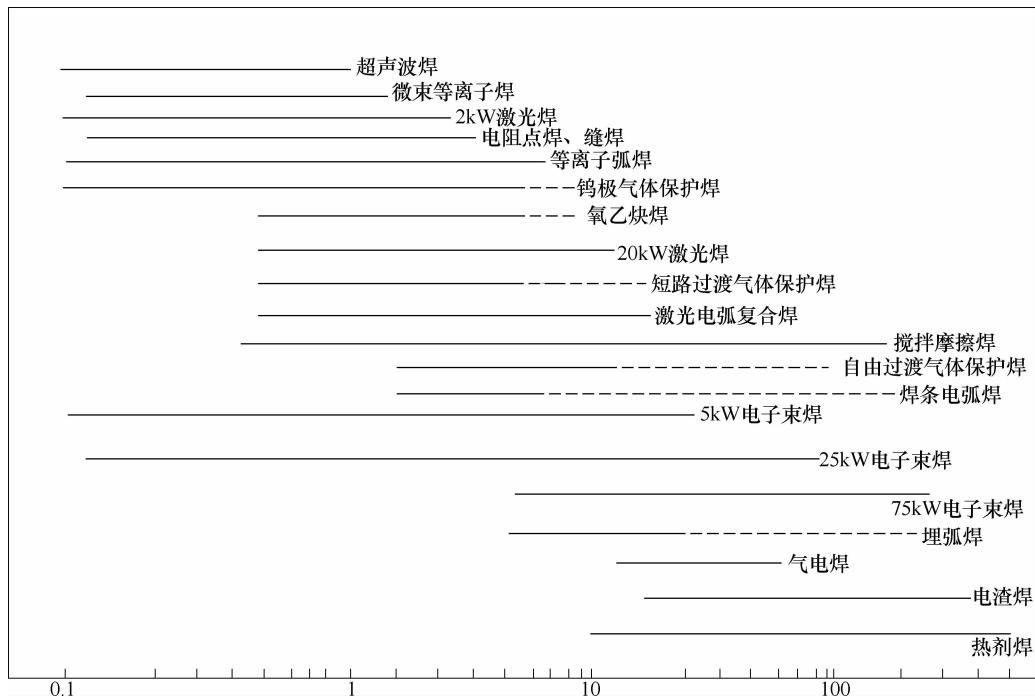


图 3-1 各种焊接方法的厚度范围 (对数刻度, 虚线表示多道焊)

的位置焊接，包括平焊、横焊、立焊、仰焊及全位置焊接等。平焊是最容易、最普遍的焊接位置，使产品接头尽可能处于平焊位置，既能保证良好的焊接质量，又能获得较高的生产率，可选用埋弧焊和熔化极电弧焊。立焊薄板时选用熔化极电弧焊，中厚板选用气电焊，超过 30mm 时采用电渣焊。

4. 母材性能

(1) 母材的物理性能 母材的导热、导电、熔点等物理性能直接影响其焊接性及焊接质量。如铜、铝及其合金，应选用热输入大，具有较高焊透能力的焊接方法。

(2) 母材的力学性能 被焊材料的强度、塑性、硬度等力学性能会影响焊接过程的顺利进行。如铝、镁一类塑性温度区比较窄的金属，不能用电阻焊，而低碳钢就可以。

另一方面，各种焊接方法对焊接金属及热影响区的金相组织及其力学性能的影响程度不同，因此会不同程度地影响产品的使用性能。选择的焊接方法还要便于通过控制热输入从而控制熔深、熔合比和热影响区以获得力学性能与母材相近的焊接接头。如电渣焊、埋弧焊时，由于热输入较大，使焊接接头的冲击韧性降低。

(3) 母材的冶金性能 由于材料的化学成分直接影响了它的冶金性能，从而也影响了材料的焊接性。普通的碳钢和低合金钢由于合金元素比较少，含碳量又低，一般的电弧焊均可采用。对于铝、镁及其合金等活泼的有色金属材料不宜选用 CO₂ 焊、埋弧焊，而选用惰性气体保护焊如钨极氩弧焊、熔化极氩弧焊等。对于不锈钢可采用焊条电弧焊、氩弧焊、埋弧焊等，特别是氩弧焊，由于其保护效果好，更能满足不锈钢耐蚀性的要求。对于钛、锆等难熔金属，由于其气体溶解度较高、焊后容易变脆，因此采用真空电子束焊为最佳。

另外，一些合金元素较多的金属材料采用不同的焊接方法使焊缝有不同的熔合比，影响了焊缝的化学成分及其性能。如高淬硬性的金属宜采用冷却速度较慢的焊接方法和焊前预热，淬火钢

不宜采用电阻焊。对于冶金相容性较差的异种金属可采用非液相相接的焊接方法，如钎焊、扩散焊、爆炸焊。

(二) 生产条件

在选择焊接方法用来制造具体产品时，要顾及制造厂家的设计及制造的技术条件和焊工的操作技术水平，以及所用的焊接设备和焊接材料。

三、常用电弧焊焊接方法的适用范围

常用电弧焊焊接方法有焊条电弧焊、埋弧焊、熔化极惰性气体保护焊 (MIG)、CO₂ 焊 MAG 中的一种、非熔化极惰性气体保护焊 (TIG)、等离子弧焊等，它们的特点与适用范围见本章的相应部分。常用材料与常用电弧焊焊接方法的适用范围见表 3-1。

表 3-1 常用材料与常用焊接方法的适用范围

材料	厚度/mm	电弧焊焊接方法						
		焊条 电弧焊	埋弧焊	熔化极气体保护焊			药芯焊丝 电弧焊	非熔化极 气体保护焊
				射流过渡	脉冲弧	短路过渡		
碳钢	≤3	△	△	—	△	△	—	△
	3~6	△	△	△	△	△	△	—
	6~19	△	△	△	△	—	△	—
	19 以上	△	△	△	△	—	△	—
低合金钢	≤3	△	△	—	△	△	—	△
	3~6	△	△	△	△	△	△	—
	6~19	△	△	△	△	—	△	—
	19 以上	△	△	△	△	—	△	—
不锈钢	≤3	△	△	—	△	△	—	△
	3~6	△	△	△	△	△	△	△
	6~19	△	△	△	△	—	△	—
	19 以上	△	△	△	△	—	△	—
镍与镍合金	≤3	△	—	—	△	△	—	△
	3~6	△	△	△	△	△	—	△
	6~19	△	△	△	△	—	—	△
	19 以上	△	—	△	△	—	—	—
铝与铝合金	≤3	—	—	△	△	—	—	△
	3~6	—	—	△	△	—	—	△
	6~19	—	—	△	—	—	—	△
	19 以上	—	—	△	—	—	—	—
钛与钛合金	≤3	—	—	—	△	—	—	△
	3~6	—	—	△	△	—	—	△
	6~19	—	—	△	△	—	—	△
	19 以上	—	—	△	△	—	—	—

(续)

材料	厚度/mm	电弧焊焊接方法						
		焊条 电弧焊	埋弧焊	熔化极气体保护焊			药芯焊丝 电弧焊	非熔化极 气体保护焊
				射流过渡	脉冲弧	短路过渡		
铜与铜合金	≤3	—	—	—	△	—	—	△
	3~6	—	—	△	△	—	—	△
	6~19	—	—	△	—	—	—	—
	19以上	—	—	△	—	—	—	—
镁与镁合金	≤3	—	—	—	△	—	—	△
	3~6	—	—	△	△	—	—	△
	6~19	—	—	△	△	—	—	—
	19以上	—	—	△	△	—	—	—
难熔金属	≤3	—	—	—	△	—	—	△
	3~6	—	—	△	△	—	—	△
	6~19	—	—	—	—	—	—	—
	19以上	—	—	—	—	—	—	—

注：△表示适用。

第二节 焊接设备——弧焊电源

焊接设备指实现焊接工艺所需要的焊接能源设备、实施焊接操作的装置的总称。它按热源的种类分为电弧焊设备、火焰焊接设备、电阻焊设备及其他焊接设备。焊接设备中电弧焊机型号编制方法见 GB/T 10249，本节仅介绍焊接设备中电弧焊设备的主电源，对常见电弧焊设备的其他相关内容见本章相应部分。

一、弧焊电源基础知识

供给焊接电弧能源，并具有适宜于电弧焊电气特性的设备，称为弧焊电源。电弧是所有电弧焊方法的热源，电弧能否稳定燃烧除取决于焊接材料、焊接参数之外，还决定于弧焊电源的特性。

(一) 弧焊电源的工艺要求

- 1) 引弧容易。
- 2) 电弧稳定。
- 3) 焊接参数稳定。
- 4) 足够宽的焊接参数调节范围。

(二) 弧焊电源的外特性

弧焊电源的外特性分三段：短路、工作段、空载段。有三种形式：下降特性（陡降或称恒压、缓降）、平特性（或称恒流）和上升特性。为保证电源-电弧系统的稳定性和焊接时焊接参数的稳定，应根据电弧静特性工作段的形状等条件来选择弧焊电源的外特性。

焊条电弧焊，电弧静特性工作段在水平段上，采用下降外特性电源便满足系统稳定性要求，熔化极弧焊包括埋弧焊、混合气体保护焊，不仅要根据其电弧静特性工作段的形状，而且还要考虑送丝的方式来选择弧焊电源的外特性工作部分的形状。

熔化极弧焊等速送丝 CO₂/MAG/MIG 或细丝（直径小于等于 3mm）直流埋弧焊电弧静特性

工作段是上升的，配合电源的外特性为下降、平、微升都能满足电源-电弧系统的稳定条件。熔化极弧焊变速送丝，通常埋弧焊粗丝（直径大于3mm）和一部分MIG，电弧静特性工作段是平的，配合电源的外特性为下降。

非熔化极弧焊：钨极氩弧焊、等离子弧焊、非熔化极脉冲弧焊电弧静特性工作段是平、微升的，配合电源的外特性为下降。

熔化极脉冲弧焊一般采用等速送丝利用电弧-电源系统的自身调节来稳定焊接参数，维弧阶段和脉冲阶段分别作用于两条电弧外特性上，根据不同的焊接工艺的要求，维弧阶段和脉冲阶段的工作点可以分别作用于恒电压和恒电流特性段，或者任意组合，即可控外特性。

（三）弧焊电源的动特性

弧焊电源动特性指焊接电弧负载状态发生突然变化时，输出电流和输出电压瞬变的快速反应能力。体现在空载、短路与负载三过程；判断动特性的好一般指引弧和重新引弧容易，焊接过程电弧稳定、飞溅少。

（四）弧焊电源的调节特性

弧焊电源应能满足不同的工作电流和电压的需求，并具有可调性，可通过弧焊电源的外特性调节来体现。电弧电压和电流是由电弧静特性和外特性相交的一个稳定工作点决定的，对于一定的弧长，只有一个稳定工作点。因此，为了获得一定范围内所需的电流和电压，弧焊电源外特性必须均匀可调，以便与电弧静特性曲线在许多点相交，并得到一系列的稳定工作点。对电源外特性的调节，有改变等效阻抗和改变空载电压两种方式。焊条电弧焊为改变等效阻抗方式，电弧电压一般保持不变，只调节焊接电流。埋弧焊为改变空载电压方式，电流电压应同时调节。

（五）弧焊电源的空载电压

弧焊电源对空载电压的要求：引弧容易，电弧稳定燃烧，又保证电弧功率稳定，有良好的经济性，并保证必要的人身安全。故一般空载电压是焊接电弧电压1.5~4倍，且不超过100V。在特殊用途中超过100V时，必须备有防触电装置。焊条电弧焊过程中，在频繁地引弧和熔滴短路时，维持电弧稳定燃烧的工作电压是20~30V，焊条正常引弧电压是55V以上。焊接电源的空载电压见表3-2。

表3-2 焊接电源的空载电压

焊条 电弧焊	变压器	≤80V	钨极 氩弧焊	手工	交流 70~90V	CO ₂ 焊	半自动≤90V
	整流器	≤85V			直流 65~80V		
	发电机	单头≤100V		自动	交流 70~100V	埋弧焊	
		多头 = 60V			直流 65~100V	70~90V	

（六）适当的短路电流

陡降外特性应具有适当的短路电流，对一般下降特性的弧焊电源规定短路电流为焊接电流值的1.2~1.3倍，最大不得超过1.5倍。

对有些焊条电弧焊，为了使电弧容易引燃和加大熔滴过渡时的推力，希望稳态短路电流大些，在电弧电压降到一定值（10~15V左右）之后转入外拖段选用恒流（或陡降）带外拖的外特性弧焊电源。

（七）弧焊电源的负载持续率和额定电流

弧焊电源的一个特点是断续工作，负载持续率表示弧焊电源工作状态的参数。焊接时间长、休息时间短，负载持续率高，弧焊电源升温大，反之，弧焊电源升温小。弧焊电源的额定电流是额定负载持续率条件下允许的最大输出电流，降低焊接电流可以提高负载持续率；反之，降低负载持续率可以提高实际允许的焊接电流。实际负载持续率公式：

$$\text{负载持续率} = \frac{\text{在工作周期内弧焊电源有负载的时间}}{\text{工作周期}} \times 100\%$$

弧焊电源工作持续的时间与周期时间的比值为负载持续率，工作周期包括负载持续时间与休息时间。在 GB/T 8118 中规定周期为 10min 或连续。负载持续率额定定级按国家标准规定有 20%、35%、60%、80%、100% 五种。焊条电弧焊电源：普通型 60%，轻便型：35%、20%。自动或半自动焊电源：100%、80%、60%。用户根据生产实际情况在订货合同上注明。

实际许用电流与实际负载持续率和额定负载持续率和额定焊接电流间关系：

$$\text{实际焊接电流} = \text{额定焊接电流} \times \sqrt{\frac{\text{额定负载持续率}}{\text{实际负载持续率}}}$$

例如，已知一弧焊电源的额定负载持续率为 60%，输出的额定焊接电流为 500A，可按上式算出实际负载持续率的允许电流，不同负载持续率下的允许焊接电流见表 3-3。

表 3-3 不同负载持续率下的允许焊接电流

负载持续率(%)	35	60	80	100
允许电流/A	655	500	433	387

二、弧焊电源分类

(一) 按输出电流的种类

弧焊电源按输出电流的种类可以分为交流弧焊电源、直流弧焊电源、脉冲弧焊电源三种。

(二) 按电源外特性的控制技术

弧焊电源按电源外特性的控制技术分为机械式调节型弧焊电源、电磁控制型弧焊电源、电子控制型弧焊电源和数字式控制四类。

(1) 机械式调节型弧焊电源 包括动铁式、动圈式、抽头式弧焊变压器。动铁式、动圈式、抽头式、滑动调节式弧焊整流器和单相整流式脉冲弧焊电源。

(2) 电磁控制型弧焊电源 包括串联饱和电抗器式、磁放大器式和磁放大脉冲，电动机式发电机和内燃机式（汽柴油）发电机。

(3) 电子控制型弧焊电源 有整流、逆变弧焊电源。

1) 整流弧焊电源有移相式的包括串联饱和电抗器式和磁放大脉冲弧焊电源。有模拟式包括模拟式晶体管和模拟式晶体管脉冲弧焊电源。有开关式的包括电力电子开关式、数字开关式、逆变式晶闸管矩形波交流弧焊电源。

2) 逆变弧焊电源分为晶闸管、晶体管、场效应管、IGBT 管等形式。

(4) 数字式弧焊电源有单片机、ARM 和 DSP 控制等。

三、常见弧焊电源

(一) 弧焊变压器

弧焊变压器是一种特殊的降压变压器，由铁心和一次、二次相隔离的绕组组成主变压器，配合所需的调节装置、指示装置和风冷装置（必要时）等组成，与一般电力变压器不同的是，弧焊变压器必须有较大的漏感，才能保证电弧稳定燃烧和得到所需的外特性。适用于 SMAW、SAW、TIG 的焊接。根据获得下降外特性的方法不同可分为串联电抗器式、增强漏磁式。

1. 串联电抗器式

由正常漏磁的变压器（外特性是平的）、串联电抗器（带线圈的铁心）构成，按结构不同又分为：

(1) 分体式 变压器和电抗器是两个独立的个体。单站式 BN 系列(已停产)和 BP—3×500 型多站式弧焊变压器属于此类。

(2) 同体式 变压器与电抗器铁心组成一体，两者之间不但有电的串联，还有磁的联系，其线路结构如图 3-2 所示。BX2 系列弧焊变压器属于此类。易做成大、中容量供焊条电弧焊、埋弧焊、SAW 使用。此类焊机属于电磁控制型弧焊电源。

2. 增强漏磁式

这类变压器人为增大自身的漏抗，不必再串联单独的电抗器。按增强和调节漏磁的方法又可按如下分。

(1) 动铁心式 在一次、二次绕组间设置有可移动铁心的磁分路，以增强和调节漏磁，其结构如图 3-3 所示。BX1 系列弧焊变压器属于此类。

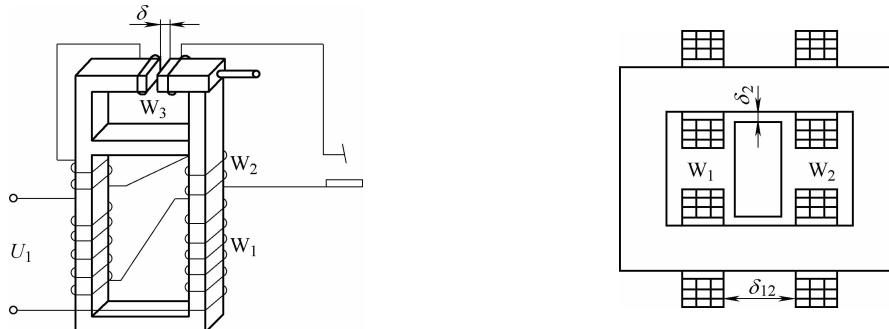


图 3-2 同体式弧焊变压器线路结构

图 3-3 动铁心式弧焊变压器结构

(2) 动圈式 通过增大一次、二次绕组之间距离来增强漏磁，通过改变绕组之间距离进行调节，其结构如图 3-4 所示。BX3 系列弧焊变压器属于此类。

(3) 抽头式 将一次、二次绕组分别绕在不同心柱上，同时进行不同程度的分置来增加和调节漏磁。通过绕组抽头，改变一、二次绕组的绕组匝数来调节漏抗，其线路结构如图 3-5 所示。BX6 型弧焊变压器属于此类。

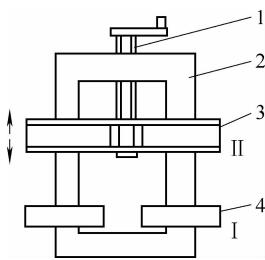


图 3-4 动圈式变压器结构

1—调节丝杆 2—铁心 3—二次绕组 4—一次绕组

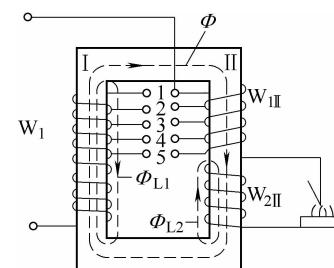


图 3-5 抽头式弧焊变压器线路结构

(二) 直流弧焊发电机

直流弧焊发电机分两种，一种是以电动机驱动发电机，电动机与发电机同轴共壳组成一体化结构。另一种是柴油或汽油发电机，可组装成汽车式，用汽车的发动机驱动一台或两台发电机。如 AXQ2-2×250 焊机。其优点是电弧稳定、焊接电流受电网影响小、过载能力强，柴油或汽油发电机特别适用野外无电网场合，但由于造价高、噪声大、耗电和空载损耗大等缺点，电动机驱动的弧焊发电机目前已基本停止生产。新型内燃驱动弧焊发电机以柴油或汽油发动机为原动机，驱动发电机工作，通过电子控制调节可以获得平或下降外特性电源，不仅用于直流焊接，也用于

交流和脉冲焊接。新型内燃驱动弧焊发电机外形如图 3-6 所示。

直流弧焊发电机为了获得下降外特性（发电机本身为平特性），可通过在电路中串联镇定电阻和改变磁极磁通去磁来实现，串联镇定电阻有多站式弧焊发电机如 AP 系列。改变磁极磁通去磁主要有差复励式 AX1 系列（串联绕组去磁）、换向极式 AX4 系列（换向极去磁）和裂极式 AX 系列（电枢反应去磁）三种。

（三）硅弧焊整流器

硅弧焊整流器是把交流电经降压整流后获得直流电的弧焊电源。它由主变压器、电抗器、半导体整流元件（整流器）、获得所需外特性的调节机构、冷却风扇和仪表等组成，基本原理如图 3-7 所示。输出电抗器是接在直流焊接回路中的一个带铁心并有气隙的线圈，其作用主要是改善硅弧焊整流器的动特性和滤波。根据有无电抗器分为有电抗器硅整流器和无电抗器硅整流器。

1. 无电抗硅整流器

无电抗器硅整流器按主变压器的结构不同分为正常漏磁和增强漏磁。正常漏磁电源外特性是平的，按调节空载电压的不同分为抽头式、辅助变压器式和调压式。增强漏磁，无需外加电抗器即可获得下降外特性。按增强漏磁的方法不同分为动铁心式、动线圈式。

（1）无电抗器正常漏磁硅整流器—抽头式弧焊整流器和输出电抗器组成。主变压器是正常漏磁的一般降压变压器，漏抗很小，可获得近于水平的外特性。为了调节输出电压，在一次绕组上设置的许多抽头改变一次绕组匝数进行调节，其线路如图 3-8 所示。其特点是结构简单、节省材料，易于制造，使用可靠，但具有平特性有时难以引弧。在抽头式弧焊整流器中输出电抗器必不可少，输出电抗器用来控制短路电流增长速度和减少飞溅。这种焊机主要适用于细丝 CO₂ 焊和其他混合气体保护焊。

（2）无电抗器增强漏磁硅整流器

1) 动铁心式弧焊整流器。动铁心式弧焊整流器由三相铁心式主变压器、硅整流元件组及输出电抗器等组成。动铁心在三柱式铁心窗口移动，改变漏磁，获得下降外特性。由于三相铁心式主变压器制造比较复杂，难以保证三相电压和电流平衡，多采用单相动铁心式弧焊变压器，并用输出电抗器滤波，焊机型号如 ZX-320。

2) 动线圈式弧焊整流器。它主要由增强漏磁的三相动线圈弧焊变压器和三相桥式整流器组成，如图 3-9 所示。调节一、二次绕组间的距离可改变漏抗大小获得下降外特性。由于它结构和线路简单，动特性很好，飞溅较小，一般可不用输出电抗器。焊机型号有 ZXG1-250、ZXG6-300 等，适用焊条电弧焊、TIG 和等离子弧焊。



图 3-6 新型内燃驱动弧焊发电机外形

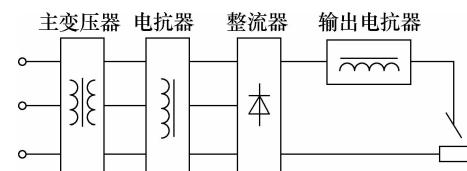


图 3-7 硅整流弧焊电源基本原理

抽头式弧焊整流器由主变压器、整

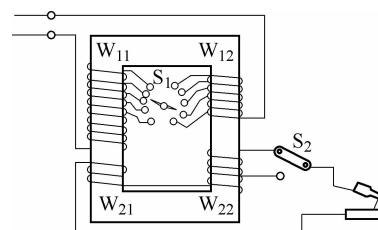


图 3-8 抽头式弧焊整流器变压器线路

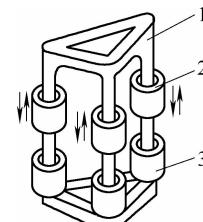


图 3-9 动线圈式弧焊整流器变压器
1—变压器铁心 2—二次绕组 3—一次绕组

2. 有电抗硅整流器

有电抗器硅整流器根据电抗器有无反馈分为无反馈、部分反馈、全部内反馈磁放大器式硅整流器三种。无反馈磁放大器式电源外特性为垂直陡降外特性，焊机型号如 ZHG7—300，适用焊条电弧焊和 TIG。全部内磁放大器式电源外特性为平外特性，焊机型号如 ZPG—500—1，适用于细丝 CO₂ 焊和其他混合气体保护焊。部分反馈磁放大器式电源外特性为缓降外特性，其原理如图 3-10 所示。焊机型号如 ZHG—400，适用焊条电弧焊和 TIG，同时兼有平、缓降多特性，适用焊条电弧焊、埋弧焊和 CO₂ 焊。

3. 交直流两用硅弧焊整流器

交直流两用硅弧焊整流器既可以输出直流电，也可以输出交流电，具有下降外特性，是焊条电弧焊和钨极氩弧焊的一种两用电源，用来焊接碳钢、不锈钢及铝、钛等有色金属。基本电路如图 3-11 所示，其中 T 是具有下降特性的交流弧焊变压器，UR 是单相桥式整流器，L_k 是电抗器。

用直流 (DC) 焊接时，把交流 (AC) 输出端 1、2 短接，从直流输出端提供焊接电流。

用交流 (AC) 焊接时，把直流 (DC) 输出端短接，从 1、2 两端输出交流电。此时由于电抗器 L_k 的串入，而且 L_k 总是通直流电，对电流有滤波作用，因而使焊接电流呈梯形波。如图 3-12 所示，波形 1 为普通交流焊接波形，波形 2 为接近梯形波的焊接电流波形。过零点附近的时间很短，故容易再引弧，又因焊接电流半波接近于恒定直流，所以电弧较稳定。国内外都有这种交直流两用式硅弧焊整流器。国产型号包括 ZHG3—300 型、ZHG9—150/300/500 型等。

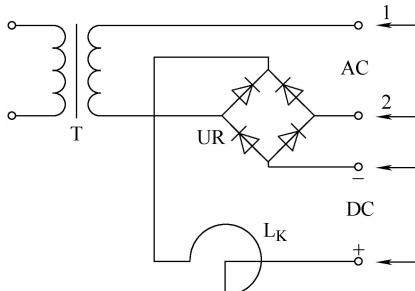


图 3-11 交直流两用硅弧焊整流器基本电路

(四) 晶闸管式弧焊整流器

主电路由降压主变压器 T、晶闸管整流器 UR 和输出电抗器 L_k 等组成，AT 为晶闸管的触发电路，借助电子控制线路（包括反馈电路）以不同方式控制晶闸管导通角，得到所需的外特性。CB 为操纵保护电路。基本原理如图 3-13 所示。该弧焊整流器电磁惯性小，易控制，动特性灵敏、节能、噪声小、省料但电路较复杂。

1. 主电路的种类

为保证低电压、大电流，弧焊电源应具有一定的外特性，输出电流和电压值要有较宽的调节范围，波形连续，脉动小等特点。其主电路应为三相桥式半控、三相桥式全控、六相可控半波和带双反星可控四种整流电路。现就四种整流电路进行如下简单介绍。

1) 三相桥式半控电路只有三只晶闸管和三个触发单元，线路比较简单、可靠、经济和较易

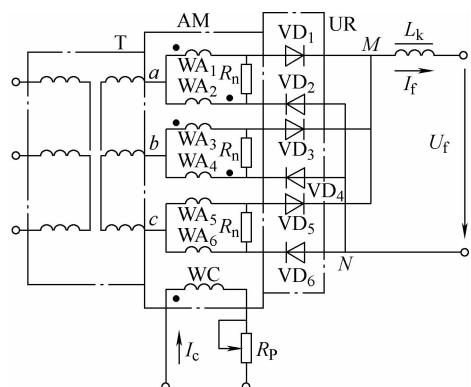


图 3-10 电阻内桥部分反馈磁放大器式弧焊整流器原理

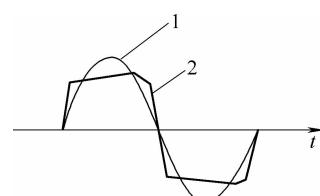


图 3-12 输出交流焊接电流波形
1—普通交流焊接波形 2—接近梯形波焊接电流波形

调试。主变压器也为普通三相降压变压器，易于制造。其主要缺点是调至低电压或小电流时，波形脉动较明显为满足要求，需配备大电感的输出电抗器，常见型号有 LHF—400。

2) 三相桥式全控电路输出电压每周有六个波峰，脉动小，配备的输出电抗器也较小。主变压器也为普通三相降压变压器，易于制造。其主要缺点是六只晶闸管和六个触发单元，线路复杂，调试和维修难度大。但这种电路在国内外广泛应用，常见型号有 GS—400ss 和 ZX5—400。

3) 六相可控半波电路与三相桥式全控整流电路一样，都是六只晶闸管，输出波形也一样。六相可控半波电路触发电路简单，每管一周内最多只导通 60° (三相桥式全控整流为 120°)；由于一管导电时其他管都休止，故变压器和晶闸管的利用率不高。

4) 带平衡电抗器的双反星可控电路相

当于两组三相半波整流电路，变压器和晶闸管的利用率比六相可控半波电路增加一倍。工作时两管并联同时导通，每管分担六分之一的负载电流；相同额定电流时比三相桥式半控电路中的晶闸管额定电流要小，很适合大电流低电压的场合。触发电路比三相桥式半控电路复杂，比三相桥式全控简单。优点是脉动小，配备的输出电抗器也较小。其主要缺点是需要平衡电抗器，制造时精度较高，且要求抽头两边线圈的整流电路的参数（变压器的匝数和漏感）应对称。常见型号有 ZDK—500。

2. 触发电路的种类和套数

触发电路的种类有单结晶体管触发电路、晶体管触发电路、集成触发器、程控单结晶体管触发电路、数字式触发电路五种。

触发电路的套数一般由主电路中的晶闸管数量决定。六只晶闸管可以用六套互不牵制的触发电路，但由于触发电路太多，各套电路参数难以做到完全一样，导致三相电路不平衡，容易产生故障。当采用带平衡电抗器的双反星可控电路晶闸管阳极电压刚好两两相反时，可用三套触发电路。晶闸管阳极电压刚好相同时（共阳极接法，各晶闸管在负半波导通），可用二套触发电路，由一套触发电路触发其中一组三相半波晶闸管。二套、三套触发电路六只晶闸管为如图 3-14、图 3-15 所示。

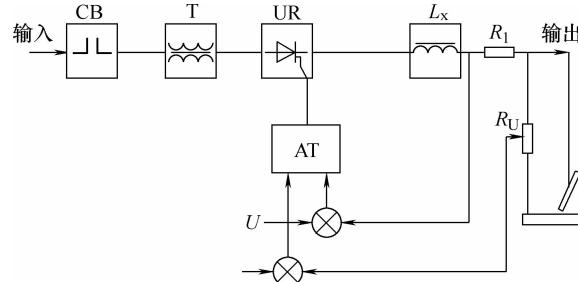


图 3-13 晶闸管弧焊整流器基本原理

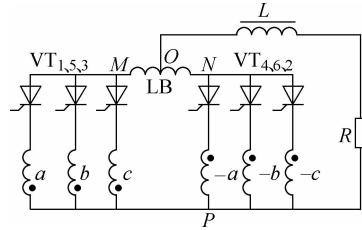


图 3-14 二套触发电路六只晶闸管

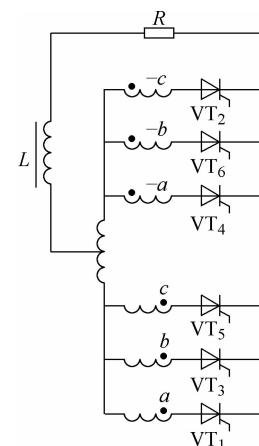


图 3-15 三套触发电路六只晶闸管

(五) 脉冲弧焊电源

脉冲弧焊电源按获得脉冲电流所用的主要器材不同分为：单相整流式脉冲弧焊电源、磁放大器电抗器式脉冲弧焊电源、晶闸管式脉冲弧焊电源、晶体管式脉冲弧焊电源和 IGBT 式脉冲弧焊电源。

1. 单相整流式脉冲弧焊电源

单相整流式脉冲弧焊电源，常用的有并联式、可调并联式和阻抗不平衡式三种。

(1) 并联式单相整流式脉冲弧焊电源 这是一种最为简单的脉冲弧焊电源。它用一台普通的直流弧焊电源提供基本电流，用另一台变压器有中心抽头的单相半波或全波整流器与其相并联，提供脉冲电流（图 3-16）。提供脉冲电流的单相变压器的二次电压通常仅为 35~45V，便可满足使用的要求。半波整流的脉冲电流频率为 50Hz。当开关 S 合上成为全波整流时，脉冲电流的频率为 100Hz。如果采用晶闸管整流，还可以调节内脉冲宽度，从而调节脉冲幅度，用以对脉冲电流进行细调。这种脉冲电源的结构简单，制作容易，基本电流和脉冲电流均可调节，使用可靠，成本低。但是，它的调节参数不多且会互相影响，所以它只适合于一般要求的脉冲弧焊工艺。

一般采用陡降特性的弧焊电源来提供基本电流，用平特性的整流器来提供脉冲电流。此外，必要时也可用其他外特性的电源搭配，这要根据弧焊工艺要求来确定。

(2) 可调并联式单相整流脉冲弧焊电源 它的工作原理与上述并联式单相整流脉冲弧焊电源基本上相同，其电路如图 3-17 所示。只是不用带中心抽头的变压器，而改用两台二次电压容量都不同的变压器各作为正负半周的交流电源交替工作。二次电压较高者提供脉冲电流，二次电压较低者提供基本电流。它们分别可调，互不影响，其电流波形如图 3-18 所示。由图 3-17、图 3-18 可见，当 u_1 与 u_2 数值不相等时，脉冲电流频率为 50Hz；当 u_1 与 u_2 数值相等时，脉冲电流频率为 100Hz，从而实现对脉冲电流频率的调节。两个电源都采用平特性。用于等速送丝熔化极脉冲弧焊时，电弧稳定，使用和调节方便。但是，它在制造上较前者复杂。

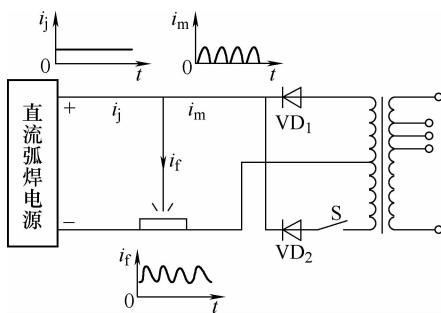


图 3-16 并联式单相整流脉冲弧焊电源

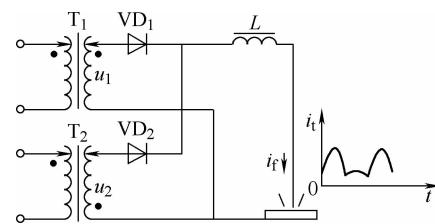


图 3-17 可调并联式单相整流脉冲弧焊电源电路

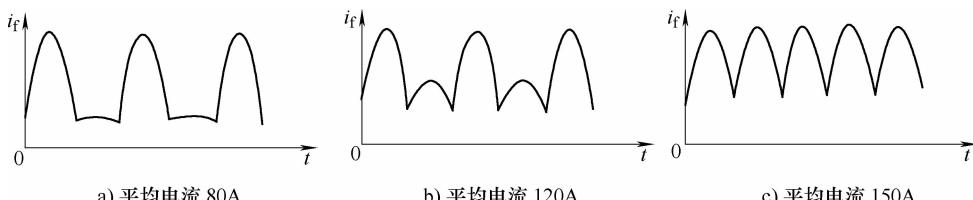


图 3-18 可调并联式单相整流弧焊电源的电流波形

2. 磁放大器式脉冲弧焊电源

(1) 基本原理与特点 磁放大器式脉冲弧焊电源的基本原理是采用主变压器二次三相电压不平衡、三相磁放大器交流阻抗不平衡，或者为磁放大器输入脉冲励磁电流等方法而获得脉冲电流。

- 1) 采用脉冲控制电流，如图 3-19a 所示。
- 2) 变换阻抗（阻抗不平衡），为达到三相输出不平衡，也可以使二次某相的电压增大或减小。图 3-19b 是通过使阻抗不平衡和三相电压不平衡，而获得脉冲电流的示意图。

磁放大器式脉冲弧焊电源的特点：

- 1) 脉冲电流和基本电流取自同一变压器，属一体式脉冲弧焊电源，结构简单、体积小。
- 2) 通过改变磁放大器的饱和程度，可在焊前或在焊接过程中无级调节电源的输出功率，调节参数容易，使用方便。
- 3) 这种脉冲电源可以方便地在磁放大器式弧焊整流器基础上实现，可做到一机多用。
- 4) 由于磁放大器的时间常数大，反应速度慢，使输出电流脉冲的频率受到限制。

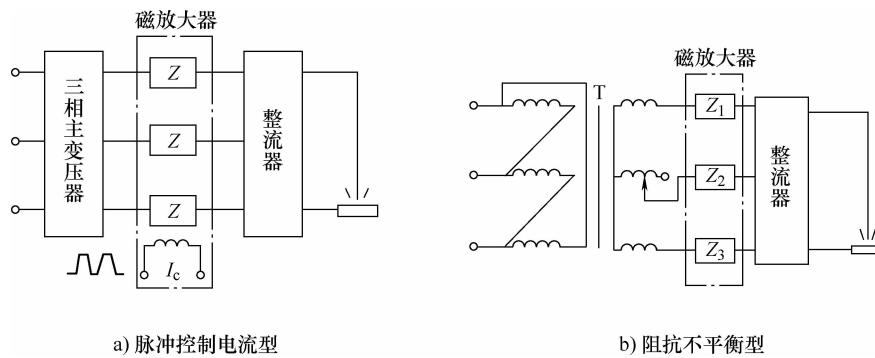


图 3-19 磁放大器式脉冲弧焊电源示意图

(2) 脉冲励磁控制磁放大器式脉冲弧焊电源 在磁放大器式弧焊整流器的控制绕组中，通低频脉冲控制电流，便可在主电路上获得脉冲电流，这就是脉冲控制电流型磁放大器式脉冲弧焊电源。

通常是给磁放大器的控制绕组施加以矩形波 U_c ，由其决定脉冲电流的幅值、频率和脉宽比，同时，改变与控制绕组串联的电阻值，可以调节控制回路的时间常数 L/R ，从而获得不同的电流上升率，以满足不同焊接工艺的要求，如图 3-20 所示。

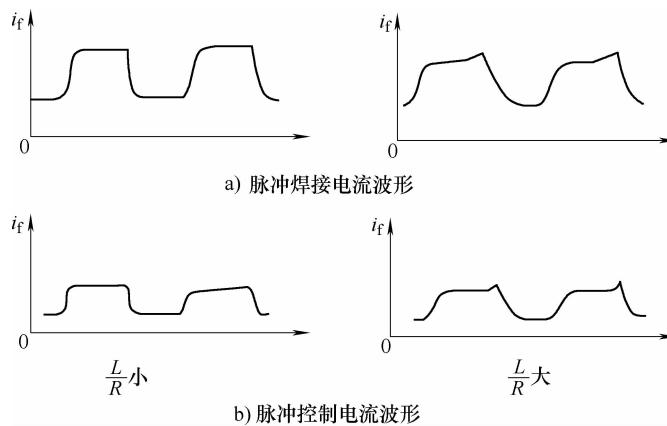


图 3-20 不同 L/R 时，脉冲控制电流和脉冲焊接电流的波形关系图

这种脉冲弧焊电源具有控制功率小, 结构简单, 波形和电流的调节方便等优点。但是, 磁放大器的时间常数大, 输出电流脉冲的频率受到限制, 一般在 10Hz 以下。它适合非熔化极气体保护焊的电源。

3. 晶闸管式脉冲弧焊电源

它按获得脉冲电流的方式不同, 分为晶闸管给定值式和晶闸管断续器式两类。前者的脉冲式给定电压为高幅值时, 主电路输出相应幅值的脉冲电流。当脉冲式给定电压为低幅值时, 主电路则输出与其相应的基本电流。晶闸管断续器式弧焊电源主要由直流弧焊电源和晶闸管断续器两部分组成, 晶闸管断续器在脉冲弧焊电源中起的作用从本质上说相当于开关。正是依靠这种开关作用, 把直流弧焊电源供给的连续直流电流, 切断变为周期性间断的脉冲电流。

4. 晶体管式脉冲弧焊电源

它的主要特点是在变压、整流后的直流输出端串入大功率晶体管组。依靠大功率晶体管组、电子控制电路与不同的闭环控制相配合, 从而获得不同的外特性和输出电流波形。

大功率晶体管组在主电路回路中起着两种作用, 一是线性放大, 二是电子开关的作用。根据晶体管组工作方式的不同, 常把前者称为模拟式晶体管式弧焊电源, 后者称为开关式晶体管式弧焊电源。

脉冲弧焊电源获得脉冲控制电流的电路有多种形式, 以晶体管脉冲电流控制电路和晶闸管式开关控制电路为常见。现介绍晶闸管式开关控制电路, 如图 3-21 所示。在磁放大器的控制绕组中串联入晶闸管式开关, 同样可以获得脉冲控制电流。

(六) 逆变式弧焊整流器

1. 逆变式弧焊整流器的组成和原理

弧焊逆变器是电子控制弧焊电源中的一种新形式。因而它的基本原理、主要组成与通常的电子控制弧焊电源相比在本质上说是相同的, 基本组成框图如图 3-22 所示。

弧焊逆变器由主电路、电子控制系统和反馈给定系统组成。主电路由供电系统、电子功率系统和焊接电弧等组成。反馈给定系统由检测电路、给定电路、比较放大器等组成。弧焊逆变器利用电子控制系统和电流电压反馈对电子功率系统进行闭环控制来获得所需的外特性和动特性, 以适用各种焊接方法。

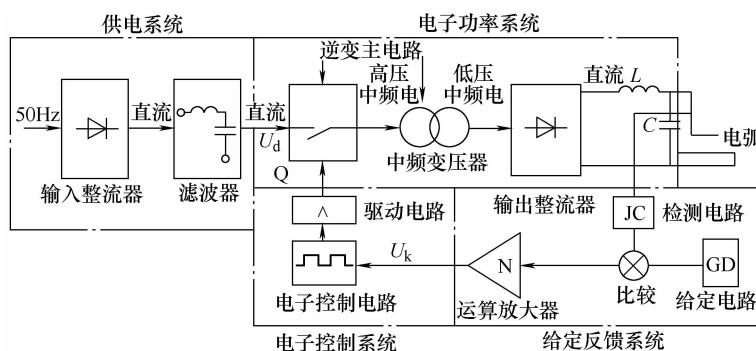


图 3-21 用于产生脉冲控制电流的晶闸管式开关控制电路

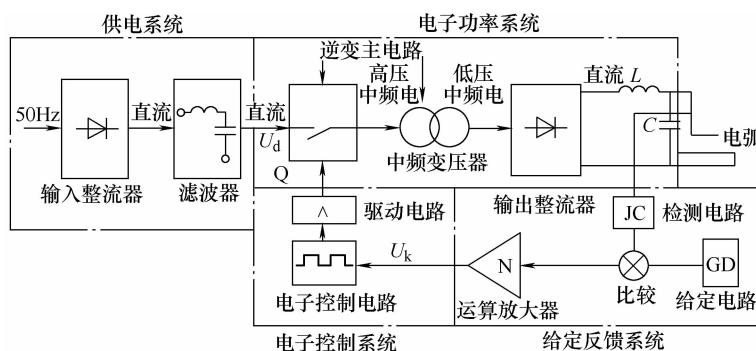


图 3-22 弧焊逆变器基本组成框图

逆变基本原理是将工频交流电（单相或三相）经整流后经逆变器转变为中高频（几百赫至几万赫）交流电之后再降压后输出交流电或直流电。其中控制电路的控制方法有定脉宽调频率、定频率调脉宽和混合调节三种。晶闸管式逆变器通过定脉宽调频率，改变晶闸管的开关频率来获得所需的外特性和波形，晶体管式、场效应管式和 IGBT 式弧焊逆变器通过定频率调脉宽来获得所需的外特性和波形。弧焊逆变器主电路逆变体制有三种 AC—DC—AC、AC—DC—AC—DC 和 AC—DC—AC—DC—AC（矩形波），常见的是第二种。

（1）逆变式弧焊电源的特点

- 1) 省料、质量轻、体积小。逆变频率的不同可使逆变式弧焊整流器质量减为传统焊机的 $1/5 \sim 1/10$ ，体积减至 $1/3$ ，特别适宜移动的场合。
- 2) 高效节能。效率可达 $80\% \sim 90\%$ ，功率因数可达 0.95 以上，节能明显。
- 3) 具有理想的电弧特性。电弧可控性好，外特性、动特性可按不同工艺水平来设计。电弧稳定性好，特别是交流矩形波逆变机。
- 4) 容易实现遥控和计算机控制，适合作为机械化焊接、自动化及弧焊机器人的配套电源使用。

弧焊变压器、弧焊整流器及逆变整流器的性能比较见表 3-4。

表 3-4 弧焊变压器、弧焊整流器及逆变整流器的性能比较

项目	弧焊变压器	弧焊整流器	逆变整流器
电弧稳定性	差	稳定	好
电网电压波动影响	差	较大	小
功率因数	低($0.3 \sim 0.6$)	较高($0.6 \sim 0.7$)	高($0.9 \sim 0.95$)
空载损耗/kW	大(0.2)	大($0.1 \sim 0.35$)	极小(0.01 以下)
效率(%)	低($30 \sim 60$)	较高($50 \sim 75$)	较高($80 \sim 90$)
磁偏吹影响	无	有	有
构造与维护	简单	较复杂	复杂
触电危险	较大	一般	较小
噪声	大	较小	极小
成本	低	较高	较高
重量	重	较重	极轻是变压器的 $1/10$

（2）逆变式弧焊整流器的分类 根据其采用大功率快速开关元件的不同分为晶闸管式、晶体管式、场效应管式和 IGBT 式弧焊逆变器四种。

晶闸管式存在开关速度慢、频率低、有噪声、控制不理想等缺点，但结构简单、容量也比较大，是 20 世纪 70 年代的产品。晶体管式频率有所提高，范围在 $1 \sim 20\text{kHz}$ 、容量大，但存在功率开关有二次击穿和控制功率大等缺点。场效应管式有更高开关速度、频率在 $50 \sim 100\text{kHz}$ 、不存在二次击穿、耐冲击电流大，控制功率小但管子容量小，需多管并联使用。IGBT 式集晶体管容量大与场效应管控制功率小、开关速度快的优点，容量更大（单管电流在 1000A 以上），频率固定在 $20 \sim 30\text{kHz}$ 间，是当前主流产品。

根据输出电流种类的不同，分为直流、交流和脉冲弧焊逆变器。

2. 矩形波交流弧焊逆变器

矩形波交流电弧不仅对焊铝及其合金具有特殊意义，而且由于它不存在直流偏吹，也可替代直流弧焊，用作碱性焊条等要求较高的场合。而过去是采用晶闸管、二极管和电抗器来获得交流

电弧，虽然也能满足弧焊工艺要求，但过零点的速度不很理想。过零点的速度会直接影响电弧的稳定性。大容量的 IGBT 的出现改善了这一状况。它的开关速度快，有利于过零点时电弧的稳定。IGBT 矩形波交流弧焊逆变器的原理如图 3-23 所示。实际上，它是由直流弧焊电源和 IGBT 式全桥逆变主电路组成。

直流弧焊电源可采用具有下降特性的晶闸管式、晶体管式、场效应管式和 IGBT 式等弧焊整流器，也可用弧焊逆变器，若采用弧焊逆变器，则为二次逆变。该电路极性和电流的调节是通过控制全桥逆变主电路中两组 IGBT 轮流导通、导通时间及其相对比例，就可使电弧获得频率可变，极性、电流比例可调的矩形波交流电流。矩形波交流弧焊电源的空载电压和焊接电流的调节、外特性的获得，均通过调节直流弧焊电源而实现。

四、弧焊电源的外部接线

弧焊电源的外部接线包括开关、熔断器、动力线和电缆线。弧焊变压器有两组接线柱，由变压器一次绕组引出的接线柱较细，通常是 2、3 个，应通过熔断器与电源开关接入电网。变压器二次绕组引出的接线柱较粗，应与焊钳及焊件相连。焊机入网时，必须与铭牌上的电源电压相吻合，是 220V 还是两相 380V，还是三相 380V。

弧焊整流器也有两组接线柱，需要注意的是，有风扇冷却的焊机应注意正反转，调整好输入侧三相 380V 的接法，看是否正确并及时调整。输出侧有正负标识的，应根据焊接方法、所焊材料和工艺调整焊钳和地线与其配对。

为防止触电，焊机导电外壳需接地。电源线应采用耐压 500V 的电缆线。导线截面可按允许电流密度 $5 \sim 10 \text{ A/mm}^2$ 计算。若采用铝芯导线，截面积应增大 1.6 倍。

五、弧焊电源的正确使用和维护

弧焊电源使用时，应注意以下几点：

1) 焊机应由电工接入电网，焊机接入电网后或进行焊接时，不得随意移动或打开机壳，焊机与电缆连接要牢固，防止因接触不良，烧坏接线柱。

2) 施焊前，应检查焊机运转是否正常，有冷却风扇的旋转方向是否正确，应按焊机的容量使用焊机，防止过载烧坏焊机。

3) 焊机发生故障时，应立即切断电源，对其进行检查和修理。

4) 焊接过程中，不准拉闸，离开工作现场应及时切断电源。

六、弧焊电源的发展

在 20 世纪 70 年代以前，国内承压设备的制造和安装单位所用的弧焊电源多是交流弧焊变压器和直流弧焊发电机。进入 80 年代后由于各种低合金高强度钢、耐热钢、低温钢、不锈钢在承压设备中应用日益增多，弧焊整流电源的应用逐渐增多。焊机的变化主要体现在以下四个方面：

1) 多种形式的弧焊整流器正在取代直流弧焊发电机，除了在无电网的野外施工采用内燃驱动（汽柴油机驱动的）弧焊发电机以外，电动机式弧焊发电机已逐渐淘汰。特别是晶闸管、晶体管、场效应管和 IGBT 管的逆变弧焊电源的出现、成熟和普及，新型电子弧焊电源成为今后主要发展方向。

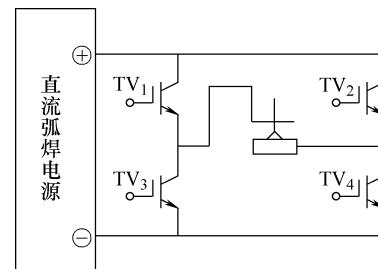


图 3-23 IGBT 矩形波交流弧焊逆变器的原理图

2) 半导体控制的矩形波交流弧源逐步代替传统的弧焊变压器，提高交流电弧的稳定性，扩大交流弧焊电源的应用范围。

3) 多种形式的脉冲弧焊电源的研制成功，进一步提高焊接质量、适应全位置和自动化焊接。

4) 精密控制的晶体管式、场效应管式弧焊电源配以微机控制和模糊、人工神经网络控制及专家系统，与机器人配套将使弧焊电源进入高效高性能和数字化阶段。

焊机控制技术的改进和发展主要体现在以下八个方面：

1) 单旋钮调节，即用一个旋钮就可以对电弧电压、电流和短路上升率等参数同时调节，并获得最佳配合。

2) 通过电子控制电路获得多种形状的外特性，以适应各种工艺的需要。

3) 提供多种电压、电流波形以满足某些弧焊工艺的特殊需要。

4) 低压小电流引弧在 TIG 焊引弧时空载电压只有 6V 或更低，引弧后工作电压迅速提高，避免短路引弧的钨污染和高频高压引弧对微机的干扰和对人体的损伤。

5) 焊接电流、电压测试系统的改进，从指针式的电流电压发展到数字式和具有监测报警功能的检测系统，还可以在焊前预置好，并把它显示出来。

6) 智能化控制：随着微机技术的发展出现了具有记忆预置焊接参数和焊接过程自动变换焊接参数等功能，使弧焊电源控制智能化。

7) 出现短路熔滴过渡波形控制，完善一元化技术。高精度控制脉冲 MIG 的多参数及优化匹配，扩大稳定工作调节范围。

8) 多个弧焊电源组合工作与协同控制，可实现双丝、三丝高效 MIG/MAG/脉冲焊/埋弧焊等新工艺。

第三节 焊接接头、坡口和焊缝

一、焊接接头

由两个或两个以上零件用焊接组合或已经焊合的接头，称为焊接接头。焊接接头包括焊缝区、熔合区和热影响区。

焊接接头形式主要有对接接头、T 形接头、角接接头、搭接接头四种。其次还有十字接头、塞焊搭接接头、槽接接头、端接接头、卷边接头、锁底接头等，如图 3-24 所示。

选择接头形式时，主要根据产品的结构，并综合考虑受力条件、加工成本等因素。如对接接头具有受力均匀、节省材料和应力最小等优点，应用最多。其次是 T 形接头、角接接头和搭接接头。搭接接头疲劳强度差，只用于不重要的结构。

二、坡口

坡口是根据设计或工艺的需要，在工件的待焊部位加工成一定形状。用机械、火焰或电弧等加工坡口的过程为开坡口。开坡口的目的是为了保证电弧能深入到焊缝根部使其焊透，并获得良好的焊缝成形以及便于清渣。对于合金钢还能调整母材金属和填充金属的比例，由此可以调整焊缝的性能，保证焊接的质量。坡口形式的选择主要根据板厚和采用的焊接方法来确定，同时兼顾焊接工作量的大小、焊材消耗、坡口加工成本和施焊条件等综合考虑，以提高生产率和降低成本。

坡口形式的选取取决于焊接接头形式、焊件厚度以及接头质量的要求。坡口钝边和间隙的选

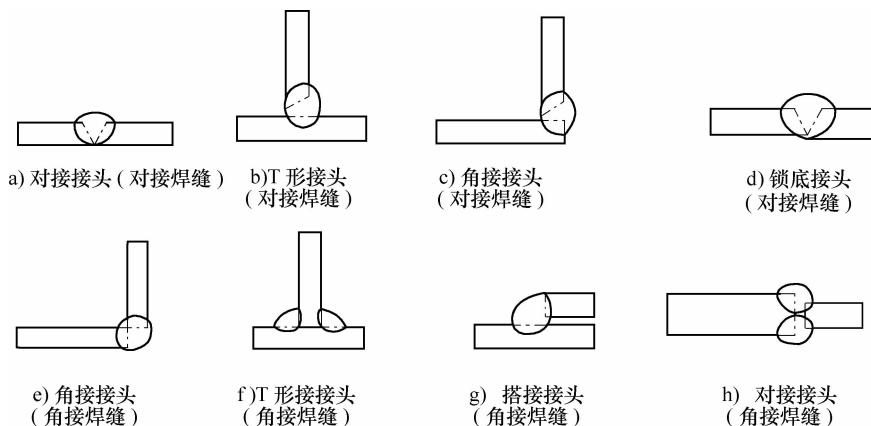


图 3-24 接头及焊缝形式

取应根据焊缝位置、工件厚度、坡口形式及操作方法来选择。坡口形式的选择可见 GB/T985.1~4—2008 标准。

对接焊接最常见的形式根据板厚不同有 I 形、V 形、U 形和 X 形等。T 形接头和角接接头根据承载情况不同有 I 形、单边 V 形、K 形、双 U 形坡口等。

三、焊缝

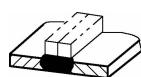
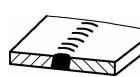
(一) 焊缝符号

为了在焊接结构设计的图样中标注出焊缝形式、焊缝和坡口的尺寸及其他焊接要求等技术内容, 出现了焊缝符号。GB/T324—2008 对其作了详细的规定。

焊缝符号主要由基本符号、补充符号、尺寸符号、指引线及数据等组成。为了简化, 在图样上标注焊缝时, 通常只采用基本符号和指引线, 其他内容一般在有关的文件中 (如焊接工艺规程等) 明确。

基本符号表示焊缝横截面形式或特征。常见基本符号见表 3-5。补充符号用来补充说明有关焊缝或接头的某些特征 (诸如表面形状、衬垫、焊缝分布、施焊地点等) 而采用的符号, 见表 3-6。焊缝尺寸符号是表示坡口和焊缝各特征尺寸的符号, 必要时, 可以在焊缝符号中标注尺寸, 见表 3-7。基本符号和指引线的位置规定中的指引线一般由箭头线和基准线 (一条为实线, 另一条为虚线) 组成, 表示含义如图 3-25 所示。焊缝尺寸符号及数据的标注可以在焊缝符号中标注, 标注方法如图 3-26 所示。焊接方法代号必要时, 可以在基准线尾部标注, 当尾部需要标注的内容较多时, 可按次序排列: ①相同焊缝数量。②焊接方法代号 (见表 3-8)。③缺欠质量等级 (按照 GB/T19418 规定) ④焊接位置 (按照 GB/T16672 规定) ⑤焊接材料 (按照相关焊接材料标准)。焊缝符号标注的示例见表 3-9。

表 3-5 常见焊缝基本符号 (摘自 GB/T324—2008)

序号	名称	示意图	符号	序号	名称	示意图	符号
1	卷边焊缝 (卷边完全熔化)			2	I 形焊缝		

(续)

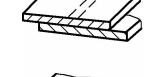
序号	名称	示意图	符号	序号	名称	示意图	符号
3	V形焊缝			8	带钝边J形焊缝		
4	单边V形焊缝			9	封底焊缝		
5	带钝边V形焊缝			10	角接焊缝		
6	带钝边单边V形焊缝			11	堆焊缝		
7	带钝边U形焊缝			12	缝焊	 	

表 3-6 焊缝补充符号

序号	名称	符号	说明	序号	名称	符号	说明
1	平面		焊缝表面通常 经过加工后平整	6	临时衬垫		衬垫在焊接 完成后拆除
2	凹面		焊缝表面凹陷	7	三面焊缝		三面带有焊缝
3	凸面		焊缝表面凸起	8	周围焊缝		沿着工件周边施焊的 焊缝,标注位置为 基准线与箭头线的交点处
4	圆滑过渡		焊趾处过渡圆滑	9	现场焊缝		在现场或工地上 进行焊接的焊缝
5	永久衬垫		衬垫永久保留	10	尾部符号		可以表示所需的信息

表 3-7 主要焊缝尺寸符号

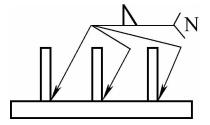
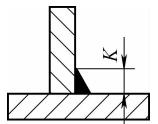
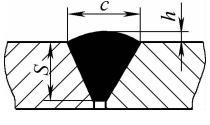
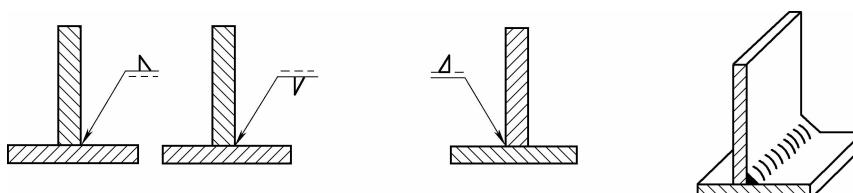
符号	名称	示意图	符号	名称	示意图
δ	工件厚度				
a	坡口角度	α	N	相同焊缝数量	
b	根部间隙		K	焊脚尺寸	
p	钝边		s	焊缝有效厚度	
H	坡口深度		h	余高	
R	根部半径	β	c	焊缝宽度	
β	坡口面角度				
e	焊缝间距	l (e)			
l	焊缝长度	l (n)			
n	焊缝段数	l			

表 3-8 常用的焊接方法代号 (摘自 GB/T 5185—2005)

焊接方法名称	焊接方法代号	焊接方法名称	焊接方法代号
电弧焊	1	气焊	3
焊条电弧焊	111	氧乙炔焊	311
埋弧焊	12	压力焊	4
单丝埋弧焊	121	摩擦焊	42
带极埋弧焊	122	扩散焊	45
熔化极气体保护电弧焊	13	其他焊接方法	7
熔化极惰性气体保护电弧焊	131	电渣焊	72
熔化极非惰性气体保护电弧焊	135	气电立焊	73
非熔化极气体保护焊	14	切割和气刨	8
钨极惰性气体保护电弧焊	141	高能束焊	5
等离子弧焊	15	激光焊	52
电阻焊	2	电子束焊	51
点焊	21	螺柱焊	78



a) 焊缝在箭头侧

b) 焊缝在非箭头侧

c) 按焊缝符号

图 3-25 基本符号和基准线的相对位置和指引线箭头侧的示例

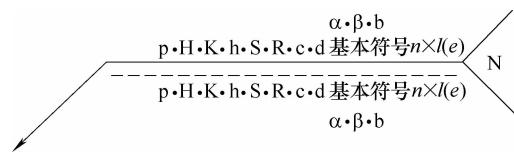


图 3-26 焊缝尺寸的标注方法

表 3-9 焊缝符号标注的示例

名称	示意图	标注方法	含义
对接焊缝			X形坡口对接焊缝, 箭头侧焊缝凸形过渡, 非箭头侧焊缝与焊件母材齐平
连续角接焊缝焊条电弧焊 (现场焊接)			箭头侧连续角焊, 焊脚尺寸为 K, 采用焊条电弧焊现场施焊
断续角接焊缝			箭头侧断续角焊, 焊脚尺寸为 K, 焊缝长度为 l, 焊缝间距为 e, 相同焊缝段数为 n
交错断续角接焊缝			交错断续角焊, 两边焊脚尺寸均为 K, 焊缝长度为 l, 焊缝间距为 e, 相同焊缝段数为 n
周围焊缝			工件周边连续角焊, 焊脚凹形圆滑过渡

(二) 焊缝的分类

按焊缝结合形式可分为对接焊缝、角接焊缝两大类（图 3-24）。按焊缝在空间的位置可分为平焊缝、立焊缝、横焊缝和仰焊缝四种形式。按焊缝连续情况可分为连续焊缝和断续焊缝两种。断续焊缝只适用于对强度要求不高，以及不需要密闭的焊接结构。断续焊缝又可分为交错式焊缝和链状焊缝两种。按焊缝的作用可分为用做承受载荷的承载焊缝和不直接承受载荷只起连接作用的联系焊缝。

(三) 焊缝位置

焊缝所处的空间位置，可用焊缝倾角和焊缝面转角来表示，如图 3-27、图 3-28 所示。

焊缝倾角：对接焊缝或角接焊缝的轴线（图 3-27、图 3-28 中的 OP 线）与水平面的夹角。当焊缝轴线与水平面重合时，焊缝倾角为 0°；焊缝轴线与垂直面重合时，焊缝倾角为 90°。

焊缝面转角：焊缝中心线（焊根与盖面层中心连线，即图 3-27、图 3-28 中垂直于焊缝轴线的箭头线）围绕焊缝轴线顺时针旋转角度。当面对 P 点，焊缝中心线在 6 点钟时的焊缝面转角为 0°。焊缝中心线旋转再回到 6 点钟时的焊缝面转角为 360°。

焊缝在空间的位置除标准的平、横、立、仰四种形式外，各自还有规定的范围。

对接焊缝位置规定的范围见表 3-10 及图 3-27。角接焊缝位置规定的范围见表 3-11 及图 3-28。

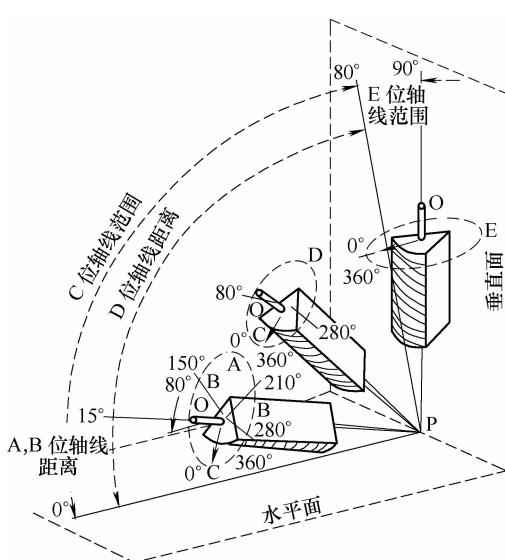


图 3-27 对接焊缝位置

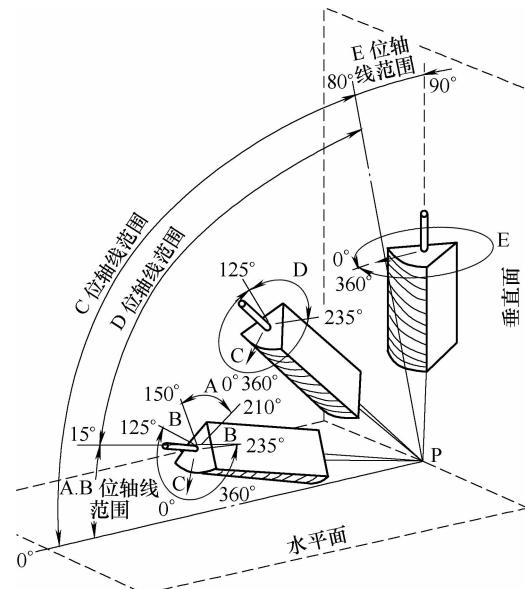


图 3-28 角焊缝位置

表 3-10 对接焊缝位置范围

位置	图 3-27 中代号	焊缝倾角/(°)	焊缝面转角/(°)
平焊缝	A	0 ~ 15	150 ~ 210
横焊缝	B	0 ~ 15	80 ~ 150 210 ~ 280
仰焊缝	C	0 ~ 80	0 ~ 80 280 ~ 360
立焊缝	D	15 ~ 80	80 ~ 280
	E	80 ~ 90	0 ~ 360

表 3-11 角焊缝位置范围

位置	图 3-28 中代号	焊缝倾角/(°)	焊缝面转角/(°)
平焊缝	A	0 ~ 15	150 ~ 210
横焊缝	B	0 ~ 15	125 ~ 150 210 ~ 235
仰焊缝	C	0 ~ 80	0 ~ 125 235 ~ 360
立焊缝	D	15 ~ 80	125 ~ 235
	E	80 ~ 90	0 ~ 360

特种设备焊工考试试件位置是焊缝空间位置的典型位置，考试合格后的典型位置能覆盖的范围除特种设备焊工考试规则规定外，还包括表 3-10、表 3-11 的范围。

第四节 焊条电弧焊

一、焊条电弧焊的特点和应用

(一) 焊条电弧焊的特点

焊条电弧焊用电弧作为加热熔化焊条和工件的热源，焊条既是电极又是填充金属，焊条的送进和沿焊接方向的移动都是焊工手工操作的。其特点是：使用的设备简单，只要有焊接电源、焊钳、焊接电缆就可以焊接，方法简便灵活，适应性强，无论是焊缝长短弯直、焊件厚薄、各种空间位置和除钛、铌、铝等活泼金属和钽、锆等难熔金属以外的大多数常见金属都可焊接。这种焊接方法应用较早，与之配套的焊材品种规格较齐全，但其劳动条件较差，生产效率较低，对焊工操作技能要求较高，焊接质量在一定程度上取决于焊工的技能和责任心。随着焊接技术的进步，焊条电弧焊应用的比例在工业发达国家已显著减少，在我国也正在逐渐减少；且在许多应用领域逐渐被效率更高的焊接方法所代替。但由于焊条电弧焊具有简便灵活的特点，因此不会完全被淘汰。特种设备的制造安装单位要适应这一形势，采用新方法、新工艺、新设备，提高技术水平，提高市场竞争力。

(二) 焊条电弧焊的应用

焊条电弧焊常用于焊接距离较短的、不规则的、各种空间位置的及不易采用机械化焊接的焊缝。它适用碳钢、低合金钢、不锈钢、铜及铜合金、镍及镍合金等金属材料的焊接。

二、焊条电弧焊设备

焊条电弧焊设备主要包括弧焊电源及常用工具。

(一) 焊条电弧焊弧焊电源的选择

焊条电弧焊由于电弧工作于静特性的水平段上，要求采用陡降外特性的弧焊电源才能满足电源-电弧系统的稳定。同时还要求弧焊电源应有良好的动特性和合适的电流调节范围。主要设备有弧焊变压器如 BX1-330、弧焊整流器如 ZXG-400 或 ZX5-400 及逆变整流器如 ZX7-400 等。选择焊条电弧焊弧焊电源应考虑以下因素：

- 1) 所要求的焊接电流的种类。
- 2) 所要求的电流范围和实际负载持续率。
- 3) 弧焊电源的功率。
- 4) 工作条件和节能要求等。

电源的种类有交流、直流或交直流两用几种，一般重要结构选用直流焊机，一般结构选用交流焊机，同时还与所使用的焊条类型和所要焊接的焊缝形式有关。

(二) 常用的工具和辅具

1. 电焊钳

电焊钳俗称焊把，在焊接过程中起到夹持焊条和传导电流的作用。有 300A、500A 两种规格型号，要求具有良好的绝缘性和隔热能力。焊条位于水平、45°、90° 等方向时焊钳都能夹紧焊条。并保证更换焊条安全方便、操作灵活。

目前市场上有一种不烫手焊钳，荣获中国专利。与国内外轻型焊钳相比，在重量上下降 30%，节约能源材料 60%。能安全通过的最大电流有 300A、500A 两种规格。在焊接过程中，手

柄的升温幅度等于或小于 11℃。

2. 焊接电缆快速接头、快速连接器

这是一种快速方便地连接电缆与焊接电源的装置。其主体采用导电性好并具有一定强度的黄铜加工而成，外套采用氯丁橡胶。具有轻便适用、接触电阻小、无局部过热、操作简单、连接快捷、拆卸方便等特点。

3. 接地夹钳

接地夹钳是将焊接导线或接地电缆接到工件上的一种装置。接地夹钳必须能形成牢固的连接，又能快速且容易地夹到工件上。对于低负载率来说，弹簧夹钳较合适。使用大电流时，需要螺纹夹钳，以使夹钳不过热并形成良好的连接。

4. 焊接电缆

焊接电缆选用应考虑耐磨，能承受较大的机械外力并具有柔软性以便于移动等。焊接电流、电缆长度可参照表 3-12 选择焊接电缆截面积，根据用途的不同，可按表 3-13 选择动力线与焊接电缆的型号和种类。

表 3-12 焊接电缆截面积与焊接电流、电缆长度的关系

截面积/mm ²	焊接电流/A					
	100	150	200	300	400	500
电缆长度/m						
20	25	35	35	35	35	50
30	25	35	35	50	50	60
40	25	35	35	60	60	70
50	25	35	50	60	70	85
60	25	50	60	70	85	95
70	25	50	70	70	85	95
80	25	60	70	70	85	95
90	28	70	70	85	95	120
100	35	70	70	85	95	120

表 3-13 焊接电缆的型号、种类及用途

电缆型号	名称	主要用途
YHZ	中型橡胶电缆	500V 电缆能承受相当机械外力
YHC	重型橡胶电缆	500V 电缆能承受较大机械外力
YHH	电焊机用橡胶软电缆	供连接电源用
YHHR	电焊机用橡胶特软电缆	主要供连接卡头用
KVV 系列	聚氯乙烯绝缘及护套控制电缆	用于固定敷设，供交流 500V 及以下或直流 1000V 及以下电力配电装置，作为仪表电器连接用
VV 系列	聚氯乙烯绝缘及护套电力电缆	1. 用于固定敷设，供交流 500V 及以下或直流 1000V 及以下电力电路 2. 用于 1~6kV 电力电路
VLV 系列		

5. 焊接防护面罩及护目镜片

面罩是防止焊接过程中焊接飞溅、弧光和高温对焊工面部和颈部灼伤的遮蔽工具。焊接面罩

有头盔式和手持式两种形式。用耐燃或不燃的绝缘材料制成，罩体应遮住焊工的整个面部，结构牢固，不漏光。同时在面罩上开观察口，以便于焊接时能通过护目镜片观察熔池。护目镜片按亮度的深浅分为以下各种色号，见表 3-14。号数越大，颜色越深。一般根据焊接过程所使用的焊接电流大小而定，不宜太亮，以能清楚分辨熔池中的液态金属和熔渣为宜。

表 3-14 各种色号镜片规格及选用

颜色号	7 ~ 8	8 ~ 10	11 ~ 12	13 ~ 14
适用焊接电流范围/A	≤100	100 ~ 200	200 ~ 400	≥400

另外市场上有一款光控焊接防护面罩，引弧前，其光阀护目镜呈亮态，能看清工件表面及焊条；引弧时，光敏件接受光强的变化，触发控制光阀在瞬间由亮态自动完成调光、遮光，光阀护目镜呈暗态，并保持最佳视觉条件；焊接结束后，光阀护目镜又呈亮态，可以清晰地观察焊接效果。这种面罩的以上功能对起弧前能及时观察待焊工件表面位置和减少焊工弧光灼伤有一定的帮助。

6. 焊条保温筒

焊条保温筒是焊接操作工在焊接操作现场必备的辅具，且携带方便。将已烘干的焊条放在保温筒内供现场使用，能起到防粘泥土、防潮、防雨淋等作用，且避免焊接过程中焊条药皮的水分含量上升。

7. 防护装备

为了防止焊接时触电及被弧光和金属飞溅物灼伤，焊接操作工在焊接时，必须戴皮革手套、工作帽，穿好工作服、脚盖、绝缘鞋等。在敲渣时，应戴平光眼镜。

8. 其他辅具

其他辅具有角向磨光机、钢丝刷、清渣锤、扁铲和锉刀等。另外，在排烟情况不好的场所焊接作业时，应配有电焊烟雾吸尘器或排风扇等辅助器具。

三、焊条电弧焊的焊接参数的选择

焊条电弧焊的焊接参数主要有焊条种类、型号和直径、电源种类和极性、焊接电流、电弧电压、焊接速度、焊缝层数和道数、焊条角度、焊接方向等，其中最重要的参数是焊接电流和焊接速度，它决定了焊接热输入，对焊缝金属的力学性能起决定性的影响。焊接参数选择的正确与否，直接影响焊缝外观、焊接质量和生产率，因此选择合适的焊接参数是焊接生产中不可忽视的一个重要问题。

1. 焊条种类、型号和直径

焊条种类、型号的选择详见第二章第三节。焊条直径是指焊芯直径，其选择与下列因素有关：

(1) 工件厚度 厚度较大的工件应选用直径较大的焊条；厚度较小的工件，选用直径较小的焊条，见表 3-15。

表 3-15 焊条直径选择

板厚/mm	≤4	4 ~ 12	>12
焊条直径/mm	不超过工件厚度	3.2 ~ 4	≥4

(2) 焊缝空间位置 平焊位置时，焊条直径可比其他位置大；而仰焊、横焊位置时，焊条直径应小些，一般不超过 4mm；立焊最大不超过 5mm，否则容易形成焊瘤。

(3) 焊接层数 多层焊时第一层应采用直径不超过 $\phi 3.2\text{mm}$ 的焊条, 以保证熔合好、熔透; 其他各层可根据层次、焊缝位置选用比第一层大一些的焊条直径。

2. 焊接电源种类和极性

用交流弧焊机时, 不存在正、反接的问题, 但由于电弧稳定性差, 焊接质量不易控制, 适用于一些非重要部件选用酸性焊条或交/直流两用的碱性焊条(焊条牌号末位为6)的场合。

直流电源有反接(工件接负极)和正接(工件接正极)两种。直流正接时, 焊条的熔敷速度比反接时高, 焊接速度较快。但因电弧的热量集中于焊条上, 母材的熔深较浅, 适用于薄壁设备的封底焊道和仰焊单面焊双面成形的打底层。直流反接焊接时, 电弧的热量集中于母材, 故熔深较大, 特别是使用低氢钠型碱性焊条时, 采用直流反接法焊接, 可使电弧稳定、飞溅少, 避免了气孔和未熔合。

但采用直流焊接时, 易产生磁偏吹, 焊接电流越大, 磁偏吹现象越严重。为了解决这一问题常采用以下措施减小磁偏吹: ①改变地线的引入部位, 使电弧周围磁场均匀; ②采用短弧焊接, 调整电极角度, 使电极向磁偏吹相反的方向倾斜; ③采用分段焊法及小电流焊接, 对减小磁偏吹也有一定的作用。

3. 焊接电流

焊接电流是焊条电弧焊最主要的焊接参数之一。在特种设备的焊接中, 大多数采用直流电焊接。

焊接电流值的大小直接关系到焊接质量和生产效率。在实际生产中, 焊接电流主要根据焊条直径和焊接位置来选择。实际工作中可采用经验公式或焊接工艺试验来确定焊接电流。

(1) 经验公式 焊接电流与焊条直径的关系:

$$I = Kd$$

式中, I 为焊接电流 (A); d 为焊条(即焊芯)直径 (mm); K 为经验系数, 可按表 3-16 确定。

表 3-16 焊条直径与经验系数的关系

焊条直径/mm	$\phi 1.6$	$\phi 2 \sim \phi 2.5$	$\phi 3.2$	$\phi 4 \sim \phi 5$
K	20 ~ 25	25 ~ 30	30 ~ 40	40 ~ 50

根据以上经验公式计算出的焊接电流, 只是个大概的参考值, 在实际使用时还应根据具体情况灵活掌握。如板材较厚或 T 形接头、搭接接头时, 焊接电流必须大一些。其次应考虑焊接位置。立焊和横焊时, 焊接电流一般比平焊低 10% ~ 15%, 仰焊时的焊接电流比平焊低 15% ~ 20%。如焊接不锈钢时, 为了减小晶间腐蚀和减少焊条发红, 焊接电流应小一些。

(2) 由焊接工艺试验确定 对于普通结构, 利用经验公式确定焊接电流已足够。但是对于首次使用的金属材料或锅炉、压力容器的焊接等, 焊接电流必须通过焊接工艺评定试验合格后的工艺来确定焊接电流。

4. 电弧电压

焊条电弧焊时, 电弧电压由弧长决定。弧长是指从熔化的焊条端部到熔池表面的距离。保持合适的弧长对焊接优良的焊缝是相当重要的。通常, 缩短电弧长度可提高焊接电流, 增加焊条的熔敷速度。而拉长电弧会降低电弧的挺度, 使电弧热量的损失加大, 增加熔化金属的飞溅, 降低焊条熔敷率, 且容易引起咬边和未焊透等焊接缺陷; 另外, 电弧长度增加, 空气还会进入熔池形成气孔。在使用低氢型碱性焊条时, 应采用短弧焊接, 因为这类焊条以熔渣保护为主。而以较长的电弧焊接, 则很容易产生气孔。通常弧长应略小于焊条芯的直径。

5. 焊接速度

单位时间内完成的焊缝长度, 称为焊接速度。焊接速度应适当并保持均匀。焊接速度由焊工

手工操作掌握。合适的焊接速度主要取决于焊条的熔化速度、所要求的焊缝尺寸、焊缝的装配间隙和焊接位置等。焊接速度对焊缝的质量有直接的影响。焊接速度太快，可能使焊道成形不良，并容易引起未焊透和夹渣等缺陷。焊接速度太慢会导致焊瘤、溢流等缺陷的形成。此外焊接速度对焊缝及热影响区的金相组织和性能也有一定的影响。在对高强度钢和不锈钢焊接时，为避免焊接热影响区性能的恶化或耐蚀性的降低，通常都要求采用焊速较高的窄焊道技术。在这种情况下，焊接速度应保证熔池直径约为所用焊条直径的2~3倍。

6. 焊接层数和焊道数

焊接层数和焊道数的多少主要由焊件材质及厚度和焊条直径决定。另外与选用的坡口形式和装配间隙有一定的关系。对于厚板对接焊缝焊接层数n与焊件厚度 δ 和焊条直径 ϕ 的关系为 $n = \delta/\phi$ ，焊件厚度越厚焊接层数越多。

同一层焊几道由焊件材质、该材质评定合格的工艺和施焊的实际情况决定。一般多道焊焊缝的力学性能比单道焊的优秀，且晶粒更细。要求严格の場合，多选用多层多道焊。

《火力发电厂焊接技术规程》规定：当壁厚大于38mm时，焊道的单层增厚不大于所用焊条直径加2mm，单焊道宽度不大于所用焊条直径的5倍。对(9%~12%)Cr马氏体型耐热钢规定更加严格：所有厚度，每根完整的焊条所焊接的焊道长度与该焊条的熔化长度之比应大于50%，焊道的单层增厚不大于所用焊条直径，单焊道宽度不大于所用焊条直径的4倍。

多层次多道焊目的是改善焊缝金属的金相组织和力学性能。多层次单道焊或每层焊肉过厚都能使焊缝金属高温停留时间过长，造成焊缝金属和热影响区过热，使焊接接头的性能下降、高强度钢强度韧性显著降低、低温钢的低温韧性也大大降低、耐热钢的回火脆性增高，以及不锈钢被敏化而产生晶间腐蚀。

所以在锅炉、压力容器和压力管道焊接时，越来越普遍用不摆动多道焊，摆动单道焊越来越受限制，特别是焊接高强钢、耐热钢、低温钢和不锈钢的承压设备时更是如此。尤其是在制造过程中，尽量将焊件置于平焊位置，用不摆动多道焊来焊接。在长输管道的现场施工中，用纤维素焊条下向焊时，也采用不摆动的操作方法。摆动过宽不易控制焊缝成形，焊缝中部也会凹陷，使冲击韧变下降。

在承压设备安装时，常在立焊、仰焊位置焊接，不得已才采用摆动焊的方法。

7. 焊条角度的选择

焊条电弧焊与操作相关的主要有工作角和倾角两种焊条角度。①工作角：焊条轴线与水平面(对接时)或垂直平面(T形接头)间的夹角称为工作角。工作角决定焊件上热量的分布，当焊接厚度相等的对接接头时，焊条的工作角为90°，电弧的热量均匀分布在焊件两侧。当厚度不同时，应使电弧偏向板较厚一侧。当焊接T形接头时，若板厚相等，工作角等于45°，使焊脚两侧得到的能量尽可能均匀，焊脚对称。若板厚不等，应使焊条与薄板间的角度稍小些，使厚板侧得到的热量稍多些。②焊条倾角：焊条轴线与焊缝轴线间的锐角即为焊条倾角，如图3-27所示。图中左侧为板厚相等平焊时的工作角，右侧为施焊中焊条倾角的变化。掌握好焊条的倾斜角度，配合焊速可控制液态金属和熔渣，使它们很好地分离，防止熔渣超前。焊条倾角变大，熔池加深，单面焊双面成形时背面焊缝余高加大。焊条倾角变小，熔池变浅。

8. 焊接方向

焊条电弧焊在平、横、仰位置中一般选用易观察熔池、熔深较大的右焊(后倾焊)法，易产生夹渣的左焊(前倾焊)法很少采用。在立焊位置时除纤维素焊条选用向下立焊外，一般均采用向上立焊。

焊接参数初步选定后，要进行试焊，并根据试焊焊缝的成形、外观质量等来确定是否需要调整。对于承压设备，焊前还要进行焊接工艺评定，根据评定合格的焊接工艺来编制焊接工艺卡指

导焊接作业。

四、焊条电弧焊焊接操作技术

(一) 焊条电弧焊的基本操作

焊条电弧焊的基本操作包括引弧、运条、焊缝的起头和接头及收弧等。

1. 引弧

焊条电弧焊采用接触法引弧，引弧方法有划擦法和撞击法两种。

(1) 划擦引弧 划擦的动作似划火柴，将焊条引弧端对准待焊部位的焊缝或坡口面，利用腕力轻轻划擦，迅速将焊条提起一点，电弧即可引燃。此法易掌握，不受焊条端部状况的限制，特别适用于碱性焊条。但也容易在工件表面造成电弧擦伤，必须在焊缝前方的坡口内划擦引弧，划动长度以 20~25mm 为宜。

(2) 撞击引弧 在始焊处进行焊条垂直于工件的接触撞击动作，形成短路后迅速提起焊条 2~4mm 的距离后电弧即引燃，且应在熔池端部一侧坡口上引弧。此法不易掌握，用力过猛时焊条药皮易大块脱落，但焊接淬硬倾向较大的钢材时可采用撞击引弧。

无论采用哪种引弧方式，都严禁在坡口以外引弧，特别是对低合金高强度钢、低温钢、不锈钢、合金钢等热敏感材料，电弧擦伤可能引起裂纹，不锈钢则会降低耐蚀性。引弧采用回焊法，即引弧点选在离焊缝起点 10~20mm 的待焊部位上，电弧引燃后移至焊缝起点处，再沿焊接方向进行正常焊接。

承压设备纵缝引弧时，为避免引弧端焊接缺陷，应在纵缝延长部位加引弧板。

2. 运条

电弧引燃后，维持电弧能稳定燃烧时，焊条相对工件的运动方式叫运条，焊条要沿三个基本方向运动，即随着焊条不断熔化，朝熔池方向逐渐送进焊条；沿焊接方向均匀移动；横向摆动。焊条朝熔池送进的作用是保证焊条在不断熔化时电弧的长度保持一定，因此送进的速度应该等于焊芯熔化的速度。焊条沿焊接方向运动的作用是形成一定长度、一定尺寸的焊缝，其运动速度实际上是焊接速度。为了保证焊缝的宽度，焊条还需做横向摆动。适当的横向摆动不仅可以保证焊缝的宽度，而且还可根据焊缝的位置及要求，合理控制电弧对各部分的加热程度，从而获得良好的焊缝成形。

焊条运条的方法有很多种，应根据焊缝位置、接头形式、工件厚度、装配间隙、焊条直径、焊接电流及操作水平等因素综合考虑确定。各种运条方式的特点和应用场合见表 3-17。

表 3-17 各种运条方式的特点和应用场合

运条方式	运条示意图	特 点	适用场合
直线运条		电弧稳定，成形好，熔深大，熔宽小	用于焊接厚度 3~5mm 板，不开坡口对接平焊，多层焊的第一层焊道及多层多道焊
直线往返运条		焊接速度快，散热快，焊缝浅而窄	用于焊接厚度 3mm 以下的薄板、焊枪及间隙较大的多层焊的第一层打底焊
锯齿运条		运动到边缘稍停，可以防止咬边。通过摆动可以控制液态金属流动，焊缝宽度，改善焊缝成形	用于厚板平、仰、立焊的对接和填角焊焊缝

(续)

运条方式	运条示意图	特 点	适用场合
月牙形运条		运动到两边停留,可减少咬边和未焊透。金属熔化良好、熔池保温时间较长,可以减少气孔和夹渣	用于要求高、中厚板对接平焊焊缝和角接焊缝
三角形运条 ①斜三角形 ②正三角形		借助焊条摆动,能控制金属熔化状况,减少夹渣和气孔。获得良好焊缝,能一次焊出较厚的焊缝	用于平焊、仰焊、填角焊和开V形坡口的横对接焊
			用于有坡口的立焊和T形接头的立角焊
圆圈形运条 ①斜圆圈 ②正圆圈		借助于焊条不断画圆运动,控制熔化金属不下滴,使熔化金属保持较高温度,气体和熔渣有足够的浮出时间	用于T形接头平焊、仰焊和填角焊、横焊
			用于厚件平焊
8字形运条		焊缝边缘加热充分,熔化均匀,焊透性好,可控制两边停留时间,调节热量分布	用于开坡口的厚件对接焊和不等厚度件的对接焊,厚板中间层和表面层焊接

3. 焊缝的起头和接头

(1) 焊缝的起头 焊缝的起头是焊缝开始焊接的部分,一般情况下,这部分焊缝余高略高,熔深较浅,容易产生气孔等焊接缺陷。因此引弧后应稍拉长电弧对工件预热,然后压低电弧进行正常焊接。

(2) 焊缝的接头 因为焊条长度有限,所以长焊缝不可避免地会出现焊接接头。焊接接头的好坏,将直接影响到焊缝的外观成形,而且还涉及焊缝的内部质量,所以要重视焊缝的接头问题。焊缝的接头方式有以下四种,如图 3-29 所示。



图 3-29 焊缝接头形式

1—先焊焊缝 2—后焊焊缝

1) 中间接头。后焊的焊缝从先焊焊缝尾部开始焊接,如图 3-29a 所示。在弧坑前约 10mm 处引弧,电弧长度可稍大于正常焊接,然后将电弧拉到原弧坑的 2/3 处,压低电弧,稍作摆动待填满弧坑后再向前转入正常焊接。此法适用于表面层接头。

2) 相背接头。两焊缝的起头相接,如图 3-29b 所示。要求先焊焊缝起头稍低,后焊焊缝在先焊焊缝起头处前 10mm 左右起弧,然后稍微拉长电弧,并将电弧移至衔接处,覆盖住先焊焊缝的端部,待熔合好再向焊接方向移动。在焊前段焊缝时,起焊处焊条要移动快些,使焊缝的起焊处略低一些。为使衔接平整,可将先焊焊缝的起头处用手动砂轮磨成斜面再进行焊接。

3) 相向接头。两段焊缝的收尾处接在一起,如图 3-29c 所示。当后焊焊缝焊到先焊焊缝的尾处时,应降低焊接速度,将先焊焊缝的弧坑填满后,以较快的速度向前焊一段,然后熄弧。这种衔接同样要求前段焊缝起焊处略低些,使衔接处焊缝高低、宽窄均匀。若先焊焊缝收尾处焊缝

太高,为了保证衔接处平整,可预先将焊缝收尾处打磨成斜面。

4) 分段退焊接头。后焊焊缝的收尾与先焊焊缝起头处连接,如图3-29d所示。要求先焊焊缝起头处较低,最好呈斜面,后焊焊缝焊至前焊焊缝始端时,改变焊角角度,将前倾改为后倾,使焊条指向先焊焊缝的始端。拉长电弧,待形成熔池后,再压低电弧并往返移动,最后返回至原来的熔池收弧处。

4. 收弧

一根焊条或一条焊缝焊接结束时,如果直接熄灭电弧,在收尾处将会产生弧坑,凹陷的弧坑不仅降低收尾处焊接接头强度,产生了应力集中,而且容易产生弧坑裂纹、气孔等缺陷。为了防止这些缺陷,必须采取合理的收弧方法,填满焊缝收尾处的弧坑。常用的收弧方法有如下几种。

(1) 回焊收弧法 焊条移至焊缝终止位置时,电弧稍作停留,改变焊条角度,并向与焊接方向相反的方向回焊很小一段后再熄灭电弧。这种方法适合于采用低氢型焊条收尾时的情况。

(2) 划圈收弧法 当焊条移至焊缝终止位置时,焊条沿弧坑进行圆圈运动,直到熔化的金属填满弧坑再熄灭电弧。此法适合于厚板收弧。

(3) 转移收弧法 焊条移至焊缝终点时,在弧坑处稍作停留,将电弧慢慢抬高,引到焊缝边缘的母材坡口内,这时熔池会逐渐缩小,凝固后一般不再出现缺陷。适用于换焊条或临时停弧时的收弧。

(4) 重复燃弧熄弧法 当焊条移至焊缝终止位置时,在弧坑处较短时间内,数次反复熄灭和引燃电弧,直到填满弧坑。因为不易烧穿,此法适合于薄板和大电流焊接。低氢型焊条焊接时不宜采用,原因是容易产生尾部气孔。

(5) 采用引出板 用引出板将不符合要求的焊缝引出工件焊缝之外,然后切除。此法适合于重要结构的焊接。

5. 定位焊缝的焊接

定位焊又叫点固焊,是用来将装配好的工件固定住,以保证整个构件在焊接后得到正确的几何形状和尺寸。定位焊缝是作为正式焊缝被留在焊接结构中的,它的质量好坏及位置是否恰当,将直接影响焊缝的质量及工件变形的大小。因此,在定位焊时,对操作者的技木熟练程度和采用的焊条有一定的要求。

定位焊必须在装配的焊接工件尺寸及其焊前准备工作符合工艺要求后才能进行。定位焊缝的强度应保证在装配和焊接过程中不发生断裂,因此定位焊缝必须有适当的长度和较大的熔深。但定位焊缝尺寸不能超过正式焊缝的外形尺寸。定位焊缝的起头和收尾应圆滑,不能过陡,以避免正式焊接时产生未焊透等缺陷。定位焊缝不应有裂纹、夹渣、气孔等缺陷。如发现有严重缺陷或装配质量不合格,应去除定位焊缝后重新进行焊接。定位焊时,所用焊接电流应比正式焊缝焊接时大20~30A左右。

定位焊缝的长度及相互之间的距离要根据工件厚度及图样要求确定,主要原则是牢固连接而不开裂。一般定位焊缝长度 $l \geq 2.5\delta$,定位焊间距 $e = (20 \sim 30)\delta$, δ 为板厚。平板对接焊的定位焊缝的参考尺寸见表3-18,技术要求高的部位可适当增加定位焊缝的尺寸和数量。

表3-18 平板对接焊的定位焊缝的参考尺寸

工件厚度/mm	定位焊缝厚度/mm	焊缝长度/mm	间距/mm
≤4	<4	5~10	50~100
4~12	4~6	10~20	100~200
>12	6	15~30	100~300

如接头是管接头, 定位间距应适当减小。定位小口径管一般焊接2~3处, 中口径管一般焊接3~4处。为了保证严格的焊缝装配尺寸, 定位焊的位置必须适当选择。在焊缝交叉处和焊缝方向急剧变化处不能有定位焊缝, 应离开这些位置50mm左右进行定位焊。对要进行清根的焊缝, 定位焊缝宜在清根侧, 而且定位后应立即进行正式焊缝的焊接。

(二) 焊条电弧焊各种位置的操作技术

焊缝根据其所处的位置分为平、立、横、仰焊缝。各种位置焊接操作的共同要点是, 应当通过保持正确的焊条倾角和掌握好运条的三个动作, 把熔池温度严格控制在正常范围内, 使熔池金属的冶金反应完全, 与基体金属熔合良好。虽然熔池温度不容易直接测得, 但是经验表明, 熔池温度与熔池的形状和大小有关。焊接操作中只要仔细观察并控制熔池的形状与大小, 不断调整焊条倾角和运条动作, 就能达到控制熔池温度, 确保焊接质量的目的。

1. 平焊

平焊时, 熔滴主要靠重力过渡, 操作容易, 便于观察或控制, 容易获得优质焊缝, 所以应尽可能地使焊件处于平焊位置进行焊接。

但如果焊接时操作不当或焊接参数不合适, 容易在根部出现未焊透或焊瘤, 当运条和焊条角度不当时, 容易引起夹渣。发现熔渣和液态金属混淆不清时, 可稍微拉长电弧, 同时向焊接方向倾斜焊条, 在电弧的吹力作用下使熔渣和熔池金属分离。

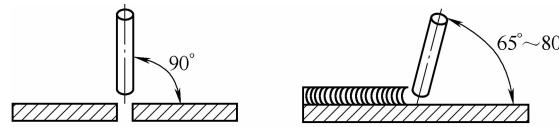


图 3-30 平焊焊条角度示意图

(1) 对接平焊 当板厚小于6mm时, 一般采用不开坡口对接焊, 留1~2mm间隙, 焊条角度如图3-30所示。

正面焊接可用 $\phi 3.2\sim\phi 4mm$ 焊条, 采用直线形运条法短弧焊接, 熔透板厚的 $2/3$, 焊缝宽度5~10mm, 余高应小于1.5mm。为了保证质量背面焊缝应清根后焊接。对于一般结构件可不清根, 但必须将焊渣清除干净后再焊接。

当板厚大于6mm时, 为保证焊透, 应采用开坡口对接, 并根据坡口宽度, 采用多层焊或者多层多道焊。打底焊缝采用 $\phi 3.2mm$ 焊条, 直线形运条, 坡口间隙大时, 为避免烧穿, 可采用直线往返运条法。其余各层选用大直径焊条, 采用锯齿形和月牙形运条法施焊, 焊条运行到达坡口两侧时, 应稍作停留, 并注意各层接头应相互错开。当采用双面坡口时, 为减少变形, 应正反两面交替焊接。

(2) T形接头平焊时, 可以采取平角焊或船形焊

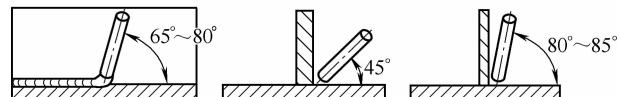


图 3-31 T形接头平角焊条角度

1) 平角焊时, 一般焊条与焊接方向成 $60^\circ\sim80^\circ$ 夹角, 当两板厚度不等时, 调整焊条角度, 使电弧偏向厚板一边, 以使两板温度均匀, 如图3-31所示。

根据焊脚尺寸要求, 可分别采用单层焊、多层焊或多层多道焊。焊脚尺寸小于8mm时, 采用单层焊, 焊条直径根据钢板厚度不同在 $\phi 3\sim\phi 5mm$ 之间选用。

焊脚尺寸为8~10mm时, 可采用两层两道焊法。焊脚尺寸大于10mm时, 采用多层多道焊。第一层用 $\phi 3.2\sim\phi 4mm$ 焊条, 焊接电流稍大些, 以获得较大的熔深, 直线运条。第一层焊完后, 敲掉焊渣, 以后各层, 可用 $\phi 4mm$ 焊条, 应注意用小电流, 否则容易咬边。

平角焊时, 由于立板熔化金属有下淌趋势, 容易咬边和焊缝分布不均, 操作时要注意立板的熔化情况和液态金属流动情况, 随时调整焊条角度和运条。

2) 生产中如果工件能翻动, 应将工件放在船形焊位置施焊。这样可避免产生咬边, 且操作

方便，焊缝成形美观。

2. 立焊

立焊有两种方式，一种是由下向上施焊，即向上立焊法。另一种是由上向下施焊，即向下立焊法，此法要求用专用的向下立焊的焊条施焊才能保证成形。这里介绍的是向上立焊。进行立焊时，由于重力的作用，立焊时熔池金属和熔渣受重力作用容易下淌，使焊缝形成中间高，两侧有沟槽的现象，焊缝成形困难。因此，立焊选用的焊条直径及焊接电流应小于平焊，并采用短弧焊接。为防止烧穿、咬边、金属熔滴下淌或流失，常用挑弧焊法或灭弧焊法。U形或V形坡口的对接立焊通常采用多层焊或多层多道焊。

向上立焊的操作要点：①正确的焊条角度。对接接头立焊时，焊条与工件的角度，左右方向各90°，焊条向下倾斜60°~80°。T形接头角接焊缝立焊时，焊条与两板之间各为45°。如图3-32所示。②用较小直径的焊条，电流比平焊小10%~15%，以减少熔滴体积，有利于熔滴过渡。③采用短弧焊，缩短熔滴过渡到熔池的距离，减少空气侵入熔池的机会，从而可降低焊接缺陷的产生。④根据接头形式，坡口特点和熔池温度的情况，灵活运用运条方法，掌握好正确的焊条角度，防止熔化金属下淌。

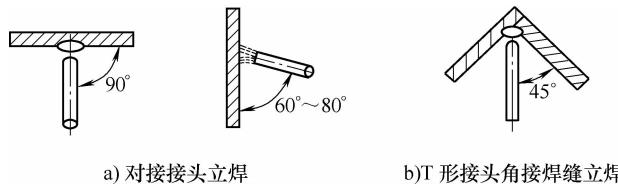


图3-32 立焊时焊条的角度

(1) 不开坡口对接接头立焊 不开坡口对接接头立焊常用于薄板焊接。可以适当采用挑弧法或灭弧法，并同时兼用摆动幅度较小的锯齿形法及月牙形法运条。

挑弧法或灭弧法是当熔滴脱离焊条过渡到熔池后，立即将电弧向上方挑起灭弧，当熔池冷却后，随即把电弧拉回到熔池，当新的熔滴过渡到熔池后，再向上挑起电弧（这种焊法不适用于碱性焊条）。为了不使空气侵入熔池，电弧移开熔池的距离应尽可能的短，且挑弧的最大弧长不宜超过6mm。薄板常采用直线挑弧法，即焊条只沿间隙直线向上挑弧施焊。月牙形挑弧法或锯齿形挑弧法是在月牙形或锯齿形运条的基础上进行挑弧焊的方法，如图3-33所示。焊接反面封底焊缝时，可适当地增大焊接电流，以获得较大的熔深。

(2) 开坡口对接接头立焊 当板厚大于6mm时，为了焊透常采用开坡口多层焊，层数由板厚决定。正面第一层用φ3.2mm焊条。运条方法：厚板可用小三角形运条法在每个转角处稍作停留；中等厚板或稍薄板，采用小月牙形或挑弧运条法，如图3-34所示。最好的焊缝成形是两侧熔合，焊缝表面较平坦，否则，焊第二层时容易产生未焊透或夹渣等缺陷。焊第二层以上的焊缝宜采用锯齿形运条法，焊条直径不大于4mm。最后一层运条速度要均匀一致，电弧要短，且在两侧要稍微停留。

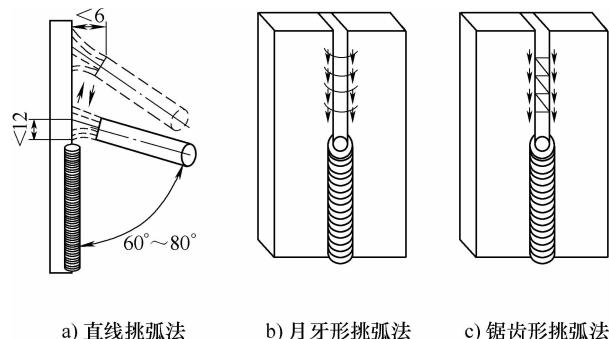
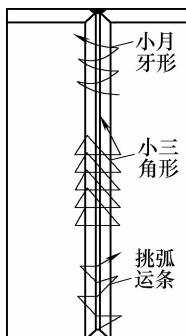
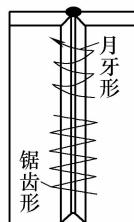


图3-33 不开坡口对接焊立焊挑弧法

(3) T形接头立焊 T形接头立焊最容易产生根部未焊透和焊缝两侧咬边。施焊时注意焊条角度(图3-32b)和运条方法,如图3-35所示为常用的几种运条方法,在焊接时,电弧尽可能短,摆幅大于所要求的焊脚尺寸,摆至两侧时稍微停留,以防止咬边和未熔合。



a)正面第一层焊缝



b)第二层以外焊缝

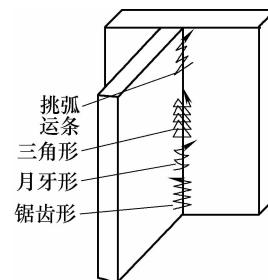


图3-35 T形接头立焊

图3-34 开坡口对接立焊

3. 横焊

横焊时,焊条熔滴受重力影响容易偏离焊条轴线,熔池金属受重力影响容易下坠,甚至流淌至下坡口面,产生咬边、焊瘤、未熔合、夹渣等缺陷。因此,焊接时应采用短弧,并选用较细直徑的焊条,较小的电流,以及适当的运条方法。采用多层多道焊能较容易地防止熔滴下淌,但焊缝外观不平整。

由于横焊焊接是上部坡口温度高于下部坡口,因此在上坡口处不进行稳弧动作,而应迅速将电弧带至下坡口根部处,进行微小的横位稳弧动作。坡口间隙小时,适当增大焊条倾角。

下倾角:间隙大时,可减小焊条下倾角。工件较薄时,可用直线形往返形运条法焊接,使熔池中的熔化金属有机会凝固,可以防止焊穿。工件较厚时,可采用短弧直线形或小斜圆圈形运条法焊接,这样可得到合适的熔深。横焊的焊接速度应稍快些,避免焊条的熔化金属聚集在某一点上形成焊瘤和咬边等缺陷。

(1) 不开坡口的对接横焊 当板厚3~5mm时可不开坡口,采用直线形往返运条法双面焊接。正面焊缝采用 $\phi 3.2\text{mm}$ 焊条,倾角如图3-36所示。

(2) 开坡口的对接横焊 厚板对接横焊一般采用K形坡口,坡口主要开在上板上,下板不开坡口或开角度小于上板的V形坡口,这样有助于焊缝成形,当板厚大于8mm时,应采用多层多道焊,这样能更好地避免由于熔化金属下淌造成的焊瘤,保证焊缝成形良好。第一层用 $\phi 3.2\text{mm}$ 焊条,运条方法用直线形。从第二层开始,可从下坡口边缘一道一道地向上排焊,也可以采用斜圆圈形运条法施焊,焊条可采用 $\phi 3.2\text{mm}$ 或 $\phi 4\text{mm}$,均用短弧焊接。焊条的角度要根据各道焊缝的位置来进行调节。

4. 仰焊

仰焊是各种位置焊接中最难的一种,由于熔池倒悬在焊件下面,液态金属靠自身表面张力作

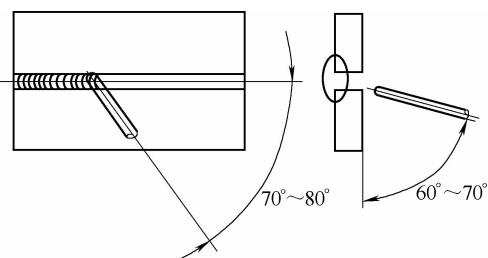


图3-36 不开坡口对接横焊时的焊条角度

用保持在焊件上。如果熔池温度高, 表面张力则减小, 熔池体积增大, 则重力也增大, 这些因素的影响会引起熔池金属下坠, 甚至成为焊瘤, 背面则会形成凹陷。因此, 为了保证仰焊质量, 施焊时应采用小直径焊条, 这样可使熔滴体积小, 重力作用减弱。短弧焊接可使熔滴在很短的时间内由焊条过渡到熔池中去。焊接电流要合适, 电流太小则根部焊不透, 太大则容易引起熔化金属下坠, 使焊缝正面形成焊瘤, 而背面则会形成凹陷。

焊接带坡口的仰焊焊缝的第一层时, 焊条与坡口两侧成 90° 角, 与焊接方向成 $70^{\circ} \sim 80^{\circ}$ 角, 用最短电弧进行前后推拉的动作。熔池宜薄不宜厚, 应确保与母材熔合良好。熔池温度过高时可以拉起电弧或短暂熄弧, 使温度稍微降低, 焊接其余各层时, 焊条横摆并在两侧进行稳弧动作, 避免咬边和夹渣。

T形接头的仰焊比对接接头位置的仰焊容易操作, 当焊脚尺寸小于 8mm 时采用单层焊, 焊脚尺寸大于 8mm 时采用多层多道焊, 焊接第一层时采用直线形运条法, 以后各层可采用斜圆圈形或斜三角形运条法。

当板厚小于 5mm 时, 采用不开坡口对接焊, 焊条直径 $\phi 2.5 \sim \phi 3.2$ mm, 焊条倾角如图 3-37 所示。焊缝表面要平直, 不允许呈现凸形。

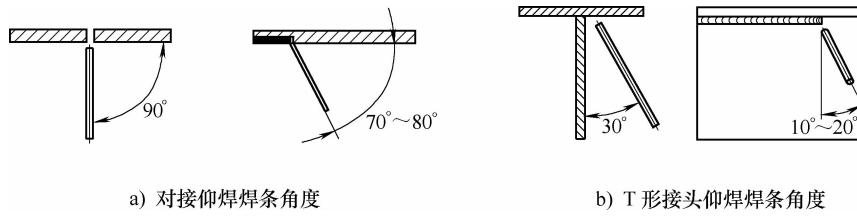


图 3-37 仰焊的焊条角度

5. 长焊缝焊接技术

工件焊后的残余变形大小与焊缝长度有关。为减小工件的总体变形, 焊接长度不超过 0.5m 的短焊缝时, 可采用直通焊。当焊缝长度在 0.5~5m 范围时, 应采用如图 3-38a 所示的从中间向两端的直通焊或采用如图 3-38b 所示的各小段焊接方向与总焊接方向相反的分段退焊。对焊接长度 5m 以上的焊缝, 可采用如图 3-38c 所示的对称分段退焊或如图 3-38d 所示的分段跳焊。

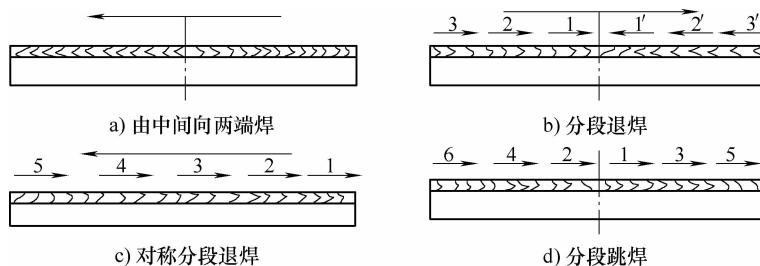


图 3-38 不同长度焊缝的焊接

(三) 焊条电弧焊单面焊反面自由成形技术

单面焊反面自由成形技术是在单面坡口的焊件上进行单面施焊获得双面成形的焊缝。单面焊反面自由成形技术目前常用的手法有灭弧焊击穿焊法和连弧焊击穿焊法两种。现以 V 形坡口为例介绍单面焊反面自由成形技术。采用的焊件坡口形式的推荐数值见图 3-39 和表 3-19。

表 3-19 焊件对口形式的推荐值

操作方法	焊条药皮类型	V形坡口面角度 $\alpha/(\circ)$	根部间隙 b/mm	钝边高度 p/mm
灭弧焊	酸性	30~35	(1.0~1.3)d	(0.4~0.6)d
	碱性		(0.8~1.2)d	
连弧焊	碱性	30~35	(0.8~1.0)d	(0.5~1.0)d

1. 灭弧焊操作技术

灭弧焊是通过控制电弧的燃弧和灭弧的时间及运条动作来控制熔池形状、熔池温度及熔池中液态金属厚度的一种焊接技术。它具有容易控制熔池状态、对焊件的装配质量及焊件工艺参数的要求较低、适应性较强等特点。但是如果技术掌握不够熟练，则容易产生气孔、夹渣等内在缺陷和焊道外凸、内凹、冷缩孔、咬边、焊瘤等表面缺陷。灭弧焊操作方法有一点法、两点法和三点法，如图 3-40 所示。

其中一点法适用于薄板、小直径管 ($\leq \phi 60\text{mm}$) 及小间隙 (1.25~2.5mm) 条件下的焊接，两点法与三点法适用于厚板、大直径管、大间隙条件下的焊接。生产中采用较多的为一点法和两点法。

一点法的操作特点是焊接电弧始终对准坡口间隙中间，保证坡口钝边两侧金属同时熔化，但焊缝中心易产生冷缩孔。两点法的操作特点是在形成第一个熔池后电弧左右（或上下）坡口两侧来回交替引弧。一点法的详细操作见第十章第一节。

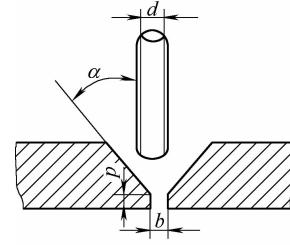


图 3-39 单面焊反面自由成形的对口图形

α —坡口角度 b —根部间隙

p —钝边高度 d —焊条直径

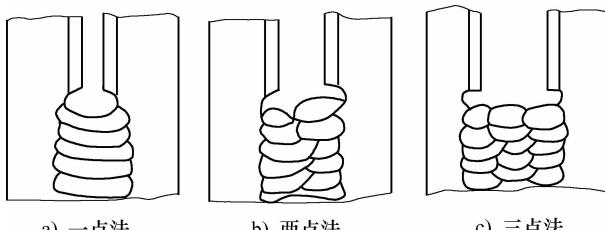


图 3-40 灭弧焊中常用的操作方法示意图

各种位置灭弧焊操作特点：

平焊的熔孔在被击穿的瞬间易被液态金属所覆盖，一般不易看见。因而，为获得良好的焊道形状，在焊接时一定要注意倾听击穿焊件根部时发出的“噗”声。一听到这种声音，就要快速灭弧。如果稍有迟缓，就会造成熔孔过大，甚至产生焊瘤。施焊时，焊件背面应保持 1/3 弧柱。

立焊由于重力的作用，熔池液态金属和熔滴容易因下坠而产生焊瘤，施焊过程中除了要掌握好焊条倾角与灭弧频率外，还应该接弧准确，灭弧迅速，不要拉长弧。施焊时，焊件背面应保持 1/3~1/2 弧柱。

横焊由于重力的作用，熔滴在由焊条向焊件过渡时，易偏离焊缝轴线而向下偏斜，因此在短弧施焊的基础上除保持一定的焊条倾角外，还须保持一定的下倾角。又因上坡口面受热条件好于下坡口面，且熔池液态金属下坠现象极易造成下坡口面的熔合不良，施焊时应先击穿下坡口面根部，再击穿上坡口面根部，始终保持下坡口面根部比上坡口面根部先熔化 0.5~1.0 个熔孔，形

成上大下小的斜椭圆形熔孔，一点法击穿时熔池凝固时处于水平位置。施焊时，焊件背面应保持1/2弧柱。

总的来说，采用灭弧焊接法进行第一层焊接时，应注意以下几个问题：①注意灭弧位置与灭弧动作。不能把灭弧位置选在熔池前方的坡口面上或坡口间隙处，而应将焊条拉向熔池斜后方迅速灭弧。动作要干净利索，不能拉长弧。②注意倾听电弧击穿焊件时发出的第一个“噗”声。没有这个“噗”声，证明焊件背面未焊透，就不能向前施焊，“噗”声太久，会焊穿甚至产生焊瘤。③整个打底焊过程，尽量使熔池形状和大小及熔孔大小始终一致。④注意灭弧与接弧的间隔时间，灭弧频率为每分钟45~55次，如熔孔变大，焊缝背面余高变厚，灭弧次数减少，燃弧时间相应减少或停弧时间变长。⑤焊条倾角要适宜，否则在不同位置施焊时，容易产生焊接缺陷。⑥定位焊焊缝的接头方法是，必须用电弧熔穿坡口根部，使其充分熔合，当运条到另一端时，焊条在焊接处稍停顿一下，并使焊条倾角做相应变化，以使充分熔合。

2. 连弧焊操作技术

连弧焊是通过连续、有规则的焊条摆动进行短弧施焊的操作技术。它采用较小的根部间隙与焊接参数，并在短弧条件下进行规则的焊条摆动，使焊道始终处于加热和缓慢冷却的状态，从而得到成形齐整且表面细密的背面焊道。但它对焊件的装配质量及焊接参数都有较严格的要求，对焊工的熟练程度和操作难度较高。

(1) 连弧焊基本操作要点 引弧后先将电弧压到最低程度，并在始焊处以小齿距的锯齿形运条法做横向摆动，对焊件进行加热。当坡口根部有“出汗”现象时，再做一个击穿动作（即尽力将焊条往根部送），待听到“噗”的一声（熔孔形成）后，迅速将电弧移到任一坡口面上，随后在两坡口面间以一定的焊条角度作1~2s的似停非停的微小摆动，以使电弧在两坡口根部两侧同时熔化1.5mm左右，然后将焊条提起1~2mm，以小齿距的锯齿形运条法做横向摆动，使电弧以一定长度一边熔化熔孔前沿，一边向前施焊。施焊时，一定要使各熔孔端点的位置一致，（即将焊条中心对准熔池前沿与焊件根部交界处），使新熔池与前一熔池相重叠。

施焊过程中，熔孔的大小对焊道背面成形有较大的影响。如果熔孔过大，则易产生背面焊道余高过高，或产生焊瘤；如果熔孔过小，则易产生未焊透或未熔合的缺陷。影响熔孔的大小的因素很多，但如果严格控制根部间隙、焊接电流、运条速度、焊条角度等参数，就能得到理想的背面成形。

(2) 各种位置连弧焊操作特点

1) 平焊换焊条时的接头是个难点，一是收弧时易在背面焊道产生冷缩孔；二是接头时易产生焊道脱节，也就是接不上头。为此，其操作要点是：收弧时先在熔池前方做一个熔孔，然后再在电弧左侧或右侧10~15mm处收弧或往熔池的前一坡口面上加两滴铁液收弧。接头时采用冷接法，采用角向磨光机或扁铲把接头区修磨成缓坡状，在距弧坑10~15mm处（已焊处）起弧，以正常速度运条至弧坑1/2处将焊条下压直至缓坡状底部，听到“噗”声后，稍停顿1~2s左右同时作微小摆动，随后稍提起焊条正常焊接。施焊时，焊件背面应保持1/3弧柱。

2) 立焊连弧焊操作。在做击穿动作时，焊条下倾角应稍大于90°，出现熔孔后立即恢复到原角度（45°~60°）。施焊过程中熔孔应比平焊时稍大，但在横向摆动时，向上的幅度不宜过大，否则易产生咬边缺陷。在保证背面成形良好的前提下，焊道越薄越好，因为一旦过厚，则易产生气孔。在焊道接头时须用角向磨光机或扁铲将焊道端部修磨成缓坡状后再进行接头操作。施焊时，焊件背面应保持1/2弧柱。

3) 横焊连弧焊操作。先在始焊部位的上侧坡口面上引弧，待根部钝边熔化后，再将液态金属带到下侧钝边，形成第一个熔池后，再击穿熔池，并立即采用斜椭圆形运条法运条。从坡口上侧向坡口下侧的运条速度应慢一些，以防止夹渣和保证填充金属与焊件融合良好。从下侧向上侧

的运条速度应快一些，以防止液态金属下淌。焊接过程中要采用短弧将液态金属送到坡口根部。收弧时应将电弧带到坡口上侧，向后方（已焊处）提起收弧。施焊整个过程，焊件背面应保持2/3弧柱。

4) 仰焊连弧焊操作。为防止背面焊道产生内凹，一要采用短弧焊，以利用电弧吹力托住液态金属，并将一部分液态金属送到焊件背面；二使新熔池覆盖前熔池的1/2，并适当加快焊接速度，使熔池截面积变小，形成薄焊层，以减小焊肉的自重；三要保持适当的焊条角度，工作角为90°，焊条倾角为70°~80°。施焊时，焊件背面应保持2/3弧柱。

五、焊条电弧焊常见的缺陷与预防措施

焊条电弧焊易产生的缺陷有裂纹、气孔、夹渣、未焊透、未熔合、咬边及其他一些外形缺陷，它们的产生原因及预防措施见第六章第一节。

第五节 埋弧焊

一、埋弧焊的特点和应用

（一）埋弧焊的特点

埋弧焊是以电弧埋在焊剂下，成为加热和熔化焊丝与工件的热源，焊丝的送进和电弧沿焊接方向的移动都由机械实现的焊接方法。其优点是：可用较大的焊接电流，较高的焊接速度，生产率高；机械化程度高，质量稳定，对焊工操作水平的依赖程度大大降低；没有弧光辐射，劳动条件较好；焊接成本较低。缺点是：焊接时必须用焊剂覆盖，除非采取特殊措施，否则只能在平焊位置焊接；埋弧焊接不能直接观察电弧与坡口的相对位置，若没有可靠的自动跟踪装置，则容易焊偏；焊接熔深较大，焊接较薄的焊件容易焊穿；需要的设备较多，除埋弧焊机外，还需焊接操作架、可调速的滚轮架（最好是有自动防轴向位移功能的）、焊剂垫等。

（二）埋弧焊的应用

埋弧焊一般用在锅炉、压力容器制造中和大直径螺旋管和直缝管焊制中的焊接。广泛用于焊接低碳钢、低合金钢、耐热钢、低温钢、不锈钢及铜镍有色金属的焊接，还用于耐蚀层或耐磨层合金丝极或带极堆焊。在容器安装中，已有大型储罐横缝埋弧焊的应用实例。

埋弧焊在长期的应用过程中派生出许多新的工艺方法，如单电源双细丝埋弧焊、多丝埋弧焊、带极埋弧堆焊、窄间隙埋弧焊、埋弧堆焊等。

二、埋弧焊设备的分类和组成

（一）埋弧焊设备的分类

（1）按用途 埋弧焊设备分为通用和专用两种。通用埋弧焊设备广泛用于各种结构的纵、环缝对接、角接。专用埋弧焊设备如埋弧自动角焊机、T形梁焊机、埋弧堆焊机。

（2）按电源类型 埋弧焊设备分为交流和直流两种。

（3）按行走机构形式 埋弧焊设备分为焊车式、悬挂式、车床式、悬臂式以及龙门式等，如图3-41所示。

（4）按送丝方式 埋弧焊设备分为等速送丝式和变速送丝式两种。前者适用细丝高电流密度焊接，后者适用粗丝低电流密度焊接。

（5）按焊丝数量和截面形状 埋弧焊设备分单丝、双丝、多丝和带状。单丝埋弧焊设备运用最广泛，双丝和多丝是为了提高生产率，带状主要用于大面积堆焊。

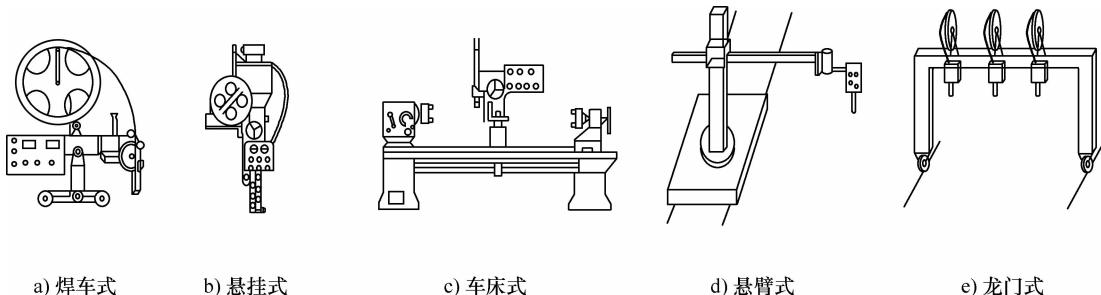


图 3-41 常见埋弧焊设备的形式

(二) 埋弧焊设备的组成

埋弧焊设备包括埋弧焊机、机头、控制箱、支架或导轨及辅助设备。埋弧焊机由焊接电源、机械系统和控制系统三部分组成。MZ-1000 埋弧焊机如图 3-42 所示。

焊接电源是向焊接电弧提供电能，提供合适的电气特性，参与焊接参数的调节。机械系统的作用是送丝，移动焊接电弧、铺撒焊剂等。控制系统的作用是实现引弧、送丝、移动电弧、停止移动电弧、熄弧等程序自动控制，并进行焊接参数调节，使电弧稳定燃烧。辅助设备是调整工件位置，使焊缝始终处于最佳焊接位置，或是特殊的工艺装置，如焊接夹具、工件变位设备、焊机变位设备、焊缝成形设备及焊剂回收输送设备等。

1. 焊接电源

埋弧焊电源有交流电源、直流电源或交直流并用。细丝（直径小于等于 3mm）埋弧焊电弧静特性是上升的，要求电源的外特性是平特性，配合等速送丝能通过自身调节来保证焊接参数的稳定。直径大于 3mm 的粗丝电弧静特性是水平的，通常采用下降特性的电源和变速送丝（电弧电压负反馈调节送丝速度）来保证焊接参数的稳定，并用来焊接厚板。直流电源主要有弧焊整流器如 ZXG-1000R、晶体管电源 ZX5-630 及逆变整流器如 ZX7-1000 等。直流电源一般用于单丝小电流（300~600A）焊接，适用快速引弧、短焊缝、高速焊接、所采用的焊剂稳弧性差及焊接参数较高的场合。小容量焊机大多是多功能的，可以进行 TIG 焊（恒流外特性）、实芯或药芯熔化极气体保护焊（恒压外特性）。由于磁偏吹，直流埋弧焊的焊接电流很少在 1000A 以上。

交流埋弧焊电源一般为陡降外特性，主要电源有弧焊变压器如 BX1-1000 和晶闸管电抗器式矩形波交流电源。弧焊变压器成本低，且无磁偏吹现象，它只适用要求不太高且电流较大的场合。晶闸管电抗器式矩形波交流电源既能满足无磁偏又能满足精度和质量要求如窄间隙焊接。

2. 埋弧焊控制系统

埋弧焊基本控制系统由五个部分组成，即送丝速度控制、焊接电源参数给定、焊接启动/停止开关、手动或自动行走选择开关、待焊状态的送进或回抽。其他控制如悬臂式、门架式等埋弧焊机的控制系统还要增加悬臂伸缩、悬臂升降、立柱旋转、工件变位机运转等控制环节。

半自动埋弧焊控制系统相对简单，只需要送丝速度控制。在恒压电源系统中，要保证焊丝的等速送进；在恒流电源系统中，要监控焊接电压，并通过控制送丝速度来保证稳定的焊接电压。

数字式埋弧焊机最大的优点是电流、电压、焊速可以预设，避免焊前试焊，提高了生产率；同时动态反应速度快，焊缝外形整齐。缺点是结构复杂、维修困难。



图 3-42 MZ-1000 埋弧焊机

3. 机械系统

埋弧焊机的机械系统包括送丝机构、焊车行走机构、机头调节机构、导电嘴、焊剂漏斗、焊丝盘等部件，通常焊机上还装有控制盒等。各厂家都有各自的设计，但功能大同小异。

(1) 送丝机构 送丝机构一般都包括送丝电动机、传动系统、送丝滚轮、矫直滚轮等。焊丝靠送丝滚轮夹紧和转动送入导电嘴。

(2) 焊车行走机构 焊车行走机构由电动机、传动机构、行走轮、离合器、车架等组成。行走轮一般采用橡胶绝缘轮，目的是避免焊接电流流经车轮而短路。

(3) 机头调节机构 机头调节机构是使焊机能适应各种不同类型焊缝的焊接，并使焊丝对准焊缝，因此送丝机头应有足够的调节自由度。例如，MZ—1000型埋弧焊机的机头有X、Y两个方向的移动调节，调节行程分别为60mm和80mm，还有 α 、 β 、 γ 三个方向的手工转动角度调节，如图3-43所示。机头上有易损件导电嘴，它的结构有三种，如图3-44所示。

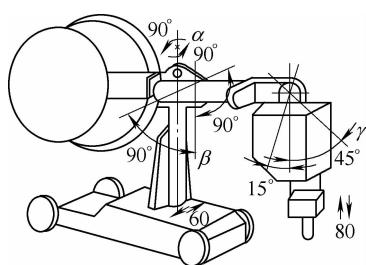


图3-43 MZ—1000型焊车调节自由度

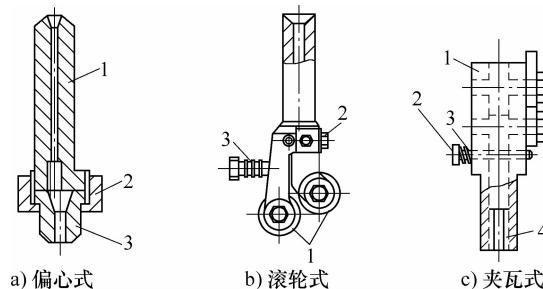


图3-44 导电嘴结构

a) 1—导电杆 2—螺母 3—导电嘴

b) 1—导电滚轮 2—旋紧螺钉 3—弹簧

c) 1—接触夹瓦 2—旋紧螺钉 3—弹簧 4—可换衬瓦

(4) 埋弧焊的辅助设备

1) 焊接夹具。使用焊接夹具的作用在于使工件准确定位并夹紧，以便于焊接。这样可以减少或免除定位焊焊缝和减少焊接变形。焊接夹具往往与其他辅助设备配套使用，如单面焊双面成形装置等，一般都配焊剂垫或铜垫。

2) 工件变位设备。这种设备的主要功能是使工件旋转、倾斜、翻转，以便把待焊的焊缝置于最佳的焊接位置，达到提高生产率、改善焊接质量、减轻劳动强度的目的。工件变位设备的形式、结构及尺寸因工件而异。埋弧焊中常用的工件变位设备有滚轮架、翻转机等。

3) 焊机变位设备。焊机变位设备也称焊接操作机，其主要功能是将焊接机头准确地送到待焊位置，并在焊接时可在该位置操作，或是以一定速度沿规定的轨迹移动焊接机头进行焊接。一般与工件变位机配合使用，完成各种工件的焊接。

4) 焊缝成形设备。埋弧焊的电弧功率较大，钢板对接时，为防止熔化金属的流失和烧穿并促使焊缝背面成形，往往需要在焊缝背面加衬垫。最常用的焊缝成形设备有铜垫、焊剂垫。

5) 焊剂回收输送设备。焊剂回收输送设备是用来在焊接过程中自动回收并输送焊剂，以提高焊接自动化程度的装置。

三、埋弧焊的焊接参数的选择

(一) 埋弧焊的焊接参数

埋弧焊工艺参数有焊前准备、焊接电源种类和极性、焊接电流、电弧电压、焊接速度、焊丝和焊剂的成分与配合、焊丝伸出长度、焊丝倾角、焊丝与焊件的相对位置、焊剂颗粒、焊剂散堆高度和多丝焊的丝间距等。焊接参数的确定应以其相应的焊接工艺试验结果或焊接工艺评定结果

为依据，再进行适当的调整后才能使用。

其中焊接材料的选用参见第四章，本节将重点介绍单丝埋弧焊工艺参数的选择及焊接操作技术。

1. 焊接电源种类和极性

埋弧焊时，采用直流电比交流电能更好地控制焊道形状和熔深，且引弧容易。直流反接时可获得更大的熔深（这是由于焊剂中有氟化物，负极时发出的热量比正极多）和最佳的焊缝成形。这与焊条电弧焊正好相反，采用交流焊接时熔深介于反接和正接之间。

因此埋弧焊在采用直流焊机时，一般都采用直流反接，只是要求熔深浅和表面堆焊时才采用正接。

2. 焊接电流

焊接电流是决定焊缝熔深的主要因素。在其他参数不变的条件下，随着焊接电流的增大，焊缝的熔深和余高均增加，而焊缝的宽度变化不大，如图 3-45 所示。通常焊接电流 I 与熔深 H 成正比关系： $H = K_m I$ 。 K_m 为比例系数，由电源种类、极性、焊丝直径及焊剂等来决定，见表 3-20。各种直径焊丝推荐的电流范围（直流反极性）及相应的熔敷率如图 3-46 所示，直流正接时，熔敷率约提高 35%。

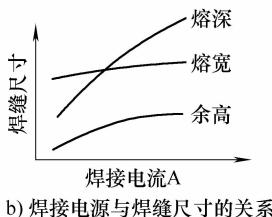
焊接电流过大时，会使接头韧性降低。同时电流过大还易导致咬边、焊瘤或烧穿等缺陷。焊接电流过小时，易产生未熔合、未焊透、夹渣等缺陷，使焊缝成形变差。

表 3-20 不同焊丝直径和电流种类的 K_m 值

焊丝直径/mm	电流种类	K_m 值/(mm/100A)	焊丝直径/mm	电流种类	K_m 值/(mm/100A)
2.0	直流	1.0 ~ 1.7	2.0	交流	1.0 ~ 2.0
5.0	直流	0.7 ~ 1.3	5.0	交流	1.1 ~ 1.5



a) 不同焊接电流下焊缝截面形状



b) 焊接电源与焊缝尺寸的关系

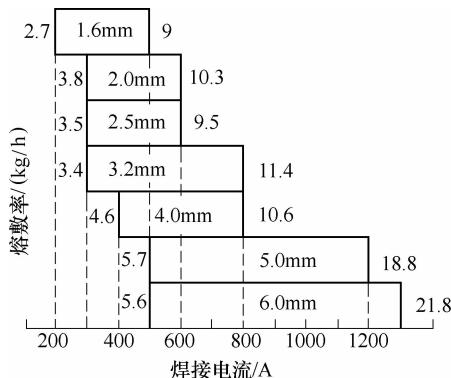


图 3-45 焊接电流对焊缝横截面形状和熔深的影响

图 3-46 各种直径焊丝推荐的电流范围
(直流反极性) 及相应的熔敷率

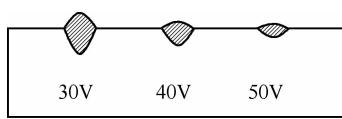
3. 电弧电压的选择

电弧长度决定电弧电压，埋弧焊时电弧长度不可见，只能通过电弧电压控制。在其他参数不变的条件下，随着电弧电压的提高，焊缝的宽度明显地增大，而熔深和余高则略有减小，如图 3-47 所示。

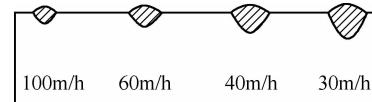
电弧电压过高形成宽而浅的焊道，从而导致未焊透和咬边等缺陷的产生。此时，焊剂的熔化量增加，使焊缝表面粗糙，脱渣困难。电弧电压过低，会形成高而窄的焊道，使焊缝边缘熔合不良。因此为获得成形良好的焊道，电弧电压与电流应相互匹配，电流增加时电压也相应增加。

4. 焊接速度

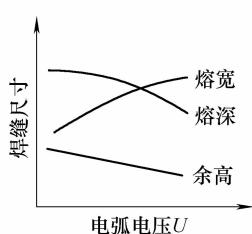
焊接速度决定了每单位焊缝长度上的热输入。在其他参数不变的条件下，提高焊接速度，单位长度焊缝上的热输入和填充金属量减少，使熔深、熔宽和余高都相应减小，如图 3-48 所示。



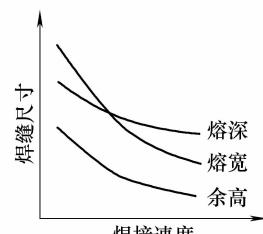
a) 不同电弧电压下焊缝截面形状



a) 不同焊接速度下焊缝截面形状



b) 电弧电压与焊缝尺寸的关系



b) 焊接速度与焊缝尺寸的关系

图 3-47 电弧电压对焊缝横截面形状和熔深的影响

图 3-48 焊接速度对焊缝横截面形状和熔深的影响

焊接速度太快，会产生咬边和气孔等缺陷，焊道外形变差；焊接速度太慢，可能引起焊缝烧穿。如果电弧电压同时较高，可能导致焊缝横截面呈蘑菇形。在某些不利条件的共同作用下，也可能导致焊缝产生人字形裂纹或液化裂纹。因此，焊接速度应与所选定的焊接电流、电弧电压适当匹配。

5. 焊丝直径及伸出长度

焊接电流一定时，焊丝直径越细熔深越大，焊缝成形系数越小。但对于一定的焊丝直径，使用的电流范围不宜过大，否则将使焊丝发红，影响焊丝的性能及焊接过程的稳定性，图 4-46 为各种直径焊丝推荐的电流范围。

焊丝伸出长度越长，熔敷率增大，余高增大，而熔深略有减小；焊丝伸出长度太短会反烧到导电嘴，产生粘连。一般合适的焊丝伸出长度为焊丝直径的 6~10 倍左右。不锈钢等电阻率较大的材料，其伸出长度应小些，但也不宜太短，否则电弧容易反烧到导电嘴上，使焊缝渗入铜而产生裂纹。

为了提高焊接效率且要求获得良好的成形焊道，加长焊丝伸出长度时应适当增加电弧电压与焊速。

6. 焊丝倾角和偏移量

焊丝的倾斜方向分为前倾和后倾。倾角的方向和大小不同，电弧对熔池的力和热作用不同，从而影响焊缝成形。当焊丝后倾一定角度时，由于电弧指向待焊金属，减弱了熔池的能量使焊缝变宽，熔深变浅，焊缝余高变小。前倾时电弧指向已焊金属，能量集中，电弧吹力使熔池向后推移，因而形成熔透深、余高大、熔宽小的焊道，并使焊缝成形变差。

对于单丝埋弧焊对接焊缝焊接时，为获得良好的成形焊道焊丝一般不倾斜，与焊件表面垂直，同时焊丝中心线对准接缝中心。T 形接头横角焊焊接时，焊丝与立板平面的倾斜角 30° 时，成形较好。当底板与立板厚度不等时，焊丝中心线应向底板侧偏移 $1/4 \sim 1/2$ 焊丝直径的距离，焊接时才能减小立板侧的咬边或成形不良或焊脚不等缺陷。

环缝埋弧焊时，为获得良好的成形焊道焊丝应逆焊件旋转方向移适当距离，使熔池凝固时刚

好在水平位置。焊丝最佳偏移量取决于焊件的直径和焊速的大小。

7. 焊剂粒度和堆散高度的选择

细颗粒焊剂适用于大的焊接电流。如果在低的焊接电流下使用细颗粒，因焊剂层密封性好，焊缝容易引起气孔和表面斑点。在大的焊接电流下使用粗颗粒，因焊剂层保护不好，焊缝表面容易形成凹坑和出现粗糙的波纹。

焊剂堆散高度太薄或太厚都会在焊缝表面引起斑点、凹坑、气孔，并改变焊道的形状。太薄，有闪光，电弧燃烧不稳定，降低了熔透深度；太厚，气体不易逸出，焊缝外形会凹凸不平。一般焊剂堆散高度在 20~40mm 范围内，焊丝直径越粗，电流越大，堆散高度相应加大。

8. 焊丝位置的调整

焊丝相对于接缝的位置也很重要，如图 3-49 所示。焊丝中心线必须对准坡口的中心线，当接头板厚不等时，焊丝可适当向厚板侧偏移。不恰当的焊丝位置会引起焊缝成形不良，导致咬边、夹渣和未焊透等缺陷的形成。因此，在焊接过程中应随时调整焊丝的位置。使其始终保持在所要求的正确位置上。焊丝的位置包括焊丝中心线与接缝中心线的相对位置，焊丝相对于接头平面的倾斜角及多丝焊时，焊丝之间的距离和相对的倾斜。

在深坡口厚壁接头埋弧焊时，除了根部焊道需对准接缝中心外，焊接填充层焊道的焊丝与坡口侧壁的距离应保持大致等于焊丝的直径，如图 3-50 所示。间距太小，则很容易产生咬边；间距太大，则会出现未熔合。

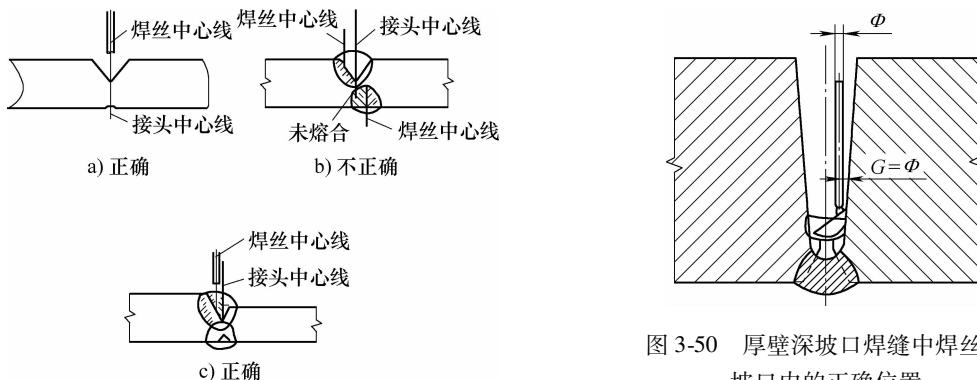


图 3-49 焊丝与接缝的相对位置图

图 3-50 厚壁深坡口焊缝中焊丝在坡口内的正确位置
注：焊丝与坡口侧壁间距 $G = \text{焊丝直径 } \phi$

9. 焊道顺序的排列

在 U 形坡口和 V 形坡口厚壁接头的多层多道焊缝中，焊道顺序对保证焊缝的质量也很重要。在平板拼接中，焊道顺序是防止挠曲变形的有效手段。对于某些低合金钢的焊接，焊道顺序可以调整焊接热周期，提高焊缝和热影响区的冲击韧度。

10. 其他

- 1) 坡口形状。当其他焊接参数不变时，增加坡口的深度和宽度时，焊缝熔深增加，焊缝余高和熔合比显著减小。
- 2) 根部间隙。在对接焊缝中，焊件的根部间隙增大，熔深也增加。
- 3) 焊件的厚度和焊件散热条件。当焊件较厚和散热条件较好时，焊道宽度会减小，焊缝余高增加。

四、单丝埋弧焊操作技术

(一) 对接接头埋弧焊技术

对接焊缝的埋弧焊，是应用最为广泛的一种。对接焊缝包括：平板的对接，筒体纵焊缝对

接、筒体环焊缝的对接等。其对接的焊接方法有以下几种。

1. 对接接头双面焊

对接接头双面焊常见形式有留间隙和不留间隙与开坡口或不开坡口的组合。

(1) 不留间隙双面焊 不留间隙双面焊是在焊第一面时焊件背面不加任何衬垫或辅助工具的操作方法,也称悬空焊。悬空焊时一般不留间隙,装配定位焊后,接口上的局部间隙不应大于1mm。焊第一道时,应保证不焊穿,故焊接参数应适当小些,一般熔透深度为焊件厚度的40%~50%。焊接背面时,应保证第一面焊道的根部焊透,故焊接参数应适当大些,一般熔透深度为焊件厚度的60%~70%。同时为了防止焊穿和未焊透,应随时观察背面焊缝表面的颜色和焊丝中心线与接缝的对中情况,做到及时调整。第一面焊道的根部是否需要清根,视第一道焊缝的质量而定。

(2) 预留间隙双面焊 这种焊接法是在装配时,根据焊件的厚度预留一定的装配间隙,进行第一面焊接时,为防止熔化金属流溢,接缝背面应加以焊剂垫或其他临时衬垫,并采取措施保证焊接时衬垫与接缝贴合,且压力合适。一般第一面焊接应保证熔透深度为焊件厚度的60%~70%。进行反面焊接时,其焊接参数可与第一面相同,但必须保证完全焊透。对清根的焊缝反面熔透深度可适当减小。对特种设备的对接焊缝焊接采用此焊接法为多。此双面焊还分为带衬垫双面焊和不带衬垫双面焊,带衬垫又分焊剂垫、铜垫。

(3) 开坡口双面焊 对于不宜采用较大热输入的钢材或厚度较大的焊件,可采用开坡口焊接。坡口形式由焊件厚度决定,通常焊件厚度在12~22mm时采用Y形坡口。大于22mm时开X形坡口。开坡口的焊件焊接第一面时采用焊剂垫,无法采用焊剂垫的可选用悬空焊,此时坡口应加工平整,装配间隙不应大于1mm。

焊缝的熔透深度在焊接过程中,往往是无法直接测出的。对于焊接5~14mm厚度的焊件时,可以凭经验来估计,如熔池背面的母材金属呈红色或淡黄,表示熔透深度达到了需要的焊缝厚度。此外,当焊接电流较大、电弧电压较低、焊接速度较快时,焊缝背面加热面积的前端呈尖形,如果此时颜色淡黄或白亮,则表示工件已经接近烧穿,应立即减小电流或适当增加电弧电压(因此时焊接速度已经较快,再增加焊速会使焊缝表面成形变坏)。假如此时颜色较深或较暗时,说明焊速太快,应降低焊接速度或适当增加焊接电流。而在焊接电流较大、电弧电压较低、焊接速度较慢时,如加热面积的前端呈圆形,若颜色为浅色,则应适当增加焊接速度。若颜色为深色,则应适当增加焊接电流。

2. 对接接头单面焊

对接接头单面焊分临时衬垫(焊剂垫、铜垫、热固化焊剂垫)和永久性衬垫。

(1) 焊剂垫上焊接 在焊剂垫上焊接时,焊缝成形的质量主要取决于焊剂垫托力的大小和均匀与否以及装配间隙的均匀与否,如图3-51所示。焊剂垫托力太小,背面焊缝余高过高或焊穿。焊剂垫托力太大,根部焊缝内凹、夹渣或焊缝成形不良。

(2) 铜垫上焊接 在铜垫上焊接,是采用带沟槽的铜垫板,沟槽中铺撒一薄层焊剂。焊接时这部分的焊剂起焊剂垫的作用又保护铜垫,免受电弧直接作用。沟槽起焊缝背面成形的作用。这种工艺对工件装配质量、铜垫上焊剂的托力均匀与否较不敏感,板材可用电磁平台固定。

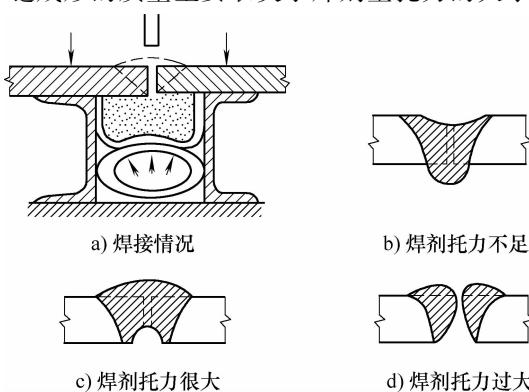


图3-51 在焊垫上对接焊

铜垫的形状如图 3-52 所示，各种工件厚度的铜垫板成形槽的尺寸见表 3-21。

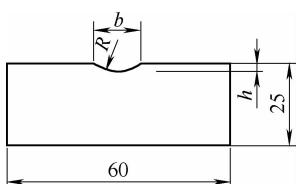


图 3-52 铜垫板截面

表 3-21 铜垫板成形槽的尺寸

(单位: mm)

工件厚度	槽宽 b	槽深 h	槽曲率半径 R
4~6	10	2.5	7.0
6~8	12	3.0	7.5
8~10	14	3.5	9.5
12~14	18	4.0	12.0

铜垫板应用适当的机械方法紧贴在工件背面，使其有效地承托熔池金属。但是，为使具有刚性的铜垫达到可靠紧贴，对工件装配精度要求较高。为了避免局部区域铜垫板没有贴紧而使液态金属流失，可在铜垫上撒一层很薄的粉状焊剂，这种方法称为焊剂铜垫法。

根据铜垫的尺寸和贴紧的方法不同，铜垫可分为固定式和移动式两种。固定式铜垫板的长度稍长于焊缝。在焊接过程中，铜垫板不动，为使垫板与工件紧贴，除用龙门架式压力机压紧外，还可借助压缩空气带动顶杆，将铜垫顶向工件。这种形式的特点是，焊缝长度受垫板长度限制，拼板的宽度不能太大。

移动式铜垫板长度只需略大于焊接熔池的长度。在焊接过程中，铜垫紧跟焊接小车，在焊缝底部一起滑动（因此又称铜滑块），铜滑块由小车上的拉紧弹簧通过工件的装配间隙使它紧贴在焊缝背面。这种铜垫的特点是：焊缝长度不受限制，机动灵活。但因滑块太短，容易受热氧化，必须采用水冷却。滑块需通过焊缝间隙拉紧，焊缝坡口要有一定的间隙，并有专门设计的小车。

(3) 热固化焊剂衬垫 对于焊件位置不固定的曲面接缝，可采用热固化焊剂垫法进行焊接。热固化焊剂是在一般焊剂中，加入一定比例的热固化物质——酚醛树脂或苯酚树脂和铁粉等。

热固化焊剂的特点是：当它被加热至 80~100℃ 时，树脂软化（或液化），将周围焊剂等粘在一起，当温度继续上升到 100~150℃ 时，树脂固化，使焊剂垫变成有一定刚度的板条。焊接时，它仅生成少量的熔渣，并能有效地阻止金属流溢，帮助焊缝背面成形。

使用时，将热固化焊剂垫紧贴在焊缝背面。热固化焊剂垫的熔渣少，避免产生大量熔渣而使焊缝高低和宽窄不均匀现象的形成。

(4) 永久性垫板或锁边上焊接 在永久性垫板或锁边上焊接，当焊件结构允许焊后保留永久性垫板时，厚度在 10mm 以下的焊件可采用永久性垫板单面焊的方法。对接接头永久性垫板的尺寸和厚度与焊件厚度的关系见表 3-22。装配时垫板必须紧贴焊件表面，垫板与焊件板面间的间隙不得大于 1mm。厚度大于 10mm 可采用锁边结构。

表 3-22 对接接头永久性垫板的尺寸和厚度与焊件厚度的关系

焊件厚度 δ /mm	垫板厚度/mm	垫板宽度/mm
2~6	0.5 δ	4 δ +5
6~10	0.3~0.4 δ	

(5) 封底焊单面埋弧焊 对不能使用衬垫或不便翻转的焊件，可采用其他焊接方法（如氩弧焊、焊条电弧焊或 CO₂ 焊）进行打底或封底焊，再进行埋弧焊。打底层或封底层的最小厚度不小于 5mm，以免埋弧焊时焊穿。

厚度较厚的焊件对接焊缝时，一般采用多层多道焊。对开 V 形或 U 形坡口进行埋弧焊时，

头两层或头三层焊缝中每层可焊一道焊道，施焊时焊丝中心对准接缝坡口中心线。随着层数的增加，坡口宽度的增大，每层分两道焊道进行焊接，此时焊丝应偏移接缝坡口中心线，偏移量为焊丝边缘与相近一侧坡口的边缘一倍的焊丝直径距离，以焊缝成形良好不咬边为准。当两道焊不满，可增加每层的焊道数，此时应先焊坡口两侧的焊道，后焊中间的焊道，同时应保证相邻焊道重叠 $1/3 \sim 1/2$ ，如图 3-53 所示。每道焊完后，应清除焊渣，观察填充层的每一焊道是否窄而焊肉饱满、无咬边现象，如有咬边和夹渣，应彻底清除缺陷经修补后再自动焊，直至焊满。盖面层焊道应保证焊缝圆滑过渡。

（二）角接接头埋弧技术

T 形接头和搭接接头的焊缝均是角接接头，用埋弧焊时可采用船形焊和斜角焊两种形式。小焊件及焊件易翻转时多用船形焊。大焊件及不易翻转时则用横角焊。

1. 船形焊

船形焊时，由于焊丝处在垂直位置，如图 3-54 所示，熔池处于水平位置，能保证焊缝成形和质量。但对工件装配要求严格，当工件装配间隙超过 1.5mm 时，容易发生熔池金属流失和烧穿现象。当装配间隙大于 1.5mm 时，一般可在背面进行封底补焊或采用石棉垫、焊剂垫等措施，防止熔化金属的流失。在选择确定焊接参数时，焊接电压不能太高，以免工件产生咬边。

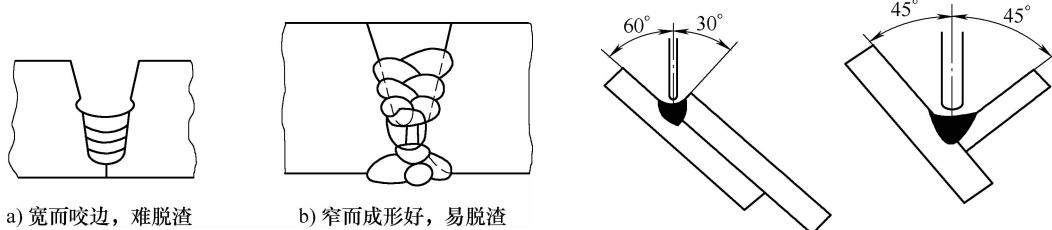


图 3-53 焊道示意图

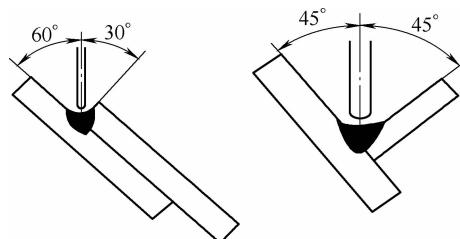


图 3-54 船形焊的焊缝形式

2. 斜角焊

斜角焊的焊丝与工件的位置如图 3-55 所示。由于工件太大，不容易翻转或有其他原因，不能在船形位置进行焊接时，才采用斜角焊。斜角焊的优点是对装配间隙的要求不是很高，但焊丝的位置对角接焊缝成形和尺寸有很大影响。斜角焊时，焊丝相对于立板平面的倾斜角可调整到 $30^\circ \sim 40^\circ$ ，每一道斜角接焊缝的焊脚高度不超过 $8\text{mm} \times 8\text{mm}$ ，否则会产生金属流溢和咬边。对焊脚高度超过 8mm 的工件，应采取多层多道焊，如图 3-56 所示为双道焊的工艺。另外，焊丝相对于工件的位置要适中，否则容易造成焊偏和咬边。

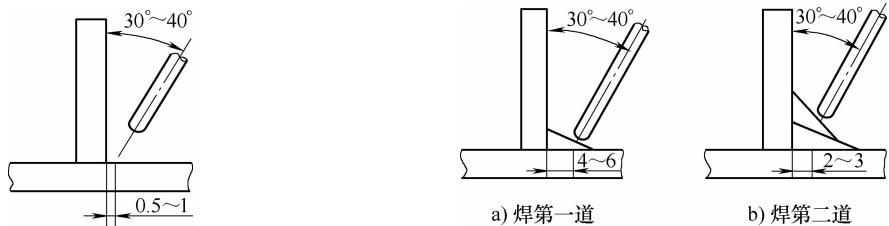


图 3-55 斜角焊的焊丝与工件的位置示意

图 3-56 双道角接焊缝工艺

五、埋弧焊常见的缺陷和防止措施

埋弧焊常见的缺陷有裂纹、气孔、夹渣、未焊透、咬边、焊穿及焊缝成形不良等，它们产生原因及防止措施见表 3-23。

表 3-23 埋弧焊常见的缺陷和防止措施

缺陷名称	产生原因	防止措施
焊缝成形不良	焊缝不直 ①导电嘴孔磨损严重 ②焊丝伸出长度过长	①更换导电嘴 ②减少焊丝伸出长度
	焊缝宽度不均匀 ①焊速不均匀 ②焊丝送进速度不均匀 ③焊丝导电不良	①找出原因消除故障 ②找出原因消除故障 ③更换导电嘴
	焊缝余高过高 ①电流太大而电压过低 ②上坡焊时倾角过大 ③环缝焊接位置不当	①调整焊接参数 ②调整上坡焊的倾角 ③相对于一定的工件直径和焊速,确定适当的位置
	焊缝金属横溢 ①焊速过慢 ②电压过大 ③下坡焊时倾角过大 ④环缝焊接位置不当 ⑤焊接时前部焊剂过少 ⑥焊丝向前弯曲	①调整焊速 ②调整电压 ③调整下坡焊的倾角 ④相对于一定的工件直径和焊速,确定适当的位置 ⑤调整前部焊剂覆盖情况 ⑥焊前矫直焊丝
	焊缝两边内凹,中间凸起 焊剂漏斗过低有粘渣	提高焊剂漏斗,使焊剂堆散高度控制在(30~40mm)
	麻点 ①焊接区未清理干净 ②焊剂过潮 ③焊剂堆散高度过高	①加强焊前清理 ②烘干焊剂 ③堆散高度控制在40mm以下
	焊缝表面粗糙 ①焊剂堆散高度过高 ②焊剂粒度不合适	①堆散高度控制在40mm以下 ②根据焊接电流选择正确的焊剂粒度
气孔	①接头未清理干净 ②焊剂潮湿、焊剂不纯 ③焊剂覆盖厚度不当或焊剂斗阻塞 ④焊丝有锈蚀 ⑤电压过高	①焊接区未清理干净 ②焊前焊剂需过筛、吹灰、烘干 ③合适的焊剂堆散高度,疏通焊剂漏斗 ④焊丝去锈 ⑤调低电弧电压
裂纹	①焊件焊丝焊剂等材料配合不当 ②焊丝中碳、硫含量较高 ③焊速过快 ④多道焊时第一道焊缝截面积过小 ⑤角接焊缝熔深过大 ⑥焊接顺序不合理 ⑦工件刚性过大	①合理选择焊材 ②选用合格的焊丝 ③降低焊速或焊前预热或焊后缓冷 ④调整焊接参数或改善坡口 ⑤调整焊接参数或改变极性 ⑥合理的焊接顺序 ⑦焊前预热或焊后缓冷
焊穿	焊接参数及其他工艺参数配合不当	合理的焊接参数
咬边	①焊丝位置或角度不当 ②焊接参数不当	①调整焊丝位置和角度 ②合理的焊接参数
未焊透	①焊接参数不当(电流过小、焊速过快) ②坡口不合适 ③焊丝未对中 ④根部未清根	①合理的焊接参数(加大电流、降低焊速) ②选择正确的坡口形式 ③焊丝对中 ④根部清根彻底
夹渣	①焊剂垫托力过紧 ②多层或多道焊时清渣不彻底	①焊剂垫托力合适,位置准确 ②多层或多道焊时清渣彻底 选用合理的焊接参数,避免咬边、形成窄和饱满的焊道

第六节 钨极惰性气体保护焊 (TIG)

一、钨极气体保护电弧焊的特点和应用

(一) 钨极气体保护电弧焊的特点

钨极气体保护电弧焊是在惰性气体的保护下利用钨电极与工件间产生的电弧热熔化母材和填充焊丝的焊接方法。焊枪的运动靠手工操作的是手工钨极气体保护电弧焊，填充焊丝和焊枪的运动全靠机械完成的，俗称自动钨极气体保护电弧焊。按其所用的惰性气体的种类又分钨极氩弧焊和钨极氦弧焊。由于氦的价格很贵，常用的是钨极氩弧焊。这种焊接方法的优点是：降低熔点易蒸发的锌、铅等以外，几乎可焊接所有金属。钨极电弧即使在很小的焊接电流下仍很稳定，特别适于薄板的焊接。电弧的加热和焊丝填充可分别控制，热输入容易调节，可进行各种位置的焊接，更是单面焊双面成形的较好方法。填充焊丝不通过电弧，不产生飞溅，焊缝成形美观。缺点是：熔深较浅，熔敷速度慢，生产率较低。钨极承载电流的能力较差，过大电流会使钨极熔化产生夹钨缺陷。惰性气体较贵，生产成本较高。

(二) 钨极氩弧焊的应用

钨极氩弧焊在锅炉压力容器压力管道制造和安装中，应用在要求单面焊背面成形的全焊透焊缝焊接或打底焊，或是无法双面焊焊缝的打底焊，尤其薄件的焊接（通常厚度在0.5~3mm），其焊缝返修清除缺陷时已将全厚度贯穿，又无法进入内部焊补时的焊接或打底焊，以及铜、铝、钛、镍、锆及其合金的焊接。

钨极氩弧焊在长期的应用过程中派生出许多新的工艺方法，如为了解决生产率较低等缺点，出现了双面同步、背面白保护、热丝、活性化钨极气体保护焊和超声、激光-氩弧复合焊等先进技术。

二、钨极惰性气体保护焊设备的组成

TIG焊设备包括弧焊电源、控制系统、焊枪、供气系统和水冷系统等，对于自动TIG焊还包括焊接小车行走机构及送丝装置。

手工焊时，焊枪的运动和焊丝的送进均由焊工左右手协调操作。自动焊时，分别通过焊枪或工件移动装置及送丝机构完成这两个动作。手工钨极气体保护焊设备如图3-57所示。新型直流TIG焊设备及方波交流TIG焊设备中，控制系统等已经和焊接电源合为一体。普通交流TIG焊设备中，仍将控制系统、引弧装置、稳弧装置及隔直装置等单独安装在一个控制箱内。

1. 焊接电源

焊接电源分为交流电源、直流电源、交直流两用电源。由于电弧工作部分是水平或略上升的，为稳定焊接电流，都要求有陡降（恒流）外特性的弧焊电源。

直流电源有直流弧焊发电机、弧焊整流器、晶体管电源、逆变电源等。交流电源有正弦波或方波交流电源，正弦波可选用一般的弧焊变压器，只是比焊条用交流焊机增加引弧、稳弧及消除直流分量等装置。而方波交流弧焊电源须由降压变压器和晶闸管整流桥组成，由于过零点电流变化快，引弧容易，无须稳弧装置。

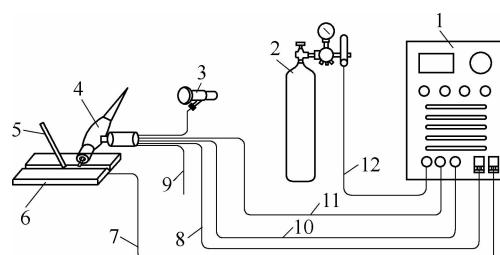


图3-57 手工钨极气体保护焊设备

1—弧焊电源及控制系统 2—气瓶 3—供水系统
 4—焊枪 5—焊丝 6—焊件 7—焊件电缆
 8—焊枪电缆 9—出水管 10—开关线
 11—焊枪气管 12—供气气管

氩弧焊用手工直流电源的焊机型号如 WS-315，脉冲焊机如 WSM-500，铝镁合金氩弧焊用交流焊机如 NSA-500。

2. 控制系统

由引弧器、稳弧器、行车（或转动速度控制器）、程序控制器、电磁气阀和水压开关等构成。

（1）TIG 对控制系统的要求

1) 起弧前，必须能提前 5~10s 送气，以排除气管内和焊接区的空气。灭弧后应滞后 5~15s 停止送气，以保护尚未冷却的钨极和熔池。

2) 应自动控制引弧器、稳弧器的启动和停止。

3) 焊接开始时，电流从较小的引弧电流逐渐上升到焊接电流。焊接即将结束时，焊接电流应能自动地衰减，直至电弧熄灭，衰减时间的长短可调节。

4) 自动 TIG 焊电弧引燃后即进入焊接，焊枪的移动和焊丝的送进应同时协调地进行。

（2）引弧器 TIG 焊的引弧方式有接触引弧和非接触引弧。非接触引弧主要有高频引弧、高压引弧两种。

采用高频振荡器，输出电压为 2000~3000V，频率为 150~260kHz 的高频高压电击穿钨极与工件之间的气隙（约 3mm 左右），达到引燃目的。但高频振荡产生的电磁波对电源和控制电路的正常工作有干扰作用，甚至损坏器件，对人体健康也不利，因此在引弧后应及时关闭且采取隔离屏蔽措施。

高压脉冲引弧方式是通过升压变压器的升压和晶闸管的控制，在钨极与焊件之间输出电压为 2000~3000V 的高压脉冲，加强阴极发射电子及两极间气体介质电离而实现引弧。

（3）稳弧器 用交流正弦波 TIG 焊时，为保证电弧稳定燃烧，须采用稳弧器稳弧。此时引弧脉冲和稳弧脉冲可共用一套脉冲发生器，但应有各自的触发电路。交流矩形波 TIG 焊无需稳弧装置。

3. 焊枪

焊枪的作用是夹持钨极、传导焊接电流和输送保护气体。

目前国内使用的焊枪分气冷式和水冷式两种。气冷式焊枪用于小电流（一般 $\leq 100A$ ）焊接，其冷却作用主要是由保护气体的流动来完成，且质量轻、尺寸小、结构紧凑及价格比较便宜。水冷式焊枪用于大电流（ $>100A$ ）焊接，结构比较复杂，比气冷式重而贵，其结构如图 3-58 所示。使用时，两种焊枪均应注意避免超载工作，以延长焊枪寿命。

自动 TIG 焊用的是水冷、笔式的焊枪，其内部结构与手工 TIG 焊焊枪相似。TIG 焊枪的标志由形式符号及主要参数组成。焊枪的形式符号由两位字母表示，如 QQ 表示气冷，QS 表示水冷，形式符号后面的数字表示焊枪参数。如：

QQ - 85 / 100 - C
 焊枪由硅胶模压制成
 额定电流 (A)
 喷嘴中心线与手柄轴线夹角 (°)
 冷却方式为气冷

焊枪结构设计合理与否，不仅影响保护焊枪的使用性能，而且影响保护效果和焊缝质量。因此 TIG 焊枪应满足下列要

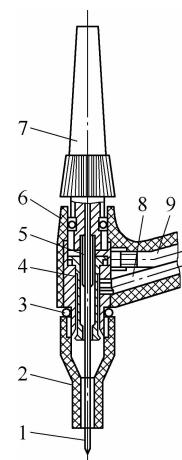


图 3-58 水冷式焊枪结构

1—钨极 2—陶瓷喷嘴 3—密封环
 4—轧头套管 5—电极轧头 6—枪体
 7—绝缘帽 8—进气管 9—冷却水管

求：能可靠地夹持电极，并具有良好的导电性能。从喷嘴喷出的保护气体具有良好的流态，保护效果可靠，具有良好的冷却性能，可靠性好，便于操作，结构简单、重量轻、耐用且维修方便。

目前生产中使用的喷嘴截面形式有三种：圆柱形、收敛形、扩散形。各种形状的喷嘴相比较，圆柱形喷嘴保护效果最好，且便于操作，应用较普遍。收敛形喷嘴次之，但收敛形喷嘴的电弧可见度好。扩散形通常用于熔化极气体保护焊。喷嘴内表面应保持清洁，以免影响保护效果。

TIG 焊常用电极材料为钍钨，它具有导电性好，载流能力强，并有较好的引弧性能，但价格较贵，放射性也大；而铈钨电极放射性小些。

常用的喷嘴材料有陶瓷、纯铜和石英三种。高温陶瓷喷嘴既绝缘又耐热，应用广泛，一般用于焊接电流 $\leq 300A$ 时的焊接。纯铜喷嘴焊接电流可达 $500A$ ，需用绝缘套将其与导电部分隔离。石英喷嘴透明，焊接可见度好，但价格较贵。

4. 供气系统与水冷系统

(1) 供气系统 一般钨极氩弧焊时，供气系统由氩气瓶、气体减压阀、气体流量计、电磁气阀和软管等组成，如图 3-59 所示。气体减压阀将高压气瓶中的气体压力降至焊接所要求的压力，气体流量计用来调节气体流量大小，电磁气阀用以控制保护气流的通断。

氩气瓶结构与氧气瓶一样，标称容量为 $40L$ ，满瓶公称压力为 $15.2MPa$ ，气瓶外涂蓝灰色，并标以“氩气”字样。减压阀和流量计一般是一体式，使用方便可靠。电磁气阀有交流和直流两种，通常采用 AC36V、AC110V 交流电磁气阀，或 DC24V、DC36V 直流电磁气阀，电磁气阀的开与关由控制电路决定。输送氩气的软管一般采用聚氯乙烯塑料软管，其颜色为黑色。

如果采用以氩气为主的富氩混合保护气体进行焊接，还要采用气体配比器，把两路或者三路不同的保护气体接入配比器的进气端，通过调节得到合适的混合气体。

(2) 水冷系统 水冷系统主要用来冷却焊接电缆、焊枪和钨棒。对于焊接电流小于 $100A$ 时，就不用水冷。为保证冷却水可靠接通并有一定的压力才能起动焊机，通常在 TIG 设备中设有保护装置——水压开关。

三、TIG 焊焊接参数的选择

TIG 焊的参数主要有：电源的种类及极性、焊接电流、电弧电压（电弧长度）、焊接速度、填丝速度与焊丝直径、保护气体种类、流量和喷嘴孔径、电极直径和端部形状、喷嘴与工件的距离和钨极伸出长度等。当材料确定后，焊接参数的确定应以其相应的焊接工艺试验结果或焊接工艺评定结果为依据，再进行适当的调整后才能使用。

1. 电流的种类及极性

不同的电流种类及极性具有不同的工艺特点，适用于不同材料的焊接。应根据工件的材料选择电流种类及极性。钨极氩弧焊的焊接电流有三种：交流、直流、程序电流。各种电流的适用范围如下。

交流：焊接铝、镁及其合金，焊接带氧化膜的铜。

直流：正极性可以焊接几乎所有的黑色金属和除铝、镁及其合金外的有色金属。除了铝、镁及其合金的薄件外，很少采用直流反接法。

程序电流（脉冲电流技术）：控制和改善焊根和焊道成形，改善熔深、晶粒尺寸及特殊位置

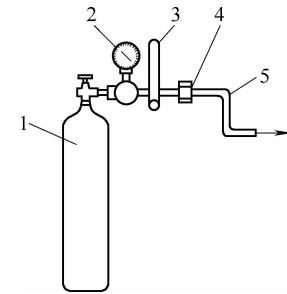


图 3-59 供气系统

1—高压气瓶 2—气体减压阀
3—气体流量计 4—电磁气阀
5—软管

的焊接。

2. 焊接电流大小选择

焊接电流是决定焊缝熔深的最主要焊接参数，电流大小选择应根据施焊母材金属的特性、焊件厚度、接头形式和焊接位置以及钨极所能承受的电流极限等来确定。钨极所能承受的电流范围见表 3-24。过大或过小的焊接电流都会使焊缝成形不良或产生焊接缺陷。

表 3-24 钨极所能承受的电流范围

电极直径 /mm	直 流				交 流	
	正接(电极为负)		反接(电极为正)			
	纯钨	加入氧化物的钨	纯钨	加入氧化物的钨	纯钨	加入氧化物的钨
0.5	2~20	2~20	—	—	2~15	2~15
1.0	10~75	10~75	—	—	15~55	15~70
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
6.3	550~675	650~950	65~100	65~100	300~450	430~575

3. 电弧电压的选择

在焊接电流种类及所用保护气体等相同的情况下，电弧电压主要由弧长来决定，弧长越长，焊缝的宽度增加，熔深稍减小。电弧太长时，容易引起未焊透和咬边等缺陷，同时保护效果也不好；电弧太短时，很难看清熔池，且送丝时容易碰到钨极而引起钨极烧损。一般在保证不短接的情况下，应尽量采用较短的电弧进行焊接。

不加填充焊丝焊接时，弧长控制在 1~3mm 间，加焊丝时弧长约 3~6mm。

在相同的电弧间隙下，氦比氩能产生更大的压降，两者相差 4V。因此采用氦气保护可获得更深的熔深。另外，电极端头的几何形状影响电弧电压的大小。电极端头到焊件距离相同条件下，较尖的锥形电极的焊接电压要高些，熔深较大。

4. 焊接速度的选择

电弧穿透深度与焊接速度成反比。金属导热性、工件厚度和尺寸是选择焊接速度的主要因素。改变焊接速度的目的是保持恒定电弧穿透力所要求的恒定能量。焊接速度影响焊接线能量、熔深和熔宽。通常根据板厚选择焊接速度，为了保证获得良好的焊缝成形，焊接速度应与焊接电流、预热温度及保护气体的流量相匹配。焊接速度太快易出现未焊透、咬边等缺陷，焊接速度太慢，会出现焊缝太宽、烧穿及焊件变形严重等缺陷。

确定焊接速度一般应遵循以下原则：焊接铝等高导率金属时，为了减小变形，应采用比母材导热速度快的焊接速度；焊接有热裂纹倾向的合金不能采用高速焊接；焊接速度直接影响熔池的尺寸，在非平焊位置时只能是较小的熔池，应适当提高焊接速度。

5. 填丝速度与焊丝直径的选择

焊丝的填丝速度与焊丝直径、焊接电流、焊接速度、接头间隙等因素有关。一般焊丝直径大时送丝速度慢。焊接电流、焊接速度、接头间隙大时，送丝速度快。送丝速度选择不当，可能造成焊缝出现未焊透、烧穿、焊缝凹陷、焊缝堆高太高、成形不光滑等缺陷。

焊丝直径与焊件厚度及接头间隙有关。当板厚及接头间隙大时，焊丝直径可选大些。焊丝直径选择不当，可能造成焊缝出现未焊透、焊缝堆高过高、成形不良等缺陷。

6. 保护气体种类、流量和喷嘴直径的选择

在确定喷嘴孔径和保护气体流量时要考虑焊接电流种类大小极性、弧长、钨极伸出长度、焊接速度及接头形式等因素的影响。在一定的条件下，喷嘴孔径和保护气体流量有一个最佳范围，这时保护效果最好，且有效保护区也最大。如果气体流量过低，气流挺度差，排除空气能力弱，保护效果不好。若流量太大，则易形成紊流使空气卷入，也降低保护效果。电流种类大小极性与喷嘴孔径和保护气体流量的关系见表 3-25。

表 3-25 喷嘴孔径与最低保护气体流量的关系

焊接电流/A	直流正接		直流反接		交流	
	喷嘴孔径/mm	气体流量/(L/min)	喷嘴孔径/mm	气体流量/(L/min)	喷嘴孔径/mm	气体流量/(L/min)
10~100	4~9.0	4~5	8~9.5	6~8	8~10	6~8
110~150	4~9.0	5~7	9.5~11	7~10	9~11	7~10
160~200	6~13	6~8	11~13	7~10	11~13	7~10
210~300	8~13	8~9	13~16	8~15	13~16	8~15
310~500	13~16	9~12	16~19	8~15	16~20	8~16

喷嘴孔径的大小直接影响保护区的范围，直径过大，浪费保护气体。当气体流量一定时，喷嘴孔径过大，气体流速过低、挺度小，保护不好，而且影响焊工的视野。孔径过小，影响保护。

喷嘴孔径也可按经验公式选取。

$$D = (2.5 \sim 3.5)d$$

式中 d ——钨极直径 (mm)；

D ——喷嘴直径 (mm)。

保护气体流量可按经验公式选取。

$$Q = KD$$

式中 Q ——保护气体流量 (L/min)；

D ——喷嘴直径 (mm)；

K ——系数， $K = 0.8 \sim 1.2$ (大喷嘴，取上限；小喷嘴，取下限)。

对有些金属可通过焊后焊接接头金属的表面颜色来判断保护气体的效果，不同材料不同保护效果下的颜色见表 3-26。

表 3-26 不同材料不同保护效果下的颜色

颜色 \ 保护效果	最好	良好	一般	不良	最差
焊接接头材料	低碳钢	灰白色有光亮	灰色	—	—
	不锈钢	金黄色或银色	蓝色	红灰色	灰色
	钛和钛合金	银白色(合格)	金黄色(合格)	蓝色(去除蓝色适用非重要场合)	紫色(去除紫色且只适用常压容器)
	铝和铝合金	银白色有光亮	白色无光	灰白色	灰色
					黑色

(续)

颜色 保护效果 焊接接头材料	最好	良好	一般	不良	最差
钨	银白色(合格)	金黄色(合格)	蓝色(去除蓝色且只适用非重要场合)		紫色(返修)
紫铜	金黄色	黄色	—	灰黄色	灰黑色

7. 电极直径和端部形状的选择

钨极直径的选择取决于焊件厚度、焊接电流、电流种类和极性。钨极直径越大，许用电流越大。直流正接时，钨极载流能力最大，直流反接时载流能力最小，交流时载流能力介于直流正接和直流反接之间。

原则上应尽可能选择小的电极直径来承担所需要的焊接电流。此外，钨极的许用电流还与钨极的伸出长度及冷却程度有关，如果伸出长度较大或冷却条件不良，则许用电流下降。

钨极直径和端部的形状影响电弧的稳定性和焊缝成形，因此 TIG 焊应根据焊接电流大小来确定钨极的形状。在焊接薄板或焊接电流较小时，为便于引弧和稳弧可用小直径钨极并磨成 20° 的尖锥角。电流较大时，电极锥角磨成钝角或平顶锥形，这样有利于电弧集中减小弧柱扩散。采用交流 TIG 焊时，钨极末端磨成半球状，随着电流的增加球径也随之增大，最大为钨极半径。

8. 钨极的伸出长度

露在喷嘴外面的钨极长度为钨极的伸出长度。伸出长度过大时，钨极易过热，焊缝保护效果差；伸出长度太小时，影响焊工的视线，且妨碍操作。一般对接接头时钨极的伸出长度在 5~6mm，T 形接头钨极的伸出长度在 7~8mm。

9. 喷嘴离焊件的距离

喷嘴离焊件的距离要与钨极的伸出长度相匹配，控制在 8~14mm 之间。距离过小，影响操作者视线，易导致钨极与熔池短路，产生夹钨并降低钨极寿命；距离过大，气体保护效果差，电弧不稳定。

四、TIG 焊操作技术

TIG 焊可分为手工 TIG 焊和自动 TIG 焊两种，其操作技术的正确与熟练程度是保证焊接质量的重要前提。由于焊件厚度、施焊姿势、接头形式等条件不同，操作技术也不尽相同。下面主要介绍手工 TIG 焊基本操作技术。

1. 引弧

引弧方式有接触引弧和非接触引弧两种。接触引弧有短路引弧和诱导引弧，非接触引弧有高频振荡引弧和高压脉冲引弧。特种设备焊接大多采用非接触引弧方式。这种引弧方式可靠性高，且由于钨极不与焊件接触，不会导致短路而烧损钨极，焊缝夹钨缺陷的可能性降低。接触引弧为了避免焊接缺陷可采用碳棒短路或加引弧板。

引弧前，应提前 5~10s 送气，电弧引燃后，焊枪停留在引弧位置处不动，当获得一定大小、明亮清晰的熔池后，立即往熔池里填丝，开始焊接。

2. 焊接

焊接时，为了得到良好的气体保护效果，在不妨碍视线的情况下，应尽量缩短喷嘴到焊件的距离，采用短弧焊接，一般弧长 4~7mm。焊枪与焊件角度的选择也应以获得好的保护效果，便

于填充焊丝为准。平焊，横焊或仰焊件，多采用左焊法。要注意保持电弧一定高度和焊枪移动速度的均匀性，以确保焊缝熔深、熔宽的均匀，防止产生气孔和夹杂等缺陷。为了获得必要的熔宽，焊枪除作匀速度直线运动外，允许做适当的横向摆动。厚度小于4mm的薄板立焊时采用向上或向下焊均可，板厚大于4mm的焊件，多采用向上立焊。在需要填充焊丝时，焊丝直径一般不得大于4mm，因为焊丝太粗易产生未焊透现象。

各种位置焊枪焊丝和工件的相对位置如图3-60所示，自动送丝TIG焊置焊枪焊丝和工件的相对位置如图3-61所示。

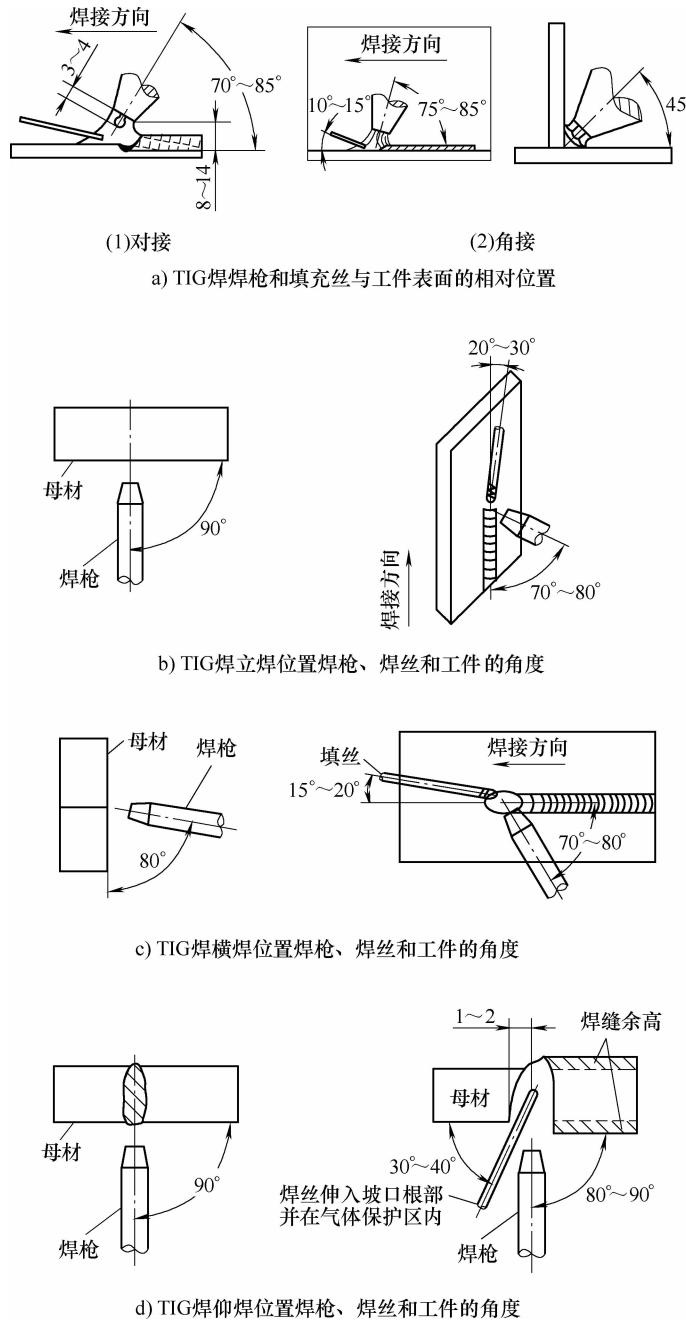


图 3-60 各种位置焊枪焊丝和工件的相对位置图

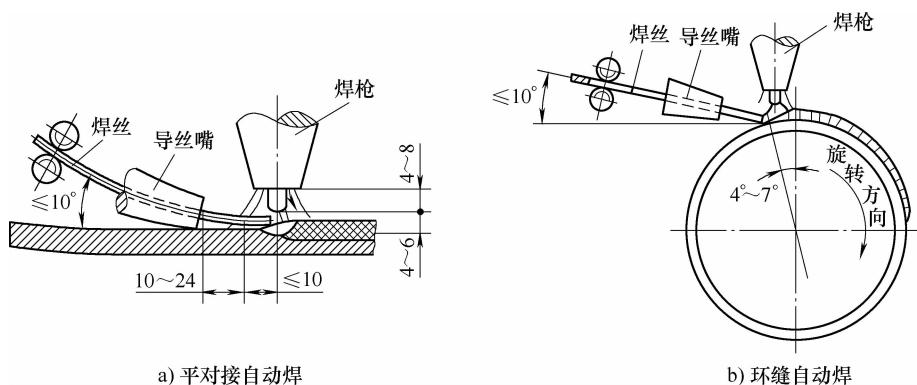


图 3-61 自动送丝 TIG 焊枪和工件的相对位置图

3. 运弧和填丝

钨极氩弧焊的送丝方式分三种：手工送进、送丝机自动送进、焊前预置填充焊丝。手工钨极氩弧焊焊接时，可采用断续送丝和连续送丝两种。

按焊丝和焊枪的位置分为同侧和异侧送丝，通常情况下都采用操作方便、简单的同侧送丝，异侧送丝方式常在送丝操作位置受限或仰位、立仰位置焊缝易出现内凹时采用。送丝动作以左手拇指、食指、中指捏焊丝，一点一点地向熔池前边缘点进，然后撤回，焊丝末端应始终处于氩气保护区内，重复动作，如图 3-62 所示。

预置填充焊丝要求焊丝直径稍大于坡口间隙，紧贴坡口根部，同时熔化坡口钝边和焊丝，适用困难位置的焊接。但容易产生根部未焊透。

4. 接头

焊接接头连接处的质量往往不易保证。焊接过程中应尽量减少停弧，减少“冷接头”次数。首先要计划好焊丝长度，不要在焊接过程中频繁更换焊丝。为了避免焊丝抖动，握焊丝处距焊丝末端不宜过长，否则会增加接头的次数，特别是焊接长焊缝时，接头机会更多。为了解决这一矛盾，可使用不停弧“热接头”的方法，防止因冷收缩而产生缩孔，以保证接头质量。这种方法是当需要变更握丝位置而出现接头时，先将焊丝末端和熔池相接触，同时将电弧稍作后移或引向坡口一边，待熔池凝固与焊丝端粘在一起的刹那间，迅速变换握丝位置。完成这一动作后，将电弧立即恢复原位，继续焊接。采用“热接头”法，既能保证质量，又可提高工效，但要求操作技术熟练，动作快而准。

施焊过程中断或更换焊丝或与定位焊焊缝接头操作见第十章第二节。

5. 气体保护

焊接时，为了加强保护气体保护效果，提高焊缝质量，还可采取以下措施：

(1) 加挡板 接头形式不同，氩气的保护效果也不相同。对接平焊和内角接焊时保护效果

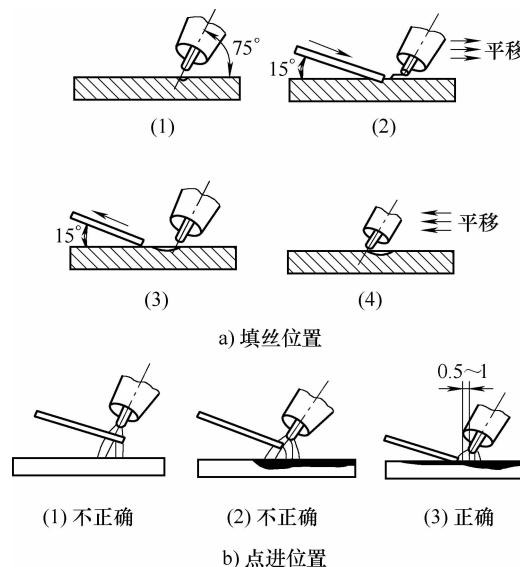


图 3-62 手工钨极氩弧焊的填丝动作和填充焊丝点进的位置

较好,当进行端接和外角焊时保护气体易被破坏。为了改善保护效果,可采取预加挡板的方法。同时加大保护气体流量和灵活控制焊枪相对于焊件的位置等方法来提高气体保护效果。焊接接头形式对气体保护效果的影响如图 3-63 所示。

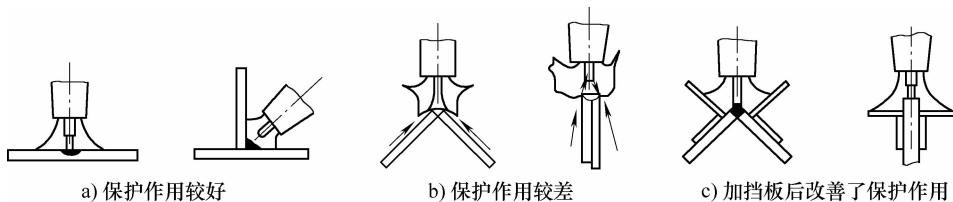


图 3-63 焊接接头形式对气体保护效果的影响

(2) 扩大正面保护区 焊接容易氧化的金属及其合金(如钛合金)时不仅要求保护焊接区,而且对处于高温的焊缝段及近缝区表面也需要进行保护。这时单靠焊枪喷嘴中喷出的气层保护是不够的。为了扩大保护区范围,常在焊枪喷嘴后面安装附加喷嘴,也称拖斗,如图 3-64 所示。附加喷嘴里可另外供气也可不另外供气。用于焊接较厚的不锈钢和耐热合金材料时,可不另外供气,而利用延长喷嘴喷出的气体在焊缝上停留的时间,达到扩大保护范围的目的,如图 3-64a 所示。这种拖斗耗气不大,比较经济。用于焊接钛合金时,则需另外供气,且在拖斗里安装气筛,使氩气在焊接区缓慢平稳地流动,以利于提高保护效果,如图 3-64b 所示。

(3) 反面保护 对一些不允许焊缝反面氧化的材料,这时就要求在焊接过程中对焊缝反面也进行保护,如图 3-65 所示,当焊接不锈钢或钛合金的小直径圆管或密闭的焊件时,可直接在密闭的空腔中送进氩气以保护焊缝反面。对于大直径筒形件或平板构件等,可用移动式充气罩。或在焊接夹具的钢垫板上开充气槽,以便送进氩气对焊缝反面保护。通常反面氩气流量是正面氩气流量的 30%~50%。

6. 收弧

焊缝在收弧处要求不存在明显的下凹及产生气孔与裂纹等缺陷。为此,在收弧处应多添加填充焊丝使弧坑填满,这对于焊接热裂纹倾向较大的材料,尤为重要。此外,还可采用电流衰减方法和逐步提高焊枪的移动速度或工件的转动速度,以减少对熔池的热输入来防止裂纹。在焊接对接直焊缝时,通常采用引出板。

熄弧后,不要立即抬起焊枪,要使焊枪在焊缝上停留 3~5s,待钨极和熔池冷却后,再抬起焊枪,停止供气,以防止焊缝和钨极受到氧化。至此焊接过程便告结束,应关闭焊机,切断水、电、气路。

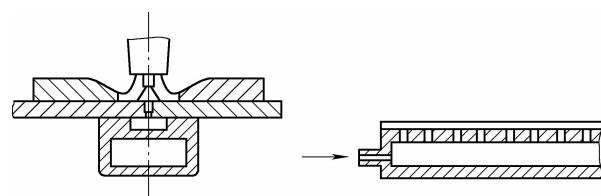


图 3-65 保护气体直接通入焊缝反面保护示意图

五、钨极氩弧焊常见的缺陷和防止措施

钨极氩弧焊常见的缺陷有气孔、夹钨、未熔合、未焊透、咬边、焊瘤及焊缝成形不良等,它们产生的原因及防止措施见表 3-27。

表 3-27 钨极氩弧焊常见的缺陷和防止措施

缺陷名称	产生原因	防止措施
气孔	①母材或焊丝上有油、锈等污物 ②气体保护效果差 ③气路不洁净或破损	①焊前用化学或机械方法清理干净 ②降低喷嘴高度；勿使焊速过快；采用合格的惰性气体 ③更新气管路；调低电弧电压
夹钨	①接触引弧 ②钨电极烧损	①采用非接触引弧或用碳棒接触引弧 ②减少焊接电流和伸出长度或换大钨极直径，并旋紧夹头换用质量和材质都合格的钨极
未焊透	焊接电流太小、焊速太快、送丝太快	增加焊接电流，降低焊速，降低送丝速度
咬边	焊接电流太大，电弧电压太同，焊枪摆幅不均匀，送丝太少，焊速太快	降低电流及弧长，摆幅均匀适当，适当增加送丝速度和降低焊速
焊瘤	焊接电流太大，送丝太快，焊速太慢	降低焊接电流，焊枪摆幅不均匀，送丝减慢，焊速加快
钨电极烧损过多	①气保护不好，钨极氧化 ②反极性连接 ③夹头过热 ④钨极直径过小 ⑤停焊时钨极氧化	①清理喷嘴，缩短喷嘴距离，适当增加保护气体流量 ②增大钨极直径，改正极性连接 ③重磨钨极端头，调换夹头 ④增大钨极直径 ⑤延迟滞后停气时间每 10A 不小于 1s
气体保护效果差	有害气体污染	①做好焊前清理和保护工作 ②采用纯度为 99.99% 的氩气 ③有足够的提前送气和滞后停气时间 ④对钛锆等金属增加尾部保护装置 ⑤正确连接气管和水管，不跑气、不漏水、不混淆 ⑥合理匹配保护气体流量、喷嘴直径、电极伸出长度
电弧不稳	①工件上有油污 ②接头坡口太窄 ③钨电极污染 ④钨极直径太大 ⑤弧长过长	①做好焊前清理工作 ②增宽坡口 ③重磨电极，去除污染部分 ④选用合适的钨极直径和夹头 ⑤压低喷嘴距离

第七节 熔化极气体保护焊——CO₂ 焊

一、熔化极气体保护焊的分类、特点和应用

(一) 熔化极气体保护焊的分类、特点

熔化极电弧焊以焊丝与焊件之间的电弧作为热源，在惰性气体、活性气体 (CO₂)、混合气体或药芯产生的气渣的保护下，电弧熔化焊丝和母材形成熔池和焊缝。熔化极电弧焊有许多种类，手工移动焊枪焊丝送进是机械化的，习惯称“半自动”熔化极电弧焊；焊枪的移动是机械化的俗称“自动”熔化极电弧焊（焊接自动化是指焊接过程控制、焊缝跟踪控制等都是自动化的，比机械化高一个层次）。根据所用保护气体分为氩弧焊、氦弧焊、CO₂ 气体保护电弧焊、混合气体保护电弧焊。根据所用焊丝分为实心焊丝气体保护焊和药芯焊丝电弧焊。而以 CO₂ 气体保护电弧焊、熔化极惰性气体保护焊和药芯焊丝气体保护电弧焊应用最为普遍，本节主要介绍 CO₂ 气体保护电弧焊。

CO_2 气体保护电弧焊的特点是：电流密度大、电弧热量集中，焊丝的熔化效率高，焊缝熔深大，焊接速度快，生产效率高。 CO_2 气体有较强的冷却作用，焊接变形小，对油、锈的敏感性较低，焊缝中含氢量少，有利于防止冷裂纹，焊接质量较好。短路过渡焊可用于包括向下立焊在内的全位置焊接，明弧焊接，操作方便，机械化程度比焊条电弧焊高。节省电能，焊接成本较低。但焊接设备比焊条电弧焊复杂。

CO_2 气体保护电弧焊特别是混合气体保护电弧焊和药芯焊丝 CO_2 气体保护电弧焊已越来越多地用于承压设备的制造和安装中，有逐渐取代焊条电弧焊的趋势。

(二) CO_2 气体保护电弧焊的应用

CO_2 气体保护焊多用于低碳钢和低合金钢的焊接。焊接厚度与熔滴过渡形式有关，细丝短路过渡以焊接薄板为主，粗丝射流过渡焊接中厚板。

二、 CO_2 气体保护电弧焊设备的组成

CO_2 半自动焊设备可分为半自动焊机和自动焊机两类，在实际生产中， CO_2 焊设备以半自动焊为主。下面以半自动 CO_2 焊机为主介绍 CO_2 焊设备。

半自动 CO_2 焊设备组成由焊接电源、送丝机构和焊枪、供气系统、冷却水循环装置及控制系统等部分组成，半自动熔化极气体保护焊设备构成如图 3-66 所示，自动 CO_2 焊设备除上述几部分外还有焊车行走机构如图 3-67 所示。

1. 焊接电源

CO_2 气体保护电弧焊电源有旋转式和整流

式两种，但由于旋转式焊机能耗、噪声大且适用性差，所以目前已很少采用。整流式电源主要包括抽头式硅电源、自饱和电抗器式电源、晶闸管式电源、晶体管式电源和逆变电源。 CO_2 焊一般采用直流焊机反极性接法。细丝短路过渡和射流过渡电弧静特性是上升的采用等速送丝，配用平特性直流电源如 ZP 系列。粗丝细滴过渡电弧静特性是水平的采用变速送丝，配合下降外特性直流电源如 ZX 系列。目前国内比较普及的是抽头式 CO_2 焊机，半自动焊机型号有 NBC—250 等。为了有效减小飞溅和获得良好的焊缝成形，短路过渡时可选用电流波形控制的逆变焊机或采用全数字 CO_2 逆变焊机。如 YD—350/500GR3 或 YM—350/500GR3。

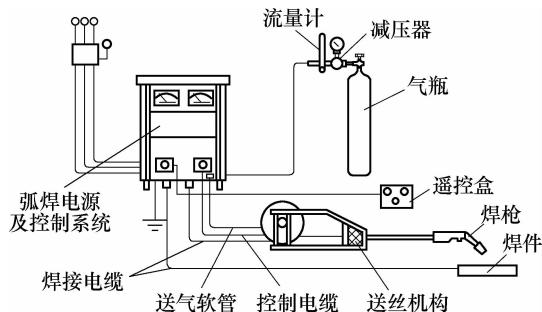


图 3-66 半自动熔化极气体保护焊设备构成

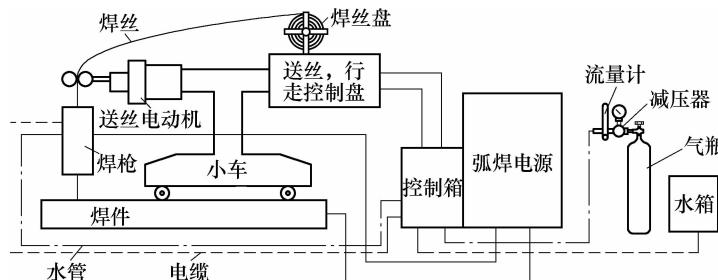


图 3-67 自动熔化极气体保护焊设备构成

2. 供气系统

供气系统主要由气源（或气瓶）、减压阀、预热器、干燥器、流量计及电磁气阀等组成。目

前设备生产厂已将减压阀、预热器和流量计合装在一起称为减压流量调节器，使用十分方便。

3. 送丝系统

根据使用焊丝直径的不同，送丝系统可分为等速送丝和变速送丝。焊丝直径大于2.4mm采用与埋弧焊设备相同的弧压反馈送丝法。焊丝直径小于和等于2.4mm采用等速送丝，它要求送进焊丝稳定、均匀，调速方便，结构牢固轻巧。

半自动焊的送丝方式有推丝式、拉丝式、推拉丝式三种

(1) 推丝式 主要用于直径为0.8~2.0mm的焊丝，应用最广。推丝式焊丝被送丝机构推出后经过一段较长的导丝管进入焊枪，如图3-68a所示。其特点是焊枪结构简单轻便，操作和维修比较方便，导丝管增加了送丝阻力，随着导丝管加长，送丝稳定性将变差。所以导丝管不能太长，一般钢焊丝的导丝管在2~5m，铝焊丝的导丝管在3m以内。

(2) 拉丝式 主要用于焊丝直径小于和等于0.8mm的焊丝。因焊丝太细刚性小，难以推丝，又分为两种形式：一种是将焊丝盘和焊枪手把分开，两者间用导丝管连接，如图3-68b所示。另一种是焊丝盘与焊枪构成一体，如图3-68c所示，这种结构去掉了导丝管，减小了送丝阻力，提高了送丝的稳定性。但是这种一体结构质量较大，加重了焊接操作工的劳动强度。

(3) 推拉丝式 此方式把上述两种方式结合起来，克服推丝式操作范围小的缺点。导丝管可以加长到15m左右，如图3-68d所示。这种方式虽有一些优点，但结构复杂，调整麻烦，同时焊枪较重，实际应用不多。

送丝机构通常由送丝电动机、减速装置、送丝轮、压紧机构、送丝软管、焊丝盘等组成。送丝电动机一般选用伺服直流电动机，配合减速装置和送丝滚轮，通过调速电路使送丝速度在2~16m/min范围内均匀调节。为保证均匀、可靠地送丝，要求送丝滚轮制成V形或U形沟槽，表面轧花，送丝前调整好压紧力。

送丝软管应内壁光滑，规格及内径大小合适通过，摩擦阻力小，具有较好的刚性和弹性。

4. 控制系统

半自动、自动CO₂焊设备的控制系统包括引弧、送丝系统、焊接程序控制、焊接参数调节、保护气体系统、坡口自动跟踪系统和熄弧。自动焊机功能完善，控制环节复杂，半自动焊机控制系统较简单，主要是对焊接电源的调节，可分为一元化调节和多元化调节两种。

空载时，可手工调节焊接电流、电弧电压、焊接速度（自动焊设备）、保护气体流量以及焊丝送进与回抽等。焊接时，能提前送气、滞后停气，自动送进焊丝进行引弧与焊接，焊接结束时，先停丝后断电再断气。

5. 焊枪

熔化极气体保护焊焊枪按其应用方式分这半自动焊枪和自动焊枪。

(1) 半自动焊枪 半自动推丝式焊枪按结构有鹅颈式和手枪式两种，如图3-69所示，由导电、导气、导丝等部分组成。鹅颈式焊枪应用广泛，一般用于平焊位置较方便，手枪式焊枪适合全方位焊接。焊枪的冷却方式一般采用自冷式，水冷式不常用。

(2) 自动焊焊枪 自动焊焊枪一般都安装在焊车或操作机上，不需要手工操作，多用于大电流状态，焊枪尺寸比较大，多采用水冷装置，枪头部分与半自动焊枪相似。

(3) 焊枪导电嘴和喷嘴 喷嘴是焊枪上的重要零件，其作用是向焊接区输送保护气体，以

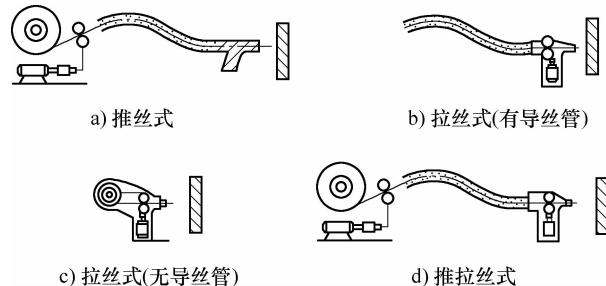


图3-68 熔化极保护焊焊机送丝方式意图

防止焊丝端头、电弧和熔池与空气接触。喷嘴形状多为圆柱形，也有圆锥形的，喷嘴内孔直径与焊接电流大小有关，通常为12~24mm。焊接电流大时，喷嘴直径也大。

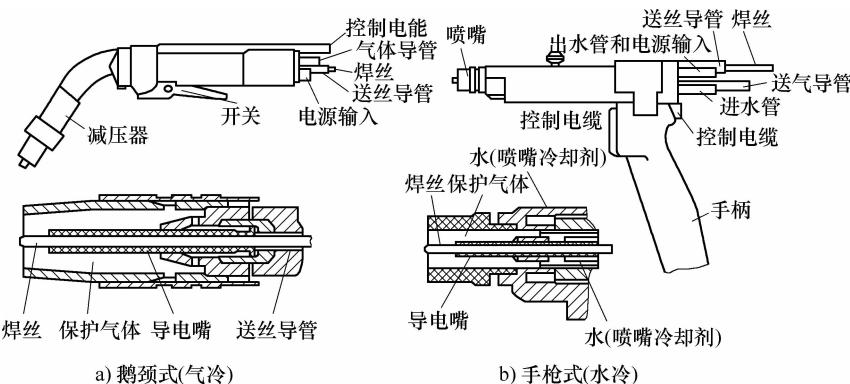


图 3-69 典型半自动焊焊枪示意图

导电嘴的材料要求导电性好、耐磨性好和熔点高，一般选用纯铜或陶瓷材料制作，为增加耐磨性也可选铬锆铜。导电嘴孔径的大小对送丝速度和焊丝伸出长度有很大影响。过大或过小会造成焊接参数不稳定而影响焊接质量。

导电嘴和喷嘴都是易损件需经常更换，故要求便于装拆、结构简单。

三、CO₂ 焊熔滴过渡形式和焊接参数的选择

(一) CO₂ 焊熔滴过渡形式

CO₂ 焊中，熔滴过渡形式有短路过渡、喷射过渡（也称细滴过渡）和粗滴过渡三种，如图3-70所示。而为了获得稳定的焊接过程，生产中常选用短路过渡和喷射过渡两种。

1. 短路过渡

短路过渡通常是采用细焊丝（ $\phi 1.2\text{mm}$ 以下），在较小的焊接电流和较低的电弧电压条件下发生的熔滴过渡形式。

短路过渡时，焊丝末端熔滴长大时与熔池表面短路接触，此时，电弧熄灭，电流剧增，达到短路电流。由于强烈过热和产生磁收缩效应使熔化金属过桥爆断，熔滴进入熔池，电弧重新引燃，开始下一个循环。熔滴过渡的频率按所选择的电流在20~200次/s的范围内。

短路过渡一般适用于 $\phi 1.2\text{mm}$ 以下的细焊丝，最稳定的电弧电压范围比较窄，通常为 $20\text{V} \pm 2\text{V}$ 的范围。

当电弧电压小于该范围下限时，短路小桥不易断开易导致固体短路。大于该范围上限时，易产生大滴爆断，导致电弧不稳，焊接时电弧高度需控制在一定范围内，手工操作相对较难。故《特种设备焊接操作人员考核细则》中规定：手工气体保护焊短路过渡有别于其他过渡形式，它们之间的变更需重新操作技能考试。

短路过渡具有如下特点：①焊接过程中伴随有少量飞溅。②焊道熔深较浅。③焊接变形较小。④适合于用细丝（ $\phi \leq 1.2\text{mm}$ ）进行薄板和封底焊道的焊接。

2. 粗滴过渡

粗滴过渡的特征如图3-70b所示。当焊接电流和电弧电压略高于短路过渡的临界参数时，就会产生粗滴过渡。即焊丝末端的熔化金属会形成直径大于焊丝直径的熔滴，熔滴是靠自身的重力



图 3-70 熔滴过渡的三种基本形式

克服熔化金属的表面张力后缓慢地落到熔池上。在富 Ar 保护气体下, 由于电弧温度较高, 熔滴表面张力减小, 熔滴大部分为轴向过渡, 当电弧电压较低时, 偶尔会产生短路过渡, 出现飞溅。在 CO₂ 气体保护下, 熔滴产生非轴向过渡, 电弧随着熔滴漂移, 显得不很稳定且飞溅较大, 焊缝成形不良, 表面粗糙。在实际生产中应避免在粗滴过渡的参数范围内进行焊接。

3. 喷射过渡

当焊接电流超过某一临界值时, 熔滴呈细小的颗粒, 并以喷射状态快速通过电弧空间向熔池过渡的形式。其形态如图 3-70c 所示。

喷射过渡时, 熔滴的过渡频率较高, 约每秒几十次到几百次, 主要取决于所用的焊接电流和保护气体的成分。当焊丝钢号、直径和保护气体成分给定时, 焊接电流超过某一临界值, 熔滴过渡频率会产生突变。即由粗滴过渡向喷射过渡转变。喷射过渡时, 电弧相当稳定, 且飞溅很少, 熔深较大, 焊缝表面平整光滑。

(二) CO₂ 焊的焊接参数的选择

主要的焊接参数有: 焊丝直径、焊接电流、电弧电压、焊接速度、保护气体流量、焊丝伸出长度及电感值等。

1. 焊丝直径

短路过渡 CO₂ 焊一般采用细丝, 以提高过渡频率, 稳定焊接电弧, 通常采用的焊丝直径有 0.8mm、1.2mm 及 1.6mm。

细滴过渡 CO₂ 焊采用的焊丝直径一般大于 1.2mm, 通常采用的焊丝直径有 1.6mm、2.0mm、3.0mm 和 4.0mm 等。

通常根据工件的板厚和焊接位置来选择直径, 见表 3-28。

表 3-28 焊丝直径的选择参考

焊丝直径/mm	熔滴过渡形式	板厚/mm	焊缝位置
0.5 ~ 0.8	短路过渡	1.0 ~ 2.5	全位置
	颗粒状过渡	1.5 ~ 4.0	水平位置
1.0 ~ 1.4	短路过渡	2 ~ 8	全位置
	颗粒状过渡	2 ~ 12	水平位置
1.6	短路过渡	3 ~ 12	水平、立、横、仰
≥1.6	颗粒状过渡	>6	水平位置

φ1.0mm 以下的焊丝的熔滴过渡形式以短路过渡为主, φ1.2mm ~ φ1.6mm 焊丝的熔滴过渡形式可为短路过渡和喷射过渡, φ2.0mm 以上的粗丝通常是粗滴过渡。

从焊接位置上看, 细丝可用于平焊和全位置焊接, 粗丝则只适于水平位置焊接。

从板厚来看, 细丝用于薄板, 可采用短路过渡; 粗丝适用于厚板, 可采用粗滴过渡。采用粗丝焊接既可提高效率, 又可加大熔深。另一方面, 在焊接电流和焊接速度一定时, 焊丝直径越细, 焊缝的熔深便越大。

2. 焊接电流和极性

焊接电流是影响焊接质量的重要焊接参数。它的大小主要取决于焊丝直径和送丝速度, 随着送丝速度的增加, 焊接电流也增加。另外, 焊接电流的大小还与焊丝伸出长度、焊丝直径、气体成分等有关。当喷嘴与母材间距离增加时, 焊丝伸出长度增加, 焊接电流减少。

焊接电流对焊缝的熔深和焊缝成形均有较大的影响。无论是平板堆焊还是开坡口的焊缝, 都是随着焊接电流的增加, 熔深也增加。当焊接电流在 250A 以下时, 焊缝熔深较小, 一般在 1 ~ 2mm 左右。当电流超过 300A 后, 熔深明显增大。

CO₂ 焊主要是采用直流反接, 这时焊接过程电弧稳定, 飞溅小, 熔深大。在堆焊及补焊铸件时, 应采用直流正接, 这时焊丝熔化快, 生产率高。

3. 电弧电压

短路过渡的电弧电压一般在 17~25V 之间。因为短路过渡只有在较低的弧长情况下才能实现, 所以电弧电压是一个非常关键的焊接参数, 如果电弧电压选得过高 (如大于 29V), 则无论其他参数如何选择, 都不能得到稳定的短路过渡过程。

短路过渡时焊接电流均在 200A 以下, 这时电弧电压均在较窄的范围 (2~3V) 内变动。电弧电压与焊接电流的关系可用下式来计算:

$$U = 0.04I + (16 \pm 2)$$

短路过渡的最佳焊接参数见表 3-29。

表 3-29 短路过渡的最佳焊接参数

焊丝直径/mm	0.8	1.2	1.6
电弧电压/V	18	19	20
焊接电流/A	100~110	120~135	140~180

细滴过渡 细滴过渡 CO₂ 焊也采用直流反接。首先应根据被焊材料及板厚选择焊接电流, 然后根据焊接电流、焊丝直径选择电弧电压, 焊接电流越大, 焊丝直径越小, 选择的电弧电压也应越大。但电弧电压也不得太高, 否则飞溅将显著增大。细滴过渡的电流下限及电压范围见表 3-30。

表 3-30 细滴过渡的电流下限及电压范围

焊丝直径/mm	电流下限/A	电弧电压/V	焊丝直径/mm	电流下限/A	电弧电压/V
1.2	300	34~45	3.0	650	34~45
1.6	400		4.0	750	
2.0	500				

4. 焊接速度

焊接速度要与焊接电流适当配合才能得到良好的焊缝成形。在热输入不变的条件下, 焊接速度过大, 熔宽、熔深减小, 甚至产生咬边、未熔合、未焊透等缺陷。如果焊接速度过慢, 不但直接影响了生产率, 而且还可能导致烧穿、焊接变形过大等缺陷。

半自动短路过渡 CO₂ 保护焊的焊接速度一般为 5~60m/h。

5. 焊接回路电感

短路过渡时, 回路电感主要是控制短路电流上升速度及短路电流峰值。短路过渡 CO₂ 焊要求具有合适的短路电流上升速度, 从而将缩径小桥控制在焊丝与熔滴之间, 以保证爆破力将大部分熔滴金属过渡到熔池中。同时还要求具有合适的短路电流峰值, 以使爆破能量适中, 不至于产生很大的细颗粒飞溅。不同的焊丝直径要求不同的短路电流上升速度, 焊丝越细, 熔化速度越大, 短路过渡频率越大, 要求的短路电流上升速度就较大。不同直径的焊丝要求的短路过渡所要求的电感值见表 3-31。

表 3-31 不同直径的焊丝要求的短路过渡所要求的电感值

焊丝直径/mm	焊接电流/A	电弧电压/V	电感/mH
0.8	100	18	0.04~0.30
1.2	130	19	0.08~0.50
1.6	160	20	0.30~0.70
2.0	175	21	不要求

6. 焊丝伸出长度和喷嘴至工件的距离

焊丝伸出长是指从导电嘴到焊丝端头的这段焊丝的长度。焊丝伸出长度对焊接电流、焊缝熔深、焊接飞溅等均有影响，因此保持这个长度稳定不变，是获得稳定的焊接过程的重要因素之一。

在焊接电流相同时，焊丝伸出长度增加将引起熔化速度的增加。这样，当送丝速度不变时，焊丝伸出长度增加，焊接电流则减少，易导致未焊透和熔合不良。同时，焊丝伸出长度过大，电弧不稳，飞溅大，焊缝成形恶化，甚至产生气孔，或者难以正常焊接。反之，焊丝伸出长度减小时，焊接电流增加，熔深变大。伸出长度过小时会烧坏导电嘴。

短路过渡 CO_2 焊所用的焊丝较细，焊丝伸出长度对熔滴过渡、电弧的稳定性及焊缝成形均具有很大的影响。短路过渡 CO_2 焊时，喷嘴至工件的距离应尽量取得适当小一些，以保证良好的保护效果及稳定的过渡，但也不能过小。这是因为该距离过小时，飞溅颗粒易堵塞喷嘴，阻挡焊工的视线。喷嘴至工件的距离一般应取焊丝直径的 10 倍左右。

细滴过渡 CO_2 焊所用的焊丝较粗，焊丝伸出长度对熔滴过渡、电弧的稳定性及焊缝成形的影响不如短路过渡那样大。但由于飞溅较大，喷嘴易于堵塞，因此，喷嘴至工件的距离应比短路过渡时选得大一些，一般应控制在 10~20mm 内。

7. 气体流量

保护气体的流量一般根据电流的大小、焊接速度、焊丝伸出长度等来选择。这些参数越大，气体流量也适当加大，但也不能太大，以免产生紊流，使空气卷入焊接区，降低保护效果。

短路过渡 CO_2 焊的保护气体流量一般为 5~15L/min。

细滴过渡 CO_2 焊所用焊接电流比短路过渡大，焊接速度也大，因此采用的保护气体流量也应适当增大，一般为 10~20L/min。

气体流量的掌握也要根据具体情况来定。比如在无坡口的平板对接焊时，气体流量可稍大些；在深坡口内焊接时，气体流量可稍小些。

另外，施焊现场有风，喷嘴距工件过高，以及喷嘴上粘附大量飞溅物等，都会影响保护效果。为增强保护效果，就要在有风的场地采取防风措施，见表 3-32。

表 3-32 防风措施参考表

风速/(m/s)	气体流量/(L/min)	防风措施
0~1.5	25~30	不需要
1.5~4	25~30	需要局部挡风
	50~60	不可能采用上述措施时，只有加大流量
4~8	50~60	局部挡风盒和挡风帐篷并用
>8	—	不能进行焊接

8. 焊丝位置及焊接方向

CO_2 焊有左焊法和右焊法两种，如图 3-71 所示。右焊法加热集中，熔深深，焊缝饱满。左焊法熔深浅，焊缝宽，导向性好，不易焊偏，一般都采用左焊法。左焊法时焊枪的后倾角度应保持为 $10^\circ \sim 20^\circ$ ，倾角过大时，焊缝宽度增大而熔深变浅，而且还易产生大量的飞溅。右焊法时焊枪前倾角度应为 $10^\circ \sim 20^\circ$ ，过大时余高增大，易产生咬边。

左焊法时，焊接可见性好，焊枪指向准确，能得到稳定的熔透焊道，焊道低而宽，角焊缝根部熔深浅（可能产生未焊透）凹形，角焊缝右焊法熔深大，焊缝余高高，飞溅小，焊接可见性差，焊缝容易焊偏。

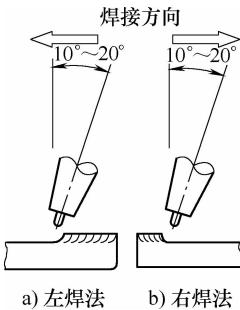


图 3-71 CO_2 焊焊法

四、CO₂ 焊的焊接操作技术

(一) CO₂ 焊的基本操作技术

1. 引弧

半自动 CO₂ 焊时，喷嘴与焊件间的距离不好控制。当焊丝以一定速度冲向工件表面时，往往把焊枪顶起，结果使焊枪远离焊件，从而破坏了正常保护。所以，焊工应该注意保持焊枪到焊件的距离。

半自动 CO₂ 焊时习惯的引弧方式是焊丝端头与焊接处划擦的过程中按焊枪按钮，通常称为“划擦引弧”。这种方式引弧成功率较高。引弧后必须迅速调整焊枪位置、焊枪角度及导电嘴与焊件间的距离。引弧处由于焊件的温度较低，熔深都比较浅，特别是在短路过渡时容易引起未焊透。为防止产生这种缺陷，可采用引弧板，如图 3-72a 所示，也可以采取倒退引弧法，如图 3-72b 所示，在焊缝始端向前 20mm 左右处引弧后立即快速返回起始点，再沿焊接方向移动，在焊道重合部分进行摆动，使焊道充分熔合，达到完全消除弧坑。

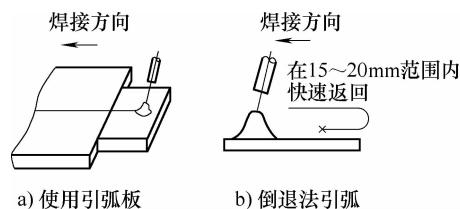


图 3-72 引弧法

2. 收弧

收弧时仍要保持焊枪喷嘴到工件表面的距离不变，松开焊枪开关，即可停止送丝、停电、停送气。然后将焊枪移开工件。

焊道收尾处往往出现弧坑。CO₂ 焊比一般焊条电弧焊用的焊接电流大，所以弧坑也大。弧坑处易产生弧坑裂纹及缩孔等缺陷。为此，应设法减小弧坑尺寸。目前主要应用的方法如下：

1) 采用带有电流衰减装置时，填充弧坑电流较小，一般只为焊接电流的 50% ~ 70%，易填满弧坑。最好以短路过渡的方式处理弧坑。这时，电弧沿弧坑的外沿移动并逐渐缩小回转半径，直到中间停止，如图 3-73a 所示。

2) 没有电流衰减装置时，在弧坑未完全凝固的情况下，应在其上进行几次断续焊接，如图 3-73b 所示。这时只是交替按压与释放焊枪按钮，而焊枪在弧坑填满之前始终停留在弧坑上，电弧燃烧时间应逐渐缩短。但要注意的是，断续引弧也靠焊枪开关的释放与接下来实现，切不可像焊条电弧焊那样将焊把时起时落。

3) 使用工艺板，如图 3-73c 所示，也就是把弧坑引到引出板上，焊完之后去掉它。

收弧时仍要保持焊枪喷嘴到工件表面的距离不变，松开焊枪开关，即可停止送丝、停电、停送气。然后将焊枪移开工件。

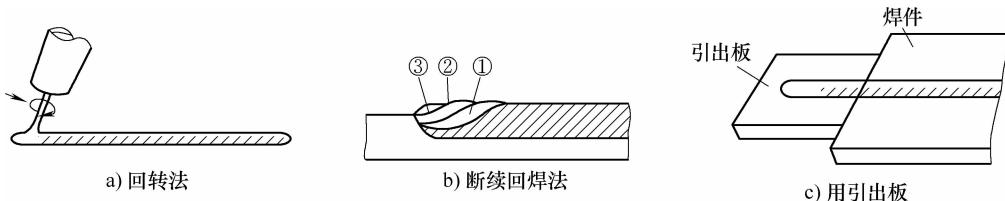


图 3-73 填满弧坑的几种处理方法

3. 接头

直线无摆动焊接时，接头方法是在弧坑稍前 (10 ~ 20mm) 处引弧，然后将电弧快速移到原焊道的弧坑中心，当熔化金属与原焊缝相连后，再按原焊接方向移动，如图 3-74a 所示。

在摆动焊接情况下,按图3-74b所示的①—②—③顺序进行时,从②点返回,先做较小的摆动,不应超出焊缝宽度,随后一点一点地加宽摆幅,达到焊缝宽度。

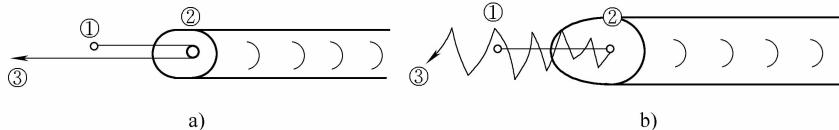


图 3-74 接头处理方法

(二) CO₂ 焊各种位置的操作技术

1. 平焊的焊接技术

(1) 单面焊双面成形技术 单面焊双面成形焊接时对焊工的技术水平要求较高,对坡口精度、装配质量和焊接参数也提出了严格要求。

坡口间隙对单面焊双面成形的影响很大。坡口间隙小时,焊丝应对准熔池的前部,增大穿透能力,使接缝焊透。坡口间隙大时,为防止烧穿,焊丝应指向熔池中心,并进行适当摆动。坡口间隙为0.2~1.4mm时,一般采用直线形焊接或小幅摆动。当坡口间隙为1.2~2.0mm时,采用月牙形的小幅摆动,在焊缝中心稍快些移动,而在两侧作片刻停留。当坡口间隙更大时,摆动方式应在横向摆动的基础上增加前后摆动,这样可避免电弧直接对准间隙,防止烧穿。

无垫板熔透焊时,熔池呈椭圆形,其前端较母材表面有少许下沉,这是正常现象。在焊接过程中,如出现椭圆形熔池被拉长,即为烧穿的前兆。这时可以加大焊枪摆幅或采取前后摆动来调整熔池的温度,防止烧穿。

无垫板对接焊缝的根部焊道或打底焊道的运条方法如图3-75所示。一般焊丝进行月牙形摆动,通过间隙时快些,到达两侧时稍作停留(约0.5~1.0s),使两侧之间形成金属过桥。不同坡口间隙时,在间隙较小时,采用直线形焊接即可;当间隙稍大时可采用月牙形的小幅摆动,如图3-75a所示;间隙更大时,可采用横向兼前后的摆动方式,如图3-75b所示。无论哪种摆动方式,都是在焊缝中心处稍快,而在两侧稍作停留,停留时间一般约为0.5~1s。

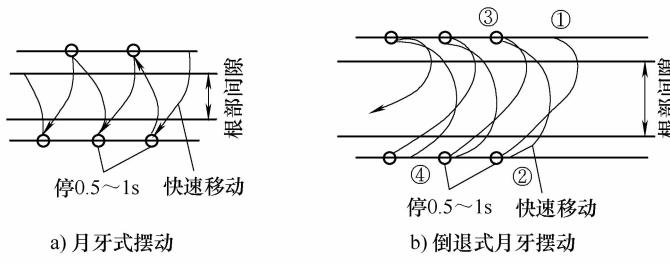


图 3-75 运条方法

单面焊双面成形焊接法,一般是采用细丝短路过渡,而且根据板厚的不同,采取不同的根部间隙。同时组装定位焊的焊缝应尽量小,防止熔透不良。当定位焊焊缝过大时,接头处应磨成陡坡状。

(2) 有垫板熔透焊 有垫板时自然比悬空焊容易掌握,通常不必担心烧穿的问题。可根据间隙的大小选择焊接电流,而且焊接参数的要求也不必十分严格。

(3) 中厚板对接焊 CO₂ 焊的熔滴过渡形式与板厚有关,短路过渡适用于薄板,板厚增加

时, 为保证熔深采用喷射过渡。厚板则要根据情况选择相应的坡口形式, 或者进行双面焊。例如 12mm 的板厚, 可用 I 形坡口, 进行双面单层焊; 亦可选用 V 形、半 V 形、U 形和 X 形等坡口形式, 相应的进行单面焊或双面焊。

CO_2 焊在小角度坡口及小间隙的根部焊道施焊时, 易出现铁液导前现象而造成未焊透, 故应采用右焊法, 并直线移动焊枪 (不摆动), 如图 3-76a 所示。反之, 当坡口角度大及间隙大时, 宜采用左焊法, 并小幅摆动焊枪来进行根部焊道的焊接, 如图 3-76b。



图 3-76 根部焊道的焊接方法

坡口填充焊时, 应采用多层多道焊。焊层、焊道数视坡口角度和深度而定。主要是要注意焊道排列方式和每焊完一道后的焊缝表面形状, 避免出现如图 3-77a、b 那样的情况。其中图 3-77a 是因为第二层只焊一道, 且焊道中央向上凸起, 使之与两坡口面间形成尖角。图 3-77b 是因为第二层中箭头侧的焊道施焊时, 由于焊枪指向不对, 造成向中间凸起的焊道, 也与坡口面间形成尖角。上述两种情况, 易使后续焊道形成未熔合缺陷。为防止上述情况的发生, 一是要注意坡口两侧的熔合良好, 即通过采用两侧稍停中间略快的摆动手法; 二是要注意焊道排列顺序, 并掌握好焊丝指向。总之每一层焊完后, 焊缝表面应平滑中间部分稍呈下凹状最好。

坡口盖面焊时, 前一层的焊缝表面应低于工件表面 1.5~2.5mm, 如图 3-77c 所示。这样可以得到成形美观、焊趾端平滑的盖面焊缝。



图 3-77 多层焊时要注意的地方

(4) 水平角焊 T 形接头角焊缝平焊时应注意焊丝的角度和位置, 并采用左焊法时, 焊脚尺寸在 5mm 以下用短路过渡单道焊, 如图 3-78a 所示; 焊脚尺寸在 5mm 以上用射流过渡单道焊, 如图 3-78b 所示; 若焊脚尺寸很大, 应采用多层多道焊, 如图 3-78c 所示, 先用右焊法, 后用左焊法。

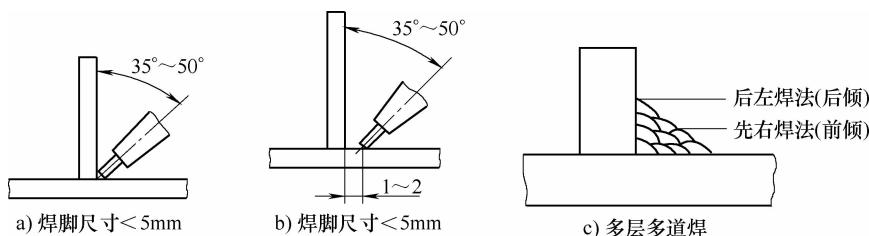


图 3-78 T 形接头角焊缝半自动 CO_2 焊

焊接水平角焊缝时，焊板的位置应特别注意，且一般焊枪与水平板夹角为 $40^\circ \sim 50^\circ$ 。焊脚尺寸在5mm以下时，可按照图3-79中A的方式，将焊丝指向尖角处。焊脚尺寸在5mm以上时，可将焊丝水平移开尖角处1~2mm，这样可以得到等焊脚的焊缝，图3-79中B的方式，否则将造成垂直板咬肉和水平板满溢。如果需要较大的焊脚，可以进行多层多道焊，并应注意每次熔敷不要太多，以防止熔化金属堆积，形成假焊现象。

焊接薄板时，焊枪一般进行直线移动。特别是厚度1mm薄板对接焊时，为了避免烧穿，不进行摆动，但要获得外形美观和平直的焊缝，要求操作熟练。在板材厚度1.5mm以上的钢板上施焊长直焊缝或多层焊时，可进行横向或前后往复摆动。

(5) 水平旋转管的焊接 一般是管子处在水平位置绕自身轴回转进行焊接，如图3-80a所示。薄壁管焊丝处于水平2的位置，相当于进行向下立焊。厚壁管应处于平焊位置进行焊接，焊枪应该在管子的上部，与管子旋转方向相反，处于与中心线位移为l的位置，焊丝逆转动方向偏离最高点l要适当。l太小时，焊道堆高过大，太大时焊道满溢，焊缝两侧熔合不良，以熔池冷却时在水平位置最佳。

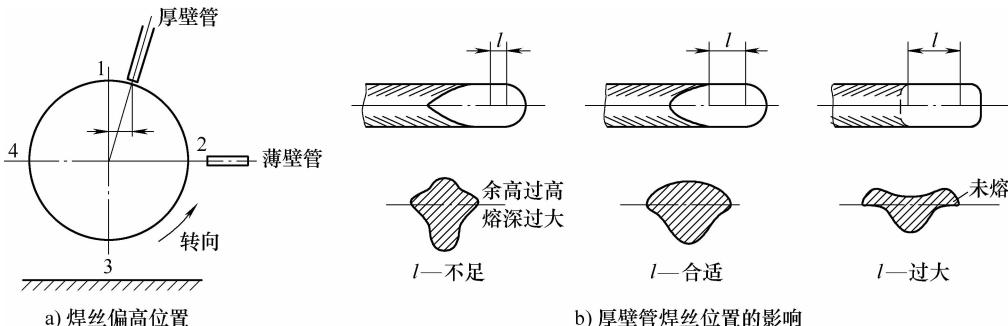


图3-80 水平旋转管的焊接时焊丝位置与焊道成形的关系

2. 立焊

立焊位置的焊接分为向下立焊和向上立焊，向下立焊主要用于薄板，向上立焊用于厚度大于6mm的工件。

(1) 向下立焊 向下立焊时焊缝外观好，但容易产生未焊透，应尽量避免摆动。如果焊接电流过大、电弧电压过高或焊接速度过慢，可能产生如图3-81a所示的缺陷。向下立焊应选用合适的焊接参数，焊丝位置如图3-81b所示。

(2) 向上立焊 厚板结构焊接多采用向上立焊，熔深大，虽然单道焊时成形不好，焊缝窄而高，但采用横向摆动时，可以获得良好的焊缝成形。向上立焊的焊丝摆动方式如图3-82a所示，单道焊的焊脚尺寸最大为12mm。图中圆点“·”表示焊丝摆动到此位置时应稍作停留（约0.5~1.0s）。若停留点在弧坑内，焊道将形成圆形凸起，正常的焊丝停留应在弧坑与母材交界处。

开坡口无垫板的向上立焊对接焊缝，根部焊道的摆动如图3-83所示，焊枪角度如图3-84所示，摆动速度要比平焊位置时的摆动快2~2.5倍。焊枪倾角应保持在工件表面垂线上下约 $10^\circ \sim 25^\circ$

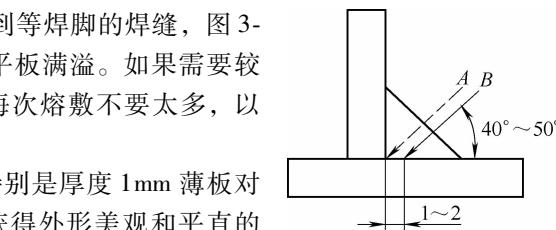


图3-79 水平焊缝时焊枪角度及位置

A—焊脚为5mm以下

B—焊脚为5mm以上

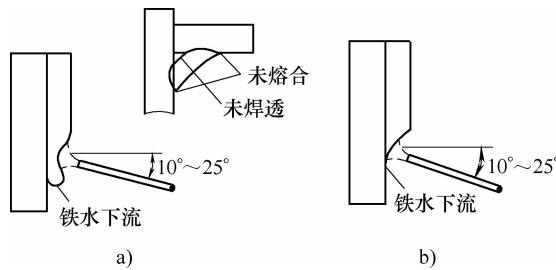


图3-81 向下立焊时焊丝位置

的范围内。

另外, 摆动焊时, 要注意摆幅与摆动波纹间距的匹配, 并注意摆动波纹的取向, 如图 3-84 所示。可根据具体条件采用图 3-85a 或 3-85b 所示的摆动方式。图 3-85a 所示为小摆幅, 热量集中, 要注意防止焊道过分凸起。图 3-85b 所示的摆幅较大, 焊道平滑, 为防止下淌, 摆动时中间稍快, 为防止咬边, 在两侧趾端要稍作停留。图 3-85c 所示的摆动方式不宜采用, 因为这种向下弯曲的月牙形摆动方式易造成铁液下淌, 焊道中心凸起, 并易在两侧产生咬边。

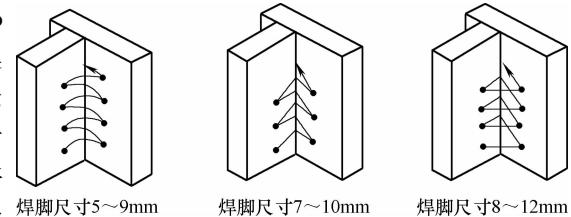


图 3-82 向上立焊的焊丝摆动方式

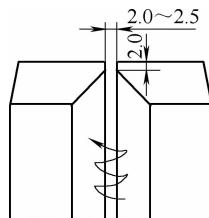
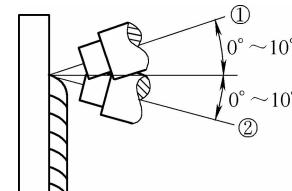
图 3-83 无坡口无垫板的向上立焊
对接焊缝根部焊道的摆动

图 3-84 向上立焊时, 焊枪的角度

3. 橫焊

CO_2 气体保护焊时只能以短路过渡进行立焊和横焊, 焊丝直径一般在 1.6mm 以下, 焊接电流在 200A 以下。

横焊时多采用直线移动焊枪, 通过多层多道焊来完成, 也可采用特殊摆动方式的焊接方法 (类似手工电弧焊的摆动)。横焊一般比立焊容易保持熔池形状, 允许采用较大的焊接电流施焊。

厚板对接焊缝多层横焊, 通常上板开单边 V 形坡口。宽坡口时焊丝进行斜向前后摆动, 窄坡口进行前后摆动。板厚 3mm 以下的薄板横焊一般采用不摆动直线焊。

(1) 单道横焊 单道横焊用于薄板。可采用直线式或小幅度摆动, 为便于观察工件焊缝, 通常采用左焊法。如图 3-86 所示, 焊枪仰角 $0^\circ \sim 5^\circ$, 前倾角 $10^\circ \sim 20^\circ$ 。如需采用摆动法焊出较宽的焊道, 要注意摆幅一定要小, 过大的摆幅会造成铁液下淌。有时作较大宽度范围内的表面堆焊时, 亦可采用右焊法。横焊时的焊枪摆动图形如图 3-87 所示。

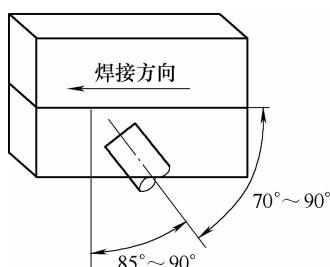


图 3-86 单道横焊时的焊枪姿式

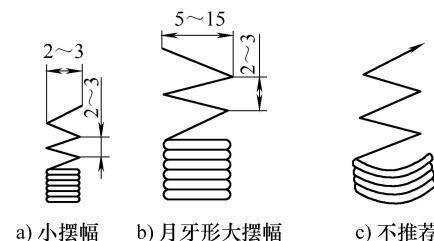


图 3-85 向上立焊摆动方式

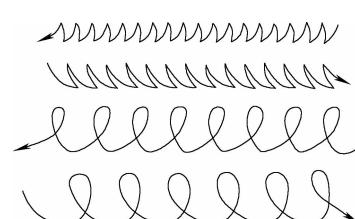


图 3-87 横焊时的焊枪摆动图形

(2) 多层横焊 焊枪姿势和焊道的排列方式如图 3-88 所示。第一层焊一道，焊枪倾角 $0^\circ \sim 10^\circ$ ，指向根部尖角处，如图 3-88a 所示，可采用左焊法，以直线式或小幅摆动法操作。这一道要注意防止焊道下垂，熔敷成等脚长的焊道。焊接第二层的第一道焊道时，如图 3-88b 所示，焊枪指向第一层焊道的下趾端部，采用直线式焊接法。第二层的第二道，如图 3-88c 所示，以同样的焊枪仰角指向第一层焊道的上趾端部。这一段的焊接可采用小幅摆动法，要注意防止咬边，熔敷出尽量平滑的焊道。如果焊成了凸形焊道，则会给后面焊道的焊接带来困难，应避免图 3-88d 的情况。第三层及以后各层的焊接与第二层相类似，均是自下而上熔敷，焊道排列方式如图 3-88f 所示。

多层横焊要注意层道数越多，由于热量的积累便越易造成铁液下淌，故要采取逐渐减少熔敷金属量和相应

地增加道数的办法。另外就是要注意每一层焊缝的表面都应尽量平滑。中间各层采用稍大的电流，盖面时电流可略小些。例如图 3-88f 所示的焊缝，可采用 $\phi 1.2\text{mm}$ 焊丝，盖面层焊接电流为 $150 \sim 200\text{A}$ ，电弧电压为 $22 \sim 24\text{V}$ ；其余各层焊接电流为 $200 \sim 280\text{A}$ ，电弧电压为 $23 \sim 25\text{V}$ 。

4. 仰焊

仰焊时，由于操作不方便和熔滴受重力作用，铁液下垂，焊道易呈凸形，甚至产生熔池铁液下淌等现象。所以焊接难度较大，更需要掌握正确的操作方法和严格控制工艺参数。

(1) 单道仰焊 单道焊适于薄板的焊接，而且常为单面焊。通常可留 1.5mm 左右的间隙。使用细焊丝、小电流、低电压进行焊接。例如可用 $\phi 1.2\text{mm}$ 焊丝，焊接电流 $120 \sim 130\text{A}$ ，电弧电压 $19 \sim 20\text{V}$ 。

焊枪姿势及角度如图 3-89 所示。可采用直线形或小幅摆动法。熔池的保持要靠电弧吹力和铁液表面张力的作用，所以焊枪角度和焊接速度的调整很重要。可采用右焊法，但不能将焊枪后倾过大，否则会造成凸形焊道及咬边。焊速也不宜过慢，否则会导致焊道表面凹凸不平。在焊接时要根据熔池的具体状态，及时调整焊接速度和摆动方式。摆动要领与立焊时相类似，即中间稍快，而在趾端处稍停，这样可有效地防止咬边、熔合不良、焊道下垂等缺陷的产生。

仰焊时还可采取一种特殊的焊接方式。如果焊接位置允许，可以采用前后方向移动焊枪的方式，即焊缝轴线位于焊工前方且与焊工视线相平行（左焊法和右焊法是与焊工视线相垂直），由远而近的进行焊接。这种方法的优点是便于观察熔池和焊接方向，调整焊枪角度和摆动手法均较方便，用心练习，便会得心应手。

(2) 多层仰焊 多层焊适于厚板。无垫板时第一层焊道类似于单面焊。有垫板时工件间隙可略大些，可以采用较大的电流，还是短路过渡方式。例如可采用 $\phi 1.2\text{mm}$ 焊丝、焊接电流 $130 \sim 140\text{A}$ ，电弧电压 $19 \sim 20\text{V}$ 。

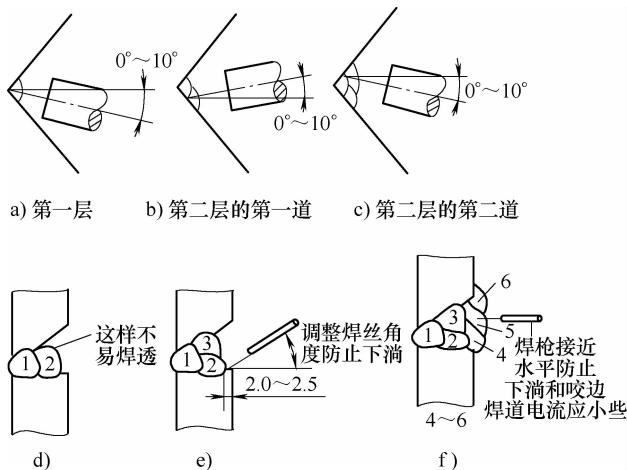


图 3-88 多层横焊时的焊枪姿式和焊道的排列方式

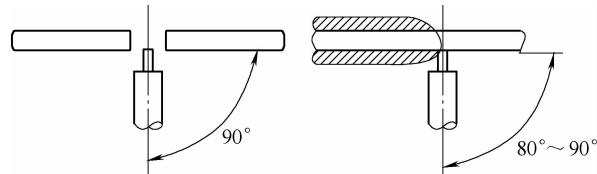


图 3-89 单层仰焊时的焊枪角度

焊枪角度与单道焊时相同,如图3-90所示,操作要领也与单道焊相同。有垫板时则要注意垫板与坡口根部要充分熔透,并力求获得表面平坦的焊道。可以采用右焊法或由远及近的前后方向的特殊焊法。

第二层和第三层均以横向摆动的方式进行焊接,也是中间稍快两侧稍停的要领。这时焊接电流可为120~130A,电弧电压为18~19V。

以后各层的焊接,由于焊缝宽度增加,热量不很集中,铁液也不易下垂。但若焊缝过宽也不宜采用单道摆动焊,因摆幅过大易造成未熔合和气孔。所以从第四层以后,也可采用每层两道的焊接方法,如图3-91所示。这时每层的第一道可略过焊缝中线,第二道与第一道要良好搭接。还要防止第一道焊道凸起,给第二道留下深而窄的坡口,难于施焊。

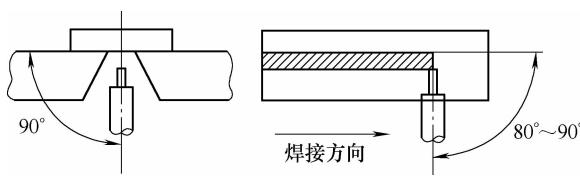


图3-90 多层仰焊时的焊枪姿势

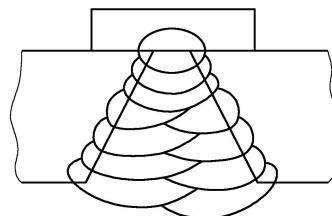


图3-91 厚板仰焊的熔敷方式

另外,要注意焊好每一层焊缝,且使其表面平坦,便于后续焊道的熔敷。在盖面焊之前,焊道表面距工件表面应为1~2mm,然后熔敷盖面焊道。盖面焊道也要摆到趾端稍作停留,且保证趾端平滑,还要注意焊缝中间平整;焊接参数可与中间焊道相当。

五、CO₂焊常见的缺陷和防止措施

CO₂焊常见的缺陷有气孔、火口裂纹、未熔合、未焊透、咬边、焊瘤及焊缝成形不良等,它们产生的原因及其防止措施见表3-33。

表3-33 CO₂焊焊接缺陷产生的原因及其防止措施

焊接缺陷的种类	可能产生的原因	检查项及其防止措施
气孔	①CO ₂ 气体流量不足 ②空气混入CO ₂ 中 ③保护气被风吹走 ④喷嘴被飞溅颗粒堵塞 ⑤气体纯度不符合要求 ⑥焊接接头处较脏 ⑦喷嘴与线材距离过大 ⑧焊丝弯曲 ⑨卷入空气	①调整气体流量到15~25L/min,气瓶中的气压应大于1000kPa ②检查气管有无泄漏处,气管接头是否牢固 ③风速大于8m/s时应采取防风措施 ④去除飞溅(利用飞溅防堵剂或机械清除) ⑤使用合格的CO ₂ 气体 ⑥接头处不要有油、锈、水、脏物和油漆 ⑦通常为10~25mm,根据电流和喷嘴直径进行调整 ⑧使电弧在喷嘴中心燃烧,应将焊丝校直 ⑨在坡口内焊接时,由于焊枪倾斜,气体向一个方向流动,空气容易从相反方向卷入。环焊缝时气体向一个方向流动,容易卷入空气。焊枪应对准环缝的圆心
电弧不稳	①导电嘴内孔尺寸不合适 ②导电嘴磨损 ③焊丝送进不稳 ④网路电压波动 ⑤导电嘴与母材间距过大 ⑥焊接电流过低 ⑦接地不牢 ⑧焊丝种类不合适	①应使用与焊丝直径相应的导电嘴 ②导电嘴内孔可能变大,导电不良 ③焊丝太乱,焊丝盘旋转不稳定,送丝轮尺寸不适合,如压滚轮压紧力太小,导向管曲率可能太小,送丝不良 ④一次电压变化不要过大 ⑤该距离应为焊丝直径的10~15倍 ⑥使用与焊丝直径相适应的电流 ⑦应可靠连接(由于母材生锈、有油漆及油污使得接触不好) ⑧按所需的熔滴过渡状态选用焊丝

(续)

焊接缺陷的种类	可能产生的原因	检查项及其防止措施
焊丝与导电嘴粘连	①导电嘴与母材间距太小 ②导电嘴不适合 ③焊丝端头有熔球时起弧不好 ④起弧方法不正确	①该距离由焊丝直径决定 ②按焊丝直径选择尺寸适合的导电路径 ③剪断焊丝端头的熔球或采用带有去球功能的焊机 ④不得在焊丝与母材接触时引弧(应在焊丝与母材保持一定距离时引弧)
飞溅多	①焊接规范不合适 ②输入电压不平衡 ③直流电感抽头不合适 ④磁偏吹 ⑤焊丝种类不适合	①焊接规范是否合适,特别是电弧电压是否过高 ②一次有无断相(熔丝等) ③大电流(>200A)用线圈多的抽头,小电流用线圈少的抽头 ④改变一下地线位置,减少焊接区的空隙,设置工艺板 ⑤按所需的熔滴过渡状态选用焊丝
电弧周期性的变动	①送丝不均匀 ②导电嘴不合适 ③一次输入电压变动大	①焊线盘圆滑旋转,送丝轮打滑,导向管的摩擦阻力太大 ②导电嘴尺寸不合适,导电嘴磨损 ③电源变压器容量不够,附近有过大负载(电阻点焊机等)
咬边	①焊接规范不合适 ②焊枪操作不合适	①电弧电压过高、焊速过快、焊速方向不合适 ②焊枪角度和指向位置不正确,改进焊枪摆动方法
焊瘤	①焊接规范不合适 ②焊枪操作不合适	①电弧电压过低,焊速过慢,焊丝伸出长度过大 ②焊枪角度和指向位置不正确,改进焊枪摆动方法
焊不透	①焊接规范不合适,电流过小 ②焊枪操作不合适 ③接头形状不良	①电流太小,电压太高,焊速太低,焊丝伸出长度太大 ②焊枪倾角过大,焊枪指向位置不正确 ③坡口角度和根部间隙太小,接头形状应适合所用焊接方法
烧穿	①焊接规范不合适 ②焊枪操作不合适	①电流太大,电压太低,坡口角度太大 ②钝边太小,根部间隙太大,坡口不均匀
夹渣	①焊接规范不合适 ②焊枪操作不合适	①正确选择焊接规范(适当增加电流、焊接速度) ②摆动宽度太大,焊丝伸出长度太大
凸形焊道	①焊接参数不当 ②操作不当	①增加焊接电流,降低焊速 ②加大横向摆动幅度
火口裂纹	①焊接参数不当 ②收弧不当	①提高电弧电压,降低焊速 ②填满火口处焊缝金属

第八节 熔化极惰性气体保护焊

熔化极气体保护焊是利用连续送进的焊丝作为熔化电极,以其与工件间燃烧的电弧作热源,由焊枪喷嘴喷出的气体来保护电弧进行焊接的方法。熔化极气体保护焊通常的保护气体有氩气、氦气、CO₂、O₂或这些气体的混合气。以氩气或氦气作为保护气时称为熔化极惰性气体保护焊,通常以英文缩写MIG表示;以惰性气体与氧化性气体(CO₂、O₂)的混合气体作为保护气或以CO₂气体、CO₂+O₂混合气体作为保护气时统称为熔化极活性气体保护焊,通常以英文缩写MAG表示。

一、熔化极惰性气体保护焊的特点和应用

熔化极惰性气体保护焊(MIG焊)的特点是:气体保护效果可靠,惰性气体既不与金属发生化学反应,又不溶解于液态金属,焊接质量好。可用较大电流,生产效率高。易进行全位置焊。明弧焊接,便于操作和观察。易实现机械化和自动化。但惰性气体较贵,成本较高,特别是氦比氩更贵,多用于高合金钢或有色金属的焊接。

MIG焊可分为半自动焊和自动焊两种。自动MIG焊适用于较规则的纵缝、环缝及水平位置的焊接。半自动MIG焊大多用于定位焊、短焊缝、断续焊缝及铝容器中封头、管接头、加强圈等工件的焊接。

MIG 焊使用惰性气体保护，既可以焊接黑色金属又可以焊接有色金属，但从制造成本考虑主要用于焊接铝、镁、铜、钛及其合金等有色金属及不锈钢等金属材料。碳钢和低合金钢一般不采用熔化极氩弧焊，而是采用 CO₂ 焊，以提高生产率。重要的低合金钢可采用熔化极氩弧焊，大多是采用 Ar + CO₂ 混合气。不锈钢经常采用熔化极氩弧焊。所焊的厚度为薄件为合理，大厚度采用埋弧焊或电渣焊更好。

熔化极氩弧焊的其他方法有脉冲熔化极氩弧焊、双丝熔化极氩弧焊、窄间隙熔化极氩弧焊。

二、MIG 焊设备的组成

MIG 焊设备主要包括焊接电源、送丝机构、焊枪、供气系统、供水系统等。MIG 焊的焊接设备与 CO₂ 焊基本相同。

1. 焊接电源

MIG 焊所用的焊接电源与 CO₂ 焊基本相同，由于 MIG 焊主要用于铝、镁等合金的焊接，一般采用直流焊机反接法。焊接铝及铝合金时与熔滴过渡形式有关，射流过渡时电弧静特性是上升的采用等速送丝，配用平特性（恒压）直流电源如 ZP 系列，亚射流过渡时采用等速送丝，配合陡降外特性（恒流）直流电源如 ZX 系列。

2. 送丝机构

焊接钢铁材料时 MIG 焊的送丝机构与 CO₂ 焊完全一样。但焊接铝及铝合金时，应防止焊丝咬伤，不采用带齿的送丝轮，焊丝直径不大于 0.8mm 的不宜采用推丝式送丝方式。

3. 焊枪和送丝软管

除焊接铝及铝合金时，送丝软管采用聚四氟乙烯或尼龙外，其余部分 MIG 焊与 CO₂ 焊的均一样。拉丝式焊枪如图 3-92 所示。另外，大电流焊接时焊枪必须采用水冷式并自动化，水冷式焊枪如图 3-93 所示。

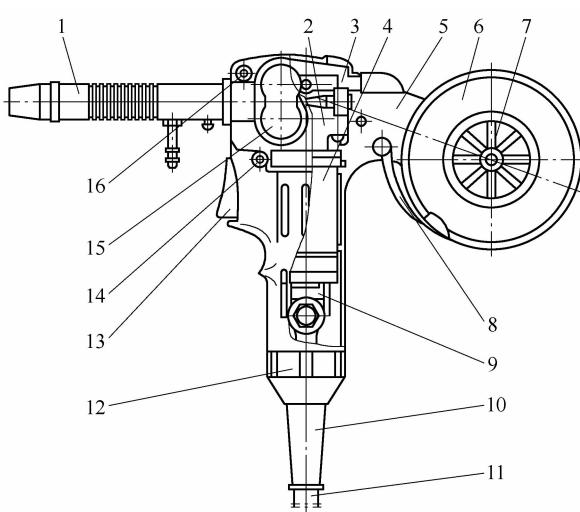


图 3-92 拉丝式焊枪示意图 (空冷)

1—枪筒总成 2—减速器总成 3—压臂组件 4—电动机总成
5—枪壳 6—焊丝盘 7—丝盘轴 8—护板组件 9—导电板
10—胶套 11—电缆 12—螺母 13—开关 14—螺钉
15—透明罩 16—自攻螺钉

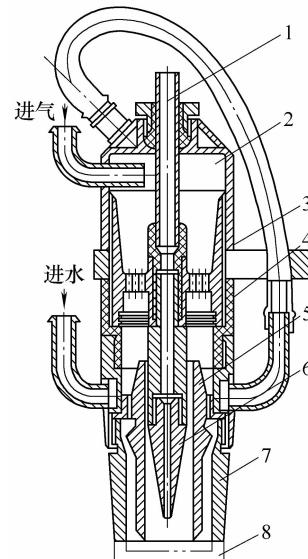


图 3-93 一种自动熔化极气体

保护焊枪结构示意图

1—钢管 2—镇静室 3—导流体
4—铜筛网 5—分流套 6—导电嘴
7—喷嘴 8—帽盖

4. 供气系统

由于采用惰性气体，供气系统中无预热器和干燥器，其余部分 MIG 焊与 CO₂ 焊的供气系统一样。

5. 供水系统

采用水冷焊枪的 MIG 焊设备中设有水冷系统。水冷系统通过水泵循环，水路中设有水压开关，以保证在无水时停止工作。

三、MIG 焊熔滴过渡和工艺参数的选择

(一) MIG 焊熔滴过渡形式的选择

MIG 焊可采用短路过渡、喷射过渡、脉冲射流过渡和大电流过渡（潜弧焊）等形式，短路过渡与喷射过渡的界限与焊丝材质、直径、伸出长度及保护气体种类有一定关系。薄板（2mm 以下铝材、3mm 以下的不锈钢）或全位置焊接，通常选用脉冲喷射过渡或短路过渡进行焊接，而厚板通常选用喷射过渡或亚射流过渡（后者仅适用于铝及铝合金）进行焊接。

(二) 焊接工艺参数的选择

1. 焊丝直径

首先应根据工件的厚度及熔滴过渡形式来选择焊丝直径。细焊丝以短路过渡为主，较粗焊丝以射流过渡为主。细焊丝主要用于焊接薄板和全位置焊接，而粗焊丝多用于厚板平焊位置。焊丝直径的选择见表 3-34。

表 3-34 焊丝直径的选择

焊丝直径 /mm	熔滴过渡形式	可焊板厚 /mm	焊缝位置	焊丝直径 /mm	熔滴过渡形式	可焊板厚 /mm	焊缝位置
0.5 ~ 0.8	短路过渡	0.4 ~ 3.2	全位置	1.6	短路过渡	3 ~ 12	全位置
	喷射过渡	2.5 ~ 4	水平		亚射流过渡	> 6	全位置
1.0 ~ 1.4	短路过渡	2 ~ 8	全位置		喷射过渡	> 8	水平
	喷射过渡	> 6	水平	2.0 ~ 5.0	亚射流过渡	> 10	全位置
					喷射过渡	> 12	水平

2. 焊接电流大小和种类

熔化极氩弧焊通常采用直流反接，利用等速送丝式焊接时，焊接电流是通过送丝速度来调节的。

焊接电流是最重要的焊接参数，应根据工件厚度、焊接位置、焊丝直径及熔滴过渡形式来选择。焊丝直径一定时，可以通过选用不同的焊接电流范围以获得不同的熔滴过渡形式，如要获得连续喷射过渡，其电流必须超过某一临界电流值。对于铝及铝合金用纯氩保护焊时，直径为 1.2mm、1.6mm、2.4mm 的焊丝其临界电流分别为 130A、170A、220A。对于不锈钢混合气用 Ar + (1 ~ 2)% O₂ 或 Ar + (5 ~ 10)% CO₂ 混合气保护焊时，直径为 0.8mm、1.2mm、1.6mm 的焊丝其临界电流分别为 110A、180A、220A。一般直径越大其临界电流也越大。同时临界电流还与焊丝伸出长度有关，对不锈钢影响较大，碳钢较小。不同熔滴过渡形式对应的焊丝直径及使用焊接电流范围如图 3-94 所示。铝及铝合金直径大于 2.4mm 的焊丝应采用潜弧焊。低碳钢熔化极氩弧焊不同熔滴过渡的电流范围见表 3-35。

亚射流过渡是铝及铝合金的特有过渡形式，它介于短路过渡与射流过渡间，配合恒流电源和等速送丝，电弧具有很强的自调节作用，适用于平焊与横焊。焊接时电弧稳定，焊缝外形及熔深

均匀。参数调节时可先将参数调到射流过渡然后立即加快送丝速度，听到轻微的啪啪声就是了。亚射流过渡焊缝熔透形状为盆底形，而射流过渡为指状形。

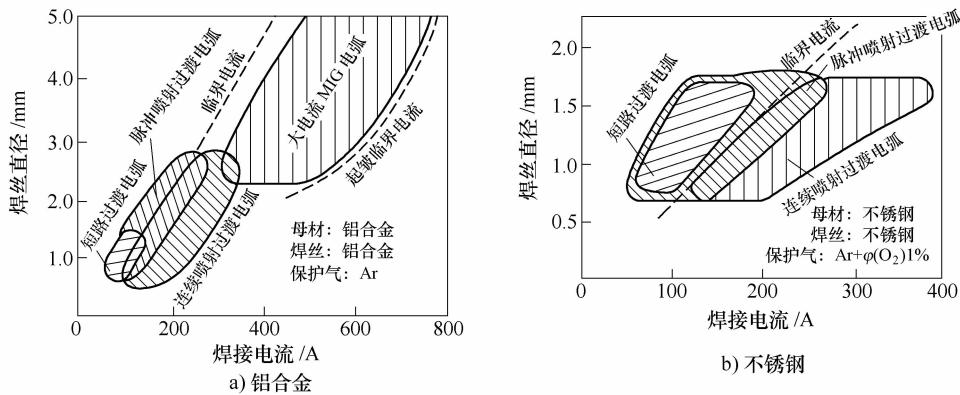


图 3-94 不同熔滴过渡形式对应的焊丝直径及使用焊接电流范围

表 3-35 低碳钢熔化极氩弧焊的典型焊接电流范围

实芯焊丝直径/mm	焊接电流/A	熔滴过渡方式	实芯焊丝直径/mm	焊接电流/A	熔滴过渡方式
1.0	40~150	短路过渡	1.6	270~500	射流过渡
1.2	80~180		1.2	80~220	脉冲射流过渡
1.2	220~350	射流过渡	1.6	100~270	

3. 电弧电压

电弧电压应根据电流的大小、保护气体的成分，被焊材料的种类、熔滴过渡方式等进行选择。不同保护气体焊接时的电弧电压见表 3-36。

表 3-36 不同保护气体焊接时的电弧电压

金 属	喷射或细颗粒过渡/V				短路过渡/V		
	Ar	He	Ar + 75% He	Ar + (1% ~ 5%) O ₂	Ar	Ar + (1% ~ 5%) O ₂	Ar + 25% O ₂
铝	25	30	29	—	19	—	—
镁	26	—	28	—	16	—	—
碳钢	—	—	—	28	17	18	19
低合金钢	—	—	—	28	17	18	19
不锈钢	24	—	—	26	18	19	21
镍	26	30	28	—	22	—	—
镍-铜合金	26	30	28	—	22	—	—
镍-铬铁合金	26	30	28	—	22	—	—
铜	30	36	33	—	—24	22	—
铜镍合金	28	32	30	—	23	—	—
硅青铜	28	32	30	28	23	—	—
铝青铜	28	32	30	—	23	—	—
磷青铜	28	32	30	23	23	—	—

注：焊丝直径为 1.6mm。

电弧电压主要影响熔滴的过渡形式及焊缝成形，要想获得稳定的熔滴过渡，在被焊材料的种类、保护气体成分、熔滴过渡形式一定时，选用合适的电流时还需合适的电压与之匹配。

MIG 焊时电弧电压和焊接电流之间的关系如图 3-95 所示。若超出图中所示范围，容易产生焊接缺陷，如电弧电压过高，则可能产生气孔和飞溅；如电弧电压过低，则有可能短接。

4. 焊接速度

焊接速度和焊接电流一定要密切配合，焊接速度不能过大也不能过小；否则，很难获得满意的焊接效果。半自动熔化极氩弧焊的焊接速度一般为 5~60m/h，自动熔化极氩弧焊的焊接速度一般为 25~150m/h。

半自动熔化极氩弧焊及自动熔化极氩弧焊焊接不同位置、不同厚度铝板时，适用的焊接电流及焊接速度范围，如图 3-96、图 3-97 所示。

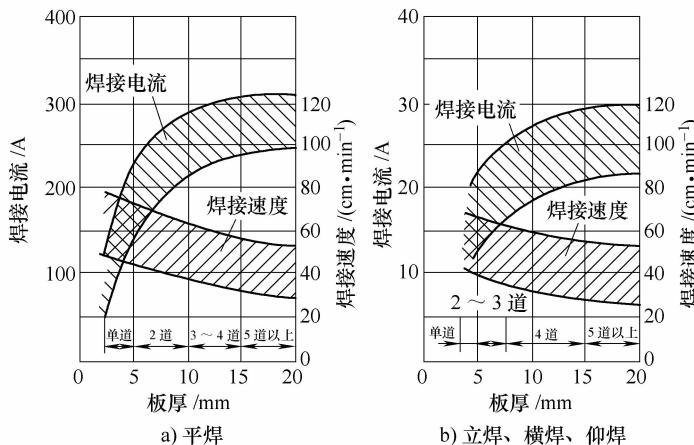


图 3-96 铝板半自动熔化极氩弧焊的焊接电流及焊接速度范围（对接）

5. 保护气体种类及流量

熔化极惰性气体保护焊采用的气体以氩气为主，但采用纯氩气时会产生以下问题：焊接低碳钢及低合金钢时，电弧不稳定，易导致熔深及焊缝成形不均匀。液态金属的粘度高、表面张力大，易导致气孔、咬边等缺陷。故 MIG 焊时，一般不使用纯氩气保护焊，通常根据所焊接的材料采用适当比例的混合气体，除焊接铝、钛、锆及镍时采用高纯氩（纯度不少于 99.9%）外。焊接构件时采用（Ar + He）混合气保护焊。

目前可供选用的保护气体有单一气体，如氩（Ar）、氦（He）等，混合气体，如 Ar + He、Ar + H₂、Ar + O₂、Ar + CO₂、Ar + CO₂ + O₂ 等。常用富氩混合

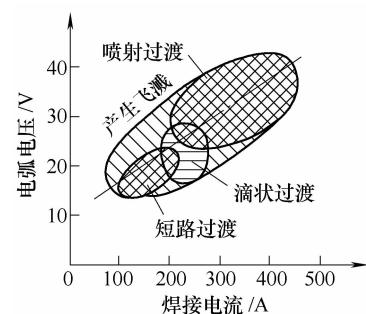


图 3-95 MIG 焊时电弧电压和焊接电流之间的关系

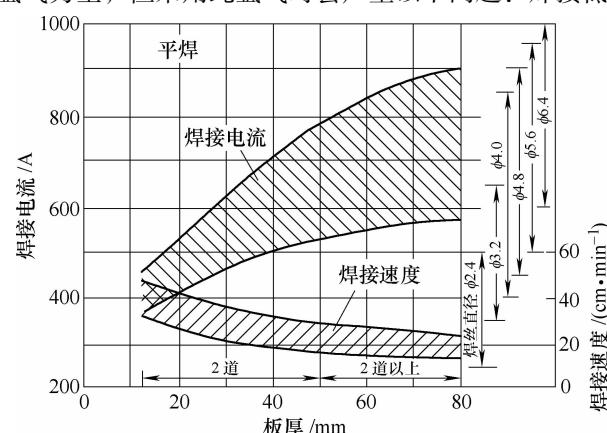


图 3-97 铝板自动熔化极氩弧焊的焊接电流及焊接速度范围（对接）

气的工艺特点及应用范围见表 3-37。

表 3-37 常用富氩混合气的工艺特点及应用范围

被焊材料	保护气成分 (体积分数)	化学性能	焊接方法	工艺特点及应用范围
低碳钢与 低合金钢	Ar + (1% ~ 5%) O ₂ 或 Ar + 20% O ₂	氧化性	MIG	降低射流过渡临界电流值, 提高熔池的氧化性, 克服阴极飘移及指状熔深现象, 改善焊缝成形, 可有效防止氮气和氢气孔, 提高焊缝的塑性及抗裂能力, 用于对焊缝性能要求较高的场合。宜采用射流过渡
	Ar + (20% ~ 30%) CO ₂	氧化性	MIG	可采用各种过渡形式, 飞溅小, 电弧燃烧稳定, 焊缝成形较好, 有一定的氧化性, 克服纯氩保护时阴极飘移及金属粘稠现象, 防止指状熔深, 焊缝力学性能优于纯氩保护时的焊缝
	Ar + 15% CO ₂ + 5% O ₂	氧化性	MIG	可采用各种过渡形式, 飞溅小, 电弧稳定, 焊缝成形较好, 有良好的焊接质量, 焊缝断面形状和熔深较理想。该成分的气体是焊接低碳钢与低合金钢的最佳混合气体
不锈钢及 高强钢	Ar + (1% ~ 2%) CO ₂	弱氧化性	MIG	提高熔池的氧化性, 降低焊缝金属的氢含量, 克服阴极飘移及指状熔深现象, 改善焊缝成形, 可有效防止气孔、咬边等缺陷。用于射流过渡、脉冲射流过渡
	Ar + 5% CO ₂ + 2% O ₂	弱氧化性	MIG	提高熔池的氧化性, 熔透能力大, 焊缝成形较好, 用于射流过渡、脉冲射流过渡和短路过渡
钛、锆及 其合金	Ar + 25% He	惰性	TIG MIG	用于射流过渡、脉冲射流过渡和短路过渡提高热功率; 改善熔池金属的湿润性
铝及铝合金	Ar + (20% ~ 90%) He 或 Ar + (10% ~ 75%) He	惰性	TIG MIG	射流过渡、脉冲射流过渡, 飞溅小, 电弧稳定, 温度高、熔透能力大, 焊缝成形较好, 气孔敏感小; 随着氦含量的增大飞溅增大, 适用焊接铝厚板
	Ar + 2% CO ₂	弱氧化性	MIG	可简化焊前清理工作, 飞溅小, 电弧稳定, 熔透能力大, 焊缝成形较好, 抗气孔能力强, 焊缝力学性能好
铜及其合金	Ar + (50% ~ 70%) He	惰性	MIG	用于射流过渡和短路过渡, 热功率高; 可降低预热温度
	Ar + 20% N ₂	惰性	MIG	可形成稳定的射流过渡, 电弧温度比纯氩电弧的温度高, 热功率高; 可降低预热温度, 但飞溅大, 焊缝表面较粗糙
镍及其 合金	Ar + (15% ~ 20%) He	惰性	TIG MIG	提高热功率; 改善熔池金属的湿润性, 改善焊缝成形
	Ar + 60% He	惰性	TIG	提高热功率; 改善金属的流动性, 抑制或消除焊缝中的 CO 气孔; 焊缝美观, 钨极损耗小, 寿命长

保护气体流量一般根据电流的大小、喷嘴孔径及接头形式来选择。对于一定直径的喷嘴, 有一最佳的保护气体流量范围。流量过大, 易产生紊乱; 流量过小, 气流的挺度差, 保护效果不好。熔化极氩弧焊气体流量最佳范围通过实验确定, 保护效果可通过焊缝表面的颜色来判定, 见表 3-38。

表 3-38 熔化极氩弧焊保护效果与焊缝表面颜色之间的关系

母材	最好	良好	较好	不良	最差
不锈钢	金黄色或银色	蓝色	红灰色	灰色	黑色
钛及钛合金	亮银白色	橙黄色	蓝紫色	青灰色	白色(氧化钛)
铝及铝合金	银白色有光亮	白色(无光)	灰白色	灰色	黑色
纯铜	金黄色	黄色	—	灰色	黑色
低碳钢	灰白色有光亮	灰色	—	—	灰黑色

熔化极氩弧焊采用双层气流保护可以得到更好的效果。此时喷嘴由两个同心喷嘴组成, 即内喷嘴和外喷嘴。气流分别从内、外喷嘴流出, 例如利用大电流、粗焊丝焊接铝及铝合金时, 需要采用双层保护气流。两层保护气流可采用不同成分的保护气体, 内外层气体的流量最好控制在1:1~1:2。

6. 喷嘴直径和喷嘴端部至工件的距离

由于熔化极氩弧焊对熔池的保护要求较高, 焊接速度又高, 如果保护不良, 焊缝表面便易起皱皮。所以喷嘴直径比钨极氩弧焊的要大, 为20mm左右, 氩气流量也大, 在30~60L/min范围之内。

喷嘴端部至工件的距离应保持在12~22mm之间。从气体保护效果方面来看, 距离越近越好, 但距离过近容易使喷嘴接触到熔池表面, 反而恶化焊缝成形, 并且飞溅易损坏喷嘴。在环缝自动焊接时, 焊丝应有一定的偏移量, 保证熔池冷却时在水平位置, 而且应先焊外缝, 后焊内缝。焊枪和工件的相对位置如图3-98所示。

7. 焊丝位置和焊接方向

焊丝和焊缝的相对位置会影响焊缝成形, 焊丝与工件的相对位置有前倾、后倾和垂直三种, 左焊法如图3-99所示。当焊丝处于焊丝后倾焊法时形成的熔深大、焊道窄, 余高也大。当处于前倾焊法时形成的熔深小, 余高也小。垂直焊法介于两者之间。各种焊法对焊缝形状和熔深的影响如图3-100所示。对于半自动熔化极氩弧焊, 焊接时一般采用左焊法, 便于操作者观察熔池。当拖角在15°~20°之间时熔深最大, 但焊枪倾角一般不超过25°。

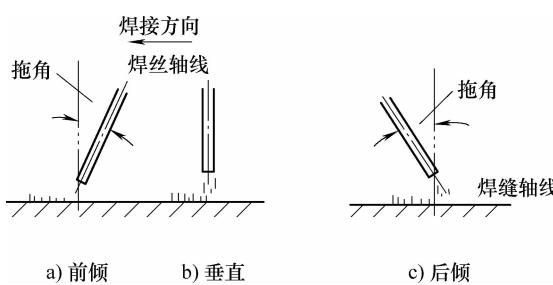


图3-99 左焊法示意图

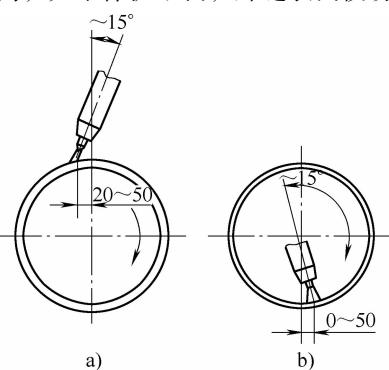


图3-98 焊枪和工件的相对位置

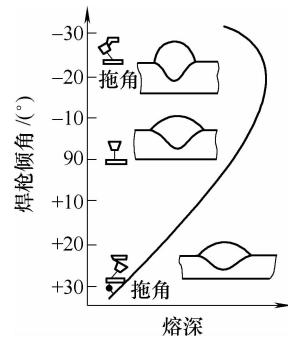


图3-100 焊枪倾角对熔深的影响

在选择焊接工艺参数时, 应先根据工件厚度、坡口形状选择焊丝直径, 再由熔滴过渡形式确定焊接电流, 并配以合适的电弧电压, 其他参数的选择应以保证焊接过程稳定及焊缝质量为原

则。另外，在焊接过程中，焊前调整好的工艺参数仍需要随时进行调整，以便获得良好的焊缝成形。

第九节 药芯焊丝电弧焊

一、药芯焊丝电弧焊的特点及应用范围

药芯焊丝电弧焊是利用连续送进的可熔化的药芯焊丝与工件间的电弧产生的高温进行的高效熔焊方法，它按保护方式分为药芯焊丝自保护焊和药芯焊丝气保护焊两种。自保护焊是焊接过程中不需其他保护条件，完全依靠药芯自身熔化时产生的气体和熔渣保护熔滴和熔池。气保护焊是除自身熔化时产生的气体和熔渣保护外还需另加其他保护气体的焊接方法。

药芯焊丝电弧焊不仅具有 CO_2 焊的全部优点，还有焊接质量好、低耗、节能等优点，但也存在焊接时烟尘大、送丝不均、药芯容易吸潮等缺点。

药芯焊丝电弧焊已广泛应用于焊接低碳钢、低合金高强度钢、耐热钢、耐候钢及某些不锈钢薄板和中厚板钢结构，以及耐磨堆焊工程。国外还研制了铝合金药芯焊丝用于焊接铝合金，及铸铁药芯焊丝用于焊接铸铁。

二、焊接设备的组成

药芯焊丝气保护焊设备与 CO_2 焊设备相同。药芯焊丝自保护焊设备不需要供气系统，焊枪也比较简单。下面仅不同之处作简单介绍：

(一) 焊接电源

实心、药芯焊丝两用的焊机，是在使用实心焊丝焊机的基础上添加了以下一种或多种功能：

- 1) 极性转换（直流正接和反接转换装置）。直流正接适用于堆焊场合。
- 2) 电源外特性微调。在平特性的基础上微调外特性，使其微翘和缓降之间。
- 3) 电弧挺度调节。通过调节电弧挺度来调节熔滴过渡以减少飞溅，并可改善全位置焊接的性能。

(二) 送丝机

药芯焊丝的芯部都为粉剂，所以与实心焊丝相比，药芯焊丝的刚性较差，比较软。因此，为保证焊丝能稳定送进，对送丝机构有如下几点要求：

- 1) 有两对主动轮的送丝滚轮，上下轮均开 V 形槽，以防药芯焊丝压扁，影响送丝的正常。大于 1.2mm 以上的焊丝的上下轮均采用压花以增加送丝推力。
- 2) 配备焊丝校直机构。
- 3) 送丝软管的摩擦因数小，既要柔软，又要变形小。
- 4) 采用开式送丝盘。

(三) 焊枪

药芯焊丝电弧焊的焊枪与实心焊丝的焊枪相同。药芯焊丝自保护焊可选用专用焊枪或 CO_2 焊枪，或在 CO_2 焊枪的基础上去掉气罩并在导电嘴外侧加绝缘护套，以满足某些药芯焊丝自保护焊的焊丝的伸出长度问题，同时可以减少飞溅的影响。

三、焊接工艺

药芯焊丝电弧焊的主要工艺参数与实心焊丝 CO_2 保护焊的主要工艺参数基本相同，工艺参

数对焊接质量和焊缝成形的影响见实心焊丝 CO₂ 保护焊，焊接操作时为防止焊缝夹渣一般采用右焊法，同时多层焊时注意层间清渣。其他与实芯焊丝 CO₂ 保护焊大体相同。

第十节 等离子弧焊

一、等离子弧焊的分类、特点和应用

(一) 等离子弧焊的分类、特点

在焊接领域中，用等离子弧作热源的工艺方法主要有等离子弧堆焊、等离子弧焊接、等离子弧切割、等离子弧喷涂等。等离子弧焊与钨极氩弧焊很相似，但它的热源是经机械压缩、热收缩、磁收缩的压缩电弧。等离子弧比电弧温度高，能量密度大，因而可高速度低热输入焊接。等离子弧焊有穿透型（小孔型）等离子弧焊、熔透型等离子弧焊、微束等离子弧焊三种基本方式。小孔型等离子弧焊利用等离子弧能量密度大和等离子流力大的特点，将工件完全熔透并产生一个贯穿的小孔，被熔化的金属在电弧吹力、液体金属重力与表面张力相互作用下保持平衡。焊枪前进时，小孔在电弧后方锁闭，形成完全熔透的焊缝。小孔效应只有在足够的能量密度条件下才能形成，板厚增加，所需能量密度也增加，因此穿透型等离子弧焊的板厚受一定限制，除了钛和钛合金可焊到 12mm 以外，其余金属只能焊到 6~8mm。熔透型等离子弧焊用压缩程度较弱的等离子弧，只熔化工件而不产生小孔效应，与钨极氩弧焊类似，主要用于薄板单面焊背面成形及厚板的多层焊。微束等离子弧焊用小孔径压缩喷嘴，用非转移与转移联合型等离子弧，焊机有两个独立的焊接电源，焊接电流仅有 1~30A，但等离子弧稳定性好，可用于焊接箔材和细丝。

等离子弧焊的特点是能量集中温度高，焊接速度快，电弧挺直性和稳定性好，可焊接更细更薄的工件，弧长变化对焊缝成形的影响比较小，而且钨极内缩在喷嘴之内电极不与工件接触，没有焊缝夹钨的问题，焊接热输入小，焊接质量高。但焊接电源、控制系统、焊炬都较复杂，设备费用是钨极氩弧焊的 2~5 倍，参数的调节匹配较复杂，对喷嘴构造、钨极安装等要求较高而且喷嘴寿命短。

(二) 等离子弧焊在承压设备制造和安装中的应用

在锅炉、压力容器和压力管道制造安装中，等离子弧焊广泛用于不锈钢和有色金属的切割。微束等离子弧焊用于波纹管等薄件的焊接。在承压设备制造中，自动等离子弧焊常用于焊接厚度为 8mm 以下的钛、锆、镍、不锈钢等金属。

在不锈钢有缝管的生产线上，不锈钢带由机器卷制成管状，其纵缝用穿透型等离子弧焊一次熔透焊成。管壁较小时纵缝接口处的缝隙角度不大，可以不填丝焊接。若板厚较大，接口处缝隙较大，则要适当填丝。其焊接速度比钨极氩弧焊快，还减小了不锈钢的过热敏化，提高了耐蚀性。

二、等离子弧焊设备的组成

等离子弧焊接设备主要包括焊接电源、控制系统、焊枪、气路系统、水路系统。根据不同的需要有时还配送丝系统、机械旋转系统、行走系统及装夹系统等。

(一) 焊接电源

等离子弧焊的焊接电源由于电弧工作部分是水平或略上升的，为稳定焊接电流，都要求有陡降或垂降特性的（恒流）外特性的弧焊电源。电源最好具有电流递增及衰减等功能，以满足起弧及收弧的工艺要求。电源空载电压根据离子气的种类而定。氩作离子气时，空载电压为 60~80V，用氩、氢混合作离子气时，空载电压需要 110~120V，微束等离子弧焊接电源空载电压为 100~130V。电源种类有直流、交流、脉冲。直流和脉冲正极性可以焊接碳钢、合金钢、镍及镍

合金、钛及钛合金、不锈钢等材料。直流和脉冲反极性可以焊接铝镁及其合金或等离子弧堆焊。交流主要焊接铝镁及其合金。

等离子弧焊焊接电源主要有磁放大器式、晶闸管式、场效应管逆变式、IGBT 逆变式等弧焊整流电源。如 ZXG 系列、ZX 系列、ZDG 系列、WS 系列、WSM 系列、WSE 系列和专用 LH 系列等。

（二）控制系统

等离子弧焊接工艺的主要控制由控制系统完成。控制系统与电源集成在一起，也可以单独做成一个控制箱。典型的等离子弧焊机的控制系统主要功能包括设定离子气流量、保护气流量、维弧电流、主弧电流等。组成有引弧电路、程序控制电路、水和气体控制电路、送丝和行走，或转动控制与调节电路等。

1. 引弧电路

利用高压或高频引弧，使钨极与喷嘴之间的电压达到 2500V 或更高、频率为 100kHz 的高压电压，使预先送入的氩气电离，在焊接电源空载电压的同时作用下，建立非转移弧。然后把工件接到焊接电源的一极上，喷出喷嘴孔外的非转移弧使钨极与工件之间的气隙电离，使工件与钨极间的转移弧引燃。转移弧形成后立即切断高频高压和非转移弧，利用建立的转移弧进行焊接。

2. 焊接电流递增和递减（衰减）电路

在进行环缝小孔型焊接时，一般要求等离子弧焊的焊接电流在起焊阶段随等离子气体流量一起递增，在收弧阶段两者同步递减。起焊时，等离子弧在初始电流值下引燃，然后缓慢升到工作电流值。收弧时由工作电流值缓慢降到停弧电流值后熄弧。

3. 气流控制电路

等离子焊接一般使用等离子气和保护气。保护气有保护罩与喷嘴间保护气、拖尾保护气和背面保护气三种，气流控制电路在适当时候控制电磁阀通断，实现等离子气的递增、递减和保护气的通断。气路由气瓶、减压器、电磁气阀、流量计、焊枪等构成。

4. 冷却水控制电路

冷却水路为水泵—水冷导线—焊枪下枪体—喷嘴—焊枪上枪体—水冷导线—水流开关—水箱组成。水路中的水冷导线由塑料管或胶管内穿多芯软铜线组成，管内通水时，导线同时冷却。回流的水带走钨极和喷嘴的热量，使焊枪得到冷却。冷却水控制系统由冷却液存储罐、散热器、泵、流量传感器和控制开关组成。为防焊枪烧坏，水泵电动机电源与焊接电源能同时通电，且水压不足或无水流时，电弧不会引燃，不能焊接。

5. 送丝、行走或转动调速电路

这些电路控制相应的电动机，实现自动送丝、小车行走、焊速快慢调节。

6. 程序控制电路

程序控制电路把上述电路有机地结合在一起，构成程序控制系统。能按照时间顺序完成从送气引弧（开始焊接）到收弧停气（结束焊接）的全部程序动作。

（三）焊枪

等离子弧焊时产生等离子弧并用以进行焊接的工具称等离子弧焊枪。按其操作方式分为手工焊枪和自动焊枪。焊枪应能固定钨极与喷嘴间的相对位置，并要求钨极与喷嘴孔径同心，能够水冷钨极与喷嘴，20A 以下的焊枪可以不水冷钨极，但必须冷却喷嘴。喷嘴要与钨极绝缘，以便在钨极与喷嘴间产生非转移弧。采用单独的气路分别导入离子气与保护气。

1. 焊枪结构

如图 3-101 所示，上下枪体之间由绝缘柱 7 和绝缘套 8 隔开，进出水口也是水冷电缆接口。电极夹在电极夹头 10 中，通过螺母 12 锁紧，电极夹从上冷却套插入，并借带绝缘套压紧螺母 12

锁紧。离子气和保护气分两路进入下枪体。图 3-101b 微束等离子弧焊枪的电极夹头上还有一个压紧弹簧按钮 17，按下按钮 17 可实现接触短路回抽引弧。

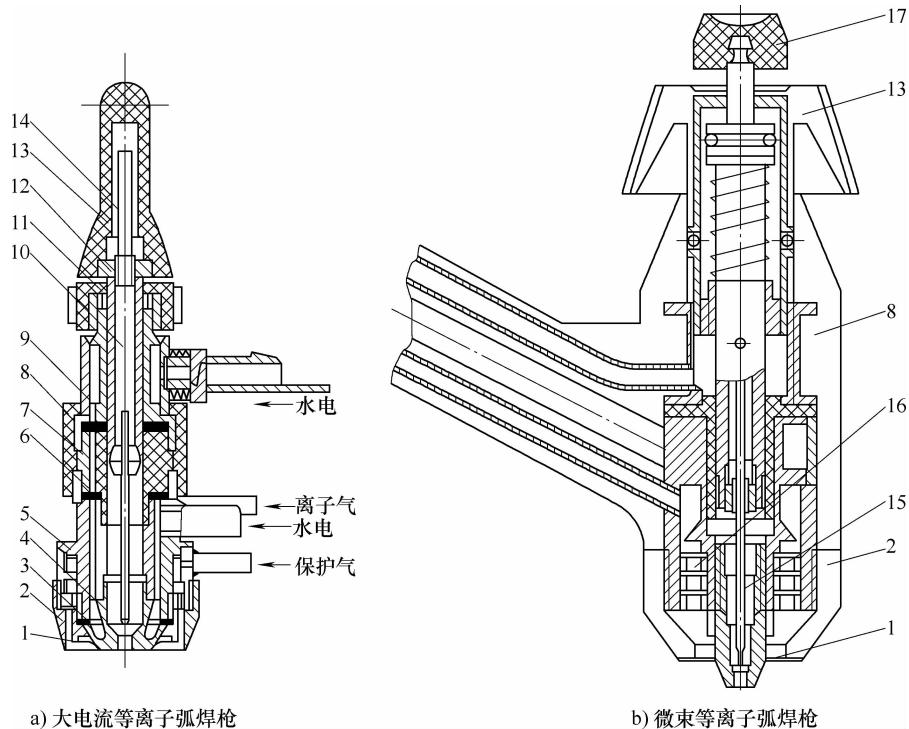


图 3-101 等离子弧焊枪

1—喷嘴 2—保护套外环 3、4、6—密封圈 5—下枪体 7—绝缘柱 8—绝缘套
9—上枪体 10—电极夹头 11—套管 12—螺母 13—胶木套 14—钨极
15—瓷对中块 16—透气网 17—压紧弹簧按钮

2. 压缩喷嘴

压缩喷嘴是等离子弧焊枪中产生等离子弧的关键零件之一，它对电弧直径起压缩作用，是一个铜质水冷喷嘴。压缩喷嘴结构、类型和尺寸对等离子弧性能起决定性作用。

如图 3-102 所示的喷嘴基本结构是等离子弧焊中应用最广泛的类型。扩散型压缩较弱，但稳定性较好，易产生双弧；直孔型适中；圆柱三孔型适用较大离子气的场合，因它将等离子弧产生的圆形温度场改变为椭圆形，当椭圆形温度场的长轴平行于焊接方向时，可以提高焊接速度和减小焊缝热影响区宽度。

喷嘴材料通常为纯铜，导热性好，有效降低喷嘴温度。对于大功率喷嘴必须采用直接水冷方式，为提高冷却效果，喷嘴壁厚应不大于 2~2.5mm。

喷嘴孔径将决定等离子弧的直径和能量密度，喷嘴孔径的大小是由电流及离子气流量来决定的。

3. 电极

等离子弧电极多采用钍钨或铈钨材料。电极需要进行冷却，当电流过大时，一般选用镶嵌式水冷结构，如图 3-103 所示。制造时应注意电极位于喷嘴的中心。电极偏心将使等离子弧偏斜，影响焊缝成形并且是促成双弧的一个诱因。同心度可根据电极和喷嘴间的调频火花在电极四周的分布情况来检查，一般焊接时要求高频火花布满圆周 75%~80% 以上。

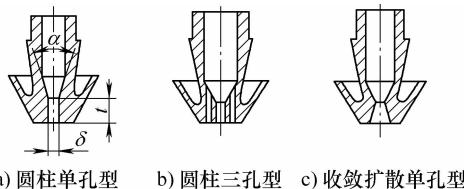


图 3-102 喷嘴结构

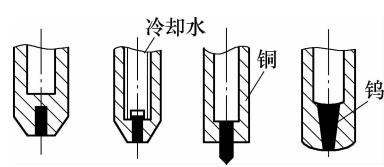


图 3-103 镶嵌式水冷结构

三、等离子弧焊的主要工艺参数

1. 喷嘴孔径

喷嘴孔径直接决定对等离子弧的压缩程度，是选择其他参数的前提。在焊接生产过程中，当焊件厚度增大时，焊接电流也应增大，但一定孔径的喷嘴其许用电流是有限制的，见表 3-39。因此，一般应按焊件厚度和所需电流值确定喷嘴孔径。

表 3-39 喷嘴孔径与许用电流

喷嘴孔径/mm	1.0	2.0	2.5	3.0	3.5	4	4.5
许用电流/A	≤30	40~150	140~180	180~250	250~350	350~400	450~500

一般来说，进行穿透焊时宜选用细小的喷嘴孔径，进行熔透焊时可用较大的喷嘴孔径。表 3-36 中所列许用电流有较大的范围。这是因为许用电流还受喷嘴冷却效果、钨极内缩大小的影响。一般喷嘴冷却效果好、钨极内缩小，许用电流可较大，反之则较小。

2. 焊接电流

焊接电流是根据板厚或熔透要求来选定。当其他条件不变时，焊接电流增大，等离子弧穿透能力增大。当采用穿孔法焊接时，如果电流太小，则形成小孔的直径也小，甚至不能形成小孔，无法实现穿透法焊接。如果电流过大，则形成的小孔直径也过大，熔化金属过多，易造成熔池金属坠落，也无法实现穿透法焊接。同时，电流过大还容易引起双弧现象。

因此，在喷嘴结构确定后，为了获得稳定的小孔焊接过程，焊接电流只能在某一个合适的范围内选择，而且这个范围与离子气的流量有关。

3. 离子气种类及流量

目前应用最广的离子气是氩气，适用于所有金属。氦气等离子弧由于热导率高、熔深大、穿透能力强等优点，特别适用于焊接导热性好的铝、铜等材料。为了提高生产效率和改善接头质量，针对不同金属可在氩气中加入其他气体。例如焊接不锈钢和镍合金时，可在氩气中加入体积分数为 5%~7.5% 的氢气。焊接钛及钛合金时，可在氩气中加入体积分数为 50%~75% 的氦气。

离子气流量直接决定了等离子流力和熔透能力。

当其他条件不变时，离子气流量增加，等离子弧的冲力和穿透能力都增大。但等离子气流量过大时会使小孔直径过大而不能保证焊缝成形。因此，应根据喷嘴直径，等离子气的种类，焊接电流及焊接速度选择适当的离子气流量。

利用熔透法焊接时，应适当降低等离子气流量，以减小等离子流力。

4. 焊接速度

焊接速度应根据等离子气流量及焊接电流来选择。其他条件一定时，如果焊速增大，焊接热输入减小，小孔直径随之减小，甚至消失；如果焊速太低，母材过热，熔池金属容易坠落。因此，焊接速度、离子气流量及焊接电流这三个工艺参数应相互匹配。

在穿透法焊接过程中，这三个参数匹配的一般规律是：当焊接电流一定时，若增加离子气流量，则应相应增加焊接速度；当离子气流量一定时，若增加焊接速度，则应相应增加焊接电流；

当焊接速度一定时，若增加离子气流量，则应相应减小焊接电流。

5. 保护气体种类和流量的选择

等离子弧焊采用的保护气有氩气、氮气、二氧化碳气、氩+氢混合气、氩+二氧化碳混合气、氩+氦混合气等。氩气、氩+氦混合气适应所有金属，且可获得优质的焊接接头。氩+二氧化碳混合气或二氧化碳作保护气可焊接碳钢，降低成本改善焊缝成形克服咬边。氮气或氩+氢混合气作保护气可焊接铜及其合金，提高热效率和熔深。

大电流焊接时保护气和等离子气应用同种气体以提高电弧的稳定性。保护气的流量根据保护效果选取，保护效果与喷嘴高度有关，当离子气流量一定时，喷嘴高度越高保护气的流量越大。但保护气体流量太大会导致气流的紊乱，影响电弧稳定性和保护效果，而保护气流量太小，保护效果也不好。因此，保护气体应与离子气流量保持适当的比例。当增加保护气流量仍不能满足要求时应考虑使用拖尾保护。拖尾保护和背面保护气流量一般在2~5L/min。小孔型焊接保护气体流量一般在15~30L/min范围内。

6. 钨极直径、类型及内缩

等离子弧焊钨极直径的选择与TIG（惰性气体钨极保护焊）相同。根据许用电流选择。钨极端部形状也与TIG相似。钨极材料的选择在直流正接时多用铈钨或钍钨合金，交流时选用钨锆材料。如果使用中出现引弧困难、电弧不稳定、使用时间过短等现象，应考虑钨极成分是否正确，且质量是否合格、直径是否合适、极性是否合理。

钨极内缩的影响与等离子气流量相似。在穿透焊其他条件不变时内缩增加，相当于电流增加，焊速降低，焊缝将下凹，并有烧穿现象；内缩减小时，母材根部可能未形成小孔产生未焊透。一般钨极内缩长度为喷嘴孔道长±0.2mm为合适，同时保证钨极应与喷嘴同心。

7. 喷嘴至工件的距离

距离过大，熔透能力降低，距离过小则造成喷嘴堵塞，一般取3~8mm。与钨极氩弧焊相比，喷嘴距离的变化对焊接质量的影响不太敏感。

8. 送丝速度及位置

送丝速度的快慢影响焊缝余高，且过快会产生未熔合。一般焊丝直径为1.0~1.6mm，送丝速度为0.1~2.0m/min。

对不留间隙的I型对接接头进行等离子弧焊时一般可不填充焊丝。若要求余高、开坡口或留间隙则填充焊丝。不预热的冷丝，一般从熔池前沿送入，预热的热丝从熔池后沿送入。

四、等离子弧焊操作技术

等离子弧焊的一般操作程序和操作技术是焊前提前送气送水、高频引弧、切断高频、转移弧形成；焊接时调整好各工艺参数、弧柱中心始终对中接缝中心、等离子气递增、行走（送丝）；停焊时完成电流衰减、停丝、熄弧、延迟停气等动作。

引弧及收弧：当板厚小于3mm时，可直接在工件上引弧和收弧。利用穿孔法等离子弧焊焊接厚板时，引弧及收弧处易产生气孔、下凹等缺陷，平直焊缝可增加引弧板及引出板。先在引弧板上形成小孔，然后再过渡到工件上去，焊接结束前将小孔闭合在引出板上；大厚度环缝不便加引弧板和收弧板时，应采取焊接电流和离子气递增、递减的办法在工件上起弧，完成引弧建立小孔并利用电流和离子气流量衰减法收弧闭合小孔。

工件对接利用穿孔法单面焊双面成形工艺要点：

- 1) 下料时保证工件待焊边缘平直、飞边高度小于0.5mm，并完全露出金属光泽。
- 2) 定位点固时保证对缝间隙不大于0.5mm。错边至最小，且不大于0.5mm，定位焊可采用TIG。用工装夹具装配的，可不定位焊，起焊位置在配合最紧、错边最小的地方（如焊接管纵缝）。

3) 能装引弧板、引出板的工件需在引弧板上引弧，引出板上收弧。整个施焊过程始终保持喷嘴至工件的距离 $2.5\text{mm} \pm 0.5\text{mm}$ ，并使弧柱中心始终对中接缝中心。

4) 碰到铁磁性材料对接时可采用同时在引弧板、引出板接地线，加长引弧板、引出板长度或降低喷嘴至工件的距离来减少磁偏吹。

5) 一般采用穿孔法进行打底层焊接时不添加焊丝，如要求有余高、开坡口或留间隙时应添加焊丝，并选用摆动程序，以确保焊缝表面焊满。

6) 环缝对接，当工件水平转动时，焊枪位置在略下坡焊，使熔池冷却时刚好在水平位置，同时要求起焊和停焊位置过程焊接电流、等离子气流量分别递增和衰减。当工件为全位置时采用矩形波脉冲电源，在时钟 3 点、6 点、7 点、9 点及 11 点位置设定合适的参数，从 6 点起焊按顺时针方向焊接，终点在 6 点附近。

五、等离子弧焊常见缺陷及防止措施

等离子弧焊常见缺陷及防止措施见表 3-40。

表 3-40 等离子弧焊常见缺陷及防止措施

缺陷类型	产生原因	防止措施
焊缝背面成形不连续	焊速快小孔时有时无 焊接电流小	降低焊速 适当增加焊接电流
单侧咬边	①焊枪偏向焊缝咬边侧 ②电极与喷嘴不同心 ③两辅助孔偏斜 ④接头错边量太大 ⑤磁偏吹	①改正焊枪对中位置 ②调整同心度 ③调整辅助孔位置 ④加填充丝 ⑤改变地线位置
两侧咬边	①焊接速度太快 ②焊接电流太小	①降低焊接两侧咬边速度 ②加大焊接电流
气孔	①焊前清理不彻底，焊丝不干净 ②焊接电流太小 ③填充焊丝送进太快 ④焊接速度太快，小孔焊接时甚至会产生贯穿焊缝的长气孔 ⑤电弧电压过高，弧长过长 ⑥引弧和收弧处工艺参数配合不当	①除净焊接区的油漆及污物，清洗焊丝 ②加大焊接电流 ③降低送丝速度 ④降低焊接速度 ⑤降低电压，减小弧长 ⑥合理配合工艺参数
密集气孔	①气源不净 ②焊枪漏水 ③母材焊材不干净 ④保护不好	①保证气源洁净或气瓶立放 2h 后再用 ②消除漏水环节 ③清理母材焊材 ④增加气体流量减少弧长
隧道状气孔	①引弧或收弧处小孔未形成 ②焊速过快	①形成小孔后焊车再走 ②降低焊速
未熔合	焊接热输入不足	增加焊接电流或降低焊速

第十一节 碳弧气刨

一、碳弧气刨的特点及应用

1. 碳弧气刨的特点

碳弧气刨是利用碳棒与工件之间，在通电后产生的电弧高温，将工件局部熔化，并利用压缩空气流将熔化金属吹除的一种工艺方法。其优点是：机动性好，可见性好，可进行全位置操作，

能够切割用氧乙炔火焰难于切割的金属材料。其缺点是：碳弧气刨时烟雾、粉尘较大，弧光辐射较强，并且需要功率较大的直流电源。

2. 碳弧气刨的应用

碳弧气刨在机械、化工、造船、金属结构和锅炉压力容器制造等行业应用广泛。

- 1) 用于低碳钢、低合金钢和不锈钢材料双面焊接时，清除焊根。
- 2) 可用碳弧气刨工艺清除焊缝超标缺陷。
- 3) 手工碳弧气刨常用来为小件、单件或不规则的工件的坡口加工，尤其是 U 形坡口加工时，更有优越性。
- 4) 清除铸件的飞边、浇注用模具、冒口和铸件的表面缺陷。
- 5) 切割铸铁、高合金钢、铜、铝及其合金等。
- 6) 碳弧气刨不宜应用于对冷裂纹敏感的低合金钢厚板。

二、碳弧气刨设备的组成

碳弧气刨设备包括电源、压缩空气源、碳弧气刨枪、碳棒、电缆气软管。

1. 碳弧气刨电源

碳弧气刨一般采用直流电源，反接法。要求电源具有陡降外特性和较好动特性，有较大的容量。如选用晶闸管整流焊机作为碳弧气刨电源时，应特别注意，不能过载，以保证设备的安全运行。常用型号有 AX1—500、ZXG—500 等。

2. 压缩空气源

碳弧气刨要求有压力稳定的压缩空气源，压力一般为 0.5 ~ 0.6 MPa，压缩空气干燥。一般选用压力为 0.8 MPa 小型空气压缩机，即可满足使用要求。

3. 碳弧气刨枪

碳弧气刨枪的电极夹头应导电良好、夹持牢固、外壳绝缘及绝热性能良好，更换碳棒方便，压缩空气喷射集中、准确。碳弧气刨枪有侧面送风式和圆周送风式两种类型。侧面送风气刨枪的气体喷射口在碳棒下侧且可在 180° 范围变化，操作者可按工作需要转换角度。圆周送风气刨枪气体喷射口在碳棒周围。

4. 电缆、软管

碳弧气刨枪体都需要连接电源的电缆和连接气源的软管。

1) 连接电源的电缆可以参照表 3-12 焊接电缆截面积与焊接电流、电缆长度的关系选用，软管可以选择氧气管。电缆和软管分别与碳弧气刨枪体连接。

2) 电气合一软管

为了防止电缆发热，便于操作，可以采用电气合一的软管，以便压缩空气可以冷却导线。电气合一软管如图 3-104 所示。

5. 碳棒

碳棒是碳弧气刨操作中的主要消耗材料，其作用是导电和引燃电弧。一般选用实心碳棒外面镀铜，增加导电性能。同时还要求耐高温，有一定的强度，不易折断，使用时散发烟雾和粉尘少。外形分圆形和矩形两种，圆形碳棒一般用于焊缝清根或焊缝返修，扁形碳棒一般用于刨槽、开坡口、切割铸铁、切割合金钢和有色金属。

三、碳弧气刨工艺参数

碳弧气刨的工艺参数包括电源极性、电流、碳棒直径与板厚、碳棒伸出长度、碳棒倾角、压

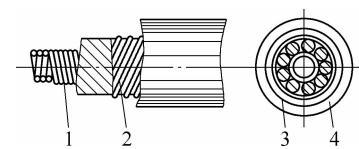


图 3-104 电气合一软管

1—弹簧管 2—外附加钢丝

3—夹线胶管 4—多股导线

缩空气压力、电弧长度、刨削速度等。

1. 电源极性

低碳钢、低合金钢和不锈钢进行碳弧气刨时，采用直流反接（便于熔池大幅度增碳，降低其熔点增加其流动性）。即工件接负极，碳弧气刨枪接正极。用这种连接方式进行碳弧气刨时，电弧稳定，刨削速度均匀，电弧发生连续的“刷刷”声，刨槽两侧宽窄一致，刨槽表面光滑明亮。

2. 电流

一般碳弧气刨削电流与碳棒直径成正比关系，可按经验公式选择电流。工作电流 $I = (35 \sim 50) \text{ 碳棒直径 } d$ ，矩形棒按大边一半为 d ，如规格为 $5\text{mm} \times 12\text{mm}$ 矩形碳棒，额定电流为 300A。

刨削电流在碳弧气刨操作中是一个很重要的工艺参数，对刨槽的尺寸影响很大。如果刨削电流较小，则电弧不稳，并且容易产生夹碳现象；但刨削电流过大时，刨槽宽度增大，刨槽深度也加深，碳棒烧损较快，甚至碳棒熔化，造成刨槽严重渗碳。只有电流选择适当时，才能获得表面光滑、宽度和深度均匀的刨槽。一般地，为了提高刨削速度，可按经验公式的上限作为刨削电流。

注意：在清除焊缝缺陷时，如果电流较大，刨削速度和刨槽深度都增大，不利于发现焊缝缺陷，所以在返修焊缝缺陷时，刨削电流应选取小一些。

3. 碳棒直径与板厚

碳棒直径的选择是根据被刨削的钢板厚度决定的。钢板越厚，散热越快。为了提高刨削速度，使被刨削金属熔化快，就要加大刨削电流，所以也要选择直径较大的碳棒。碳棒直径与板厚的关系见表 3-41。

表 3-41 碳棒直径与板厚的关系 (单位: mm)

钢板厚度	碳棒直径	钢板厚度	碳棒直径
3	—	8 ~ 12	6 ~ 7
4 ~ 6	4	> 10	7 ~ 10
6 ~ 8	5 ~ 6	> 15	10

碳棒直径的选择与刨槽宽度也有关系，碳棒直径越大，则刨槽越宽。碳棒直径一般比所要求的刨槽宽度小 $2 \sim 4\text{mm}$ 为佳。

4. 碳棒伸出长度

碳棒从碳弧气刨枪的电极到电弧端的长度为伸出长度。手工碳弧气刨时，伸出长度过大，电极离电弧就远，造成压缩空气吹到熔化金属处的风力不足，不能顺利地将熔渣吹掉，而且碳棒也容易烧损。但是伸出长度太短，会引起操作不便。操作时碳棒伸出长度以 $80 \sim 100\text{mm}$ 为宜，当烧损至 $20 \sim 30\text{mm}$ 后，应重新调整。

5. 碳棒倾角

刨削时碳棒与刨槽倾角以 45° 左右为宜。倾角大，刨槽深；倾角小，刨槽浅。操作时使碳棒中心线与接缝中心线重合。

6. 压缩空气压力

压缩空气的主要作用是吹走被熔化金属。压力高，刨削有力；压力过低，熔渣吹不掉。一般要求压缩空气的压力为 $0.4 \sim 0.6\text{MPa}$ ；低于 0.4MPa 不能正常工作。选用碳棒直径增大时，压缩空气压力和流量也增大。压缩空气所含水分和油分应清除。必要时加过滤装置，保证刨槽质量。

7. 电弧长度

当弧长较长时，电弧不稳定，甚至发生熄弧。一般弧长约 $1 \sim 2\text{mm}$ ，尽量采用短弧，这样不

仅使碳弧气刨能顺利进行，而且可以提高生产率和碳棒的利用率，但电弧太短，容易引起“夹碳”缺陷。在刨削过程中弧长应尽量保持不变，以保证刨槽尺寸均匀。

8. 刨削速度

刨削速度对刨槽尺寸、表面质量和刨削过程的稳定性有一定的影响，刨削速度与刨削电流大小及刨槽深度是相匹配的。刨削速度增加，刨槽宽度和刨槽深度减小。刨削速度太快，易造成碳棒与金属工件短路，电弧熄灭，形成刨槽夹碳缺陷。一般刨削速度为 $0.5 \sim 1.2 \text{ m/min}$ 较合适。

四、碳弧气刨的操作

- 1) 开始气刨前，要检查电缆及软管是否完好，电源极性是否正确，并根据碳棒直径选择并调好电流，调节好碳棒的伸出长度，调节好出风口，使风口对准刨槽。
- 2) 引弧。引弧前，应先打开碳弧气刨枪体上的压缩空气开关，引燃电弧，以免产生夹碳。碳弧气刨结束时，应先断弧，再关闭压缩空气开关。
- 3) 刨削。刨削时碳棒与刨槽倾角以 45° 左右为宜。倾角大，刨槽深；倾角小，刨槽浅。
- 4) 操作时，使碳棒中心线与接缝中心线重合。
- 5) 刨削速度应均匀。每小段刨槽衔接时，应在弧坑上引弧，防止触伤刨槽或产生严重凹痕。每次刨槽易浅，若要求的刨槽较深或要求焊缝背面铲焊根，需多次多层刨削，每次刨削，碳棒不应做前后往复移动、横向摆动，只能沿刨削方向作直线运动。
- 6) 进行焊缝缺陷返修时，使用的刨削电流要适当小一些。每次刨削的深度尽量浅一些，当看到缺陷露出来时，应当浅浅地再刨削一次，直到缺陷全部刨掉为止。

五、碳弧气刨常见缺陷及防止措施

碳弧气刨常见缺陷及防止措施见表 3-42。

表 3-42 碳弧气刨常见缺陷及防止措施

缺陷类型	产生原因	防止措施
夹碳	①刨削速度过快 ②碳棒送进速度过快	①减慢刨削速度 ②减慢碳棒送进速度
粘渣	压缩空气压力低	增加压缩空气压力
铜斑	①碳棒镀铜质量不好 ②导电嘴与工件瞬间短路	①更换碳棒 ②防止导电嘴与工件短路
刨槽尺寸和形状不规则	①刨削速度不匀 ②碳棒送进速度不匀 ③碳棒倾角不正确	①刨削速度应均匀 ②碳棒送进速度应均匀 ③调整碳棒倾角

第四章 特种设备常用材料的焊接

特种设备服役的环境多种多样，因此使用的材料也种类繁多。特种设备标准、规范中使用的材料类别主要有低碳钢、低合金钢（包括高强钢、调质钢、低温钢、耐热钢）、不锈钢、复合钢板、有色金属及其合金。

第一节 低碳钢的焊接

一、低碳钢概述

特种设备用碳钢材料，主要限于低碳钢，含碳量小于0.3%，该类钢常见的钢板牌号主要有Q235系列、Q245R，钢管牌号有10、20，管线用钢有L175、L215等。

低碳钢的含碳量低，合金元素如锰、硅含量少，不会因焊接而产生严重硬化组织。这种钢材本身塑韧性优良，焊成的接头塑性和冲击韧性也很好。焊接时，一般不需预热、控制层间温度和后热，焊后也不必采用热处理改善组织，即整个焊接过程中不需要采取特殊的工艺措施便可得到优质的焊接接头。

但在少数情况下，低碳钢的焊接性也会不好，焊接时出现困难。如采用旧冶炼方法生产的转炉钢，其钢中含氮及其他杂质多，钢的冷脆性、时效敏感性都大，焊接性能差；沸腾钢脱氧不完全，钢中氧含量高，硫磷等杂质分布很不均匀，使钢材焊接时冷脆敏感性和热裂纹倾向都大；或钢材化学成分虽合格，但恰逢成分都偏上限，焊接时也易出问题；对于大厚板或刚性较大的结构件焊接，在低温条件下焊接易产生裂纹；埋弧焊时，如果焊接热输入过大，会使焊接热影响区的粗晶区晶粒过于粗大，甚至会产生魏氏组织，从而使该区的冲击韧性和弯曲性能降低，导致冲击韧性和弯曲性能试验指标不合格。这些特殊情况只要认真分析原因，采取相应措施，问题还是容易解决的。

总之，低碳钢是最容易焊接的钢种，目前焊条电弧焊、埋弧焊、电渣焊、二氧化碳气保焊、钨极氩弧焊、气焊等都是焊接低碳钢的成熟方法。电渣焊焊后一般要求对焊接接头进行正火+回火处理，以改善焊缝及热影响区组织和提高韧性。

二、低碳钢的焊材选用

低碳钢焊材一般根据焊缝金属与母材同等强度的原则进行选择。各种焊材用于承压设备时，订货技术条件还需满足NB/T 47018。

（一）焊条选用

低碳钢焊条选用：一是根据焊缝金属强度与母材同等强度的原则选用焊条；二是根据接头形式、板厚和焊接位置等选择焊条。随着母材厚度的增大，焊接接头的冷却速度加快，促使焊缝金属硬化，接头内残余应力增大，因此当厚度增大时，在同等强度等级中应选用抗裂性能好的焊条，如低氢型焊条等。

焊接接头形式或焊接位置的不同，焊条的选用也有所不同。平板对接焊或角焊缝船形焊时，可参照板厚选用焊条；平角焊时，可根据焊脚尺寸来选用焊条，若焊脚的尺寸较大，应选用抗裂性能较好、焊条直径较大的焊条；立、横、仰焊焊接位置时，应选用全位置焊接适用性较好、焊

条直径较小的焊条；向下立焊时，应选用专用的向下立焊条；当背面不能进行焊接而又需打底焊时，最好选用专用的底层焊条。

低碳钢焊条标准有 GB/T 5117—2012《非合金钢及细晶粒钢焊条》中 E43 × × 系列的焊条，E43 × × 系列的焊条熔敷金属的抗拉强度国家标准是不小于 420MPa，NB/T 47018.2—2011 规定了上限是 540MPa，其强度等级与低碳钢相配。焊条的选用可参考本书第二章第二节及表 4-1。

表 4-1 常用钢号推荐选用的焊接材料

钢号	焊条电弧焊		埋弧焊		CO ₂ 气体保护焊	氩弧焊
	焊条型号	焊条牌号示例	焊剂型号	焊剂牌号及焊丝牌号示例	焊丝型号	焊丝牌号
10(管) 20(管)	E4303 E4316 E4315	J422 J426 J427	F4A0-H08A F4A2-H08MnA	HJ431-H08A HJ431-H08MnA	—	—
Q235B Q235C 20G Q245R, 20(锻)	E4316 E4315	J426 J427			—	—
09MnD	E5015G	W607	—	—	—	—
09MnNiD 09MnNiDR	E5015C1L	—	—	—	—	—
16Mn, Q345R	E5016	J506	F5A0-H10Mn2	HJ431-H10Mn2 HJ350-H10Mn2	ER49-1 ER50-6	—
	E5015	J507				
	E5003	J502	F5A2-H10Mn2	SJ101-H10Mn2		
16MnD 16MnDR	E5016-G E5015-G	J506RH J507RH	—	—	—	—
15MnNiDR	E5015-G	W607	—	—	—	—
Q370R	E5516-G	J556RH	—	—	—	—
	E5515-G	J557				
20MnMo	E5015	J507	F5A0-H10Mn2A	HJ431-H10Mn2A	—	—
	E5515-G	J557	F55A0-H08MnMoA	HJ350-H08MnMoA		
20MnMoD	E5016-G	J506RH	—	—	—	—
	E5015-G	J507RH	—	—	—	—
	E5516-G	J556RH				
13MnNiNoR 18MnMoNbR 20MnMoNb	E6016-D1	J606	F62A2-H08Mn2MoA	HJ350-H08Mn2MoA	—	—
	E6015-D1	J607	F62A2-H08Mn2MoVA	HJ350-H08Mn2MoVA		
				SJ101-H08Mn2MoA SJ101-H08Mn2MoVA		
07MnMoVR 08MnNiMoVD 07MnNiMoDR	E6015-G	J607RH	—	—	—	—
	E6015-G	J607RH	—	—	—	—
10Ni3MoVD	E6015-G	J607RH	—	—	—	—
12CrMo 12CrMoG	E5515-B1	R207	F48A0-H08CrMoA	HJ350-H08CrMoA SJ101-H08CrMoA	ER55-B2	H08CrMoA
15CrMo 15CrMoG 15CrMoR	E5515-B2	R307	F48P0-H08CrMoA	HJ350-H08CrMoA SJ101-H08CrMoA	ER55-B2	H08CrMoA

(续)

钢号	焊条电弧焊		埋弧焊		CO ₂ 气体保护焊	氩弧焊
	焊条型号	焊条牌号示例	焊剂型号	焊剂牌号及焊丝牌号示例	焊丝型号	焊丝牌号
14Cr1MoR 14Cr1Mo	E5515-B2	R307H	—	—	—	—
12Cr1MoVR 12Cr1MoVG	E5515-B2-V	R317	F48P0-H08CrMoVA	HJ350-H08CrMoVA	ER55-B2-MnV	H08CrMoVA
12Cr2Mo 12Cr2Mo1 12Cr2MoG 12Cr2Mo1R	E6015-B3	R407	—	—	—	—
1Cr5Mo	E5MoV-15	R507	—	—	—	—
06Cr19Ni10	E308-16 E308-15	A102 A107	F308-H08Cr21Ni10	SJ601-H08Cr21Ni10 HJ260-H08Cr21Ni10	—	H08Cr21Ni10
06Cr18Ni11Ti	E347-16 E347-15	A132 A137	F347-H08Cr20Ni10Nb	SJ641-H08Cr20Ni10Nb	—	H08Cr19Ni10Ti
06Cr17Ni12Mo2	E316-16 E316-15	A202 A207	F316-H06Cr19Ni12Mo2	SJ601-H06Cr19Ni12Mo2 HJ260-H06Cr19Ni12Mo2	—	H06Cr19Ni12Mo2
06Cr17Ni12Mo2Ti	E316L-16 E318-16	A022 A212	F316L-H03Cr19Ni12Mo2	SJ601-H03Cr19Ni12Mo2 HJ260-H03Cr19Ni12Mo2	—	H03Cr19Ni12Mo2
06Cr19Ni13Mo3	E317-16	A242	F317-H08Cr19Ni14Mo3	SJ601-H08Cr19Ni14Mo3 HJ260-H08Cr19Ni14Mo3	—	H08Cr19Ni14Mo3
022Cr19Ni10	E308L-16	A002	F308L-H03Cr21Ni10	SJ601-H03Cr21Ni10 HJ260-H03Cr21Ni10	—	H03Cr21Ni10
022Cr17Ni12Mo2	E316L-16	A022	F316L-H03Cr19Ni12Mo2	SJ601-H03Cr19Ni12Mo2	—	H03Cr19Ni12Mo2
022Cr19Ni13Mo3	E317L-16	—	—	—	—	H03Cr19Ni14Mo3
06Cr13	E410-16 E410-15	G202 G207	—	—	—	—

注：焊条型号是引用 GB/T 5117—1995、GB/T 5118—1995、GB/T 983—1995 中的型号，新旧标准的型号对比可参考第二章第二节。

(二) 埋弧焊焊丝和焊剂选用

低碳钢埋弧焊时，由于母材中合金成分不多，故既可采用焊丝渗合金，也可采用焊剂渗合金。通过焊剂向焊缝中过渡锰，有利于改善焊缝的抗热裂纹能力和抗气孔性能，通过焊丝向焊缝过渡锰时，有利于提高焊缝的低温韧性。

1. 焊丝

应选用与母材强度相匹配的焊丝，如 H08A 或 H08E 焊丝即可满足强度要求。但对于大厚度的对接焊缝或焊缝金属要经超过上临界转变温度焊后热处理时，其埋弧焊焊丝应考虑选择 H08MnA，甚至 H10Mn2 焊丝。

2. 焊剂

焊剂要和焊丝匹配选用，低碳钢埋弧焊一般选用实芯焊丝 H08A 或 H08E，它们与高锰高硅低氟的熔炼焊剂 HJ431 配合，应用较广。焊接时，焊剂中的 MnO 和 SiO₂ 在高温下与铁反应，锰与硅得以还原，过渡到焊接熔池。熔池冷却时，锰和硅既成为脱氧剂，使焊缝脱氧，同时又可有足够的数量留下来，成为合金剂，保证焊缝的力学性能。注意：如果选用的焊剂为无锰、低锰或中锰型，则焊丝应选用 H08MnA 或其他合金钢焊丝（如 H10Mn2），以保证焊缝力学性能。

近年来，大力推广使用烧结焊剂，如 SJ101，烧结焊剂的单价比熔炼焊剂高，但由于其密度轻，综合成本还是适宜的，且其工艺性能优良。

低碳钢埋弧焊用焊丝焊剂标准有 GB/T 5293—1999 《埋弧焊用碳钢焊丝和焊剂》，F4 × × -H × × × 系列抗拉强度是 415 ~ 550MPa，NB/T 47018.2—2011 中规定上限是 535MPa，总之其强度等级与低碳钢相配。焊丝的选用可参考本书第二章第二节及表 4-1。

(三) 气体保护焊焊丝及气体

首先要满足焊缝金属与母材同等强度，焊缝金属化学成分与母材的一致性则放在次要。当焊缝金属强度超过母材过多时，可能引起焊接接头塑性和韧性下降。

对于常用的 CO₂ 气体保护焊，一般用 H08MnSi，但由于在实际应用中较难采购到该焊丝，故大多数还使用 ER49-1（抗拉强度 ≥ 490MPa）。低碳钢氩弧焊时，经常选用 H10Mn2 或 H10MnSi 焊丝，使用 H08Mn2SiA 焊丝也可满足焊接要求，只是其焊缝金属强度较高，如选用 H08MnA 焊丝进行氩弧焊时，则易产生焊接气孔。

碳钢实芯焊丝标准有 GB/T 8110—2008 《气体保护电弧焊用碳钢、低合金钢焊丝》，GB/T 14957—1994 《熔化焊用钢丝》。药芯焊丝标准有 GB/T 10045—2001 《碳钢药芯焊丝》。保护气体按焊丝标准或焊丝厂家质保书提供的匹配气体选择，自保护药芯焊丝不需要保护气体。焊丝的选用具体可参考本书第二章第二节及表 4-1。

三、低碳钢焊接工艺要点

1) 由于低碳钢的塑性、冲击韧性都较好，含碳、锰、硅量又少，故焊接性能优良，一般情况下焊接时不需要预热及控制层间温度和后热，整个焊接过程不需采用特殊的工艺措施，焊后也不必进行热处理。

2) 在冬天或类似的气温条件下焊接低碳钢时，焊接接头冷却速度较快，从而裂纹倾向增大，特别是焊接大厚度或大刚度结构件更是如此。其中，多层焊接的第一道焊缝开裂倾向要比其他焊道大。为避免裂纹，可以采取以下措施：①焊前预热，焊接过程中保持层间温度；②采用低氢或超低氢焊接材料；③定位焊时加大电流，减慢焊速，适当增大定位焊焊缝截面和长度，必要时施加预热；④整条焊缝连续焊完，尽量避免中断；⑤不在坡口以外的母材上打弧，熄弧时，弧坑要填满；⑥卷板、矫正和装配时，尽可能不在低温下进行；⑦尽可能改善严寒情况下的劳动生产条件。

以上措施可单独采用或综合采用，预热温度的高低见表 4-2。

表 4-2 常用钢材推荐的最低预热温度（类别、组别号见表 2-6）

钢材类别	预热条件	最低预热温度/℃
Fe-1	①规定的抗拉强度下限值大于或等于 490MPa，且接头厚度大于 25mm	80
	②除①外的其他材料	15
Fe-2	—	—
Fe-3	①规定的抗拉强度下限值大于或等于 490MPa，或接头厚度大于 16mm	80
	②除①外的其他材料	15
Fe-4	①规定的抗拉强度下限值大于或等于 410MPa，或接头厚度大于 13mm	120
	②除①外的其他材料	15
Fe-5A Fe-5B-1	①规定的抗拉强度下限值大于或等于 410MPa	200
	②规定最低铬含量大于 6.0% 且接头厚度大于 13mm	
	③除①②外的其他材料	150
Fe-6	—	200
Fe-7	—	不预热
Fe-8	—	不预热
Fe-9B	—	150

注：钢材类别见本书第 2 章表 2-6。

3) 低碳钢埋弧焊时, 为保证其接头的冲击韧性和冷弯性能, 应适当控制热输入量, 不宜采用大范围焊接, 尽量使每道焊缝的厚度较薄。

4) 氩弧焊打底焊时, 背面不必进行氩气保护, 即可获得满意的焊接接头质量。

第二节 低合金高强度钢的焊接

一、低合金钢概述

低合金钢是在碳钢的基础上添加一定量的合金化元素而成, 其合金元素的质量分数一般不超过5%, 用以提高钢的强度并保证其具有一定的塑性和韧性, 或使钢具有某些特殊性能, 如耐低温、耐高温或耐腐蚀, 相应地称为低合金高强度钢、低温钢、珠光体耐热钢和耐蚀钢四种。本节所述的低合金仅指以提高强度为目的的低合金钢, 也有称之为低合金结构钢的。这种钢的主要特点是强度高、塑性和韧性较好。按钢的屈服强度级别及热处理状态, 这种钢可分为三类:

1. 热轧、正火钢

屈服强度在294~490MPa, 其使用状态大多是在热轧、控轧或正火状态, 属于非热处理强化钢, 应用广泛。

2. 低碳调质钢

这种钢的屈服强度在490~980MPa, 在调质状态下使用, 属于热处理强化钢。其特点是既有高的强度, 且塑性和韧性也较好, 可以直接在调质状态下焊接。近年来, 这种低碳调质钢应用日益广泛。

3. 中碳调质钢

屈服强度在880~1176MPa, 该类钢中的碳含量较高, 由于含碳量高, 强度高, 焊接性差, 故特种设备中基本上不使用。目前应用于特种设备的低合金高强钢钢号, 如钢板有Q345R、Q370R、18MnMoNbR、13MnNiMoR等, 焊接气瓶用低合金钢牌号有HP295、HP325、HP345等, 长输管道有L320、L360、L390等。

二、低合金高强度钢的焊接特点

(一) 热轧、控轧及正火钢的焊接特点

这类钢的含碳量一般控制在0.2%以下, 为了确保钢的强度和韧性, 主要通过添加适量的锰、钼等合金元素及钒、铌、钛、铝等微合金化元素, 达到晶粒细化、沉淀强化或通过控制终轧温度和变形量, 并配合加速冷却, 使钢材获得细小的铁素体组织, 从而使钢材具有良好的综合力学性能。由于它含有一定量的合金元素及微合金化元素, 使其焊接性能与碳钢有一定差别, 主要表现如下。

1. 焊接热影响区的组织与性能变化

低合金高强度钢焊接时, 热影响区粗晶区和不完全相变区是焊接接头的两个薄弱区。热轧钢焊接时, 如果焊接热输入过大, 粗晶区将因晶粒严重长大或出现魏氏组织等而降低韧性; 而热输入过小, 粗晶区组织中的马氏体比例增大而降低韧性。正火钢焊接时的影响更为显著。对于控轧钢来说则主要是高热输入焊接方法带来的焊接热影响区的软化问题。

2. 冷裂纹的敏感性

强度级别较低的热轧钢, 合金元素含量少, 碳当量比较低, 冷裂倾向不大, 只有在环境温度很低或钢板厚度大时应采取措施防止冷裂纹的产生。控轧钢同热轧钢基本相同。正火钢合金元素含量较高, 焊接热影响区的淬硬倾向有所增加, 随着强度级别及板厚的增加, 淬硬倾向和冷裂倾向

向随之增大，需要采取措施防止冷裂纹的产生。热影响区的最高硬度通常用来粗估评定钢产生焊接冷裂纹的敏感性，对于一般的低合金高强度钢而言，为了防止氢致冷裂纹的产生，通常规定其焊接热影响区的硬度应控制在 350HV 以下。

3. 再热裂纹敏感性

低合金钢焊接接头中的再热裂纹亦称消除应力裂纹，出现在焊后消除应力热处理过程中。再热裂纹属于沿晶断裂，一般都出现在热影响区的粗晶区，有时也在焊缝金属中出现。Mn-Mo-Nb 和 Mn-Mo-V 系低合金高强度钢对再热裂纹的产生有一定的敏感性。如容器用钢 18MnMoNbR、07MnMoVR 等。

4. 热裂纹的敏感性

与碳素钢相比，低合金高强度钢含碳、硫量较低，且含锰量较高，其热裂纹倾向小。但有时也会在焊缝中出现热裂纹。如厚壁压力容器焊接生产中，在多层多道埋弧焊焊缝的根部焊道或靠近坡口边缘的高稀释率焊道中易出现焊缝金属热裂纹。此时采用高锰焊接材料，减小热输入，减少熔合比，增大焊缝成形系数，有利于防止焊缝金属热裂纹。

（二）低碳低合金调质钢的焊接特点

这类钢虽然通过热处理获得较高的强度，但由于含碳量一般不超过 0.21%，故与中碳调质钢相比仍具有较好的焊接性能。其主要的焊接特点是：热影响区粗晶区有产生冷裂纹和韧性下降的倾向；热影响区有软化和脆化的倾向；淬硬倾向较大，粗晶区易形成低碳马氏体，但由于马氏体的自回火作用，冷裂倾向比中碳调质钢小，只要严格控制焊接时的氢源及选择合适的焊接方法和焊接参数，就可有效地避免冷裂纹的产生。对于热影响区中组织软化的问题，虽然随着焊接热输入的增加和提高预热温度而加重，但一般其软化区的断裂强度仍高于母材标准值的下限要求，所以这类钢的热影响区软化问题只要工艺得当，不致影响其接头的使用性能。这类钢的热裂倾向一般不大。

三、低合金高强度钢的焊材选用

根据钢材不同的强度级别选择与母材强度相当的焊缝金属是这类钢焊材选用的基本原则，同时还要根据产品的使用条件、产品结构和板材厚度等因素，综合考虑焊缝金属的韧性、塑性和焊接接头的抗裂性。只要焊缝强度不低于或略高于母材标准抗拉强度的下限值即可。若选择的焊材焊缝金属强度过高，将会导致接头的韧性、塑性及抗裂性降低，接头的冷弯性能不易合格。

由于这类钢都具有程度不同的冷裂纹倾向，所以在等强度原则的前提下，严格控制焊接材料中的氢含量是非常重要的。特别对于结构刚性较大的焊接件而言，应尽量选择低氢型药皮焊条。对于强度较高的低碳低合金调质钢焊接时，更是如此，甚至要选择超低氢型药皮焊条，并严格控制焊条的存放和使用。在日本一些规范中规定，高强度钢用焊条在空气中存放的时间不能超过 1h，否则要重新烘干。

低合金高强度钢的焊材用于承压设备时，订货技术条件还需符合 NB/T 47018—2011。

（一）低合金高强钢的焊条选用

1) 总的原则是根据产品对焊缝金属性能要求选用焊条。对高强钢一般应选用与母材强度相当的焊条，但必须综合考虑焊缝金属的韧性、塑性及强度。只要熔敷金属强度或焊接接头的强度不低于产品要求即可。若焊缝金属强度过高，将导致接头韧性、塑性及抗裂性的下降，从而降低焊接结构的使用安全性。

2) 考虑焊后加工工艺的影响。对焊后需经热处理、热卷的焊件，应考虑焊缝金属经受高温处理作用对其力学性能的影响，应保证焊缝金属经热处理后仍具有要求的强度、塑性和韧性等。如焊后需经正火处理或消除应力处理时，应选用焊缝金属合金成分较高的焊条；对焊后需冷弯、

冷冲压的焊件则应选用塑性好的焊条。

3) 对于厚度、拘束度及冷裂倾向大的焊接结构, 应选用低氢型或超低氢型焊条, 以提高抗裂性能, 降低预热温度, 简化焊接工艺。

4) 对某些低合金钢结构的重要产品, 为确保这些结构的使用安全性, 焊缝金属应具有良好低温冲击韧性和断裂韧性。如压力容器等承压设备, 应选用高冲击韧性的焊条。

低合金钢条标准有 GB/T 5117—2012《非合金钢及细晶粒钢焊条》, 该标准中按熔敷金属强度等级将焊条分成 E43、E50、E55、E57 四个强度级别, 按合金成分有管线钢、碳钼钢、锰钼钢、镍钢、镍钼钢、耐候钢(镍铬、铬铜、镍铬铜)等。焊接低合金钢时可以根据相应的强度等级及合金元素选择焊条, 具体见表 4-1。

(二) 低合金高强钢埋弧焊焊剂及焊丝的选用

焊接低合金高强钢时, 焊缝金属强度不宜过高, 一般满足母材强度的下限即可。因为焊缝金属强度过高, 往往会导致接头韧性、塑性和抗裂性能降低。由于低合金高强钢氢致裂纹敏感性较高, 因此, 选择焊接材料时应优先采用碱度适中的埋弧焊焊剂, 且要根据焊缝强度级别和韧性的要求, 分别采用不同合金系统的焊丝。强度在 490MPa 级的焊缝可采用 Mn-Mo 系焊丝, 如 H08MnMoA、H08Mn2MoA、H10MnSiMoTi 及 H10Mn2Mo 焊丝等; 强度在 690~780MPa 级的焊缝多采用 Mn-Cr-Mo 系、Mn-Ni-Mo 系或 Mn-Ni-Cr-Mo 系焊丝。当对焊缝韧性要求较高时, 往往采用含镍的焊丝成分系统, 如 H08CrNi2MoA 等焊丝。焊接 690MPa 级以下的钢种时, 既可采用熔炼焊剂, 也可采用烧结焊剂; 焊接 780MPa 级高强钢时, 为了得到高的韧性, 最好采用烧结焊剂。因为熔炼焊剂碱度较低, 为提高韧性, 就应提高焊剂碱度, 但这又会导致焊接工艺性能明显变坏, 故熔炼型焊剂的应用受到限制。

低合金钢焊丝焊剂标准有 GB/T 12470—2003《埋弧焊用低合金钢焊丝和焊剂》, 可根据不同的强度级别选用不同的焊丝焊剂组合, 具体见表 4-1。

(三) 低合金高强钢气体保护焊焊接材料的选用

选用焊丝时, 首先要满足焊缝金属与母材等强度及其他力学性能指标(如低温韧性等)符合规定的要求, 同时还应该考虑抗裂性及焊接生产效率。焊接热轧钢、正火钢及焊态下使用的低碳调质钢时, 首先考虑焊缝金属的力学性能与母材相接近或相当, 焊缝金属化学成分与母材一致性则放在次要。值得注意的是, 当焊缝金属强度超过母材过多时, 可能引起不良后果。因此, 焊缝金属强度等于或稍高于母材即可。按等强度要求选择焊丝等级时, 应考虑板厚、接头形式、坡口形状及焊接热输入等因素的影响, 这些因素对焊缝合金元素稀释和冷却速度, 即对焊缝金属的化学成分和接头的组织都有影响, 并因此影响到最终的焊缝金属力学性能。

需要指出的是, 对同一钢种的焊接, 当其板厚和坡口形式不同时, 为了保证焊缝力学性能要求, 选用的配套焊丝也不尽相同。对焊后作正火或消除应力处理时, 必须选择含较多合金元素的焊丝, 以便补偿焊后热处理带来的强度损失。

在焊丝合金系统选择上, 主要是在保证等强度的前提下, 重点考虑焊缝金属冲击韧性的要求。对于强度等级 490MPa 以下的焊丝, 只要保证焊缝含有 1.2%~1.6% 的锰, 而不再需要添加其他的合金元素就可满足强度要求。当要求低温下具有优良的冲击及断裂韧性时, 也可添加 0.5% 左右的镍或微量钛、硼; 对于强度等级 590~680MPa 的焊丝, 其焊缝通常有两个成分系统, 即 Mn-Mo 系和 Mn-Ni-Mo 系。对低温韧性要求较高的, 宜采用后者, 通常锰含量为 1.0%~1.4%, 钼含量约为 0.2%~0.4%; 根据对低温韧性的要求, 可加入不同数量的镍, 多在 0.5%~2.0% 之间, 也可再加入少量的铬, 以得到良好的综合性能; 对于强度等级在 780MPa 以上的焊丝, 其焊缝成分多为 Mn-Ni-Cr-Mo 系, 也有的是 Mn-Ni-Mo 系。在 Mn-Ni-Cr-Mo 系焊缝中, 锰和钼的含量可适当减少, 加入适量的镍(1.5%~2.5%)和铬(0.2%~0.6%)后, 既可改善

焊缝的低温韧性，又可起强化作用。

适用于低合金高强度钢的实芯焊丝标准有 GB/T 8110—2008《气体保护电弧焊用碳钢、低合金钢焊丝》，合金系统有锰-钼、锰-镍、锰-镍-钼或锰-镍-铬-钼系等。药芯焊丝标准有 GB/T 17493—2008《低合金钢药芯焊丝》，焊丝按药芯类型分为非金属粉型药芯焊丝和金属粉型药芯焊丝。非金属粉型药芯焊丝按化学成分分为钼钢、铬钼钢、镍钢、锰钼钢和其他低合金钢等五类；金属粉型药芯焊丝按化学成分分为铬钼钢、镍钢、锰钼钢和其他低合金钢等四类。保护气体按焊丝标准或焊丝厂家质保书提供的匹配气体选择，自保护药芯焊丝不需要保护气体。焊丝的选择见表 4-1。

四、低合金高强度钢的焊接工艺要点

1) 该类钢的焊接方法适应范围较广泛，其中焊条电弧焊、埋弧焊、钨极或熔化极气体保护焊为最常采用的焊接方法。电渣焊焊后需进行正火处理，成本增加且延缓生产周期。特别对于低碳调质钢而言，将会破坏其母材热影响区的调质状态，使其强度下降，韧性恶化，故不推荐采用。

2) 为了避免热影响区粗晶区的脆化，一般应注意不要使用过大的热输入量。对于含碳量偏下限的 16Mn 钢焊接时，焊接热输入没有严格的限制，因为这些钢焊接热影响区脆化倾向较小，但对于含钒、铌、钛微合金化元素的钢，则应选用较小的焊接热输入。

3) 对于碳及合金元素较高、屈服强度也较高的低合金高强度钢，如 18MnMoNb 钢，由于这种钢淬硬倾向较大，又要考虑其热影响区的过热倾向，则要选用较小热输入的同时，还要增加焊前预热、焊后及时后热等措施。

4) 焊接低碳低合金调质钢时，为了使热影响区保持良好的韧性，同时使焊缝金属既有较高的强度又有良好的韧性，这就要求焊缝金属得到针状铁素体组织，而这种组织只有在较快的冷却条件下才能获得。为此要严格控制焊接热输入，不推荐采用大直径的焊条和焊丝，且要采用多道多层的窄焊道焊，尽量不作横向摆动的运条方式。为防止冷裂纹的产生，焊前需要预热，但应严格控制预热温度。预热温度过高，会使热影响区冷却速度过于缓慢，从而在该区内产生马氏体和奥氏体的混合组织和粗大的贝氏体，使强度下降，韧性变坏。一般要求最高预热温度不得高于推荐的最低预热温度加 65℃。采用低温预热加后热的方法既可防止低碳调质钢产生冷裂纹，又可减轻或消除预热温度过高带来的不利影响。

5) 大多数低碳调质钢焊件是在焊态下使用，除非在下述条件下才进行焊后热处理：焊后或冷加工后钢的韧性过低；焊后需进行高精度加工，保证尺寸稳定性；焊接结构承受应力腐蚀。为了防止焊件脆断而进行的消除应力处理对这类钢来说是没有必要的；另外，保证材料的强度，消除应力处理的温度应该比钢材原来的回火温度低 30℃ 左右。

第三节 低合金耐热钢的焊接

一、低合金耐热钢概述

碳钢的强度性能随着工作温度的提高而急剧下降，其极限工作温度为 350℃ 左右。若在更高的温度下使用，必须在钢中加入一定的合金元素以提高高强钢的持久强度，合金元素总质量分数在 5% 以下的合金钢通称为低合金耐热钢。对特种设备用的低合金耐热钢，为改善其焊接性，碳的质量分数均控制在 0.2% 以下，甚至在 0.15% 以下，且这类钢通常以退火态或正火加回火状态交货。由于合金含量在 2.5% 以下的低合金耐热钢具有珠光体加铁素体组织，故也经常称为珠光

体耐热钢，如 15CrMoR、12Cr1MoV。合金含量在 3% ~ 5% 的低合金耐热钢供货状态为贝氏体加铁素体组织，故也称为贝氏体耐热钢，如 12Cr2Mo1R、12Cr2MoWVTiB。承压设备使用的低合金耐热钢主要是以加入铬和钼元素或辅以加入少量的钒、钛等元素来提高钢的蠕变强度和组织稳定性，所以也经常将它叫做 Cr-Mo 耐热钢或 Cr-Mo-V 系耐热钢。这类钢在耐高温的同时具有良好的抗氢腐蚀性能，为此，对于 Cr-Mo 或 Cr-Mo-V 系的低合金耐热钢亦经常称为抗氢钢。

此外，耐热钢还有中合金耐热钢（如 1Cr5Mo）和高合金耐热钢（如 08Cr13Al），由于特种设备中不多见，本节主要叙述低合金耐热钢。对于低合金耐热钢来说，为保证它在高温、高压和各种复杂介质下长期安全地运行，就要考虑它具有的基本性能要求，主要有：足够的常温和高温短时强度；高温持久强度和蠕变强度；耐蚀性、抗氢能力和抗氧化性；抗脆断能力；可加工性，包括冷、热成形性能、焊接性能等。

二、低合金耐热钢的焊接特点

按其合金（主要是碳）含量的不同，存在不同程度的淬硬倾向。耐热钢中大多含有铬、钼、钒、铌、钛等强碳化物形成元素，从而使接头的过热区具有不同程度的再热裂纹敏感性。某些耐热钢焊接接头，当有害的残余元素总量超过容许极限时会出现回火脆性或长时脆变。

三、低合金耐热钢的焊材选用

焊缝金属和母材等强度原则仍是低合金耐热钢焊材选用的基本原则，此时不但要考虑焊缝金属与母材的常温强度等强，同时也要使其高温强度不低于母材标准的下限要求。为使其焊缝金属具有与母材同样的使用性能，要求焊缝金属的铬、钼含量不得低于母材标准值的下限。为保证焊缝金属有同样小的回火脆性，应严格限制焊材中的氧、硅、磷、锑、锡、砷等微量元素的含量。为提高焊缝的抗裂性，应控制焊材中的含碳量低于母材的含碳量。但应注意：含碳量过低时，经长时间的焊后热处理会促使铁素体形成，从而导致韧性下降。因此，对于低合金耐热钢的焊缝金属含碳量最好控制在 0.08% ~ 0.12% 范围内，这样才会使焊缝金属具有较高的冲击韧性和与母材相当的高温蠕变强度。

低合金耐热钢焊材用于承压设备时，订货技术条件还必须符合 NB/T 47018—2011 的各项要求。

（一）低合金耐热钢焊条选择

低合金耐热钢焊条即铬钼钢焊条，执行国家标准 GB/T 5118—2012 《热强钢焊条》的规定。熔敷金属有四个强度级别及不同的铬钼含量，可根据母材相应选择，具体可参考第二章第二节及表 4-1。

（二）低合金耐热钢埋弧焊焊剂及焊丝的选择

选用低合金耐热钢焊接材料的基本原则是：焊缝金属的合金成分与力学性能与母材应基本一致，或达到产品技术条件提出的最低性能指标；若焊件焊后需经退火、正火等热处理或热加工成形时，则应选用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性能，焊接材料的含碳量应控制在略低于母材的含碳量。对 1.25Cr-Mo 和 2.25Cr-Mo 耐热钢来说，焊缝金属的最佳含碳量应接近 0.10%，此时焊缝金属具有较高的冲击韧性和与母材相当的蠕变强度。为了降低焊缝金属的回火脆性，应使用低含磷量的烧结焊剂，同时应严格限制焊丝中磷、硫、锡、锑及砷等有害杂质的含量，以满足厚壁容器对抗回火脆性的严格要求。

低合金耐热钢焊丝及焊剂执行 GB/T 12470—2003 《埋弧焊用低合金钢焊丝及焊剂》的规定，焊丝的选择具体可参考第二章第二节及表 4-1。

(三) 低合金耐热钢气体保护焊焊接材料的选择

Cr-Mo 耐热钢焊丝的选择：首先要保证焊缝的力学性能与母材尽量一致，焊缝金属合金成分不低于母材标准规定值下限。使焊缝在工作温度下，具有良好的抗回火脆性、抗氧化、抗气体介质腐蚀能力和一定的高温强度。其次，应考虑材料的焊接性能，避免选用杂质含量较高或强度较高的焊接材料。Cr-Mo 耐热钢焊缝的含碳量一般控制在 0.07% ~ 0.12% 之间，含碳量过低会降低焊缝的高温强度，含碳量太高又易出现焊缝结晶裂纹；选择超低碳的 Cr-Mo 耐热钢焊接材料（如 ER55-B2L）主要是为了提高焊缝抗裂性能。

Cr-Mo 耐热钢的焊接方法：目前较为普遍采用的还是焊条电弧焊和埋弧焊。但随着技术的进步，CO₂ 或 Ar + CO₂ 熔化极气体保护焊方法的应用正逐步扩大。一些重要的高温、高压耐热钢管的焊接，普遍采用钨极氩弧焊打底焊接，实心焊丝熔化极气体保护焊进行填充或焊条电弧焊填充（大直径厚壁管还将采用埋弧焊填充）。实心焊丝的熔化极气体保护焊，所用的保护气体是 Ar + CO₂ (2% ~ 5%)。保护气体的选用主要是考虑熔滴的过渡形式和电弧的稳定燃烧，以及保证熔透和良好的焊道成形。

耐热钢气体保护焊焊丝执行 GB/T 8110—2008 《气体保护焊用碳钢、低合金钢焊丝》的规定，焊丝的选用见本书第二章及表 4-1。

四、低合金耐热钢焊接工艺要点

(一) 焊前准备

对于一般的低合金耐热钢焊件，可以采用各种热切割法下料。为防止厚板热切割边缘的开裂，可以采用边缘预热，机械加工并用磁粉检测是否存在表面裂纹。热切割边缘或坡口面如直接进行焊接，焊前必须清理干净热切割熔渣和氧化皮。切割面缺口应用砂轮修磨圆滑过渡，机械加工的边缘或坡口面焊前应清除油迹等污物。对焊缝质量要求较高的焊件，焊前最好用丙酮擦净坡口表面。

焊接材料在使用前应做适当的预处理。光焊丝表面防锈油应清除干净，焊条或焊剂除妥善保管外，在使用前，应严格按工艺规程的规定进行烘干，这对于保持焊缝金属的低氢含量很重要。

(二) 预热、后热和焊后热处理

预热是防止此类钢焊接接头冷裂纹和再热裂纹的有效措施之一。预热温度主要依据钢的含碳量，接头的拘束度和焊缝金属的氢含量来决定，对低合金耐热钢预热温度和层间温度须低于马氏体转变结束点的温度，焊接结束后，奥氏体立即在层间温度下转变成马氏体，并在马氏体转变完全结束后再进行焊后热处理，从而使马氏体组织得到回火处理而形成韧性较高的回火马氏体。这种焊接工艺的关键是应将焊接结束到焊后热处理的间隔时间列入工艺控制范围。在焊接小型焊件时，如采用电加热器预热和焊后热处理是可以的。但对大型焊件，如使用火焰预热焊件且焊后需进炉热处理，则从焊接结束到装炉这段时间内，接头产生裂纹的危险性较大。为防止焊件在焊后热处理之前产生裂纹，需对焊接接头做后热处理。后热处理按钢种和壁厚而定，一般为 200 ~ 350°C，时间大于 0.5h，以防止氢致裂纹的产生。

大型焊件的局部预热应注意保证预热区的宽度大于所焊壁厚的 4 倍，至少不小于 150mm，且预热区内外表面均应达到规定的温度。在焊接过程中，应将预热温度基本保持一致，这往往是焊接成败的关键。

(三) 焊接热规范的选择

焊接热规范通常是指焊接热输入、预热温度和层间温度。焊接热规范直接影响接头的冷却条件。热规范越大，冷却速度越慢，接头各区的晶粒越粗大，强度和韧性越低。采用低的热规范，则可以提高接头的冷却速度，有利于细化接头各区的晶粒，改善显微组织而提高冲击韧性，但在

低合金耐热钢焊接中, 预热和保持层间温度是防止接头冷裂的条件之一, 故调整焊接热规范主要通过控制焊接热输入。大多数低合金耐热钢对焊接热输入在一定范围内的改变不敏感。为了防止冷裂纹的产生, 希望焊接时热输入量不要过小。只有当焊接热输入超过 30 kJ/cm , 预热和层间温度超过 250°C , Cr-Mo 钢焊缝金属的强度和冲击韧性才会明显下降。

(四) 焊后热处理的影响

Cr-Mo 耐热钢焊后热处理规范对于其强度, 特别是韧性有明显的影响, 通常用回火参数值来评价其影响程度, 回火参数值由热处理的温度和保温时间决定。对于每一种 Cr-Mo 耐热钢都有一个最佳的回火参数范围, 因此也对应有一个最佳的焊后热处理温度及时间。热处理的温度和时间见表 4-3。

表 4-3 常用钢材焊后消除应力热处理规范 (选自 NB/T 47015—2011)

钢质母材类别 ^①	Fe-1 ^②	Fe-2	Fe-3 ^②	Fe-4	Fe-5A ^③ Fe-5B-1 ^③ Fe-5C	Fe-5B-2 ^⑦	Fe-6 ^④	Fe-7 ^{④⑥}	Fe-8	Fe-9B ^②	Fe-10H	Fe-10I ^⑥
最低保温温度/°C	600	—	600	650	680	730(最高 保温温度 775°C)	760	730	⑤	600	⑤	730
在相 应焊后 热处理 厚度下, 最短保 温时间 /h	$\leq 50\text{mm}$	$\frac{\delta_{\text{PWHT}}}{25}$, 最少为 15min			$\leq 125\text{mm}$	$\frac{\delta_{\text{PWHT}}}{25}$, 最少为 15min	$\leq 25\text{mm}$, 最少为 15min;			$\frac{\delta_{\text{PWHT}}}{25}$, 最少为 15min		
	$> 50 \sim$ 125mm	$2 + \frac{\delta_{\text{PWHT}} - 50}{100}$			$> 125\text{mm}$	$5 + \frac{\delta_{\text{PWHT}} - 125}{100}$	$> 25\text{mm}$			$1 + \frac{\delta_{\text{PWHT}} - 25}{100}$		
	$> 125\text{mm}$	$5 + \frac{\delta_{\text{PWHT}} - 125}{100}$										$\frac{\delta_{\text{PWHT}}}{25}$

① 钢质母材类别按本书第二章表 2-6。

- ② Fe-1、Fe-3 类别的钢质母材, 当不能按表中规定的最低保温温度进行焊后消除应力热处理时, 可以降低保温温度, 延长保温时间。Fe-9B 类别的钢质母材保温温度不能超过 635°C , 当不能按表中规定的最低保温温度进行焊后消除应力热处理时, 可以降低保温温度 (最多降低 55°C), 延长保温时间。
- ③ Fe-5A 类、Fe-5B-1 组的钢质母材, 当不能按表中规定的最低保温温度进行消除应力热处理时, 最低保温温度可降低 30°C , 降低温度后需要延长保温时间。

- a. 当 $\delta_{\text{PWHT}} \leq 50$ 时, 为 4h 与 $\left(4 \times \frac{\delta_{\text{PWHT}}}{25}\right)\text{h}$ 中的较大者;
- b. 当 $\delta_{\text{PWHT}} > 50\text{mm}$ 时, 为一般情况下最短保温时间的 4 倍。
- ④ Fe-6、Fe-7 中的 06Cr13, 06Cr13Al 型不锈钢, 当同时具备下列条件时, 无需进行焊后消除应力热处理:
- 钢材中碳含量不大于 0.08% (质量分数)。
 - 用能产生铬镍奥氏体熔敷金属或非空气淬硬的镍-铬-铁熔敷金属的焊条施焊。
 - 焊接接头母材厚度不大于 10mm , 或母材厚度为 $10 \sim 38\text{mm}$, 且保持 230°C 预热温度。
 - 焊接接头 100% 射线透照检测。
- ⑤ Fe-8、Fe-10H 类钢材母材焊接接头既不要求, 也不禁止消除应力热处理。
- ⑥ 焊件温度高于或等于 650°C 时, 冷却速度不应大于 $55^\circ\text{C}/\text{h}$, 低于 650°C 后迅速冷却, 冷却速度应足以防止脆化。
- ⑦ Fe-5B-2 类焊后消除应力热处理保温温度与焊缝金属成分密切相关, 表中的数值还需要调整。

第四节 低温钢的焊接

一、低温钢概述

GB 150—2011 规定, 凡设计温度低于 -20°C 的压力容器, 均属于低温容器。而低温用钢就

是适用于低温下工作的容器、管道和钢结构的钢种。

钢材在低温条件下工作时具有冷脆性，衡量低温钢性能的主要指标是低温韧性。钢的成分和组织对低温性能都有显著影响，磷、碳、硅使钢的脆性转变温度提高，而锰和镍会使脆性转变温度降低，对低温韧性有利。钢中含镍量增加时，可以使其在更低的温度下保持相当高的冲击韧性。一般来说，具有面心立方的金属，其韧性随温度的变化极小，奥氏体不锈钢就是如此。此外，钢的晶粒越细，低温冲击韧性越好。

低温用钢就是通过严格控制钢材中的碳、硫、磷含量或加入一些钒、铝、钛和镍等合金元素，达到固溶强化、晶粒细化的目的，并通过正火加回火处理来细化晶粒，使组织均匀化或使钢具有面心立方晶格，从而使钢在低温下具有足够的低温韧性及抵抗脆性破坏的能力，以保证设备在低温条件下能安全运行。

低温钢按组织可分为铁素体类低温钢和奥氏体类低温钢。一般碳钢、碳锰钢均属于前一类，如16MnDR。而奥氏体不锈钢属于后一类。按含镍量可分为不含镍低温钢和含镍低温钢两大类。不含镍钢属于铁素体类低温钢，一般是通过合金元素的固溶强化、晶粒细化，并通过正火或正火加回火处理细化晶粒、均匀组织而获得良好的低温韧性。含镍钢中当含镍量较低时，属于铁素体类低温钢，当含镍量增高到18-8型不锈钢的成分时，则为奥氏体类低温钢。对于铁素体类含镍低温钢，按其含镍量不同有0.5Ni钢、1.5Ni钢、2.5Ni钢、3.5Ni钢、5Ni钢和9Ni钢。

二、低温钢的焊接特点

对不含镍的低温钢而言，由于其含碳量低，其他合金元素含量也较少，故其淬硬倾向和冷裂倾向都小，如07MnCrMoVR钢的焊接冷裂纹敏感性指数就较低，因而具有良好的焊接性能，一般可不预热或用较低的预热温度来进行焊接，当板材较厚或低温环境下焊接时，才需要一定的预热温度。所以，这一类钢的焊接时，只要选择相匹配的焊接材料和合适的工艺，保证焊缝及热影响区的低温韧性是可以的。

含镍低温钢由于添加了镍，虽然对冷裂纹倾向影响不显著，但却增大了热裂纹的倾向，必须严格控制钢及焊材中的碳、硫、磷含量，采用合适的焊接规范，使焊缝有较大的焊缝成形系数，即避免形成窄而深的焊道成形截面，就可以有效地避免热裂纹的产生。

总之，保证焊缝和粗晶区的低温韧性是低温用钢焊接时的技术关键。

三、低温钢焊接材料的选用

(一) 焊接低温钢的焊条选用

焊件的工作温度不同，设计所用的材料也不相同。焊条的选用首先是根据焊件工作温度要求来进行的，焊接时需选用温度等级相适应的焊条。焊接含镍低合金低温钢所用焊条的含镍量应与母材相当或稍高，但在焊态下的焊缝，其含镍量大于2.5%时，焊缝组织中出现大量粗大的板条贝氏体或马氏体，且韧性较低；只有焊后经调质处理，焊缝的韧性才能随其含镍量的增加而提高。

低温钢焊条执行GB/T 5117—2012《非合金钢及细晶粒钢焊条》的规定，焊条的选择具体可参考本书第二章第二节及表4-1。

(二) 低温钢埋弧焊焊剂及焊丝的选用

低温钢埋弧焊时，主要考虑如何保证焊缝金属的韧性。首先，焊丝成分要控制得当，碳、硅的含量要低些，硫、磷等有害杂质含量要尽可能降低。可选用中性熔炼焊剂配合Mn-Mo系焊丝或碱性熔炼焊剂配合含镍焊丝。目前在大多数情况下，通常选用烧结焊剂配合Mn-Mo或含镍焊丝。根据使用温度的不同，焊丝中可加入不同数量的镍。使用温度越低，加入的镍越多。镍可能

增大热裂纹倾向，应严格控制钢材及焊缝金属中的碳、硫、磷的含量。为了不使焊缝强度过高而影响低温韧性，一般当焊丝含镍量低时，锰量可适当高些；当含镍量高时，锰量要适当降低。为了消除回火脆性，还应加入0.3%左右的钼。当采用碳-锰系焊丝时，需通过烧结焊剂向焊缝金属过渡合金元素（如钛、硼、镍等），以确保焊缝金属具有良好的低温韧性。

低温钢焊丝及焊剂执行GB/T 12470—2003《埋弧焊用低合金钢焊丝及焊剂》的规定，焊丝的选择具体可参考本书第二章第二节及表4-1。

（三）低温钢气体保护焊焊丝的选用

在焊丝的选配上，无论是实心焊丝还是药芯焊丝，大都采用与母材含镍量相当的镍合金化的低合金钢焊丝，并尽量降低焊丝中碳、硫、磷及杂质含量。近年来，开发了向焊缝中添加微量钛和硼的焊丝，充分利用钛和硼细化晶粒的效果，可以在不受后续焊道影响的条件下，保证焊缝结晶的本质细晶粒化，从而得到稳定的高韧性焊缝。

四、低温钢焊接工艺要点

（一）采用小的焊接热输入

为避免焊缝及热影响区形成粗大组织而使其冲击韧性严重降低，焊接时必须采用较小的焊接热输入量。具体要求是，焊接电流不宜过大，焊条电弧焊焊条尽量不摆动，采用窄焊道、多层次焊和快速多道焊以减小焊道过热，并通过多层焊的重复加热作用细化晶粒。多层次焊时要严格控制层间温度。焊条焊时热输入控制在20kJ/cm以内，气体保护焊时控制在25 kJ/cm以内，埋弧焊应控制在28~45kJ/cm。

（二）选择合适的与钢材相匹配的焊材

选择合适的与钢材相匹配的焊材，以保证焊缝也具有较高的低温冲击韧性。如焊接含镍的低温钢时，所选择的焊材含镍量应与母材相当或稍高一些。

（三）选择适当的焊接速度

对含镍低温钢进行埋弧焊时，不能通过提高焊接速度来获得较低的焊接热输入。这是因为当焊接速度较高时，由于熔池形成典型的雨滴状，且焊道成形变成窄而深的截面形状，此时就易产生焊道中心的热裂纹。所以，这类钢焊接时，焊接速度要特别选择适当，不可过小，也不可过大。

（四）避免咬边缺陷

低温钢焊接时应注意避免弧坑、未焊透及咬边等缺陷，这些缺陷在低温条件下，有应力作用时，都会造成较大的应力集中而引起脆性破坏。所以对于低温压力容器而言，不允许有任何尺寸的咬边缺陷存在。

第五节 不锈钢的焊接

一、不锈钢概述

不锈钢是指在钢中加入一定量的铬元素后，使钢处于钝化状态，具有不生锈的特性。为此，其铬含量必须在12%以上。除了铬外，不锈钢还需加入能使钢钝化的镍、钼等元素。通常所说的不锈钢实际是不锈钢和耐酸钢的总称。不锈钢一般泛指在大气、水等弱腐蚀介质中耐蚀的钢，耐酸钢则是指在酸、碱、盐等强腐蚀介质中耐蚀的钢。两者在化学成分上的共同点是均具有一定的铬含量，但由于合金化的差异，不锈钢不一定耐酸，而耐酸钢一般具有良好的不锈性能，习惯

上一般将不锈钢和耐酸钢简称为不锈钢。

不锈钢按照组织不同可分为五类，即奥氏体型不锈钢、铁素体型不锈钢、马氏体型不锈钢、奥氏体-铁素体（双相）型不锈钢和沉淀硬化型不锈钢。

二、不锈钢的焊接特点

（一）奥氏体不锈钢的焊接特点

与其他不锈钢相比，奥氏体不锈钢的焊接性相对较好。在焊接过程中，对于不同类型的奥氏体不锈钢，因焊接材料与工艺的不同，焊接接头各部位可能出现下述一种或多种问题。

1. 焊接接头中的热裂纹

奥氏体不锈钢由于其热传导率小，线膨胀系数大，因此在焊接过程中，焊接接头部位的高温停留时间较长，焊缝易形成粗大的柱状结晶组织，在凝固结晶过程中，若硫、磷、锡、锑、铌等杂质元素含量较高，就在晶间形成低熔点共晶，在焊接接头承受较高的拉应力时，易在焊缝中形成凝固裂纹，在热影响区会形成液化裂纹，这都属于焊接热裂纹。

防止热裂纹最有效的途径是：降低钢及焊接材料中易产生低熔点共晶的杂质元素，以及使铬-镍奥氏体不锈钢中含有4%~12%的铁素体组织。

2. 焊接接头的耐蚀性

（1）晶间腐蚀 根据贫铬理论，在晶间上析出碳化铬，造成晶界贫铬是产生晶间腐蚀的主要原因。为此，选择超低碳焊接材料或含有铌、钛等稳定化元素的焊接材料是防止晶间腐蚀的主要措施。

（2）应力腐蚀 应力腐蚀开裂通常表现为无塑性的脆性破坏，危害严重。造成奥氏体不锈钢应力腐蚀开裂的主要原因是焊接残余应力，而焊接接头的组织变化或应力集中的存在，以及局部腐蚀介质浓缩也是影响应力腐蚀开裂的原因。

3. 焊接接头的脆化

（1）焊缝金属的低温脆化 在低温使用时，焊缝金属的塑韧性是关键性能，此时焊缝组织通常是希望获得单一的奥氏体组织。如有的奥氏体不锈钢焊接结构需要在-196℃低温时，焊缝金属因为存在较多的铁素体组织，则低温冲击就有可能不合格。这时需要调整焊缝金属的化学成分，减少铁素体组织，在不出现热裂纹的前提下得到尽可能多的奥氏体组织。

（2）焊接接头的 σ 相脆化 σ 相是一种脆硬的金属间化合物，主要析出于柱状晶体的晶界。 γ 相和 δ 相都可能发生 σ 相转变。如对于Cr25Ni20型焊缝在800~900℃加热时，就会发生强烈的 γ - σ 转变。对于Cr-Ni型奥氏体不锈钢，特别是Cr-Ni-Mo型不锈钢，易发生 δ - σ 转变，这主要是由于铬、钼元素具有明显的 σ 化作用。当焊缝中的 δ 铁素体含量超过12%时，此转变非常显著，且造成焊缝金属的明显脆化。

（二）马氏体不锈钢的焊接特点

Cr13型马氏体不锈钢焊缝和热影响区的淬硬倾向特别大，焊接接头在空冷条件下便可得到硬脆的马氏体，在焊接拘束应力和扩散氢的作用下，很容易出现焊接冷裂纹。当冷却速度较小时，近缝区及焊缝金属会形成粗大铁素体及析出碳化物，使接头的塑、韧性显著降低。

低碳及超级马氏体不锈钢的焊缝和热影响区冷却后，虽然全部转变为低碳马氏体，但没有明显的淬硬现象，具有良好的焊接性能。

（三）铁素体不锈钢的焊接特点

在焊接高温作用下，加热温度达到1000℃以上的热影响区特别是近缝区的晶粒会急剧长大，焊后即使快速冷却，也无法避免因晶粒粗大而引起的韧性急剧下降及较高的晶间腐蚀倾向。

铁素体钢本身含铬量较高，有害元素碳、氮、氧等也较多，脆性转变温度较高，缺口敏感性

较强。因此，焊后脆化现象较为严重。

400~600℃长时间加热缓冷时，会出现475℃脆化，使常温韧性严重下降。在550~820℃长时间加热后，则容易从铁素体中析出 σ 相，也明显降低其塑、韧性。

三、不锈钢焊接材料的选用

(一) 不锈钢焊条选用

不锈钢的应用通常是用其所特有的耐热、耐蚀的特性，因此焊条应根据设计要求来选用。若选用不当会降低接头强度，增大晶间腐蚀倾向，缩短产品的使用寿命。

对高温工作的耐热不锈钢，焊条的选用主要应满足焊缝金属的抗热裂纹性能和接头的高温性能。如对于 $\text{Cr}/\text{Ni} \geq 1$ 的奥氏体耐热钢，一般应选用奥氏体+铁素体不锈钢焊条（铁素体约为2%~5%）；对于 $\text{Cr}/\text{Ni} < 1$ 的稳定型奥氏体耐热钢，一般应选用在保证焊缝金属具有与母材化学成分大致相近的同时，增加焊缝金属中的钼、钨和锰等元素的含量，以保证焊缝金属热强度的同时可提高其抗裂性能。

焊接在各种腐蚀介质中工作的耐蚀不锈钢，应按介质种类和工作温度来选用焊条。对于工作温度在300℃以下且有较强腐蚀性介质的，需选用含有钛或铌稳定性元素或超低碳的不锈钢焊条。对于常温下工作腐蚀性弱或仅为避免锈蚀的设备等，从降低生产成本出发可选用不含钛、铌的不锈钢焊条。

一般来说，不锈钢焊条选用的基本原则是参照母材的牌号，选用不低于母材成分要求的焊条。由于含碳量对不锈钢的耐腐蚀性能影响很大，因此一般选用焊条熔敷金属含碳量不高于母材的不锈钢焊条。为了满足焊缝金属的某些性能，也可以选择超合金化的焊接材料。

焊条药皮类型的选择，由于奥氏体不锈钢焊缝本身含有一定量的铁素体，并具有良好的塑性和韧性，从焊缝金属的抗裂性来比较，碱性和酸性焊条的差别不像结构钢焊条那样显著。因此在实际工作中，通常从焊接工艺性能方面考虑较多，大都采用钛型、钛钙型药皮的不锈钢焊条；只有在结构刚性很大或焊缝金属抗裂性较差（如某些马氏体不锈钢、纯奥氏体铬镍不锈钢）时，才考虑选用碱性药皮的不锈钢焊条。

不锈钢焊条标准有GB/T 983—2012《不锈钢焊条》，焊条的选用具体可参考第二章第二节及表4-1。

(二) 不锈钢埋弧焊焊剂及焊丝的选用

不锈钢埋弧焊主要选用氧化性弱的中性或碱性焊剂，熔炼型焊剂有无锰中硅中氟的HJ150、HJ151、HJ151Nb和低锰低硅高氟的HJ172及低锰高硅中氟的HJ260，其中HJ151Nb主要解决含铌不锈钢的脱渣难问题。烧结型焊剂有SJ601、SJ608及SJ701，而SJ701特别适合于含钛不锈钢的焊接，且焊接时脱渣容易。HJ260焊剂使用直流正接，脱渣容易，但铬烧损较多。SJ601焊剂使用直流正接，工艺性能良好，几乎不增碳，铬烧损少，特别适用于低碳与超低碳不锈钢的焊接。

1. 奥氏体不锈钢焊接时焊丝的选用

奥氏体不锈钢焊丝的选择原则是在无裂纹的前提下，保证焊缝金属的耐蚀性能及力学性能与母材基本相当，或高于母材，一般要求其合金成分大致与母材成分匹配。对于耐蚀的奥氏体不锈钢，一般希望含一定量的铁素体，这样既能保证良好的抗裂性能，又能有很好的抗腐蚀性能。但在某些特殊介质中（如尿素设备）的焊缝金属是不允许有铁素体存在的，否则就会降低其耐蚀性。对耐热用奥氏体钢，应考虑对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，焊缝金属内铁素体含量不应超过5%。可以根据图4-1舍夫勒组织图，按焊缝金属中的铬当量和镍当量估计出相应的铁素体含量。

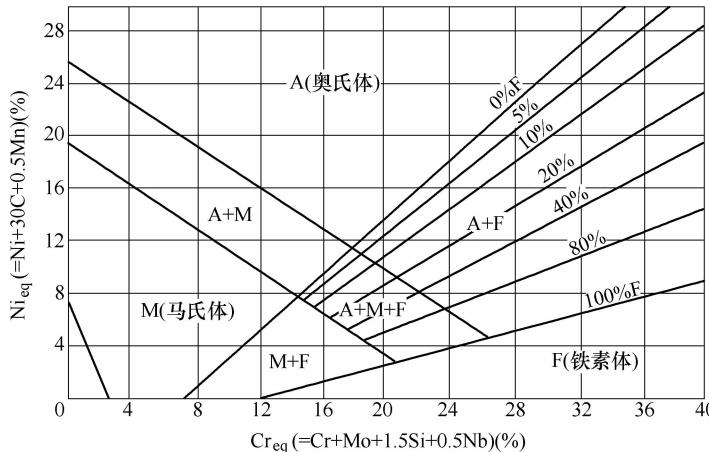


图 4-1 舍夫勒组织图

2. 马氏体不锈钢焊接时焊丝的选用

马氏体不锈钢是可以利用热处理来调整性能的，因此为了保证使用性能的要求，特别是耐热用马氏体钢，焊缝成分应尽量接近母材的成分。

当焊缝成分同母材成分接近时，焊接过程中焊缝和热影响区会同时硬化变脆。为了防止冷裂，母材往往需要进行预热，厚度 3mm 以上的构件就要考虑预热，并且焊后要进行热处理，以提高接头性能。焊接 Cr13 型马氏体钢用的焊丝，应严格控制有害杂质硫、磷及硅等，选用含有钛、氮、铌或铝等元素的焊丝，以细化晶粒并降低淬硬性。

对于低碳以及超级马氏体不锈钢，由于其良好的焊接性，一般采用同材质焊接材料，通常不需要预热或仅需低温预热，但需进行焊后热处理，以保证焊接接头的塑、韧性。

3. 铁素体不锈钢焊接时焊丝的选用

铁素体不锈钢在加热和冷却过程中不发生任何相变。因此，焊后即使快速冷却也不会产生硬化组织。选择铁素体不锈钢焊丝时，应采用含有害元素（如碳、氮、硫、磷等）低的焊丝，以便改善焊接性能和焊缝韧性。Cr16~Cr18 型铁素体不锈钢焊丝成分可与母材类别相同。

焊丝执行 GB/T 17854—1999《埋弧焊用不锈钢焊丝和焊剂》标准的规定，焊丝焊剂的选择具体可参考第二章第二节及表 4-1。

(三) 不锈钢气体保护焊焊丝的选用

各种组织的不锈钢气体保护焊时，焊丝的选用原则与埋弧焊焊丝相同。焊接方法中以 TIG 焊、MIG（含 MAG）焊应用较广，奥氏体不锈钢也可采用药芯焊丝的 CO₂ 气体保护焊。TIG 焊一般采用 Ar 或 Ar + He 进行保护，不熔化极多采用铈钨极。MIG 焊可采用 Ar 或 Ar + CO₂ 或 Ar + O₂ 等混合气体进行保护（也称 MAG 焊）。

不锈钢气体保护焊时的实芯焊丝执行 YB/T 5092—2005《焊接用不锈钢丝》标准的规定，药芯焊丝执行 GB/T 17853—1999《不锈钢药芯焊丝》标准的规定，具体的选择可参考第二章第二节及表 4-1。

四、不锈钢的焊接工艺要点

(一) 奥氏体不锈钢的焊接工艺要点

1) 几乎所有的熔焊方法都适用于奥氏体不锈钢的焊接。但对于组织性能不同的奥氏体不锈钢，应根据具体的焊接性与接头使用性能的要求，合理选择最佳的焊接方法，其中焊条电弧焊、钨极氩弧焊、熔化极惰性气体保护焊、埋弧焊是较为经济的焊接方法。焊条电弧焊适用于各种位

置和各种板厚，埋弧焊适用于中厚板的平焊，氩弧焊适合于薄板与薄壁管件的焊接。熔化极富氩气体保护焊是高效优质的焊接方法。

2) 奥氏体不锈钢一般不需要焊前预热和后热，也不需要焊后热处理。但为了防止焊接裂纹的发生和热影响区的晶粒长大及碳化物析出，保证焊接接头的塑韧性与耐蚀性，应控制较低的层间温度。对于纯奥氏体与超级奥氏体不锈钢，由于热裂纹敏感性较大，应严格控制热输入，防止焊缝晶粒严重长大与焊接热裂纹的发生。

3) 一般不采用大热输入量进行焊接。焊条电弧焊时，宜采用小直径焊条快速多道焊，控制层间温度和减少热变形，对于要求高的焊缝，甚至采用浇冷水方法以加速冷却。对于纯奥氏体与超级奥氏体不锈钢，由于热裂纹敏感性较大，更应严格控制焊接热输入，防止焊缝晶粒长大与焊接热裂纹的发生。

4) 过大的拘束应力也可能导致焊接热裂纹，因此焊前装配要减少拘束应力。在高应力环境下焊接出现热裂纹时，返修除了需采取控制熔池过热的措施外，还可以用榔头捶击焊接区域及层间以松弛焊接应力，防止再次出现热裂纹。

(二) 马氏体不锈钢的焊接工艺要点

对于Cr13型马氏体钢，当采用同材质焊条进行焊接时，为了降低冷裂纹敏感性，确保焊接接头塑韧性，应选用低氢焊条并同时采取下列措施：

1) 预热：预热温度随钢材含碳量的增加而提高，一般在100~300℃范围内。

2) 后热：对于含碳量较高或拘束度大的焊接接头，焊后采取后热措施，以防止焊接氢致裂纹。

3) 焊后热处理：为改善焊接接头塑韧性和耐蚀性，焊后热处理温度一般为650~750℃，保温时间按1h/25mm计。

对于超级及低碳马氏体不锈钢，一般可不需采取预热措施，当拘束度大或焊缝中氢含量较高时，采取预热及后热措施，预热温度一般为100~150℃，焊后热处理温度为590~620℃。

对于含碳量较高的马氏体不锈钢，或在焊前预热、焊后热处理难以实施，以及接头拘束度较大的情况下，工程中也用奥氏体型焊接材料，以提高焊接接头的塑性、韧性，防止产生裂纹。但此时焊缝金属为奥氏体组织或以奥氏体为主的组织时，与母材强度相比实为低强匹配，而且焊缝金属与母材在化学成分、金相组织、热物理性能、力学性能方面差别很大，且焊接残余应力不可避免，容易引发应力腐蚀破坏或高温蠕变破坏。

(三) 铁素体不锈钢的焊接工艺要点

常用焊接方法都可以适用于普通铁素体不锈钢的焊接，当使用同材质焊接材料时，需采取下列措施：

1) 预热：一般在100~150℃左右，当含铬量提高时，预热温度也相应提高。

2) 采用较小的热输入，焊接时焊枪（焊炬）不摆动，不连续焊接，控制层间温度在150℃以上，但不能过高。

3) 焊后热处理温度为750~850℃，并应快速冷却，防止产生 σ 相和475℃脆化。

当采用奥氏体型焊材焊接时，可以免除预热及焊后热处理，有利于提高焊接接头的塑韧性。但对于不含稳定化元素的铁素体不锈钢来讲，热影响区的敏化难以消除。采用铬含量基本与母材相当的奥氏体+铁素体双相钢焊接材料，焊接接头不仅具有较高的强度及塑韧性，焊缝金属还具有较高的耐腐蚀性能。

五、双相不锈钢的焊接

(一) 奥氏体和铁素体双相不锈钢的焊接特点

1. Cr18型超低碳双相不锈钢（如022Cr19Ni5Mo3Si2N）

具有良好的焊接性，其焊接冷裂纹及焊接热裂纹敏感性都比较小，焊接接头的脆化倾向也较铁素体不锈钢低，因此焊前不需要预热，焊后不需热处理。当母材的相比例约在 50% 时，只要合理选择焊接材料，控制焊接热输入（通常不大于 15kJ/cm）和层间温度不大于 150℃，就能防止焊接热影响区出现晶粒粗大的单相铁素体组织及焊缝金属的脆化，保证焊接接头的力学性能、耐晶间腐蚀性能及抗应力腐蚀性能。

Cr18 型双相钢的焊接方法有钨极氩弧焊、焊条电弧焊及埋弧焊，薄板、薄壁管及管道的封底焊宜采用钨极氩弧焊。对于中厚板及管道封底焊以后的焊接，可选用焊条电弧焊以及埋弧焊。焊接材料选用与母材匹配的 E2209（Cr22-Ni9-Mo3）型，也可选用含 Mo 的奥氏体型不锈钢焊接材料，缺点是焊缝的屈服强度偏低。

2. Cr22 型双相不锈钢（如 022Cr22Ni5Mo3N）

具有良好的焊接性，其焊接冷裂纹及焊接热裂纹敏感性都比较小，焊前不需要预热，焊后不需热处理。只要合理选择焊接材料，控制焊接热输入（通常为 10~15kJ/cm）和层间温度不大于 150℃，就可保证焊接接头具有良好的综合性能。

Cr22 型双相钢的焊接方法有钨极氩弧焊、焊条电弧焊及埋弧焊。优先选用的焊接材料与 Cr18 型双相不锈钢相同，即选用与母材匹配的 E2209（Cr22-Ni9-Mo3）型，也可选用 Cr 含量较高，而且含 Mo 的奥氏体型不锈钢焊接材料（如 E309MoL 型）；缺点是焊缝的屈服强度偏低。

3. Cr25 型双相不锈钢（如 022Cr25Ni6Mo2N、022Cr25Ni7Mo3WCuN）

Cr25 型双相不锈钢具有良好的焊接性，焊前不预热，焊后不需要热处理。但由于其合金含量较高，在焊接热影响区及多层多道焊的焊缝金属易析出 σ 相及其他各种金属间化合物，造成接头抗腐蚀性能及塑韧性降低，因此焊接此类钢时要严格控制焊接热输入。另外，冷却速度不能太快，否则将抑制奥氏体的转变。一般控制在 10~15kJ/cm，层间温度不高于 150℃；基本原则是中薄板采用中小输入，中厚板采用较大的热输入。焊接材料优先选用 E2553（Cr25-Ni9-Mo4）型超低碳双相钢焊接材料。当对焊接接头有更高抗腐蚀性能要求时，可采用不含 Nb 的高 Mo 型镍基焊接材料，如 ENi6024（NiCr26Mo14），此时母材与焊缝金属膨胀系数基本相同。

（二）双相不锈钢焊接工艺要点

（1）双相钢焊接方法 首选钨极氩弧焊，其次是焊条电弧焊，采用埋弧焊时应严格控制热输入和层间温度，且应避免大的稀释率。

（2）双相不锈钢的焊接材料 其特点是焊缝组织为奥氏体占优的双相组织，主要耐蚀元素（铬、镍等）含量与母材相当，从而保证与母材相当的耐蚀性。为了保证焊缝中奥氏体的含量，通常是提高镍和氮的含量，也就是提高约 2%~4% 的镍当量。在双相不锈钢母材中，一般都有一定量的氮含量，在焊接材料中也希望有一定的含氮量，但一般不宜太高，否则会产生气孔。这样镍含量较高就成了焊接材料与母材的一个主要区别。焊接材料及焊接过程中的氢来源应严格控制。

1) 焊条。根据耐腐蚀性、接头韧性的要求不同来选择与母材化学成分相匹配的焊条。采用酸性焊条时脱渣优良，焊缝成形美观，但冲击韧度较低，当要求焊缝具有较高的冲击韧度，并需进行全位置焊接时，应采用碱性焊条。当根部封底焊时，通常采用碱性焊条。当对焊缝金属的耐蚀性能具有特殊要求时，还应采用超级双相钢成分的碱性焊条。不锈钢焊条国家标准有 GB/T 983—2012《不锈钢焊条》。

2) 焊丝。对于实心气体保护焊丝，在保证焊缝金属具有良好耐腐蚀性与力学性能的同时，还应注意其焊接工艺性能。对于药芯焊丝，当要求焊缝成形美观时，可采用金红石型或钛钙型药芯焊丝，当要求较高的冲击韧度或在较大的拘束度条件下焊接时，宜采用碱度较高的药芯焊丝。实心焊丝标准有 YB/T 5092—2005《焊接用不锈钢丝》，药芯焊丝标准有 GB/T 17853—1999《不

锈钢药芯焊丝》。对于埋弧焊宜采用直径较小的焊丝，实现中小焊接规范下的多层多道焊，以防止焊接热影响区及焊缝金属的脆化，并采用配套的碱性焊剂。埋弧焊焊材标准有 GB/T 17854—1999《埋弧焊用不锈钢焊丝和焊剂》。

(3) 保证获得相比例合适的双相组织接头 双相钢焊接热输入不可过大也不可过小。热输入过小，则冷却速度过快，不利于铁素体向奥氏体转变，造成焊缝和热影响区中铁素体过多；热输入过大，则冷却速度过慢，会导致晶粒长大以及 σ 相等析出脆化。通常将热输入控制在 10~20kJ/cm，一般焊前不预热、层间温度控制在不大于 150℃、焊后不进行热处理、覆盖层加焊退火层焊、探伤合格后磨去的焊接工艺，可以使材料具有较好的耐晶间腐蚀性。

六、沉淀硬化型不锈钢的焊接

(一) 沉淀硬化型不锈钢的焊接特点

1. 沉淀硬化马氏体型不锈钢的焊接特点

该类钢在高温下为奥氏体组织，因为其 M_s 点（马氏体转变开始点）较高， M_f 点（马氏体转变结束点）也在室温以上，所以经过固溶处理后即可形成马氏体组织。与此同时，由于含有在马氏体中固溶度小的 Cu、Al、Mo、Ti、Nb 等强化元素，再经低温回火后，可达到时效强化。

该类钢具有良好的焊接性，且进行同材质等强度焊接时，在拘束度不大的情况下，一般不需要焊前预热或后热；以及焊后热处理采用同母材相同的低温回火时效将可获得等强度的焊接接头。当不要求等强度的焊接接头时，通常采用奥氏体类型的焊接材料焊接，不预热、不后热，且焊接接头中不会产生裂纹；在热影响区，虽然形成马氏体组织，但由于碳含量低没有强烈的淬硬倾向，在拘束度不大的情况下，也不会产生裂纹。但要考虑母材与焊缝金属膨胀系数不同而产生的应力作用。

2. 沉淀硬化半奥氏体型不锈钢的焊接特点

在固溶或退火状态下，该类钢的组织为奥氏体加 5%~25% 的铁素体，经过系列的热处理或机械变形处理后奥氏体转变为马氏体，再通过时效析出硬化达到超高强度。

该类钢具有良好的焊接性，当焊缝与母材成分相同时，即要求同材质焊接时，在焊接热循环的作用下，可能出现如下问题：①焊缝和近缝区加热温度远高于通常固溶处理温度，铁素体相比例有所增加，当铁素体含量过高时，可能引起接头的塑性显著降低而脆化。采用同质焊材焊接时，焊缝金属中约含有 25% 的铁素体，脆化倾向较大。为此硅、铬、铝等铁素体元素的含量应降低，减少焊缝的铁素体含量。②在焊接接头（包括同材焊缝和 HAZ 近缝区）的高温区，碳化物，特别是铬的碳化物溶解入奥氏体基体，提高了基体的有效合金元素含量，以及奥氏体的稳定性；降低了焊缝和近缝区的 M_s 点，使奥氏体在低温下都难于转变成马氏体，以及焊接接头的强度难于与母材匹配。为此必须采用适当的焊后热处理，使碳化物析出，降低合金元素的有效含量，以及促进奥氏体向马氏体的转变。通常是焊接结构焊后进行整体复合热处理，其中包括：

1) 焊后调整热处理：746℃ 加热 3h 空冷，使铬的碳化物析出，提高 M_s 点，促进马氏体转变。

2) 低温退火：930℃ 加热 1h，水淬，使 $Cr_{23}C_6$ 等碳化物从固溶体中析出，大大提高 M_s 点。

3) 冰冷处理：在低温退火的基础上，立即进行 -73℃ 保持 3h 的冰冷处理，使奥氏体几乎全部转变为马氏体，然后升温到室温。

当不要求同材质等强度焊接时，可采用常用的奥氏体型焊接材料（如 E308L、E316L），焊缝与热影响区均没有明显的裂纹敏感性，焊后亦可免去时效处理等工序。但要考虑母材与焊缝金属膨胀系数不同而产生的应力作用。

3. 沉淀硬化奥氏体型不锈钢的焊接特点

该类钢的化学成分特点是铬镍含量高, Ms 点在常温以下, 固溶后的奥氏体极为稳定, 即使经受冷加工后也保持奥氏体组织。其硬化机理是通过加入一些低温下固溶度小的化学元素使奥氏体为过饱和状态, 在时效过程中析出强化相, 达到硬化的目的。

由于强化元素(主要是 P)的差异, 焊接性也有很大差别。例如 06Cr15Ni25MoTiAlVB, 虽然含有较多的时效强化元素, 但其焊接性与半奥氏体沉淀强化不锈钢的焊接性相当, 采用通常的熔焊工艺时, 裂纹敏感性小, 且焊前不需要预热或后热, 焊后按照母材时效处理的工艺进行焊后热处理即可获得接近等强度的焊接接头。但对于 17-10P 不锈钢(美国非标准沉淀硬化不锈钢), 尽管严格控制了 S 的含量, 由于 P 含量高达 3%, 高温时磷化物在晶界的富集不可避免, 由此造成近缝区具有很大的热裂纹敏感性与脆性, 致使熔焊工艺难以采用, 而一些特种焊的工艺如闪光焊及摩擦焊工艺比较适合于该钢种的焊接。

(二) 沉淀硬化型不锈钢的焊接工艺要点

除高 P 含量的沉淀硬化奥氏体不锈钢(17-10P)外, 焊条电弧焊、熔化极惰性气体保护焊、钨极氩弧焊等熔焊工艺方法都可用于沉淀强化型不锈钢的焊接。

焊接材料目前还缺乏标准化的同质焊接材料, 可采用普通奥氏体钢焊接材料, 较常用的有 E308 和 E316 型焊接材料。不足之处是低强匹配; 另外, 也有因焊缝金属与母材膨胀系数不同而产生的应力作用。

第六节 异种钢(含复合钢板)的焊接

在异种金属的焊接中, 最常见的是异种钢的焊接, 其次是异种有色金属焊接和钢与有色金属的焊接。本节主要讲异种钢的焊接。

一、异种钢焊接常用钢种及焊接工艺原则

(一) 异种钢焊接结构常用的钢种

按照金相组织分类, 主要有珠光体钢、马氏体-铁素体钢和奥氏体钢等三大类型。

(二) 异种钢的焊接特点和焊接工艺

异种钢焊接的突出问题在于焊接接头的化学不均匀性及由此引起的组织和力学性能的不均匀性、界面组织的不稳定性及应力应变的复杂性等, 协调和处理好这些问题时制定异种钢焊接工艺的依据, 也是获得满意焊接接头的关键。

1. 焊接方法的选择

大部分熔焊和压焊都可以用于异种钢的焊接。一般生产条件下焊条电弧焊使用最方便, 因为焊条种类多, 可以根据不同异种钢的组合灵活选择, 适应性非常强。

2. 焊接材料的选择

异种钢焊接时, 必须按照异种钢母材的化学成分、性能、接头形式和使用要求正确选择焊接材料。对于金相组织比较接近的异种钢接头, 焊接材料的选择要点是要求焊缝金属的力学性能及耐热性等其他性能不低于母材中性能要求较低一侧的指标。但有时反而按性能要求较高的母材来选用焊接材料, 可能更有利于避免焊接缺欠的产生。而对于金相组织差别比较大的异种钢接头, 如珠光体奥氏体异种钢接头, 则必须考虑填充金属受到稀释后, 焊接接头性能仍能得到保障来选择焊接材料。总之焊接材料选择可以归纳为四点: 一是接头要能保证设计所需的性能; 二是满足焊接性的要求; 三是在接头不产生裂纹的前提下, 当不能兼顾强度和塑性时, 优先选用塑性好的填充金属; 四是经济、易得、焊接工艺性能好。表 4-4 中列有异种钢焊接时焊接材料的推荐牌号, 可供参考。

表 4-4 不同类别、组别号相焊推荐选用的焊接材料表 (类别、组别号见表 2-6)

钢材种类	接头母材类别、组别代号	焊条电弧焊		埋弧焊		氩弧焊	备注		
		型号	牌号示例	焊剂型号	焊剂牌号及焊丝牌号示例				
低碳钢与强度型低合金钢相焊	Fe-1-1 与 Fe-1-2、Fe-1-3、Fe-1-4 相焊	E4315	J427	F4A0-H08A F4A2-H08MnA	HJ431-H08A HJ431-H08MnA SJ101-H08A SJ101-H08MnA	—	—		
		E4316	J426						
		E5015	J507						
		E5016	J506						
含钼强度型低合金钢之间相焊	Fe-3-1 与 Fe-3-2、Fe-3-3 相焊	E5515-B1	R207	F48A0-H08CrMoA	HJ350-H08CrMoA SJ101-H08CrMoA	—	—		
	Fe-3-2 与 Fe-3-3 相焊	E5515-G	J557	F55A0-H08MnMoA	HJ350-H08MnMoA SJ101-H08MnMoA	—	—		
低碳钢与耐热型低合金钢相焊	Fe-1-1 与 Fe-4、Fe-5A、Fe-5B-1 相焊	E4315	J427	F4A0-H08A	HJ431-H08A HJ350-H08A SJ101-H08A	—	—		
强度型低合金钢与耐热型低合金钢相焊	Fe-1-2 与 Fe-4、Fe-5A、Fe-5B-1 相焊	E5015	J507	F5A0-H10Mn2	HJ431-H10Mn2	—	—		
		E5016	J506						
强度型钢与耐热型低合金钢相焊	Fe-3-2 与 Fe-4、Fe-5A 相焊	E5515-G	J557	F55A0-H08MnMoA	HJ350-H08MnMoA	—	—		
		E5516-G	J556						
	Fe-3-3 与 Fe-4、Fe-5A 相焊	E6015-D1	J607	F62A0-H08Mn2MoA F62A2-H08Mn2MoA	HJ431-H08Mn2MoA HJ350-H08Mn2MoA SJ101-H08Mn2MoA				
		E6016-D1	J606						
耐热型低合金钢与耐热型中合金钢相焊	Fe-4-1 与 Fe-5A 相焊	E5515-B2	R307	—	—	—	—		
		E309-15	A307	—	—	H12Cr24Ni13	不进行焊后热处理时采用		
	Fe-4-2 与 Fe-5A 相焊	E5515-B2-V	R317	—	—				
		E309-15	A307	—	—	H12Cr24Ni13	不进行焊后热处理时采用		
	Fe-4、Fe-5A 与 Fe-5B-1 相焊	E310-15	A407	—	—	H12Cr26Ni21	不进行焊后热处理时采用		
耐热型合金钢与铁素体、马氏体不锈钢相焊	Fe-4、Fe-5A 与 Fe-6、Fe-7 相焊	E309-16	A302	F309-H12Cr24Ni13	—	H12Cr24Ni13	不进行焊后热处理时采用		
		E309-15	A307						
	Fe-4、Fe-5B-1 与 Fe-6、Fe-7 相焊	E310-15	A407	F310-H12Cr26Ni21	—	H12Cr26Ni21	不进行焊后热处理时采用		
强度型低合金钢与奥氏体不锈钢相焊	Fe-1-1、2、3、Fe-3-1、2 与 Fe-8-1 相焊	E309-16	A302	F309-H12Cr24Ni13	—	H12Cr24Ni13	不进行焊后热处理时采用		
		E309-15	A307						
	Fe-1-4、Fe-3-3 与 Fe-8-1 相焊	E310-16	A402	F310-H12Cr26Ni21	—	H12Cr26Ni21	不进行焊后热处理时采用		
		E310-15	A407						
耐热型低合金钢与奥氏体不锈钢相焊	Fe-4、Fe-5A 与 Fe-8-1 相焊	E309-16	A302	F309-H12Cr24Ni13	—	H12Cr24Ni13	不进行焊后热处理时采用		
		E309-15	A307						
	Fe-5B-1 与 Fe-8-1 相焊	E310-16	A402	F310-H12Cr26Ni21	—	H12Cr26Ni21	不进行焊后热处理时采用		
	E310-15	A407							

注：焊条型号是引用 GB/T 5117—1995、GB/T 5118—1995、GB/T 983—1995 中的型号，新旧标准的型号对比可参考第二章第二节。

3. 坡口角度

异种钢焊接时确定坡口角度的主要依据除母材厚度外,还有熔合比。一般坡口角度越大,熔合比越小,表4-5列出了焊接电弧焊和堆焊时熔合比与坡口角度、焊道层数之间的关系。从中可以看出,坡口角度不同,每一层的熔合比变化也不同,一般在第三层以前的熔合比变化较大。堆焊则相当于坡口角度为180°,其熔合比也最小,但每层之间熔合比的变化却比较大。异种钢多层焊时,确定坡口角度要考虑多种因素的综合影响,但原则上是希望熔合比越小越好,以尽量减小焊缝金属的化学成分和性能的波动。

表4-5 焊条电弧焊堆焊时熔合比的近似值

(%)

焊层	坡口角度不同时的熔合比(焊条电弧焊)			堆焊熔合比
	15°	60°	90°	
1	48~50	43~45	40~43	30~35
2	40~43	35~40	25~30	15~20
3	36~39	25~30	15~20	8~12
4	35~37	20~25	12~15	4~6
5	33~36	17~22	8~12	2~3
6	32~36	15~20	6~10	<2
7~10	30~35	—	—	—

4. 焊接参数

焊接参数对熔合比有直接影响。焊接热输入越大,母材熔入焊缝越多,则稀释率越大,熔合比也越大。焊接热输入取决于焊接电流、电弧电压和焊接速度等参数。当然,焊接方法不同,熔合比的大小及其变化范围也是不同的,表4-6列出常用焊接方法的熔合比及其可能达到的变化范围。

表4-6 不同焊接方法的熔合比范围

焊接方法	熔合比/(%)	焊接方法	熔合比/(%)
碱性焊条电弧焊	20~30	埋弧焊	30~60
酸性焊条电弧焊	15~25	带极埋弧焊	10~20
熔化极气体保护焊	20~30	钨极氩弧焊	10~100

5. 预热及焊后热处理

异种钢预热时,预热的目的主要是降低焊接接头的淬火裂纹倾向。因此对于珠光体、贝氏体、马氏体类异种钢的焊接,预热是有好处的。但对于铁素体或奥氏体钢,且其焊缝金属也为铁素体或奥氏体的异种钢焊接接头,预热可能对其使用性能不利,选择预热要特别谨慎。

焊后热处理的目的是改善接头的组织和性能,消除部分残余应力,并促使氢的逸出等。但对于铁素体或奥氏体钢,且其焊缝金属也为铁素体或奥氏体的异种钢焊接接头,则可能有害无益。

重要结构都要先作工艺评定,有些还要做晶间腐蚀试验,合格后的焊接工艺方能采用。

二、同类型组织不同钢种的焊接

(一) 不同珠光体钢的焊接

不同珠光体钢的焊接也属于异种钢的焊接,除低碳钢外,大部分具有较大的淬硬倾向,焊接

时有较明显的裂纹倾向。目前焊接这类钢有两种方法，一是采用珠光体类焊条加预热或后热；二是采用奥氏体焊条不预热。

(二) 不同奥氏体钢的焊接

不同钢号的奥氏体钢焊接时，应考虑各种奥氏体钢本身的焊接特点而采取相应的工艺措施，选择焊接材料。注意工艺参数的稳定，从而使熔合比稳定，以保证焊缝金属化学成分的稳定。焊条电弧焊应用最为广泛，一般不需要预热和焊后热处理。

三、珠光体钢与奥氏体钢的焊接

(一) 珠光体与奥氏体钢焊接特点

由于化学成分、金相组织、物理性能及力学性能等方面的差异，为保证焊接质量，必须考虑以下特点：一是焊缝金属的稀释；二是碳迁移形成过渡层；三是接头的残余应力。

(二) 珠光体钢与奥氏体钢的焊接工艺

1. 焊接方法

注意选择熔合比小、稀释率低的焊接方法。氩弧焊的稀释率受有无填充金属及焊接工艺条件的影响很大，采用时要注意。

2. 焊接材料

需要考虑异种焊接接头的使用要求、稀释作用、碳迁移、热物理性能、焊接应力及抗热裂性能等一系列问题。由于有珠光体母材的稀释作用，根据图 4-1 舍夫勒组织图，Cr18-Ni8 型焊接材料不可能满足要求，而 Cr25-Ni20 型焊接材料有可能因焊缝呈单项奥氏体组织而容易产生热裂纹，所以采用 Cr25-Ni13 型焊接材料通常是合适的。但对于设计温度高于 370℃ 时，由于焊缝金属膨胀系数的不同，宜采用镍基焊接材料。

3. 焊接工艺要点

在确定接头形式、坡口种类、焊缝层数等工艺因素时，同样要依据珠光体钢与奥氏体钢焊接的特点，尽量减少熔合比。又如焊条和焊丝直径小一些，电弧电压高一些，尽量采用小电流、快速焊等。如果为了防止珠光体钢可能产生冷裂纹则需要预热，但预热温度比同种珠光体焊接要低一些。

常用的焊接施工方式有以下几种：①隔离层堆焊法，即在珠光体钢的坡口面上先堆焊一层 Cr25-Ni13 型奥氏体金属隔离层，这样可以使最易出问题的珠光体上的那部分焊缝，在拘束度极小的情况下完成。隔离层堆焊完成并经过检查后，再按同种钢焊接的工艺焊接隔离层和奥氏体钢，此法常用于不锈钢管和低合金钢管的焊接。②直接施焊，主要是要保持珠光体钢坡口面熔深最小。③“过渡段”的利用，即先在车间有利条件下焊一个短的珠光体与奥氏体钢异质接头，待工地施工时已是同质接头问题了，此法适用于施工条件差的工地焊接。

四、珠光体钢与马氏体钢的焊接

(一) 珠光体钢与马氏体钢焊接特点

珠光体钢与马氏体钢的焊接性主要取决于马氏体钢。这类异种钢形成焊接接头时有以下特点：一是容易产生冷裂纹；二是产生脆化。

(二) 珠光体与马氏体钢的焊接工艺要点

尽可能防止珠光体钢与马氏体钢焊接接头产生脆化和冷裂纹是正确制定焊接工艺的基本原则。为此常采用的措施有以下几点：①焊前预热，通常为 150~400℃。②选择合适的填充材料，应力求接近两种母材金属的成分。③合适的焊接参数，尽量短弧、小热输入焊接。④焊后回火处

理, 通常进行 650 ~ 700℃ 高温回火。

五、珠光体钢与铁素体钢的焊接

(一) 珠光体钢与铁素体钢的焊接特点

珠光体钢与铁素体钢的焊接性主要取决于铁素体钢。这类异种钢形成的焊接接头, 铁素体钢一侧的焊接热影响区有较大的粗晶脆化倾向, 含 Cr 量越高, 高温停留时间越长, 焊接接头的脆化倾向越大。

(二) 珠光体钢与铁素体钢的焊接工艺要点

为防止珠光体钢与铁素体钢焊接接头的过热粗化、脆化和裂纹, 一般采取以下措施: ①焊前预热, 这对防止粗晶脆化、裂纹有效, 且一般预热温度为 150℃。②控制层间温度, 这可有效防止焊缝在高温停留时间过长, 否则会促使粗晶脆化倾向。③选择合适的填充材料, 此时应考虑两种母材金属的预热温度及与焊接方法的配合, 与焊后热处理的关系。④焊后及时进行焊后热处理, 可促进组织均匀化, 以及提高焊缝的塑性和耐蚀性。⑤采用短弧、小电流、快速焊、不摆动, 这样的窄焊道有利于防止粗晶脆化。

六、复合钢板的焊接

(一) 复合钢板的焊接特点

1. 奥氏体系复合钢板的焊接特点

奥氏体系复合钢板是指覆层为奥氏体钢、基层为珠光体钢的复合钢板。这类钢的焊接特点: ①基层与覆层母材及焊材均存在较大差异, 因此稀释作用强烈, 增大了结晶裂纹倾向。②熔合区可能出现马氏体组织, 导致硬度和脆性增加。③基层与覆层的含 Cr 量差别较大, 促使碳向覆层迁移, 加剧熔合区的脆化和另一侧热影响区的软化。

2. 铁素体-马氏体系复合钢板的焊接特点

铁素体-马氏体系复合钢板是指覆层为铁素体-马氏体钢、基层为珠光体钢的复合钢板。其焊接特点与奥氏体系复合钢板相类似, 还有就是这类复合钢板产生冷裂纹的潜伏期与填充材料种类及焊接工艺密切相关, 因此焊接检验不能焊后立即进行。

(二) 复合钢板的焊接工艺要点

为保证复合钢板的焊接质量, 首先要恰当地分别选择覆层和基层的焊接材料, 为更有效地防止稀释和碳迁移问题, 在基层与覆层之间加焊隔离层, 因此还要选好隔离层焊接材料。选择焊接材料的基本原则是, 覆层用焊接材料应保证熔敷金属的主要合金元素含量不低于覆层母材标准规定的下限值; 对于有防止晶间腐蚀要求的焊接接头, 应保证熔敷金属中含有一定量的铌、钛等稳定化元素或超低碳。对于基层应按基层钢材合金含量选用焊接材料, 保证焊接接头的抗拉强度不低于基层母材标准规定的抗拉强度下限值。隔离层焊接材料宜选用 25Cr-13Ni 型或 25Cr-20Ni 型, 以保证能补充基层对覆层造成的稀释; 覆层如果是含钼钢则应选用 25Cr-13Ni-Mo 型。

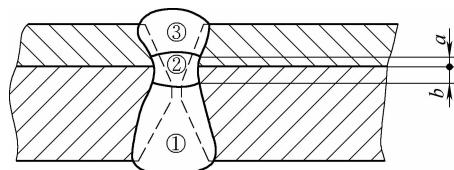


图 4-2 复合钢板的焊接顺序

复合钢板的焊接顺序一般为: 先焊基层①焊缝, 再焊隔离层②焊缝, 最后焊覆层③焊缝, 如图 4-2 所示。为防止覆层金属混入第一道基层焊缝, 可预先将接头附近的覆层金属加工掉一部分。隔离层焊接宜用小热输入、反极性、直线运条和多层次多道焊。隔离层在基层的厚度 b 宜为 1.5 ~ 2.5mm, 在覆层的厚度 a 宜为 0.5 ~ 0.5 倍覆层厚度, 且不大于 1.8mm。焊前需要预热的焊

接接头，宜按基层母材金属的要求进行。

(三) 常用复合不锈钢推荐选用的焊接材料 (见表 4-7)。

表 4-7 常用复合不锈钢推荐选用的焊接材料

复合不锈钢		基层用焊接材料	过渡焊缝用焊条		覆层用焊条	
覆层钢号	基层钢号		型号	对应牌号示例	型号	对应牌号示例
06Cr13	按相应基层钢号选取	Q235B	E309-16	A302	E347-16、E347-15	A132、A137
06Cr19Ni10			E309-15	A307	E309-16、E309-15	A302、A307
06Cr18Ni11Ti		Q235C	E309-16	A302	E308-16、E308-15	A102、A107
022Cr19Ni10					E347-16、E347-15	A132、A137
06Cr17Ni12Mo2		16Mn	E309-15	A307	E308L-16	A002
06Cr17Ni12Mo2Ti					E316-16、E316-15	A202、A207
06Cr19Ni13Mo3		Q345R	E309Mo-16	A312	E316L-16、E318-16	A022、A212
022Cr17Ni12Mo2					E316L-16、E317-16	A022、A242
022Cr19Ni13Mo3		15CrMoR	E309LMo-16	A042	E316L-16	A022

第七节 堆 焊

一、堆焊工艺方法及堆焊材料形状

(一) 堆焊工艺方法及其工艺特点

几乎任何一种焊接方法都可以用于堆焊，如氧乙炔焰堆焊、焊条电弧堆焊、钨极氩弧堆焊、熔化极气体保护电弧堆焊、埋弧堆焊、电渣堆焊、高速带极堆焊、等离子弧堆焊等。

(二) 堆焊材料的形状

堆焊方法不同要求的堆焊材料形状也不同，常用的堆焊材料形状可分条状、丝状、带状、粉粒状、块状等。

二、堆焊合金的分类

所有的堆焊合金可归纳为铁基、镍基、钴基、铜基和碳化钨堆焊材料几种类型。铁基堆焊金属属性能变化范围广，能满足许多不同的要求，且使用最广泛，品种也最多。镍基、钴基主要用在耐高温磨损、高温腐蚀的场合。铜基合金常用在抗腐蚀或抗微动磨损的场合。耐磨料磨损最好的是碳化钨堆焊金属。

铁基堆焊金属的堆焊层基体组织有马氏体、奥氏体、珠光体和莱氏体碳化物等几种基本类型。

三、铁基堆焊合金

(一) 珠光体钢堆焊金属

珠光体钢堆焊金属的含碳量一般在 0.5% (质量分数) 以下，合金元素总量也在 5% (质量分数) 以下。在焊后自然冷却时，堆焊金属的金相组织以珠光体为主，硬度 20 ~ 38HRC。

珠光体钢堆焊金属多在焊态使用，也可以通过热处理改善性能。它的特点是焊接性能优良，具有中等的硬度和一定的耐磨性，冲击韧性好，易机械加工。它主要用于如下几个方面：在堆焊修复中用于堆焊耐磨层之前的恢复母材尺寸层堆焊，当需要堆焊层数大于2层或3层时，全部使用耐磨性高的金属将增加成本或某些材料不宜多层堆焊时，用于过渡层的堆焊；当母材为低碳钢时，过渡层可加强工件的强度以避免在使用中母体产生变形而引起耐磨层剥落。当母材为高碳钢时，过渡层是为了改善母材熔合区的韧性以防止工件断裂或耐磨层剥落。也可以用于对堆焊层硬度值要求不高的零件的堆焊。

珠光体钢堆焊金属采用的工艺方法主要是焊条电弧堆焊和熔化极自动堆焊，也可以使用钨极氩弧堆焊或气焊堆焊等。珠光体钢的焊条电弧堆焊工艺如下：焊条按规定烘干；工件堆焊前清理油、锈；当母材为低碳钢时，焊前不预热，但当母材为中碳钢或低合金高强度钢时，焊前预热200℃左右。

（二）马氏体钢堆焊金属

马氏体钢堆焊金属根据它们的成分、性能、用途不同，可分为普通马氏体钢、高速钢及工具钢、高铬马氏体钢三种。

1. 普通马氏体钢

当堆焊层的韧性、强度、耐磨性都有要求时，常选用普通马氏体钢堆焊金属。它也常在堆焊更脆、更耐磨的材料前，作为高强度的过渡层材料。

马氏体钢堆焊金属采用的工艺方法主要是焊条电弧堆焊和熔化极自动堆焊。普通马氏体的焊条电弧堆焊工艺如下：焊条按规定烘干；工件堆焊前清理油、锈；当母材为低碳钢时，堆焊低、中碳马氏体焊条时可以不预热，对于堆焊高碳马氏体焊条时则应预热200~300℃。对于抗裂性差的低合金钢母材和中、高碳母材，则应视焊条与母材的不同，预热150~350℃。对于高碳马氏体堆焊金属的堆焊件有时也采用焊后热处理。

2. 高速钢及工具钢

高速钢堆焊金属热硬性高，主要用于制作双金属切削刀具。热工具钢堆焊金属主要用于热锻模、热轧辊等的堆焊制造与堆焊修复。

（三）高铬马氏体钢

高铬马氏体不锈钢堆焊金属抗热性好，热强度高，抗腐蚀性也较好，主要用于中温耐金属间磨损，如中温中压阀门密封面的堆焊。含钼含碳型堆焊金属耐磨性较高，有一定的抗冲击能力，在耐气蚀零件的堆焊中得到推广应用。高铬马氏体不锈钢的堆焊工艺方法主要是焊条电弧堆焊，熔化极氩弧堆焊和埋弧堆焊。除小件堆焊在焊前不预热外，一般需要预热150~300℃；焊后可以不进行处理，也可退火软化；当加热到900~1000℃空冷或油冷后，可重新硬化。

（四）奥氏体钢堆焊金属

1. 高锰奥氏体钢与铬锰奥氏体钢

高锰奥氏体钢与铬锰奥氏体钢堆焊层适于伴有冲击作用的金属间磨损和高应力磨料磨损的工作条件，主要用途之一是对高锰钢铸造件的铸造缺陷进行补焊和对磨损件进行修复堆焊。

2. 铬镍奥氏体钢堆焊金属

（1）铬镍奥氏体钢堆焊的应用 铬镍奥氏体钢堆焊金属具有优良的耐腐蚀性，抗高温氧化性。当加入一些合金元素后，还兼有优良的耐磨性、耐冷热疲劳性、耐气蚀性等。

铬镍奥氏体钢中有一类是单纯的耐腐蚀用钢，它们虽然耐磨性不好，但由于优良的耐腐蚀性，在化工设备中广泛应用。有耐腐蚀性能要求且不便于采用整体不锈钢制造的容器、管道及机器零件，相当一部分可以采用不锈钢-碳钢双金属合金钢板或类似的双金属材料制造，但在某些要求高的场合则必须是采用堆焊方法制造。采用耐腐蚀铬镍高合金堆焊的容器、管道及机器零

件，多数要求母材与堆焊金属的熔合区具有较高的韧性，即不允许或限制马氏体组织的出现，以减小脆性和焊接裂纹的敏感性。此外还要求用最少的堆焊层数，得到表层具有符合要求的铬镍合金成分和所要求的有效耐蚀层厚度。与此同时，不允许表层的增碳值超过某一限定的数值。

还有一类是除了具有耐腐蚀性外，还具有其他优良性能，如耐中、高温金属间磨损性能，主要用于阀门密封面的堆焊。

(2) 铬镍奥氏体钢堆焊材料的堆焊工艺 铬镍奥氏体钢堆焊的焊接方法主要有焊条电弧堆焊和带极堆焊，其次由于内部空间的限制，也常采用钨极氩弧堆焊工艺。

耐蚀不锈钢堆焊时，首先用高铬镍的E309 (Cr25-Ni13)型不锈钢焊接材料在低碳钢或低合金结构钢母材上堆焊一层过渡层，且该过渡层在与母材交界的熔合区有满意的韧性，从而确保焊缝金属有较高的抗裂性和较好的耐腐蚀性。堆焊工艺应采用小的热输入，堆焊电流也宜尽可能小，以减小母材熔深，避免稀释率过高。当堆焊耐腐蚀层时，仍应采用小的热输入。所选用的铬镍奥氏体钢堆焊材料应能保证堆焊层的含碳量、含铁素体量及其他化学成分符合技术条件要求。

在多数情况下，堆焊前不预热并在整个堆焊过程中严格限制层间温度，但个别情况下，堆焊前可稍加预热，并在整个过程中限制层间温度不能过高。焊条、焊剂按规定预热，堆焊后一般不进行热处理。

耐蚀耐磨的铬镍奥氏体钢很大部分是用于阀门堆焊，且堆焊方法主要是焊条电弧堆焊和粉末冶金堆焊。焊条电弧堆焊除工件预热温度要求稍高，其余工艺要点与其他铬镍奥氏体钢堆焊工艺相同。

四、其他堆焊合金简介

(一) 镍与镍基合金堆焊金属

镍与镍基合金堆焊材料中一类是属于含碳量较低的且具有优良抗裂性及耐热耐蚀性的纯镍、镍铜（蒙乃尔）和镍基合金；一类是使用较多的耐热、耐蚀且耐磨的镍铬硼硅和镍钼铁合金。

纯镍、镍铜（蒙乃尔）和镍基合金具有良好的抗裂性，可用于铸铁或其他难焊合金的过渡层堆焊材料；又由于它们有良好的耐热、耐蚀性，也可用做耐热、耐蚀层堆焊材料。

镍基合金常用的堆焊方法为焊条电弧堆焊、火焰堆焊和等离子弧堆焊。焊条电弧堆焊时，尽量避免横向摆动。多层堆焊时，层间温度不宜超过100~150℃。

(二) 钴基合金堆焊金属

钴基合金堆焊金属主要指钴铬钼堆焊合金，即通常的司太立合金。该合金在高温下能保持较高的硬度，且具有一定的抗腐蚀性及优良的抗粘着磨损性能。

钴基合金由于能加工得很光滑，加上高的抗擦伤能力和低的摩擦因数，因此特别适合用于金属间磨损场合；另外，还具有较高的抗氧化性、抗腐蚀性和耐热性能，也用于高温腐蚀和高温磨损的工况条件。

(三) 铜及铜合金堆焊金属

铜及铜合金堆焊金属分为纯铜、黄铜、青铜和白铜四类。铜及铜合金堆焊金属分别具有较好的耐大气、耐海水和耐各种酸碱溶液的腐蚀，耐气蚀及耐粘着磨损等性能，但易受硫化物和氯盐的腐蚀，抗磨料磨损性能不好。主要是用来制造要求耐腐蚀、耐气蚀和耐金属间磨损的以铁基材料为母材的双金属零件或修补磨损的工件。

堆焊工艺对铜合金堆焊性能影响极大。堆焊层厚度往往较厚，取堆焊层厚度6mm以上部分作为工作层。火焰焊和钨极氩弧堆焊比较好，焊条电弧焊时，电流要尽量小些。铜基合金堆焊时，一般不预热，但堆焊件厚度较大、熔合不良时，可适当预热。

五、碳化钨及其他碳化物硬质合金堆焊

金属碳化钨是硬质合金的重要成分。另外还有用碳化钛、碳化铬作为硬质点的，目前应用最多的是碳化钨硬质合金。碳化钨堆焊金属实际上是含有碳化物硬质颗粒和较软胎体金属的复合材料堆焊层，它在石油钻井及修井设备工具中应用较多，冶金、矿山等其他行业也有不少应用。

碳化钨及其他硬质合金复合材料堆焊工艺的特点是最大限度地防止硬质合金颗粒在堆焊过程中发生分解、溶解甚至熔化，以保持碳化物原有的高耐磨性。因此常采用温度较低的火焰堆焊。

第八节 有色金属的焊接

一、铜及铜合金的焊接

(一) 常用铜及铜合金及其分类

铜及铜合金以它独特而优越的综合性能，如导电性、导热性、耐蚀性、延展性及一定的强度等特性，在各行业中获得了广泛的应用。铜及铜合金种类繁多，常用的铜及铜合金可从它的表面颜色看出其区别，如常用的纯铜（又称紫铜）、黄铜、青铜和白铜，实际上就是纯铜、铜锌、铜铝、铜锡、铜硅和铜镍的合金。

(二) 铜及铜合金的焊接特点

1. 高热导率的影响

由于铜及铜合金的高热导率、线膨胀系数和收缩率，在焊接铜及铜合金时，采用的焊接参数与焊接同厚度低碳钢差不多时，母材就很难熔化，且填充金属与母材也不能很好地熔合，产生了焊不透的现象；焊后的变形也比较严重，外观成形差。因此即使焊接使用大功率热源，还得在焊前预热或焊接过程中采取同步加热的措施。另外，母材厚度越大，散热愈严重，也愈难达到熔化温度。

2. 焊接接头的热裂倾向大

焊接时，铜能与其中的杂质分别生成多种低熔点共晶，加上铜及铜合金在加热过程中无同素异构转变，铜焊缝中也生成大量的柱状晶；同时铜及铜合金的线膨胀系数和收缩率较大，增加了焊接接头的应力，也更增大了接头的热裂倾向。因此熔化焊时，常采取以下措施：①严格限制铜中的杂质含量，特别是氧的含量；②通过焊丝加入硅、锰、磷等合金元素，增强对焊缝的脱氧能力；③选用能获得双相组织的焊丝，使焊缝晶粒细化等。

3. 气孔

熔化焊时，气孔出现的倾向比低碳钢要严重得多，所形成的气孔几乎分布在焊缝的各个部位，且主要是由溶解的氢直接引起的扩散性气孔和氧化还原反应引起的反应性气孔。因此，为了减少或消除铜焊缝中的气孔，主要的措施是减少氢和氧的来源，用预热来延长熔池存在的时间，使气体易于逸出。

4. 接头性能的变化

在熔化焊过程中，由于晶粒长大，杂质和合金元素的掺入，以及有用合金元素的氧化、蒸发等，使接头出现以下变化：塑性变坏、导电性下降、耐蚀性下降、晶粒粗化等。要改善接头的性能，除了尽量减少热作用、焊后进行消除应力热处理外，主要的措施是控制杂质含量和通过合金化对焊缝进行变质处理，并根据不同铜合金接头的不同要求来选用。

(三) 焊接方法的选择

熔化焊是铜及铜合金焊接中应用最广泛，并容易实现的一类焊接方法。气焊、焊条电弧焊、

埋弧焊、钨极和熔化极气体保护焊、等离子弧焊和电子束焊都有应用。合理选择焊接方法，除了根据母材的成分、厚度和结构特点外，还要考虑合金元素及数量等。总之，焊接铜及铜合金需要大功率、高能束的熔焊电源，热效率愈高，能量愈集中愈有利。不同厚度的材料对不同焊接方法有适应性，如薄板焊接以气焊、钨极氩弧焊、焊条电弧焊为好；中等板厚以熔化极气体保护焊和电子束焊较合理；厚板则建议使用埋弧焊、电渣焊等大功率的焊接方法。

（四）焊接材料

1. 焊条

焊条电弧焊用焊条分为纯铜、青铜和白铜三类见第二章。由于黄铜中的锌容易蒸发，因而极少采用焊条电弧焊。焊条的选用基本按母材的成分选择相应焊芯的焊条。对于黄铜，一般选择青铜焊芯的焊条，如 ECuSi 和 ECuSnB。纯铜焊条型号 ECu 为低氢型药皮，用于焊接脱氧铜或无氧铜结构件，焊条使用前应严格烘干去除水分。

铜及铜合金焊条执行 GB/T 3670—1995 《铜及铜合金焊条》，焊条的具体选用见第二章第二节。

2. 埋弧焊用焊丝和焊剂

埋弧焊的特点是电弧热效率高，对熔池的保护效果好。大、中厚度焊件的焊接工艺与钢基本相同，但在具体措施上有其自身特点。焊剂可选用高锰高硅焊剂 HJ431，但可能发生合金元素向焊缝过渡，接头性能要求高的焊件宜选用 HJ260、HJ150。焊丝则选用纯铜焊丝、青铜焊丝焊接纯铜和黄铜。

铜及铜合金焊丝执行 GB/T 9460—2008 《铜及铜合金焊丝》，焊丝的具体选用见第二章第二节。

3. 惰性气体保护焊用焊丝及保护气体

铜薄板和中板焊接，使用气体保护焊逐渐取代气焊、焊条电弧焊，非熔化的电极一般选钍钨极。惰性气体保护焊主要通过焊丝来调节焊缝的成分和性能，以此来满足焊件的要求，因此焊接纯铜一般选无氧铜焊丝，如 SCu1898。焊接普通黄铜，采用无氧铜加脱氧剂的锡青铜焊丝，如 SCu5210。对高强度黄铜则采用青铜加脱氧剂的硅青铜焊丝或铝青铜焊丝，如 SCu6560、SCu6100A 等。焊接白铜可选择白铜焊丝，如 SCu7158。焊接青铜则选用相应的青铜焊丝。无论是熔化极还是非熔化极惰性气体保护焊选择焊丝的原则均相同。厚度小于 3mm 的直边坡口对接，可以不加焊丝，厚度大于 3mm 的通常要加填充丝，而厚度大于 12mm 的焊件则最好选用熔化极惰性气体保护焊。

保护气体通常选用氩气，在一些特殊情况下，如焊接纯铜或高导热率铜合金焊件时，不允许预热，要求获得较大的熔深时，可采用 70% 氩气与 30%（体积分数）氦气的混合气。混合气体的最大优点是可以改善焊缝金属的润湿性，提高焊接质量。

铜及铜合金焊丝执行 GB/T 9460—2008 《铜及铜合金焊丝》，焊丝的具体选用见第二章第二节。

（五）焊接工艺措施

由于前面所述的铜及铜合金的焊接性特点，焊接铜及铜合金时，需要采取以下的工艺措施：

- 1) 焊前需要彻底清除坡口两侧 30mm 范围内的油脂、水分及其他杂质及金属表面的氧化膜，直至露出金属光泽为止。这是避免焊缝出现气孔的有效措施。
- 2) 焊前要预热或在焊接过程中采取同步加热的措施。
- 3) 严格限制铜中的杂质含量，通过焊丝加入硅、锰、磷等合金元素，增加对焊缝的脱氧能力，选用能获得双相组织的焊丝等措施，防止焊接接头的热裂纹与减少气孔。
- 4) 控制焊后冷却速度，防止焊接变形。

5) 因铜及铜合金的流动性好, 故应尽可能采用平焊位置。

二、镍及镍合金的焊接

(一) 常用镍及镍基合金及其分类

镍及镍基合金具有特殊的物理、力学及耐腐蚀性能, 镍基耐蚀合金在 200 ~ 1090℃ 范围内能耐各种腐蚀介质的侵蚀, 同时具有良好的高温和低温力学性能, 尤其在一些苛刻腐蚀条件下是一般不锈钢所无法取代的优良材料。在镍中添加铬、铜、铁、钼、铝、钛、铌、钨等元素后, 通过固溶强化, 不但可以改善纯镍的力学性能, 而且可适应于各种腐蚀介质下侵蚀, 并使之具有优良的耐腐蚀性。

镍基耐蚀合金根据其合金元素的含量和所占比例进行分类和命名, 如 Ni-Cu 合金称为蒙乃尔合金; Ni-Cr-Fe 合金中镍含量占优势, 称因康镍合金, 若铁含量高则称因康洛依合金; 对于钼含量较高的 Ni-Cr-Mo 合金则多数称哈斯特洛依合金, 也称海氏合金或哈氏合金。

(二) 镍及镍合金的焊接特点

1. 焊接热裂纹

由于镍基合金为单相奥氏体组织, 所以与不锈钢相比, 具有高的焊接热裂纹敏感性, 特别是焊缝易产生多边化晶间裂纹。这种裂纹为微裂纹, 焊后对焊缝进行着色检查时, 短时间一般发现不了, 但经过一段时间后, 才会显露出来。

2. 限制热输入

采用高热输入焊接镍基耐蚀合金可能产生不利的影响。在热影响区产生一定程度的退火和晶粒长大, 高热输入可能产生过度的偏析、碳化物的沉淀或其他有害的冶金现象, 易引起热裂纹或降低耐蚀性。如果热输入过小, 会加速焊缝的凝固结晶速度, 更易形成多边晶界, 在一定应力下有助于多边化裂纹的产生。

3. 耐蚀性能

对于大多数镍基耐蚀合金, 焊后对耐蚀性能并没有多大影响。通常选择填充材料的化学成分与母材接近。但有些镍基合金焊接加热后对靠近焊缝的热影响区产生有害影响, 如 Ni-Mo 合金通过焊后退火处理来恢复热影响区的耐蚀性, 而对于大多数镍基合金不需要通过焊后热处理来恢复耐蚀性。

4. 工艺特性

1) 镍及镍基合金液态焊缝金属流动性差, 不像钢焊缝金属那样容易润湿展开。由于需要控制接头的焊缝金属, 镍基耐蚀合金接头形式与钢不同, 接头的坡口角度更大, 以便使用摆动工艺。

2) 焊缝金属熔深浅, 同样不能通过增大焊接电流来增加熔深, 如果电流过大可能引起裂纹和气孔, 因此接头钝边的厚度要薄一些。

3) 镍基耐蚀合金一般不需要焊前预热, 但当母材温度低于 15℃ 时, 应对接头两侧加热到 15 ~ 20℃。一般不推荐焊后热处理。

(三) 焊接方法的选用

镍及镍合金适用的焊接方法有: 焊条电弧焊、钨极气体保护焊、熔化极气体保护焊、埋弧焊和等离子弧焊。

(四) 焊接材料

镍及镍合金焊材的选用原则是应保证焊缝金属的力学性能高于或等于母材规定的限值, 当需要时, 其耐蚀性能不应低于母材的相应要求, 或力学性能和耐蚀性能满足设计文件规定的技术条件。焊条或焊丝熔敷金属化学成分应与母材相近。为了控制焊接气孔和热裂纹, 在焊接材料中一

般加入合金元素如钛、锰和铌。

1. 焊接镍及镍合金时焊条的选用

镍及镍合金焊条主要用于焊接工业纯镍及高镍合金，也可用于异种金属的焊接及堆焊。

镍及镍合金焊接时焊条的选用，主要是根据母材的合金类别来选用相应合金成分的焊条。可以调整化学成分以满足焊接性能的要求，如通过添加合金控制气孔，增加抗热裂纹的能力或改善力学性能；当抗裂性要求高时宜选用含有较高钼、钨的镍铬钼焊条，如 ENi6002。

镍及镍合金焊条执行 GB/T 13814—2008 《镍及镍合金焊条》，焊条的具体选用见第二章第二节。

2. 镍基耐蚀合金埋弧焊焊剂及焊丝的选用

可以使用埋弧焊焊接某些固溶镍基耐蚀合金，不推荐使用埋弧焊焊接厚板镍-钼合金，因为焊接高的热输入和低的冷却速度使焊缝延性降低，并且由于焊剂反应引起成分的变化，使耐蚀性能降低。

镍基耐蚀合金焊接时，有类似奥氏体不锈钢焊接时所发生的问题，如热裂纹、气孔和接头晶间腐蚀等，焊接材料的选用应严格控制硅、硫和磷的含量。

(1) 焊剂的选用 焊接碳钢和不锈钢用埋弧焊剂，一般不宜用于焊接镍基耐蚀合金，镍基耐蚀合金埋弧焊用焊剂还要往焊缝中添加重要的合金元素。因此，焊剂与焊丝的共同作用应与母材相匹配。

(2) 焊丝的选用 选用焊丝应与母材成分相匹配，焊丝成分大多与母材相当，为补偿某些重要合金元素的烧损以及控制焊接气孔和热裂纹，通过焊剂还要添加部分合金。

镍及镍合金焊丝执行 GB/T 15620—2008 《镍及镍合金焊丝》，焊丝的具体选用见第二章第二节。

3. 镍基耐蚀合金气体保护焊焊接材料的选用

(1) TIG 焊焊接材料的选用 TIG 焊已广泛应用于镍基耐蚀合金的焊接及异种镍基合金和镍基合金对 Cu-Ni、铜或钢的焊接。特别适用于薄件、小截面工件和焊后不允许有残留熔渣的结构件的焊接。焊接时一般采用直流反接、高频引弧、电流衰减收弧等技术。

保护气体一般选用氩气、氦气或氩气和氦气混合气体。单道焊时可采用 Ar + H₂5%，有助于消除纯镍焊缝中的气孔。当不加填充焊丝焊接薄件时，用氦气进行保护比氩气具有导热大、向熔池输入热量多、焊速快的优点；但当使用电流小于 60A 时，宜用氩气进行保护，此时若用氦气则电弧稳定性较差。氩和氦的纯度应不小于 99.95%。

焊丝的选用一般来说应与母材对应。焊丝的成分一般略高于母材，以补充焊接过程中合金元素的烧损，并利于控制焊缝中气孔和裂纹的产生。钨极则宜选用铈钨极。

(2) MIG 焊焊接材料的选用 镍基耐蚀合金可采用 MIG 焊。用来焊接固溶强化镍基耐蚀合金，很少用来焊接沉淀硬化耐蚀合金，一般采用氩气或氩气和氦气混合气体进行保护。由于熔滴过渡形式不同，形成最佳保护的气体也不同。喷射或颗粒状过渡形式时，宜采用纯氩进行保护；短路过渡时宜用 Ar + He (50: 50) 混合气体保护；脉冲电弧过渡时宜用 Ar + He (15% ~ 20%) 进行保护，可获得最佳保护效果。

焊丝的选用基本上与 TIG 焊相同，即焊丝成分与被焊母材的成分相匹配。焊丝直径的选用主要取决于熔滴过渡形式和母材厚度，对于喷射过渡宜选用 $\phi 0.8 \sim \phi 1.6$ mm 的焊丝，短路过渡一般选用 $\phi 1.2$ mm 或更细的焊丝。

(五) 焊接工艺措施

1. 坡口和清理

1) 镍及镍合金焊接坡口与钢相比，其特点是坡口角度大，根部间隙大，且钝边高度小。可

采用机加工和等离子弧切割加工坡口，但不能使用氧乙炔切割。

2) 单面焊接头，可采取背面放置成形衬垫、背面通保护气体等措施，保证背面焊透和防止氧化。

3) 在任何形式的加热之前，对焊丝、坡口、衬垫、坡口两侧母材表面及与接头接触的刷子、凿子等工具进行清理，要求表面无异物。

2. 施焊

1) 清理合格的镍及镍合金工件及焊丝应在专用洁净环境内施焊。

2) 焊条电弧焊应选择最佳焊接电流范围，严格控制焊接参数，保持尽量短的电弧长度。

3) 钨极气体保护焊时，在焊缝金属中填充金属量应占一半以上，熔化极气体保护焊推荐选用直流恒压电源。埋弧焊应注意防止焊缝金属耐腐蚀性能和塑性降低，不推荐使用埋弧焊焊接厚板镍钼合金。

4) 焊前一般不要求预热，但应去除湿气，在焊接区周围加热到16℃左右。施焊时限制热输入，如采用窄焊道、焊后急冷等，急冷使用的冷却水应清洁，控制道间温度不大于150℃。

5) 气体保护焊时注意焊缝背面及高温区的保护，液态焊缝金属流动性差，不容易润湿展开，应采取各种工艺措施使液态焊缝金属布满坡口，确保熔合和焊透。

6) 焊接区锤击应采用不锈钢锤。

7) 镍及镍合金一般不要求焊后热处理，当需要时按设计文件或相关技术文件的要求进行。部分因康镍合金当焊缝设计温度高于538℃时，应进行稳定化处理。

三、铝及铝合金的焊接

(一) 常用铝及铝合金及其分类

铝及铝合金按铝制产品形式不同可分为变形铝合金及铸造铝合金。按强化方式可分为非热处理强化铝合金及热处理强化铝合金。按合金化系列，可分为工业纯铝、铝铜合金、铝锰合金、铝硅合金、铝镁合金、铝镁硅合金、铝锌镁铜合金等七大类，特种设备常用纯铝、铝锰合金和铝镁合金。铝锰合金仅可变形强化，其强度比纯铝略高，成形工艺性及耐蚀性、焊接性好。铝镁合金也仅可变形强化，与其他铝合金相比，铝镁合金具有中等强度，其延性、焊接性能、耐蚀性能良好。

铝在空气和氧化性水溶液介质中，表面会产生致密的氧化铝钝化膜，因而在氧化性介质中具有良好的耐蚀性。铝在低温下不存在脆性转变，因此铝制设备可用在很低的温度。

(二) 铝及铝合金的焊接特点

1. 铝的氧化性

铝极易氧化，在常温空气中即生成致密的氧化铝薄膜，焊接时容易造成夹渣，氧化铝膜还会吸附水分，焊接过程中会促使焊缝生成气孔。因此，焊接时应对熔化金属和高温金属进行有效的保护。

2. 铝的线膨胀系数

铝的线膨胀系数比较大，约为钢的两倍，铝凝固时的体积收缩率也比钢大得多，铝焊接时熔池容易产生缩孔、缩松、热裂纹及较高的热应力。

3. 气孔

铝及铝合金液体熔池易吸收氢等气体，若焊后冷却凝固过程中来不及析出，则在焊缝中形成气孔。

4. 热影响区的强度下降

当母材为变形强化或固溶时效强化时，焊接热影响区强度将下降。

(三) 焊接方法的选择

铝及铝合金适应的方法很多，气焊、钨极气体保护焊、熔化极气体保护焊、等离子弧焊、焊条电弧焊等都适用。选择焊接方法时，应考虑产品结构特点、制造工艺要求、焊件厚度、铝合金类别、牌号、对焊接接头质量及性能的要求等综合选择。

特种设备施焊时，经常采用钨极氩弧焊和熔化极气体保护焊，这两种焊接方法热量比较集中，电弧燃烧稳定，由于采用惰性气体，保护良好，容易控制杂质和水分来源，减少热裂纹和气孔的发生，焊缝质量优良，钨极氩弧焊一般用于薄板，熔化极气体保护焊用于厚板。等离子弧焊接的接头性能一般比氩弧焊好，但设备工艺复杂，使用尚不多。焊条电弧焊一般仅用于补焊铝合金铸件。

(四) 焊接材料

1. 焊丝的选用

1) 焊丝的选用原则是应保证焊缝金属的力学性高于或等于母材规定的限值，当需要时，其耐蚀性能不应低于母材相应要求；或力学性能和耐蚀性能满足设计文件规定的技术条件。

2) 为保证焊缝金属的耐蚀性，母材为纯铝时，宜采用纯度不低于母材的焊丝；母材为铝镁合金或铝锰合金等耐蚀铝合金时，宜采用含镁量或含锰量不低于母材的焊丝。焊丝的选取可参考本书第二章。

铝及铝合金焊丝执行 GB/T 10858—2008 《铝及铝合金焊丝》，焊丝的具体选用见第二章第二节。

2. 保护气体和钨极的选用

常用的保护气体有氩气和氦气，其纯度应大于 99.9%。钨极气体保护焊的钨极宜选用铈钨极。

(五) 焊接工艺措施

1. 焊前清理

坡口应采用冷加工或等离子弧方法加工，焊前应对坡口进行打磨或冷加工以清除氧化物，直至露出金属光泽并打磨平整。坡口表面及两侧应严格进行表面清理，可采用机械法或化学法进行表面清理，但不要使用砂轮或砂布，建议使用不锈钢制的钢丝刷。清理后的表面应加以保护，免遭沾污，并即时施焊。焊丝表面在焊前也要进行清理。

2. 预热

符合下列条件的焊件，焊前宜进行预热。①钨极氩弧焊时，焊件厚度大于 10mm；②熔化极氩弧焊时，焊件厚度大于 15mm；③钨极或熔化极氦弧焊时，焊件厚度大于 25mm。未强化的铝及铝合金的预热温度一般为 100 ~ 150℃；经强化的铝合金，预热温度不应超过 100℃。

3. 施焊

钨极氩弧焊宜选择交流焊机；施焊应在无污染、无灰尘和无金属粉尘的清洁环境内施焊；施焊过程中应控制道间温度不超过 150℃；预防焊缝夹污；弧坑应填满并高于母材；道间应用机械方法清除氧化膜等。

四、钛及钛合金的焊接

(一) 常用钛及钛合金及其分类

钛是一种活性金属，常温下能与氧生成致密的氧化膜而保持高的稳定性和耐腐蚀性。钛及钛合金的最大优点是比强度大，综合性能优越。钛合金首先在航空工业中得到应用，钛及钛合金具有良好的耐腐蚀性能；在化工、海水淡化、电站冷凝器等方面成功应用。

钛及钛合金按其退火态的组织分为 α 钛合金、 β 钛合金、 $\alpha + \beta$ 钛合金三类，分别用 TA、TB

和 TC 表示。在压力容器制作中，牌号为 TA2 的工业纯钛使用居多，使用状态一般为退火态。

（二）钛及钛合金的焊接性

1. 间隙元素沾污引起脆化

由于钛的活性强，高温下钛与氧、氮、氢反应速度很快。氧和氮固溶于钛中，使钛晶格畸变，强度硬度增加，塑性韧性降低；而氢含量增加，焊缝金属的冲击韧性急剧降低，塑性下降较少；碳以间隙形式固溶于钛中，使强度提高，塑性下降，作用不如氮、氧显著，但碳量超过溶解度时，易于引起裂纹，因此钛及钛合金焊接时必须进行有效的保护。

2. 焊接相变引起的性能变化

对于常用的工业纯钛，其组织为 α 合金，这类合金的焊接性最好。在用钨极氩弧焊填加同质焊丝或不加焊丝，在保护良好的条件下焊接接头强度可与母材等强度，接头塑性较差。焊接接头塑性降低的主要原因有：①焊缝为铸造组织，它比轧制状态塑性低；②焊接时由于导热性差、比热小、高温停留时间长、冷却速度慢，易形成粗晶；③若采用加速冷却，又易产生针状 α 组织，也会使塑性下降。

3. 裂纹

由于钛及钛合金中杂质很少，因此很少出现热裂纹，只有当焊丝或母材质量有问题时才可能产生热裂纹。由氢引起的冷裂纹是钛合金焊接时应注意防止的，例如选用氢含量低的焊接材料和母材，注意焊前清理，在可能的条件下，焊后进行真空去氢处理等。

4. 气孔

气孔是钛及钛合金焊接时最常见的焊接缺陷。在焊接热输入较大时，气孔一般位于熔合线附近；而焊接热输入较小时，气孔则位于焊缝中部。气孔主要降低焊接接头的疲劳强度，能使疲劳强度降低一半甚至四分之三。影响气孔的主要因素是焊丝和坡口表面的清洁度，焊丝表面的润滑剂、打磨时残留在坡口表面的磨粒、薄板剪切时形成的粗糙的端面等等都可能使焊缝产生气孔。

（三）焊接方法的选用

气焊和焊条电弧焊均不能满足钛及钛合金的焊接质量要求，熔化焊需要用惰性气体保护。适用的焊接方法有钨极气体保护焊、熔化极气体保护焊、等离子弧焊。

（四）焊接材料

1. 焊丝的选用

1) 焊丝选用原则：保证在焊态下焊缝金属力学性能高于或等于母材规定的限值，需要时，其耐腐蚀性能不应低于母材相应要求，或力学性能和耐腐蚀性能满足设计文件规定的技术条件。

2) 焊丝中的氮、氧、碳、氢、铁等杂质元素的标准规定上限值应低于母材中杂质元素的标准规定上限值，不允许从所焊母材上裁条充当焊丝。

3) 不同牌号的钛材相焊时，按耐蚀性能较好和强度级别较低的母材选择焊丝和填充丝。

钛及钛合金焊丝执行 GB/T 3623—2007《钛及钛合金丝》，用于承压设备的焊丝执行 NB/T 47018.7—2011《钛及钛合金焊丝和填充丝》。标准的型号对比及选择见第二章第二节。一般情况下根据所焊母材牌号来选择相应的焊丝牌号，并通过工艺评定验证。不同牌号的钛材相焊时，推荐按耐蚀性能较好和强度较低的母材去选择焊丝材料，或按图样规定。

2. 保护气体和钨极

常用保护气体为氩气，也可用氦气或两者混合气体。氩气纯度不应低于 99.99%，露点不应高于 -50°C ，当瓶装氩气的压力低于 0.5 MPa 时不宜使用。钨极一般选用铈钨极，电极直径应根据焊接电流大小选择。

（五）焊接工艺措施

1. 焊前清理

坡口表面应采用冷加工方法，如采用热加工方法加工，则应去除坡口及两侧表面的氧化层及浮渣。坡口表面及两侧应呈银白色金属光泽，坡口表面及两侧应进行表面清理。焊丝表面使用前也应仔细去除表面油污和水分，焊前保持清洁，严禁沾污，以避免焊接时产生气孔，甚至裂纹。

2. 装配

装配时，应防止铁离子对钛材的污染；充分利用夹具、定位焊等方法，保证焊件装配正确，防止回弹；定位焊焊缝也要防止表面氧化，若表面出现除银白色和金黄色以外的氧化层，应清除后才能施焊永久焊缝。

3. 施焊

钛及钛合金应在无污染、无灰尘、无烟、无金属粉尘和无铁离子污染的洁净环境内组装和施焊；一般不进行预热，多层焊时，层间温度不应超过120℃；禁止接触引弧；加强焊接区惰性气体的保护；对温度在400℃以上的焊缝和热影响区的正面、背面，均应进行保护，防止氧化；焊接参数在保证保护良好、熔深足够的情况下，尽量采用小的热输入施焊；防止焊缝夹污；弧坑要填满等。

最关键的是要将焊接高温区与空气隔离开，为了有效地进行保护，焊炬喷嘴、拖罩和背面保护装置通以适当流量的氩气是极其重要的。焊缝及近缝区的颜色是衡量保护效果的标志，银白色、淡黄色表示保护效果好，深黄色为轻微氧化，一般情况下是允许的，金紫色一般表示中度氧化，深蓝色表示严重氧化，至于灰白色是绝对不允许的，表示焊缝已经变质，必须报废重焊。

第五章 焊接应力与焊接变形

焊接应力与焊接变形是直接影响焊接结构性能、安全可靠性和制造工艺性的重要因素。它会导致焊接接头产生冷、热裂纹等缺陷，在一定的条件下还会对结构的断裂特性、疲劳强度和形状尺寸精度产生不利的影响。在构件制造过程中焊接变形往往引起正常工艺流程中断。因此掌握焊接应力及变形产生的规律，了解其作用与影响，采取措施控制或消除，对焊接结构的完整性设计和制造工艺方法的选择以及运行中的安全都有重要意义。

第一节 焊接应力和变形概述

一、焊接应力和变形的概念

通常在物体受到外力作用时，在其内部都会产生内力，而单位面积上所承受的内力叫应力。应力一般分为拉应力、压应力和切应力三种。

内应力是在没有外力的条件下，平衡于物体内部的应力。

一个物体在外力或内应力作用下发生的形状变化称为变形。变形可分为弹性变形和塑性变形两种。当外力消除后，物体能够恢复到原来的形状时，这种变形称为弹性变形；当外力消除后，物体不能够恢复到原来的形状时，则这种变形称为塑性变形。

焊接变形是焊接过程中，工件产生了不同程度的变形，焊接过程结束后，工件冷却后残留在工件上的变形。焊后工件残留的变形，也叫焊接残余变形。焊接残余变形通常是一种焊后不能恢复的塑性变形，只能残留在工件上，它是由焊接内应力引起的。

二、焊接应力和变形产生的原因

焊接过程是金属进行局部加热和冷却的过程，即焊接热循环过程。焊接热循环指焊接过程中，在焊接热源的作用下，工件上某点温度随时间变化的过程，其特征是加热速度很快，在最高温度下停留时间很短，随后各点按照不同的冷却速度进行冷却，因此工件上温度的分布具有不均匀性，如图 5-1 所示。低碳钢熔池的平均温度达到 1700℃ 以上，熔池周围温度迅速递减。在此过程中造成金属内部不均匀的膨胀和收缩，结果产生了焊接应力和焊接变形。对于普通金属结构而言，焊后产生焊接残余应力和焊接残余变形的基本原因是焊后焊缝区的金属发生了纵向和横向收缩。

假设在焊接过程中工件整体均匀受热，则加热膨胀和冷却收缩将不受拘束而处于自由状态。那么焊后工件不会产生焊接残余应力和焊接残余变形，见表 5-1。但实际上工件是局部不均匀地加热和冷却。用一根金属棒进行不均匀加热和冷却实验，可以模拟金属材料的焊接过程，见表 5-2、表 5-3。

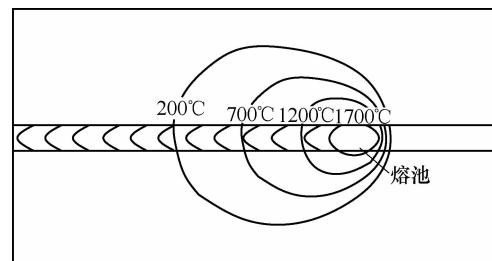


图 5-1 熔池四周温度

表 5-1 金属棒自由膨胀和收缩

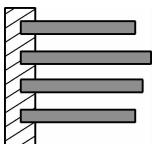
自由膨胀和收缩	加热过程	变 形	应 力
	室 温	原 长	无
	加 热	伸 长	无
	冷 却	缩 短	无
	最 终 状 态	原 长	无

表 5-2 金属棒膨胀受阻和自由收缩

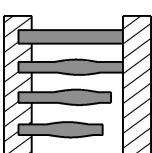
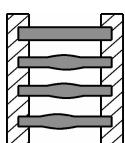
自由膨胀和收缩	加热过程	变 形	应 力
	室 温	原 长	无
	加 热	膨胀受阻	压 应 力
	冷 却	缩 短	无
	最 终 状 态	缩短中心变厚	无

表 5-3 金属棒膨胀和收缩都受拘束

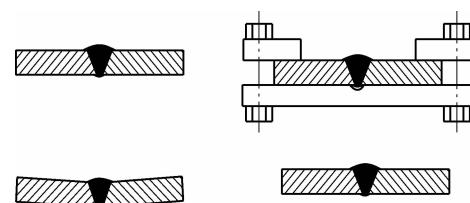
自由膨胀和收缩	加热过程	变 形	应 力
	室 温	原 长	无
	加 热	膨胀受阻	压 应 力
	冷 却	收缩受阻	拉 应 力
	最 终 状 态	原长中心变厚	拉 应 力

从表 5-2 可知, 金属棒加热时, 膨胀受到阻碍, 产生了压应力, 在压应力的作用下, 产生一定热压缩塑性变形。冷却时, 金属棒可以自由收缩, 冷却到室温后金属棒长度有所缩短, 应力消失。

由表 5-3 可知, 金属棒在加热和冷却过程中都受到拘束, 其长度几乎不能伸长也不能缩短。加热时, 棒内产生压缩塑性变形; 冷却时的收缩使棒内产生拉应力和拉伸变形。当冷却到室温后, 金属棒长度几乎不变, 但金属棒内产生了较大的拉伸应力。

在焊接过程中, 电弧热源对工件进行了局部加热, 整个工件温度处于不均匀状态, 焊缝及其附近金属加热到高温时, 由于受到周围温度较低部分金属的阻碍, 不能自由膨胀而产生了压应力, 如果压应力足够大就会产生塑性变形。当焊缝及其附近金属冷却发生收缩时, 同样会由于周围较低温度的焊缝金属的拘束, 不能自由收缩, 在产生一定的拉伸变形的同时, 产生了焊接拉应力。

例如试板不受拘束, 则高温时能自由膨胀, 冷却后不受任何拘束自由收缩, 由于熔敷金属的填充量较多, 因而自由收缩量较大, 会产生角变形, 但没有焊接应力。如果对 V 形坡口平板对焊进行刚性固定, 则加热膨胀在试板内会产生压应力和压缩变形, 冷却收缩在试板内产生拉应力和拉伸塑性变形。冷却到室温后, 若解除拘束, 则试板变形很小几乎看不出来, 但其内部会产生较大的拉应力, 如图 5-2



a)自由状态焊接

b)刚性固定焊接

图 5-2 平板对接

所示。

由以上分析可知，焊接过程中，对工件进行局部不均匀加热是产生焊接残余应力和焊接残余变形的主要原因。焊接接头的收缩造成了焊接结构的各种变形。另外在焊接过程中，焊接接头晶粒组织发生转变引起体积的变化，也会在金属内部产生焊接应力，同时也可能引起焊接变形。焊接残余应力和焊接残余变形同时存在，又相互制约。如果外力使焊接残余变形减小，则残余应力会增大；如果使残余应力减小，则残余变形会增大，应力和变形同时完全消除是不可能的。

第二节 焊接残余应力

焊接过程中，工件内产生的内应力叫焊接应力。根据作用时间的不同可分为瞬时应力和焊接残余应力。焊后残留在工件内的焊接应力叫焊接残余应力。焊接过程中，某一瞬时的焊接应力叫焊接瞬时应力，它随时间的变化而变化。

一、焊接残余应力的分类

焊接残余应力可根据产生原因、作用方向、作用形式及其在结构中的作用方向来分类。

(一) 根据焊接残余应力的产生原因分类

根据产生原因焊接残余应力可分为温度应力、组织应力、拘束应力和氢致应力。

1. 温度应力

温度应力也称为热应力，它是在焊接过程中，由于焊接热源在工件上的局部加热，使工件受热不均匀，造成温度分布的不均匀、各处变形不一致且相互制约而产生的应力。它主要与工件金属的热物理性质、工件内的温度分布及材料高温时的力学性能有关。焊接过程中温度应力在不断地变化，且峰值一般都达到屈服强度，因此产生了塑性变形，焊接过程结束并冷却后，产生的焊接残余应力保存下来。

2. 组织应力

焊接过程中由于焊接热循环的作用引起局部金属组织发生转变，随着金属组织发生变化而出现比体积变化，这种比体积的变化受到阻碍时便产生了应力。这种由于组织转变而引起的内应力叫组织应力。如奥氏体分解为珠光体进而引起比体积的增大，从而引起体积的变化，并且受到周边金属的约束，同时组织的转变也是不均匀的，因此便产生了组织应力。

3. 拘束应力

焊接过程往往是在结构自身拘束或外部拘束条件下进行的，它与结构形式、刚度、自重、焊接接头的位置、焊接顺序以及夹持工装卡具的位置及松紧程度等因素有关。这种拘束条件下的焊接，由于受到自身拘束或外部拘束的限制，不能自由变形便产生了拘束应力。

4. 氢致应力

在焊接过程中，由于焊接材料或操作技能等因素的影响，焊缝局部会产生显微缺陷，如气孔、夹渣等，扩散氢向显微缺陷处聚集，导致局部氢的压力增大，便产生氢致应力。氢致应力是导致焊接冷裂纹的重要因素之一。

(二) 根据焊接残余应力的作用形式分类

根据焊接残余应力的作用形式可分为拉应力、压应力、切应力。焊接过程中，焊缝区及周边一定范围内的金属受热膨胀，但受到离焊接热源更远处的低温金属的拘束，使受热膨胀金属受压应力作用，而周围低温部位的金属受拉应力作用，如图 5-3 的 I 所示。冷却时焊缝及周边一定范围内的金属收缩，但又受到离焊接热源更远处金属的制约，则产生拉应力，而离焊接热源更远处的金属受到压应力，如图 5-3 的 II 所示。当焊缝两侧金属受到的拉应力或压应力不同时，焊缝区

则产生了切应力。

(三) 根据焊接残余应力对焊缝的作用方向分类

根据焊接残余应力对焊缝的作用方向可分为纵向应力和横向应力。纵向应力是平行于焊缝方向的应力，横向应力是垂直于焊缝方向的应力。

(四) 根据焊接残余应力在结构中的作用方向分类

根据焊接残余应力在结构中的作用方向可分为单向应力、双向应力和体积应力。

1. 单向应力

在工件中只沿一个方向存在的应力叫单向应力，也称线应力。薄板焊接和圆棒对接时，长而窄的对接焊缝及表面堆焊结构中，如图 5-4 所示。

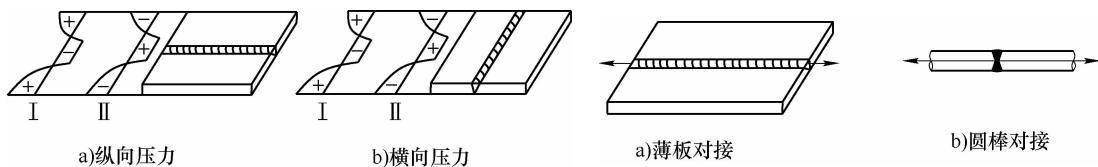


图 5-3 焊接加热和冷却时的应力

注：“+”为拉应力，“-”为压应力

图 5-4 焊接单向应力

2. 双向应力

在一个平面内沿着不同方向存在焊接残余应力，即纵向和横向都存在应力叫双向应力，也叫平面应力。如较厚板对接或宽板对接焊、表面堆焊及薄板十字焊接接头的结构，如图 5-5 所示。

3. 体积应力

在工件中沿空间三个方向上作用的应力叫体积应力，也叫三向应力。如厚大工件、表面堆焊、立体交叉焊的结构中，如图 5-6 所示。

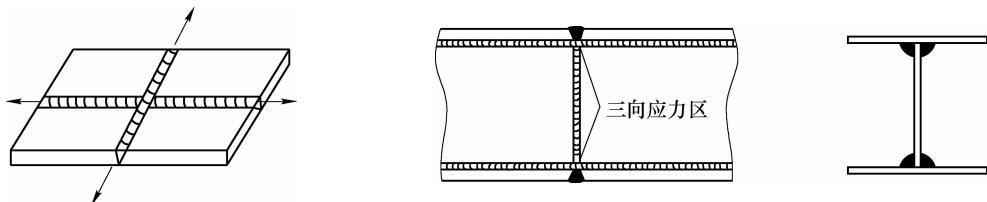


图 5-5 焊接双向应力

图 5-6 焊接体积应力

二、焊接残余应力的影响

任何焊接结构件中都不可避免焊接应力的存在，并且直接影响焊接结构的制造质量和安全使用性能。焊接应力也是产生热裂纹和冷裂纹的重要因素之一。下面从六个方面分析焊接应力对工件的影响。

(一) 对强度的影响

当结构承载的残余拉应力与工作应力叠加时，总应力提高。如果材料具有足够的塑性，则产生塑性变形，当应力峰值达到屈服强度后，该区应力不再增加而产生塑性变形，从而消耗了材料的一部分塑性。当材料的塑性耗尽时，就会造成塑性破坏。

如果在高残余拉应力区中存在严重的缺陷，而工件又在低于脆性转变温度下工作，则焊接残

余应力将使静载强度严重降低。在循环应力的作用下,如果在应力集中处存在着残余拉应力,则焊接残余拉应力将使工件的疲劳强度降低。工件的疲劳强度除与焊接残余应力的大小有关外,还与工件的应力集中系数、应力循环特征系数 $r = [\sigma_{\min}] / [\sigma_{\max}]$ 和循环应力的最大值 $[\sigma_{\max}]$ 有关,其影响随应力集中系数的降低而减弱,随 r 的降低而加剧(例如对交变疲劳强度的影响大于脉冲疲劳),随 $[\sigma_{\max}]$ 的增加而减弱。当 $[\sigma_{\max}]$ 接近于屈服强度时,焊接残余应力的影响逐渐消失。

(二) 对刚度的影响

焊接残余应力与外载引起的应力相叠加,可能使工件局部提前屈服产生塑性变形,工件的刚度会因此而降低。

(三) 对受压工件稳定性的影响

焊接杆件受压时,焊接残余应力与外载所引起的应力相叠加,可能使杆件局部屈服或使杆件局部失稳,杆件的整体稳定性将因此而降低。残余应力对稳定性的影响取决于杆件的几何形状和内应力分布。残余应力对非封闭截面(如工字形截面)杆件的影响比封闭截面(如箱形截面)的影响大。

(四) 对加工精度的影响

工件去除工夹具或焊后进行机械加工去掉一部分材料的同时破坏了原工件中内应力的平衡,使工件产生变形并且影响加工精度。所以焊接残余应力的存在对工件的加工精度有不同程度的影响。工件的刚度越小或加工量越大,对精度的影响也越大。

(五) 对尺寸稳定性的影响

有些工件在长期存放过程中因蠕变和应力松弛,焊接残余应力也随时间发生一定的变化,工件的尺寸也随之变化。工件的尺寸稳定性还受残余应力稳定性的影响。

(六) 对耐蚀性的影响

焊接残余应力和载荷应力一样,也能导致应力腐蚀开裂。图 5-7 所示就是因焊接残余应力导致锅炉炉胆开裂。

当工件接触腐蚀介质时,如低碳钢和低合金钢在硝酸铵溶液、氢氧化钠溶液、氨以及硫化氢等介质中,奥氏体不锈钢在氯化镁溶液、氯化物及氢氧化钠等介质中,拉伸残余应力与以上腐蚀介质的共同作用将产生应力腐蚀裂纹。裂纹细端在拉应力和腐蚀介质的连续作用下不断扩展。当裂纹发展到某一临界点后,结构就会发生低应力脆性断裂。拉伸残余应力越大,产生的应力腐蚀开裂就越快。



图 5-7 某锅炉炉胆因焊接残余应力开裂

第三节 焊接接头应力集中

一、焊接接头应力集中的概念

由于焊接接头的焊缝金属、熔合区和热影响区的成分、组织和性能互不相同也不同于母材,加上工作应力分布的不均匀导致了应力集中。

二、焊接接头应力集中的原因

(1) 焊缝中的工艺缺陷 焊缝中经常产生的气孔、裂纹、未熔合、夹渣、未焊透等焊接缺

陷，往往在缺陷周围引起应力集中。其中以裂纹、未熔合、未焊透引起的应力集中最严重。

(2) 不合理的焊缝外形 对接接头的焊缝余高过大以及角焊缝截面为凸形等在焊趾处都会形成较大的应力集中。

(3) 设计不合理的焊接接头 不等厚的钢板对接时，接头截面突变以及加盖板的对接接头等均会造成严重的应力集中。

(4) 焊缝布置不合理 如十字形接头、只有单侧角焊缝的T形接头等。

第四节 焊接残余应力的控制和消除

一、控制焊接残余应力的方法

焊接残余应力可以从设计和工艺两方面控制。

(一) 设计方面

应该在保证结构件有足够强度的前提下，尽量减少结构的刚性，采用全焊透的对接接头，有不等厚的要削薄圆滑过渡，减少焊接接头的数量、长度和尺寸，优先选用焊接性能好、韧性高的母材和焊材。焊接接头尽量对称于结构件截面的中心轴布置，避免密集和交叉布置。如GB150中规定筒节长度应不小于300mm，相邻筒节A类接头焊缝中间外圆弧长应大于板厚的3倍且不小于100mm；重要的T形结构采用根部焊透或深熔透结构；不在焊接接头上开孔；采用焊接接头系数（焊接接头系数指对接焊接的接头强度与母材强度的比值）为1的焊接接头，对接焊接接头要求100%射线检测；控制焊缝咬边深度和长度等；角焊缝凹形圆滑过渡；选择合理的焊接接头形式，将焊接接头布置在结构件最大应力区之外。

(二) 工艺方面

1. 焊前预热

焊前预热可使焊接接头的金属温差减少，减缓焊后冷却速度，从而降低焊接应力。

预热分整体预热法和局部预热法（包括加热减应区法）。局部预热法指焊接前，在结构件适当部位进行加热，如图5-8所示，使此部位伸长，在焊后冷却时，加热区和焊接接头的收缩方向相同，从而降低内应力。

2. 选择合理的组焊顺序和方向

施焊前，应考虑焊缝尽可能自由收缩，以减小结构的拘束度。厚板焊接时，可采用多层多道焊。焊接长焊缝或大型结构件时，焊接顺序应从中间向两端或四周顺序进行焊接。如锅炉管板与管束、冷凝器和换热器的管板焊接宜采用放射交叉式的焊接顺序，如图5-9b所示。对于多焊接接头，焊缝收缩量不同时，应先焊收缩量大的焊接接头，如图5-9c所示。

在结构上同时存在对接接头和角接接头时，就先焊对接接头，如盖板对接的工字梁，因为盖板对接焊缝的横向收缩量大，必须先焊，然后再焊接主角焊缝，图5-10所示。装配焊接复杂多样的结构，应根据结构件的不同特点，分成几个简单部件，分别装配焊接后再总装焊接。结构上对称的焊缝，应对称施焊，使其变形能相互抵消一部分。焊缝布置不对称的结构，如焊缝分布在中性轴一侧，则可先焊靠近中性轴的焊缝，然后焊接远离中性轴的焊缝。一般应遵循先焊对接焊缝，再焊角接焊缝；先焊短焊缝再焊长焊缝；先焊纵焊缝，再焊环焊缝；先焊间隙小的焊缝，再焊间隙大的焊缝；先焊变形小的焊缝，再焊变形大的

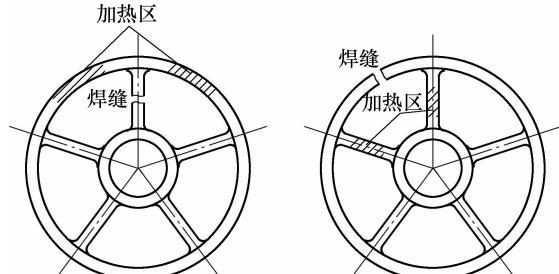


图5-8 断口焊前预热

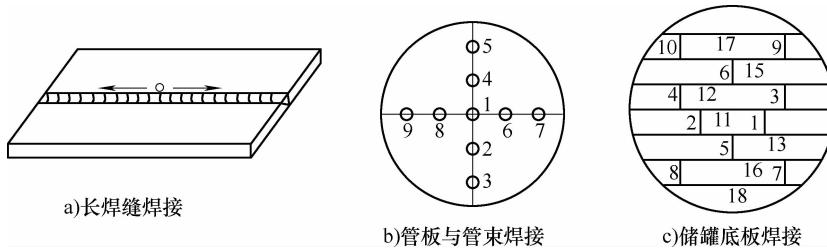


图 5-9 采取合理的焊接顺序和方向

焊缝等原则。

3. 选择合理的焊接参数

在保证焊接质量的前提下，尽量选用较小的焊接电流和较快的焊接速度，减小焊接热输入，以减少工件的受热范围。对于厚板多道焊焊缝，选择小的焊接参数进行多层多道焊，并控制道间和层间温度，能有效减小焊接残余应力。

4. 预制反变形法

预制反变形法指通过预先留出焊缝能够自由收缩的余量，使焊缝能够在一定程度上收缩，从而降低焊接残余应力。在焊接封闭环焊缝或其他刚性较大、自由度较小的焊缝时，可采取反变形措施，可以有效地控制焊接残余应力，如图 5-11 所示。

5. 锤击焊缝

每焊完一道焊缝，在焊缝冷却的同时用圆头小锤均匀地锤击焊缝使之延展，可以减小焊接残余应力。锤子重量为 0.5kg 左右，锤端带有 R10mm 左右的圆角，锤击时焊缝的温度应在 300℃ 以上或 100~150℃ 左右的范围内，不宜在 200~300℃ (蓝脆温度) 温度区间进行。多层焊时，第一层和最后一层不宜锤击以免影响质量，其余每层都要锤击。锤击时力度应保持均匀、适度。第一层不宜锤击是为了防止引起根部裂纹，最后一层不宜锤击是为了防止冷加工效应可能引起缺口冲击韧度的降低及影响表面质量。

6. 减小氢的存在

为了减小氢致应力集中，尽可能选择低氢型碱性焊接材料，焊接材料应严格按照要求烘焙后使用，并且对焊接区域及其附近采取预热、打磨等措施，去除水分、油污、铁锈等有害物质。有必要时焊后对接头进行消氢处理，方法是加热到 300~350℃，保温 2h，这样有利于扩散氢的逸出。

二、消除焊接残余应力的方法

焊接残余应力存在于焊接结构中，会导致焊接结构的承载能力下降。如使焊接结构的抗疲

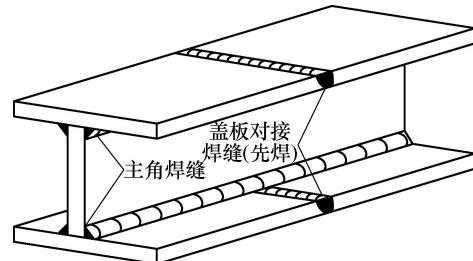


图 5-10 工字梁盖板对接焊缝和主角焊缝的焊接顺序

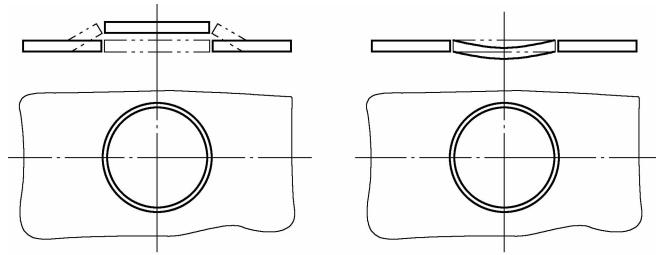


图 5-11 反变形法

劳、抗脆断、抗应力腐蚀能力的降低，尺寸稳定性下降，增大受压杆件、梁的失稳性等。一般焊接残余应力的影响只有在一定的条件下才表现出来，如低温、疲劳载荷、存在焊接缺陷、尺寸精度要求较高等工况。事实证明，许多结构未进行消除焊接残余应力处理，也能安全运行。焊接结构是否应消除焊接残余应力，要根据结构的用途、所选用材料的性能等方面综合考虑。焊接残余应力形成的根源是近缝区在焊接过程中产生的压缩塑性变形。因此消除残余应力的实质就是使焊接区产生适量的塑性伸长。按其性质，消除焊接残余应力的方法可分为热处理法和机械法。热处理法有整体和局部消除应力热处理，机械法分为过载拉伸、振动等。

（一）焊后热处理消除焊接残余应力

焊后热处理也叫高温回火处理，是目前最常用的焊后热处理方法。就是将工件整体或局部加热到一定温度，保温一定时间，其间，工件金属不会发生相变，但屈服强度降低，在残余应力的作用下产生一定的塑性变形，达到消除焊接残余应力的目的，然后缓慢冷却。部分钢材的消除应力热处理温度及保温时间见表 5-4。工件进出炉的温度应在 400℃ 以下，当加热到 400℃ 以上，升温速度不得超过 $5500/\delta_{PWHT}$ ℃/h，且不得超过 220℃/h，一般情况不低于 55℃/h。再缓慢降温，在 400℃ 以上，降温速度不得超过 $7000/\delta_{PWHT}$ ℃/h，且不得超过 280℃/h，一般情况不低于 55℃/h。到 400℃ 以下，可以出炉空冷，也可以随炉冷却。经过整体焊后热处理，工件上残余应力将有 85% 左右被消除。

表 5-4 部分钢材的消除应力热处理及保温时间

钢材	热处理温度/℃	最短保温时间/h		
		$\delta_{PWHT} \leq 50$	$50 < \delta_{PWHT} \leq 125$	$\delta_{PWHT} > 125$
Q235, 20, Q345, Q390, Q370R, 12MnNiVR	≥600	$\delta_{PWHT}/25$, 最少为 15min	$2 + (\delta_{PWHT} - 50)/100$	$2 + (\delta_{PWHT} - 50)/100$
15MnG, 18MnMoNbR, 20MnMoNb, 20MnMo 12GrMo	≥600	$\delta_{PWHT}/25$, 最少为 15min	$2 + (\delta_{PWHT} - 50)/100$	$2 + (\delta_{PWHT} - 50)/100$
12Gr1MoV, 14Gr1Mo, 15GrMo	≥650	$\delta_{PWHT}/25$, 最少为 15min	$\delta_{PWHT}/25$	$5 + (\delta_{PWHT} - 125)/100$

注： δ_{PWHT} 表示焊后热处理厚度。

当某些焊接结构件尺寸过大或不允许整体应力热处理时，如大型号厚壁容器、球罐等，可以选择分两次热处理或局部消除焊接残余应力热处理。分两次热处理时，重叠加热部分就在 1500mm 以上。局部消除焊接残余应力热处理可以降低焊接结构件残余应力的峰值，使应力分布趋于平缓，改善焊接接头的力学性能。局部热处理只适用于比较简单的工件，加热前应在外壁包裹绝热层，以降低温差和冷却速度，热处理加热宽度应大于焊缝每侧板厚的两倍。加热方法可选用电阻丝、远红外线、火焰、工频感应等。目前较常用的是远红外线加热方式。

（二）过载拉伸消除焊接残余应力

焊后对工件进行整体拉伸，能使焊接接头在拉力作用下产生一定塑性变形，与压缩残余变形相互抵消，以达到减小残余应力的目的。但整体拉伸程度要严格控制，以防止破坏工件的材料力学性能。锅炉压力容器耐压试验的压力一般大于工作压力，在进行耐压试验的同时也对工件进行了一次整体过载拉伸消除焊接残余应力。

（三）机械振动消除焊接残余应力

机械振动消除残余应力是用激振器使结构产生一个或多个共振或亚共振，使焊接残余应力得

以释放，从而降低焊接残余应力或使应力重新分布。机械振动消除焊接残余应力的优点是设备简单、时间短、费用低、节能，目前在工件、铸件、锻件中应用较多，能有效提高工件的尺寸稳定，消除残余应力 25% ~ 60%。但振动处理过程中，可能会产生裂纹或引起裂纹扩展，因此在脆断、疲劳、应力腐蚀危险的情况下不宜采用。

机械振动消除焊接残余应力，激振器的安装位置及工件的支撑很关键，一般激振器应安装在工件振动的波峰处，支撑物可用具有弹性的橡胶等，支撑位置应在工件振动的波节处，如图 5-12 所示，以便最大限度地释放能量。波峰和波谷的位置可采用沙子或凭手感确定。

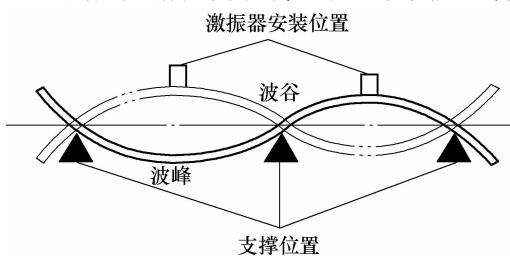


图 5-12 激振器的安装
和工件支撑位置

第五节 焊接变形

焊接是一种局部加热的过程，焊接结构一般都会产生焊接变形，使工件的形状和尺寸发生偏差，焊接残余变形必将对焊接结构的生产和使用产生影响。

一、焊接变形的分类

焊接变形分为焊接过程瞬间热变形和焊后残余变形，焊后残余变形以构件分，有面内变形和面外变形，面内变形包括焊缝纵向收缩变形、横向收缩变形、回转变形；面外变形包括角变形、弯曲变形、波浪失稳变形、扭曲变形，如图 5-13 所示。

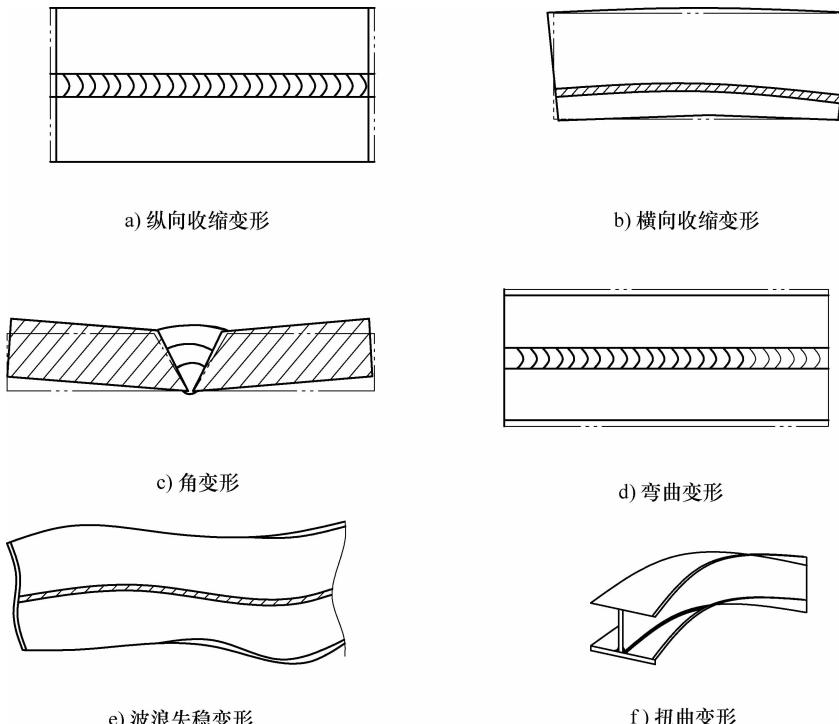


图 5-13 焊接变形的种类

(一) 纵向收缩变形

工件沿焊缝长度方向的收缩叫纵向收缩变形。对接焊缝纵向收缩量大约为焊缝长度的 $1/1000$ 。但也会随焊缝熔敷金属截面积的增加而有所增大，工件材料的线胀系数越大，焊接后焊缝的纵向收缩量也越大，如铝和不锈钢的线胀系数大，则焊接后焊缝的纵向收缩量也大。当多层焊时，第一层的收缩量最大，第二层的收缩量是第一层收缩量的 25% 左右，第三层的收缩量约是第一层收缩量的 $6\% \sim 12\%$ ，以后几层更小。

(二) 横向收缩变形

工件沿焊缝宽度方向的收缩叫横向收缩变形。焊缝的横向收缩变形随焊缝金属量、焊接热输入的增加而增加。所以对厚板来说，坡口角度越大，横向收缩量也越大。横向收缩量的估算经验公式：

$$\Delta L = 0.18 S_H / \delta$$

式中 ΔL ——横向收缩量 (mm)；

S_H ——焊缝横截面积 (mm^2)；

δ ——板厚 (mm)。

影响横向收缩量的因素有很多，如不同材料、不同工艺、不同结构、重复返修等。一般横向收缩量比纵向收缩量大得多。

(三) 角变形

焊接时，由于焊缝区沿厚度方向产生的横向收缩的不均匀引起的弯曲变形叫角变形，如图5-13c所示。这种变形是由于坡口不对称，厚度方向上的热输入不同，金属填充量不同，使横向收缩变形在厚度方向上分布不均造成的。在对接、搭接、堆焊、T形接头的焊接时往往会产生角变形。

(四) 弯曲变形

工件中性轴上下不对称的收缩所引起的变形称为弯曲变形。弯曲变形可由焊缝的纵向收缩和横向收缩共同作用引起或单一作用引起。弯曲变形的大小用挠度 f 的数值来衡量，挠度 f 是焊后工件的中心轴偏离工件原中心轴的最大距离，挠度越大，弯曲变形越大。弯曲变形常见于焊接梁、管道、柱子等工件。

(五) 波浪失稳变形

刚性较小的工件，在焊缝的纵向收缩和横向收缩的共同作用下，远离焊缝区域产生压应力，当压应力超过临界值就会使工件失稳，造成波浪失稳变形。薄板焊接时容易产生波浪变形。

(六) 扭曲变形

扭曲变形是由于装配不良、施焊顺序或方向不合理而使焊缝的纵向、横向收缩没有规律所引起的变形。

二、焊接变形的危害性

焊接变形是焊接结构生产中容易发生的现象，目前尚无不产生变形的焊接方法。焊接变形对结构的危害有以下几方面：

(1) 增加制造成本、浪费工时 生产中，如果工件出现了变形，就需要花许多工时和费用去矫正，比较复杂的变形，矫正的工作量也较大，甚至无法矫正造成报废。

(2) 降低工件的质量和性能 焊接变形影响工件的使用性能，降低承载能力。错边变形将造成几何形状不连续，产生很大的附加应力，影响结构的安全使用。

三、影响焊接变形的因素

- (1) 焊缝位置 结构中不对称布置的焊缝容易产生弯曲变形。
- (2) 结构刚性 刚性是结构抵抗变形的能力。刚性越大变形越小，刚性越小变形越大。
- (3) 装配、焊接顺序 装配、焊接顺序选择不当将容易导致变形。如焊前组对间隙大小不一时，应先焊间隙小的部位再焊间隙大的部位。大型设备采用分段焊接，先组焊变形小的结构，再组焊变形大的结构。对称焊缝可安排偶数的焊工同时对称施焊。
- (4) 热输入 焊接过程中热输入越大则变形越大。
- (5) 焊缝尺寸和坡口形式 焊缝尺寸或坡口尺寸越大则变形越大。一般单面焊比双面焊变形大。

第六节 焊接残余变形的预防与矫正

一、焊接残余变形的预防

(一) 设计阶段措施

- 1) 选择焊接工艺性好的结构形式。
- 2) 设计合理的焊缝尺寸和形式。
- 3) 合理安排焊缝布局和接头位置，尽可能减少焊缝数量。
- 4) 选用轧制型材、锻件、铸件和钣金成形件，构成最佳焊接结构。

(二) 制造阶段的工艺措施

1. 焊接前

- 1) 预变形法（反变形法）。焊接前事先估算好结构变形的大小和方向，然后把工件预设一定角度的变形，其与焊接残余变形方向相反、大小相近，以抵消焊接残余变形。采用反变形法的关键在于反变形预设量的控制，可在自由状态下做一个测试。反变形法应用比较普遍，如焊工考试对接试板。

- 2) 预拉伸法，包括机械拉伸和加热拉伸两种。

- 3) 刚性固定组装法，采用夹具或刚性胎具固定住焊件再行施焊。

2. 焊接中

- 1) 优选焊接方法，采用能量密度高的热源。几种常用的焊接方法中，焊接变形量由小到大的顺序为气体保护焊、焊条电弧焊、埋弧焊、电渣焊、气焊。

- 2) 采用合理的焊接参数，减少热输入。

- 3) 缩小焊接受热面积，采用强迫冷却（如铜衬垫或水冷）。

- 4) 选用合理的装配焊接顺序。

- 5) 低应力无变形焊接。

- 6) 锤击焊道。

二、焊接残余变形的矫正

焊接生产过程中，即使采取了预防变形的措施，但还可能会产生不同程度的变形。对超出技术要求的焊接残余变形，应当进行矫正。矫正变形的方法有机械矫正法和火焰矫正法。

(一) 机械矫正

机械矫正就是利用外力使工件产生新的塑性变形，其方向与焊接残余变形的方向相反，以抵

消除已经发生的焊接残余变形。采用机械矫正时，往往还通过锤击法来延展焊缝及其周边压缩塑性变形区域的金属，以达到消除焊接变形的目的。塑性较好的低碳钢、不锈钢等金属材料的焊接变形可选择机械矫正法。常用的矫正设备有压力机、滚床、千斤顶等，如图 5-14 所示。

(二) 火焰矫正

火焰矫正是指利用火焰对工件的局部进行加热，使工件局部产生热压缩塑性变形，冷却后该区域金属产生收缩，利用此收缩引起的变形与原来焊接产生的残余变形相互抵消。矫正时常用气焊焊炬或专用割炬，设备灵活机动，操作方便。火焰矫正的效果关键在于正确选择加热位置、加热温度和加热形状，与冷却速度关系不大。

1. 加热位置

正确选择火焰加热的位置是关键，错误的加热位置不但起不了矫正作用，反而会加重变形。火焰加热应选在使它产生的变形方向与焊接残余变形方向相反的位置，如图 5-15 所示，以达到抵消焊接残余变形的目的。

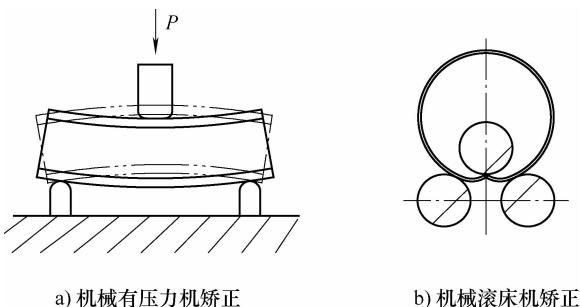


图 5-14 机械矫正实例

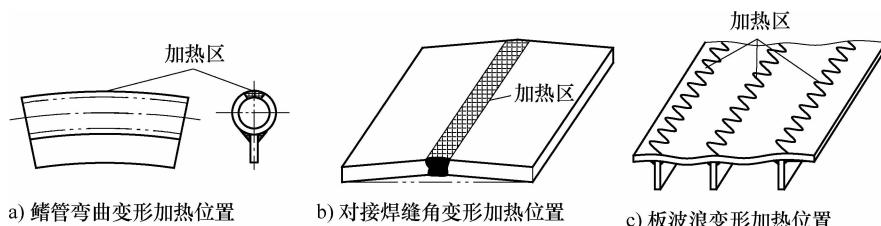


图 5-15 火焰矫正加热位置

2. 加热形状

火焰加热形状有点状加热、线状加热、面状（常为三角形）加热，如图 5-16 所示。

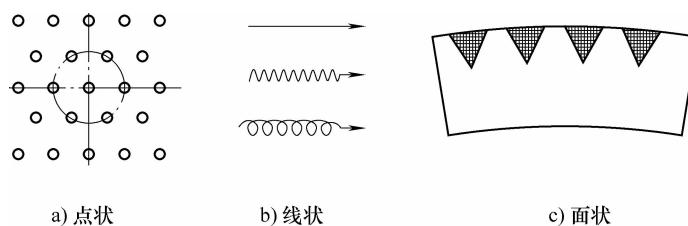


图 5-16 火焰矫正加热形状

(1) 点状加热 点状加热特别适用于薄板结构件波浪变形的矫正，一般采用多点加热，如图 5-17a 所示。加热点成梅花状均匀分布，加热点直径一般不小于 20mm，间隔距离在 50~80mm 间，如图 5-17b 所示。对于变形量大或板厚的工件，可以适当加大加热点直径并缩小加热点间距，加热的同时还可以对加热区锤击，锤击时应垫上衬板，以防工件表面出现印痕。

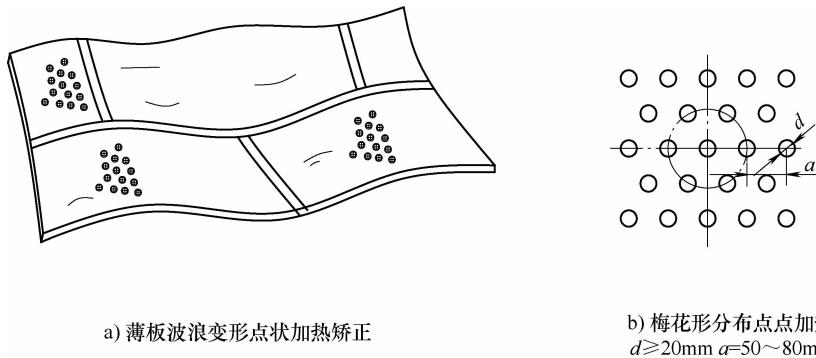


图 5-17 多点梅花状加热分布

(2) 线状加热 线状加热一般用于矫正变形量大、刚度较大的结构件。例如平板对接焊缝角变形的矫正如图 5-15b 所示, 底板与筋板角焊缝产生角变形的矫正如图 5-15c 所示, 箱形杆件的弯曲和扭曲变形的矫正如图 5-18 所示。加热时, 火焰沿直线移动或带有横向摆动, 形成一定宽度的加热带。

(3) 面状加热 面状加热也叫三角形加热, 对于矫正框架结构或梁等的弯曲变形有较明显效果。如 T 形梁 (图 5-19) 或工字梁 (图 5-20) 的矫正, 加热区呈三角形, 变形量大的一侧加热面积大, 使其产生的收缩量大, 达到整体变形得到矫正。

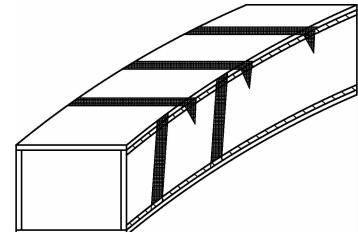


图 5-18 线状加热矫正

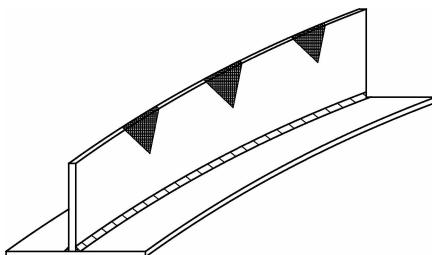


图 5-19 三角形加热矫正

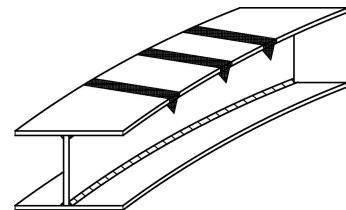


图 5-20 焊接工字梁弯曲变形矫正

实际使用过程中, 面状加热和线状加热是同时使用, 如工字梁弯曲变形的矫正, 腹板上一般采用面状加热, 翼板处一般采用线状加热, 组合使用效果更明显。

3. 加热区温度

火焰加热时, 加热温度一般应控制在 $600\sim800^\circ\text{C}$ 。因加热区的温度不便测定, 一般采用肉眼观察其颜色来判断加热温度, 金属加热温度及其相应加热颜色见第二章表 2-3。

高强度钢容器、低温容器、刚性拘束较大的厚壁容器, 所以有应力腐蚀倾向、尺寸精度要求高、密封性能要求好、形状复杂的结构, 焊后应做去应力处理。

第六章 焊接缺陷与焊接检验

我们常常将由焊接引起的在焊接接头中的金属不连续、不致密或连接不良的现象，称为焊接缺欠，超过规定限值的缺欠称为焊接缺陷。

焊接缺陷由于减少了焊缝截面积，降低了设备的承载能力，同时产生应力集中，降低疲劳强度，易引起工件破裂导致脆断。为了保证焊接工件的可靠性，需要针对不同性质的焊接缺陷采取不同的焊接检验方法。

第一节 焊接缺陷的分类

GB/T 6417. 1—2005《金属熔化焊接头缺欠分类及说明》将焊接缺欠根据其性质、特征分为六大类，分别为裂纹、孔穴、固体夹杂、未熔合及未焊透、形状和尺寸不良、其他缺欠。其中危害最大的是焊接裂纹。

一、裂纹

在焊接应力及其他致脆因素的共同作用下，材料的原子结合遭到破坏，形成新界面而产生的缝隙称为裂纹。它具有尖锐的缺口和长宽比大的特征，易引起较高的应力集中，而且有延伸和扩展的趋势，所以是最危险的缺陷。焊接接头中产生的裂纹包括：热裂纹、冷裂纹、再热裂纹和层状撕裂四大类。

（一）热裂纹

热裂纹是指在焊接过程中，焊缝和热影响区金属冷却到固相（ Ac_3 ）线附近，液态金属第一次结晶时产生的裂纹。热裂纹通常沿晶界开裂，裂纹表面有氧化色彩，失去金属光泽。

热裂纹产生的原因是低熔点共晶物富集在晶粒边界或焊缝中心，在焊缝冷却凝固时受到拉应力作用下形成开裂。通常发生在含杂质较多的碳钢、低合金钢、奥氏体不锈钢等材料焊缝中，如图 6-1 所示。

在焊接中，可以采取如下措施防止产生热裂纹：

1) 适当提高焊缝成形系数，即增加焊缝宽度，降低焊缝计算厚度，可采用多层多道焊法，改善散热条件，使低熔点物质上浮至焊缝表面而不存在于焊缝中，以降低偏析程度。

2) 合理选用焊接参数，采取预热和后热等措施，并保证层间温度不低于预热温度，减小焊接冷却速度，避免焊缝中出现淬硬组织。

3) 采用合理的装配次序，减小焊接应力。

4) 收弧时采用引出板或延时断弧，使焊缝金属填满弧坑，以减少弧坑裂纹的产生。

（二）冷裂纹

冷裂纹是指焊接接头冷却到 Ms 线（马氏体开始转变温度）以下时产生的裂纹，可能是焊后立即产生，也可能在焊后几小时、几天或更长时间出现，故也称为延迟裂纹。冷裂纹主要产生在热影响区，也有发生在焊缝区的。它可能沿晶开裂、穿晶开裂或两者混合出现。



图 6-1 热裂纹

冷裂纹的产生原因是在拉应力作用下，原子氢向高应力区（缺陷部位）聚集。当氢聚集到一定浓度时，就会破坏金属中原子的结合键，使金属内出现一些微观裂纹。在应力持续作用下，氢不断地聚集，微观裂纹不断地扩展，直至发展为宏观裂纹，最后断裂。一般来说，有一个临界的氢含量和一个临界的应力值决定冷裂纹的产生与否。

一般认为 $R_m \geq 450 \text{ MPa}$ 以上的材料都有可能发生冷裂纹。如耐热钢、马氏体不锈钢、含 Ni 的低合金钢、异种钢的焊接接头、特殊结构钢和堆焊层等。冷裂纹如图 6-2 所示。



图 6-2 冷裂纹

在焊接中，可以采取如下措施防止产生冷裂纹：

- 1) 选用低氢型焊条和焊剂，按规定温度和时间烘干，在保温筒中保存，随取随用。
- 2) 焊前除净待焊区的油、锈和其他有可能产生氢原子的污物。
- 3) 因 CO_2 气体保护焊可以获得低氢焊缝，故可考虑用 CO_2 气体保护焊焊接淬硬倾向较大、对氢敏感性较强的钢种。
- 4) 采取焊前预热、控制层间温度、焊后缓冷或焊后消氢处理等措施，来降低冷却速度，保证较低的应力水平。
- 5) 焊接时避免产生弧坑、咬边、未焊透等缺陷，以减少应力集中。
- 6) 焊后进行热处理，消除内应力，改善组织。

(三) 再热裂纹

再热裂纹是指接头冷却后再加热至 $550 \sim 650^\circ\text{C}$ 时产生的裂纹。再热裂纹产生于沉淀强化材料（如含 Cr、Mo、V、Ti、Nb 元素的金属材料）的焊接热影响区内的粗晶区，一般从熔合线向热影响区的粗晶区发展，呈晶间开裂特征。

再热裂纹的产生主要是近缝区金属在高温热循环作用下，强化相碳化物（如碳化钛、碳化钒、碳化铌、碳化铬等）沉淀在晶内的位错区上，使晶内的强化程度远远大于晶间，当强化相弥散分布在晶粒内时，会阻碍晶粒内部的局部调整，又会阻碍晶粒的整体变形。当应力松弛而发生塑性变形时，主要由晶界来承担。于是晶界区金属发生滑移，且在三晶粒交界处产生应力集中，就会产生裂纹。

有再热裂纹倾向的材料包括 Q370R、18MnMoNbR、13MnNiMoR、07MnCrMoVR、07MnNiMoVDR 和日本的 CF-62 系列钢。

在焊接中，可以采取如下措施防止产生再热裂纹：

- 1) 采用合理的预热或后热处理，若焊后能及时后热，可适当降低预热温度，在焊接中应采用较大的热输入，以控制冷却速度，降低再热裂纹倾向。
- 2) 在条件允许的前提下，尽可能加快升温速度，尽快越过再热裂纹敏感区，或缩短在此温度区内的停留时间，从而防止产生再热裂纹。
- 3) 在满足设计要求的前提下，可选用低强度焊接材料，使焊缝强度低于母材以增高其塑性。

变形能力。

(四) 层状撕裂

层状撕裂是指在具有丁字接头或角接接头的厚大工件中，沿钢板的轧制方向分层出现的阶梯状裂纹。层状撕裂实质上也是冷裂纹。

产生层状撕裂的原因是在轧制钢板中存在硫化物、氧化物和硅酸盐等低熔点非金属夹杂物，其中尤以硫化物的作用为主，在轧制过程中被延展成片状，分布在与表面平行的各层中，在垂直于厚度方向的焊接应力的作用下，夹杂物首先开裂并扩展，以后这种开裂在各层之间相继发生，连成一体，造成层状撕裂的阶梯性，如图 6-3 所示。

预防产生层状撕裂的措施如下：

- 1) 严格控制钢材的硫含量。
- 2) 采用强度级别较低的焊接材料。
- 3) 在与焊缝相连接的钢板表面堆焊几层低强度焊缝金属作为过渡层，以避免夹杂物处于高温区。
- 4) 预热和使用低氢型焊条，以降低钢材对冷裂纹的敏感性。

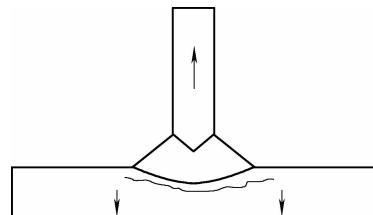


图 6-3 层状撕裂

二、孔穴

焊接接头的孔穴包括残留气体形成的气孔和由于凝固时收缩造成的缩孔。气孔按形状分为球状气孔、条形气孔和虫形气孔；按数量可分为单个气孔（图 6-4a）、均布气孔（图 6-4b）、局部密集气孔（图 6-4c）和链状气孔（图 6-4d）；缩孔可分为结晶缩孔和弧坑缩孔。



a)



b)

c)

d)

图 6-4 气孔

气孔产生的原因主要是，常温固态金属中的气体溶解度只有高温液态金属中气体溶解度的几十分之一至几百分之一，熔池金属在凝固过程中，有大量的气体要从金属中逸出。当金属凝固速度大于气体逸出速度时，就形成了气孔。

缩孔产生的原因是，金属液凝固时补缩不足导致的孔洞状缺陷。

焊接中防止焊缝中产生气孔的常用方法：

- 1) 仔细清除工件表面的污物, 焊条电弧焊时在坡口两侧正反面各 10mm、埋弧焊时各 20mm 范围内去除锈、油, 并打磨至露出金属光泽, 特别是在使用碱性焊条和埋弧焊时, 更应做好清洁工作。
- 2) 焊条和焊剂一定要严格按照规定的温度进行烘焙, 烘干焊条时, 每层焊条不能堆放太厚 (一般 1~3 层), 以免焊条烘干时受热不均和潮气不易排除。
- 3) 不应使用过大的焊接电流。
- 4) 采用直流电源施焊时, 电源极性应为反接。
- 5) 碱性焊条施焊时, 应采用短弧焊。
- 6) 引弧时应将焊条略作停顿, 对引弧处进行预热, 否则引弧处容易形成气孔。
- 7) 采用焊条电弧焊打底、埋弧焊盖面的工艺时, 打底焊条应为碱性焊条, 用酸性焊条打底极易产生气孔。
- 8) 气体保护焊时应调节气体流量至适当值, 流量太小, 保护不良, 易使空气侵入形成气孔。

三、固体夹杂

固体夹杂是指在焊缝金属中残留的固体杂质, 包括残留在焊缝金属中的焊渣、氧化物、硫化物和外来金属颗粒 (夹钨、夹铜等)。夹渣的分布与形状有单个点状夹渣、条状夹渣、链状夹渣和密集夹渣。夹渣的存在减少了焊缝的截面积, 降低了焊接接头的塑性和韧性, 带有尖角的夹渣会产生尖端应力集中, 尖端还会发展为裂纹源, 危害较大。夹渣如图 6-5 所示。

在焊接中防止夹渣产生的措施如下:

- 1) 当坡口尺寸不合理时, 采用小直径焊条。
- 2) 坡口有污物时, 要清理干净。
- 3) 多层焊时, 层间清渣要彻底。
- 4) 焊接热输入小, 熔渣流动性变差容易形成夹渣, 所以要加大焊接电流。
- 5) 焊缝散热太快, 液态金属凝固过快容易形成夹渣, 所以应降低冷却速度。
- 6) 焊条药皮、焊剂化学成分不合理, 熔点过高, 冶金反应不完全, 脱渣性不好。
- 7) 钨极惰性气体保护焊时, 电源极性不当, 电流大, 钨极熔化脱落于熔池中, 产生夹钨, 应当选择正确的电源极性, 使用适当的电流, 避免夹钨。
- 8) 焊条电弧焊时, 焊条摆动不良, 不利于熔渣上浮。应正确摆动焊条, 使熔渣上浮, 以防止夹渣的产生。

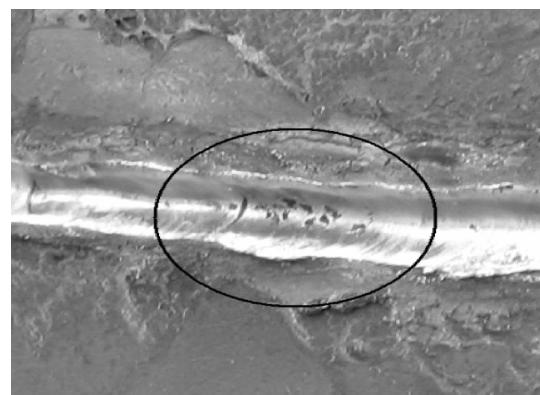


图 6-5 夹渣

四、未熔合和未焊透

(一) 未熔合

未熔合是指熔焊时焊道与母材之间或焊道与焊道之间未能完全熔化结合的缺陷。按其所在部位, 未熔合, 可分为坡口未熔合、层间未熔合及根部未熔合, 如图 6-6 所示。

未熔合是一种面积型缺陷, 坡口未熔合和根部未熔合对承载截面积的减小都非常明显, 应力集中也比较严重, 其危害性仅次于裂纹。



图 6-6 未熔合

在焊接中防止产生未熔合的措施如下：

- 1) 焊接坡口表面要加强清理，因为坡口或焊道有氧化皮、焊渣等杂质，会导致一部分热量损失在熔化杂质上，剩余热量不足以熔化坡口或焊道金属。
- 2) 调整合理的焊接参数，如加大焊接电流、电弧电压，减小焊接速度。
- 3) 焊条或焊丝的摆动角度应避免偏离正常位置，否则熔化金属流动而覆盖到电弧作用较弱的未熔化部分，容易产生未熔合。
- 4) 电弧在坡口面应适当停留，保证熔合好。

(二) 未焊透

当焊缝的熔透深度小于板厚时形成未焊透。单面焊时，焊缝熔透达不到钢板底部；双面焊时，两面焊缝熔深之和小于钢板厚度。

未焊透的危害之一是减少了焊缝的有效截面积，使接头强度下降。其次，未焊透引起的应力集中所造成的危害，比强度下降的危害大得多。未焊透如图 6-7 所示。

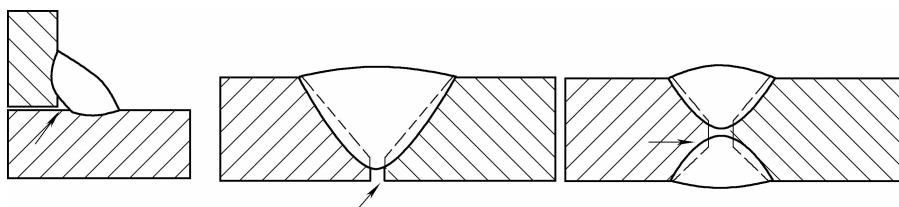


图 6-7 未焊透

在焊接中防止产生未焊透的措施如下：

- 1) 适当加大装配间隙，减小钝边长度，加大坡口角度。
- 2) 调整焊接参数，如增大焊接电流，降低焊接速度和电弧电压。
- 3) 打底焊时，采用小直径焊条。
- 4) 双面焊时，要加强对焊根清理。
- 5) 要注意焊条角度问题，防止焊条偏离焊道中心，包括磁偏吹和焊条偏心度。

五、形状与尺寸不良

形状与尺寸不良缺欠是指焊缝外表面形状或接头几何形状不良，包括咬边、缩沟、焊缝超高、凸度过大、下塌、焊瘤、错边、角度偏差、下垂、烧穿、未焊满、焊角不对称、焊缝宽度不齐、表面不规则、焊缝接头不良、变形过大、焊缝尺寸不正确、焊缝厚度过大、焊缝宽度过大、焊缝有效厚度过大或不足。

(一) 咬边

母材（或前一道熔敷金属）在焊趾处因焊接参数或工艺不正确而产生的不规则缺口称为咬边。咬边减小了母材金属的工作截面，降低了工件的承载能力，同时还会造成应力集中，发展为裂纹源。咬边如图 6-8 所示。

产生咬边的原因主要是焊接参数选择不对，电弧拉得太长，电流太大，焊接速度太慢，造成电弧热量太高，熔化的金属不能及时填补熔化的缺口。其次，直流焊时电弧的磁偏吹也是产生咬边的一个原因，因此角焊中，采用交流焊代替直流焊也能有效防止咬边。另外，在横、立、仰焊位置也会加剧咬边，因此要加强焊工技能培训。

(二) 缩沟

缩沟是指在根部两侧或中间焊道可观察到的沟槽。

在压力容器制造过程中，经常会使用衬环来焊接筒体最后一道环缝。

此类对接焊缝通过射线检测后，底片

上经常能看到一些貌似未熔合的伪缺陷影像。实质是带衬环焊缝根部收缩沟缺陷。

收缩沟产生的原因是带永久性衬垫板单面开V形坡口，在采用埋弧焊或焊条电弧焊过程中，细颗粒的焊剂（或药皮）在熔池底部与熔化的熔融金属熔合在一起，这种液态金属熔渣沿着衬板渗入贴合间隙中。由于垫板与筒体间隙不均匀，故液态金属熔渣会形成不规则的阴影。

(三) 下塌、焊瘤、下垂、烧穿

1. 下塌

下塌是穿过单层焊缝根部或从多层焊接接头穿过前道熔敷金属塌落的过量焊缝金属。产生下塌的原因是焊接电流过大、焊接速度偏小、坡口间隙过大而钝边偏小。实际焊接中应合理选择焊接参数，提高焊工焊接水平。

2. 焊瘤

焊瘤是指焊接过程中，熔化金属流淌到未熔化的母材上或从焊缝根部溢出，冷却后形成未与母材熔合的金属瘤。产生焊瘤的原因是焊接规范过强，焊条熔化过快。实际焊接过程中应适当降低焊接电流、加快焊接速度，拉长电弧。

3. 下垂

下垂是受重力作用焊缝金属塌落。因此在实际焊接过程中合理选择焊接参数，采用不同的运条手法。在立焊、仰焊时，平直焊产生的热量集中，熔化金属容易垂落，摆动焊可以避免这一现象发生。小节距摆动焊适用于打底焊，大幅度摆动焊适用于厚板的平焊、角焊、立焊和仰焊的中间层和盖面层。

4. 烧穿

烧穿是指焊接过程中，熔深超过工件厚度，熔化金属自焊缝背面流出，形成穿孔性缺陷。烧穿减少焊缝有效截面积，降低接头承载能力等。产生原因是焊接电流过大，焊接顺序不合理，焊接速度太慢，根部间隙太大，钝边太小等。防止措施是选择合适的焊接电流和焊接速度，缩小根部间隙，提高操作技能。

(四) 凹坑、未焊满

1. 凹坑

凹坑是指焊缝表面或背面局部低于母材的缺陷。凹坑多是由于收弧时焊条（焊丝）未作短时间停留造成的（此时的凹坑称为弧坑）。仰、立、横焊时，常在焊缝背面根部产生凹坑。凹坑如图6-9所示。

凹坑减小了焊缝的有效截面积，弧坑常常有弧坑裂纹或弧坑缩孔。防止措施是：尽量选用平焊位置，选用合适的焊接参数，收弧时让焊条在熔池内短时间停留或环形摆动，填满弧坑。

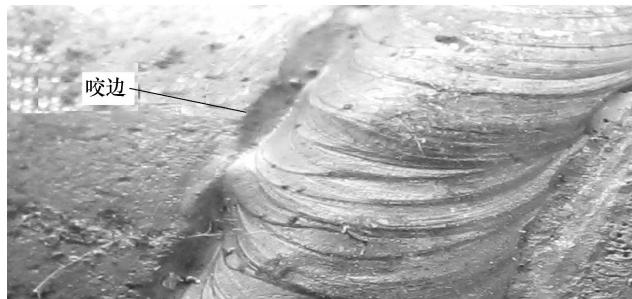


图 6-8 咬边

2. 未焊满

未焊满是指焊缝表面上纵向连续的或断续的沟槽。填充金属不足是产生未焊满的根本原因。

未焊满同样减小了焊缝的有效截面积，同时也会产生应力集中，由于规范太小使冷却速度增大，容易产生气孔、裂纹等缺陷。在实际焊接过程中，通过加大焊接电流、加焊盖面焊缝等措施来避免未焊满的产生。

(五) 焊脚不对称

同在一侧的角焊缝，其直角边上的焊脚不对称。这种缺陷会降低工件的承载能力，并造成一定的应力集中。在实际焊接中，应按图施工。



图 6-9 凹坑

(六) 焊缝几何形状不良

几何形状不良主要是指焊缝超高、凸度过大、焊缝宽度不齐、表面不规则、错边、角度偏差、焊缝接头不良等缺陷。这些缺陷不仅影响焊缝外观质量，而且极易造成应力集中。

缺陷形成原因主要是坡口角度不当，装配间隙不均匀，焊接参数选择不当，焊接电流过大或过小，焊接速度不均匀，运条手法不正确，焊条或焊丝过热等。

在焊接过程中，选择正确的焊接参数、适当的焊条及其直径，调整装配间隙，均匀运条，避免焊条或焊丝过热，就能避免以上缺陷。

(七) 焊缝尺寸不良

焊缝尺寸不良包括焊缝变形过大、焊缝尺寸不正确、焊缝厚度过大、焊缝宽度过大、焊缝有效厚度过大或不足等缺陷。在实际焊接过程中，应选择合适的坡口角度，保证装配间隙均匀，调整焊接参数，加强焊工培训。

六、其他缺陷

不包括前述五类焊缝缺陷在内的缺陷称为其他缺陷。包括如下几种：

(1) 电弧擦伤 在焊缝坡口外面引弧或引弧时在母材金属表面产生的局部损伤称为电弧擦伤。焊接淬硬性高的低合金高强度钢时，电弧擦伤极易引起裂纹的产生，因此引弧应在引弧板上进行。

(2) 飞溅 熔焊过程中向周围飞散的金属或焊渣颗粒称为飞溅。焊接完成后要及时清理。

(3) 钨飞溅 从钨极过渡到母材金属表面或凝固焊缝金属表面的钨颗粒称为钨飞溅。钨飞溅会降低工件的耐腐蚀能力或冲击韧度。因此在焊接中，一方面采用高频振荡器或高频脉冲引弧，另一方面操作时注意防止焊丝碰到钨极。

(4) 表面撕裂 表面撕裂是指拆除临时焊接附件时造成的表面损伤。表面撕裂是裂纹源，因此应重视。

(5) 磨痕或凿痕 磨痕或凿痕是指研磨或使用扁铲或其他工具造成的局部损伤。这类缺陷容易造成应力集中。

(6) 定位焊缺陷 定位焊缺陷是指定位焊不当造成的焊道破裂、未熔合等缺陷，或因定位未达到要求就施焊导致的缺陷。定位焊作为焊缝的一部分，焊工应持证上岗，否则应打磨去除。

第二节 焊接检验概述

焊接检验是对焊接工艺的验证过程，贯穿于整个焊接生产过程中。在不同阶段，焊接检验的目的也各不相同。焊前检验主要是检查技术文件是否完整齐全，原材料的质量是否可靠，焊接设备和焊工的资格是否符合要求，对预防焊接缺陷的产生具有重要意义。焊接过程中的焊接检验，主要是对焊接工艺的执行进行检查，可以防止焊接缺陷的产生，若出现焊接缺陷，也可以及时分析缺陷产生的原因，采取一定的纠错方案，保证工件在制造过程中的质量。焊后检验是为了保证所焊接的焊缝各项性能指标完全满足工件的设计要求。因此焊接检验是保证焊接结构获得可靠的质量的重要手段之一。

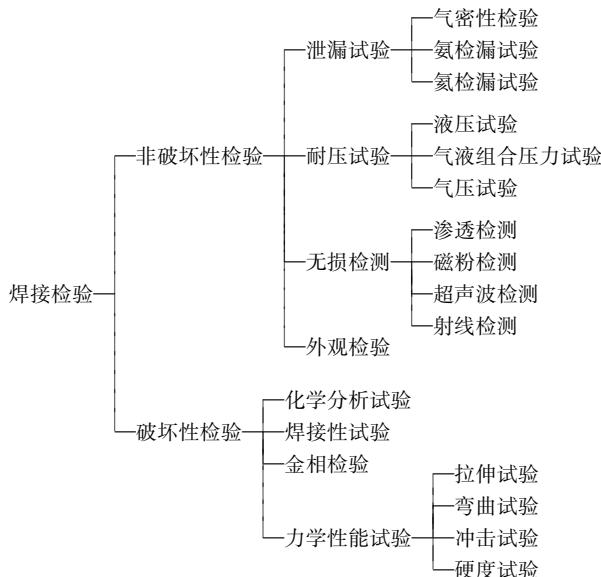
一、焊接检验的分类

在特种设备制造过程中，焊接检验应根据焊接生产的特点，严格按照相关的法律、法规、设计图样、技术标准和检验文件规定的要求进行检验。

图样规定了材料、焊缝位置、坡口形状和尺寸及焊缝的检验要求。而技术标准规定了焊缝的质量评定方法和要求。工艺规程、质量检验计划具体规定了检验方法和检验程序，还包括检查工程中的检验记录、不良品处理单、更改通知单，如图样更改、工艺更改、材料代用、追加或改变检验要求等所使用的书面通知。订货合同包括了用户对产品焊接质量的要求，也应作为图样和技术文件的补充规定。

常用的焊接检验方法分非破坏性检验和破坏性检验两大类。破坏性检验包括力学性能、化学分析、金相和焊接性试验；非破坏性检验包括外观检验、无损检验、耐压试验和泄漏试验等项目，其详细分类见表 6-1。

表 6-1 焊接检验方法的分类



二、焊接接头的破坏性检验

(一) 焊接接头力学性能试验

1. 焊接接头拉伸试验

焊接接头的拉伸试验一般都采用横向试样。当焊缝金属的强度超过母材金属，缩颈和破坏会发生在母材金属区。若焊缝金属强度远低于母材，塑性应变集中在焊缝内发生，在这种情况下，局部应变测得的断后伸长率将比正常标距低。所以横向焊接接头拉伸试验只可以评定接头的抗拉强度 R_m (MPa)，不能评定接头的屈服强度和断后伸长率。焊接接头的拉伸试验还可发现断口处有无气孔、裂纹、夹渣或其他焊接缺陷。

焊接接头的拉伸试验应按 GB/T 2651—2008 《焊接接头拉伸试验方法》的规定进行。接头拉伸试样的形状有板状试样、整管试样和圆形试样三种，应根据试验要求予以选用。

2. 焊缝及熔敷金属拉伸试验

试样应从焊缝及熔敷金属上纵向截取。加工完成后，试样的平行长度应全部由焊缝金属组成。通过试验可获得焊缝金属抗拉强度 R_m (MPa)、屈服强度 R_{el} (MPa)、断后伸长率 A (%) 和断面收缩率 Z (%)。此外，在断口处可检查有无气孔、裂纹、夹渣或其他焊接缺陷。

焊缝及熔敷金属拉伸试验应按 GB/T 2652—2008 《焊缝及熔敷金属拉伸试验方法》的规定进行。

3. 焊接接头弯曲及压扁试验

焊接接头弯曲及压扁试验是对焊接接头进行横向正弯及背弯、横向侧弯、纵向正弯及背弯、管材压扁等试验，从而确定接头拉伸面上的塑性和缺陷。焊接接头弯曲及压扁试验按照 GB/T 2653 《焊接接头弯曲试验方法》的规定进行。

焊接接头正弯是指受拉面是焊缝正面的弯曲；背弯是指受拉面是焊缝背面的弯曲，主要是检验焊缝根部的焊接质量；而侧弯是指受拉面是焊缝纵剖面的弯曲，检验焊缝与母材间的结合强度，以及多层焊时的层间缺陷。

4. 焊接接头冲击试验

将规定几何形状的缺口试样置于试验机两支座之间，缺口背向打击面放置，用摆锤一次打击试样，测定试样的吸收能量。可以测定焊缝、熔合线、热影响区和母材在突加载荷作用时对缺口的敏感性、冲击吸收能量 K (J)。

焊接接头冲击试验按 GB/T 2650—2008 《焊接接头冲击试验方法》进行。

5. 焊接接头及堆焊金属硬度试验法

硬度是指焊接接头抵抗局部变形或表面损伤的能力。由于硬度和强度有一定的关系，可以通过测定焊缝和热影响区的硬度，间接估算材料的强度，并比较焊接接头各个区域的性能差别和热影响区的淬硬倾向。

焊接接头的硬度试验一般在接头的横截面上测定，按照 GB/T 2654—2008 《焊接接头硬度试验方法》进行。

(二) 化学分析

焊缝的化学分析试验用来检查焊缝金属的化学成分。分析的元素有碳、锰、硅、硫、磷等五大元素，对于一些合金结构钢和不锈钢焊缝，还需分析相应的合金元素如铬、镍、钼、钒、铝、铜等。必要时还需分析焊缝中氢、氧、氮的含量。

(三) 金相检验

金相检验主要是检验焊缝金属及热影响区组织、晶粒度的变化和观察各种缺陷，从而对焊接材料、工艺方法和焊接参数作出相应的评价。

金相试验分为宏观金相试验和微观金相试验两大类。

(1) 宏观金相检验 用低倍放大镜或目视检查焊缝一次结晶组织的粗细程度、熔池形状、尺寸以及各种焊接缺陷等。一般是在试板上截取横断面试样进行酸浸试验。

(2) 微观金相检验 微观金相检验是在小于 2000 倍的光学 (或电子) 显微镜下进行金相分

析, 以确定焊缝金属中的显微缺陷和金相组织。

三、焊接接头的非破坏性检验

有些产品的检验是带有破坏性的, 就是产品检查以后本身不复存在或被破坏得不能再使用了。因此破坏性检验只能采用抽检形式。

而非破坏性检验是指检验时, 产品不受破坏, 对产品质量不发生实质性影响的检验。包括外观检验、无损检测、耐压试验和泄漏试验等。

(一) 外观检验

外观检验是一种常用的检验方法, 以肉眼观察为主, 必要时借助放大镜、量具和样板进行焊缝外观形状尺寸和表面质量的检验。焊缝外观尺寸主要用焊缝检验尺来进行检验。焊缝检验尺形状如图 6-10 所示。

焊缝检验尺主要由主尺、高度尺、咬边深度尺和多用尺四个零件组成。用来检测焊缝的各种坡口角度、高度、宽度、间隙和咬边深度。

1. 焊缝余高的测量

首先把咬边深度尺对准零位, 并紧固螺钉, 然后滑动高度尺与焊点接触, 高度尺的示值, 即为焊缝余高, 如图 6-11 所示。

2. 焊脚高度的测量

用尺的工作面紧靠工件和焊点, 并滑动高度尺与工件的另一边接触, 看高度尺示值, 即为角焊缝焊脚高度, 如图 6-12 所示。

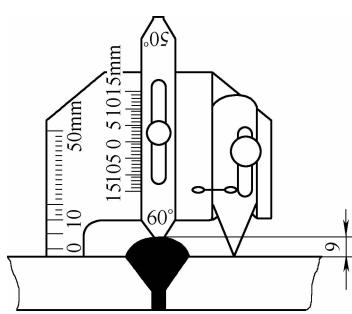


图 6-11 焊缝余高的测量

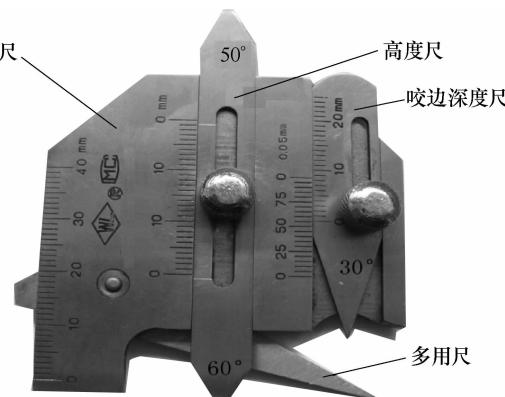


图 6-10 焊缝检验尺

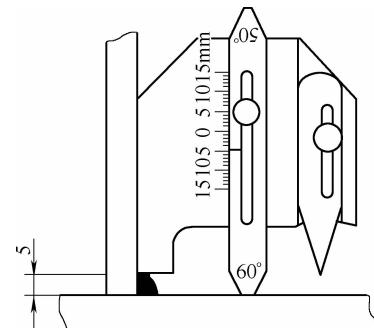


图 6-12 焊脚高度的测量

3. 角焊缝厚度的测量

首先把主体的工作面与工件靠紧, 并滑动高度尺与焊点接触, 高度尺所示值为焊缝厚度, 如图 6-13 所示。

4. 咬边深度的测量

首先把高度尺对准零位, 并拧紧螺钉, 然后使用咬边尺测量咬边深度, 看咬边尺指示值, 即为咬边深度, 如图 6-14 所示。

5. 焊缝宽度的测量

先用主体尺测量角靠紧焊缝的一边, 然后旋转多用尺测量角靠紧焊缝的另一边, 看多用尺的

指示值，即为焊缝宽度，如图 6-15 所示。

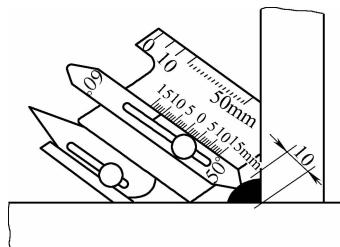


图 6-13 角焊缝厚度的测量

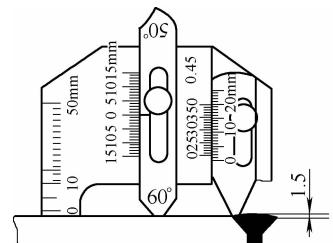


图 6-14 咬边深度的测量

6. 装配间隙的测量

用多用尺插入两工件之间，看多用尺上间隙尺指示值，即为间隙值，如图 6-16 所示。

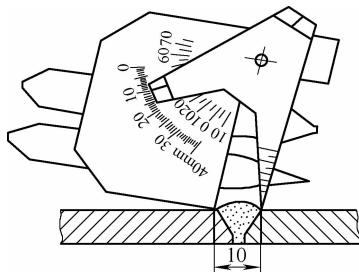


图 6-15 焊缝宽度的测量

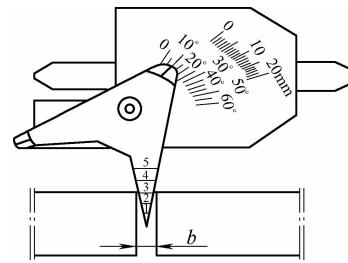


图 6-16 装配间隙的测量

7. 坡口角度的测量

首先用主尺紧贴工件表面，多用尺贴合坡口面，看主尺工作面和多用尺工作面所形成的角度，并记下多用尺指示线所指示的值，坡口角度为 180° 减去指示值如图 6-17 所示。

8. 错边的测量

将主尺与一边母材对齐，滑动高度尺与另一母材对齐，高度尺上所示的指示值就是错边的值，如图 6-18 所示。

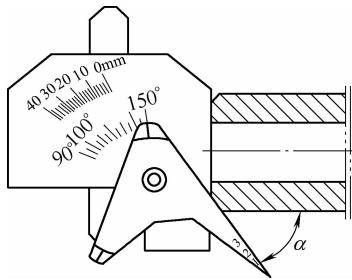


图 6-17 坡口角度的测量

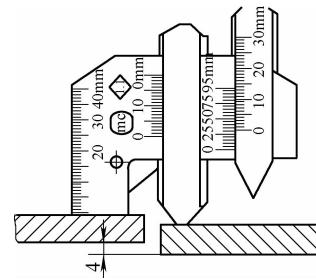


图 6-18 错边的测量

(二) 无损检测

焊接接头的无损检测是保证产品焊接质量的最重要手段之一。在特种设备的制造领域，磁粉检测、渗透检测、超声波检测和射线检测等检测方法应用得非常普遍。磁粉检测、渗透检测为表面检测方法，检查工件表面以及近表面区域的缺陷；超声波检测、射线检测则能很好地检测出工件内部的缺陷。

1. 射线检测 (RT)

(1) 原理 射线在穿透工件的过程中, 因为物质的吸收和散射使其强度减弱。强度减弱的程度取决于工件的衰减系数和穿透厚度。如果在工件中有缺陷, 由于缺陷与工件的衰减系数是不同的, 因而穿过缺陷的部位和完好部位的透射射线的强度就会不同, 在胶片上发生感光作用的程度也就不同, 经过暗室处理后, 底片上相应部位就会出现黑度差异。从而对缺陷作出定性和定量的评价。根据射线源种类的不同, 可分为 X 射线检测、 γ 射线检测和高能射线检测等。

(2) 应用范围 射线检测主要用于检查内部的体积缺陷, 如气孔、疏松、夹杂等。在射线与缺陷呈平行方向照射时可以发现裂纹、未焊透、未熔合等缺陷, 基本上可以确定缺陷的性质、位置、大小、形状和分布情况, 检测结果可长期保存。

射线检测所能检测缺陷的高度尺寸与透照厚度有关, 可以达到透照厚度的 1%; 所能检出的长度尺寸为毫米数量级; 宽度尺寸为 0.1mm 数量级, 甚至更小。

射线检测几乎不存在检测厚度下限, 检测厚度上限受射线能量的限制。420kV 的 X 射线机能穿透 80mm 厚度的钢, $\text{Co}60\gamma$ 射线能穿透厚度为 150mm 的钢。而更大的厚度需要高能射线检测(直线加速器), 最大能穿透 400mm 厚的钢。

2. 超声检测 (UT)

(1) 原理 超声检测是利用材料本身或内部缺陷的声学性质使超声波传播的方向或特征发生改变, 被检测设备接收并分析和评估缺陷的位置、大小、形状分布情况。最常用的方法为脉冲反射法。

(2) 应用范围 超声检测适用于金属、非金属和复合材料等多种制件。由于超声波穿透能力特别强, 因而检测厚度可达到几米。超声波遇到界面会发生反射的现象, 所以对那些与超声波声束方向垂直的面积性缺陷检出率较高。超声波常用来检测钢制对接接头(包括管座角焊缝、T 形焊接接头、支撑件和结构件)和堆焊层等工件。

3. 渗透检测 (PT)

(1) 原理 渗透检测的原理简单说就是将一种含有着色染料或荧光染料的液体渗透液敷在被检查的工件表面上, 在毛细作用下, 经过一定时间, 渗透液会渗入到表面开口的缺陷中去; 去除表面多余的渗透液, 经干燥显像后, 同样在毛细作用下, 显像剂将吸引缺陷中的渗透剂; 在一定的光源下(黑光或白光), 缺陷处的渗透剂痕迹被显示, 从而探测出缺陷的形貌及分布状态。

按渗透剂种类的不同, 可分为荧光渗透检测和着色渗透检测; 按显像剂分类的不同, 又可分为干式显像法、湿式显像法和无显像剂显像法。

(2) 应用范围 渗透检测是一种简便易行的检测方法。主要用于材料表面裂纹、针孔等开口缺陷的检查。无论是铁磁性材料还是非铁磁性材料, 表面检查都可用这种方法, 该方法能够弥补磁粉检测的不足。在不锈钢、镍基合金以及钛、铝、铜等材料表面检查方面, 渗透检测应用得也非常广泛。

4. 磁粉检测 (MT)

(1) 原理 铁磁性材料工件被磁化后, 由于不连续性的存在, 使工件表面和近表面的磁感应线发生局部畸变而产生漏磁场, 吸附施加在工件表面的磁粉, 在合适的光线下形成目视可见的磁痕, 从而显示出不连续性的位置、大小、形状和严重程度。

(2) 应用范围 磁粉检测只适用于铁磁性材料表面和近表面尺寸很小、间隙很窄(可检出长 0.1mm、宽为微米级的裂纹)和目视难以看出的缺陷。与渗透检测相比, 磁粉检测可以检测出近表面较深处存在的缺陷(直流便携式能检出 7mm 深的缺陷)。磁粉检测设备有固定式磁粉探伤机、移动式磁粉探伤机、便携式磁粉探伤机。固定式磁粉探伤机的尺寸和重量都比较大, 安装在固定场合, 主要用于中小型工件和需要较大磁化电流的可移动工件; 移动式磁粉检测机置于小

车上便于移动，主要用来检查小型工件和不易搬动的大型工件；便携式磁粉探伤机体积小、重量轻、易于搬动，适用于高空、野外等现场的磁粉检测及焊缝的局部检测。

(三) 耐压试验和泄漏试验

1. 耐压试验

耐压试验的目的是检验部件的强度和严密性。在试验过程中，通过观察部件有无明显变形和破裂，来验证设备是否具有设计压力下安全运行所必需的承压能力。同时观察焊缝和法兰等连接处有无渗漏，来检验设备的严密性。

耐压试验的试验压力要比最高工作压力还高，由于相同体积、相同压力的气体爆炸时所释放的能量要比液体大得多，为减轻设备在耐压试验时发生破裂所造成危害，所以试验介质常选用液体。因为水的来源比较方便，具有做耐压试验所需的各种性能，因而常用水做耐压试验的介质，故也称为水压试验。

(1) 水压试验 水压试验可以检验焊缝的密封性和受压元件的强度。当环境温度低于5℃时，必须人工加温维持水温在5℃以上方可进行水压试验。水质应当符合设计图样和相关标准的要求，试验合格后应当立即将水渍去除干净。

试验时，容器内灌满水，彻底排除空气，用水压机造成一附加静水压力，压力的大小可按产品的工作性质而定，一般为设计压力或最高允许工作压力（对在用设备为工作压力）的1.25~1.5倍。试验压力应按规定逐级上升，在试验压力下持续一定时间以后，再将压力降至设计压力后仔细检查焊缝，应无渗漏、可见的变形且在试验过程中无异常的响声，说明水压试验合格。否则应返修处理。

受压元件的水压试验应在无损检测和热处理后进行。

(2) 气压试验 所有压力容器和压力管道开车前都要试压，一般均采用水压试验，只有当设备或管道过大，或由于结构或支撑等其他原因，不能向设备内充灌液体，以及运行条件不允许残留试验液体时，才会采用气压试验。

《固定式压力容器安全技术监察规程》中规定，试验压力一般为设计压力或最高允许工作压力（对在用设备为工作压力）的1.10倍。试验压力只能用很低的压力来检查焊缝的密封性，绝不能用来检验受压元件的强度。这种试验由于升压迅速，有发生爆炸的可能性，是很不安全的，必须遵守相应的安全技术措施，避免发生事故。

试验所用气体应当为干燥洁净的空气、氮气或者其他惰性气体。气压试验的程序一般应当先缓慢升压至规定试验压力的10%，保压足够时间，并且对所有焊缝和连接部位进行初次检查；如无泄漏可继续升压到规定试验压力的50%；如无异常现象，其后按照规定试验压力的10%逐级升压，直到试验压力，并保持足够时间；然后降至设计压力，保压足够时间进行检查，检查期间压力应当保持不变，不能采用连续加压的方法来维持压力不变，且不能带压紧固螺栓或向受压元件施加外力。

气压试验的结果确认：对压力容器而言，在试验过程中，无异常响声，经过肥皂液或者其他检漏液检查，无漏气、无可见的变形即为合格。

2. 泄漏试验

耐压试验合格后，对于介质毒性程度为极度、高度危害或设计上不允许有微量泄漏的压力容器，应当进行泄漏试验。

泄漏试验按试验介质的不同，分为气密性试验以及氨检漏试验、卤素检漏试验和氦检漏试验。

(1) 气密性试验 试验压力为设备的设计压力，保压足够时间经检查无泄漏为合格。

(2) 氨检漏试验 根据设计图样要求，可采用氨-空气法、氨-氮气法、100%氨气法等氨检

漏方法。

(3) 卤素检漏试验 卤素检漏试验时, 容器内的真空度要求、采用的卤素气体种类、试验压力、保压时间以及试验操作程序, 按照设计图样的要求进行。

(4) 氦检漏试验 氦检漏试验时, 容器内的真空度要求、氦气浓度、试验压力、保压时间以及试验操作程序, 按照设计图样的要求进行。

通过以上各种非破坏性试验, 能够有效检测设备的制造质量, 特别是焊缝的焊接质量, 保证设备的有效运行。

第三节 特种设备的焊接检验

特种设备焊接完成后, 应进行相应的焊接检验, 由于特种设备涉及门类较多, 运行特点迥异, 所以要根据材料的特性、焊接方法等要求进行相应的焊接检验。

一、焊接检验的对象

焊接完成后进行的检验常常认为是对焊缝的检验, 但实际上应该对焊接接头进行检验。焊接接头是由两个或两个以上零件焊接组合或焊合的接点, 包括焊缝、熔合区和热影响区三部分, 如图 6-19 所示。

(一) 焊缝

焊缝是母材金属及填充金属熔化后, 冷却凝固形成的结合部分。焊缝组织是液体金属通过二次结晶的铸态组织, 虽然一次结晶时产生化学成分偏析, 组织不致密, 但通过二次结晶后, 晶粒较细, 且通过填充金属调整焊缝化学成分, 使其含有一定的合金元素, 因此焊缝金属的力学性能问题不大, 特别是强度容易达到要求。

(二) 熔合区

熔合区是熔化区和非熔化区之间的过渡部分。熔合区化学成分不均匀, 晶粒粗大, 往往是粗大的过热组织或粗大的淬硬组织。其性能常常是焊接接头中最差的。熔合区附近是产生裂纹和局部脆性破坏的高发区。

(三) 热影响区

热影响区是受焊缝区的高温加热(但未熔化)造成金相组织和力学性能改变的区域。低碳钢的热影响区可分为过热区、正火区和部分相变区。

1) 过热区(粗晶粒区)是最高加热温度在 1100°C 以上的区域, 晶粒粗大, 甚至产生过热组织。过热区的塑性和韧性明显下降, 是热影响区中力学性能最差的部位。

2) 正火区(重结晶区)是最高加热温度从 Ac_1 至 1100°C 的区域, 焊后空冷得到晶粒较细小的正火组织。正火区的力学性能较好。

3) 部分相变区是最高加热温度从 Ac_1 至 Ac_3 的区域, 部分重结晶的组织晶粒较细, 而最初转变的那部分铁素体, 在升温中晶粒长大, 所以该区晶粒大小极不均匀, 力学性能也较差。

综上所述, 在整个焊接接头中, 熔合区和热影响区的过热区是组织性能最差的部分, 同时由于此处余高的存在, 造成结构的不连续, 往往产生应力集中而造成破坏。因此在焊接检验中尤其应注意。

二、承压类设备的焊接检验

承压类特种设备包括锅炉、压力容器和压力管道。锅炉上焊接检验应符合《锅炉安全技术

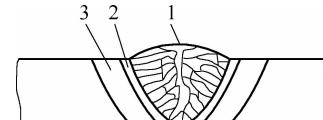


图 6-19 焊接接头示意图

1—焊缝金属 2—熔合区
3—热影响区

监察规程》以及其他相关安全技术规范、国家标准和行业标准。压力容器的焊接检验应符合《固定式压力容器安全技术监察规程》《简单压力容器安全技术监察规程》以及其他相关安全技术规范和GB 150《压力容器》等相关标准。压力管道应符合TSG D0001—2009《压力管道安全技术监察规程——工业管道》等相关安全技术规范和GB/T 20801—2006《压力管道规范 工业管道》等相关标准。

(一) 外观检验

1. 《锅炉安全技术监察规程》中的规定

《锅炉安全技术监察规程》第4.5款规定，锅炉受压元件及其焊接接头质量检验，包括外观检验、通球试验、化学成分分析、无损检测、力学性能检验、水压试验等。

《锅炉安全技术监察规程》第4.5.1款规定“受压元件焊接接头”（包括非受压元件与受压元件焊接的接头）应进行外观检验，并且至少满足以下要求：

(1) 焊缝外形尺寸符合设计图样和工艺文件的规定；

(2) 对接焊缝高度不低于母材表面，焊缝与母材平滑过渡，焊缝及其热影响区表面无裂纹、夹渣、弧坑和气孔；

(3) 锅筒（锅壳）、炉胆、集箱的纵（环）焊缝及封头（管板）的拼接焊缝无咬边，其余焊缝咬边深度不超过0.5mm，管子焊缝两侧咬边总长度不超过管子周长的20%，且不超过40mm。

《锅炉安全技术监察规程》第4.5.2款规定“对接焊接的受热面管子，应当按照相应标准规定进行通球试验。”

2. 《固定式压力容器安全技术监察规程》中的规定

《固定式压力容器安全技术监察规程》第4.4.2条对焊接接头的表面质量作如下规定：

1) 不得有表面裂纹、未焊透、未熔合、表面气孔、弧坑、未填满和肉眼可见夹渣等缺陷。

2) 焊缝与母材应当圆滑过渡。

3) 角焊缝的外形应当凹形圆滑过渡。

4) 按照疲劳分析设计的压力容器，应当去除纵、环焊缝的余高，使焊缝表面与母材表面平齐。

5) 咬边及其他表面质量，应当符合设计图样和本规程引用标准的规定。

3. 压力管道焊接接头的表面质量

TSG D0001—2009《压力管道安全技术监察规程——工业管道》第八十二条规定：“所有管道的焊接接头应当先进行外观检查，合格后才能进行无损检测。焊接接头外观检查的等级和合格标准应当符合GB/T 20801《压力管道规范 工业管道》的规定。”

压力管道的检查等级分为I、II、III、IV、V五个等级，其中I级最高，V级最低。GB/T 20801.5—2006《压力管道规范 工业管道第5部分：检验和试验》中有关表面质量的要求如下：

1) 不得有表面裂纹、未焊透、未熔合、表面气孔、夹渣等缺陷。

2) 检查等级为I级的焊缝和各等级的纵缝，不得有咬边缺陷；检查等级为V级的对接环焊缝的咬边深度小于或等于1.5mm和较薄件的名义厚度的1/4或1mm；其余焊缝的咬边深度小于或等于1mm和较薄件的名义厚度的1/4。

3) 焊接接头中两个连接件厚度较薄者的名义厚度≤6mm，余高≤1.5mm；6mm<名义厚度≤13mm的，余高≤3mm；13mm<名义厚度≤25mm的，余高≤4mm；名义厚度>25mm的，余高≤5mm；检查等级为V级的焊缝余高为上述值的1.5倍。

(二) 无损检测

承压类特种设备焊接接头的无损检测等级、检测范围和部位、检测数量、检测方法、合格要

求应当符合相关的安全监察规程和标准的要求，无损检测应按 JB/T 4730—2005《承压设备无损检测》的规定执行。

1. 射线检测

射线检测时，锅炉受压部件焊接接头的射线检测技术等级不低于 AB 级，焊接接头的质量等级不低于Ⅱ级。

TSG R0004—2009《固定式压力容器安全技术监察规程》规定的射线检测技术的要求如下：

1) 要求进行全部无损检测的对接接头，射线检测技术等级不低于 AB 级，合格级别不低于Ⅱ级。

2) 要求进行局部无损检测的对接接头，射线检测技术等级不低于 AB 级，合格级别不低于Ⅲ级。

3) 角接接头、T 形接头，射线检测技术等级不低于 AB 级，合格级别不低于Ⅱ级。

TSG D0001—2009《压力管道安全技术监察规程——工业管道》第八十五条第（一）款规定：“名义厚度小于或者等于 30mm 的管道，对接接头采用射线检测，如果采用超声检测代替射线检测，需要取得设计单位的认可，并且其检测数量应当与射线检测相同”。GB/T 20801.5—2006《压力管道规范 工业管道第 5 部分：检验和试验》第 6.3.2 条规定“100% 射线检测的焊接接头按 JB/T 4730.2—2005 的Ⅱ级合格，抽样或局部进行射线检测的焊接接头按 JB/T 4730.2—2005 的Ⅲ级合格”。

2. 超声波检测

超声波检测时，锅炉受压部件焊接接头的超声检测技术等级不低于 B 级，焊接接头的质量等级不低于Ⅰ级。

TSG R0004—2009《固定式压力容器安全技术监察规程》规定的超声检测技术要求如下：

1) 要求进行全部无损检测的对接接头，脉冲反射法超声检测技术等级不低于 B 级，合格级别为Ⅰ级。

2) 要求进行局部无损检测的对接接头，脉冲反射法超声检测技术等级不低于 B 级，合格级别不低于Ⅱ级。

3) 角接接头、T 形接头，脉冲反射法超声检测技术等级不低于 B 级，合格级别为Ⅰ级。

4) 采用衍射时差法超声检测的焊接接头，合格级别不低于Ⅱ级。

TSG D0001—2009《压力管道安全技术监察规程——工业管道》第八十五条第（一）款规定：“管道名义厚度大于 30mm 的对接接头可采用超声检测代替射线检测”。GB/T 20801.5—2006《压力管道规范 工业管道第 5 部分：检验和试验》第 6.3.2 条规定：“100% 超声波检测的焊接接头按 JB/T 4730.3—2005 的Ⅰ级合格，抽样或局部进行超声波检测的焊接接头按 JB/T 4730.3—2005 的Ⅱ级合格”。

3. 表面无损检测

承压类设备的焊接接头的表面无损检测均应按相关安全规程、标准和 JB/T 4730 的规定执行，合格级别为Ⅰ级。

三、机电类主要受力结构件的焊接检验

GB 50017—2003《钢结构设计规范》把焊缝的质量分为三个等级。

1) 在需要进行疲劳计算的构件中，凡对接焊缝均应焊透，其焊缝质量等级为：

①作用力垂直于焊缝长度方向的横向对接焊缝或 T 形对接与角接组合焊缝，受拉时应为一级，受限时应为二级。

②作用力平行于焊缝长度方向的纵向对接焊缝应为二级。

2) 不需要计算疲劳的构件中, 凡要求与母材等强度的对接焊缝应全焊透, 其质量等级受拉时应不低于二级, 受压时宜为二级。

3) 重级工作制和起重量 $Q \geq 50t$ 的中级工作制吊车梁的腹板与上翼缘之间以及吊车桁架上弦杆与节点板之间的T形接头的焊缝均要求焊透, 焊缝形式一般为对接与角接组合焊缝, 其质量等级不应低于二级。

4) 不要求焊透的T形接头采用的角焊缝或部分焊透的对接与角接组合焊缝, 以及搭接连接采用的角焊缝, 其质量等级为:

①对直接承受动力荷载且需要验算疲劳的结构和吊车起重量等于或大于50t的中级工作制吊车梁, 焊缝的外观质量标准应符合二级。

②对其他结构, 焊缝的外观质量标准可为三级。

对于不同的焊缝质量等级, GB/T 50205—2001《钢结构工程施工质量验收规范》和JGJ 81—2002《建筑钢结构焊接技术规程》中规定了焊缝要达到的质量要求(包括外观和无损检测等)。

(一) 外观检验

TSG Q0002—2008《起重机械安全技术监察规程—桥式起重机》第八十四条第(一)款规定了起重机械主要受力结构件焊缝的表面质量:“焊缝外部宏观检查, 不得有可见的裂纹、未熔合、未焊透、夹渣等缺陷”。

GB/T 50205—2001《钢结构工程施工质量验收规范》适用于建筑工程的单层、多层、高层以及网架、压型金属板等钢结构工程施工质量的验收。该规范第5.2.6条规定:“焊缝表面不得有裂纹、焊瘤等缺陷。一级、二级焊缝不得有表面气孔、夹渣、弧坑裂纹、电弧擦伤等缺陷。且一级焊缝不得有咬边、未焊满、根部收缩等缺陷”。

(二) 无损检测

对《钢结构设计规范》(GB 50017—2003)中所提到的三个级别的焊缝, 在对一级和二级焊缝进行射线或超声无损检测时, 对于一级焊缝检测比例为100%, 二级焊缝检测比例 $\geq 20\%$; 对于一级焊缝合格级别要达到GB/T 3323—2005《金属熔化焊焊接接头射线照相》中A级的Ⅱ级以上, 或GB 11345《钢焊缝手工超声波探伤方法和探伤结果分级》中B级检验的Ⅱ级以上, 对于二级焊缝要达到GB/T 3323—2005《金属熔化焊焊接接头射线照相》中A级的Ⅲ级以上, 或GB/T 11345—1989《钢焊缝手工超声波探伤方法和探伤结果分级》中B级检验的Ⅲ级以上。

在对起重机械进行无损检测时, GB 6067.1—2010《起重机械安全规程 第1部分: 总则》第3.3.4条明确了金属熔焊焊接接头的焊缝等级应符合JB/T 10559—2006《起重机械无损检测 钢焊缝超声检测》中的质量分级规定, 即1级焊缝是指重要受拉结构件的焊接接头, 2级焊缝是指一般受拉结构件的焊接接头, 3级焊缝是指受压结构件的焊接接头。同时第3.3.5条对内部缺陷的检验作了如下要求:

1) 1级焊缝应进行100%的检验。采用超声波检测时, 其评定合格等级应达到JB/T 10559—2006《起重机械无损检测 钢焊缝超声检测》的1级焊缝的验收准则要求。采用射线检测时, 应达到GB/T 3323—2005《金属熔化焊焊接接头射线照相》要求, 透照技术等级不低于A级, 合格级别不低于Ⅱ级。

2) 2级焊缝可根据具体情况进行抽检。采用超声波检验时, 其评定合格等级应达到JB/T 10559—2006《起重机械无损检测 钢焊缝超声检测》的2级焊缝的验收准则要求。采用射线检测时应达到GB/T 3323—2005《金属熔化焊焊接接头射线照相》要求, 透照技术等级不低于A级, 合格级别不低于Ⅲ级。

3) 3级焊缝可根据具体情况进行抽检, 采用超声波检验时其评定合格等级应达到JB/T 10559—2006《起重机械无损检测 钢焊缝超声检测》的3级焊缝的验收准则要求。射线检测不

作规定。

另外,第3.3.6条对表面检测的规定为:“当在外观检查怀疑有裂纹、设计文件规定或检验员认为有必要时,应进行表面检测,磁粉检测应符合JB/T 6061—2007的规定,渗透检测应符合JB/T 6062—2007的规定”。

四、特种设备焊工焊接操作技能考核试件的焊接质量检验

特种设备焊工在焊接操作技能考核时,需要对每个焊接试件进行焊缝的外观检查,合格后再进行无损检测、弯曲试验和金相检验(宏观)等项目。

(一) 外观检查

TSG Z6002—2010《特种设备焊接操作人员考核细则》明确规定了焊缝的外观检查内容和评定指标。检查内容包括焊缝表面、焊缝外形尺寸和试件外形尺寸。

1. 焊缝表面

1) 各种焊缝表面不得有裂纹、未熔合、夹渣、夹钨、气孔、焊瘤和未焊透,机械化焊接(简称“机动焊”)和自动焊的焊缝表面不得有咬边和凹坑。

2) 手工焊焊缝表面的咬边和背面凹坑不得超过表6-2的规定,镍和镍合金、钛和钛合金的焊缝表面不得有咬边。

3) 堆焊两相邻焊道之间的凹下量不得大于1mm,焊道间搭接接头的不平度在试件范围内不得超过1.5mm。

4) 钛材焊缝和热影响区的表面颜色检查,银白色、金黄色(致密)为合格,蓝色、紫色、灰色、暗灰色与黄色粉状物均为不合格。

表6-2 试件焊缝表面缺陷规定

缺陷名称	允许的最大尺寸	
咬边	深度小于或者等于0.5mm,焊缝两侧咬边总长度不得超过焊缝长度的10%	
背面凹坑	1. 当 $T \leq 5\text{mm}$ 时,深度不大于 $25\%T$,且不大于1mm 2. 当 $T > 5\text{mm}$ 时,深度不大于 $20\%T$,且不大于2mm 3. 除仰焊位置的板材试件不作规定外,总长度不超过焊缝长度的10%	

2. 焊缝外形尺寸

焊缝外形尺寸应当符合表6-3和以下规定(除电渣焊、摩擦焊、螺柱焊外,厚度大于或者等于20mm的埋弧焊试件,余高可为0~4mm)。

表6-3 试件焊缝外形尺寸 (单位: mm)

焊接方法、 机动化程度	焊缝余高		焊缝余高差		焊缝宽度		焊道高度差	
	平焊	其他位置	平焊	其他位置	比坡口 每侧增宽	宽度差	平焊	其他位置
手工焊	0~3	0~4	≤2	≤3	0.5~2.5	≤3	—	—
机动焊和自动焊	0~3	0~3	≤2	≤2	2~4	≤2	—	—
堆焊	—	—	—	—	—	—	≤1.5	≤1.5

- 1) 焊缝边缘直线度 f , 如图 6-20 所示, 手工焊 $f \leq 2\text{mm}$, 机动焊与自动焊 $f \leq 3\text{mm}$ 。
- 2) 角焊缝试件、管板角接头试件的角焊缝中, 焊缝的凹度或凸度不大于 1.5mm , 如图 6-21 所示。

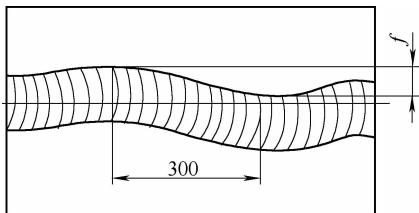


图 6-20 焊缝直线度

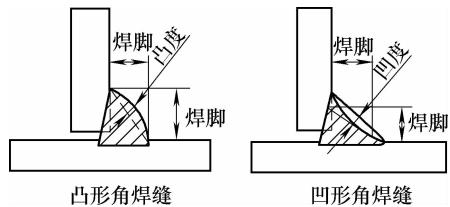


图 6-21 焊缝的凹度或凸度

- 3) 角焊缝试件的焊脚为 $(0.5 \sim 1)T$, 两焊脚之差小于或者等于 3mm ; 管板角接头试件中管侧焊脚为 $(0.5 \sim 1)T$ 。

- 4) 不带衬垫的板材对接焊缝试件、不带衬垫的管板角接头试件和外径不小于 76mm 的管材对接焊缝试件, 背面焊缝的余高不大于 3mm , 焊缝余高如图 6-22 所示。

3. 试件外形尺寸

板材对接焊缝试件焊后变形角度 θ 小于或者等于 3° (有色金属试件焊后变形角度小于或者等于 10°), 试件错边量 e 不得大于 $10\%T$, 且小于或者等于 2mm , 如图 6-23 所示。

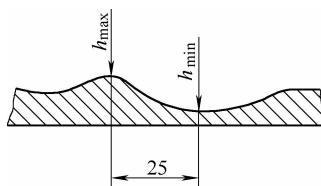


图 6-22 焊缝余高

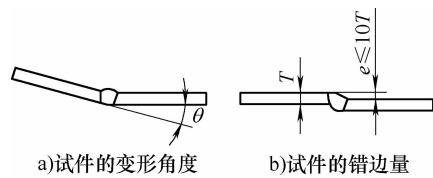


图 6-23 板材试件的变形角度和错边量

(二) 无损检测

对接焊缝试件 (包括板材对接和管材对接), 外观检验合格后, 均应进行 100% 射线检测。射线检测按照 JB/T 4730.2—2005 《承压设备无损检测 第 2 部分: 射线检测》标准进行, 射线检测不低于 AB 级, 合格等级不低于 II 级; 机电类结构件焊工考试试件可以按照相关的设计、制造技术规范规定的无损检测标准进行。

堆焊试件无损检测采用渗透检测法, 按照 JB/T 4730.5—2005 《承压设备无损检测 第 5 部分: 渗透检测》标准进行检验, 合格等级为 I 级。

(三) 弯曲试验

对接焊缝试件 (包括板材对接和管材对接), 外观检验合格后, 应在试件上截取一个面弯和一个背弯试样; 当板材试件或管材向下焊件厚度大于等于 12mm 时, 应截取两个侧弯试样; 当试件厚度大于或者等于 10mm 时, 可以用两个侧弯试样代替面弯与背弯试样。板材试件 (包括堆焊试件) 应当按照图 6-24 的位置截取弯曲试样。

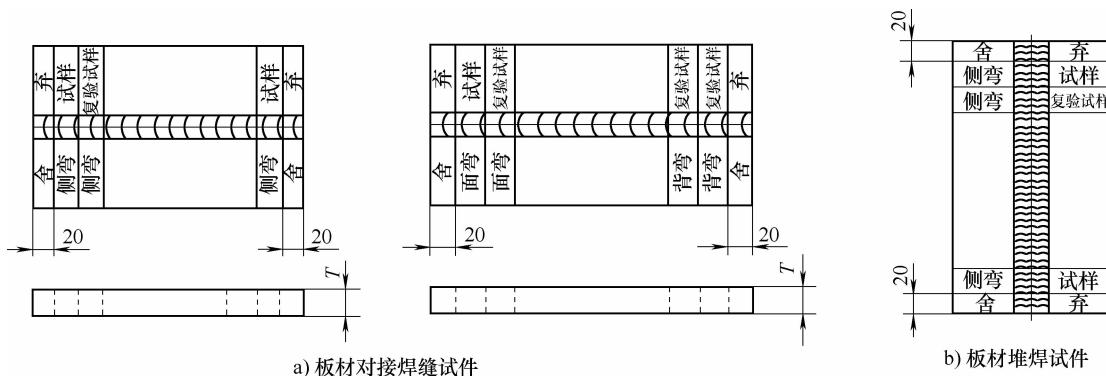


图 6-24 板材试件弯曲试样的截取位置

管材试件（包括堆焊试件）应当按照图 6-25 的位置截取弯曲试样。

对接焊缝试件的弯曲试样弯曲 180°后，其拉伸面上的焊缝和热影响区内，沿任何方向不得有单条长度大于 3mm 的开口缺陷，试样的棱角开口缺陷一般不计，但由夹渣或其他焊接缺欠引起的棱角开口缺陷长度应计入。

耐蚀堆焊试件弯曲试样弯曲到 180°后，在试样拉伸面上的堆焊层内不得有长度大于 1.5mm 的任一开口缺陷，在熔合线内不得有长度大于 3mm 的任一开口缺陷。

试件的两个弯曲试样的试验结果均合格时弯曲试验为合格；两个试样均不合格时，不允许复验，弯曲试验为不合格；若其中一个试样不合格，允许从原试件上另取一个试样进行复验，复验合格，弯曲试验结果为合格。

焊工焊接操作技能考试补考时，无论一个或者两个试样不合格，均不允许复验，补考结果为不合格。

螺柱焊试验一组五个试件均应进行锤击或弯曲试验。试件检验可以采用以下任何一种方法：

1) 锤击螺柱上端部，使四分之一的螺柱长度贴在试件板上。

2) 按照图 6-26 所示，用套管使螺柱弯曲不小于 15°，然后恢复原位。

每个螺柱的焊缝和热影响区在锤击或弯曲试验后，没有开裂为合格。

（四）金相检验（宏观）

管板角接头试件和角焊缝试件（包括板与板、管与板、管与管），在外观检查合格后，一组试件中取一个进行金相检验（宏观）。

管材角焊缝试件和管板角接头试件按照图 6-27 的规定，在 3 点、6 点、9 点和 12 点位置分别剖开，沿顺时针方向制备四个金相试样。

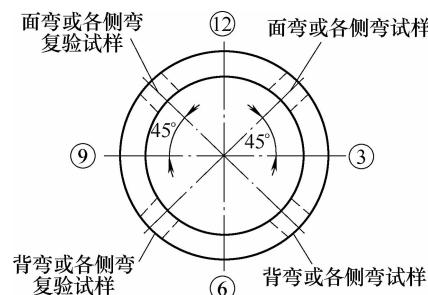


图 6-25 管材试件弯曲试样的截取位置

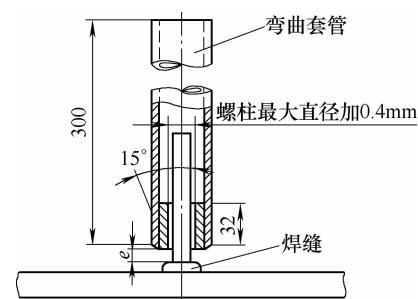


图 6-26 螺柱焊弯曲试验

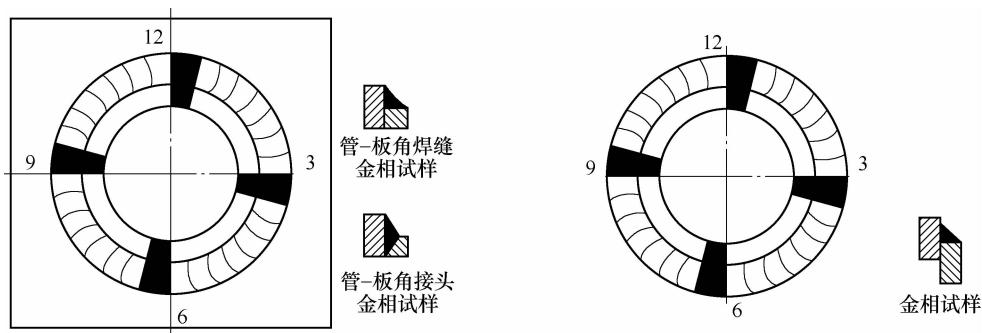


图 6-27 管板角接头和管材角焊缝试件金相试样（宏观）的截取位置

板材角焊缝试件按照图 6-28 的规定制备四个金相试样，他们应为同一方向；试样包含全部焊缝区、熔合区和热影响区即可。

将金相试样的检查面磨光，并经浸蚀，使焊缝区与热影响区界限清晰，采用目视或者 5 倍放大镜进行检验。

试样经金相检验（宏观）后，满足以下内容即为合格。

- 1) 没有裂纹和未熔合。
- 2) 焊缝根部焊透。
- 3) 气孔或夹渣的最大尺寸不得超过 1.5mm；当气孔或者夹渣大于 0.5mm，不大于 1.5mm 时，其数量不得多于一个；当存在小于或者等于 0.5mm 的气孔或夹渣时，其数量不得多于三个。

焊工焊接操作技能考试通过检验试件进行评定，各试件按照本节规定的检验内容逐项进行，每个试件和各项检验要求均合格时，该考试项目为合格。

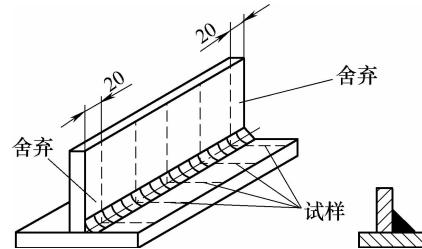


图 6-28 板材角焊缝试件金相试样（宏观）截取位置

第七章 特种设备焊接质量控制

《特种设备制造、安装、改造、维修质量保证体系基本要求》(TSG Z0004—2007, 2007年8月8日国家质量监督检验检疫总局颁布, 2007年10月1日起实施, 以下简称《基本要求》)是一部特种设备安全技术规范, 是国家质量监督检验检疫总局依据《特种设备安全监察条例》, 对特种设备(包括原材料、部件、安全附件和安全保护装置)制造、安装、改造、维修(以下统称“生产”)单位建立和实施质量保证体系的一个强制性规定。也是特种设备生产环节质量保证体系的最低安全要求。

《基本要求》规定了特种设备生产单位建立质量保证体系的基本原则, 并要求得到有效实施。在附件中列出了质量保证体系18个基本要素。包括管理职责、质量保证体系文件、文件和记录控制、合同控制、设计控制、材料(零部件)控制、作业(工艺)控制、焊接控制、热处理控制、无损检测控制、理化控制、检验与试验控制、设备与检验试验装置控制、不合格品(项)控制、质量改进与服务、人员培训、考核及其管理、其他过程控制、执行特种设备许可制度。

焊接控制是特种设备生产环节一个非常重要的要素。我们常说, 产品质量不是检验出来的, 而是做出来的。生产过程的焊接要素是否得到有效控制, 是产品质量的关键因素之一。本章将对特种设备生产的焊接质量控制程序作一个简要的介绍。以便于特种设备焊接责任人员、管理人员、焊工初步了解《基本要求》中焊接要素的控制内容。

焊接质量控制的目的是对特种设备生产过程中的焊接人员管理、焊接材料管理、焊接工艺评定报告和焊接工艺指导书控制、焊接工艺评定的项目、覆盖特种设备焊接所需要的工艺、焊接过程控制、焊缝返修控制、产品焊接试板的控制等环节的基本要求作出规定, 明确责任范围和控制内容, 以确保产品或工程的焊接质量得到控制。

焊接质量控制系统一般由生产单位的技术部门归口负责, 其他相关部门和生产车间负责配合, 并对该系统各环节、控制点的工作负责, 焊接质量控制实行焊接责任人负责制, 并接受质保工程师的监督和检查。

第一节 焊工管理

一、焊工考试与培训

- 1) 焊工的资格考试一般由焊接责任人委托有资质的考试机构组织考试, 合格后可由考试机构报当地特种设备安全监察部门统一申请办理《特种设备作业人员证》。
- 2) 焊工的培训一般由焊接责任人组织, 可委托考试机构组织培训, 也可由生产单位自行组织培训。确保在考试前具备上岗能力。
- 3) 焊工证一般由生产单位人事部门妥善保管。

二、焊工资格

- 1) 取得焊工证的持证人员只能承担与考试合格项目相应的工作。
- 2) 焊工必须严格按照已审批的焊接工艺卡或焊接工艺指导书进行施焊。

- 3) 焊工应接受焊接责任人、工艺技术人员、质检员和有关监察部门人员的监督检查。
- 4) 特种设备焊工重新考试及复考的规定应符合国家质检总局《特种设备焊接操作人员考核细则》(TSG Z6002—2010) 的规定。
- 5) 特种设备作业人员证(焊工证) 全国范围内有效, 每四年复审一次。

三、持证焊工档案管理

1) 一般由焊接责任人负责建立焊工的技术档案, 内容包括: 合格项目、有效期、焊工焊绩、焊缝质量汇总结果(包括焊接一次合格率、超次返修等)、焊接质量事故等内容。焊工的焊绩与焊缝质量汇总结果一般由特种设备生产单位技术部门按月统计, 交焊接责任人审核签名后, 交焊接试验室汇入焊工档案, 作为焊工资格评定和经济责任考核的依据。并且为焊工的取证和复审提供客观真实的证明资料。

2) 对焊接质量差、焊缝合格率较低的焊工, 应由焊接责任人及时查明原因, 如确系焊接技术所致, 则应另行对该焊工进行培训和考试。

第二节 焊接材料的管理

焊接材料包括焊条、焊丝、焊带、焊剂、气体、电极和衬垫等, 本节对特种设备用焊接材料的采购、验收、保管、烘干、发放与回收作出要求。

一、供方评价

- 1) 采购前采购部门应对供方的资质、物质来源、质量控制、供货能力、履约情况等进行考察、评价, 择优选择合格供方。填写“供方和分包方情况评定表”, 并保存合格供方有关资料。
- 2) 由材料负责人审核并编制一年一度的“合格供方和分包方名录”, 交质保工程师审批。
- 3) 当供方提供的焊接材料出现严重问题时, 采购部门应及时向供方发出“不合格品(项)报告”, 并要求其整改, 如发出两次“不合格品(项)报告”但质量仍无明显改进时, 应报告质保工程师, 采取取消其供方资格, 并从“合格供方和分包方名录”中除名等措施。
- 4) 采购部门一般应每年末对合格供方进行一次跟踪复评, 如发现质量不合格等严重问题且得不到满意的改进结果时, 应取消其合格供方资格。

二、焊接材料的采购

- 1) 焊接材料的质量, 应符合相关的国家标准、行业标准的规定, 并应有明显的标识和质量证明文件。
- 2) 采购部门应根据技术部门的“采购说明书”等及生产部门的生产计划, 在核实库存后, 提出采购计划, 编制焊接材料“采购任务单”, 进行采购。
- 3) 供方提供的焊材必须标记方便、清晰、牢固, 并随货提供有质量证明文件。
- 4) 采购部门应向合格分供商进行采购。签订订货合同必须严肃认真, 各项条款要与“采购任务单”相符, 因客观原因需要修改技术要求时, 采购部须征得技术部的同意, 才能更改。
- 5) 采购员在提运焊接材料时应注意不得损坏包装材料, 并做好防雨、防潮措施。

三、焊接材料的验收

(一) 一般验收

焊接材料的验收、检验在工艺没有专门要求时, 一般应核实其质量证明文件、合格证和标

识, 确认物、证相符, 并进行外观检查。

(二) 到货验收

焊接材料到货后, 采购人员应将焊接材料的质量证明文件等交库房管理人员。库房管理人员将实物堆放在待验区域, 通知材料检验员验收。检验员根据相应的材料标准, 进货的批、次, 抽样检查。

1. 焊条的到货验收

焊条到货验收的项目包括:

- 1) 质量证明书审核。
- 2) 标识复核。焊条按批号抽查, 包装应完好无损, 标识清晰, 并标有生产标准及焊条型号、牌号、规格、批号、制造日期、制造厂名、商标, 标记应与质量证明书内容一致。
- 3) 规格、数量。材料规格、数量应与订货合同或采购单中的相关要求一致。
- 4) 尺寸和药皮外表质量。宏观抽查焊条是否有锈迹、受潮, 焊条的偏心度是否符合标准, 焊条的药皮是否均匀、紧密地包覆在焊芯周围。焊条引弧端药皮应倒角, 焊芯端面应露出。如发现焊条严重受潮, 药皮脱落等应禁止使用。

2. 焊丝的到货验收

焊丝到货验收的项目包括:

- 1) 质量证明书审核。
- 2) 标牌复核。焊丝标牌上应有型号(牌号)、生产厂名、生产标准、炉(批)号和钢丝直径、生产日期等内容并与质量证明书一致。
- 3) 规格、数量。材料规格、数量应与订货合同或采购单中的相关要求一致。
- 4) 表面质量和尺寸偏差。钢丝表面不应有锈蚀、氧化皮和其他不利于使用的缺陷, 其尺寸偏差范围应在相应标准规定范围内。

3. 焊剂的到货验收

焊剂到货验收的项目包括:

- 1) 质量证明书审核。
- 2) 标牌复核。焊剂标牌上应有型号、生产厂名、生产标准、炉(批)号和钢丝直径、生产日期等内容并与质量证明书一致。
- 3) 规格、数量。材料规格、数量应与订货合同或采购单中的相关要求一致。

(三) 焊接材料验收的其他规定

- 1) 焊接材料的质量证明文件必须经材料责任人审核、确认、签字后, 方可送检。
- 2) 焊材接收检验合格后, 由材料检验人员记录检验结果, 签字并注明日期, 方可办理入库手续。
- 3) 检验合格的焊接材料应粘贴合格标签或标识进行识别, 并编制本单位焊材代码。
- 4) 不合格的焊材应与合格的焊材隔离, 由采购人员办理退货手续。
- 5) 锅炉、压力容器、压力管道焊接用焊材采购的基本要求、批量划分、检验范围、供应和复验以及焊条、焊剂的技术要求、检验项目、试验规则、标识等应符合《承压设备用焊接材料订货技术条件》NB/T 47018.1~47018.7—2011标准的规定。
- 6) 对于在生产中出现的焊接质量问题, 经分析可能是焊材引起的应停止使用, 按标准对焊材进行复验。

四、焊接材料的储存

- 1) 焊材验收合格入库后, 必须按入库编号或牌号、规格、批号等码放整齐, 标识清楚, 避

免错发、误发。

- 2) 焊材库应建立台账, 做到账、卡、物、证相符, 并定期核查。
- 3) 焊材库应干燥、通风良好, 库房内应有必要的除湿设备, 设置温度湿度计, 一般应保持室内温度不低于10℃, 相对湿度不大于60%。湿度记录可采用自动记录仪, 或由焊材库保管员应每天对温度、湿度进行至少两次的记录, 应保证温度、湿度符合焊材保存要求。
- 4) 焊材应放在货架上。焊材到地面和墙的距离不小于300mm。
- 5) 储存期间焊材库保管员发现焊材缺陷时, 应及时通知焊接责任人和材料责任人处理。
- 6) 焊接材料在搬运过程中应轻搬轻放, 防止药皮脱落和散包, 防止标志损坏。

五、焊接材料的烘烤

- 1) 除真空包装外, 焊条、焊剂应按供应商提供的产品说明书的规定进行再烘干。
- 2) 国内常用焊条也可以参照表7-1的参数进行烘烤。

表7-1 烘烤参数

焊材类别		烘烤温度/℃	保温时间/h
酸性	碳素钢, 低合金钢焊条	150~200	1~2
	奥氏体不锈钢焊条	150~180	1~2
碱性	碳素钢, 低合金钢焊条	350~420	1~2
	奥氏体不锈钢焊条	250~280	1~2

- 3) 烧结焊剂也可参照下述参数进行烘烤: 烘烤温度300~350℃, 保温时间2h。
- 4) 焊材烘烤时应从100℃以下缓慢升温, 保温后随炉缓冷, 禁止突然放入高温炉或快速升温, 以及从高温中突然取出冷却。焊材经烘干后可放入保温箱内(100~150℃)待用。
- 5) 对烘干温度超过350℃的焊条, 累计烘干温度不宜超过3次。
- 6) 烘干箱和保温箱内的焊条应有表明其牌号、规格和批号的有效标记。
- 7) 库房管理员应加强焊材烘烤的控制和管理, 做好焊材代码和烘烤温度、时间等记录, 并控制堆高和码放、重复烘烤次数, 防止骤冷骤热、受热不均、混料、错发等现象。
- 8) 检验人员应审核烘烤记录并认可烘干操作的正确性。

六、焊接材料的领发和回收

- 1) 焊接生产车间一般应根据生产的实际, 将生产所需的焊接材料的品种、规格和数量等通知焊材库。
- 2) 焊材二级库管理员向焊材一级库领用焊材, 并做好焊材烘烤及发放准备。焊材二级库的焊材不允许放置在烘箱外的任何地方。
- 3) 焊工凭生产车间开出的焊材领用单, 向焊材二级库领用; 每位焊工每次的领用焊条量一般以不超过30根为宜; 焊丝每次的领用量以一盘为宜; 焊剂领用量一般每次以10kg为宜。
- 4) 焊条领用时使用保温桶, 焊剂领用时使用焊剂桶。
- 5) 焊接材料发放时, 管理员应进行核实, 确认准确无误后方可发放。
- 6) 焊接材料发放中应先入库先发放, 后入库后发放, 避免焊接材料保存时间过长。
- 7) 焊材库管理员应做到账物相符, 领用焊材可以追踪。
- 8) 焊工每天下班后, 必须上交用剩余的焊材和焊条头, 管理员必须清点用剩的焊条和焊条头, 做到收发一致, 并做好记录。回收的焊条必须表面清洁, 可确认牌号、材质, 对于表面肮

脏，不能确认牌号、材质的焊条一律作报废处理。退回的焊条头长度必须小于50mm。

9) 返回的焊条应根据其牌号、规格和返回的次数分别储存、烘干和发放。回收的焊条应由保管员做好标记（每次退回可用锯条划一条划痕），不同返回次数的焊条，不许混淆。返回次数应填写在焊接材料发放记录上。返回次数超过两次的焊条一般不许再用于特种设备受压元件的焊接。

10) 焊条重新烘烤后原则上可再使用一次，下次使用时应首先发放；回收的焊剂应去除渣壳、杂质，重新烘烤后可与新焊剂1:3混匀使用。

第三节 焊接设备的管理

一、焊接设备的配置

- 1) 焊接设备和条件应满足相关特种设备许可规则的强制性要求。
- 2) 各种焊接设备应满足焊接工艺要求。
- 3) 购置焊接设备时，其型号、规格、生产厂家等，应事先征求焊接责任人的意见。

二、焊接设备进厂验收、调试及安装

1) 新购置的焊接设备进公司后，由生产部门会同生产车间，焊接责任人、设备员负责开箱验收，根据装箱单清点并登记附件、工具及技术文件，常用随机附件、工具由生产车间操作人员领用保管，随机技术文件与资料由设备员登记后归档，每台设备逐一编号、贴上设备标签。

2) 焊接设备可由设备供应商负责调试，由生产部门、生产车间、焊接责任人共同验收，验收合格后填写“设备安装、调试验收记录”，由参加验收人员签字后正式移交车间投入使用。

3) 焊机应安装在干燥、通风良好、无腐蚀气体、无剧烈振动的环境中，周围的环境温度一般不宜超过40℃。在室外安装焊机要采用必要的防潮措施。

- 4) 焊机必须有单独的开关熔断器接入电网，以保证安全。
- 5) 新焊机或长期搁置的焊机，安装前应用压缩空气吹去灰尘，然后检查其绝缘电阻。整个焊机的绝缘电阻一般应在 $0.5M\Omega$ 以上，低于该值时则应对焊机进行干燥处理。
- 6) 安装前应检查焊机内部接线端连接是否良好，有无松动。
- 7) 焊机机壳必须有可靠接地，接地线与外壳的连接点应保证接触良好。
- 8) 安装台夹具使用高度应适宜，基础牢固，此外还应校准水平。
- 9) 焊机接入电网，应检查开关及全部接线，确保接法正确，连接可靠，输出端无短路，应检查焊机输出端的空载电压是否正常，电流调节范围及其他各项功能是否正常可靠。

三、焊机的使用

1) 焊工除应了解和熟悉焊机的基本构造、主要技术指标及使用、维护、保养知识外，还应具有鉴别焊机是否出现异常现象的能力，一旦发现异常情况应及时停机并与电工共同检查处理。

2) 焊机起动前应检查焊钳或焊丝是否与工件接触，禁止在二次线短路的情况下起动。对直流电源，还应注意或鉴别输出端焊接电缆的极性接法是否正确。

- 3) 应避免使焊机在过载状态下运行。
- 4) 使用硅整流焊机时，要特别注意防止硅整流元件过热，经常检查冷却风扇是否转动、通风冷却是否正常，以防止烧坏硅整流元件。
- 5) 埋弧焊施焊前应根据焊丝直径正确选择导电嘴尺寸，以免造成焊丝接触不良或送丝不

畅。

- 6) 工作完毕或离开焊接场地，必须切断电源。

四、焊机的维护保养

- 1) 焊机应经常维护和保养，使其在良好的状态下运行。
- 2) 焊机上安装的电流表、电压表应定期检定，保证其在检验周期内。
- 3) 维保项目检查包括：定期检查由设备保管人员负责。应定期检查焊机的电源开关是否正常，焊接电缆连接处是否接触良好，接地线连接处是否牢固，电缆线绝缘有无损坏。对交流弧焊机，调整电流机构应经常保持转动灵活，并定期给螺栓加油润滑。对硅整流焊机，要特别注意保持硅元件及有关电子线路的清洁、干燥，经常检查风扇的冷却效果，不得在不通风的状态下使用。对埋弧焊机，每日工作完毕，应将焊接小车或机头部位的焊剂、渣壳及碎末清理干净，保持机头及各活动部件清洁。
- 4) 焊接设备发生事故应及时通知生产部。
- 5) 焊接设备的封存、启用、报废由生产部门会同车间及相关人员共同决定。

第四节 焊接工艺评定控制

焊接工艺评定是为验证所拟定的焊件焊接工艺的正确性而进行的试验过程及结果评价。

一、职责与分工

- 1) 生产单位技术部门负责提出焊接工艺指导书，指导焊工焊接，编制焊接工艺评定报告等。
- 2) 本单位熟练焊工负责焊接工艺评定试件的焊接。
- 3) 无损检测部门和理化试验部门分别负责试件的无损检测和理化试验；或者外协有资质的单位进行。
- 4) 生产部门负责焊接工艺评定备料和组织试件、试样加工。

二、准备

- 1) 使用的焊接设备应是本单位的完好设备，其电流表、电压表应经过计量校准，且在有效期内。
- 2) 使用的焊接材料应是验收合格的焊接材料，且应按规定要求烘烤。
- 3) 生产部门应将焊接工艺评定列入生产计划，备料并组织试件、试样加工。用于评定项目的材料应是验收合格的材料，且质量证明文件齐全。

三、评定程序

- 1) 一般由焊接技术人员根据金属材料的焊接性能，按照设计文件规定和制造工艺拟定预焊接工艺规程。应经焊接责任人审核、技术负责人批准。
- 2) 焊接试验室按要求领用试件，并安排有资格的熟练焊工担任焊接工艺评定试件的焊接工作。
- 3) 施焊前，焊接检验员应到现场确认试件、焊材、焊接设备及焊接环境。确保材料质量证明书齐全，材料尺寸规格、坡口尺寸、焊工、焊接设备及环境符合要求，并如实进行记录。
- 4) 焊接试验在焊接试验室进行，环境温度、湿度和风速等条件应满足有关法规、标准要

求。

5) 所指定的焊工应严格按照“焊接工艺指导书”上的内容执行，焊接责任人应督促焊工严格按照焊接工艺文件施焊，如有不同意见，应向技术部门提出，经技术部门研究后决定，决不允许擅自违反焊接工艺施焊。

6) 完成焊接并经外观检查合格后，按如下要求进行检验、试验：

①有无损检测要求的试件，检验员开出“无损检测委托单”，焊接试验室应将试件送交无损检测。合格后，再由焊接试验室将试件送机加工车间加工力学性能试样，无损检测报告交焊接试验室。

②没有无损检测要求的试件，焊接试验室将试件直接送机加工车间加工力学性能试样。

7) 试样加工完毕后，焊接试验室应将试样送理化室进行试验。理化室完成理化试验后，将“理化试验报告”连同试样送焊接试验室。

8) 焊接技术人员负责收集相关数据，编制“焊接工艺评定报告”，评定报告中应详细填入焊接参数和检测数据，按相关安全技术规范、标准规定或设计规定的标准执行，并报焊接责任人审核，技术负责人批准。

9) 生产单位技术部门负责将焊接工艺评定资料归档、保存。

10) 焊接工艺评定试样一般由焊接试验室保存，保存期应符合相关安全技术规范的规定。

11) 生产单位技术部门应定期编制“焊接工艺评定一览表”，分送本单位生产部门、检验部门、生产车间等。

12) 对焊接工艺评定结果不合格的，应由焊接责任人召集有关人员分析原因，修改焊接参数，重新制定“焊接工艺评定指导书”，并按上述程序重新进行焊接工艺评定试验。

四、NB/T 47014—2011（JB/T 4708）《承压设备焊接工艺评定》标准简介

由全国锅炉压力容器标准化技术委员会负责制修订的NB/T 47014—2011（JB/T 4708）《承压设备焊接工艺评定》已由国家能源局于2011年7月1日发布，2011年10月1日实施。是承压设备（锅炉、压力容器、压力管道）焊接的重要系列标准之一。

该标准规定了承压设备的对接焊缝和角焊缝焊接工艺评定、耐蚀堆焊工艺评定、复合金属材料焊接工艺评定、换热管与管板焊接工艺评定和焊接工艺附加评定以及螺柱电弧焊工艺评定的规则、试验方法和合格标准。适用于气焊、焊条电弧焊、埋弧焊、钨极气体保护焊、熔化极气体保护焊、电渣焊、等离子弧焊、摩擦焊、气电立焊和螺柱电弧焊等级焊接方法。该标准不适用于气瓶。

第五节 焊接工艺及焊接过程控制

一、工艺控制

1) 依据评定合格的焊接工艺，由技术部门编制适合本单位实际工程或产品生产用的焊接工艺指导书，并下发有关部门。

2) 指导生产的具体的焊接工艺卡一般由焊接技术人员负责编制、焊接责任人审核。

3) 焊接工艺文件的更改按相关安全技术规定或标准的规定执行。

4) 焊接责任人应在焊接前对焊工进行焊接工艺交底。

5) 焊接技术人员或质检员应随时抽查焊接过程的焊接参数并及时记录，如有与焊接工艺卡不符的情况报焊接责任人。

6) 产品或工程完工后, 焊接工艺文件应存入档案。

二、焊前准备及施焊环境

1) 生产部门、生产班组应根据“持证焊工项目一览表”和“焊接工艺卡”上规定的焊工持证合格项目指定焊工, 并按焊接工艺卡规定的焊接材料开出焊接材料领用单领取焊材。

2) 焊工接到生产任务后, 首先应熟悉有关设计图样和焊接工艺文件, 而后按规定负责对工件坡口表面进行清理, 并在规定时间内焊接, 检验员负责监督。

3) 当施焊环境出现下列任一情况, 且无有效防护措施时, 应禁止施焊:

①焊条电弧焊时风速大于 10m/s。

②气体保护焊时风速大于 2m/s。

③相对湿度大于 90%。

④雨、雪环境。

4) 当工件温度低于 0℃时, 应在始焊处 100mm 范围内预热到 15℃左右。

三、焊接过程

焊工应在持证合格项目范围内施焊, 并应严格按焊接工艺文件的要求进行焊接, 焊完每一道焊缝后, 焊缝表面必须按规定进行清理并自检, 自检合格后, 应交焊接检验人员检查。且非经技术部门同意, 决不允许擅自更改工艺。

四、焊接检验

(一) 焊前检查

检验员焊前检查内容一般包括:

1) 焊工是否了解焊接工艺卡的要求及内容。

2) 检查焊工合格项目及有效期。

3) 焊材是否符合焊接工艺要求。

4) 焊缝装配几何尺寸, 应符合工艺要求, 坡口两侧内外表面 20mm 范围内应无油污、锈蚀、尘土且应露出金属光泽。

5) 焊接设备应完好, 稳定可靠, 电流、电压表应指示灵敏。

6) 有预热要求的钢种, 焊前必须预热, 预热温度、宽度应符合规定。

7) 焊接环境应符合规定或有可靠的防护设施来避免风、雨、雪、雾等影响。

8) 高空作业时, 其脚手架搭设应稳定, 位置应符合操作要求。

(二) 焊接过程检查

焊接过程检查内容一般包括:

1) 对焊接层间温度有控制要求的焊缝, 应控制在规定范围内。

2) 工艺要求清根的双面焊缝, 清根打磨后, 槽内不应有熔渣或氧化铁等不利于焊接的杂质; 对强度级别高, 易产生冷裂纹的低合金钢焊缝或设计要求层间渗透检测的焊缝, 必须按规定进行检查并符合要求。

(三) 焊后检查

焊后检查内容一般包括:

1. 外观检查

1) 焊缝表面熔渣及两侧的飞溅物, 必须清除干净。

2) 焊缝外观凡存在裂纹(包括热影响区)、未熔合、表面气孔、表面夹渣、表面凹陷、明

显的弧坑，应打磨消除，打磨处的厚度应不低于母材设计厚度，否则应做补焊处理。

3) 因焊接电弧或工卡具拆除使母材损伤处均应打磨或补焊使其圆滑过渡。

4) 焊接检验员做好外观检查记录并签名，同时应做好焊工号的书面记录。

2. 无损检测

1) 外观质量检查合格后，由生产车间开出“无损检测委托单”，交无损检测责任人进行无损检测。

2) 有延迟裂纹倾向的低合金高强度钢，无损检测检查应至少在焊后24h进行。

3) 标准或工艺要求需要进行表面检测的，其被电弧击伤、临时焊点、工卡具拆除后的打磨点或补焊后的焊缝及热影响区，均应按有关标准要求进行表面检测。

4) 检验员应依据设计图样、工艺文件和技术条件等随时保持对施焊过程的监督，如发现有违反焊接工艺的现象，应及时制止，同时通知焊接责任人，并上报质量部门备案，焊接责任人应记录备案。

第六节 产品焊接试件的控制

1) 一般应按特种设备相关安全技术规范及产品标准的要求制作与检验产品焊接试件。

2) 产品焊接试件的制造图样由生产单位技术部门工艺人员负责编制，并由设计工艺责任人审核。

3) 产品焊接试件的制备与要求：

①试板的材料必须是合格的，且应采用与所代表的产品相同标准、相同牌号、相同规格和相同热处理状态的材料制备。

②产品焊接试件尺寸、试样截取及数量、检验项目、合格标准和复验要求等，均应符合国家法规、标准和工艺的规定。如无特殊规定，产品试板尺寸一般应为300mm×125mm×产品厚度(mm)，且为两块板拼接。

③试件一般应采用与产品相同的坡口形式、尺寸和加工方法，由施焊该台产品的焊工采用相同的条件和工艺焊接。多焊工焊接的容器，施焊产品焊接试件的焊工必须由检验部门指定。

④压力容器的纵焊缝产品试件必须在容器纵焊缝的延长部位与容器同时进行施焊，并随即按规定进行永久标志。

⑤对有热处理要求的产品，试件应进行与产品相同工艺的热处理，且试件放置的位置应能代表产品的热处理工艺要求。

⑥试件焊缝应进行外观检查和无损检测，产品焊接试件无损检测不合格时，应按焊接返修控制程序的规定进行返修。若不进行返修，应在焊缝上标明缺陷超标位置。

⑦分割试件时应采用适当的切割方法，不得强行敲下。由生产部门送机加工车间取样并加工试样，但取样应避开缺陷位置。

4) 若有特殊要求的产品焊接试件，必须在试件检验记录卡和制造过程记录卡中加以说明，以防造成混乱。

5) 产品焊接试件的理化检验报告须经理化责任人审核。

6) 当产品焊接试样经理化检验被判为不合格时，应由焊接责任人会同有关人员分析原因，应按相关国家法规、标准进行复验。

7) 产品焊接试件的试样由理化室保存，保存期按相关安全技术规范及产品标准的规定。剩余部分试件在试验全部合格后不再保留。

8) 产品焊接试件的外观检查报告、力学性能试验报告及产品焊接试件工艺流转卡，均由质

量部门统一汇总、归档。

第七节 焊接返修控制

- 1) 焊接接头的返修应符合国家法规、标准和工艺的规定。
- 2) 焊接接头返修一般由检验人员、无损检测人员出具“焊接接头返修报告”，并在实物上画出返修部位。
- 3) 返修前应由焊接责任人会同有关人员分析焊接缺陷产生的原因，提出相应的返修方案，避免再次产生焊接缺陷的技术措施。
- 4) 焊缝同一部位返修一般不应超过两次，焊缝返修应编制返修工艺卡，一、二次返修由焊接技术人员编制返修工艺卡，报焊接责任人审批，或由焊接责任人直接编制。返修工艺卡应包括缺陷产生的原因、避免再次产生缺陷的技术措施、焊接参数的确定、返修焊工的指定、焊材的牌号及规格、返修工艺编制人、批准人的签字。超过两次以上的返修，有规范规定在返修前应经过生产单位技术负责人批准。
- 5) 生产部门或车间指定该焊缝原施焊焊工或由相应合格项目的熟练焊工，按返修方案采用碳弧气刨、打磨等方式清除缺陷，必要时进行表面无损检测确认缺陷已全部清除。
- 6) 返修应当进行焊接工艺评定或者具有经过评定合格的焊接工艺文件的支持。
- 7) 应由焊接检验人员在现场监督，进行返修现场的详细记录，其内容至少包括坡口形式、尺寸、返修长度、焊接参数（焊接电流、电弧电压、焊接速度、预热温度、层间温度、后热温度和保温时间、焊材牌号及规格、焊接位置等）和施焊者及其钢印代号等。
- 8) 返修焊缝与原焊缝应圆滑过渡，必要时应打磨处理。
- 9) 有焊后消除应力热处理要求的，一般应当在热处理前焊接返修，如在热处理后进行焊接返修，应当根据补焊深度确定是否需要进行消除应力热处理。
- 10) 有特殊耐腐蚀要求的产品或者受压元件，返修部位仍需保证不低于原有的耐蚀性。
- 11) 焊接返修后，应重新按原检验和试验方法进行检验（含无损检测）和试验，确保合格。
- 12) 超过两次以上的返修，应将返修次数、部位、返修后的无损检测结果和技术负责人批准字样记入产品或工程质量证明书的制造变更报告中。

第八节 特种设备焊接质量控制系统的控制环节、控制点

特种设备焊接质量控制系统的控制环节、控制点一览表见表 7-2：

表 7-2 特种设备焊接质量控制系统控制环节、控制点一览表

控制环节	控制点与类别	主要控制内容	工作见证	控制者	
				操作及记录	审核确认
焊工管理	E. 焊工培训	参加特种设备焊工培训，提高技能	培训记录	焊工	焊接责任人
	R. 焊工考试	参加特种设备焊工考试，鉴定焊工操作技能 考试材料、方法、项目	焊工证		
	E. 持证上岗	编制合格焊工项目一览表，制定焊工钢印，严禁无证、超项、超有效期上岗、确保从事考试合格项目范围内的焊接工作	合格焊工项目一览表、 焊接记录	合格焊工	

(续)

控制环节	控制点与类别	主要控制内容	工作见证	控制者	
				操作及记录	审核确认
焊工管理	E. 考绩档案	记录焊工个人工作业绩, 奖惩情况, 焊缝质量汇总	焊工业绩记录表、焊缝质量汇总结果	施焊的焊工	焊接责任人
焊接设备	E. 资源条件	按特种设备许可规则的规定, 配备所需的焊接设备数量和品种	现场及设备档案	设备管理员	焊接责任人
	E. 设备采购、验收、使用、维修	焊接设备的采购、验收、使用、维修由设备部门统一管理	有关的管理表卡, 设备安装调试记录		
	R. 完好状态	焊接设备、仪表应处于完好状态, 并有合格标签	合格标签		
	R. 仪表周检	焊接设备的仪表应进行周期检定和校验	有关检定计划和检定记录	计量员	设备责任人
焊材管理	E. 焊材采购	焊材采购按材料规定采购执行, 参照相关焊材标准	合格材料入库通知单	采购员	材料责任人
	R. 验收或复验	焊材按规定进行验收或复验。质量证明书检验, 规格、品种、外观、数量检验	材料验收或复验报告	材料检验员	
	E. 焊材保管	设焊材一级库, 库内配置温度计、相对湿度计、除湿机等, 控制焊材储存的温度和湿度 实行分区管理、堆放	台账、焊材库温度、湿度记录表、标示	保管员 (焊材一级库)	
	E. 焊材烘烤	设焊材二级库, 负责从一级库领出焊材, 并按要求对焊条、焊剂进行烘烤、保温, 焊材型号、规格、批号与烘烤温度控制	焊材烘烤温度、时间记录卡	保管员 (焊材二级库)	
	E. 发放回收	焊材型号、规格、批号、数量及回收处理	焊接发放、回收记录	保管员 (焊材二级库)	
焊接工艺评定	E. 焊接性试验	了解母材焊接时会出现的问题及影响因素; 焊接材料的匹配性; 合理地选择焊接参数	试验记录	焊工	焊接责任人、技术负责人
	R. 拟定 PWPS	拟定预焊接工艺评定 (PWPS)	焊接工艺评定任务书、PWPS	焊接技术人员	
	E. 试验	按焊接工艺指导书的规定焊接工艺试件, 进行焊接工艺评定试验	试件与检验试验记录	熟练焊工、检验员、理化员	

(续)

控制环节	制点与类别	主要控制内容	工作见证	控制者	
				操作及记录	审核确认
焊接工艺评定	H. PQR	汇总、整理焊接工艺试验所有的相关记录、报告等资料，出具“焊接工艺评定报告”，并将评定合格的项目加入到“焊接工艺评定合格项目一览表”，分发有关部门和生产车间	焊接工艺评定报告	施焊的焊工	焊接责任人、技术负责人
焊接工艺与焊接过程控制	E. 编制	根据焊接工艺评定报告，编制焊接工艺规程和焊接工艺卡用于生产	焊接工艺规程、焊接工艺卡	焊接工艺员	焊接责任人
	R. 更改	焊接工艺文件更改仍按原审签程序进行	工艺更改通知单		
	E. 贯彻实施	焊接工艺文件技术交底、发放	焊接工艺卡		
	E. 环境	施焊环境要求	温、湿度记录表 焊接现场	保管员、 生产车间 负责人	焊接 责任人
	R. 工艺纪律	焊工资格、焊接工艺执行情况、工艺纪律检查	焊接检查记录表		
	E. 施焊过程与检验	施焊应严格遵守焊接工艺	焊接记录	焊接工艺 员、检验员	焊接 责任人
	R. 焊接检验	焊前、焊接过程、焊后检验；焊接接头外观质量检验	焊接与外观检验纪录		
	R. 试板制备	按特种设备相关安全技术规范及产品标准的要求制作焊接试件	焊接试件流程卡、试件 理化检验报告	持证焊工	检验员
产品焊接试板	H. 试样检验	试样理化检验按特种设备相关安全技术规范及产品标准的要求		理化试验员	理化责任人
焊缝返修	R. 一、二次返修	缺陷定位、清除；由焊接工艺人员编制返修工艺，经焊接责任人审核后，依据返修工艺进行返修，做好返修记录	焊缝返修工艺卡、返修记录	焊接工艺员、 检验员	焊接 责任人
	E. 超次返修	缺陷定位、清除；由焊接工艺人员编制返修工艺，经焊接责任人审核、单位技术负责人批准后，依据返修工艺进行返修 返修后应将返修次数、部位、返修后的无损检测结果和技术负责人批准字样记入质量证明书的制造变更报告中	返修方案、返修记录、 质量证明书	焊接责任人、 检验员、 资料员	技术负责人、 检验 责任人

注：H—停止点；E—见证检查点；R—审阅点。

控制点是为了使过程（工序）处于受控状态，对特种设备生产过程需要重点控制的质量特性、关键部位或薄弱环节、质量不稳定的工序等需要特别注意质量控制的重点，通过某种方式来

进行控制的地方。质量控制点按控制程度的不同一般分为三类：停止点（H）、见证检查点（E）、审阅点（R）。

（1）停止点（H） 对特种设备生产质量有重大影响的检验项目，当进行到该点时，暂时停止生产，必要时应提前通知监督检验人员，在责任人员或监督检验人员在场的情况下，进行该项目的检验，检验结果得到责任人员或监督检验人员的确认签名后再继续生产。

（2）见证检验点（E） 对影响特种设备生产质量的一些关键检验项目，责任人员应到场，因故未到由作业者在自检合格后可继续转入下道工序，待责任人员到场后对该项目的检验结果进行审核认可后补签字认可手续。

（3）审阅点（R） 责任人员用审核或审阅的方式，为确定某些工作符合要求，所采取的对文件、记录和报告的调查和检查的活动，通过签名和日期来证明。

第八章 焊接安全与防护

第一节 危 险 源

焊接作业人员要与各种金属工件、焊接设备和电器接触，现场施工时更可能与易燃、易爆、有毒介质接触，同时，在焊割过程中又会产生有害的因素。有害因素有：弧光辐射、高频电磁场、热辐射、噪声等物理性因素；电焊烟尘、有毒气体和射线等化学性因素。这些有害因素的严重程度主要与焊接方法、工件表面涂层、焊接材料及焊接参数等有关。

一、危险源主要来源

焊割作业时，危险源主要来自三个方面：

(1) 焊接所用的材料方面 危害主要有被焊割材料、填充材料（焊丝、焊条等）、焊剂、保护气体、被焊割材料的涂层、材料表面清洁溶剂等经过燃烧产生的有害物质。

(2) 焊割热源方面 危害主要有：电弧、用作热源的可燃性气体、等离子体、激光束、电子束等。

(3) 特殊作业环境方面 危害主要有相对封闭式工作环境、潮湿工作环境、易燃易爆有毒环境、登高作业环境等。

综上所述，焊接时潜在的危险有可能发生爆炸、火灾、触电、急性中毒、高空坠落等事故，同时伴随着尘肺、慢性中毒等职业病的危害，均对焊接作业人员的健康安全构成威胁。

二、一般作业环境和特殊作业环境

焊接时的危险源识别和相应的预防尤为重要：

(1) 对于一般作业环境 存在的危险有触电、焊接产生的有毒气体、有害的粉尘、弧光辐射、高频电磁场、噪声、射线等对健康的影响。因此应注意个人的防护遮挡，环境通风，佩带耳塞，打磨钨棒时避免皮肤接触和射线辐照；更换焊条必须戴干燥的焊工手套。特别注意的是：由于出汗造成工作服和手套潮湿，接触带电设备容易触电。

(2) 对于特殊作业环境 除一般作业环境所存在的危险外，还有易燃、易爆环境的爆炸危险，有毒场所的中毒危险，密闭空间的窒息危险，登高作业的高空跌落危险等。

第二节 安 全 防 护

一、各种焊接方法的有害因素

不同焊接方法产生的有害因素及严重程度不尽相同。

焊条电弧焊所产生的有害因素主要是电焊烟尘、弧光辐射以及有毒气体。

氩弧焊、等离子弧焊或切割有害因素主要是臭氧、氮氧化物等有毒气体、烟尘和强烈的弧光及其中的较强紫外线，在高频引弧时还会产生高频电磁场，使用钍钨电极时（特别是打磨钍钨电极时）还产生一定剂量的放射性。

CO₂ 气体保护焊主要是有毒气体（如 CO）、烟尘和比焊条电弧焊强烈的弧光。

碳弧气刨主要有害因素是烟尘和有毒气体以及噪声。由于碳棒表面镀铜处理，所以烟尘中含有一定量的铜，此外有害气体中还含有毒性较大的苯的化合物。因此必须重视其通风除尘，焊工宜佩戴送风式面罩。

在铜、铝等有色金属气焊时主要是金属氧化物烟尘和有毒气体，及红外线辐射。

埋弧焊的有害因素少一些。

二、卫生安全防护

焊接作业人员应加强自身的防护，保证自身安全：

1) 特种设备焊接作业人员属特殊作业人员。须经质量技术监督部门专门的考核机构考核合格，掌握操作技能和有关安全知识，取得特种设备作业资格证书，方可上岗作业。否则，不得上岗作业。

2) 焊接作业人员必须戴符合规定的绝缘手套、穿绝缘鞋和专用工作服，戴护目镜和面罩。防护装备选用应符合 GB/T 11651—2008 《个体防护装备选用规范》标准的规定；工作服应符合 GB 8965.2—2009 《防护服装 阻燃防护 第 2 部分：焊接服》标准的规定，应根据作业场合与作业要求选择相应级别的焊接服装，焊接服面料的撕裂强度、透湿性、热稳定性、热防护性等性能应得到保证。

3) 仰面焊接应扣紧衣领、扎紧袖口、戴好防火帽，电焊作业和更换焊条时不得戴潮湿手套。

4) 在高空危险处作业，必须挂安全带。雨、雪天不得露天焊接。

5) 施焊前，确认线路绝缘和设备接地良好，才能施焊。焊接完毕要拉闸断电，并且动作要迅速。

6) 焊工在相对封闭的设备内部或空间、潮湿等场所施焊时，须有通风换气或消烟设备，并应有专人监护，且要求其熟知焊接操作规程及应急抢救方法。

7) 在有易燃、易爆物的车间、场所或管道附近动火焊接时，必须办理“危险作业申请单”。经消防部门检查，采取严密安全措施后，方可进行操作。

8) 氩弧焊工在打磨钍钨电极时，应在专用的有良好通风装置的砂轮机上或在抽气式砂轮机上进行，并穿戴好个人防护用品，打磨完毕洗净手和脸。

第三节 安全检查

焊割作业的安全检查包括焊接设备安全检查、气瓶和减压器的安全检查、特殊作业环境的焊割安全检查。

一、焊接设备安全检查

1) 电焊机在接入电网时须注意电压应相匹配。当有多台电焊机时，应尽量分配均匀，使三相负载平衡。

2) 焊接电缆和地线要有良好的绝缘性和柔性，一般使用橡胶铜芯多股软电缆，操作时电缆不应绕成盘状，否则，会影响焊接电流，同时，可能会因绝缘层破损漏电。

3) 多台焊机同时使用时，若需拆除某台，则应先断电后再验电，在确认无电后方可进行拆除工作。

4) 所有电焊机的金属外壳，都必须采取保护接地或接零。接地、接零电阻应小于 4Ω。

- 5) 焊接的金属设备本身有接地、接零保护时，焊机的二次绕组同样应有接地或接零。
- 6) 多台焊机的接地、接零线不得串联接地，每台焊机应设独立的接地、接零线，其接点应用螺母压紧。
- 7) 每台电焊机须设专用断路开关，并有与电焊机相匹配的过流保护装置。
- 8) 焊接电缆和地线需接长使用时，应保证搭接面积，接点处用绝缘胶带包裹好，接点不宜超过两处；严禁使用管道、轨道及建筑物金属结构或其他金属物体串接起来作为地线使用。
- 9) 电焊机的一次、二次接线端应有防护罩，且一次接线端需用绝缘带包裹严密；二次接线端必须使用线卡子压接牢固。
- 10) 电焊机应放置在干燥和通风的地方，露天使用时其下方应防潮且高于周围地面；上方应设防雨棚和防砸措施。

二、气瓶和减压器的安全检查

(一) 气瓶的基本知识

气焊和气割作业用气瓶主要是氧气瓶、溶解乙炔气瓶、液化石油气钢瓶及丙烷气瓶等。

1. 氧气瓶

氧气瓶是储存和运输氧气的，常用的氧气瓶容积为40L，外表面涂蓝色，公称工作压力高达15MPa。氧气是一种助燃性气体，属强氧化剂。当油脂和细微的可燃粉尘与压缩氧接触，会由于剧烈的氧化而升温、炽热发生自燃，引起火灾或爆炸。可燃性气体与氧气混合形成爆炸性混合物。气瓶充气后的压力，会随着气瓶温升而增高，因此要远离热源。

氧气瓶是采用优质锰钢、铬钼钢或其他合金钢钢坯经拉深、轧制而成的。使用过程中，必须杜绝电弧烧灼。

2. 溶解乙炔气瓶

乙炔气瓶是贮存乙炔的，外表涂成白色，并标有红色的“乙炔”和“不可近火”字样。乙炔瓶在基准温度15℃时的限定充装压力为1.55MPa。

乙炔是易燃易爆气体，乙炔瓶内装多孔性填料，填料大多采用硅酸钙制成为整体多孔式，用于吸附丙酮。乙炔在丙酮中的溶解度较大，1kg丙酮在0℃时能溶解33L乙炔，在40℃时能溶解13L乙炔，因此必须远离热源。溶解乙炔瓶内的压力随环境温度变化，当溶解乙炔瓶充气并静置后，其极限压力值应不大于表8-1的规定。

表8-1 溶解乙炔瓶内极限压力值与周围介质温度的关系

温度/℃	-10	-5	0	5	10	15	20	25	30	35	40
表压/MPa	0.7	0.8	0.9	1.05	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0	2.25	2.5

使用乙炔瓶时应站立，不可横卧倒置，以防丙酮流出。同时，严禁铜、银、汞等及其制品与乙炔接触。必须使用铜合金器具时，合金含钢量应低于70%。

溶解乙炔瓶中的乙炔不能用完，气瓶中的剩余压力应符合表8-2的规定。

表8-2 溶解乙炔瓶的剩余压力值

环境温度/℃	瓶内压力值/MPa	环境温度/℃	瓶内压力值/MPa
-5~0	≥0.05	15~25	≥0.2
0~15	≥0.1	25~35	≥0.3

3. 液化石油气钢瓶和丙烷气瓶

液化石油气钢瓶表面涂银灰色，并有红色的“液化石油气”字样。丙烷气瓶表面涂棕色，并有白色的“液化丙烷”字样。液化石油气钢瓶和丙烷气瓶内充装的是液态燃料，汽化后的可燃性气体与氧气混合燃烧，用于焊割作业。瓶内压力会因气瓶温度升高液态燃料迅速汽化而剧增，因此必须远离热源。

(二) 气瓶和减压器的安全要点

1) 气瓶的充装、运输、贮存、使用，必须遵照《气瓶安全技术监察规定》的规定。气瓶应经授权的检验部门定期检验合格后方可充装使用。应到得到批准的充装单位，按规定要求充装气体。

2) 气瓶在使用前应先检查瓶阀、接口螺纹等是否完好、有无损坏。检查氧气瓶接口是否黏附油脂，若有油脂，必须先清洗干净。开启气瓶时应缓慢，以防产生静电火花引起事故。操作减压器应站在侧面，以防减压器飞出伤人。工作结束后先关闭气瓶，再关闭减压器。

3) 气瓶所使用的减压器，必须有高压表、低压表。表针应灵活，能及时反映出瓶内的压力。压力表应定期校检，并合格。每只减压器只允许接一把焊炬。

4) 检查气瓶阀与减压器是否漏气时，可用肥皂水涂液检查。禁止带压拧紧阀杆，调整垫片。

5) 在气候寒冷环境使用气瓶，瓶阀或减压器可能出现结霜、冻结现象，可用热水或热毛巾加热解冻，严禁用火烤或铁器敲击，更不可对气瓶加热而造成事故。

6) 瓶内气体不允许全部用尽，应留有规定的余气（氧气瓶为0.15MPa、溶解乙炔气瓶和液化石油气钢瓶为0.05MPa），以防其他介质流入瓶内。特别是在滩涂环境作业时，防止潮水倒灌入气瓶。

7) 氧气瓶和减压器不得沾污油脂，禁止与可燃气体气瓶混合存放。

8) 禁止在瓶体上引弧。

9) 可燃气体气瓶不得敲击、碰撞，禁止放置在通风不良或有放射线源的场所使用；不得靠近热源和电气设备，与明火距离不得小于10m，防止受曝晒和烘烤。

10) 可燃气体气瓶在存放和使用时应直立，不可卧放使用，以防可燃性介质流出引起火灾或爆炸。

三、输气胶管和焊割炬的安全检查

(一) 输气胶管的基本知识

气焊、气割用的橡胶软管，必须符合GB/T 2550—2007《气体焊接设备焊接、切割和类似作业用橡胶软管》标准。国产的橡胶软管是用优质橡胶夹着麻织物或棉织纤维制成的。氧气橡胶软管的工作压力为1.5MPa，乙炔橡胶软管的工作压力为0.5MPa，通常氧气橡胶软管的内径为8mm，乙炔橡胶软管的内径为10mm。根据标准规定，氧气橡胶软管是耐燃烧试验，而乙炔橡胶软管和其他可燃性气体胶管是耐丙酮和二甲基甲酰胺试验，且设计压力也不同，不能互相混用。氧气橡胶软管为蓝色，乙炔橡胶软管为红色。其他气体用软管颜色见表8-3。

(二) 胶管的检查

橡胶软管的使用长度一般不小于5m，若将橡胶软管用气管接头连接起来使用，必须用卡子或细铁丝扎牢。新的橡胶软管首次使用时，应用压缩空气把橡胶管内壁的滑石粉吹干净，以防焊炬（或割炬）的各通道被堵塞。

使用橡胶软管时，不宜沾染油脂，以免加速老化；并要防止机械损伤和外力挤压伤；操作中要注意烫伤。变质、老化、脆裂、漏气的胶管及沾上油脂的软管不准使用，及时更换新橡胶软

管。乙炔橡胶软管和氧气橡胶软管禁止互相更换或混用。当发现乙炔或氧气管道有漏气现象时应及时停火修理。胶管应定期更换。

表 8-3 气体用软管颜色和标志

气 体 种 类	外覆层颜色
乙炔和其他可燃气体（除 LPG、MPS、天然气、甲烷外）	红色
氧气	蓝色
空气、氮气、氩气、二氧化碳	黑色
液化石油气（LPG）和甲基乙炔-丙二烯混合物（MPS）、天然气	橙色
所有燃气（本表中包括的）	红色-橙色

注：对软管用于氢气的适用性，应与制造厂协商。

（三）焊、割炬的基本知识

1. 焊炬

气焊操作中的主要工具是焊炬。焊炬按可燃气体与助燃气体混合方式不同，可分为射吸式和等压式两大类。射吸式焊炬应符合 JB/T 6969—1993《射吸式焊炬》的要求，目前应用比较普遍。等压式焊炬应符合 JB/T 7947—1999《等压式焊炬 割炬》要求。

2. 割炬

气割操作中的主要工具是割炬。割炬按可燃气体与助燃气体混合方式不同，可分为射吸式和等压式两大类。射吸式割炬应符合 JB/T 6970—1993《射吸式割炬》的要求，目前应用比较普遍。

射吸式焊炬、割炬上的氧气调节阀和乙炔调节阀都是按顺时针方向旋转关闭、按逆时针方向旋转打开的调节阀。通过旋转调节阀针与阀体间隙达到控制氧气与乙炔的流量，以便控制焊接火焰的大小。

（四）焊、割炬安全操作要点

- 1) 点火前，应先将胶管内留存的空气排净，再正式点火使用。
- 2) 点火前，应检查焊、割炬的射吸性能。方法和操作顺序是：连接氧气胶管、打开乙炔阀门，打开电气设备开关，用手指堵在乙炔气进口处。若感到有一定的吸力，表明性能正常。否则为不正常，需进行检查修理。
- 3) 点火时，应先开乙炔阀门，点燃后立即开氧气阀门，这样可防止点火时的回火和鸣爆。
- 4) 停用时，应先关乙炔气阀门，后关氧气阀门。
- 5) 发生回火时，应迅速关闭氧气阀门，然后关乙炔气阀门。等回火熄灭后，将焊嘴放在水中冷却，然后打开氧气手轮，吹除焊炬内的烟灰，查出回火原因并解决后，再继续使用。
- 6) 停止使用时，严禁将与气源相通的焊、割炬放在相对封闭的场所。
- 7) 焊、割炬的喷嘴发生堵塞时，应停止操作。将其拆下，用捅针从内向外疏通。
- 8) 点燃的焊、割炬其喷嘴不得与金属物件正面接触，否则易造成回火。

四、特殊作业环境的焊割安全技术

对于特殊作业环境下的焊割安全要求，除了做到一般性作业环境的安全要求之外，必须预先设计逃生通道并保持顺畅，还要做到以下特殊要求。

（一）易燃易爆有毒环境

在易燃易爆环境、相对封闭的场所和有毒场所作业时，为防止焊割作业中发生火灾、爆炸和中毒事故，通常可采取的安全措施有：

1) 尽可能拆下拟焊割件, 搬移出易燃、易爆场所和禁火区域到安全地带进行作业。若无法拆卸的, 则应对拟焊割作业区域进行隔离。作业点附近的可燃物无法搬移时, 可采用喷水的办法提高湿度, 增加它们的耐火能力。

2) 当拟焊割件为可燃气体介质的容器和管道时, 应采用惰性气体或水将其可燃介质置换出来, 若为可燃液体介质的容器和管道时, 应采用水和碱液把残存液体及油污清洗掉。某地焊割作业人员在对闲置油罐进行焊割作业时, 正是因为未清洗掉残油的原因, 而造成三人的死亡事故。

3) 在相对封闭的场所或空气中可能混合着易燃、易爆、有毒气体的室内作业时, 应进行通风, 并采取有效措施控制易燃、易爆、有毒气体的含量在安全范围以内。同时, 防止作业人员窒息或中毒事故。设备及人员应随进随出。作业人员必须明白所使用的可燃气体与空气的密度比较, 了解可燃气体的积聚方向, 有针对性地进行通风。

4) 进入罐内操作的, 该设备必须停止运行, 并将其所有与外界相连的管道有效隔断, 拆掉所有与之相关的电源、熔丝, 或将电源刀开关拉下并加锁, 挂上警告标志牌。确保设备不带电, 除焊工或检修工外, 任何人不能启动; 罐内作业时, 外部应有人监护。焊割工具应随进随出。

5) 当工件为密闭设备时, 焊割作业前必须敞开所有检查孔和阀门, 防止设备内气体受热膨胀引发事故。

6) 焊接、切割后, 应进行安全检查, 消除隐患。近几年国内的数起重、特大火灾正是由于焊割结束后留下的火种没有熄灭所致。

7) 对易燃场所以及施焊部位以下空间存在视线死角等有潜在火灾隐患的, 施焊完毕后, 要留有充分时间观察, 确认无复燃的危险后, 方可离去。

8) 做好应急预案并进行预演练。配备一定数量的灭火器材, 随时做好应急准备。

(二) 登高焊割作业安全要点

一般在离地面或坠落基准面2m以上有坠落危险的高处进行焊割或其他施工作业, 均属于高空作业。登高作业必须采取相应安全措施, 以防止发生高空坠落、火灾、触电或物体打击等工伤事故。主要措施是:

1) 登高作业时必须佩戴好安全帽和防护安全带。安全带的安全绳长一般不超过2m, 且必须高挂低用, 切忌低挂高用, 安全带的挂钩应确认挂牢。安全帽应耐冲击, 具有一定强度, 颜色应醒目。佩戴之前应对其安全可靠性进行检查, 确认完好方可使用。

2) 焊割作业点周围以下地面凡焊接飞溅、火花所能涉及的区域应清除任何可燃、易燃、易爆物品, 并在地面设置围栏, 禁止无关人员进入现场或交叉作业, 设专人进行监督、指挥。根据作业高度及环境条件定出危险区域范围。一般在地面周围10m内为危险区域, 特别注意在作业下方及危险区域内是否有可燃、易燃物品及停留人员。有火焰蔓延可能的应采取隔离措施并备有消防器材。

3) 登高前应检查登高设施、用具是否安全可靠, 检查梯子是否结实完好, 不得有断档, 梯脚是否装有铁尖或防滑胶垫, 梯顶应有挂钩或用绳绑牢。架设梯子时应保持平稳, 不得架在不稳定的基础上, 与地面夹角不应大于60°以防滑脱。使用人字梯时应用绳子固定防止跨度变化, 只允许一人登梯。

使用脚手架时, 其铺设宽度不应小于1.2m, 高3m以上的工作面外侧应设180mm高的挡脚板和1m高的栏杆。脚手架高度不够时, 不许再放梯凳, 应重新加高。

4) 当登高会接近高压线、裸导线, 或距低压线小于2m时, 必须停电并确认无触电危险后方可登高操作。电源开关必须上锁, 出示警告标志以防有人误合闸, 或由专人负责监管。

5) 不得使用带高频振荡器的焊机, 以防万一触电造成坠落。焊工不得将焊割炬胶管或电缆缠在身上施焊。

6) 应防止物体下落伤人, 特别应避免抛东西和工具。对于焊条头也不可随意乱扔, 以免烫伤、砸伤地面人员或引燃地面可燃物品。

7) 登高作业人员必须身体健康, 患高血压、心脏病、癫痫病及年老体弱、视力衰退者不能登高。

8) 六级以上大风以及下雨、雷暴、大雪或弥漫大雾等恶劣天气, 不得露天登高作业。夜间登高作业必须有良好的照明。

9) 作业结束后, 应整理好工具及物件, 防止坠落伤人。此外, 还必须仔细检查工作地及下方地面是否留有火种, 特别是施焊部位以下空间存在视线死角等有潜在火灾隐患的, 施焊完毕后, 要留有充分时间观察, 确认无复燃的危险后, 方可离去。

第四节 焊割典型事故案例

在焊割作业过程中所发生的触电、火灾、爆炸、高空坠落及其他事故, 其主要的原因在于人员的安全意识淡薄、工作责任心不强, 在工作中往往带有侥幸心理, 如: 违章作业, 无证操作, 不使用防护用品等。许多事故, 只要操作者稍有安全意识, 就能避免发生。我们应该认真吸取事故教育, 通过安全学习, 不断提高焊割作业人员的安全意识和自我保护意识, 预防和减少事故, 确保安全。本节提供了一部分事故实例予以参考。

一、触电事故

实例 1: 焊工擅自接通焊机电源, 遭电击

1. 事故经过

某厂有位焊工到室外临时施工点焊接, 焊机接线时因无电源闸盒, 便自己将电缆每股导线头部的胶皮去掉, 分别接在露天的电网线上, 由于错把零线接在火线上, 当他调节焊接电流用手触及外壳时, 即遭电击身亡。

2. 主要原因分析

由于焊工不熟悉有关电气安全知识, 将零线和火线接错, 导致焊机外壳带电, 酿成触电死亡事故。

3. 主要预防措施

焊接设备接线必须由电工进行, 焊工不得擅自进行。

实例 2: 更换焊条时手触焊钳口, 遭电击

1. 事故经过

某船厂有一位年轻的女电焊工正在船舱内焊接, 因舱内温度高加之通风不良, 身上大量出汗将工作服和皮手套湿透。在更换焊条时触及焊钳口, 被电击痉挛后仰跌倒, 焊钳落在颈部未能摆脱, 造成电击, 经抢救无效而死亡。

2. 主要原因分析

1) 焊机的空载电压较高, 超过了安全电压。

2) 船舱内温度高, 焊工大量出汗, 人体电阻降低, 触电危险性增大。

3) 触电后未能及时发现, 电流通过人体的持续时间较长, 使心脏、肺部等重要器官受到严重破坏, 抢救无效。

3. 主要预防措施

1) 船舱内焊接时, 要设通风装置, 使空气对流。

2) 舱内工作时要设监护人, 随时注意焊工动态, 遇到危险征兆时, 立即断电进行抢救。

实例 3：接线板烧损，焊机外壳带电，造成事故**1. 事故经过**

某厂焊工甲和焊乙进行电阻点焊时，发现焊机一段线圈已烧断，便找电工丙进行维修，但丙只找了一段软线交给乙自己更换。乙换线后，发现电源线上的绝缘板螺栓松动，就使用扳手拧紧，但未发现电源线与外壳将要短路（此时甲不在现场），然后试焊几下认为正常就离开现场，甲返回现场后未询问情况，便开始试焊，只焊了一下就大叫一声倒在地上。工人丁立即拉闸，但由于抢救不及时而死亡。

2. 主要原因分析

- 1) 因绝缘板烧损，线圈与焊机外壳相碰，因而引起短路。
- 2) 焊机外壳未接地。
- 3) 设备电路故障未由专业的电工进行维修。

3. 主要预防措施

- 1) 应由电工进行设备维修。
- 2) 焊接设备应保护接地。

实例 4：焊工未按要求穿戴防护用品，触电身亡**1. 事故经过**

上海某机械厂结构车间，用数台焊机对产品机座进行焊接，一名焊工左手扶焊机，右手合闸间的一瞬间，随即大叫一声，倒在地上，送医院经抢救无效死亡。

2. 主要原因分析

- 1) 电焊机机壳带电。
- 2) 焊工未戴绝缘手套及穿绝缘鞋。
- 3) 焊机接地失灵。

3. 主要预防措施

- 1) 工作前应检查设备绝缘层有无破损，接地是否良好。
- 2) 焊工应戴好个人防护用品。
- 3) 推、拉电源刀开关时，要戴绝缘手套，动作要快，站在侧面。

二、火灾事故

实例 5：焊工在容器内焊接，借用氧气置换引起火灾**1. 事故经过**

某农药厂机修焊工进入直径 1m、高 2m 的繁殖锅内焊接挡板，未装排烟设备，而用氧气吹锅内烟气，使烟气消失。当焊工再次进入锅内焊接作业时，只听“轰”的一声，该焊工烧伤面积达 88%，三度烧伤占 60%，抢救 7 天后死亡。

2. 主要原因分析

- 1) 用氧气作通风气源严重违章。
- 2) 进入容器内焊接未设通风装置。

3. 主要预防措施

- 1) 进入容器内焊接应设通风装置。
- 2) 通风气源应该是压缩空气。

实例 6：氧气瓶的减压器着火烧毁**1. 事故经过**

某建筑队气焊工在施焊时，使用漏气的焊炬，焊工的手心被调节轮处冒出的火苗烧伤起泡，

涂上了獾油，还继续焊接，施焊过程中又一次发生回火，氧气胶管爆炸，减压器着火并烧毁，关闭氧气瓶阀门时，氧气瓶上半截已烫手，非常危险。

2. 主要原因分析

1) 漏气的焊炬容易发生回火。

2) 在调节氧气压力时，氧气瓶阀和减压器沾上油脂，发生回火，在压缩纯氧强烈氧化作用下引起剧烈燃烧。

3. 主要预防措施

1) 气焊前应检查焊炬是否良好，发现漏气严禁使用，应待修复后再继续施焊。

2) 不能戴有油脂的手套去开启氧气瓶阀和减压器。

实例 7：动火场地不符合要求，引燃大火

1. 事故经过

某船厂焊工顾某向驻船消防员申请动火，消防员未到现场就批准动火。顾某气割时移动速度过快，产生的铁液爆炸，爆炸引起的飞溅遇船底的油污引燃熊熊大火。在场人员用水和灭火器扑救不成，造成 5 人死亡，1 人重伤，3 人轻伤的事故。

2. 主要原因分析

1) 消防员失职，盲目审批。

2) 动火部位周围有油污。

3) 现场人员缺乏灭火知识。

3. 主要预防措施

1) 消防员接到申请动火报告后，要深入现场察看，确认安全才能下发动火证。

2) 要消除动火部位周围的油污。

3) 要加强员工的安全知识学习。

实例 8：无证违章操作，酿特大火灾

1. 事故经过

2000 年 12 月 25 日晚，圣诞之夜。位于洛阳市老城区的东都商厦楼前五光十色，灯火通明。台商新近租用东都商厦的一层和地下一层开设郑州丹尼斯百货商场洛阳分店，计划于 26 日试营业，正紧张忙碌地为店貌装修。地下二层为家具商场；商厦 4 层开设的一个歌舞厅正举办圣诞狂欢舞会。然而就在大家沉浸于圣诞节的欢乐之时，一层电焊火花落下引燃了地下二层家具商场的木制家具和沙发等易燃物品，火势和浓烟顺着楼梯直逼顶层歌舞厅，酿成了特大灾难，夺走了 309 人的生命。

2. 主要原因分析

1) 着火的直接原因是丹尼斯雇用的 4 名焊工没有受过安全技术培训，在无特种作业人员操作证的情况下进行违章作业。

2) 没有采取任何防范措施，野蛮施工致使火红的电焊火花落下引燃了地下二层家具商场的木制家具、沙发等易燃物品。

3) 在慌乱中用水龙向下浇水，救火不成，几个人竟然未报警逃离现场，贻误了灭火和疏散的时机，致使 309 人中毒窒息死亡。

3. 主要预防措施

1) 焊工应持证上岗；在焊接过程中要注意防火。

2) 焊接场所应采取妥善的防护措施。

3) 要设专职安全员监视火种。

4) 易燃品要远离工作场地 10m 以外，如移不去应采取切实可行的隔离方法。

- 5) 备有一定数量的灭火器材,如沙箱、泡沫灭火器等。
- 6) 事故发生后应立即报警,争取时间把火灾损失减到最小。
- 7) 要加强雇员的职业道德教育。

实例 9: 喷漆房内电焊作业起火

1. 事故经过

电焊工甲在喷漆房内焊接时,电焊火花飞溅到附近积有较厚的油漆膜的木板上起火。在场工人见状都惊慌失措,有的拿笤帚打火,有的用压缩空气吹火,造成火势扩大。后经消防队半小时抢救,将火扑灭,虽未伤人,但造成很大财物损失。

2. 主要原因分析

- 1) 在禁火区焊接前未经动火审批,擅自进行动火作业,违反了操作规程。
- 2) 未清除房内的油漆膜和采取任何防火措施,就进行动火作业。
- 3) 灭火方法不当,错误地用压缩空气吹火,不但灭不了火,反而助长了火势,造成事故扩大的恶果。

3. 主要预防措施

- 1) 不准在喷漆房内进行明火作业。如必须施焊,应执行动火审批制度。
- 2) 清除一切可燃物。
- 3) 油漆房内应备有砂子、泡沫灭火器或二氧化碳灭火器材。

实例 10: 脱附罐作焊机接地极造成事故

1. 事故经过

某厂的焊工,选用新安装的脱附罐作接地极(罐内有两吨多活性炭)。电焊时由于导线连接处的局部加热,引燃了罐内的活性炭,结果将两吨多的活性炭全部烧光。

2. 主要原因分析

由于焊接电流产生的电阻热和引弧时产生的电火花局部加热活性炭引起着火。

3. 主要预防措施

严禁利用金属物搭接起来作为焊接回路的导体。

三、爆炸事故

实例 11: 错用氧气替代压缩空气,引起爆炸

1. 事故经过

某五金商店一焊工在店堂内维修压缩机和冷凝器,在进行最后的气压试验时,因无压缩空气,焊工就用氧气来代替,当试压至 0.98MPa 时,压缩机出现漏气,该焊工立即进补焊。在引弧一瞬间压缩机立即爆炸,店堂炸毁,焊工当场炸死,并造成多人受伤。

2. 主要原因分析

- 1) 店堂内不可作为焊接场所。
- 2) 孔盖未全部打开,带压补焊。
- 3) 氧气是助燃物质,不能替代压缩空气。

3. 主要预防措施

- 1) 店堂内不可作为焊接场所,如急需焊接也应采取切实可行的防护措施,即在动火点 10m 内无任何易燃物品、备有相应的灭火器材等。
- 2) 补焊时应卸压。
- 3) 严禁用氧气替代压缩空气作试压气。

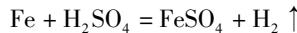
实例 12：补焊装酸罐爆炸

1. 事故经过

某单位一装运硫酸的罐体底部漏酸，补焊时，将罐底朝上，人孔朝下放在地面上，当焊工引弧时，酸罐即发生爆炸，当场烧伤焊工，并炸死在场工人一名。

2. 主要原因分析

经过取样分析得知，罐体材料不是耐酸钢，在稀硫酸作用下，罐体材料中的铁与酸可发生如下反应：



由上式可知，在酸罐内会充满氢气与空气的混合气体，氢气在空气中的含量超过爆炸极限范围，因此显然是电焊火花引燃罐内混合气体发生爆炸。

3. 主要预防措施

1) 补焊酸、碱罐前，必须先了解罐内情况，然后用（碱）水清洗，待其中的液体或气体排净，并使工件不呈密闭状态时，才能施焊。

2) 盛稀硫酸的罐槽，应用耐酸钢板或衬铅钢板制成。

实例 13：补焊柴油柜爆炸

1. 事故经过

某拖拉机厂一辆汽车装载的柴油柜，出油管在接近油阀的部位损坏，需要补焊。操作人员将柜内柴油放完之后，未加清洗，只打开入孔盖就进行补焊，立刻爆炸，现场炸死 3 人。

2. 主要原因分析

1) 油柜中的柴油放完之后，柜壁内表面仍有油膜存留，并向柜内挥发油气，与进入的空气形成爆炸性混合气体，被焊接高温引爆。

2) 焊工盲目补焊，酿成事故。

3. 主要预防措施

1) 柴油柜焊接前必须进行置换处理，并达到清洗合格标准后，才能补焊。

2) 补焊时应将油柜所有盖、阀门打开，利用压缩空气通风。

实例 14：焊补渗漏的酒精桶爆炸

1. 事故经过

某厂制药车间将一个渗漏的酒精桶送到机修组补焊，焊工甲施焊不久，酒精桶爆炸，飞起的桶盖击裂甲的头部，当场死亡。

2. 主要原因分析

酒精桶施焊前未经任何清洗，桶内还残留有酒精，酒精易挥发，在密闭容器内与空气形成爆炸性混合气体，气焊时引燃而爆炸。

3. 主要预防措施

1) 盛装酒精的容器，焊前必须用清水清洗干净，并敞开桶盖进行焊接。

2) 焊工在焊接前，必须弄清容器曾装过何种易燃易爆物品及清洗情况，不要盲目动火补焊。

实例 15：焊工引弧引起艉舱爆炸

1. 事故经过

某船厂两名喷漆工在一个密闭的艉舱内喷涂最后一遍油漆，到中午喷漆工作完毕。在出艉舱时，随手将人孔盖半开半关而离去。舱盖周围也无任何提示危险的标志（如舱内已喷漆，火不能靠近等）。下午 3 时左右，一名舾装铆工上船安装小机座，工作位置接近该艉舱，在气割点火时，铆工发现没带电子打火枪，就请焊工帮忙点一下火。焊工顺手拿起焊钳在艉舱盖上引弧，接着一声巨响，艉舱爆炸。当场 8 人死亡，6 人受伤。

2. 主要原因分析

1) 油漆中的可燃气体（苯类）与空气混合达到了爆炸极限。加之天气炎热，更加剧了可燃气体（苯类）的可燃气体挥发，因此遇火立即爆炸。

2) 舰舱喷漆后，未设警示标志和监护人。

3) 喷漆后舰舱内未采取通风措施。

3. 主要预防措施

1) 该舰舱周围应设警示牌和监护人。

2) 舰舱内应通压缩空气，减少可燃气体浓度。

3) 焊工引弧时，要注意周围环境（即易燃易爆物）。

实例 16：补焊空汽油桶爆炸

1. 事故经过

某厂汽车队一个有裂缝的空汽油桶需补焊，焊工班提出未采取措施直接补焊有危险，但汽车队说这个空桶是干的，无危险。结果在未采取任何安全措施的情况下，甚至连加油口盖子也没打开，就进行补焊。现场的情况是一位焊工蹲在地上烧气焊，另一位工人用手扶着汽油桶。刚开始焊接时汽油桶就爆炸了，两端封头飞出，桶体被炸成一块铁板，正在操作的气焊工被炸死。

2. 主要原因分析

车用汽油的爆炸极限为 0.89% ~ 5.16%，爆炸下限非常低，因此尽管空桶是干的，但只要油桶内壁的铁锈表面微孔吸附少量残油，或桶内卷缝里的残油甚至油泥挥发扩散的汽油蒸气，都很容易达到和超过爆炸下限，遇焊接火焰或电弧就会发生爆炸，加上能打开的孔洞盖子没有打开，爆炸时威力较大。

3. 主要预防措施

1) 严禁补焊、切割未经安全处理的燃料容器和管道。

2) 严禁补焊、切割未开孔洞的密封容器。

3) 燃料容器的补焊需按规定采取有关安全组织措施。

实例 17：气割汽油桶发生爆炸

1. 事故经过

某地某部队用汽车拉来一个盛过汽油的空桶。未经任何手续，直接找到气焊工甲，要求把空油桶从中间割开。当时甲要求清理后才能切割。两名战士便把油桶拉走了。1h 后，那两名战士把油桶又拉回来了，并对甲说：“用 2 斤碱和热水洗了两遍，又用清水洗了两遍。”甲便将油桶大、小孔盖皆打开；横放在地上，站在桶底一端进行切割。刚割穿一个小洞，油桶就发生了爆炸。桶底被炸开，将甲的双腿打成粉碎性骨折，桶底飞出近 5m，桶后移近 1.5m。

2. 主要原因分析

1) 清洗汽油桶不彻底，桶内仍有残余汽油及其蒸气，切割火焰引燃桶内汽油而爆炸。

2) 油桶经清洗后未进行气体分析，盲目切割；酿成事故。

3. 主要预防措施

1) 焊接、切割盛燃油的容器前必须经严格的清洗、置换等安全处理，且必须经气体分析检测合格后才可动火补焊或切割。

2) 焊补或切割空油桶都应敞开孔盖，将油桶横放在地上，操作者应立在桶的侧面，避开油桶盖操作，以防万一发生爆炸时油桶端盖（此处强度较薄弱）炸开伤人。

实例 18：使用乙炔气爆炸事故

1. 事故经过

2000 年 2 月 12 日上午，中国香港一机器维护工场发生乙炔爆炸事故，7 名工人于春节后首

日开工即遭事故，造成了3人死亡、4人受伤。当日8时6分，7名春节放假后上班的工人在工场内准备开工，当有人启动气焊枪时即发生猛烈爆炸，2名工人被弹起抛上10多米高的工场顶部，横搁在工字钢的横梁上而死亡，其余5名工人被炸伤，其中1人医院抢救无效死亡。工场内存放有53瓶氧气，与29只乙炔瓶的距离不到1m。

2. 主要原因分析

- 1) 连接乙炔瓶的软管损坏漏气。
- 2) 氧气瓶和乙炔瓶混放。
- 3) 切割时混合气遇明火触发爆炸。

3. 主要预防措施

- 1) 乙炔瓶、氧气瓶使用前均应检查连接软管，有损坏随时更换。
- 2) 氧气瓶和乙炔瓶不得混放，应保证至少10m的安全距离。
- 3) 乙炔使用场所应保证通风。

四、特殊作业环境条件下的事故

实例 19：登高作业发生坠落

1. 事故经过

某一冬天，某集装箱有限公司刚从学校毕业不到半年的一位大学生正在车间实习。他没戴标准防坠落安全带，约在2~3层楼高度位置维修设备。结果一不小心，一脚踩空从高空坠落下来，正好他的工作位置下方是一个热水池，池上又无任何防护措施，大学生一头扎入热水池，结果被热水活活烫死（在送医院的路上身亡）。

2. 主要原因分析

- 1) 高空作业没戴安全带。
- 2) 热水池上无任何防护措施。

3. 主要预防措施

- 1) 要戴好标准防坠落安全带。
- 2) 在热水池上设置防护盖或铁网等。

实例 20：高空焊接作业坠落

1. 事故经过

某单位基建科副科长甲未用安全带，也未采取其他安全措施，便攀上屋架，替换焊工乙。焊接车间屋架是角钢与钢筋支撑。工作1h后，辅助工丙下去取角钢料，由于无助手，甲便左手扶持待焊的钢筋，右手拿着焊钳，闭着眼睛操作。甲先将一端定位焊，然后左手把着只定位一端的钢筋探身向前去焊另一端。甲刚一闭眼，左手把着的钢筋因定位不牢，支持不住人体重量；突然脱焊，甲与钢筋一起从12.4m的屋架上跌落下来，当即死亡。

2. 主要原因分析

- 1) 基建科副科长不是专业焊工。
- 2) 事故发生时无监护人。
- 3) 登高作业者未用安全带，也无其他安全设施。

3. 主要预防措施

- 1) 非专业焊工不能从事焊割作业。
- 2) 登高作业要设监护人。
- 3) 登高作业一定要用标准的防坠落安全带，架设安全网等安全设施。

实例 21：电阻焊时机械伤害

1. 事故经过

某厂工具车间一名工人带领徒工使用对焊机焊接刀具。师傅在往电极夹钳上装夹工件、找正位置时，口头指挥徒工支垫工件尾部。当气动的夹钳上臂压下时，徒工尚未抽出的右手，食指被挤于工件尾部和垫铁之间，造成食指末端破裂及开放性骨折。

2. 主要原因分析

1) 两人协同工作中配合失调，师傅在起动电极夹钳下压时，没有提醒徒工注意，也没有得到徒工应诺。

2) 徒工在支垫工件时，手持垫铁的方式不正确，不应用手指上下握持垫铁。

3. 主要预防措施

1) 两人协作要密切配合，事先约定口语联系的方式，得到信号后再动作设备。

2) 应制作专用工具夹持垫铁，避免手指介入夹钳钳口。

3) 改进焊机夹具的工艺性能，使之可偏转角度，并能做上、下及水平方向移动。

4) 加强安全技术学习，提高安全生产技能。

实例 22：等离子弧焊健康危害事故

1. 事故经过

某厂两名焊工在等离子焊接作业中，一名焊工突然流鼻血，另一名焊工近来嗓子不舒服。经医生检查后，发现两名焊工血液中的白细胞大量减少，已低于健康标准。

原来，这两名焊工已连续从事等离子弧焊接达 6 个月，作业场所狭窄，且无抽烟吸尘装置。两名焊工早就觉得精神怠倦、胸闷、咳嗽、头痛脑胀，但却不知其病因。

2. 主要原因分析

1) 等离子弧焊接过程中伴随有大量汽化的金属蒸气、臭氧、氮氧化物等。这些烟气和灰尘对操作工人的呼吸道、肺等产生严重影响。上述作业场所空气不畅通，未采用抽烟吸尘装置，使空气中的有害气体、烟尘的浓度提高。工人长期在这种环境中操作，受到积累性损害。

2) 工人对这种新工艺产生的危害性及如何防护缺乏了解，未使用适当的个人防护用品。

3. 主要预防措施

1) 企业的技术工艺部门在采用这种工艺时，应同时制订劳动卫生技术措施。

2) 企业的安全、生产部门对实施这种工艺应安排恰当的场所，配置抽烟吸尘装置，降低有害气体、烟尘的浓度，使之符合国家劳动卫生标准。

3) 操作者要重视个人防护用品的使用。

实例 23：氧气胶管冲落，将水暖工眼球击裂失明

1. 事故经过

某厂气焊工甲与水暖工乙进行上、下水管大修工作。乙开启减压器上的氧气阀门，氧气突然冲击，将接在减压器出气嘴上的氧气胶管冲落，正好打在乙的左眼上，将眼球击裂失明。

2. 主要原因分析

1) 瓶内氧气压力较高，开启阀门过大，使氧气猛烈冲击。

2) 氧气胶管与减压器的连接部位扎得不牢。

3) 水暖工乙不懂气焊安全操作知识，开启阀门过猛，且又站在氧气出口方向，属违章作业，酿成事故。

3. 主要预防措施

1) 非气焊工不得操作气焊设备及工具。

2) 开启氧气阀门不要过猛、过大；操作者应站在气体出口方向的侧面。

3) 减压器出气嘴上的氧气胶管应插紧扎牢。

第五节 事故应急救援

一、触电急救方法

1) 迅速切断电源。发生触电事故后立即将刀开关拉开，将插头拔掉，以切断电源。或用干木棍等绝缘物将电线挑开，使触电者及时脱离电源。拨打急救电话。

2) 妥善安置触电伤员。将脱离电源后的伤员迅速移至通风干燥处，使其仰卧，并将上衣扣与裤带放松，排除妨碍呼吸的因素。

3) 口对口人工呼吸。清除口中异物，仰头抬颌，始终确保呼吸气道通畅，抢救者先自己做深呼吸，然后紧贴病人的口吹气约2s，接着放松口鼻，使其胸部自然地缩回，呼气约3s，这样吹气、呼气要连续不断地进行，在未见明显死亡前，不能放弃抢救。

4) 体外心脏按压法。对有轻微呼吸无心跳者，用人工方法有节奏地挤压心脏，以一只手根部按于病人胸骨下二分之一处，即中指尖对准其颈部凹陷的下缘，两手相叠，当胸有节奏挤压，保持每分钟60~80次。当病人心跳呼吸全停时，应同时施行人工呼吸及心脏按压法。

5) 在医务人员没有接替抢救前，不得放弃现场抢救。如经抢救后，伤员的心跳和呼吸都已恢复，可暂停心肺复苏操作。因为心跳呼吸恢复的早期有可能再次骤停，所以要严密监护伤员，不能麻痹，要随时准备再次抢救。

二、中毒急救方法

1) 应尽快让患者离开中毒环境，转移至户外开阔通风处，并立即打开门窗，流通空气。若是易燃、易爆气体的，必须在保证中毒环境空气流通前，禁止使用易产生明火、静电、电火花的设备，防止混合气体遇明火发生爆炸。拨打急救电话。

2) 在最短的时间内，检查中毒者呼吸、脉搏、血压情况，根据这些情况进行紧急处理。

3) 若呼吸心跳停止，应立即进行人工呼吸和心脏按压。

4) 将中毒者衣扣解松，保持呼吸道通畅，清除口鼻分泌物，保证其自主呼吸，有充分的氧气吸入。

5) 中毒者应安静躺卧，避免活动后增加氧的消耗量。

6) 在医务人员没有接替抢救前，不得放弃现场抢救。如经抢救后，伤员的心跳和呼吸都已恢复，可暂停心肺复苏操作。因为心跳呼吸恢复的早期有可能再次骤停，所以要严密监护伤员，不能麻痹，要随时准备再次抢救。

第九章 特种设备焊工持证与考试规定

第一节 涉及特种设备焊工持证的相关法律法规依据

特种设备焊接操作人员（以下简称特种设备焊工）属于特种设备作业人员，在包括《特种设备安全监察条例》、《特种设备作业人员监督管理办法》、《特种设备焊接操作人员考核细则》等在内的特种设备的法规规范体系中，均有涉及特种设备焊工持证上岗等的强制性条款。作为一名特种设备焊工，了解法规规范的基本规定，是非常有必要的。

一、法律依据

《特种设备安全法》（中华人民共和国第十二届全国人民代表大会常务委员会第三次会议于2013年6月29日通过，自2014年1月1日起施行）

第十四条：特种设备安全管理人员、检测人员和作业人员应当按照国家有关规定取得相应资格，方可从事相关工作。特种设备安全管理人员、检测人员和作业人员应当严格执行安全技术规范和管理制度，保证特种设备安全。

二、行政法规依据

《特种设备安全监察条例》第三十八条规定：锅炉、压力容器、电梯、起重机械、客运索道、大型游乐设施、场（厂）内专用机动车辆的作业人员及其相关管理人员（以下统称特种设备作业人员），应当按照国家有关规定经特种设备安全监督管理部门考核合格，取得国家统一格式的特种作业人员证书，方可从事相应的作业或者管理工作。

《特种设备安全监察条例》第八十六条规定：特种设备使用单位有下列情形之一的，由特种设备安全监督管理部门责令限期改正；逾期未改正的，责令停止使用或者停产、停业整顿，处2000元以上2万元以下罚款：

- 1) 未依照本条例规定设置特种设备安全管理机构或者配备专职、兼职的安全管理人员的。
- 2) 从事特种设备作业的人员，未取得相应特种作业人员证书，上岗作业的。
- 3) 未对特种设备作业人员进行特种设备安全教育和培训的。

三、部门行政规章依据

《特种设备作业人员监督管理办法》第二条规定：锅炉、压力容器（含气瓶）、压力管道、电梯、起重机械、客运索道、大型游乐设施、场（厂）内机动车辆等特种设备的作业人员及其相关管理人员统称特种设备作业人员。特种设备作业人员作业种类与项目由国家质量监督检验检疫总局统一发布。

从事特种设备作业的人员应当按照本办法的规定，经考核合格取得《特种设备作业人员证》，方可从事相应的作业或者管理工作。

《特种设备作业人员监督管理办法》第四条规定：申请《特种设备作业人员证》的人员，应当首先向省级质量技术监督部门指定的特种设备作业人员考试机构（以下简称考试机构）报名参加考试。

《特种设备作业人员监督管理办法》第三十一条规定：有下列情形之一的，责令用人单位改正，并处1000元以上3万元以下罚款：

1) 违章指挥特种设备作业的。

2) 作业人员违反特种设备的操作规程和有关的安全规章制度操作，或者在作业过程中发现事故隐患或者其他不安全因素未立即向现场管理人员和单位有关负责人报告，用人单位未给予批评教育或者处分的。

《特种设备作业人员监督管理办法》第三十二条规定：非法印制、伪造、涂改、倒卖、出租、出借《特种设备作业人员证》，或者使用非法印制、伪造、涂改、倒卖、出租、出借《特种设备作业人员证》的，处1000元以下罚款；构成犯罪的，依法追究刑事责任。

四、安全技术规范依据

(一) 《特种设备焊接操作人员考核细则》

《特种设备焊接操作人员考核细则》第二条规定：本细则适用于从事《特种设备安全监察条例》中规定的锅炉、压力容器（含气瓶，下同）、压力管道（以下统称为承压类设备）和电梯、起重机械、客运索道、大型游乐设施、场（厂）内专用机动车辆（以下统称为机电类设备）焊接操作人员（以下简称焊工）的考核。

《特种设备焊接操作人员考核细则》第三条规定：从事下列焊缝焊接工作的焊工，应当按照本细则考核合格，持有《特种设备作业人员证》：

- 1) 承压类设备的受压元件焊缝、与受压元件相焊的焊缝、受压元件母材表面堆焊。
- 2) 机电类设备的主要受力结构（部）件焊缝、与主要受力结构（部）件相焊的焊缝。
- 3) 熔入前两项焊缝内的定位焊缝。

《特种设备焊接操作人员考核细则》第四条规定：各省、自治区、直辖市的质量技术监督部门（以下简称省级质监部门）负责确定并且公布本行政区域内的焊工考试机构（以下简称考试机构）及其承担的考试类别、项目范围，其中承担长输（油气）管道和非金属材料的焊工考试的考试机构及其考试类别、项目范围，由省级质监部门审核后报国家质量监督检验检疫总局（以下简称国家质检总局）确定并公布。

《特种设备焊接操作人员考核细则》第五条规定：考试机构在公布的考试类别、项目范围内组织实施考试。考试机构不得强制要求焊工参加本机构组织的培训。

省级质监部门或者授权设区的市的质量技术监督部门（以下简称市级质监部门），对焊工考试进行监督，负责审批、发证和复审（以下简称发证机关）。

《特种设备焊接操作人员考核细则》第三十一条规定：有下列情况之一的，原发证机关可吊销或者撤销其《特种设备作业人员证》：

- 1) 以考试作弊或者以其他欺骗方式取得《特种设备作业人员证》的。
- 2) 违章操作造成特种设备事故的。
- 3) 考试机构或者发证机关工作人员滥用职权，玩忽职守，违反法定程序或者超越范围考试发证的。

《特种设备焊接操作人员考核细则》第三十二条规定：以考试作弊或者以其他欺骗方式取得《特种设备作业人员证》的焊工，吊销证书后3年内不得重新提出焊工考试申请。

(二) 《固定式压力容器安全技术监察规程》(TSG R0004—2009，国家质量监督检验检疫总局2009年8月31日颁布，2009年10月1日起施行)

TSG R0004—2009的4.2.2(1)规定：从事压力容器焊接作业的人员，应当按照有关安全技术规范的规定考核合格，取得相应项目的《特种设备作业人员证》后，方能在有效期间内担

任合格项目范围内的焊接工作。

(三)《锅炉安全技术监察规程》(TSG G0001—2012, 国家质量监督检验检疫总局2012年10月23日颁布, 2013年6月1日起施行)

《锅炉安全技术监察规程》4.3.1(1)规定:焊接锅炉受压元件的焊接操作人员,应当按照《特种设备焊接操作人员考核细则》(TSG Z6002)等有关安全技术规范的要求进行考核,取得《特种设备作业人员证》后,方可在有效期内从事合格项目范围内的焊接工作。

(四)《压力管道安全技术监察规程——工业管道》(TSG D0001—2009, 国家质量监督检验检疫总局2009年5月8日颁布, 2009年8月1日起施行)

TSG D0001—2009的第13条规定:从事管道元件制造和管道安装、改造、维修焊接的焊接人员,必须取得焊工相应的《特种设备作业人员证》后,方可在有效期内承担合格项目范围内的焊接工作。

(五)《起重机械安全技术监察规程——桥式起重机》(TSG Q0002—2008, 国家质量监督检验检疫总局2008年2月21日颁布, 2008年8月1日起施行)

TSG Q0002—2008的第二十条规定:从事起重机制造、施工的作业人员,包括安装、维修人员、主要受力结构件的焊接人员、无损检测人员,必须按照规定,经考核合格,取得相应资格的特种设备作业人员证或者无损检测人员证书后,方可从事批准范围内的工作。

第二节 特种设备许可规则对焊工资格的规定

自2003年起,国家质量监督检验检疫总局颁布了一系列特种设备制造、安装、改造维修的许可条件或许可规则,本节介绍了这些规范中对于特种设备焊工的持证人数及资格方面的规定,以方便于特种设备相关单位生产取证的需要。

一、《锅炉压力容器制造许可条件》(国家质量监督检验检疫总局国质检锅[194]号, 2003年7月1日发布, 自2004年1月1日起施行)的规定

《锅炉压力容器制造许可条件》的第八条规定:锅炉制造企业必须具备适应锅炉生产和管理需要的技术力量。其中第(一)款规定各级锅炉制造企业必须配备足够数量且能满足生产需要的锅炉和焊接专业技术人员。

《锅炉压力容器制造许可条件》的第十一条规定了A级锅炉制造许可专项条件,其中(一)技术力量要求,规定持证焊工人数及项目应满足制造需要,一般不少于50人·项。

《锅炉压力容器制造许可条件》的第十二条规定了B级锅炉制造许可专项条件,其中(一)技术力量要求,规定持证焊工人数及项目应满足制造需要,一般不少于30人·项。

《锅炉压力容器制造许可条件》的第十三条规定了C级锅炉制造许可专项条件,其中(一)技术力量要求,规定持证焊工人数及项目应满足制造需要,一般不少于20人·项。

《锅炉压力容器制造许可条件》的第十四条规定了D级锅炉制造许可专项条件。其中(一)技术力量要求,规定了持证焊工人数及项目应满足制造需要,一般不少于10人·项。

《锅炉压力容器制造许可条件》的第十九条对专业作业人员作了规定,其中有关焊工的规定是:各级别压力容器制造许可企业中,制造焊接压力容器的企业,应具有满足制造需要的,且具备相应资格条件的持证焊工。

1) A2级、A3级和C级许可企业,具有不少于10名持证焊工,且具备至少4项合格项目。

2) A1级、A5级、B2级、B3级许可企业,具有不少于8名持证焊工,且应具备至少3项合格项目(非焊接容器除外)。

3) D 级许可企业, 具有不少于 6 名持证焊工, 且具备至少 2 项合格项目。

二、《空调制冷行业小型压力容器制造许可条件 (试行)》(国质检特 [2010] 438 号, 国家质量监督检验检疫总局 2010 年 8 月 6 日颁布并实施) 的规定

《空调制冷行业小型压力容器制造许可条件 (试行)》的第十一条规定制造单位应当有满足产品制造所需的持证焊工和合格项目。

《空调制冷行业小型压力容器制造许可条件 (试行)》的第十七条 (四) 规定制造单位应当符合以下专项条件: 以自动焊为主的制造单位, 持证焊工不少于 2 名; 以手工焊为主的制造单位, 持证焊工不少于 4 名, 并且至少有 2 项合格项目。

三、《压力管道元件制造许可规则》(TSG D2001—2006, 国家质量监督检验检疫总局 2006 年 10 月 27 日发布, 2007 年 1 月 1 日起施行) 的规定

TSG D2001—2006 对压力管道焊接人员作出规定: 从事压力管道元件承压部分或者非承压部分与承压部分连接部位的焊接 (包括非金属与非金属的永久连接接头)、阀门密封面的堆焊、铸件或者锻件的补焊 (产品标准允许范围内) 的焊接人员, 应当持有质量技术监督部门颁发的特种设备作业人员证, 持证人员的数量和持证项目满足制造需求。

(一) 焊接钢管制造

1. 螺旋缝埋弧焊钢管制造专项条件

对从事螺旋缝埋弧焊钢管制造的焊接人员要求见表 9-1。

表 9-1 对从事螺旋缝埋弧焊钢管制造的焊接人员要求

许可项目级别	A1	A2	B
持证焊接人员数量	至少有 8 名焊机操作工, 且满足每班每台机组至少有两名焊机操作工; 至少有 10 名焊条电弧焊人员, 持证项目满足产品需要	至少有 6 名焊机操作工, 且满足每班每台机组至少有两名焊机操作工; 至少有 6 名焊条电弧焊人员, 持证项目满足产品需要	至少有 4 名焊机操作工, 且满足每班每台机组至少有两名焊机操作工; 至少有 6 名焊条电弧焊人员, 持证项目满足产品需要

2. 直缝埋弧焊钢管制造

A1 级许可制造单位至少 8 名焊机操作工, 且满足每班每台机组至少有 2 名焊机操作工; 至少有 10 名焊条电弧焊人员, 持证项目满足产品需要。

3. 直缝高频焊钢管制造

对从事直缝高频焊钢管制造的焊接人员要求见表 9-2。

表 9-2 对从事直缝高频焊钢管制造的焊接人员要求

许可项目级别	A1	A2	B
持证焊接人员数量	至少有 8 名焊机操作工, 且满足每班每台机组至少有两名焊机操作工; 其他焊接人员持证项目满足产品需要	至少有 6 名焊机操作工, 且满足每班每台机组至少有两名焊机操作工; 其他焊接人员持证项目满足产品需要	至少有 4 名焊机操作工, 且满足每班每台机组至少有两名焊机操作工; 其他焊接人员持证项目满足产品需要

(二) 铸铁管、铸铁管件制造

铸铁管、铸铁管件制造应至少有 1 名持证焊接人员 (从事产品规定允许时的补焊)。

(三) 钢制无缝管件制造

工厂预制弯管应至少有 4 名持证焊接人员。

(四) 钢制有缝管件(钢板制对焊管件)制造

B1 级许可制造单位至少有 4 名持证焊接人员; B2 级许可制造单位至少 2 名持证焊接人员, 持证项目满足制造需要。

(五) 阀门

焊接人员的数量和持证项目满足制造需要, A1 级许可和 A2 级许可制造单位至少 2 名, B 级许可制造单位至少 1 名(所制造产品有焊接要求的)。

(六) 金属波纹膨胀节制造

A 级许可制造单位至少有 10 名持证焊接人员, 并且至少具备 4 项合格项目; B 级许可制造单位至少有 2 名持证焊接人员, 并且至少具备 2 项合格项目。

(七) 其他形式补偿器(不含聚四氟乙烯波纹管膨胀节)制造

金属补偿器制造单位的持证焊接人员应当不少于 2 名, 且至少具备 2 项合格项目。

(八) 金属软管制造

持证焊接人员至少有 2 名, 并且至少具备 2 项合格项目。

(九) 元件组合装置制造

1. 井口装置和采油树、节流压井管汇制造

A 级许可制造单位至少有 3 名持证焊接人员; B 级许可制造单位根据制造需要确定是否配备持证焊接人员。

2. 燃气调压装置、减温减压装置制造

采用焊接方法组装的制造单位, 持证焊接人员不少于 2 名。

3. 其他组合装置制造

本专项条件适用管汇(汇流排)、过滤器、除污器、混合器、缓冲器、凝气(水)缸、绝缘接头阻火器等。

持证焊接人员不少于 2 名, 并且至少具备 2 项合格项目。

(十) 阀门铸件

本专项条件适用于压力管道用阀门的承压件铸件(阀体、阀盖、阀板), 包括铸铜件(铜合金铸件)、铸铁件(灰口铸铁铸件、球墨铸铁铸件)、铸钢件(按铸造方法分为砂型铸造和精密铸造, 按材料分碳素钢铸件、合金钢铸件、低温钢铸件、奥氏体钢铸件)。

铸铁件(球墨铸铁)、铸钢件制造单位至少有 2 名持证焊接人员, 持证项目能够满足产品类别及生产需要(仅制造铸铜件、灰铸铁件的制造单位, 无焊接人员要求)。

四、《锅炉安装改造单位监督管理规则》(TSG G3001—2004, 国家质量监督检验检疫总局 2004 年 06 月 28 日发布, 2004 年 7 月 1 日起施行)的规定

锅炉安装改造单位的人员基本要求见表 9-3。

表 9-3 锅炉安装改造单位的人员基本要求

许可证级别	焊 工			
	人 数	合格项目的试件位置代号		
		管材	板材	管-板
1	20(10)	6G(4 人)	3G(2 人)	6FG(3 人)
2	10(5)	6G(2 人)	3G(1 人)	6FG(2 人)
3	4(2)	6G(2 人)	—	6FG(1 人)

注: 1. “焊工人数”栏括号内的数字为氩弧焊最少人数。

2. 1~2 级安装改造单位的焊工中, 具有 II 类及以上材料试件合格项目的人数不少于 50%。

五、《压力容器安装改造维修许可规则》(TSG R3001—2006, 国家质量监督检验检疫总局2006年06月21日发布, 2006年10月1日其施行)的规定

《压力容器安装改造维修许可规则》中的附件A规定了压力容器安装、改造、维修许可人员条件。1级和2级许可的焊接人员数量见表9-4。1级中安装许可的焊接人员数量见表9-5。

表9-4 1级和2级许可的焊接人员数量

人 数	合格项目的试件位置代号		
	管材	板材	管-板
8(2+2)	2G,5G (5人)	2G,3G (5人)	5FG (2人)

表9-5 1级中安装许可的焊接人员数量

人 数	合格项目的试件位置代号		
	管材	板材	管-板
4(2)	5G(2人)	3G(2人)	5FG(1人)

注:括号内的数字为氩弧焊焊接人员数和埋弧焊人员数。安装单位的焊接人员中,具有Ⅱ级以上(含Ⅱ级)材料试件合格项目的人数不少于50%。

六、《压力管道安装许可规则》(TSG D3001—2009, 国家质量监督检验检疫总局2009年5月8日发布, 2009年8月1日起施行)的规定

《压力管道安装许可规则》的附件B对压力管道安装许可资源条件作了要求。

(一) GA级

GA级安装单位焊接人员要求见表9-6。

表9-6 GA级安装单位焊接人员要求

项 目	许 可 级 别		
	GA1 甲	GA1 乙	GA2
持证焊工	总人数	200	40
	自动焊焊工人数	60	—
	半自动焊焊工及手工焊焊工人数	140	40
钢管焊接合格项目的试件位置代号	5G,2G 人数	200	40
	5GX 人数	140	20

(二) GB级安装单位

- (1) GB1级 持证焊工中气体保护焊焊工不少于5人。
- (2) GB1级(PE管) 持证焊工中,PE管焊工至少为4人,钢管焊工至少为1人,管道固定焊接方法不少于2人·项。
- (3) GB2(1)级(设计压力大于2.5MPa) 持证焊工中气体保护焊焊工不少于5人,各类别材料焊工不少于2人,管道固定焊接方法不少于2人·项。
- (4) GB2(2)级(设计压力小于或等于2.5MPa) 持证焊工中气体保护焊焊工大于2人,管道固定焊接方法不少于2人·项。

GB 级安装单位焊接人员的具体要求见表 9-7。

表 9-7 GB 级安装单位焊接人员的具体要求

项 目		级 别			
		GB1	GB1 (PE 专项)	GB2(1)	GB2(2)
持证焊工	总人数	15	6	15	6
	氩弧焊人数	5	1	5	2
钢管焊接合格项目的试件位置代号	5G、2G 人数	4	4	4	2
	6G 人数	2	1	2	1
	6FG 人数	2	1	2	1

(三) GC 级安装单位

(1) GC1 级 持证焊工中气体保护焊焊工不少于 20 人。自动焊机操作工不少于 2 人, 各类别材料焊工不少于 4 人·项。

(2) GC2 级 持证焊工中气体保护焊焊工不少于 4 人。

(3) GC3 级 持证焊工中气体保护焊焊工多于 2 人, 管道固定焊接方法不少于两人·项。

GC 级安装单位焊接人员的具体要求见表 9-8。

表 9-8 GC 级安装单位焊接人员的具体要求

项 目		级 别		
		GC1	GC2	GC3
持证焊工	总人数	50	10	4
	氩弧焊人数	20	4	2
钢管焊接合格项目的试件位置代号	5G、2G 人数	20	4	2
	6G 人数	4	2	1
	5FG 人数	4	2	1

(四) GD 级安装单位

(1) GD1 级 持证焊工中气体保护焊焊工多于 20 人, 自动焊机操作工不少于 2 人, 各类别材料焊工不少于 4 人·项。

(2) GD2 级 持证焊工中气体保护焊焊工不少于 5 人, 各类别材料焊工不少于 2 人, 管道固定焊接方法不少于 2 人·项。

GD 级安装单位焊接人员的具体要求见表 9-9。

表 9-9 GD 级安装单位人员的具体要求

项 目		级 别	
		GD1	GD2
持证焊工	总人数	50	15
	氩弧焊人数	20	5
钢管焊接合格项目的试件位置代号	5G、2G 人数	20	4
	6G 人数	4	2
	5FG 人数	4	2

(五) 管道带压封堵

管道带压封堵焊接人员的具体要求见表 9-10。

表 9-10 管道带压封堵焊接人员的具体要求

项 目		级 别	
		甲级	乙级
持证焊工	总人数	20	10
钢管焊接合格项目的试件位置代号	5G, 2G 人数	10	4
	5GX 人数	4	2

七、《机电类特种设备制造许可规则（试行）》（国检锅〔2003〕174号，国家质量监督检验检疫总局2003年6月17日颁布并施行）的规定

《机电类特种设备制造许可规则》的附件2起重机械规定了起重机械制造单位技术工人基本条件，见表9-11。

表 9-11 起重机械制造单位技术工人基本条件

基本 条件	起重 机 械		
	A	B	C
技术工人	电工8名以上，电焊工40名以上，均有资格证	电工6名以上，电焊工25名以上，均有资格证（电动葫芦企业电焊工数量不作要求）	电工4名以上，电焊工10名以上，均有资格证（电动葫芦企业电焊工数量不作要求）

八、《机电类特种设备安装改造维修许可规则（试行）》（国检锅〔2003〕251号，国家质量监督检验检疫总局2003年8月8日颁布并施行）的规定

《机电类特种设备安装改造维修许可规则》的附件2，规定了机电类特种设备施工单位作业人员基本要求，见表9-12。

表 9-12 机电类特种设备施工单位作业人员基本要求

施工类别	施工等级	序号	作业人员基本要求
安装	A 级	3	签订1年以上全职聘用合同的持相应作业项目资格证书的特种设备作业人员等技术工人不少于30人（客运索道或大型游乐设施20人），且各工种人员比例合理
	B 级	3	签订1年以上全职聘用合同的持相应作业项目资格证书的特种设备作业人员等技术工人不少于20人（客运索道或大型游乐设施10人），且各工种人员比例合理
	C 级	3	签订1年以上全职聘用合同的持相应作业项目资格证书的特种设备作业人员等技术工人不少于10人（大型游乐设施6人），且各工种人员比例合理

第三节 特种设备焊工考试与发证程序

一、特种设备焊工考试机构

根据国家质检总局颁布的《特种设备焊接操作人员考核细则》（以下简称《细则》），特种设备焊工考试只能由省级质监部门或国家质检总局确定的专业的考试机构进行考试，并只能在公布的考试类别、项目范围内组织实施考试。考试机构的主要职责如下：

- 1) 制定焊工考试计划并且向社会公布。
- 2) 审查焊工考试申请资料。
- 3) 确定基本知识考试试题和操作技能考试试件。

- 4) 准备考试用试板(管)、焊材、设备和设施。
- 5) 组织实施焊工基本知识计算机考试和焊接操作技能考试,负责试卷的评判和试件、试样的检验,评定考试成绩。
- 6) 公布、通知和上报考试结果。
- 7) 建立和管理焊工考试档案。
- 8) 根据申请人的委托向发证机关统一申请办理《特种设备作业人员证》。
- 9) 根据申请人的委托向发证机关统一申请办理《特种设备作业人员证》的复审。
- 10) 向发证机关提交年度工作总结与考试相关统计报表,并且按照特种设备信息化工作的要求,及时将相关信息输入特种设备人员库。

二、考试的一般程序

焊工考试程序一般包括考试报名、资格审查、基本知识考试、焊接操作技能考试、考试成绩评定与通知。

某特种设备焊工考试机构建立的焊工考试流程如图 9-1 所示。

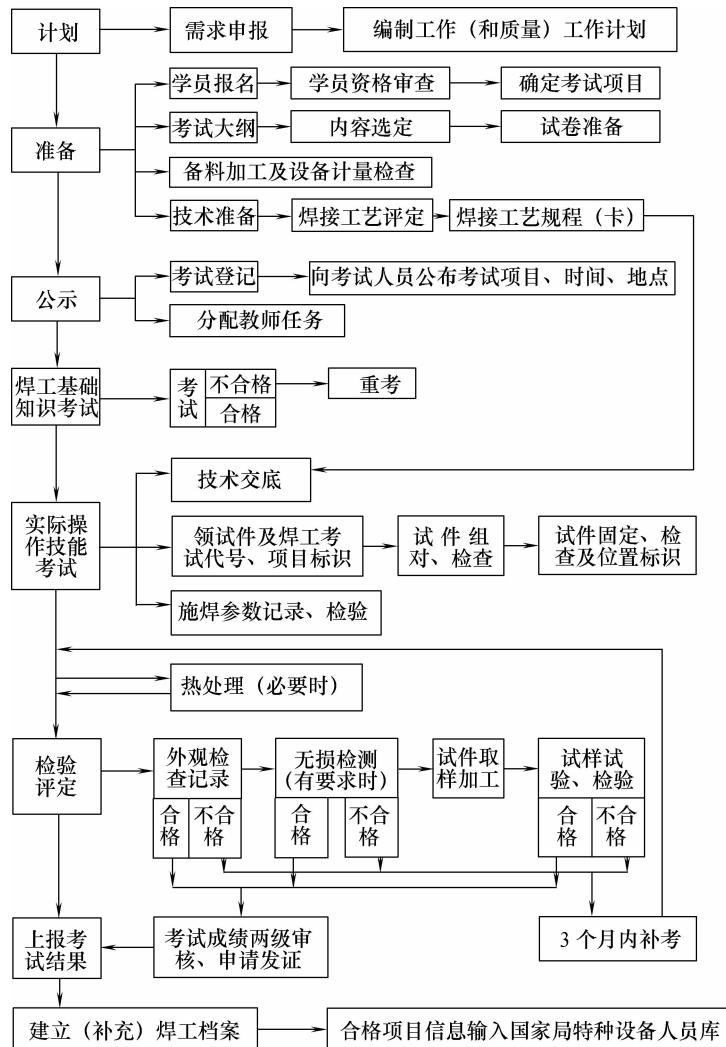


图 9-1 某特种设备焊工考试机构建立的焊工考试流程图

(一) 计划

每年度的特种设备焊工考试计划由考试机构自行制定并向社会公告。国家质检总局“关于《特种设备焊接操作人员考核细则》的实施意见（质检特函〔2011〕9号）”规定：各考试机构应当建立焊工管理的信息系统，以便于焊工网上报名和申请事宜，并及时将焊工考核计划及其焊工管理信息进行公示。

准备参加考试的焊工应注意当地焊工考试机构发布的年度考试信息，以便及时报名。

（二）报名与资格审查

根据《细则》，申请特种设备焊工考试的人员应当符合下列条件：

- 1) 年龄在 18 周岁以上。
 - 2) 身体健康, 能严格按照焊接工艺规程进行操作, 独立承担焊接工作。
 - 3) 具有初中或初中以上文化程度或同等学历。
 - 4) 有与申请作业种类相适应的工作经历。
 - 5) 具有相应的安全技术知识与技能。
 - 6) 符合安全技术规范规定的其他要求。

根据《细则》，报名参加考试的焊工，应当向考试机构提交以下资料：

- 1) 《特种设备焊接操作人员考试申请表》(见表 9-13)。

表 9-13 特种设备焊接操作人员考试申请表

申请人姓名			性别		照片
申请考试性质	<input type="checkbox"/> 首次考试 <input type="checkbox"/> 重新考试 <input type="checkbox"/> 补考 <input type="checkbox"/> 增项 <input type="checkbox"/> 抽考				
通信地址					
学历		邮政编码			
公民身份证号		联系电话			
申请操作技能考试项目					
用人单位(或者培训机构) 名称					
单位地址					
单位联系人				联系电话	
是否委托考试机构办理取证手续: <input type="checkbox"/> 是; <input type="checkbox"/> 否					
工作简历					
用人单位(或者培训机构) 意见	申请人安全教育和培训情况: 申请人独立承担焊接工作的能力: (单位公章) 年 月 日				
相关材料	<input type="checkbox"/> 居民身份证(复印件,1份) <input type="checkbox"/> 2寸正面近期免冠照片(2张) <input type="checkbox"/> 毕业证书(复印件)或者学历证明(1份) <input type="checkbox"/> 医疗卫生机构出具的含有视力、色觉等内容的身体健康证明。 声明:本人对所填写的内容和所提交材料的真实性负责。				
	申请人(签字):			日期:	

注：用人单位（或者培训机构）应当明确申请人经过安全教育和培训情况，并且确认申请人独立承担焊接工作的能力。

- 2) 居民身份证件(复印件,1份)。
- 3) 正面近期免冠照片(2寸,2张)。
- 4) 初中以上(含初中)毕业证书(复印件)或者同等学历证明(1份)。
- 5) 医疗卫生机构出具的含有视力、色觉等内容的身体健康证明。

《特种设备焊接操作人员考试申请表》由用人单位或者培训机构签署意见,并且应明确申请人经过安全教育和培训的内容及课时。

对特种设备焊接作业人员个人的资格审查中比较重要的是由用人单位或者培训机构签署意见,明确申请人身体状况能够适应所申请考核作业项目的需要,经过安全教育和培训,且一般至少有3个月以上申请项目的实习经历。

《细则》规定焊工考试机构应当在收到报名资料15个工作日内完成审查。对符合要求的,通知申请人参加考试;对不符合要求的,通知申请人及时补正资料或者说明不符合要求的理由。

(三) 考试的基本规定

《细则》规定,焊工考试机构在考试30日前公布焊工基本知识考试和焊接操作技能考试项目、时间和地点,并且通知申请人和考试机构所在地的质监部门。

特种设备焊工考试包括理论知识考试和焊接操作技能考试两部分,具体考试方式、内容、要求、作业级别、项目及范围,特种设备作业人员的具体条件要求,按照国家质检总局制定的相关作业人员考试大纲执行。

焊工考试实行计算机与视频管理,基本知识考试采用计算机答题方法,焊接操作技能考试采用施焊试件并且检验评定的方法,视频管理覆盖每个工位。

基本知识考试合格后方能参加焊接操作技能考试。基本知识考试成绩有效期为1年。

焊接操作技能考试不合格的,允许在3个月内补考一次。补考仍不合格者,应当重新申请考试。

只有当基本知识考试与焊接操作技能考试均合格后,该焊工的考试项目为合格。

(四) 基本知识考试

根据《细则》,有下列情况之一时,应当进行相应基本知识考试:

- 1) 首次申请考试的。
- 2) 改变或增加焊接方法的。
- 3) 改变母材种类(如钢、铝、钛等)的。
- 4) 被吊销《特种设备作业人员证》的焊工重新申请考试的。

《细则》规定焊工考试机构应建立试题库,金属材料焊工基本知识考试内容和范围如下:

- 1) 特种设备的分类、特点和焊接要求。
- 2) 金属材料的分类、牌号、化学成分、使用性能、焊接特点和焊后热处理。
- 3) 焊接材料(焊条、焊丝、焊剂和气体等)类型、型号、牌号、使用与保管。
- 4) 焊接设备、工具和测量仪表的种类、名称、使用和维护。
- 5) 常用焊接方法的特点、焊接参数、焊接顺序、操作方法及其对焊接质量的影响。
- 6) 焊缝形式、接头形式、坡口形式、焊缝符号及图样识别。
- 7) 焊接缺陷的产生原因、危害、预防方法和返修。
- 8) 焊缝外观检验方法和要求,无损检测方法的特点、适用范围。
- 9) 焊接应力和变形的产生原因和防止方法。
- 10) 焊接质量控制系统、规章制度、工艺纪律基本要求。
- 11) 焊接作业指导书、焊接工艺评定。
- 12) 焊接安全和规定。

- 13) 特种设备法律、法规和标准。
 - 14) 法规、安全技术规范有关焊接作业人员考核和管理规定。

基本知识考试实行计算机考试，出卷方式为计算机随机选择组卷，考试内容包含相关知识和专业知识两部分。题型一般为客观题，包括判断题、单选题、多选题。基本知识考试满分为 100 分，不低于 60 分为合格。

（五）焊接操作技能考试

焊工基本知识考试合格后方能参加焊接操作技能考试。

1. 考前技术交底

考前技术交底的目的是使考试人员了解考试工作的过程、内容和要求。一般是在考试开始前，由焊工考试机构焊接操作技能教师会同技术人员组织参加考试人员进行各专业各工种的技术交底。

技术交底的内容一般如下：

- 1) 考试的项目。
 - 2) 执行的技术标准、规范和有关规则等。
 - 3) 考试执行的焊接工艺卡（示例见表 9-14）或焊接作业指导书。

表 9-14 焊工考试专用焊接工艺卡

试件编号		焊工考试姓名	
材质规格		考试标准	
工艺评定编号		考试工艺编制人	

位置试件坡口形式：

- 4) 考试的时间进度安排。
- 5) 操作技能的要领。
- 6) 需进行的检验和试验项目和要求达到的质量标准。
- 7) 安全技术规定与措施。
- 8) 其他或特殊的要求等。

焊接操作技能考试须按评定合格的焊接工艺（指焊接准备、焊接方法、钢材、焊接材料、焊接参数和焊接热输入、焊缝形式及焊接位置、焊后热处理、操作要求等）的要求进行，并应与实际担任的焊接工作相类同。

2. 焊工操作技能考试的准备

- 1) 焊工先根据所报考的项目领取试件，由监考人员会同焊工在考试试件上作好焊工考试编号和项目代号的标记。对水平固定的管状或管-板试件，应在试件上标注焊接位置的钟点标记。
- 2) 考试用试件的坡口表面与两侧必须清除干净；焊条和焊剂必须按照规定要求烘干，焊丝必须去除油、锈。
- 3) 焊条必须用焊条保温筒领用，考试之后剩余焊材应在监考人员确认后交回焊材库。每个考试工位应配备一个角向磨光机。考场备有一定数量的电焊面罩，以供考试与监考用。
- 4) 焊工考试试件固定在特制的操作台架上，试件应固定到规定的位置；焊工可对台架进行调整，使试件固定在合适的高度上，以方便考试。
- 5) 焊工根据焊接工艺的规定要求自行组装，考试试件的钝边、间隙一般由考试焊工自定，允许试件在定位焊时预留反变形。

3. 施焊要求

- 1) 焊工应当按照考试机构提供的焊接工艺卡或作业指导书焊接考试试件。
- 2) 手工焊焊工的所有考试试件，第一层焊缝长度中部附近至少有一个停弧再焊接头，焊机操作工考试时，中间不得停弧。
- 3) 采用不带衬垫试件进行焊接操作技能考试时，必须从单面焊接。
- 4) 焊机操作工考试时，允许加引弧板和引出板。
- 5) FeI类钢材（见表2-4）的试件，除管材角焊缝、对接焊缝试件和管-板角接头试件的第一道焊缝在换焊条时允许修磨接头部位外，其他焊道不允许修磨合返修，其他材料（使用镍质焊条除外）除第一层和中间层焊道在换焊条时允许修磨接头部位外，其他焊道不允许修磨合返修。
- 6) 焊接操作技能考试时，试件的焊接位置不得改变。管材对接焊缝和管-板角接头45°固定试件，管轴线与水平面的夹角应为45°±5°。
- 7) 水平固定试件和45°固定试件，定位焊缝不得在“6点”标记处。焊工在进行管材向下焊试件操作技能考试时，严格按照钟点标记固定试件位置，并且只能从“12点”标记处引弧，“6点”标记处收弧；其他操作应当符合本条相关规定。
- 8) 手工焊焊工考试板材试件厚度大于10mm时，不允许用焊接卡具或者其他办法将板材试件刚性固定，但是允许试件在定位时预留反变形量，厚度小于或者等于10mm的板材试件允许刚性固定。
- 9) 对接焊缝试件、角焊缝试件和管-板角接头试件，均要求全焊透。
- 10) 堆焊试件焊道熔敷金属宽度应当大于12mm，首层至少堆焊3条并列焊道，总宽度大于或者等于38mm。
- 11) 螺柱焊焊接操作考试时，应当采用机动焊或自动焊焊接（手工引弧除外）。
- 12) 试件尺寸与数量按表9-15的规定，不得多焊试件从中挑选。

表 9-15 试件尺寸及数量 (单位: mm)

试件类别	试件形式	试件尺寸						试件数量 /个
		L_1	L_2	B	T	D	δ_0	
对接焊缝试件	板	手工焊 ≥ 300	—	≥ 200	自定	—	—	1
		机动焊、自动焊 ≥ 400	—	≥ 240		25	—	3
对接焊缝试件	管	手工焊、机动焊、自动焊 ≥ 200	—	—	自定	$25 \leq D$	—	3
			—	—		< 76	—	1
		手工向下焊 ≥ 200	—	—		≥ 76	—	1
						≥ 300	—	1
角焊缝试件	板	手工焊 ≥ 300	≥ 75	≥ 100	≤ 10	—	$\geq T$	1
		机动焊、自动焊 ≥ 400	≥ 75	≥ 100		—	$\geq T$	1
	管与板(管)	手工焊 ≥ 75	$\geq D + 100$	自定	< 76	$\geq T$	2	
		机动焊、自动焊 ≥ 5			≥ 76		1	
管-板角接头试件	管与板	手工焊 ≥ 75	$\geq D + 100$	自定	< 76	$\geq T$	2	
		机动焊、自动焊 ≥ 5			≥ 76		1	
堆焊试件	板	≥ 250	—	≥ 150	< 25 或 ≥ 25	—	—	1 ^①
	管	≥ 200	—	—		—	—	
螺柱焊试件	板与柱	—	$8D \sim 10D$	≥ 50	—	—	—	5

注: 试件尺寸代号如图 9-2 所示。

① 管材堆焊试件最少数量应当满足取样要求。

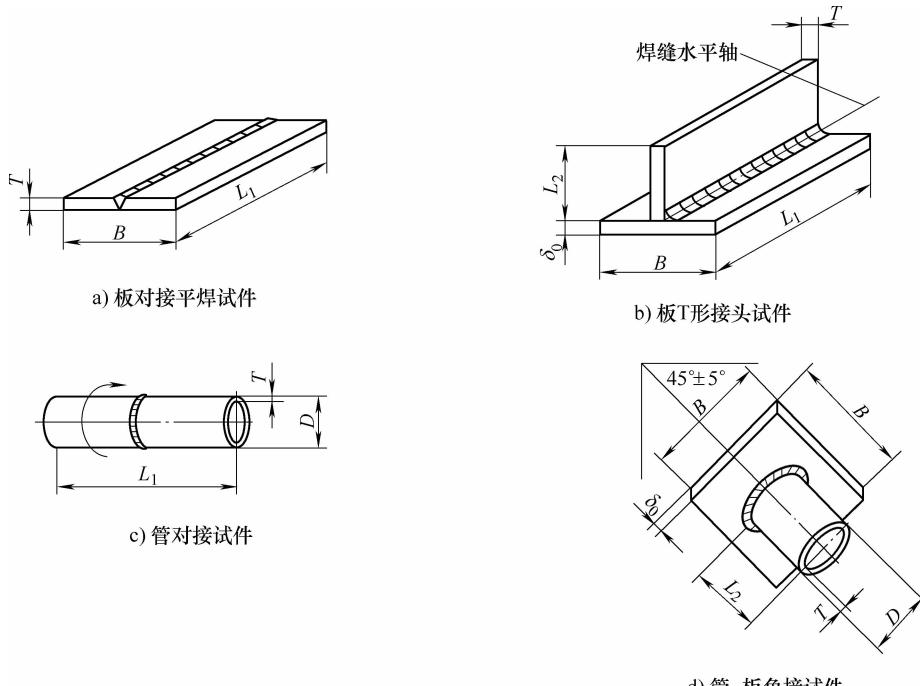


图 9-2 试件尺寸代号

4. 结果评定

焊工焊接操作技能考试通过检验试件进行评定，各试件按照《细则》规定的检验内容逐项进行，每个试件的各项检验要求均合格时，该考试项目为合格。

由两名以上（含两名）焊工进行的组合考试，应当分别检验与记录，如某项不合格，在能够确认该项施焊焊工时，则该焊工考试不合格；如不能确认该项施焊焊工的，则参与该组合考试的焊工均不合格；其他组合考试，有任一项不合格，则组合考试项目不合格。

具体评定项目及合格标准见本书第六章第三节中的“四、特种设备焊工焊接操作技能考核试件的焊接质量检验”部分。

《细则》规定，考试机构应当在考试结束后的 20 个工作日内，完成考试成绩的评定。

《细则》规定，焊工考试机构应当按照特种设备信息化工作的要求，及时将相关信息输入特种设备人员库。

三、发证

省级质监部门或者授权设区的市的质量技术监督部门，对焊工考试进行监督，负责审批、发证和复审。焊工用《特种设备作业人员证》由国家质检总局统一印制。

申请人可委托焊工考试机构统一向发证机关申请办理《特种设备作业人员证》。

焊工考试机构将焊工考试结果报发证机关并且通知报名的焊工。基本知识考试和焊接操作技能考试合格的焊工，由考试机构汇总焊工报名资料、考试资料向发证机关统一申请办理《特种设备作业人员证》，也可以由焊工个人向发证机关申请办理。

《特种设备作业人员监督管理办法》（总局第 140 号令：《国家质量监督检验检疫总局关于修改<特种设备作业人员监督管理办法>的决定》规定：发证机关负责上传特种设备作业人员信息到中国特种设备公示信息查询网（www.cnse.gov.cn），特种设备作业人员可凭证书编号、档案编号和姓名上网查询。

《特种设备作业人员证》在全国各地同等有效。

四、焊工证考试项目代号

（一）作业种类

按照《特种设备作业人员监督管理办法》的规定，特种设备焊接作业分为“承压焊”（指承压设备的焊接）和“结构焊”（指机电类设备的焊接），《特种设备作业人员证》焊工考试合格的项目填写方法如下：

1) 如果结构焊焊工考试中有特殊要求（如机电类设备采用超出国内设计规范规定范围的材料，或者采用标准抗拉强度下限值大于 610MPa 的低合金钢、不按照《承压设备焊接工艺评定》进行焊接工艺评定、试件不按照 JB/T4730《承压设备无损检测》进行无损检测等），焊工考试合格的项目必须分为“承压焊”或者“结构焊”；当《特种设备作业人员证》需同时包括“承压焊、结构焊”时，则其“作业种类”栏“特种设备焊接作业”后加“（承压焊、结构焊）”，并且在批准项目页中填写的合格项目代号前注明“承压焊”或者“结构焊”（分别用代号“Y”和“J”表示）。

2) 如果结构焊焊工考试中有特殊要求，《特种设备作业人员证》不同时包括“（承压焊）”时，则其“作业种类”栏“特种设备焊接作业”后加“（结构焊）”，在批准项目页中直接填写合格项目代号。

3) 如果结构焊焊工考试中没有特殊要求，《特种设备作业人员证》中的“作业种类”栏“特种设备焊接作业”后加“（承压焊、结构焊）”，在批准项目页中直接填写合格项目代号，不

必注明“承压焊”或者“结构焊”。

(二) 金属材料焊工操作技能考试项目代号

焊工考试项目(位置)的代号应按每个焊工、每种焊接方法分别表示。

1. 手工焊焊工操作技能考试项目表示方法

焊工用手进行操作和控制焊接参数而完成的焊接称为手工焊。

考试项目代号表示为: ①—②—③—④/⑤—⑥—⑦, 其中:

①表示焊接方法, 见表 9-16, 耐蚀堆焊代号加“(N 及试件母材厚度)”。

②表示金属材料类别代号, 见表 2-4, 异种材料用“X/X”表示。

③表示试件位置代号, 见表 9-17、图 9-3~图 9-7, 带衬垫代号加“(K)”。

④表示试件焊缝金属厚度(对于板材角焊缝试件为试件母材厚度)。

⑤表示试件外径, 单位为 mm。

⑥表示填充金属类别代号, 见表 9-18。

⑦表示焊接工艺因素代号, 见表 9-19。

如果操作技能考试项目中不出现某项时, 则不填。

2. 焊机操作工操作技能考试项目的表示方法

操作机动焊、自动焊设备的焊工称为焊机操作工。

考试项目代号表示为: ①—②—③, 其中:

①表示焊接方法, 见表 9-16, 耐蚀堆焊代号加“(N 及试件母材厚度)”。

②表示试件位置代号, 见表 9-17、图 9-3~图 9-7, 带衬垫代号加“(K)”。

③表示焊接工艺因素代号, 见表 9-19, 存在两种以上要素时, 用“/”分开。

考试项目中不出现某项时, 则不填。

表 9-16 焊接方法及代号

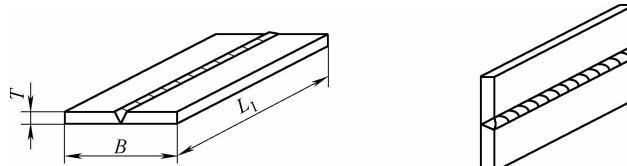
焊接方法	代号	焊接方法	代号
焊条电弧焊	SMAW	等离子弧焊	PAW
钨极气体保护焊	GTAW	气电立焊	EGW
熔化极气体保护焊	GMAW(含药芯焊丝电弧焊 FCAW)	摩擦焊	FRW
埋弧焊	SAW	螺柱电弧焊	SW
电渣焊	ESW		

表 9-17 试件类别、位置及代号一览表

试件类别	试件位置	代号
板材对接焊缝试件	平焊试件	1G
	横焊试件	2G
	立焊试件	3G
	仰焊试件	4G
板材角焊缝试件	平焊试件	1F
	横焊试件	2F
	立焊试件	3F
	仰焊试件	4F

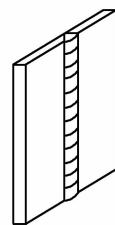
(续)

试件类别	试件位置	代号
管材对接焊缝试件	水平转动试件	1G(转动)
	垂直固定试件	2G
	水平固定试件	5G
		5GX(向下焊)
	45°固定试件	6G
		6GX(向下焊)
管-材角焊缝试件(分管-板角焊缝试件和管-管角焊缝试件两种)	45°转动试件	1F
	垂直固定横焊试件	2F
	水平转动试件	2FR(转动)
	垂直固定仰焊试件	4F
	水平固定试件	5F
管板角接头试件	水平转动	2FRG(转动)
	垂直固定平焊	2FG
	垂直固定仰焊	4FG
	水平固定	5FG
	45°固定	6FG
螺柱焊试件	平焊试件	1S
	横焊试件	2S
	仰焊试件	4S

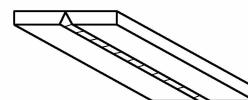


a) 平焊试件代号1G

b) 横焊试件代号2G



c) 立焊试件代号3G



d) 仰焊试件代号4G

图 9-3 板材对接焊缝试件(无坡口时为堆焊试件)位置代号

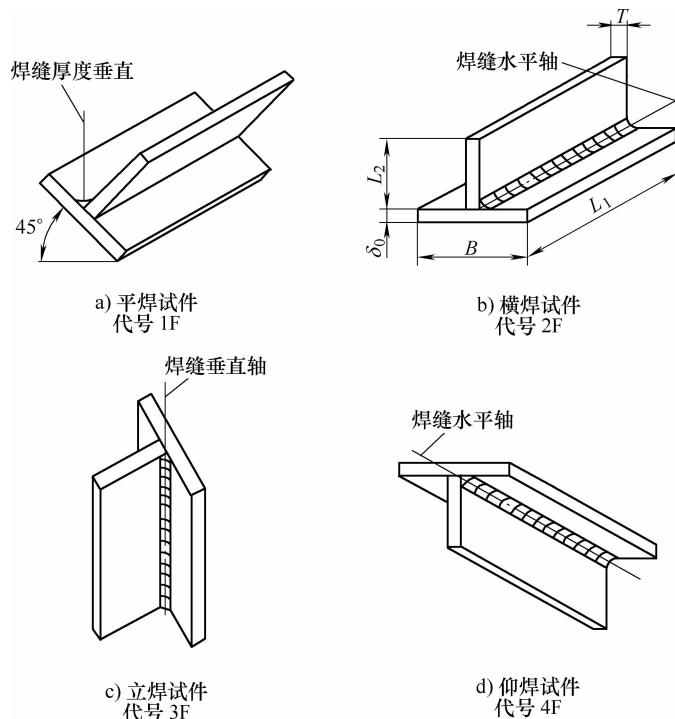


图 9-4 板材角焊缝试件位置代号

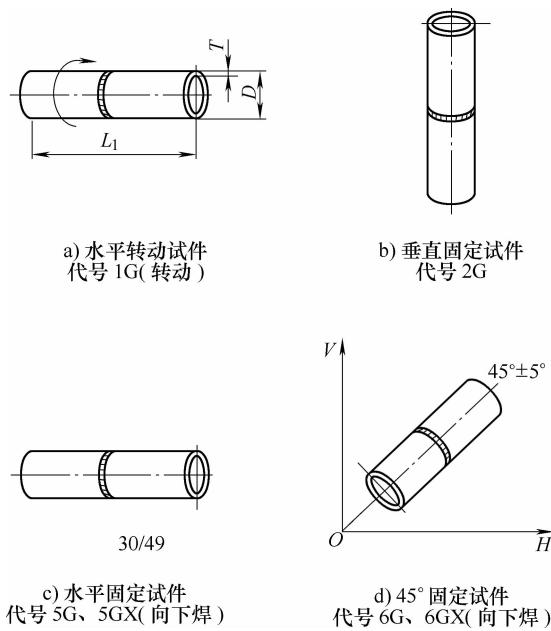


图 9-5 管材对接焊缝试件 (无坡口时为堆焊试件) 位置代号

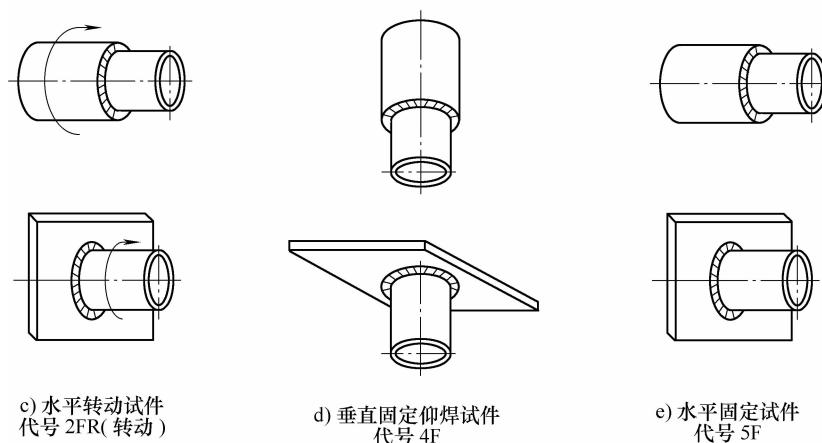
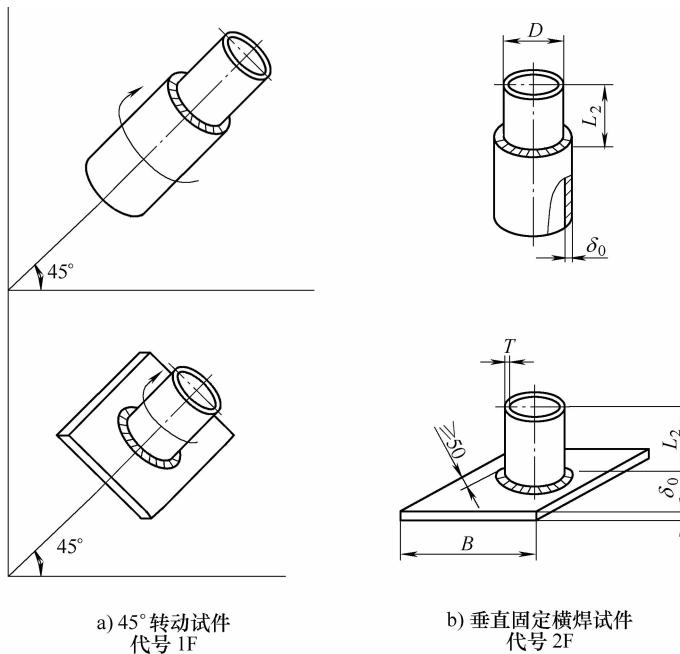


图 9-6 管材角焊缝试件位置代号

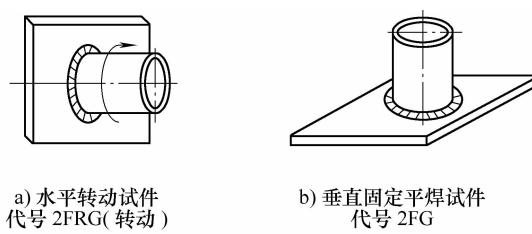


图 9-7 管-板角接头试件位置代号

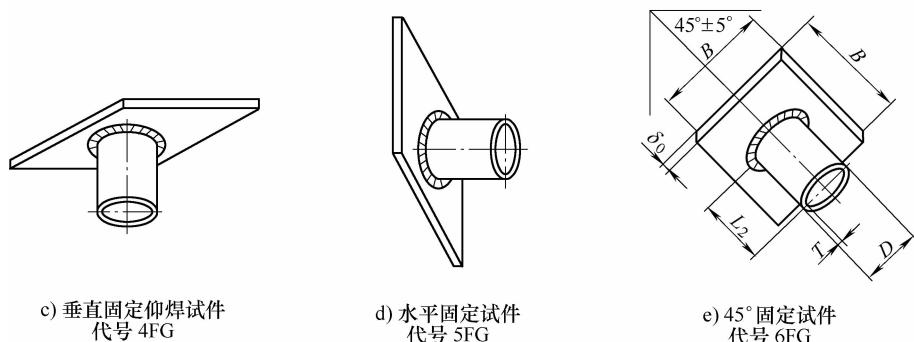


图 9-7 管-板角接头试件位置代号 (续)

表 9-18 填充金属类别、示例与适用范围

填充金属		试件用填充金属类别代号	相应型号、牌号	适用于工件填充金属类别范围
种类	类别			
钢	碳钢焊条、低合金钢焊条、马氏体钢焊条、铁素体钢焊条	Fef1 (钛钙型)	EXX03	Fef1
		Fef2 (纤维素型)	EXX10 EXX11 EXX10-X EXX11-X	Fef1 Fef2
		Fef3 (钛型、钛钙型)	EXXX(X)-16 EXXX(X)-17	Fef1 Fef3
		Fef3J (低氢型、碱性)	EXX15 EXX16 EXX18 EXX48 EXX15-X EXX16-X EXX18-X EXX48-X EXXX(X)-15 EXXX(X)-16 EXXX(X)-17	Fef1 Fef3 Fef3J
	奥氏体钢焊条、奥氏体与铁素体双相钢焊条	Fef4 (钛型、钛钙型)	EXXX(X)-16 EXXX(X)-17	Fef4
		Fef4J (碱性)	EXXX(X)-15 EXXX(X)-16 EXXX(X)-17	Fef4 Fef4J
	全部钢焊丝	FefS	全部实心焊丝和药芯焊丝	FefS

注：有色金属部分略，详见《细则》。

表 9-19 焊接工艺因素与代号

自动化程度	焊接工艺因素	焊接工艺因素代号	
手工焊	气焊、钨极气体保护焊、等离子弧焊用填充金属丝	无	01
		实心	02
		药芯	03
	钨极气体保护焊、熔化极气体保护焊和等离子弧焊时，背面保护气体	有	10
		无	11

(续)

自动化程度	焊接工艺因素	焊接工艺因素代号	
手工焊	钨极气体保护焊电流类别与极性	直流正接	12
		直流反接	13
		交流	14
	熔化极气体保护焊	喷射弧、熔滴弧、脉冲弧	15
		短路弧	16
机动焊	钨极气体保护焊自动稳压系统	有	04
		无	05
	钨极气体保护焊	目视观察、控制	19
		遥控	20
	各种焊接方法自动跟踪系统	有	06
		无	07
	各种焊接方法每面坡口内焊道	单道	08
		多道	09
自动焊	摩擦焊	连续驱动摩擦	21
		惯性驱动摩擦	22

(三) 焊工考试项目代号举例

- 1) 厚度为 14mm 的 Q345R 钢板对接焊缝平焊试件带衬垫, 使用 J507 焊条进行焊条电弧焊, 试件全焊透, 项目代号为 SMAW-Fe II -1G (K)-14-Fef3J。
- 2) 壁厚为 8mm、外径为 60mm 的 Q245R 钢管对接焊缝水平固定试件, 背面不加衬垫, 用手钨极氩弧焊打底, 背面没有保护气体, 填充金属为实心焊丝, 采用直流电源, 反接施焊, 焊缝金属厚度为 3mm。然后采用 J427 焊条焊填满坡口, 项目代号为 GTAW-Fe I -5G-3/60-FefS-02/11/13 和 SMAW-Fe I -5G (K) -5/60-Fef3J。
- 3) 板厚为 10mm 的 Q345R 钢板对接焊缝立焊试件无衬垫, 采用半自动 CO₂ 气体保护焊, 填充金属为药芯焊丝, 背面无气体保护, 采用喷射过渡施焊, 试件全焊透, 项目代号为 FCAW-Fe II -3G-10-FefS-11/15。
- 4) 管材对接焊缝无衬垫水平固定试件, 壁厚为 8mm, 外径为 70mm, 钢号为 Q345, 采用自动熔化极气体保护焊, 使用实心焊丝, 脉冲弧施焊, 在自动跟踪条件下进行多道焊, 试件全焊透, 项目代号为 GMAW-5G-06/09/20。
- 5) 壁厚为 10mm、外径为 86mm 的 Q345 钢制管材垂直固定试件, 使用 A312 焊条沿圆周方向焊条电弧堆焊, 项目代号为 SMAW (N10) -Fe II -2G-86-Fef4。
- 6) 管-板角接头无衬垫水平固定试件, 管材壁厚为 3mm, 外径为 25mm, 材质为 20 钢, 板材厚度为 8mm, 材质为 Q345R, 手工钨极氩弧焊打底不加填充焊丝, 采用直流电源反接, 背面无气体保护, 焊缝金属厚度为 2mm, 然后采用自动钨极氩弧焊药芯焊丝多道焊, 填满坡口, 焊机无稳压系统, 无自动跟踪系统, 目视观察、控制。项目代号为 GTAW-Fe I /Fe II -5FG-2/25-01/11/13 和 GTAW-5FG (K) -05/07/09/19。
- 7) S290 钢管外径为 320mm, 壁厚为 12mm, 水平固定位置, 使用 EXX10 焊条向下焊打底, 背面没有衬垫, 焊缝金属厚度为 4mm, 然后采用药芯焊丝机动向上焊, 无自动跟踪系统, 遥控

施焊过程，进行多道多层焊填满坡口，项目代号为 SMAW-Fe II -5GX-4/320-Fef2 和 FCAW-5G (K) -07/09/20。

8) 板厚为 16mm 的 06Cr19Ni10 钢板，采用埋弧焊（机动）平焊，背面加焊剂垫，焊机无自动跟踪系统，焊丝为 H08Cr21Ni10Ti，焊剂为 HJ260，单面施焊 2 层，填满坡口，项目代号为 SAW-1G (K) -07/09/19。

9) 厚度 12mm 的 1060 铝板对接焊缝平焊试件，采用半自动熔化极气体保护焊、焊丝用 ER4043 焊丝，采用直流反接，熔滴弧施焊，单面多道焊全焊透，背面有保护气体，项目代号为 GMAW-A1 I -1G-12-AlfS3-10/15。

10) 板厚为 10mm 的 Q345R 钢板角焊缝试件，立焊。采用半自动 CO₂ 气体保护焊，背面无保护气体，填充金属为药芯焊丝，喷射弧过渡，完成试件的焊接，项目代号为 FCAW-Fe II -3F-10-FefS-11/15。

五、特殊要求的考试项目

根据《细则》的规定，对于特殊考试项目，由用人单位按照产品设计和制造技术条件要求，参照国内外相应标准制定考试的具体要求，包括考试范围、内容、方法和结果评定标准，必要时组织专家进行审查。评审通过后，报发证机关备案。其他要求仍按《细则》执行。考试机构接到发证机关委托后，按考试工作程序先编制焊接工艺指导书，再进行焊接工艺评定，合格后方可组织考试。必要时可到用人单位考试。考试合格后报发证机关。

符合下列条件的焊工考试项目为特殊要求的项目：

- 1) 以《细则》规定以外的焊接方法（如钎焊）、材料类别（如中碳钢、锡青铜、锆及锆合金）、填充材料类别和焊缝形式（如耐磨层堆焊、端接焊缝、槽焊缝和塞焊缝）进行焊接。
- 2) 机电类设备采用超出国内设计规范规定范围的材料，或者采用标准抗拉强度下限值大于 610MPa 的低合金钢。

第四节 特种设备焊工证的复审

《细则》第二十四条规定，《特种设备作业人员证》每四年复审一次。

一、复审申请

持证焊工应当在期满 3 个月之前，将复审申请资料提交给原考试机构，委托考试机构统一向发证机关提出复审申请；焊工个人也可以将复审申请资料直接提交原发证机关，申请复审。跨地区作业的焊工，可以向从业所在地的发证机关申请复审。从业所在地的发证机关办理复审时，可以向原考试机构调取作业人员档案或登录中国特种设备公示信息查询网，确定原证件的有效性。

申请复审时，持证焊工应当提交以下资料：

- 1) 《特种设备焊接操作人员复审申请表》（见表 9-20，1 份）。
- 2) 《特种设备作业人员证》（原件）。
- 3) 《特种设备焊接操作人员焊绩记录表》（见表 9-21，1 份）。
- 4) 《特种设备焊接操作人员考试基本情况表》（见表 9-22，1 份）。
- 5) 焊接操作技能考试检验记录表（适用于重新考试或者抽考的焊工，1 份）。
- 6) 医疗卫生机构出具含有视力、色觉等内容的身体健康证明（原件）。

《特种设备焊接操作人员复审申请表》由聘用焊工的单位（用人单位）或者培训机构签署意见，明确申请人经过安全教育和培训的内容及课时，有无违规、违法等不良记录。

表 9-20 特种设备焊接操作人员复审申请表

申请人姓名		性别		照片
通信地址				
学历		邮政编码		
公民身份证号码		联系电话		
原发证机关				
发证机关地址				
证书编号			发证日期	
申请复审考试项目	上次考试时间	申请复审考试项目	上次考试时间	

是否委托考试机构办理复审手续: 是; 否

用人单位			
单位地址			
单位联系人		联系电话	
工作简历			
用人单位(或者培训机构) 意见	申请人安全教育和培训: 申请人违规、违法等不良记录: (用人单位或者培训机构公章) 年 月 日		

相关材料	<input type="checkbox"/> 《特种设备作业人员证》(原件) <input type="checkbox"/> 《特种设备焊接操作人员焊绩记录表》(原件) <input type="checkbox"/> 医疗卫生机构出具的含有视力、色觉等内容的身体健康证明(原件) <input type="checkbox"/> 焊接操作人员焊接操作技能考试检验记录表(原件) 声明:本人对所填写的内容和所提交材料的真实性负责。		
	申请人(签字): 日期:		

注: 用人单位(或者培训机构)应当明确申请人经过安全教育和培训情况, 并且确认申请人是否有违规、违法等不良记录。

表 9-21 特种设备焊工焊绩记录表

用人单位: _____ (公章)

焊工姓名: _____ 公民身份证号码: _____

《特种设备作业人员证》编号: _____

记录表编号: _____

产品名称与编号	焊缝编号	合格项目代号	填表人与施焊日期
			月 日
			月 日
			月 日
			月 日
			月 日

违规、违法记录

焊接检验员:

日期：

焊接责任工程师:

日期：

表 9-22 特种设备焊接操作人员考试基本情况表

姓 名				性 别			
公民身份号码				焊接操作人员 考试编号			
首次取得焊接操作 人员合格证时间				考试性质	<input type="checkbox"/> 首次考试; <input type="checkbox"/> 重新考试; <input type="checkbox"/> 补考; <input type="checkbox"/> 增项; <input type="checkbox"/> 抽考		
重新考试原因							
基本知识 考试	考试日期						
	考试内容	焊接方法			试卷编号		
		母材种类			考试成绩		
操作技能 考试	时间		项目代号		监考人员	考试结果	

说明：

主任： 日期： (考试机构公章)
年 月 日

- 注：1. 当焊接设备与仪表、试件用母材、焊材与烘干、试件加工与尺寸、检验人员资质、焊工执行焊接工艺、考场纪律都合格时，监考人员才能签字确认。
 2. 对于第二次及以后复审考试项目，应当说明适用于该焊工证上未考的项目范围。

二、复审要求

《细则》规定：复审时，满足以下所有要求的为复审合格：

- 1) 提交的复审申请资料真实齐全。
- 2) 年龄不超过 55 岁。
- 3) 没有因违反工艺纪律以致发生重大质量事故的。
- 4) 重新考试合格的项目或者按照《细则》附件 A 的 A8、附件 B 的 B7 抽考合格的项目。

首次取得的合格项目在第一次复审时，需要重新进行考试；第二次以后（含第二次）复审时，可以在合格项目范围内抽考。

三、复审抽考

《细则》规定：持证手工焊焊工或者焊机操作工某焊接方法中断特种设备焊接作业 6 个月以上，该手工焊焊工或者焊机操作工若再使用该焊接方法进行特种设备焊接作业前，应当复审抽

考。

年龄超过 55 岁的焊工，需要继续从事特种设备焊接作业，根据情况由发证机关决定是否需要进行考试。

(一) 抽考项目

《细则》附件 A 的 A8 规定的抽考方法为：

- 1) 在焊工持有项目范围内（可被替代的项目除外）抽考的项目，应当包括每种焊接方法。
- 2) 在同一种焊接方法的项目中，按照手工焊—机动焊—自动焊的替代顺序抽考。在同一种焊接方法、同一自动化程度的若干项目中，在复审焊工或者其代表在场的情况下，由考试机构随机抽取任一项目，作为复审抽考项目。

(二) 抽考项目结果判定

- 1) 抽考项目合格，则相同焊接方法中的所有项目继续有效。
- 2) 抽考项目不合格，则相同焊接方法中的所有项目不再有效。

四、复审发证

《细则》规定：发证机关应当在 5 个工作日内对复审资料进行审查，或者告知申请人补正申请资料，并且做出是否受理的决定。能够当场审查的，应当场办理。同意受理的复审申请，发证机关应当在 20 个工作日内完成复审。合格的，在证书正本上登记复审考试通过的项目并签章；不合格的，应当书面说明理由。

《细则》规定：逾期未申请复审、复审不合格者，其《特种设备作业人员证》失效，由发证机关予以注销并公告。

第五节 特种设备焊工考试项目的覆盖范围

申请参加考试的焊工，其考试项目由用人单位或申请人个人提出的，一般是根据焊接工程或产品的实际需要，按《细则》的具体规定进行选择的。所以报考焊工考试项目时，应注意两大关键问题：一是焊工是否有所报考项目的实际工作或培训经历，有足够的能力通过考试；二是所报考的项目能否满足实际工程或产品的需要，且在焊工能力具备的基础上，能否可以报考难度较大的项目，尽可能多地覆盖难度相对低的项目，也就是减少持证项目，减少考试成本。要正确地报考焊工考试项目，应先对焊接操作技能有关的要素有所了解；其次，要对考试项目的覆盖范围有所了解。

焊接操作技能有关的要素：焊接方法、焊接方法的自动化程度、金属材料类别、填充金属类别、试件位置、衬垫、焊缝金属厚度、管材外径、焊接工艺因素。

一、焊接方法

变更焊接方法，焊工需要重新进行焊接操作技能考试。

在同一种焊接方法中，当发生下列情况时，焊工也需重新进行焊接操作技能考试：

- 1) 手工焊焊工变更为焊机操作工，或者焊机操作工变更为手工焊焊工。
- 2) 自动焊焊工变更为机动焊焊工。

二、金属材料的类别

(一) 钢号

焊工采用某类别任一钢号，经过焊接操作技能考试合格后，当发生下列情况时，不需重新进

行焊接操作技能考试：

- 1) 手工焊焊工焊接该类别其他钢号。
- 2) 手工焊焊工焊接该类别钢号与类别号较低钢号所组成的异种钢号焊接接头。
- 3) 除 FeIV 类外，手工焊焊工焊接类别号较低钢号。
- 4) 焊机操作工焊接各类别中的钢号。

(二) 异类别钢号

手工焊焊工采用异类别钢号组成的管-板角接头（或者管材角焊缝）试件，经焊接操作技能考试合格后，视为该焊工已通过试件中较高类别钢的焊接操作技能考试，当焊接钢管-板角接头（或者管材角焊缝）工件时，可执行本小节“（一）钢号”中1)、2)、3) 条的规定。

三、填充金属的类别

- 1) 手工焊焊工采用某类别填充金属材料，经焊接操作技能考试合格后，适用于工件相应种类的填充金属材料类别范围，按照表 9-18 的规定。
- 2) 焊机操作工采用某类别填充金属材料，经焊接操作技能考试合格后，适用于工件相应种类的各类别填充金属材料。

四、焊剂、保护气体、钨极

焊接操作技能考试合格的焊工，当变更焊剂型号、保护气体种类、钨极种类时，不需要重新进行焊接操作技能考试。

五、试件位置

- 1) 手工焊焊工或者焊机操作工，采用对接焊缝试件、角焊缝试件和管-板角接头试件，经过焊接操作技能考试合格后，适用于工件的焊缝和工件位置见表 9-23。
- 2) 管材角焊缝试件焊接操作技能考试时，可在管-板角焊缝试件与管-管角焊缝试件中任选一种。
- 3) 手工焊焊工向下立焊试件考试合格后，不能免考向上立焊，反之也不可。

表 9-23 试件适用工件焊缝和工件位置

试件		适用工件范围		
		对接焊缝位置		角焊缝位置
类别	代号	板材和外径大于 600mm 的管材	外径小于或等于 600mm 的管材	
板材 对接 焊缝 试件	1G	平	平 ^①	平
	2G	平、横	平、横 ^①	平、横
	3G	平、立（注 A-1）	平 ^①	平、横、立
	4G	平、仰	平 ^①	平、横、仰
管材 对接 焊缝 试件	1G	平	平	平
	2G	平、横	平、横	平、横
	5G	平、立、仰	平、立、仰	平、立、仰
	5GX	平、立向下、仰	平、立向下、仰	平、立向下、仰
	6G	平、横、立、仰	平、横、立、仰	平、横、立、仰
	6GX	平、立向下、横、仰	平、立向下、横、仰	平、立向下、横、仰

(续)

试件		适用工件范围		
		对接焊缝位置		角焊缝位置
类别	代号	板材和外径大于600mm的管材	外径小于或等于600mm的管材	
管板角接头试件	2FG	—	—	平、横
	2FRG	—	—	平、横
	4FG	—	—	平、横、仰
	5FG	—	—	平、横、立、仰
	6FG	—	—	平、横、立、仰
板材角焊缝试件	1F	—	—	平 ^②
	2F	—	—	平、横 ^②
	3F	—	—	平、横、立 ^②
	4F	—	—	平、横、仰 ^②
管材角焊缝试件	1F	—	—	平
	2F	—	—	平、横
	2FR	—	—	平、横
	4F	—	—	平、横、仰
	5F	—	—	平、立、横、仰

注：表中“立”表示向上立焊；“立向下”表示向下立焊。

① 板材对接焊缝试件考试合格后，适用于管材对接焊缝工件时，管外径应大于或等于76mm。

② 板材角焊缝试件考试合格后，适用于管材角焊缝焊件时，管外径应大于或等于76mm。

六、衬垫

手工焊焊工和焊机操作工采用不带衬垫对接焊缝试件和管-板角接头试件，经焊接操作技能考试合格后，分别适用于带衬垫对接焊缝工件和管-板角接头工件，反之不适用。

七、焊缝金属厚度的有关要求

1) 手工焊焊工采用对接焊缝试件，经焊接操作技能考试合格后，适用于工件焊缝金属厚度范围见表9-24，当某焊工用一种焊接方法考试且试件截面全焊透时，对接焊缝金属厚度 t 与试件母材厚度 T 相等。

表9-24 手工焊对接焊缝试件适用于对接焊缝工件焊缝金属厚度范围 (单位: mm)

焊缝形式	试件母材厚度 T	适用于工件焊缝金属厚度	
		最小值	最大值
对接焊缝	<12	不限	$2t$
	≥ 12	不限	不限(t 不得小于12mm,且焊缝不得少于3层)

注： t 为每名焊工、每种焊接方法在试件上的对接焊缝金属厚度(不计余高)。

2) 手工焊焊工采用半自动熔化极气体保护焊，短路过渡焊接对接焊缝试件，焊缝金属厚度 $t < 12\text{mm}$ ，经焊接操作技能考试合格后，适用于工件焊缝金属厚度为小于或者等于 $1.1t$ ；若当试

件焊缝金属厚度 $t \geq 12\text{mm}$ ，且焊缝不得少于 3 层，经焊接操作技能考试合格后，适用于工件焊缝金属厚度范围不限。

3) 焊机操作工采用对接焊缝试件或管-板角接头试件考试时，母材厚度 T 与 δ_0 由考试机构自定，经焊接操作技能考试合格后，适用于工件焊缝金属厚度不限。

八、管材外径

(一) 对接焊缝和管-板角接头

1) 手工焊焊工采用管材对接焊缝试件，经焊接操作技能考试合格后，适用于管材对接焊缝工件外径范围见表 9-25，适用于焊缝金属厚度范围见表 9-24。

表 9-25 手工焊管材对接焊缝试件适用于对接焊缝工件外径范围 (单位: mm)

管材试件外径 D	适用于管材工件外径范围	
	最小值	最大值
< 25	D	不限
$25 \leq D < 76$	25	不限
≥ 76	76	不限
$\geq 300^{\textcircled{1}}$	76	不限

① 管材向下焊试件。

2) 手工焊焊工采用管-板角接头试件，经焊接操作技能考试合格后，适用于管-板角接头工件尺寸范围见表 9-26；当某焊工用一种焊接方法考试且试件截面全焊透时， t 与试件板材厚度 δ_0 相等；当 $\delta_0 \geq 12$ 时， t 应不小于 12mm，且焊缝不得少于 3 层。

3) 焊机操作工采用管材对接焊缝试件和管-板角接头试件考试时，管外径由考试机构自定，经焊接操作技能考试合格后，适用于管材对接焊缝工件外径和管-板角接头工件管外径不限。

表 9-26 手工焊管板角接头试件适用于管板角接头工件尺寸范围 (单位: mm)

管板角接头试件 管外径 D	适用工件范围				
	管外径		管壁厚度	工件焊缝金属厚度	
	最小值	最大值		最小值	最大值
< 25	D	不限	不限		
$25 \leq D < 76$	25	不限	不限	不限	当 $\delta_0 < 12$ 时, $2t$; 当 $\delta_0 \geq 12$ 时, 不限
≥ 76	76	不限	不限		

(二) 角焊缝

1) 手工焊焊工和焊机操作工采用对接焊缝试件和管-板角接头试件，经焊接操作技能考试合格后，除其他条款规定需要重新考试外，适用于角焊缝工件，且母材厚度和管径不限。

2) 手工焊焊工和焊机操作工采用管材角焊缝试件，经焊接操作技能考试合格后，除其他条款规定需要重新考试外，手工焊焊工适用于管材角焊缝工件尺寸范围见表 9-27，焊机操作工不限。

3) 手工焊焊工和焊机操作工采用板材角焊缝试件，经焊接操作技能考试合格后，除其他条款规定需要重新考试外，手工焊焊工适用于角焊缝工件范围见表 9-28，焊机操作工不限。

表 9-27 手工焊焊工管材角焊缝试件适用于管材角焊缝工件尺寸范围 (单位: mm)

管材试件外径 D	适用管材工件尺寸范围		
	外径最小值	外径最大值	管壁厚度
<25	D	不限	不限
$25 \leq D < 76$	25	不限	不限
≥ 76	76	不限	不限

表 9-28 手工焊焊工板材角焊缝试件适用于角焊缝焊件范围 (单位: mm)

试件母材厚度 T	适用于角焊缝工件范围	
	母材厚度	工件类别
$5 \sim 10$	不限	板材角焊缝 外径 $D \geq 76$ 管材角焊缝
< 5	$T \sim 2T$	

九、耐蚀堆焊

- 1) 各种焊接方法的焊接操作技能考试规定也适用于耐蚀堆焊。
- 2) 手工焊焊工和焊机操作工采用堆焊试件考试合格后, 适用于工件的堆焊层厚度不限, 适用工件母材厚度范围见表 9-29。
- 3) 焊接复合不锈钢的覆层焊缝及过渡焊缝的焊工, 应当取得耐蚀堆焊资格。

表 9-29 堆焊试件适用工件母材厚度范围 (单位: mm)

堆焊试件母材厚度 T	适用于堆焊工件母材厚度范围	
	最小值	最大值
< 25	T	不限
≥ 25	25	不限

十、其他规定

当表 9-19 中焊接工艺因素代号 01、02、03、04、06、08、10、12、13、14、15、16、19、20、21、22 中某一代号因素变更时, 焊工需重新进行焊接操作技能考试。

第十章 特种设备焊接操作技能考试实例

作为一名焊工，只要能按照编制正确的焊接工艺文件进行焊接作业，焊出质量合格的工件，就是一名合格的焊工。而焊接工艺文件可以通过工艺交底等方式得到，但焊工再现焊接工艺焊出质量合格的工件的操作技巧并不是一朝一夕之功。

在特种设备的生产中，焊接涉及各种金属材料、不同的焊接方法、焊接结构、厚度范围、各种焊接位置、酸碱性焊条等，会有不同的焊接工艺、不同的操作技巧，对施焊的焊工来说，要焊出合格的焊缝，除了掌握正确的焊接工艺之外，实际经验、焊接技巧、心理素质等，缺一不可。

本章结合特种设备焊工焊接操作技能考试规定的具体要求，列举了31个典型考试项目的实例，使焊工通过了解、熟悉，动手练习，体会其中的要领与操作技巧，掌握特种设备焊工焊接操作的技能，并能融会贯通，顺利通过各种操作技能考试并能运用在特种设备的生产中。

第一节 钢铁类板材对接

一、考前技术交底

（一）操作技术说明

装配及技术要求：在保证能焊出合格工件的情况下，考生可自行决定装配间隙、钝边厚度及焊接技巧，也可参照本操作规范。

（二）钢铁类板材对接操作规定

- 1) 考前15min给考生技术交底和发放试件，在考评人员监督下进行焊前准备和组装。
- 2) 所用焊接材料必须按考试管理制度领用，试件统一编写考试代号。
- 3) 坡口清理及焊接参数选择由焊工独立完成。
- 4) 采用不带衬垫试件进行焊接操作考试时，必须从单面焊接，全焊透。
- 5) 焊接结束后应去除焊渣和飞溅，保持焊缝原始表面，不允许修磨、补焊及试件调平。
- 6) 手工焊试件两端20mm范围内不作评定。
- 7) 严禁在非焊接部位的母材上引弧、试电流，严格按操作规程操作，做到工完、料净、场地清。

（三）钢铁类板材对接考试要求

Fe类板材对接具体考核要求见表10-1。

表10-1 钢铁类板材对接具体考核要求

序号	考核内容	考核要点	检测结果
1	试件数量	一副	
2	焊前准备	劳保着装及工具准备齐全，参数设置，设备调试正确并符合要求	
3	焊接操作	试件固定的空间位置和定位焊位置符合要求	

(续)

序号	考核内容	考 核 要 点	检测结果
4	焊缝外观	焊缝表面应是焊后原始状态, 焊缝表面没有加工修磨、补焊或返修焊	
		焊缝表面不得有裂纹、未熔合、夹渣、夹钨、气孔、焊瘤和未焊透; 机动焊和自动焊不得有停弧再焊接头	
		咬边深度 $\leq 0.5\text{mm}$, 焊缝两侧咬边总长度不得超过焊缝长度的 10%	
		背面凹坑深度不大于 $20\%T$, 且不大于 2mm (仰焊位置凹坑深度不作规定), 总长度不超过焊缝长度的 10%	
		焊缝边缘直线度 f , 手工焊 $f \leq 2\text{mm}$; 机动焊和自动焊 $f \leq 3\text{mm}$	
		平焊位置焊缝余高 $0 \sim 3\text{mm}$, 其他位置为 $0 \sim 4\text{mm}$; 余高差 $\leq 2\text{mm}$	
		手工焊焊缝宽度差 $\leq 3\text{mm}$, 机动焊和自动焊为 $\leq 2\text{mm}$	
		手工焊比坡口每侧增宽 $0.5 \sim 2.5\text{mm}$; 机动焊和自动焊为 $2 \sim 4\text{mm}$	
		焊后变形角度 θ 小于或等于 3°	
		试件错边量 e 不得大于 $10\%T$, 且小于或者等于 2mm	
5	焊缝内部	射线检测合格级别不低于Ⅱ级为合格	
6	其他	安全文明生产	
7	理化试验	冷弯试验两件弯曲角度 180° 拉伸面无超标缺陷	

注: 表中序号 3、4、5、7 均检验合格为该实际操作项目合格。

二、实例一 SMAW-Fe II -1G-12-Fef3J

考核时间为 60min。

(一) 焊前准备

1. 焊机

选用 300A 以上的直流焊机; 焊前试运行, 焊机运行正常; 焊接电缆、焊钳、地线均接触良好, 极性正确 (直流反接), 焊接电流在合适范围。

2. 焊材

E5015 (J507) 焊条直径 $\phi 3.2\text{mm}$ 、 $\phi 4\text{mm}$, 焊前经 $350 \sim 400^\circ\text{C}$ 烘干 1h 后放在焊条保温筒中备用。

3. 试件

Q345R 钢板、规格 $300\text{mm} \times 125\text{mm} \times 12\text{mm}$ 、无钝边 60°V 形坡口、共两块。

4. 辅助工具和量具

焊条保温筒、角向打磨机、锉刀、样冲、画线盘、金属直尺、电焊手套、电焊面罩、防护眼镜、敲渣锤、钢丝刷、凿子、焊缝检验尺。

(二) 焊前装配定位及焊接

1. 准备试板

用角向打磨机将试件两侧坡口面及坡口边缘 $10 \sim 20\text{mm}$ 范围内的水、铁锈、油污、积渣和其他有害杂质清除干净, 露出金属光泽。用锉刀或角向打磨机修磨坡口钝边, 使钝边尺寸 p 在 $1.2 \sim 1.5\text{mm}$ 间, 然后在坡口边缘 100mm 处用画线盘画出两根与坡口边缘平行的平行线, 如图 10-1 所示, 并打上样冲眼, 作为测量焊缝坡口每侧增宽的基准线。

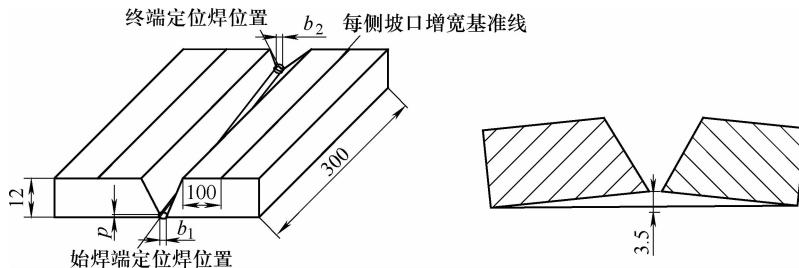


图 10-1 板状试件组对和反变形示意

2. 试件装配、定位焊、预制反变形

按图 10-1 进行装配, 始焊端间隙 b_1 为 3.2mm, 终端间隙 b_2 为 4.0mm, 始焊端定位焊长度不大于 10mm, 高不大于 3mm, 终端定位焊长度为 10~15mm, 始焊端和终端定位焊一端用角向打磨机加工成陡坡状, 观察两端错边量均应不大于 0.5mm (如超标应磨掉重新定位焊), 合格后预制反变形 3° (反变形量为 3.5mm)。定位焊焊接材料与打底层相同, 焊接电流比打底层大 10%~15%。

3. 焊接操作

(1) 焊接参数 焊接位置为水平位, 焊接结构简图和焊接参数见表 10-2。

表 10-2 水平位置板状试件对接结构简图和焊接参数

结构简图	焊接层次	名称	焊条直径 /mm	焊接电流 /A	焊条与试板面的角度/(°)	焊条运动方式
	1	打底层	3.2	115~130	65~75	断弧一点式
	2	填充层	4	160~180	70~80	连弧锯齿形
	3	填充层	4	170~180	70~80	连弧锯齿形
	4	盖面层	4	165~180	75~85	连弧锯齿形

(2) 具体施焊技术

1) 打底层的焊接。在始焊端定位焊附近用划擦法引弧, 具体操作如图 10-2a、图 10-3 所示, 待电弧引燃并稳定燃烧后用稍长电弧来回预热始焊端定位焊处, 在定位焊缓坡处压低电弧稍停留, 听到电弧穿透坡口根部发出“噗噗”声, 能看到定位焊缝与坡口根部两侧金属已熔化形成一个比坡口间隙大 1~1.5mm 的熔孔, 此时马上向后挑弧灭弧, 断弧位置为形成焊点的坡口一侧, 待熔池液态金属稍变暗, 在红热金属处迅速引弧, 在熔孔处压低电弧, 听到“噗噗”声又形成一个新的熔池, 这样重复上述运条动作, 使每个焊点与前一个焊点重叠 2/3, 在焊接过程中, 要始终让焊接电弧对准坡口间隙中间, 并随着熔池温度变化而不断地改变焊条角度, 焊条角度如图 10-4 所示, 焊接过程中始终保持短弧焊接, 即焊条头端至底面的距离约 2mm, 有 1/3 长度电弧在焊缝背面, 完成整条焊缝的打底焊工作。一般断弧焊打底, 灭弧频率为每分钟 45~55 次, 如熔孔变大, 焊缝背面余高变厚, 灭弧次数减少, 灭弧时间相应减少或停弧时间变长。

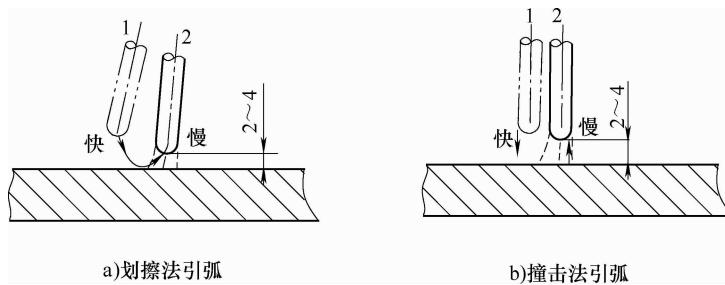


图 10-2 焊条电弧焊引弧方式示意

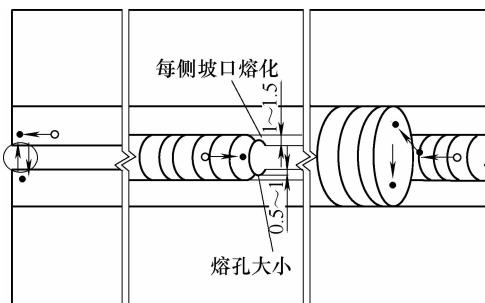


图 10-3 不同焊层焊条引弧位置和采用电弧预热方式示意

○—引弧点 ●—压低电弧处 →—焊条头移动方向

挑弧灭弧后引弧操作如图 10-5 所示, 待熔池稍冷却, 熔孔部位还是红热状态时迅速在 2 处重新引弧, 并运行至 1 处用短弧击穿焊件形成熔孔后快速运条至 3 处灭弧。

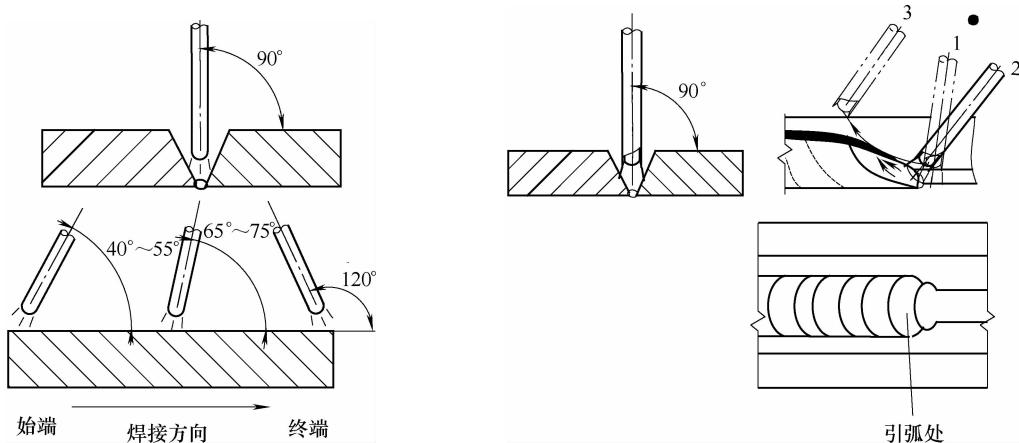


图 10-4 水平位置试件施焊过程
焊条角度变化示意

图 10-5 水平位置打底焊挑弧灭弧后
引弧图解示意

更换焊条时的接头方式有热接法和冷接法, 打底层更换焊条时多选用热接法, 可避免背面焊缝出现冷缩孔和未焊透; 如果用冷接法, 应在上一根焊条还剩 50mm 左右时 (即熄弧前), 使熔池逐步缩小并将熔池中心引出坡口间隙应力集中处, 于焊缝表面一侧收弧。

热接法前采用灭弧焊法暂停收弧如图 10-6 所示, 焊条在焊缝一侧 3 处灭弧后在焊缝弧处熔池尚保持红热状态时, 迅速更换焊条并在收弧斜坡前 10~15mm 处引弧, 然后将电弧拉到斜坡上

运条预热，在斜坡终端最低点1处压低电弧，击穿坡口根部后，稍停一下，使钝边每侧熔化0.5~1.0mm并形成熔孔，即可以恢复原来的操作手法继续焊接。热接法换焊条动作越快越好。初级焊工换焊条时最好采用冷接法前灭弧焊法暂停收弧。

冷接法前采用灭弧焊法暂停收弧如图10-7所示，在电弧1处短弧击穿坡口根部形成熔孔后，采用灭弧或挑弧使熔池冷却，同时向焊缝一侧2处摆动运条缩小熔池直至焊缝边缘3处灭弧。

冷接法：焊缝熔池已经凝固冷却。焊接引弧前，在收弧处用角向砂轮或锉刀、锯条、气刨等修磨出斜坡，然后在斜坡前10~15mm焊缝中心处用划擦法引弧，并运条预热斜坡，在斜坡终端最低点处压低电弧，击穿坡口根部后，稍停一下，使钝边每侧熔化0.5~1.0mm并形成熔孔，即可以恢复原来的操作手法继续焊接。

收弧：焊条接近终端定位焊处时，焊条在终端收口处稍做停顿预热，看到有“出汗”现象时焊条要在坡口根部间隙处向下压，让电弧击穿坡口根部，听到“噗噗”声后稍做停顿，然后继续向前施焊10~15mm，填满弧坑熄弧。

2) 填充层的焊接。在距始焊端10~15mm焊缝处用划擦法引弧，待电弧引燃并稳定燃烧后用稍长电弧迅速拉至始焊端用短弧(电弧长度≤4mm)锯齿形摆动焊接，中间快、坡口两侧稍停顿，焊后焊缝成内凹形，最后一层填充层焊后其焊缝表面离试板表面约1.5mm，并使两侧坡口轮廓线为原始状态，以利盖面层的焊接。

3) 盖面层的焊接。盖面层的电流比填充层稍小，运条方式采用锯齿形或月牙形，摆动均匀，始终采用短弧焊，焊条摆动到坡口轮廓线边缘稍停，使坡口轮廓线熔合1~1.5mm，以免咬边或熔合不良，施焊过程中随时调整焊条角度以防磁偏吹，熄弧时填满弧坑。

(三) 焊缝清理

焊完试件后，切断电源，用敲渣锤、钢丝刷、凿子将焊渣、飞溅清理干净，严禁动用机动工具进行清理，保持焊缝原始状态，交考评人员检查。同时，清理场地。

三、实例二 SMAW-Fe II -2G-12-Fef3J

考核时间为60min。

(一) 焊前准备

1. 焊机

选用300A以上的直流焊机；焊前试运行，焊机运行正常；焊接电缆、焊钳、地线均接触良

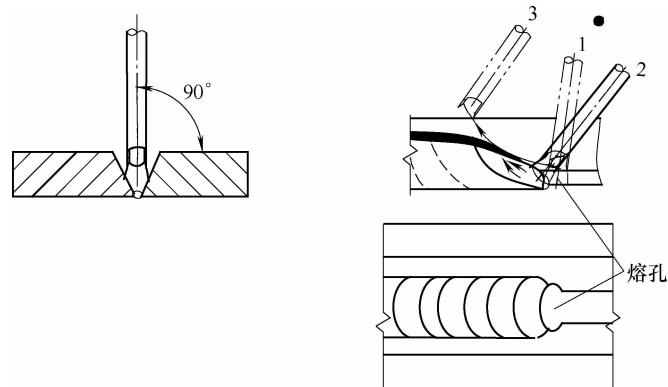


图10-6 水平位置打底焊热接法前采用灭弧焊法暂停收弧图解示意

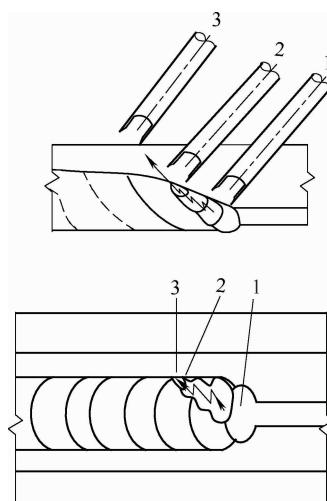


图10-7 水平位置打底焊冷接法前采用灭弧焊法暂停收弧图解示意

好，极性正确（直流反接），焊接电流在合适范围。

2. 焊材

E5015 (J507) 焊条直径 $\phi 3.2\text{mm}$ 、 $\phi 4\text{mm}$ ，焊前经 $350\sim 400^\circ\text{C}$ 烘干 1h 后放在焊条保温筒中备用。

3. 试件

Q345R 钢板、规格 $300\text{mm} \times 125\text{mm} \times 12\text{mm}$ 、无钝边 60°V 形坡口、共两块。

4. 辅助工具和量具

焊条保温筒、角向打磨机、锉刀、样冲、画线盘、金属直尺、电焊手套、电焊面罩、防护眼镜、敲渣锤、钢丝刷、凿子、焊缝检验尺。

(二) 焊前装配定位及焊接

1. 准备试板

用角向打磨机将试件两侧坡口面及坡口边缘 $10\sim 20\text{mm}$ 范围内的水、铁锈、油污、积渣和其他有害杂质清除干净，露出金属光泽。用锉刀或角向打磨机修磨坡口钝边，使钝边尺寸 P 在 $0.5\sim 1.5\text{mm}$ 间，然后在坡口边缘 100mm 处用画线盘画出两根与坡口边缘平行的平行线，如图 10-1 所示，并打上样冲眼，作为测量焊缝坡口每侧增宽的基准线。

2. 试件装配、定位焊、预制反变形

按图 10-1 进行装配，始焊端间隙 b_1 为 3.0mm ，终端间隙 b_2 为 3.5mm ，始焊端定位焊长度不大于 10mm ，高不大于 3mm ，终端定位焊长度为 $10\sim 15\text{mm}$ ，始焊端和终端定位焊一端用角向打磨机加工成陡坡状，观察两端错边量均应不大于 0.5mm （如超标应磨掉重新定位焊），合格后预制反变形 3° （反变形量为 3.5mm ）。定位焊焊接材料与打底层相同，焊接电流比打底层大 $10\% \sim 15\%$ 。

3. 焊接操作

(1) 焊接参数 焊接位置为横焊位，焊接结构简图和焊接参数见表 10-3。

表 10-3 板状试件横焊位置对接结构简图和焊接参数

结构简图	焊接层次	名称	焊条直径 /mm	焊接电流 /A	焊条与焊接方向的角度/(°)	焊条运动方式
	1	打底层	3.2	105~115	60~65	断弧先上后下
	2	填充层 (2~3道)	3.2	115~120	75~80	直线
	3	填充层 (4~6道)	4	150~170	75~80	直线
	4	盖面层 (7~11道)	4	150~170	75~80	画小椭圆

(2) 具体施焊技术

1) 打底焊。在始焊端定位焊处用划擦法引弧，待电弧引燃并稳定燃烧后用稍长电弧连续焊至待焊坡口中心处预热坡口，继续往前施焊，在定位焊缓坡处压低电弧稍停留，听到电弧穿透坡口根部发出“噗噗”声，此时能看到定位焊缝与坡口根部两侧金属已熔化形成一个比坡口间隙大 $1\sim 1.5\text{mm}$ 的熔孔，此时马上向下坡口侧挑弧灭弧，如图 10-8 所示；待熔池液态金属稍变暗，在红热金属处迅速引弧，从下坡口边往土坡口边运弧过程中，下侧停弧时间比上侧坡口停弧时间

短些，在熔孔处压低电弧，听到“噗噗”声又形成一个新的熔池，这样重复上述运条动作，使每个焊点与前一个焊点重叠 $1/2$ ，在焊接过程中，试件背面保持 $1/2$ 弧柱，要始终保证坡口下边缘的熔化稍靠前方，形成斜椭圆形熔孔完成整条焊缝的打底焊工作，如图 10-9 所示。

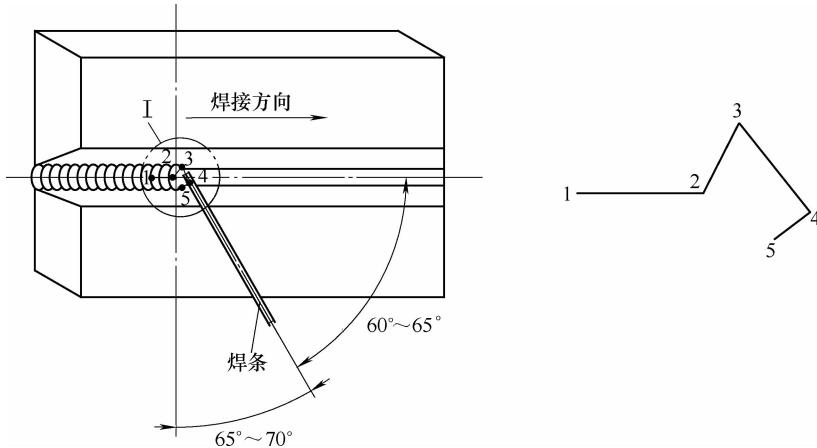


图 10-8 横焊位置打底焊焊条倾角和运条图解示意
1—断弧引弧点 2—电弧停顿往后压弧点 3—电弧往上运动
4—电弧往下运动并再次压弧点 5—电弧往下灭弧点

更换焊条时的接头方式：如果用冷接法，应在上一根焊条还剩 50mm 左右时（即熄弧前），使熔池逐步缩小并将熔池中心引出坡口间隙应力集中处，于焊缝下侧表面收弧。

引弧前，在收弧处用角向砂轮修磨出斜坡，然后在斜坡前（已焊） $10\sim15\text{mm}$ 处引弧，并运条预热斜坡，在斜坡终端最低点处压低电弧，击穿坡口根部后，稍停一下，使钝边每侧熔化 $0.5\sim1.0\text{mm}$ 并形成熔孔，即可以恢复原来的操作手法继续焊接。

收弧：焊条接近终端定位焊处时，焊条在终端收口处稍做停顿预热，看到有“出汗”现象时，焊条要在坡口根部间隙处向下压，让电弧击穿坡口根部，听到“噗噗”声后稍做停顿，然后继续向前施焊 $10\sim15\text{mm}$ ，填满弧坑熄弧。

2）填充层的焊接。在距焊端右面 $10\sim15\text{mm}$ 焊缝处用划擦法引弧，待电弧引燃并稳定燃烧后用稍长电弧迅速拉至始焊端用短弧（电弧长度 $\leq 3\text{mm}$ ）直线形焊接，焊接时先焊靠近下坡口侧焊缝，然后逐道往上焊，操作时下坡口应压住电弧，不产生夹角，并熔合良好，运条均匀，不能太快；各焊道平直，焊缝光滑，相互搭接 $2/3$ ，焊条与焊接方向的夹角见表 10-3，与下试件的角度如图 10-10 所示，在铁液与熔渣顺利分离的情况下堆焊焊肉应尽量厚些。各焊层表面应平整、均匀、无夹渣、无夹角（焊缝凹形过渡），最后一层填充层焊后其焊缝表面离试板表面约 $0.5\sim1.5\text{mm}$ （最后一层填充层焊后其焊缝表面离上试板表面为 0.5mm ，离下试板表面为 1.5mm ），并使两侧坡口轮廓线为原始状态，以利盖面层的焊接。

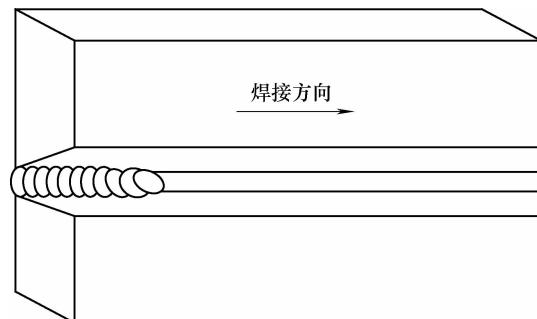


图 10-9 横焊位置打底焊逐渐形成上
下大小的斜椭圆形熔孔图解示意

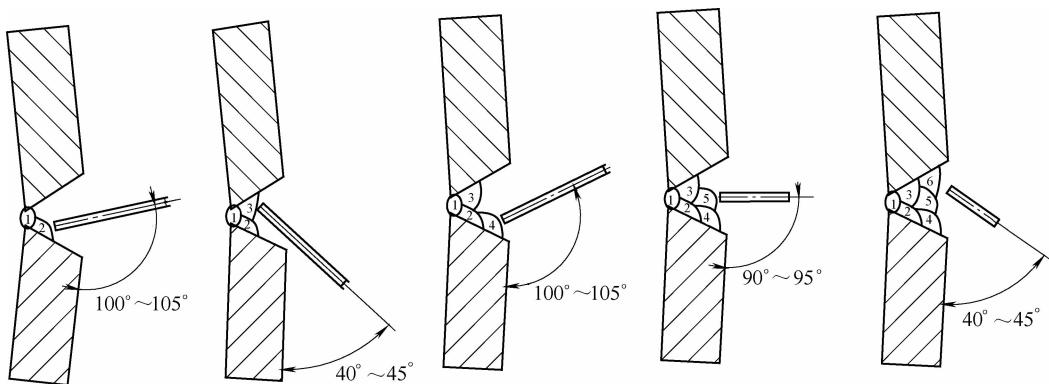


图 10-10 横焊位置填充层焊条下倾角度图解示意

3) 盖面层的焊接。盖面层的电流比填充层稍小, 运条方式采用小椭圆形短弧焊, 施焊时第1道焊缝压住坡口边, 焊速稍快, 第2道压住第一道的1/3, 第3道压住第2道的2/3, 第4道压住第3道的1/2, 第5道压住第4道的1/3, 焊速稍快, 焊条角度如图10-11所示, 施焊过程中焊道要直, 焊速均匀。熄弧时填满弧坑。

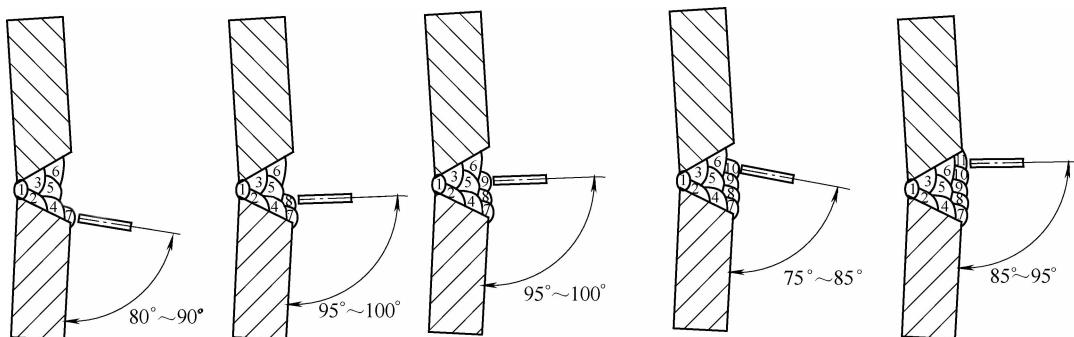


图 10-11 横焊位置盖面层焊条下倾角度图解示意

(三) 焊缝清理

焊完试件后, 切断电源, 用敲渣锤、钢丝刷、凿子将焊渣、飞溅清理干净, 严禁动用机动工具进行清理, 保持焊缝原始状态, 交考评人员检查。同时, 清理场地。

四、实例三 SMAW-Fe II -3G-12-Fef3J

考核时间为 60min。

(一) 焊前准备

1. 焊机

选用 300A 以上的直流焊机, 焊前试运行, 焊机运行正常; 焊接电缆、焊钳、地线均接触良好, 极性正确 (直流反接), 焊接电流在合适范围。

2. 焊材

E5015 (J507) 焊条直径 $\phi 3.2\text{mm}$, 焊前经 $350\sim400^\circ\text{C}$ 烘干 1h 后放在焊条保温筒中备用。

3. 试件

Q345R 钢板、规格 $300\text{mm} \times 125\text{mm} \times 12\text{mm}$ 、无钝边 60°V 形坡口、共两块。

4. 辅助工具和量具

焊条保温筒、角向打磨机、锉刀、样冲、画线盘、金属直尺、电焊手套、电焊面罩、防护眼镜、敲渣锤、钢丝刷、凿子、焊缝检验尺。

(二) 焊前装配定位及焊接

1. 准备试板

用角向打磨机将试件两侧坡口面及坡口边缘 $10 \sim 20\text{mm}$ 范围内的水、铁锈、油污、积渣和其他有害杂质清除干净，露出金属光泽。用锉刀或角向打磨机修磨坡口钝边，使钝边尺寸 p 在 $1.2 \sim 1.5\text{mm}$ 间，然后在坡口边缘 100mm 处用画线盘画出两根与坡口边缘平行的平行线，如图 10-1 所示，并打上样冲眼，作为测量焊缝坡口每侧增宽的基准线。

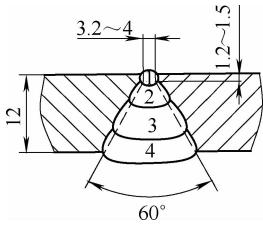
2. 试件装配、定位焊、预制反变形

按图 10-1 进行装配，始焊端间隙 b_1 为 3.2mm ，终端间隙 b_2 为 4mm ，始焊端定位焊长度不大于 10mm ，高不大于 3mm ，终端定位焊长度为 $10 \sim 15\text{mm}$ ，始焊端和终端定位焊一端用角向打磨机加工成陡坡状，观察两端错边量均应不大于 0.5mm （如超标应磨掉重新定位焊），合格后预制反变形 3° ，反变形量为 3.5mm 。定位焊焊接材料与打底层相同，焊接电流比打底层大 $10\% \sim 15\%$ 。

3. 焊接操作

(1) 焊接参数 焊接位置为向上立焊位，焊接结构简图和焊接参数见表 10-4。

表 10-4 板状试件立焊位置对接结构简图和焊接参数

结构简图	焊接层次	名称	焊条直径 /mm	焊接电流 /A	焊条与焊接方向反方向的角度/(°)	焊条运动方式
	1	打底层	3.2	105 ~ 115	65 ~ 75	断续弧
	2	填充层	3.2	110 ~ 120	75 ~ 85	倒“8”字
	3	填充层	3.2	110 ~ 120	75 ~ 85	倒“8”字
	4	盖面层	3.2	110 ~ 120	75 ~ 85	倒“8”字

(2) 具体施焊技术

1) 打底层焊接。在始焊端定位焊处用划擦法引弧，待电弧引燃并稳定燃烧后用稍长电弧锯齿形向上连续焊至待焊坡口中心处预热坡口，压低电弧稍停留，听到电弧穿透坡口根部发出“噗噗”声，此时能看到定位焊缝与坡口根部两侧金属已熔化形成一个比坡口间隙大 $1 \sim 1.5\text{mm}$ 的熔孔，此时马上向上左侧坡口（或右侧坡口）挑弧灭弧，待熔池液态金属稍变暗，在红热金属处迅速引弧，听到“噗噗”声又形成一个新的熔池，这样重复上述运条动作，使每个焊点与前一个焊点重叠 $1/2$ ，在焊接过程中，试件背面保持 $1/2$ 弧柱，要始终保证焊条电弧垂直坡口中心，熔孔、熔池大小如一完成整条焊缝的打底焊工作。

更换焊条时的接头方式：如果用冷接法，应在上一根焊条还剩 50mm 左右时（即熄弧前），及时向熔池补充 $2 \sim 3$ 滴铁液，使熔池逐步缩小并将熔池中心引出坡口间隙应力集中处，于焊缝表面左（或右）侧收弧。

更换焊条引弧前，在收弧处用角向砂轮修磨出斜坡，然后在斜坡前下方已焊 $10 \sim 15\text{mm}$ 处引弧，连弧运条预热斜坡，并调整焊条倾角为 90° 在斜坡终端最低点处压低电弧，击穿坡口根部后，稍停一下，听到“噗噗”声后同时看到钝边每侧熔化 $0.5 \sim 1.0\text{mm}$ 并形成熔孔，即可以恢复原来的操作手法继续焊接。

收弧：焊条接近终端定位焊处时，焊条应锯齿形向上横向连续摆动，并在斜坡最低点压低电弧，让电弧击穿坡口根部，听到“噗噗”声后然后继续向前施焊 $10 \sim 15\text{mm}$ ，填满弧坑熄弧。

2) 填充层的焊接。在距始焊端上面 $10 \sim 15\text{mm}$ 焊缝处用划擦法引弧，待电弧引燃并稳定燃烧后用稍长电弧迅速拉至始焊端，用短弧（电弧长度 $\leq 3\text{mm}$ ）倒“8”字运条焊接，如图 10-12 所示，焊接时电弧在坡口两侧停留的时间稍长，焊条匀速向上运动，使坡口两侧熔合良好，填充层表面平滑过渡。最后一层填充层焊后，其焊缝表面离试板表面约 1.5mm ，表面平滑并使两侧坡口轮廓线为原始状态，以利盖面层的焊接。

3) 盖面层的焊接。盖面层的电流比填充层稍小，采用倒“8”字运条短弧焊，施焊时摆动均匀，在坡口两侧边缘 $1 \sim 1.5\text{mm}$ 处稍作停留有稳弧动作，换焊条的接头方式与填充层一样，熄弧时填满弧坑。

(三) 焊缝清理

焊完试件后，切断电源，用敲渣锤、钢丝刷、凿子将焊渣、飞溅清理干净，严禁动用机动工具进行清理，保持焊缝原始状态，交考评人员检查。同时，清理场地。

五、实例四 SMAW-FeIV-3G-12-Fef4J

考核时间为 60min 。

(一) 焊前准备

1. 焊机

选用 300A 以上的直流焊机，焊前试运行，焊机运行正常；焊接电缆、焊钳、地线均接触良好，极性正确（直流反接），焊接电流在合适范围。

2. 焊材

E308-15（A107）焊条直径 $\phi 3.2\text{mm}$ ，焊前经 $250 \sim 300^\circ\text{C}$ 烘干 1h 后放在焊条保温筒中备用。

3. 试件

06Cr19Ni10 钢板、规格 $300\text{mm} \times 125\text{mm} \times 12\text{mm}$ 、无钝边 60°V 形坡口、共两块。

4. 辅助工具和量具

焊条保温筒、角向打磨机、锉刀、样冲、画线盘、金属直尺、电焊手套、电焊面罩、防护眼镜、敲渣锤、钢丝刷、凿子、焊缝检验尺。

(二) 焊前装配定位及焊接

1. 准备试板

用角向打磨机将试件两侧坡口面及坡口边缘 $10 \sim 20\text{mm}$ 范围内的水、油污、积渣和其他有害杂质清除干净，露出金属光泽。用锉刀或角向打磨机修磨坡口钝边，使钝边尺寸 p 在 $1 \sim 1.2\text{mm}$ 间，然后在坡口边缘 100mm 处用画线盘画出两根与坡口边缘平行的平行线，如图 10-1 所示，并打上样冲眼，作为测量焊缝坡口每侧增宽的基准线。

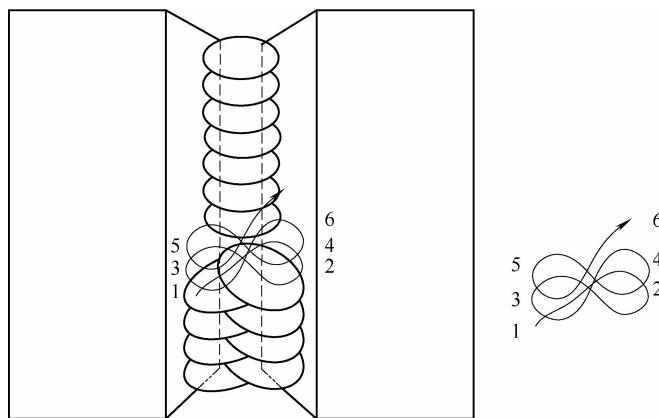


图 10-12 向上立焊位置填充层和盖面层采用“8”字运条图解示意

2. 试件装配、定位焊、预制反变形

按图 10-1 进行装配，始焊端间隙 b_1 为 2.5mm，终端间隙 b_2 为 3.5mm，始焊端定位焊长度不大于 10mm，高不大于 3mm，终端定位焊长度为 10~15mm，始焊端和终端定位焊一端用角向打磨机加工成陡坡状，观察两端错边量均应不大于 0.5mm，如超标应磨掉重新定位焊，合格后预制反变形 3°，反变形量为 3.5mm。定位焊焊接材料与打底层相同，焊接电流比打底层大 10%~15%。

3. 焊接操作

(1) 焊接参数 焊接位置为向上立焊位，焊接结构简图和焊接参数见表 10-5。

表 10-5 不锈钢板状试件向上立焊对接结构简图和焊接参数

结构简图	焊接层次	名称	焊条直径/mm	焊接电流/A	焊条与焊接方向反方向的角度/(°)	焊条运动方式
	1	打底层	3.2	90~95	80~85	断弧
	2	填充层	3.2	110~115	75~85	倒“8”字
	3	填充层	3.2	110~115	75~85	倒“8”字
	4	盖面层	3.2	100~110	75~85	反月牙形

(2) 具体施焊技术

1) 打底层的焊接。在始焊端定位焊处用划擦法引弧，待电弧引燃并稳定燃烧后用稍长电弧锯齿形向上连续焊至待焊坡口中心处预热坡口，压低电弧稍停留，听到电弧穿透坡口根部发出“噗噗”声，同时能看到定位焊缝与坡口根部两侧金属已熔化形成一个比坡口间隙大 1~1.5mm 的熔孔，此时马上向上左侧坡口（或右侧坡口）挑弧灭弧，待熔池液态金属稍变暗，在 1 处迅速引弧，往下运动至 2 点，在 2 点稍停 1.5~2s，焊条再平移到 3 点，当焊条运动到 2、3 点间隙中心时，电弧要向后推压，在 3 点也稍停 1.5~2s，电弧向上 4 点处果断灭弧，如图 10-13 所示，这样重复上述运条动作，使每个焊点与前一个焊点重叠 1/2，在焊接过程中，试件背面保持 1/2 弧柱，熔孔、熔池大小始终如一完成整条焊缝的打底层工作。

更换焊条时的接头方式：如果用冷接法，应在上一根焊条还剩 50mm 左右时（即熄弧前），及时向熔池补充 2~3 滴铁液，使熔池逐步缩小并将熔池中心引出坡口间隙应力集中处，于焊缝表面左（或右）侧收弧。

更换焊条引弧前，在收弧处用角向砂轮修磨出斜坡，然后在斜坡前下方已焊 10~15mm 处引弧，连弧运条预热斜坡，并调整焊条倾角为 90°在斜坡终端最低点处压低电弧，击穿坡口根部后，稍停一下，听到“噗噗”声后同时看到钝边每侧熔化 0.5~1.0mm 并形成熔孔，即可以恢复原来的操作手法继续焊接。

收弧：焊条接近终端定位焊处时，应锯齿形向上横向连续摆动，并在斜坡最低点压低电弧，让电弧击穿坡口根部，听到“噗噗”声后继续向前施焊 10~15mm，填满弧坑熄弧。

2) 填充层的焊接。控制层间温度，清理打底层焊渣，修磨接头处焊缝，待试件冷却到

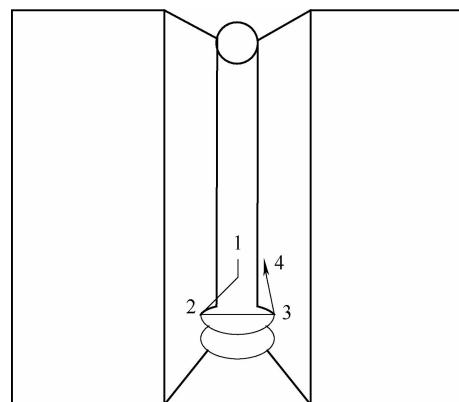


图 10-13 不锈钢板状试件向上立焊位
置打底层运条图解示意

150℃以下时，再进行填充层的焊接。在距始焊端上面10~15mm焊缝处用划擦法引弧，待电弧引燃并稳定燃烧后用稍长电弧迅速拉至始焊端用短弧（电弧长度≤3mm）倒“8”字运条焊接，如图10-12所示，焊接时电弧在坡口两侧停留的时间稍长，焊条匀速向上运动，使坡口两侧熔合良好，填充层表面平滑过渡。最后一层填充层焊后其焊缝表面离试板表面约1.5mm，表面平滑并使两侧坡口轮廓线为原始状态，以利盖面层的焊接。

3) 盖面层的焊接。层间温度的控制与填充层相同，电流比填充层稍小，采用反月牙形运条，短弧向上施焊，施焊时摆动均匀，在坡口两侧边缘1~1.5mm处稍作停留有稳弧动作，熔池形状始终为椭圆形，如图10-14所示，如施焊过程中，发现铁液突然下坠，熔池中间凸起，说明熔池温度过高，应立即灭弧，待熔池稍冷却后再焊，换焊条的接头方式与填充层一样，熄弧时填满弧坑。

(三) 焊缝清理

焊完试件后，切断电源，用敲渣锤、钢丝刷、凿子将焊渣、飞溅清理干净，严禁动用机动工具进行清理，保持焊缝原始状态，交考评人员检查。同时，清理场地。

六、实例五 SMAW-Fe II-4G-12-Fef3J

考核时间为60min。

(一) 焊前准备

1. 焊机

选用300A以上的直流焊机，最好有电弧推力调节，焊前试运行，焊机运行正常；焊接电缆、焊钳、地线均接触良好，极性正确（打底层正接，填充层、盖面层反接），焊接电流在合适范围。

2. 焊材

E5015（J507）焊条直径φ3.2mm，焊前经350~400℃烘干1h后放在焊条保温筒中备用。

3. 试件

Q345R钢板、规格300mm×125mm×12mm、无钝边60°V形坡口、共两块。

4. 辅助工具和量具

焊条保温筒、角向打磨机、锉刀、样冲、画线盘、金属直尺、电焊手套、电焊面罩、防护眼镜、敲渣锤、钢丝刷、凿子、焊缝检验尺。

(二) 焊前装配定位及焊接

1. 准备试板

用角向打磨机将试件两侧坡口面及坡口边缘10~20mm范围内的水、铁锈、油污、积渣和其他有害杂质清除干净，露出金属光泽。用锉刀或角向打磨机修磨坡口钝边，使钝边尺寸p在0.5~1mm间，然后在坡口边缘100mm处用画线盘画出两根与坡口边缘平行的平行线，如图10-1所示，并打上样冲眼，作为测量焊缝坡口每侧增宽的基准线。

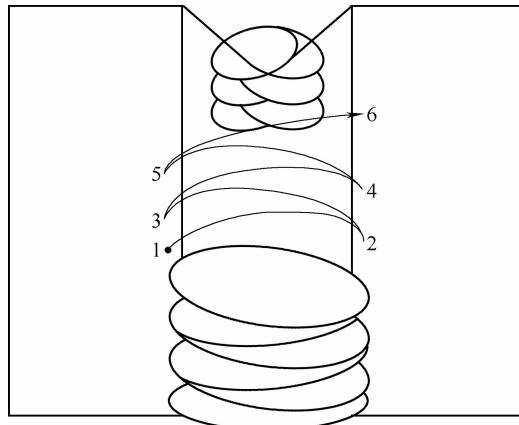


图10-14 不锈钢板状试件立焊位置盖面层采用反月牙形运条图解示意

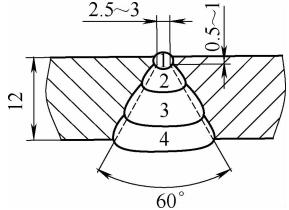
2. 试件装配、定位焊、预制反变形

按图 10-1 进行装配, 始焊端间隙 b_1 为 2.5mm, 终端间隙 b_2 为 3mm, 始焊端定位焊长度不大于 10mm, 高不大于 3mm, 终端定位焊长度为 10~15mm, 始焊端和终端定位焊一端用角向打磨机加工成陡坡状, 观察两端错边量均应不大于 0.5mm, 如超标应磨掉重新定位焊, 合格后预制反变形 3°, 反变形量为 3.5mm。定位焊焊接材料与打底层相同, 焊接电流比打底层大 10%~15%。

3. 焊接操作

(1) 焊接参数 焊接位置为仰焊位, 焊接结构简图和焊接参数见表 10-6。

表 10-6 板状试件仰焊位置对接结构简图和焊接参数

结构简图	焊接层次	名称	焊条直径/mm	焊接电流/A	焊条与焊接方向反方向的角度/(°)	焊条运动方式
	1	打底层	3.2	85~95	80~85	直线往返或锯齿形连续弧
	2	填充层	3.2	110~120	75~85	倒“8”字或锯齿形
	3	填充层	3.2	110~120	75~85	倒“8”字或锯齿形
	4	盖面层	3.2	100~110	75~85	倒“8”字或锯齿形

(2) 具体施焊技术

1) 打底层的焊接。在始焊端定位焊处用划擦法引弧, 待电弧引燃并稳定燃烧后在坡口内做轻微横向摆动, 当焊至定位焊接头点时稍加预热, 压低电弧向坡口根部顶, 听到电弧穿透坡口根部发出“噗噗”声, 此时坡口根部已熔透, 第一个熔池已形成, 电弧 1/2~2/3 在熔池背面, 此时熔池前方应有熔孔, 即能看到定位焊缝与坡口根部两侧金属已熔化, 形成一个比坡口间隙大 0.5~1mm 的熔孔, 保持电弧高度采用直线往返形或锯齿形继续向前施焊, 不熄弧, 同时观察保持坡口熔孔大小; 如采用锯齿形运条, 应在坡口两侧稍作停留使填充金属与母材熔合良好, 避免未焊透和夹渣; 收弧时速度稍快, 将电弧往后回带 10mm 左右再熄弧。更换焊条前应在上一根电焊条还剩 50mm 左右时 (即熄弧前), 及时向熔池补充 2~3 滴铁液, 使熔池逐步缩小并将焊池中心引出坡口间隙应力集中处, 于焊缝表面一侧收弧。

因连弧焊打底层, 坡口间隙小, 电流小, 接头都采用冷接法, 即在收弧处用角向砂轮修磨出斜坡, 然后在斜坡前方已焊 10~15mm 处引弧, 连弧运条预热斜坡, 顺着原先熔孔迅速上顶, 听到“噗噗”声后稍停一下, 同时看到钝边每侧熔化 0.5~1.0mm 重新形成熔孔时, 即可以恢复原来的操作手法继续焊接, 收弧填满弧坑熄弧。

打底层焊道要薄, 高低适中, 不宜过高, 一般用 2 根半到 3 根 $\phi 3.2$ mm 焊条为宜。

2) 填充层的焊接。将第一层熔渣、飞溅物清除干净, 接头处的焊瘤铲除, 修平, 在距始焊端 10~15mm 焊缝处用划擦法引弧, 待电弧引燃并稳定燃烧后用稍长电弧迅速拉至始焊端, 用短弧 (电弧长度 ≤ 3 mm) 倒“8”字或锯齿形运条焊接, 焊接时焊条与施焊方向夹角为 85°~90°, 电弧在坡口两侧停留的时间稍长, 中间尽可能快, 使坡口两侧熔合良好, 保证熔池呈椭圆形, 大小一致, 填充层表面内凹并圆滑过渡。最后一层填充层焊后其焊缝表面离试板表面约 0~1.0mm, 表面平滑并使两侧坡口轮廓线为原始状态, 以利盖面层的焊接。

3) 盖面层的焊接。盖面层的电流比填充层稍小, 运条方式采用倒“8”字或锯齿形运条短弧焊, 施焊时摆动均匀, 在坡口两侧边缘 1~1.5mm 处稍作停留有稳弧动作, 换焊条的接头方式和焊条角度与填充层一样, 熄弧时填满弧坑。

(三) 焊缝清理

焊完试件后, 切断电源, 用敲渣锤、钢丝刷、錾子将焊渣、飞溅清理干净, 严禁动用机动工具进行清理, 保持焊缝原始状态, 交考评人员检查。同时, 清理场地。

七、实例六 SMAW-FeIV-4G-12-Fef4J

考核时间为 60min。

(一) 焊前准备

1. 焊机

选用 300A 以上的直流焊机, 焊前试运行, 焊机运行正常; 焊接电缆、焊钳、地线均接触良好, 极性正确 (直流反接), 焊接电流在合适范围。

2. 焊材

E308-15 (A107) 焊条直径 $\phi 3.2\text{mm}$, 焊前经 $250\sim 300^\circ\text{C}$ 烘干 1h 后放在焊条保温筒中备用。

3. 试件

06Cr19Ni10 钢板、规格 $300\text{mm} \times 125\text{mm} \times 12\text{mm}$ 、无钝边 60°V 形坡口、共两块。

4. 辅助工具和量具

焊条保温筒、角向打磨机、锉刀、样冲、画线盘、金属直尺、电焊手套、电焊面罩、防护眼镜、敲渣锤、钢丝刷、凿子、焊缝检验尺。

(二) 焊前装配定位及焊接

1. 准备试板

用角向打磨机将试件两侧坡口面及坡口边缘 $10\sim 20\text{mm}$ 范围内的水、油污、积渣和其他有害杂质清除干净, 露出金属光泽。用锉刀或角向打磨机修磨坡口钝边, 使钝边尺寸 p 在 $1\sim 1.2\text{mm}$ 间, 然后在坡口边缘 100mm 处用画线盘画出两根与坡口边缘平行的平行线, 如图 10-1 所示, 并打上样冲眼, 作为测量焊缝坡口每侧增宽的基准线。

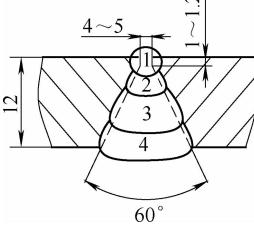
2. 试件装配、定位焊、预制反变形

按图 10-1 进行装配, 始焊端间隙 b_1 为 4mm , 终端间隙 b_2 为 5mm , 始焊端定位焊长度不大于 10mm , 高不大于 3mm , 终端定位焊长度为 $10\sim 15\text{mm}$, 始焊端和终端定位焊一端用角向打磨机加工成陡坡状, 观察两端错边量均应不大于 0.5mm , 如超标应磨掉重新定位焊; 合格后预制反变形 4° , 反变形量为 4mm 。定位焊焊接材料与打底层相同, 焊接电流比打底层大 $10\% \sim 15\%$ 。

3. 焊接操作

(1) 焊接参数 焊接位置为仰焊位, 焊接结构简图和焊接参数见表 10-7。

表 10-7 不锈钢板状试件仰焊对接结构简图和焊接参数

结构简图	焊接层次	名称	焊条直径 /mm	焊接电流 /A	焊条与焊接方向反方向的角度/(°)	焊条运动方式
	1	打底层	3.2	90~95	80~85	断弧横向小摆动
	2	填充层	3.2	110~120	75~85	倒“8”字运条
	3	填充层	3.2	110~120	75~85	倒“8”字运条
	4	盖面层	3.2	100~110	75~85	倒“8”字运条

(2) 具体施焊技术

1) 打底层的焊接。在始焊端定位焊处用划擦法引弧, 待电弧引燃并稳定燃烧后运动到坡口中心, 当焊至定位焊接头点时稍加预热, 待定位焊接头点及坡口根部成半熔状态迅速压低电弧向坡口根部顶, 并作一稳弧动作和横向小摆动, 用2/3电弧穿透坡口钝边, 此时能看到定位焊缝与坡口根部两侧金属已熔化形成一个比坡口间隙大0.5~1mm的熔孔, 同时听到电弧穿透坡口根部发出“噗噗”声, 此时坡口根部已熔透, 第一个熔池已形成; 此时应马上向熔孔后方坡口一侧果断熄弧, 待熔池稍冷却, 在焊缝红热状态处(熔孔前边缘)迅速引弧, 电弧在坡口钝边两侧稍稳弧, 运到坡口中心时尽力往上顶, 用2/3电弧作用于试件背面, 使熔滴向熔池过渡, 就这样引弧—稳弧—小摆动—电弧往上顶—熄弧, 完成仰焊试板的打底焊。施焊时应注意: 电弧穿透钝边位置要准, 运条速度要快, 手把要稳, 坡口两侧钝边的穿透尺寸要一致, 熔孔尺寸要一样, 熔滴要小, 电弧要短, 焊层要薄。

更换焊条时的接头方式: 可采用冷接法, 应在上一根电焊条还剩50mm左右时(即熄弧前), 及时向熔池补充2~3滴铁液, 使熔池逐步缩小并将熔池中心引出坡口间隙应力集中处, 于焊缝表面左(或右)侧收弧。

更换焊条引弧前, 在收弧处用角向砂轮修磨出斜坡, 然后在斜坡前方已焊10~15mm处引弧, 连弧运条预热斜坡, 并调整焊条倾角为90°在斜坡终端最低点处压低电弧, 击穿坡口根部后, 稍停一下, 听到“噗噗”声后同时看到钝边每侧熔化0.5~1.0mm并形成熔孔, 即可以恢复原来的操作手法继续焊接。

收弧: 焊条接近终端定位焊处时, 焊条应锯齿形横向连续摆动, 并在斜坡最低点压低电弧, 让电弧击穿坡口根部, 听到“噗噗”声后然后继续向前施焊10~15mm, 填满弧坑熄弧。

2) 填充层的焊接。控制层间温度, 清理打底层焊渣, 修磨接头处焊缝, 待试件冷却到150℃以下时, 再进行填充层的焊接。在距始焊端10~15mm焊缝处用划擦法引弧, 待电弧引燃并稳定燃烧后用稍长电弧迅速拉至始焊端用短弧(电弧长度≤3mm)倒“8”字运条焊接, 焊接时电弧在坡口两侧停留的时间稍长, 焊条匀速向前运动, 使坡口两侧熔合良好, 填充层表面平滑过渡。最后一层填充层焊后其焊缝表面离试板表面约1.5mm, 表面平滑并使两侧坡口轮廓线为原始状态, 以利盖面层的焊接。

3) 盖面层的焊接。层间温度的控制与填充层相同, 电流比填充层稍小, 运条方式采用倒“8”字运条焊接, 短弧焊摆动往前施焊, 施焊时摆动均匀, 坡口两侧边缘1~1.5mm稍作停留有稳弧动作, 换焊条的接头方式与填充层一样, 熄弧时填满弧坑。

(三) 焊缝清理

焊完试件后, 切断电源, 用敲渣锤、钢丝刷、錾子将焊渣、飞溅清理干净, 严禁动用机动工具进行清理, 保持焊缝原始状态, 交考评人员检查。同时, 清理场地。

八、实例七 GMAW-Fe II -1G-6-FefS-11/16

考核时间为30min。

(一) 焊前准备

1. 焊机及其配件

选用250A以上的CO₂焊机, 直流反接; 焊前检查焊机、送丝系统, 运行正常, 减压器中的预热器预热正常, 焊枪、导电嘴、地线均接触良好, CO₂气体流量在合适范围, 调节焊接电流、电压在合适范围进行试焊。

2. 焊材

ER50-6实芯焊丝直径φ1.2mm, CO₂气体(纯度不小99.5%)。

3. 试件

Q345R钢板、规格300mm×125mm×6mm、无钝边60°V形坡口、共两块。

4. 辅助工具和量具

角向打磨机、锉刀、样冲、画线盘、金属直尺、电焊手套、电焊面罩、防护眼镜、敲渣锤、钢丝刷、凿子、焊缝检验尺。

(二) 焊前装配定位及焊接

1. 准备试板

用角向打磨机将试件两侧坡口面及坡口边缘 $10\sim20\text{mm}$ 范围内的水、铁锈、油污、积渣和其他有害杂质清除干净，露出金属光泽。用锉刀或角向打磨机修磨坡口钝边，使钝边尺寸 p 在 $1.2\sim1.5\text{mm}$ 间，然后在坡口边缘 100mm 处用画线盘画出两根与坡口边缘平行的平行线，如图 10-15 所示，并打上样冲眼，作为测量焊缝坡口每侧增宽的基准线。

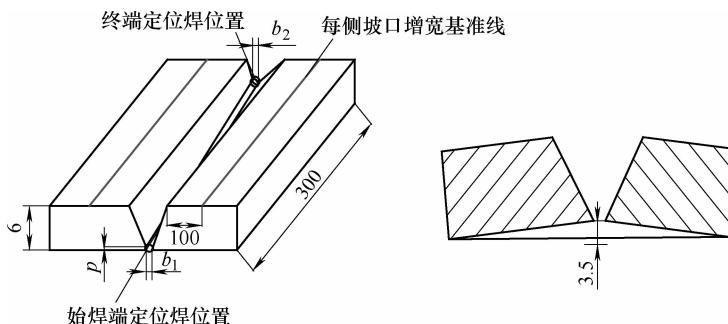


图 10-15 CO_2 焊板状试件组对和反变形示意

2. 试件装配、定位焊、预制反变形

按图 10-15 进行装配，始焊端间隙 b_1 为 3mm ，终端间隙 b_2 为 3.5mm ，始焊端定位焊长度不大于 10mm ，高不大于 4mm ，终端定位焊长度为 $10\sim15\text{mm}$ ，始焊端和终端定位焊一端用角向打磨机加工成陡坡状，观察两端错边量均应不大于 0.5mm ，如超标应磨掉重新定位焊，合格后预制反变形 3° ，反变形量为 3.5mm 。

3. 焊接操作

(1) 焊接参数 焊接位置为水平位，焊枪操作方式为左焊法（焊接方向从右往左），焊接结构简图和焊接参数见表 10-8。

表 10-8 板状试件水平位置 CO_2 焊对接结构简图和焊接参数

结构简图	焊接层次	名称	焊接电流 /A	电弧电压 /V	焊丝伸出长度/mm	气体流量 /(L/min)	焊枪右倾角度/(°)	焊枪运动方式
	1	打底层	95~105	19~20	12~15	15~20	70~80	左焊法 倒月牙形
	2	盖面层	120~130	20~21	12~15	15~20	70~80	左焊法 月牙形 或锯齿形

(2) 具体施焊技术

1) 打底层的焊接。间隙小端为始焊端，在离始焊端左侧 15mm 定位焊处引弧，待电弧引燃后迅速右移至始焊端，如图 10-16 所示，以倒月牙形向左沿两侧坡口作横向小摆动，当焊枪摆动到定位焊缝边缘时，在击穿试件根底熔孔后稍停，使接头充分熔合后，以稍快焊速改倒月牙形摆

动向左施焊，焊枪在坡口两侧稍停，中间稍快，施焊中每完成一个倒月牙形动作，如图 10-17 所示，坡口每侧钝边各熔化 $0.5 \sim 1\text{mm}$ ，先后熔池重叠 $1/2$ ，如熔孔变小，焊丝应指向熔池前部；熔孔变大焊丝应指向熔池中心，整个过程熔孔、熔池大小始终如一完成整条焊缝的打底焊工作。在打底焊过程中要人为制造一个停弧再焊接头。

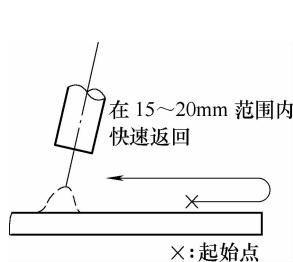


图 10-16 CO_2 焊始焊端引弧动作
图解示意

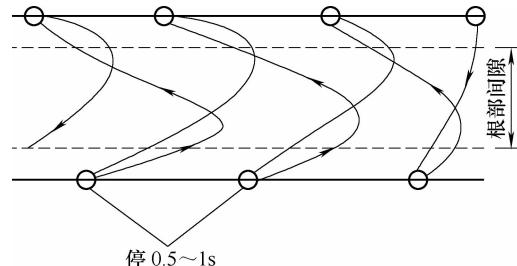


图 10-17 CO_2 焊板状试件打底焊
焊枪摆动图解示意

接头时应在弧坑后 10mm 处引弧以锯齿形向前运动，当焊丝运至弧坑底部边缘时稍停，使接头充分熔合后再继续施焊，如图 10-18 所示。

收弧时及时向弧坑处补充 $2 \sim 3$ 滴铁液，使熔池逐步缩小并将熔池中心引出坡口间隙应力集中处，于坡口任一侧收弧，待熔池凝固颜色变暗后再移开焊枪，如图 10-19 所示。

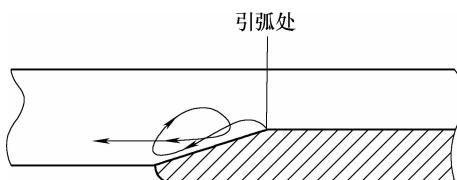


图 10-18 CO_2 焊板状试件打底焊停弧再焊
接头焊枪摆动图解示意

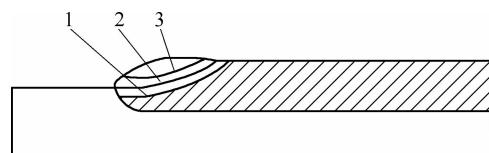


图 10-19 CO_2 焊熄弧前填满弧坑焊枪
摆动图解示意
1、2、3—补充铁液的位置

2) 盖面层的焊接。盖面层焊前，应仔细清理和打磨打底层焊缝与坡口两侧母材夹角处，及焊点重叠处的焊缝，确保焊层平整内凹，高低一致，比板表面低约 1.5mm 左右，并保证两侧坡口轮廓线为原始状态，以利盖面层的焊接。

盖面层焊枪倾角与打底层相同，电流稍大，采用月牙形或锯齿形摆动，两边慢中间快，施焊时摆动均匀，在坡口两侧边缘 1.5mm 处稍作停留有稳弧动作，停留时间一致，保证两侧熔合良好，熄弧时填满弧坑。

（三）焊缝清理

焊完试件后，切断电源，关闭气源；用凿子将飞溅清理干净，严禁动用机动工具进行清理，保持焊缝原始状态，交考评人员检查。同时，清理场地。

九、实例八 FCAW-Fe II -1G-12-FefS-11/15

考核时间为 40min 。

（一）焊前准备

1. 焊机及其配件

选用 250A 以上的 CO_2 焊机，直流反接；焊前检查焊机、送丝系统运行正常，减压器中的预热器预热正常，焊枪、导电嘴、地线均接触良好， CO_2 气体流量在合适范围，调节焊接电流、电

压在合适范围进行试焊。

2. 焊材

E501T-1 药芯焊丝干燥无锈蚀，直径 $\phi 1.2\text{mm}$ ， CO_2 气体（纯度不小 99.5%）。

3. 试件

Q345R 钢板、规格 $300\text{mm} \times 125\text{mm} \times 6\text{mm}$ 、无钝边 60°V 形坡口、共两块。

4. 辅助工具和量具

角向打磨机、锉刀、样冲、画线盘、金属直尺、电焊手套、电焊面罩、防护眼镜、敲渣锤、钢丝刷、凿子、焊缝检验尺。

（二）焊前装配定位及焊接

1. 准备试板

用角向打磨机将试件两侧坡口面及坡口边缘 $10\sim20\text{mm}$ 范围内的水、铁锈、油污、积渣和其他有害杂质清除干净，露出金属光泽。用锉刀或角向打磨机修磨坡口钝边，使钝边尺寸 p 在 $1.2\sim1.5\text{mm}$ 间，然后在坡口边缘 100mm 处用画线盘画出两根与坡口边缘平行的平行线，如图 10-15 所示，并打上样冲眼，作为测量焊缝坡口每侧增宽的基准线。

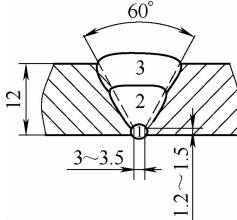
2. 试件装配、定位焊、预制反变形

按图 10-15 进行装配，始焊端间隙 b_1 为 3mm ，终端间隙 b_2 为 3.5mm ，始焊端定位焊长度不大于 10mm ，高不大于 4mm ，终端定位焊长度为 $10\sim15\text{mm}$ ，始焊端和终端定位焊一端用角向打磨机加工成陡坡状，观察两端错边量均应不大于 0.5mm ，如超标应磨掉重新定位焊，合格后预制反变形 3° ，反变形量为 3.5mm 。

3. 焊接操作

（1）焊接参数 焊接位置为水平位，焊接结构简图和焊接参数见表 10-9。

表 10-9 板状试件水平位置药芯焊丝 CO_2 焊对接结构简图和焊接参数

结构简图	焊接层次	名称	焊接电流 /A	电弧电压 /V	焊丝伸出长度/mm	气体流量 /(L/min)	焊枪右倾角度/(°)	焊枪运动方式
	1	打底层	150~165	19~20	12~15	15~20	70~80	左焊法 倒月牙形
	2	填充层	190~200	20~21	12~15	15~20	70~80	左焊法 月牙形或 锯齿形
	3	盖面层	190~200	20~21	12~15	15~20	70~80	左焊法 月牙形或 锯齿形

（2）具体施焊技术

1) 打底层的焊接。间隙小端为始焊端，在离始焊端左侧 15mm 定位焊处引弧，待电弧引燃后迅速右移至始焊端，以锯齿形向左沿两侧坡口作横向小摆动，当焊丝摆动到定位焊缝边缘时，在击穿试件根底形成熔孔后稍停，使接头充分熔合后，以稍快焊速改倒月牙形向左施焊，焊丝在坡口两侧稍停，中间稍快，施焊中每完成一个倒月牙形摆动动作，如图 10-17 所示。坡口每侧钝边各熔化 $0.5\sim1\text{mm}$ ，先后熔池重叠 $1/2$ 。如果熔孔变小，焊丝应指向熔池前部；熔孔变大焊丝应指向熔池中心。整个过程熔孔、熔池大小始终如一地完成整条焊缝的打底焊工作。在打底焊过程中要人为制造一个停弧再焊接头。

接头时应在弧坑后 10mm 处引弧以锯齿形向前运动，当焊丝移动至弧坑边缘时稍停，使接头

充分熔合后再继续施焊。

收弧时及时向弧坑处补充2~3滴铁液，使熔池逐步缩小并将熔池中心引出坡口间隙应力集中处，于坡口任一侧收弧，待熔池凝固后再移开焊枪。

2) 填充层的焊接。在距始焊端前10~15mm焊缝中心处用引弧，迅速拉至始焊端用锯齿形摆动焊接，焊枪在中间快、坡口两侧稍停顿，焊后焊缝成内凹形，焊缝表面离试板表面约1.5mm，并使两侧坡口轮廓线为原始状态，以利盖面层的焊接。

3) 盖面层的焊接。盖面层焊枪倾角与填充层相同，电流比填充层稍大，采用月牙形或锯齿形摆动，两边慢中间快，施焊时摆动均匀，在坡口两侧边缘1.5mm处稍作停留，有稳弧动作，停留时间一致，保证两侧熔合良好，熄弧时填满弧坑。

(三) 焊缝清理

焊完试件后，切断电源，关闭气源；用凿子将飞溅清理干净，严禁动用机动工具进行清理，保持焊缝原始状态，交考评人员检查。同时应清理场地。

十、实例九 SAW-1G (K) -07/09/19

考核时间为40min。

(一) 焊前准备

1. 焊机及其配件

选用630A以上的直流埋弧焊机，反接；焊前检查焊机、送丝系统、小车行走运行及各控制开关正常，焊剂通道通畅且量适当，导电嘴与焊丝接触良好，经导电嘴出来的焊丝不应倾斜和弯曲，地线接触牢固；调节焊接电流、电压、焊速在合适范围（尽可能选用电流、电压、焊速有数显预设的小车）。

2. 焊材

焊丝为H08MnA，直径 ϕ 2.5mm，焊剂HJ431经250℃×2h烘干后放在保温箱中备用。

3. 试件

Q235B钢板、规格400mm×125mm×12mm、钝边5~6mm、90°V形坡口、共两块。

4. 辅助工具和量具

角向打磨机、样冲、画线盘、金属直尺、剪刀、电焊手套、电焊面罩、防护眼镜、敲渣锤、钢丝刷、焊缝检验尺。

(二) 焊前装配定位及焊接

1. 准备试板

用角向打磨机将试件两侧坡口面及坡口边缘20~30mm范围内的水、铁锈、油污、积渣和其他有害杂质清除干净，露出金属光泽。用角向打磨机修磨坡口钝边，使钝边尺寸在5~6mm间，同时保证试板边缘直线度和试件的平整，如不平应矫平，然后在坡口边缘100mm处用画线盘画出两根与坡口边缘平行的平行线，如图10-20所示，并打上样冲眼，作为测量焊缝坡口每侧增宽的基准线。

2. 试件装配、定位焊、预制反变形

按图10-20进行装配，间隙为0~1mm，试件错边量均应不大于0.5mm，如

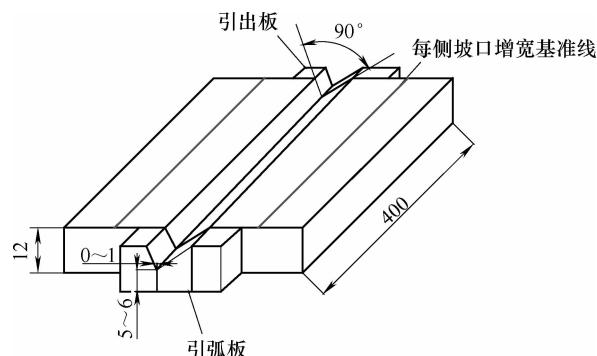


图10-20 埋弧焊板状试件组对示意

超标应磨掉重新定位焊，预制反变形 1° ，反变形量为 $1\sim1.5\text{mm}$ 。焊上引弧板和引出板，如果引弧板和引出板分别用整块板构成，应用角向打磨机磨出相应深的沟槽，以便顺利焊接，试件坡口内尽可能不定位焊。

3. 焊接操作

(1) 焊接参数 焊接位置为水平位，焊接结构简图和焊接参数见表 10-10。

表 10-10 板状试件水平埋弧焊焊接结构简图和焊接参数

结构简图	焊接层次	名称	焊接方法	填充材料	焊接电流 /A	电弧电压 /V	焊速 /(cm/min)	焊丝伸出长度/mm
	1	打底层	SAW	H08MnA φ2.5 + HJ431	380~420	33~35	55~60	25~30
	2	盖正面	SAW	H08MnA φ2.5 + HJ431	520~550	35~38	45~50	25~30
	3	盖反面	SAW	H08MnA φ2.5 + HJ431	500~550	35~38	45~50	25~30

(2) 具体施焊技术

1) 打底层的焊接。把组装后的试件放在带焊剂垫的平台上，使试件待焊缝与小车行走轨道平行，导向指针、焊丝中心与试件待焊缝成一线，移动小车检验试件待焊缝与焊丝中心是否对中，两端与焊丝端高度是否一致，合适后固定好试件，接牢地线回路，调整好打底层的各焊接参数，在引弧板端，打开焊剂开关，合上小车离合开关引弧，在整个打底焊过程中观察导向指针是否对中，焊至引出板末端时长按停止按钮，关闭焊剂，按焊丝向上按钮，断开小车开关。

整个焊接过程电流、电压、焊速三个参数尽可能不调节。

2) 盖面层的焊接。盖正面焊接前，应清理打底层焊缝的焊渣，打底层焊缝比板表面低约 $1\sim1.5\text{mm}$ 左右，以利盖面层的焊接。

盖正面焊接时，调好各焊接参数，焊丝对中进行焊接。

盖反面焊接前，焊缝不允许清根，悬空焊接，调好各焊接参数，焊丝对中进行焊接，保证前后两熔池重叠厚度 $\geq3\text{mm}$ 。

(三) 焊缝清理

焊完试件后，切断电源，将焊渣清理干净，用角向打磨机割除引弧板和引出板，自检熔合线重合程度，保持焊缝原始状态，交考评人员检查。同时，清理场地。

第二节 钢铁类管材对接

一、考前技术交底

(一) 操作技术说明

装配及技术要求：考生根据实际情况进行装配焊接，焊接参数、焊接操作及技术要求可参照考试工艺卡，要求单面焊双面成形。

(二) 操作规定说明

钢铁类管材对接操作规定的说明如下：

1) 考前 15min 给考生技术交底和发放试件，在考评人员监督下进行焊前准备和组装。

- 2) 所用焊接材料必须按考试管理制度领用, 试件统一编写考试代号。
- 3) 坡口清理及焊接参数选择由焊工独立完成。
- 4) 焊接结束后应去除熔渣和飞溅, 保持焊缝原始表面, 不允许补焊、修磨。
- 5) 严禁在非焊接部位的母材上引弧、试电流, 严格按操作规程操作, 做到工完、料净、场地清。

(三) 考核要求

钢铁类管材对接具体考核要求见表 10-11。

表 10-11 钢铁类管材对接具体考核要求

序号	考核内容	考核要点	检测结果
1	试件数量	三个焊口(当钢管外径 $< 76\text{mm}$ 时)	
2	焊前准备	劳保着装及工具准备齐全, 参数设置, 设备调试正确并符合要求	
3	焊接操作	试件固定的空间位置和定位焊位置符合要求	
4	焊缝外观	焊缝表面应是焊后原始状态, 焊缝表面没有加工修磨、补焊或返修焊	
		焊缝表面不得有裂纹、未熔合、夹渣、夹钨、气孔、焊瘤和未焊透	
		咬边深度 $\leq 0.5\text{mm}$, 焊缝两侧咬边总长度不得超过焊缝长度的 10%	
		背面凹坑深度: 当管子壁厚 T 大于 5mm 时, 不大于 20% T , 且不大于 2mm; 当管子壁厚 T 不大于 5mm 时, 不大于 25% T , 且不大于 1mm(仰焊位置凹坑深度不作规定), 背面凹坑总长度不超过焊缝长度的 10%	
		焊缝边缘直线度 f : 手工焊 $f \leq 2\text{mm}$, 机动和自动焊 $f \leq 3\text{mm}$	
		平焊位置焊缝余高 $0 \sim 3\text{mm}$, 其他位置为 $0 \sim 4\text{mm}$; 余高差 $\leq 2\text{mm}$	
		焊缝宽度差 $\leq 3\text{mm}$	
		比坡口每侧增宽 $0.5 \sim 2.5\text{mm}$	
5	焊缝内部	3 个焊口射线检测合格级别均不低于 II 级为合格	
6	其他	安全文明生产	
7	考核时间	90min	
8	理化试验	任一焊口冷弯试验两件弯曲角度 180°, 拉伸面无超标缺陷	

注: 表中序号 3、4、5、8 均检验合格为该实际操作项目合格。

二、实例一 SMAW-Fe II -2G-6/57-Fef3J

考核时间为 90min。

(一) 焊前准备

1. 焊机

选用 300A 以上的直流焊机, 直流反接, 焊前试运行, 焊机运行正常; 焊接电缆、焊钳、地线均接触良好, 焊接电流在合适范围。

2. 焊材

E5015 (J507) 焊条直径 $\phi 2.5\text{mm}$, 焊前经 350 ~ 400°C 烘干 1h 后放在焊条保温筒中备用。

3. 试件

Q345 钢管、规格 $\phi 57\text{mm} \times 6\text{mm} \times 100\text{mm}$ 、无钝边 30°V 形坡口面、共 6 根。

4. 辅助工具和量具

焊条保温筒、角向打磨机、电磨头、锉刀、样冲、画线盘、金属直尺、电焊手套、电焊面罩、防护眼镜、敲渣锤、钢丝刷、凿子、焊缝检验尺。

(二) 焊前装配定位及焊接

1. 准备试件

用角向打磨机和电磨头将试件坡口面及坡口外边缘、坡口内边缘 10 ~ 20mm 范围内的水、铁

锈、油污、积渣和其他有害杂质清除干净，露出金属光泽。用锉刀或角向打磨机修磨坡口钝边，使钝边尺寸在 $0.5 \sim 1\text{mm}$ 间，然后在坡口边缘 50mm 处用画线盘画出两根与坡口边缘平行的平行线，并打上样冲眼，作为测量焊缝坡口每侧增宽的基准线，如图 10-24 所示。

2. 试件装配、定位焊

将试件放在 $140\text{mm} \times 40\text{mm}$ 角钢上进行装配，按相隔管径周长的 $1/3$ 位置（相差 120° ，与起始焊点相差 120° ）焊两条定位焊缝，定位焊长度为 $10 \sim 15\text{mm}$ ，高不大于 3mm ，间隙为 2.5mm ，定位焊两端用角向打磨机加工成陡坡状，管径圆周错边量均应不大于 0.5mm ，如超标应磨掉重新定位焊。定位焊的焊接材料与打底层相同，焊接电流比打底焊大 $10\% \sim 15\%$ 。

3. 焊接操作

(1) 焊接参数 低合金钢小管径垂直固定管的打底、盖面层焊接参数和焊接结构简图见表 10-12。

表 10-12 低合金钢小管径垂直固定管打底盖面层焊接参数和焊接结构简图

结构简图	焊接层次	名称	焊条直径/mm	焊接电流/A	焊条与管件的角度/(°)	焊条运动方式
	1	打底层	2.5	75~85	见图 10-21	连续弧 小椭圆圈
	2~3	盖面层	2.5	70~80	见图 10-23	连续弧 直线运条

(2) 具体施焊技术

1) 打底层的焊接。在与定位焊焊缝相隔管径周长的另一 $1/3$ 位置处用划擦法引弧，待电弧引燃后用稍长电弧预热上坡口，预热时将熔化的第一、第二熔滴甩掉，待上坡口根部有“出汗”现象时，压低电弧至坡口中央根部停留 $1 \sim 2\text{s}$ ，形成一个熔池和熔孔，然后作斜圆圈形上下小摆动，使电弧的 $1/2$ 作用于管口内，并形成上小下大的椭圆形熔孔，施焊中，电弧击穿坡口根部钝边的顺序是先上坡口根部，后下坡口根部，电弧在上坡口根部停顿时间比下坡口根部稍长，焊接速度均匀，不挑弧，打底焊整个过程中，焊条与管切线焊接方向为 $75^\circ \sim 85^\circ$ ，下倾角为 $70^\circ \sim 80^\circ$ ，焊条角度如图 10-21 所示，焊条摆动方式如图 10-22 所示。

与定位焊缝接头操作：焊接过程中运条到定位焊缝根部时，焊条要向根部间隙位置顶送一下，当听到“噗噗”声后，将焊条快速移到定位焊缝的另一端根部预热，当端部定位焊缝有“出汗”现象时，焊条要在坡口根部间隙处向下压，听到“噗噗”声后稍做停顿，仍用原焊接手法继续焊接。

收弧：当焊条接近终端时（始焊端），焊条在终端收口处稍做停顿预热，看到有“出汗”现象时焊条要在坡口根部间隙处向下压，让电弧击穿坡口根部，听到“噗噗”声后稍做停顿，然后继续向前施焊 $10 \sim 15\text{mm}$ ，填满弧坑熄弧。

更换焊条时的接头方式：有热接法和冷接法，打底层更换焊条时多选用热接法，可避免背面焊缝出现冷缩孔和未焊透；如果用冷接法，应在上一根电焊条还剩 50mm 左右时（即熄弧前），使熔池逐步缩小并将熔池中心引出坡口间隙应力集中处，于焊缝表面坡口下侧收弧。

热接法：在收弧处熔池尚保持红热状态时，迅速更换焊条并在收弧斜坡前 $10 \sim 15\text{mm}$ 处引弧，然后将电弧拉到斜坡上运条预热，在斜坡终端最低点处压低电弧，击穿坡口根部后，稍停一下，使钝边每侧熔化 $1 \sim 1.5\text{mm}$ 并形成熔孔，即可以恢复原来的操作手法继续焊接。热接法换焊

条动作越快越好。

冷接法：焊缝熔池已经凝固冷却。焊接引弧前，在收弧处用角向砂轮或锉刀、锯条、气刨等修磨出斜坡，然后在斜坡前 10~15mm 处引弧，并运条预热斜坡，在斜坡终端最低点处压低电弧，击穿坡口根部后，稍停一下，使钝边每侧熔化 1~1.5mm 并形成熔孔，即可以恢复原来的操作手法继续焊接。

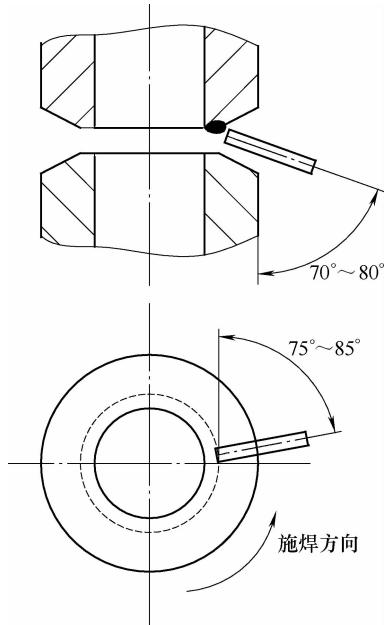


图 10-21 管子垂直固定焊条下倾角及与管子切线方向的夹角示意

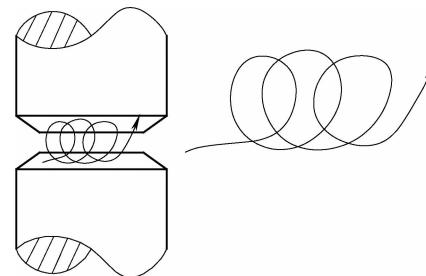


图 10-22 管子垂直固定打底焊焊条摆动示意

2) 盖面层的焊接。盖面层焊前，应仔细清理打底层焊缝与坡口两侧母材夹角处，及焊点重叠处的焊渣，确保焊层平整，高低一致，比管表面低约 1.5mm 左右，并保证两侧坡口轮廓线为原始状态，以利盖面层的焊接。

盖面层有上下两条焊缝，均采用直线形运条法，焊条在焊接过程中不摆动。焊接顺序为自下而上，第一道焊接时，焊条与管切线焊接方向为 70°~75°，下倾角为 75°~80°，短弧，焊条直线运动时使下坡口边缘熔化 0.5~1mm，第二道焊接时，焊条与管切线焊接方向为 70°~75°，下倾角为 80°~90°，短弧，如图 10-23 所示，与第一道焊缝重叠 1/3 以上，并保证上坡口边缘熔化 0.5~1mm，熄弧时填满弧坑。

(三) 焊缝清理

焊完试件后，切断电源，用敲渣锤、钢丝刷、凿子将焊渣、飞溅清理干净，严禁动用机动工具进行清理，保持焊缝原始状态，交考评人员检查。同时，清理场地。

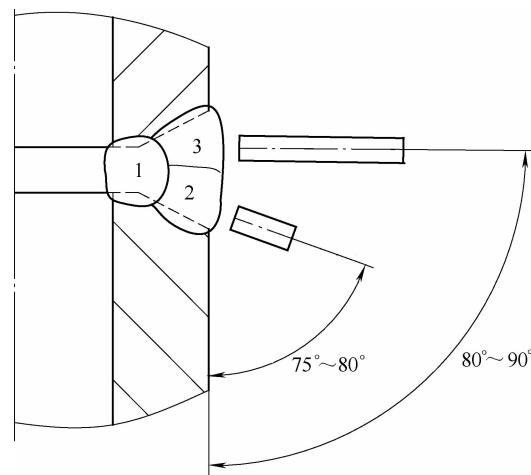


图 10-23 管子垂直固定盖面层焊条下倾角示意

三、实例二 SMAW-Fe II -5G-6/Fef3J

考核时间为 90min。

(一) 焊前准备

1. 焊机

选用 300A 以上的直流焊机，直流反接，焊前试运行，焊机运行正常；焊接电缆、焊钳、地线均接触良好，焊接电流在合适范围。

2. 焊材

E5015 (J507) 焊条直径 $\phi 2.5\text{mm}$ ，焊前经 $350\sim400^\circ\text{C}$ 烘干 1h 后放在焊条保温筒中备用。

3. 试件

Q345 钢管、规格 $\phi 57\text{mm} \times 6\text{mm} \times 100\text{mm}$ 、无钝边 30°V 形坡口面、共 6 根。

4. 辅助工具和量具

焊条保温筒、角向打磨机、电磨头、锉刀、样冲、画线盘、金属直尺、电焊手套、电焊面罩、防护眼镜、敲渣锤、钢丝刷、凿子、焊缝检验尺。

(二) 焊前装配定位及焊接

1. 准备试件

用角向打磨机和电磨头将试件坡口面及坡口外边缘、坡口内边缘 $10\sim20\text{mm}$ 范围内的水、铁锈、油污、积渣和其他有害杂质清除干净，露出金属光泽。用锉刀或角向打磨机修磨坡口钝边，使钝边尺寸在 $0\sim0.5\text{mm}$ 间，然后在坡口边缘 50mm 处用画线盘画出两根与坡口边缘平行的平行线，如图 10-24 所示，并打上样冲眼，作为测量焊缝坡口每侧增宽的基准线。

2. 试件装配、定位焊

将试件放在 $L40 \times 40$ 角钢上进行装配，定位焊焊缝在时钟 2 点、10 点位置，定位焊长度为 $10\sim15\text{mm}$ ，高不大于 3mm ，间隙为 2.5mm ，定位焊缝两端用角向打磨机加工成陡坡状，观察管径圆周错边量均应不大于 0.5mm ，如超标应磨掉重新定位焊。定位焊焊接材料与打底层相同，焊接电流比打底层大 $10\%\sim15\%$ 。

3. 焊接操作

(1) 焊接参数 水平固定管的打底、盖面焊接均分两半圈进行，焊接结构简图和焊接参数见表 10-13。

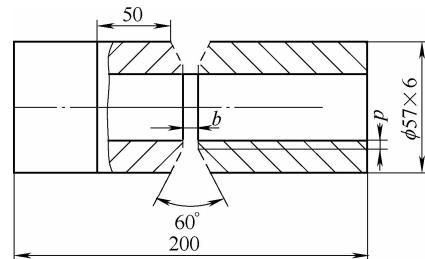


图 10-24 管子对接组装示意

表 10-13 水平固定管对接焊接结构简图和焊接参数

结构简图	焊接层次	名称	焊条直径 /mm	焊接电流 /A	焊条与管件的角度/(°)	焊条运动方式
	1	打底层	2.5	70~85	如图 10-25	连弧 锯齿形或月牙形
	2	盖面层	2.5	65~80	如图 10-25	连弧 锯齿形或月牙形

(2) 具体施焊技术

1) 打底层的焊接。在时钟 6 点位置前方 $10 \sim 15\text{mm}$ 处用划擦法引弧, 待电弧引燃后用稍长电弧预热坡口, 待坡口根部有“出汗”现象时, 压低电弧至坡口根部间隙, 出现熔孔时, 将焊条向坡口间隙内顶, 使电弧 $2/3$ 以上作用于管口内, 同时沿两侧坡口钝边处作锯齿形或月牙形小摆动, 听到电弧穿透坡口根部发出“噗噗”声时形成金属小桥后, 电弧稍拉长连续向上施焊, 电弧每运动到坡口一侧要有稍作停顿的稳弧动作, 控制熔孔大小一致, 当打底层施焊超过 9 点 (3 点) 到 10 点半 (1 点半) 位置时, 电弧深度为 $1/2$, 而 10 点半 (1 点半) 到 12 点位置时, 电弧深度为 $1/3$, 同时加大焊接速度快速运条以免烧穿, 打底层整个焊接过程中, 随管子的曲率变化, 焊条角度也相应地变化, 具体如图 10-25 所示。另半圈用同样的焊接方法。

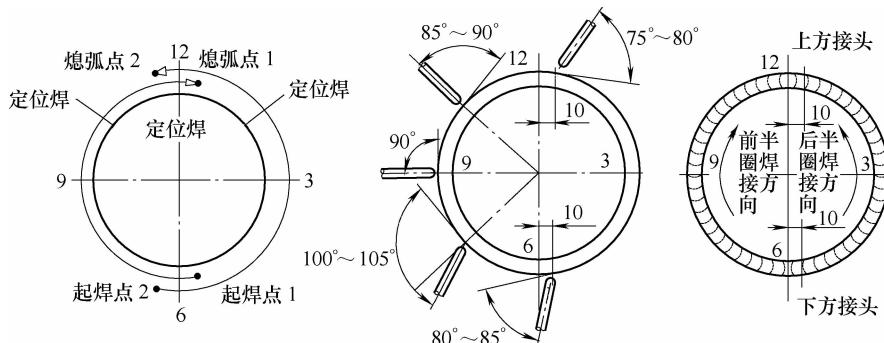


图 10-25 管子水平固定对接打底层焊条倾角和运条示意

与定位焊缝接头操作: 焊接过程中运条到定位焊缝根部时, 焊条要向根部间隙位置顶送一下, 当听到“噗噗”声后, 将焊条快速移动到定位焊缝的另一端根部预热, 当端部定位焊缝有“出汗”现象时, 焊条要在坡口根部间隙处向下压, 听到“噗噗”声后稍做停顿, 仍用原焊接手法继续焊接。

收弧: 当焊条接近终端时, 在终端收口处稍做停顿预热, 看到有“出汗”现象时焊条要在坡口根部间隙处向下压, 让电弧击穿坡口根部, 听到“噗噗”声后稍做停顿, 然后继续向前施焊 $10 \sim 15\text{mm}$, 填满弧坑熄弧。

更换焊条时的接头方式有热接法和冷接法, 打底层更换焊条时多选用热接法, 可避免背面焊缝出现冷缩孔和未焊透; 如果用冷接法, 应在上一根电焊条还剩 50mm 左右时 (即熄弧前), 使熔池逐步缩小并将熔池中心引出坡口间隙应力集中处, 于焊缝表面一侧收弧。

热接法: 在熔池尚保持红热状态时, 迅速更换焊条并在收弧斜坡前 $10 \sim 15\text{mm}$ 处引弧, 然后将电弧拉到斜坡上运条预热, 在斜坡终端最低点处压低电弧, 击穿坡口根部后, 稍停一下, 使钝边每侧熔化 $1 \sim 1.5\text{mm}$ 并形成熔孔, 即可以恢复原来的操作手法继续焊接。热接法换焊条动作越快越好。

冷接法: 焊缝熔池已经凝固冷却。焊接引弧前, 在收弧处用角向砂轮或锉刀、锯条、气刨等修磨出斜坡, 然后在斜坡前 $10 \sim 15\text{mm}$ 处引弧, 并运条预热斜坡, 在斜坡终端最低点处压低电弧, 击穿坡口根部后, 稍停一下, 使钝边每侧熔化 $1 \sim 1.5\text{mm}$ 并形成熔孔, 即可以恢复原来的操作手法继续焊接。

2) 盖面层的焊接。盖面层焊前, 应仔细清理打底层焊缝与坡口两侧母材夹角处, 及焊点重叠处的焊渣, 确保焊层平整, 高低一致, 比管表面低约 1.5mm 左右, 并保证两侧坡口轮廓线为原始状态, 以利盖面层的焊接。

在 6 点半焊缝中心处用划擦法引弧后拉至 5 点半焊缝中心处压低电弧沿顺时针采用锯齿形或月牙形摆动运条法施焊，焊条摆动到坡口轮廓线边缘稍停，使坡口轮廓线熔合 0.5~1mm，以免咬边或熔合不良，施焊过程中随时调整焊条角度，具体如图 10-26 所示，熄弧时填满弧坑。用同样的焊接技法焊接另外半圈。

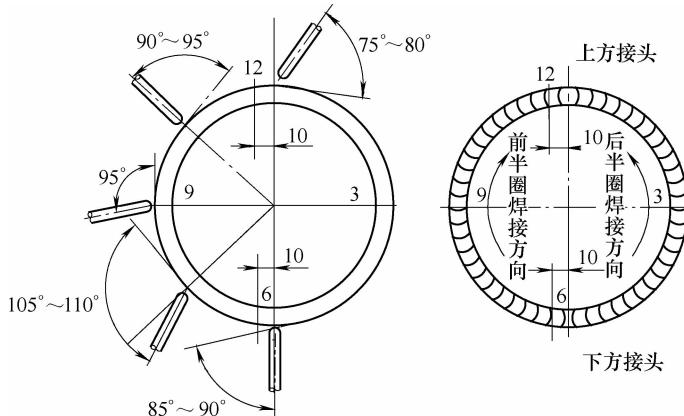


图 10-26 管子水平固定对接盖面层焊条倾角和运条示意

(三) 焊缝清理

焊完试件后，切断电源，用敲渣锤、钢丝刷、凿子将焊渣、飞溅清理干净，严禁动用机动工具进行清理，保持焊缝原始状态，交考评人员检查。同时，清理场地。

四、实例三 SMAW-Fe II -6G-6/57-Fef3J

考核时间为 90min。

(一) 焊前准备

1. 焊机

选用 300A 以上的直流焊机，直流反接，焊前试运行，焊机运行正常；焊接电缆、焊钳、地线均接触良好，焊接电流在合适范围。

2. 焊材

E5015 (J507) 焊条直径 $\phi 2.5\text{mm}$ ，焊前经 350~400℃ 烘干 1h 后放在焊条保温筒中备用。

3. 试件

Q345 钢管、规格 $\phi 57\text{mm} \times 6\text{mm} \times 100\text{mm}$ 、无钝边 30°V 形坡口面、共 6 根。

4. 辅助工具和量具

焊条保温筒、角向打磨机、电磨头、锉刀、样冲、画线盘、金属直尺、电焊手套、电焊面罩、防护眼镜、敲渣锤、钢丝刷、凿子、焊缝检验尺。

(二) 焊前装配定位及焊接

1. 准备试件

用角向打磨机和电磨头将试件坡口面及坡口外边缘、坡口内边缘 10~20mm 范围内的水、铁锈、油污、积渣和其他有害杂质清除干净，露出金属光泽。用锉刀或角向打磨机修磨坡口钝边，使钝边尺寸在 0.5~1mm 间，然后在坡口边缘 50mm 处用画线盘画出两根与坡口边缘平行的平行线，并打上样冲眼，作为测量焊缝坡口每侧增宽的基准线。

2. 试件装配、定位焊

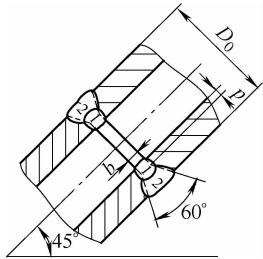
将试件放在 L40×40 角钢上进行装配，定位焊焊缝在时钟 2 点、10 点位置，定位焊长度为

10~15mm, 高不大于3mm, 间隙为2.5mm, 定位焊两端用角向打磨机加工成陡坡状, 管径圆周错边量均应不大于0.5mm, 如超标应磨掉重新定位焊。定位焊焊接材料与打底层相同, 焊接电流比打底焊大10%~15%。

3. 焊接操作

(1) 焊接参数 45°固定管的打底、盖面焊接均分两半圈进行, 焊接结构简图和焊接参数见表10-14。

表 10-14 45°固定管焊条电弧焊连弧焊焊接结构简图和焊接参数

结构简图	焊接层次	名称	焊条直径/mm	焊接电流/A	焊条与下管壁的夹角/焊点切线夹角/(°)	焊条运动方式
	1	打底层	2.5	70~85	85~95/70~75	连弧锯齿形或斜椭圆圈形
	2	盖面层	2.5	65~80	85~90/80~85	连弧锯齿形或月牙形

(2) 具体施焊技术

1) 打底层的焊接。在5点半或6点半的坡口上侧位置开始用划擦法引弧, 待电弧引燃后用稍长电弧预热坡口, 待坡口上侧根部有“出汗”现象时, 压低电弧至坡口根部间隙, 使熔化金属充满根部间隙, 听到“噗噗”声后并出现熔孔时, 用稍长电弧锯齿形或斜椭圆圈形摆动焊条向前继续施焊。上坡口侧时用1/3电弧在管内焊接, 下坡口侧时为2/3, 为了防止熔池金属下坠, 电弧在上坡口停留时间稍长, 下坡口稍短, 上下坡口侧停留时间比例为(2~3):1, 使坡口两侧母材金属各熔化1~1.5mm。当打底焊施焊超过9点(3点)到12点位置时, 电弧深度为1/3~1/2, 同时加大焊接速度快速运条以免烧穿。整个打底焊过程中, 随管子的曲率变化, 焊条的角度也相应地变化。始终控制熔孔直径在3~3.5mm之间, 熔池形状大小如一, 引弧后电弧始终燃烧不熄弧, 并及时调整焊条的角度, 保证焊缝成形良好。用同样的焊接方法焊接另外半圈。

与定位焊缝接头的操作: 焊接过程中运条到定位焊缝根部时, 焊条要向根部间隙位置顶送一下, 当听到“噗噗”声后, 将焊条快速运条到定位焊缝的另一端根部预热, 当定位焊缝有“出汗”现象时, 焊条要在坡口根部间隙处向下压, 听到“噗噗”声后稍做停顿, 仍用原焊接手法继续焊接。

收弧: 当焊条接近终端时, 焊条在终端收口处稍做停顿预热, 看到有“出汗”现象时在坡口根部间隙处向下压, 让电弧击穿坡口根部, 听到“噗噗”声后稍做停顿, 然后继续向前施焊10~15mm, 填满弧坑熄弧。

更换焊条时的接头方式有热接法和冷接法, 打底层更换焊条时多选用热接法, 可避免背面焊缝出现冷缩孔和未焊透; 如果用冷接法, 应在上一根焊条还剩50mm左右时(即熄弧前), 使熔池逐步缩小并将熔池中心引出坡口间隙应力集中处, 于焊缝表面一侧收弧。

热接法: 在熔池尚保持红热状态时, 迅速更换焊条并在收弧斜坡前10~15mm处引弧, 然后将电弧拉到斜坡上预热, 在斜坡终端最低点处压低电弧, 击穿坡口根部后, 稍停一下, 使钝边每侧熔化1~1.5mm并形成熔孔, 即可以恢复原来的操作手法继续焊接。热接法换焊条动作越快越好。

冷接法：焊缝熔池已经凝固冷却。焊接引弧前，在收弧处用角向砂轮或锉刀、锯条、气刨等修磨出斜坡，然后在斜坡前 10~15mm 处引弧，并运条预热斜坡，在斜坡终端最低点处压低电弧，击穿坡口根部后，稍停一下，使钝边每侧熔化 1~1.5mm 并形成熔孔，即可以恢复原来的操作手法继续焊接。

2) 盖面层的焊接。盖面层焊前，应仔细清理打底层焊缝与坡口两侧母材夹角处及焊点重叠处的焊渣，确保焊层平整，高低一致，比管表面低约 1.5mm 左右，并保证两侧坡口轮廓线为原始状态，以利盖面层的焊接。

当盖面层采用单道焊时，在 6 点半焊缝中心处用划擦法引弧后拉至 5 点半焊缝中心处沿顺时针压低电弧采用锯齿形或月牙形摆动运条法施焊，焊条摆动到坡口轮廓线边缘停留时间稍长，在焊缝中心处稍短，停留时间比例为 (3~4):1，使坡口轮廓线熔合 0.5~1mm，以免咬边或熔合不良，施焊过程中随时调整焊条角度和位置使熔池始终处于水平状态，焊条角度如图 10-27 所示，运条方式如图 10-28 所示，熄弧时填满弧坑。用同样的焊接方法焊接另外半圈。

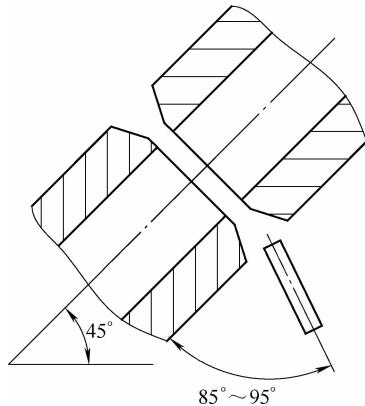


图 10-27 45° 固定管焊条电弧焊
焊条角度示意

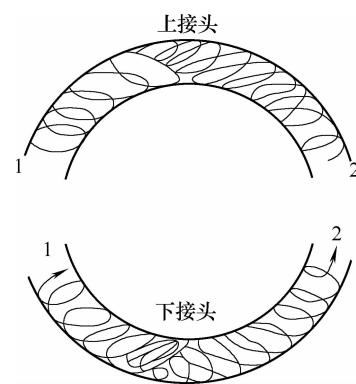


图 10-28 45° 固定管焊条电弧焊
运条方式示意

(三) 焊缝清理

焊完试件后，切断电源，用敲渣锤、钢丝刷、凿子将焊渣、飞溅清理干净，严禁动用机动工具进行清理，保持焊缝原始状态，交考评人员检查。同时，清理场地。

五、实例四 SMAW-Fe I -6G-6/57-Fef1

考核时间为 90min。

(一) 焊前准备

1. 焊机

选用 300A 以上的直流焊机或交流焊机，焊前试运行，焊机运行正常；焊接电缆、焊钳、地线均接触良好，焊接电流在合适范围。

2. 焊材

E4303 (J422) 焊条直径 $\phi 2.5\text{mm}$ ，焊前经 150℃ 烘干 1h 后放在焊条保温筒中备用。

3. 试件

20 钢管、规格 $\phi 57\text{mm} \times 6\text{mm} \times 100\text{mm}$ 、无钝边 30°V 形坡口面、共 6 根。

4. 辅助工具和量具

焊条保温筒、角向打磨机、电磨头、锉刀、样冲、画线盘、金属直尺、电焊手套、电焊面

罩、防护眼镜、敲渣锤、钢丝刷、凿子、焊缝检验尺。

(二) 焊前装配定位及焊接

1. 准备试件

用角向打磨机和电磨头将试件坡口面及坡口外边缘、坡口内边缘 10~20mm 范围内的水、铁锈、油污、积渣和其他有害杂质清除干净，露出金属光泽。用锉刀或角向打磨机修磨坡口钝边，使钝边尺寸在 0.5~1mm 间，然后在坡口边缘 50mm 处用画线盘画出两根与坡口边缘平行的平行线，并打上样冲眼，作为测量焊缝坡口每侧增宽的基准线。

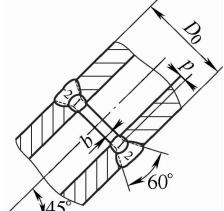
2. 试件装配、定位焊

将试件放在 L40×40 角钢上进行装配，定位焊焊缝在时钟 2 点、10 点位置，定位焊长度为 10~15mm，高不大于 3mm，间隙为 2.5mm，定位焊缝两端用角向打磨机加工成陡坡状，管径圆周错边量均应不大于 0.5mm，如超标应磨掉重新定位焊。定位焊焊接材料与打底层相同，焊接电流比打底焊大 10%~15%。

3. 焊接操作

(1) 焊接参数 45° 固定管的打底、盖面焊接均分两半圈进行，焊接结构简图和焊接参数见表 10-15。

表 10-15 45° 固定管焊条电弧焊焊接结构简图和焊接参数

结构简图	焊接层次	名称	焊条直径/mm	焊接电流/A	焊条与下管壁的夹角/焊点切线夹角/(°)	焊条运动方式
	1	打底层	2.5	70~85	85~95/70~75	断弧,一点式
	2	盖面层	2.5	65~80	85~90/80~85	断弧,锯齿形摆动

(2) 具体施焊技术

1) 打底层的焊接。在 5 点半 (或 6 点半) 的坡口上侧位置开始引弧，待电弧引燃后用稍长电弧预热坡口，待坡口上侧根部有“出汗”现象时，压低电弧至坡口根部间隙，使熔化金属充满根部间隙，听到“噗噗”声后并出现熔孔时，迅速灭弧，待熔池稍冷，在红热金属前端重新引弧，用 1/2~2/3 电弧在管内燃烧直至再次出现一定尺寸的熔孔时，灭弧，继续上述步骤，当打底焊施焊超过 9 点 (3 点) 到 12 点位置时，电弧深度改为 1/3~1/2，同时控制好燃弧时间和灭弧时间以免烧穿，一般在斜仰焊位、斜平焊位断弧频率为 35~40 次/min，斜立焊为 40~45 次/min 打底焊整个过程中，随管子的曲率变化，焊条位置和角度也相应地变化，始终控制坡口两侧母材金属各熔化 1~1.5mm，熔孔直径在 3~3.5mm 之间，熔池形状大小如一，另半圈用同样的焊接方法，完成整个打底焊工作。

与定位焊缝接头操作：焊接过程中运条到定位焊缝根部时，焊条要向根部间隙位置顶送一下，当听到“噗噗”声后，将焊条快速移动到定位焊缝的另一端根部预热，当端部定位焊缝有“出汗”现象时，焊条要在坡口根部间隙处向下压，听到“噗噗”声后稍做停顿，仍用原焊接手法继续焊接。

收弧：当焊条接近终端时，焊条在终端收口处稍做停顿预热，看到有“出汗”现象时焊条要在坡口根部间隙处向下压，让电弧击穿坡口根部，听到“噗噗”声后稍做停顿，然后继续向

前施焊 10~15mm，填满弧坑熄弧。

更换焊条时的接头方式有热接法和冷接法。打底层更换焊条时多选用热接法，可避免背面焊缝出现冷缩孔和未焊透；如果用冷接法，应在上一根焊条还剩 50mm 左右时（即熄弧前），使熔池逐步缩小并将熔池中心引出坡口间隙应力集中处，于焊缝表面一侧收弧。

热接法：在熔池尚保持红热状态时，迅速更换焊条并在收弧斜坡前 10~15mm 处引弧，然后将电弧拉到斜坡上预热，在斜坡终端最低点处压低电弧，击穿坡口根部后，稍停一下，使钝边每侧熔化 1~1.5mm 并形成熔孔，即可以恢复原来的操作手法继续焊接。热接法换焊条动作越快越好。

冷接法：焊缝熔池已经凝固冷却。焊接引弧前，在收弧处用角向砂轮或锉刀、锯条、气刨等修磨出斜坡，然后在斜坡前 10~15mm 处引弧，并预热斜坡，在斜坡终端最低点处压低电弧，击穿坡口根部后，稍停一下，使钝边每侧熔化 1~1.5mm 并形成熔孔，即可以恢复原来的操作手法继续焊接。

2) 盖面层的焊接。盖面层焊前，应仔细清理打底层焊缝与坡口两侧母材夹角处及焊点重叠处的焊渣，确保焊层平整，高低一致，比管表面低约 1.5mm 左右，并保证两侧坡口轮廓线为原始状态，以利盖面层的焊接。

当盖面层采用单道焊道时，在 6 点位置附近引弧后拉至 5 点半附近用长弧来回预热，“出汗”时压低电弧采用锯齿形摆动运条法施焊，焊条摆动到坡口轮廓线边缘停留时间稍长，焊缝中心处稍短，使坡口轮廓线熔合 0.5~1mm，以免咬边或熔合不良，施焊过程中随时调整焊条角度和位置使熔池始终处于水平状态，如图 10-28 所示，熄弧时填满弧坑。另外半圈用同样的焊接方法施焊。

（三）焊缝清理

焊完试件后，切断电源，用敲渣锤、钢丝刷、凿子将焊渣、飞溅清理干净，严禁动用机动工具进行清理，保持焊缝原始状态，交考评人员检查。同时，清理场地。

六、实例五 GTAW-Fe I -6G-3.5/57-02/11/12

考核时间为 90min。

（一）焊前准备

1. 焊机

选用 160A 以上的直流手工氩弧焊机，直流正接；焊前焊机试运行正常，高频或高压引弧正常，氩气保护正常，焊枪、地线均接触良好，钨极直径、钨棒伸出长度和端部锥度合适，焊接电流在合适范围。

2. 焊材

$\phi 2.0 \sim \phi 3.0\text{mm}$ 钨钨极，氩气（纯度 $\geq 99.96\%$ ），焊丝 TIG-J50 直径 $\phi 2.0\text{mm}$ 去除油锈。

3. 试件

20 钢管、规格 $\phi 57\text{mm} \times 3.5\text{mm} \times 100\text{mm}$ 、无钝边 30°V 形坡口面、共 6 根。

4. 辅助工具和量具

角向打磨机、电磨头、锉刀、样冲、画线盘、电焊手套、电焊头罩、防护眼镜、钢丝刷、焊缝检验尺。

（二）焊前装配定位及焊接

1. 准备试件

用角向打磨机和电磨头将试件坡口面及坡口外边缘、坡口内边缘 10~20mm 范围内的水、铁锈、油污、积渣和其他有害杂质清除干净，露出金属光泽。用锉刀或角向打磨机修磨坡口钝边，

使钝边尺寸在 $0.5 \sim 1\text{mm}$ 间, 然后在坡口边缘 50mm 处用画线盘画出两根与坡口边缘平行的平行线, 并打上样冲眼, 作为测量焊缝坡口每侧增宽的基准线。

2. 试件装配、定位焊

将试件放在 $L40 \times 40$ 角钢上进行装配, 定位焊焊缝在时钟 2 点、10 点位置, 定位焊长度为 $5 \sim 8\text{mm}$, 高不大于 3mm , 间隙为 2mm , 定位焊两端用角向打磨机加工成陡坡状, 管径圆周错边量均应不大于 0.5mm , 如超标应磨掉重新定位焊。定位焊焊接材料与打底层相同, 焊缝质量与正式焊缝相同, 焊接电流比打底焊大 $10\% \sim 15\%$ 。

3. 焊接操作

(1) 焊接参数 45° 固定管的打底、盖面焊接均分两半圈进行, 焊接结构简图和焊接参数见表 10-16。

表 10-16 45° 固定碳钢管手工钨极氩弧焊焊接结构简图和焊接参数

结构简图	焊接层次	名称	焊丝直径/mm	焊接电流/A	钨极直径/mm	钨极伸出长度/mm	氩气流量/(L/min)	喷嘴直径/mm	喷嘴至试件距离/mm
	1	打底层	2.0	70~85	2.5	4~5	8~10	8	8~10
	2	盖面层	2.0	80~90	2.5	4~5	8~10	8	8~10

(2) 具体施焊技术

1) 打底层的焊接。在 5 点半 (或 6 点半) 位置的坡口上侧开始引弧, 待电弧稳定后, 将电弧压低 (在不影响视线及钨极不触及试件的情况下越低越好), 在坡口根部间隙两侧用焊枪画圈预热, 待坡口两侧钝边同时熔化形成熔孔后, 紧贴熔孔送进焊丝 (如焊缝在仰面、斜仰面的位置内陷, 可改为管内送丝), 在钝边熔化边缘两侧各给送一滴液态金属, 通过焊枪横向摆动, 使其形成搭桥连接, 形成第一个熔池, 调整焊炬摆动使熔孔成水平, 椭圆状熔池清晰明亮后再添加焊丝, 焊枪均匀上移, 继续焊接。在仰面、斜仰面的位置, 焊丝应紧贴熔池尽量送入钝边间隙中, 而上爬坡与 12 点位置, 焊丝送至上坡口根部间隙的边沿处, 焊枪略向后倾, 焊速加快, 采用间断送丝法进行送丝, 即焊丝在不离开氩气保护范围内一拉一送、一滴一滴地向熔池填送金属, 又不触及钨极 (如“打钨”应将焊缝彻底打磨干净后再施焊)。整个过程保持焊炬下倾角 $80^\circ \sim 85^\circ$, 身体围绕试件转动, 焊枪喷嘴、焊丝与试件的角度如图 10-29 所示。始终控制坡口两侧母材金属各熔化 $0.5 \sim 1\text{mm}$, 熔孔直径在 $2.5 \sim 3\text{mm}$ 之间, 熔池位置水平, 椭圆形状大小基本如一。当发现熔孔过大, 铁液稍有下坠现象时立即断弧, 但焊枪不能马上离开, 用滞后停气功能待熔池稍冷却后再引弧→熔化→填丝→焊接。熄弧前, 应将焊枪向坡口上侧移动并添加焊丝逐步缩小熔池后熄弧, 另外半圈用同样的焊接方

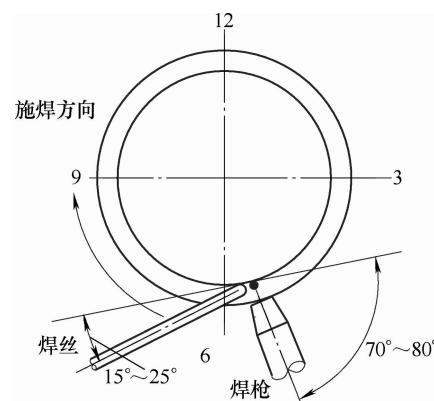


图 10-29 45° 固定管手工钨极氩弧焊焊丝与试件的角度示意

法施焊，完成整个打底焊工作。

施焊过程中断或更换焊丝或与定位焊缝接头操作：应先将收弧处或定位焊缝接头处打磨成斜坡状，在斜坡上开始施焊，当焊至斜坡端部出现熔孔后立即送丝并转入正常焊接；焊至定位焊缝斜坡接头时，电弧稍作停留，暂缓送丝，待熔池与斜坡端部充分熔化有小熔孔后再送丝焊接。

收弧：当焊缝接近终端时，停止送丝，把电弧拉至终端缓坡处和熔池间来回画圈预热，看到终端焊缝及坡口根部开始熔化，将电弧拉回原熔池填丝焊接，熔孔逐渐缩小时及时添加焊丝，直至熔孔闭合，封口后停止送丝压低电弧继续向前施焊 10~15mm，熄弧时填满弧坑。

2) 盖面层的焊接。盖面层焊前，应仔细检查打底层焊缝与坡口两侧母材夹角处，确保焊层圆滑过渡，比管表面低约 1.5mm 左右，并保证两侧坡口轮廓线为原始状态，以利盖面层的焊接。

当盖面层采用单道焊时，焊枪尽量靠到试件上均匀向上滚动，电弧长度控制在 2~3mm，待打底焊缝开始熔化后立即送丝，在坡口两侧横向小摆动并稍作停留，控制熔池在水平状态，焊丝随着焊枪的移动在相应的熔池一侧前上方送入一滴铁液，并保证坡口轮廓线熔合 1~1.5mm，以免咬边或熔合不良，熄弧时填满弧坑。整个施焊过程中焊枪与下管壁的夹角为 70°~75°，焊枪与施焊点切线夹角为 75°~85°，焊丝与施焊点切线夹角为 15°~20°。

(三) 焊缝清理

焊完试件后，切断电源，关闭气源，用钢丝刷清理干净，严禁动用机动工具进行清理，保持焊缝原始状态，交考评人员检查。同时，清理场地。

七、实例六 GTAW-FeIV-6G-3/38-02/10/12

考核时间为 90min。

(一) 焊前准备

1. 焊机

选用 160A 以上的直流手工氩弧焊机，直流正接；焊前焊机试运行正常，高频或高压引弧正常，管内外氩气保护正常，焊枪、地线均接触良好，钨极直径、钨棒伸出长度和端部锥度合适，焊接电流在合适范围。

2. 焊材

ϕ 2.0~ ϕ 3.0mm 钨钨极，氩气（纯度≥99.96%），焊丝 H0Cr21Ni10 直径 ϕ 2.0mm。

3. 试件

0Cr18Ni9 钢管、规格 ϕ 38mm×3mm×100mm、无钝边 30°V 形坡口面、共 6 根。

4. 辅助工具和量具

角向打磨机、电磨头、锉刀、样冲、画线盘、电焊手套、电焊头罩、防护眼镜、钢丝刷、焊缝检验尺、管内氩气保护装置。

(二) 焊前装配定位及焊接

1. 准备试件

用角向打磨机和电磨头将试件坡口面及坡口外边缘、坡口内边缘 10~20mm 范围内的水、油污、积渣和其他有害杂质清除干净，露出金属光泽。用锉刀或角向打磨机修磨坡口钝边，使钝边尺寸在 0.5~1mm 间，然后在坡口边缘 50mm 处用画线盘画出两根与坡口边缘平行的平行线，并打上样冲眼，作为测量焊缝坡口每侧增宽的基准线。

2. 试件装配、定位和管内充氩气

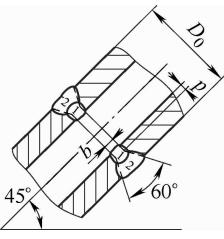
将试件放在 L40mm×40mm 角钢上进行装配，用与管子相同材质的扁铁条（或直接）在管子圆周侧时钟 2 点、10 点位置进行单面定位焊，间隙为 2mm，管径圆周错边量均应不大于 0.5mm，如超标应磨掉重新定位焊。定位焊焊接材料与打底层相同。施焊前通氩，氩气流量为 15~

20L/min, 焊接时减为6~8L/min。对于薄壁管, 为防止管内焊缝氧化, 焊盖面层时管内仍通氩气。

3. 焊接操作

(1) 焊接参数 45°固定管的打底、盖面焊接均分两半圈进行, 焊接结构简图和焊接参数见表10-17。

表 10-17 45°固定不锈钢管手工钨极氩弧焊焊接结构简图和焊接参数

结构简图	焊接层次	名称	焊丝直径/mm	焊接电流/A	钨极直径/mm	钨极伸出长度/mm	氩气流量/(L/min)	喷嘴直径/mm	喷嘴至试件距离/mm	送丝方式
	1	打底层	2.0	65~80	2.5	3~4	10~12	8	10~12	间断送丝
	2	盖面层	2.0	80~90	2.5	3~4	10~12	8	10~12	摆动送丝

(2) 具体施焊技术

1) 打底层的焊接。在5点半(或6点半)位置的坡口上侧开始引弧, 待电弧稳定后, 将电弧压低(在不影响视线及钨极不触及试件的情况下越低越好), 在坡口根部间隙两侧用焊枪画圈预热, 待坡口两侧钝边同时熔化形成熔孔后, 紧贴熔孔送进焊丝(如焊缝在仰面、斜仰面的位置内陷, 可改为管内送丝), 在钝边熔化边缘两侧各给送一滴液态金属, 通过焊枪横向摆动, 使其形成搭桥连接, 形成第一个熔池, 调整焊枪摆动使熔孔成水平, 椭圆状熔池清晰明亮后再添加焊丝。焊枪均匀上移, 当焊至定位点时, 敲掉定位扁铁, 继续焊接。在仰面、斜仰面的位置, 焊丝应紧贴熔池, 尽量推进钝边间隙中, 而上爬坡与管平面位置, 焊丝送至上坡口根部间隙的边沿处, 焊枪略向后倾, 焊速加快, 采用间断送丝法进行送丝, 即焊丝在不离开氩气保护范围内一拉一送、一滴一滴地向熔池填送金属, 又不触及钨极(如“打鸽”应将焊缝彻底打磨干净后再施焊)。整个过程保持焊枪下倾角80°~85°, 身体围绕试件转动, 焊枪喷嘴、焊丝与试件的角度如图10-29所示。始终控制坡口两侧母材金属各熔化0.5~1mm, 熔孔直径在2.5~3mm之间, 熔池位置水平, 椭圆形状大小基本如一。当发现熔孔过大, 铁液稍有下坠现象时立即断弧, 但焊枪不能马上离开, 用滞后停气功能待熔池稍冷却后再引弧→熔化→填丝→焊接。熄弧前, 应将焊枪向坡口上侧移动并添加焊丝逐步缩小熔池后熄弧, 另外半圈用同样的焊接施焊, 完成整个打底焊工作。

施焊过程中断或更换焊丝或与定位焊缝接头操作: 应先将收弧处或定位焊缝接头处打磨成斜坡状, 在斜坡上开始施焊, 当焊至斜坡端部出现熔孔后立即送丝并转入正常焊接; 焊至定位焊缝斜坡接头时, 电弧稍作停留, 暂缓送丝, 待熔池与斜坡端部充分熔化有小熔孔后再送丝焊接。

收弧: 当焊缝接近终端时, 停止送丝, 把电弧拉至终端缓坡处和熔池间来回画圈预热, 看到终端焊缝及坡口根部开始熔化, 将电弧拉回原熔池填丝焊接, 熔孔逐渐缩小时及时添加焊丝, 直至熔孔闭合, 封口后停止送丝压低电弧继续向前施焊10~15mm, 熄弧时填满弧坑。

2) 盖面层的焊接。盖面层焊前, 应仔细检查打底层焊缝与坡口两侧母材夹角处的焊缝, 确保焊层圆滑过渡, 比管表面低约1.5mm左右, 并保证两侧坡口轮廓线为原始状态, 以利盖面层的焊接。在去除临时定位试件时, 不应损伤母材并将其残留焊疤清理干净, 打磨修整好确保管表面无裂纹。

当盖面层采用单道焊时，焊枪尽量靠到试件上均匀向上滚动，电弧长度控制在2~3mm，待打底焊缝开始熔化后立即送丝，在坡口两侧横向小摆动并稍作停留，控制熔池在水平状态，焊丝随着焊枪的移动在相应的熔池一侧前上方送入一滴铁液，并保证坡口轮廓线熔合1~1.5mm，以免咬边或熔合不良，熄弧时填满弧坑。整个施焊过程中焊枪与下管壁的夹角为70°~75°，焊枪与施焊点切线夹角为75°~85°焊丝与施焊点切线夹角为15°~20°。

（三）焊缝清理

焊完试件后，切断电源，关闭气源，用钢丝刷清理干净，严禁动用机动工具进行清理，保持焊缝原始状态，交考评人员检查。同时，清理场地。

八、实例七 GTAW-FeⅢ-5G-4.4/42.2-02/10/12

考核时间为90min。

（一）焊前准备

1. 焊机

选用250A以上的直流氩弧焊机；焊前焊机试运行正常，高频或高压引弧正常，管内外氩气保护正常，焊枪、地线均接触良好，钨极直径、钨棒伸出长度和端部锥度合适，焊接电流在合适范围。

2. 焊材

铈钨极直径 ϕ 2.5mm、锥度20°，氩气（纯度≥99.96%），焊丝ER90s-B9直径 ϕ 2.0mm。

3. 试件

SA213-T91钢管、规格 ϕ 42.2mm×4.4mm×100mm、无钝边30°V形坡口、共6根。

4. 热处理设备和辅助工具

温控柜、氧乙炔瓶和焊炬、远红外线测温仪、石棉布。

5. 辅助工具和量具

角向打磨机、电磨头、锉刀、样冲、画线盘、电焊手套、电焊头罩、防护眼镜、钢丝刷、焊缝检验尺、管内氩气保护装置、锡箔纸。

（二）焊接操作

操作程序：技术交底、机械、材料和器具的准备→坡口清锈及钝边检查→焊件组对及检查→管内充氩保护→焊前预热温度检查→焊接气体保护检查→打底焊→盖面→焊后焊工自检→焊后热处理→无损检测及质量专检→理化试验。

1. 准备试件

用角向打磨机和电磨头将试件坡口面及坡口外边缘、坡口内边缘10~20mm范围内的水、油污、积渣和其他有害杂质清除干净，露出金属光泽。用锉刀或角向打磨机修磨坡口钝边，使钝边尺寸在0.5~1mm间，然后在坡口边缘50mm处用画线盘画出两根与坡口边缘平行的平行线，并打上样冲眼，作为测量焊缝坡口每侧增宽的基准线。

2. 试件装配、定位和管内充氩

将试件放在L40mm×40mm角钢上进行装配，用与管子相同材质的扁条（或直接）在管子圆周侧时钟2点、10点位置进行单面定位焊，控制仰焊位置间隙为2.0~2.5mm，平焊位置为2.5~3mm，管径圆周错边量均应不大于0.5mm，如超标应磨掉重新定位。定位焊焊接材料与打底层相同。施焊前管内通氩气，氩气流量为15~20L/min，焊接时减为10~15L/min。

3. 焊前预热

采用氧乙炔焰预热，坡口两侧同时加热，从坡口中心开始每侧长度不少于100mm，用火焰的外焰均匀加热，用远红外线测温仪（测温笔）测量温度，控制焊前预热在150~200℃。

4. 打底焊、盖面焊操作

(1) 焊接参数 水平固定管的打底、盖面焊接均分两半圈进行, 焊接结构简图和焊接参数见表 10-18。

表 10-18 T91 水平固定管手工钨极氩弧焊焊接结构简图和焊接参数

结构简图	焊接层次	名称	焊接方法	电源极性	焊丝直径/mm	焊接电流/A	电弧电压/V	氩气流量/(L/min)		层间厚度/mm	喷嘴直径/mm	喷嘴至试件距离/mm
								焊接气体	背面保护气体			
	1	打底层	GTAW	直流正接	2.0	90~95	10~14	8~10	10~15	2.0~3.0	8	≤10
	2	盖面层	GTAW	直流正接	2.0	90~95	10~14	8~10	5~8	2.0~3.0	8	≤10

(2) 具体施焊技术

1) 打底层的焊接。在 6 点半 (或 5 点半) 位置的坡口上引弧, 待电弧稳定后, 控制电弧长度在 2~3mm, 在坡口根部间隙两侧用焊枪画圈预热, 待坡口两侧钝边同时熔化形成熔孔后, 由管内侧紧贴熔孔送进焊丝, 如图 10-30 所示, 焊枪与焊接方向的夹角为 70°~80°, 焊丝与试件的夹角为 15°~25°。在钝边熔化边缘两侧各给送一滴液态金属, 通过焊枪横向摆动, 使其形成搭桥连接, 形成第一个熔池, 再按此法继续焊接, 当焊到 3 点 (或 9 点) 时改为外填丝法, 焊枪与焊点的切线方向的夹角为 85°~90°, 焊丝与试件的夹角为 10°~15°, 在 3 点到 12 点 (或 9 点到 12 点) 位置, 焊枪略向后倾, 焊速加快, 当焊到 2 点 (或 10 点) 位置时敲掉定位扁铁, 继续焊接。打底焊时焊枪及焊丝的摆动方式为锯齿形或月牙形, 用电弧使坡口两侧母材金属各熔化 0.5~1mm, 熔孔大小一致, 焊丝的送进要紧贴熔池, 焊丝端部跟随电弧行走方向作小幅度横向摆动, 摆动中不得使焊丝与钨极端部接触以免烧损钨极。

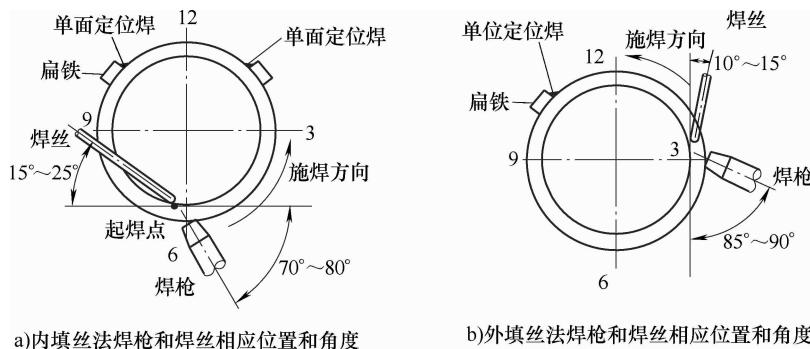


图 10-30 T91 水平固定管手工钨极氩弧焊焊丝与试件的角度

施焊过程中断或更换焊丝与定位焊缝接头操作: 应先将收弧处或定位焊缝接头处打磨成斜坡状, 在斜坡上开始施焊, 当焊至斜坡端部出现熔孔后立即送丝并转入正常焊接; 焊至定位焊缝斜坡接头时, 电弧稍作停留, 暂缓送丝, 待熔池与斜坡端部充分熔化, 有小熔孔后再送丝焊接。

收弧: 当焊缝接近终端时, 停止送丝, 把电弧拉至终端缓坡处和熔池间来回画圈预热, 看到终端焊缝及坡口根部开始熔化, 将电弧拉回原熔池填丝焊接, 熔孔逐渐缩小时及时添加焊丝, 直

至熔孔闭合，封口后停止送丝，压低电弧继续向前施焊 10~15mm，熄弧时填满弧坑。

2) 盖面层的焊接。盖面层焊前，应仔细检查打底层焊缝与坡口两侧母材夹角处，并打磨管表面的定位焊疤，确保焊层圆滑过渡，比管表面低约 1.5mm 左右，并保证两侧坡口轮廓线为原始状态，以利盖面层的焊接。焊前层间温度控制在 150~200℃ 之间。

盖面层应采用多道焊，道间重叠 1/3~1/2；当盖面层采用单道焊时，焊枪尽量靠到试件上均匀向上滚动，电弧长度控制在 2~3mm，待打底焊缝开始熔化后立即送丝，在坡口两侧横向小摆动并稍作停留，控制熔池在水平状态，焊丝随着焊枪的移动在相应的熔池一侧送入一滴铁液，并保证坡口轮廓线熔合 1~1.5mm，以免咬边或熔合不良，熄弧时填满弧坑。整个施焊过程中焊枪与施焊点切线夹角为 75°~85°，焊丝与施焊点切线夹角为 15°~20°。

(三) 焊缝清理

焊完试件后，用钢丝刷、凿子将焊渣、飞溅清理干净，严禁动用机动工具进行清理，保持焊缝原始状态，趁热交考评人员检查，然后切断电源，关闭气源，同时，清理场地。经外观检查合格后的试件放在石棉布上空冷到 100~120℃，然后放到 100℃ 温控柜中恒温 1~2h 后，立即进行整体 (760℃ ±10℃) ×4h 焊后热处理。

九、实例八 GTAW-Fe IV-6G-3/57-02/10/12 和 SMAW-Fe IV-6G (K) -3/57-Fef4J

考核时间为 90min。

(一) 焊前准备

1. 焊机

选用 160A 以上的直流氩弧/手工两用焊机；焊前焊机试运行正常，高频或高压引弧正常，管内外氩气保护正常，焊枪、地线均接触良好，钨极直径、钨棒伸出长度和端部锥度合适，焊接电流在合适范围。

2. 焊材

φ2.5mm 镍钨极，锥度 20°；氩气（纯度 ≥99.96%）；焊丝 H0Cr21Ni10 直径 φ2.0mm；焊条 E308-15 直径 φ2.5mm，焊前经 250~300℃ 烘干 1h 后放在焊条保温筒中备用。

3. 试件

0Cr18Ni9 钢管、规格 φ57mm × 6mm × 100mm、无钝边 30°V 形坡口、共 6 根。

4. 辅助工具和量具

焊条保温筒、角向打磨机、电磨头、锉刀、样冲、金属直尺、画线盘、电焊手套、电焊头罩、防护眼镜、敲渣锤、钢丝刷、凿子、焊缝检验尺、管内氩气保护装置、锡箔纸。

(二) 焊前装配定位及焊接

1. 准备试件

用角向打磨机和电磨头将试件坡口面及坡口外边缘、坡口内边缘 10~20mm 范围内的水、油污、积渣和其他有害杂质清除干净，露出金属光泽。用锉刀或角向打磨机修磨坡口钝边，使钝边尺寸在 0.5~1mm 间，然后在坡口边缘 50mm 处用画线盘画出两根与坡口边缘平行的平行线，并打上样冲眼，作为测量焊缝坡口每侧增宽的基准线。

2. 试件装配、定位和管内充氩

将试样放在 L40mm × 40mm 角钢上进行装配，用与管子相同材质的扁铁条（或直接）在管子圆周侧时钟 2 点、10 点位置进行单面定位焊，间隙为 2mm，观察管径圆周错边量均应不大于 0.5mm，如超标应磨掉重新定位焊。定位焊焊接材料与打底层相同。施焊前通氩气，氩气流量为 15~20L/min，焊接时减为 6~8L/min。对于薄壁管，为防止管内焊缝氧化，焊接盖面层时管内

仍通氩气。

3. 焊接操作

(1) 焊接参数 45°固定管的打底、盖面焊接均分两半圈进行, 焊接结构简图和焊接参数见表 10-19。

表 10-19 45°固定不锈钢管氩电连弧焊接结构简图和焊接参数

结构简图	焊接层次	名称	焊接方法	电源极性	焊丝直径/mm	焊接电流/A	电弧电压/V	氩气流量/(L/min)		层间厚度/mm	喷嘴直径/mm	喷嘴至试件距离/mm	送丝或焊条摆动方式
								焊接气体	背面保护气体				
	1	打底层	GTAW	直流正接	2.0	90~95	10~14	8~10	10~15	2.0~3.0	8	≤10	间断送丝
	2~3	盖面层	SMAW	直流反接	2.5	65~75	≈25	—	5~8	—	—	—	连弧锯齿形或月牙形

(2) 具体施焊技术

1) 打底层的焊接。在 5 点半 (或 6 点半) 位置的坡口上侧开始引弧, 待电弧稳定后, 将电弧压低 (在不影响视线及钨极不触及试件的情况下越低越好), 在坡口根部间隙两侧用焊枪画圈预热, 待坡口两侧钝边同时熔化形成熔孔后, 紧贴熔孔送进焊丝 (如焊缝在仰面、斜仰面的位置内陷, 可改为管内送丝), 在钝边熔化边缘两侧各给送一滴液态金属, 通过焊枪横向摆动, 使其形成搭桥连接, 形成第一个熔池, 调整焊枪摆动, 使熔孔成水平, 椭圆状熔池清晰明亮后再添加焊丝, 焊枪均匀上移, 当焊至定位点, 敲掉定位扁铁, 继续焊接。在仰面、斜仰面的位置, 焊丝应紧贴熔池尽量推进钝边间隙中, 而上爬坡与管平面位置, 焊丝送至上坡口根部间隙的边沿处, 焊枪略向后倾, 焊速加快, 采用间断送丝法进行送丝, 即焊丝在不离开氩气保护范围内一拉一送、一滴一滴地向熔池填送金属, 又不触及钨极 (如“打钨”应将焊缝彻底打磨干净后再施焊), 整个过程保持焊枪下倾角 80°~85°, 身体围绕试件转动, 焊枪喷嘴、焊丝与试件的角度如图 10-29 所示, 始终控制坡口两侧母材金属各熔化 0.5~1mm, 熔孔直径在 2.5~3mm 之间, 熔池位置水平, 椭圆形状大小基本如一, 当发现熔孔过大, 铁液稍有下坠现象时立即断弧, 但焊枪不能马上离开, 用滞后停气功能待熔池稍冷却后再引弧→熔化→填丝→焊接, 熄弧前, 应将焊枪向坡口上侧移动并添加焊丝逐步缩小熔池后熄弧, 另外半圈用同样的焊接方法施焊, 完成整个打底焊工作。

施焊过程中断或更换焊丝或与定位焊缝接头操作: 应先将收弧处或定位焊缝接头处打磨成斜坡状, 在斜坡上开始施焊, 当焊至斜坡端部出现熔孔后立即送丝并转入正常焊接; 焊至定位焊缝斜坡接头时, 电弧稍作停留, 暂缓送丝, 待熔池与斜坡端部充分熔化有小熔孔后再送丝焊接。

收弧: 当焊缝接近终端时, 停止送丝, 把电弧拉至终端缓坡处和熔池间来回画圈预热, 看到终端焊缝及坡口根部开始熔化, 将电弧拉回原熔池填丝焊接, 熔孔逐渐缩小时及时添加焊丝, 直至熔孔闭合, 封口后停止送丝, 压低电弧继续向前施焊 10~15mm, 熄弧时填满弧坑。

2) 盖面层的焊接。盖面层焊前, 应仔细清理和打磨打底层焊缝与坡口两侧母材夹角处及焊点重叠处的过高和过低焊缝及管表面的定位焊缝, 确保焊层平整, 高低一致, 比管表面低约 1.5mm 左右, 如超标应修补, 并保证两侧坡口轮廓线为原始状态, 以利盖面层的焊接。对于薄壁管, 防止管内焊缝氧化, 焊盖面层时管内仍通氩。焊缝层间温度不大于 150℃。

盖面层焊接时应采用小电流多层多道快速焊接，每根焊条熔化的宽度不超过焊条直径的3倍，采用连弧焊接，焊条角度如图10-26所示，仰焊、平焊焊缝接头应与打底层接头错开，引弧端焊层要薄以形成马蹄形为宜，在6点半位置的焊缝中心处用划擦法引弧后拉至5点半位置的焊缝中心处沿顺时针压低电弧采用锯齿形或月牙形摆动运条法施焊，摆幅均匀，焊条摆动到坡口轮廓线边缘稍停，使坡口轮廓线熔合0.5~1mm，以免咬边或熔合不良，中间位置稍快，施焊过程中随时调整焊条角度，熄弧时填满弧坑。下一焊道要压住上一道焊缝的1/3~1/2为宜。

(三) 焊缝清理

焊完试件后，用敲渣锤、钢丝刷、凿子将焊渣、飞溅清理干净，严禁动用机动工具进行清理，保持焊缝原始状态，交考评人员检查，然后切断电源，关闭气源，同时，清理场地。

第三节 钢铁类管-板角接

一、考前技术交底

(一) 操作技术说明

在保证能焊出合格试件的情况下，考生可自行决定装配间隙、钝边厚度及焊接技巧，也可参照本操作规范。

(二) 钢铁类管-板角接操作规定

- 考前15min给考生技术交底和发放试件，在考评人员监督下进行焊前准备和组装。
- 所用焊接材料必须按考试管理制度领用，试件统一编写考试代号。
- 坡口清理及焊接参数的选择由焊工独立完成。
- 采用不带衬垫试件进行焊接操作考试时，必须从单面焊接，确保整个圆周截面全焊透。
- 焊接结束后应去除焊渣和飞溅，保持焊缝原始表面，不允许补焊、修磨。
- 严禁在非焊接部位的母材上引弧、试电流，严格按操作规程操作，做到工完、料净、场地清。

(三) 考核要求

钢铁类管-板角接的具体考核要求见表10-20。

表10-20 钢铁类管-板角接的具体考核要求

序号	考核内容	考核要点	检测结果
1	试件数量	两副（当钢管外径<76mm时）	
2	焊前准备	劳保着装及工具准备齐全，参数设置，设备调试正确并符合要求	
3	焊接操作	试件固定的空间位置和定位焊位置符合要求	
4	焊缝外观	焊缝表面应是焊后原始状态，焊缝表面没有加工修磨、补焊或返修焊	
		焊缝表面不得有裂纹、未熔合、夹渣、夹钨、气孔、焊瘤和未焊透；机动焊和自动焊不得有停弧再焊接头	
		咬边深度≤0.5mm，焊缝两侧咬边总长度不得超过焊缝长度的10%	
		背面凹坑深度不大于20%T，且不大于2mm（仰焊位置凹坑深度不作规定），总长度不超过焊缝长度的10%	
		焊缝的凹度或者凸度≤1.5mm	
		管-板角接头管侧焊脚为(0.5~1)T	
		背面焊缝余高≤3mm	

(续)

序号	考核内容	考 核 要 点	检 测 结 果
4	焊缝外观	手工焊焊缝宽度差 ≤ 3 mm, 机动焊和自动焊为 ≤ 2 mm	
		坡口一侧增宽手工焊为0.5~2.5mm; 机动焊和自动焊为2~4mm	
5	焊缝内部	无裂纹和未熔合, 根部焊透, 气孔和夹渣最大尺寸 ≤ 1.5 mm	
6	其他	安全文明生产	
7	宏观金相	四个截面均无序号5所示缺陷	

注: 表中序号3、4、5、7均检验合格, 则该实际操作项目合格。

二、实例一 SMAW-Fe I /Fe II -2FG-12/57-Fef3J

考核时间为60min。

(一) 焊前准备

1. 焊机

选用300A以上的直流焊机; 焊机试运行正常, 焊接电缆、焊钳、地线均接触良好, 极性正确(直流反接), 焊接电流在合适范围。

2. 焊材

$\phi 2.5$ mm、 $\phi 3.2$ mm、 $\phi 4$ mmE5015(J507)焊条, 焊前经350~400℃烘干1h后放在焊条保温筒中备用。

3. 试件

Q345R钢板、规格150mm×150mm×12mm、无钝边90°V形坡口、共两块; 20钢管、规格 $\phi 57$ mm×3.5mm×75mm、平坡口、共两根。

4. 辅助设备、工具和量具

焊条保温筒、角向打磨机、电磨头、锉刀、样冲、圆规、金属直尺、电焊手套、电焊面罩、防护眼镜、敲渣锤、钢丝刷、凿子、焊缝检验尺、气刨设备。

(二) 焊前装配定位及焊接

1. 准备试板

用角向打磨机和电磨头将管板的坡口面及坡口边缘10~20mm内的水、铁锈、油污、积渣和其他有害杂质清除干净, 露出金属光泽。用锉刀修磨坡口钝边, 使钝边尺寸 p 在0.5~1mm之间, 然后在坡口边缘20mm处用圆规画出与坡口边缘同轴的圆, 如图10-31所示, 并打上样冲眼, 作为测量焊缝坡口每侧增宽的基准线。

2. 试件装配、定位焊

按图10-31进行装配, 保证管子中心和板孔中心同轴, 管子端面与板底面处于同一平面, 在相隔圆周120°处定位焊, 定位焊长度不大于10mm, 高不大于

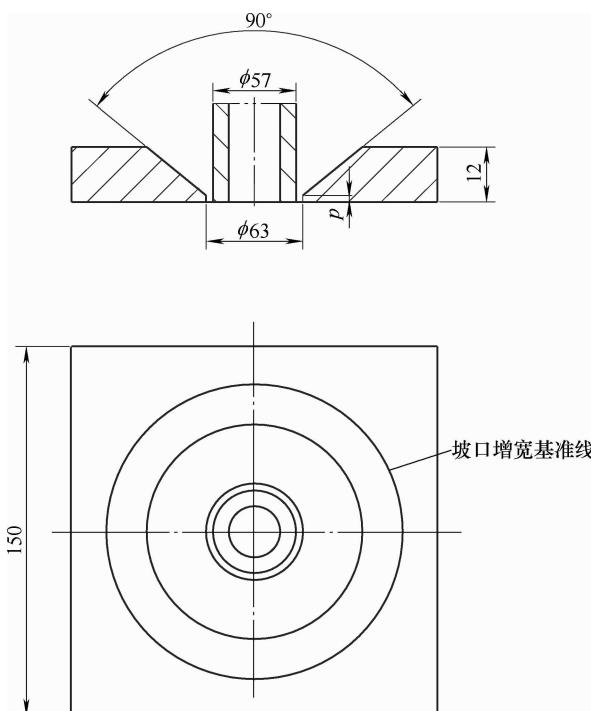


图10-31 管-板角接头组表示意

3mm，定位焊两端用气刨削成缓斜坡状，保证两定位焊缝焊透且双面成形，定位焊焊接材料与打底层相同，焊接电流比打底层大10%~15%。

3. 焊接操作

(1) 焊接参数 焊接位置为水平位，焊接结构简图和焊接参数见表10-21。

表 10-21 管-板角接头水平位焊接结构简图和焊接参数

结构简图	焊接层次	名称	焊条直径/mm	焊接电流/A	焊条与管板面的角度/(°)	焊条与焊接方向的角度/(°)	焊条运动方式
	1	打底层	φ2.5	85~95	65~70	70~80	断弧一点式
	2~3	填充层	φ3.2	120~130	65~70	70~80	8字形
	4	盖面层	φ3.2	120~130	55~65	70~80	直线形
	5	盖面层	φ4	170~180	65~70	70~80	8字形

(2) 具体施焊技术

1) 打底层的焊接

与两个定位焊缝相隔120°处用划擦法引弧，待电弧引燃并稳定燃烧后用稍长电弧预热待焊坡口中心，“出汗”时迅速压低电弧稍停留，听到电弧穿透坡口根部发出“噗噗”声，看到一个比坡口间隙大1~1.5mm的熔孔，此时马上向后挑弧灭弧，断弧位置在形成焊点的板坡口一侧，待熔池液态金属稍变暗，在红热金属处迅速引弧，在熔孔处压低电弧，听到“噗噗”声又形成一个新的熔池，这样重复上述运条动作，使每个焊点与前一个焊点重叠2/3，在焊接过程中，要始终让焊接电弧对准坡口间隙中间，控制1/3电弧在焊缝背面燃烧，完成整条焊缝的打底焊工作。一般断弧焊打底，灭弧频率为每分钟45~55次，如熔孔变大，焊缝背面余高变厚，燃弧时间相应减少或停弧时间变长。

更换焊条时的接头方式有热接法和冷接法，打底层更换焊条时多选用热接法，可避免背面焊缝出现冷缩孔和未焊透；如果用冷接法，应在上一根焊条还剩50mm左右时（即熄弧前），使熔池逐步缩小并将熔池中心引出坡口间隙应力集中处，于板坡口侧收弧。

热接法：在焊缝处熔池尚保持红热状态时，迅速更换焊条并在收弧斜坡前10~15mm处引弧，然后将电弧拉到斜坡上运条预热，在斜坡终端最低点处压低电弧，击穿坡口根部后稍停一下，使钝边每侧熔化0.5~1.0mm并形成熔孔，即可以恢复原来的操作手法继续焊接。热接法换焊条动作越快越好。

冷接法：焊缝熔池已经凝固冷却。焊接引弧前，在收弧处用气刨等修磨出斜坡，清理好刨渣后，在斜坡前10~15mm处引弧，并运条预热斜坡，在斜坡终端最低点处压低电弧，击穿坡口根部后稍停一下，使每侧熔化0.5~1.0mm并形成熔孔，即可恢复原来的操作手法继续焊接。

收弧：焊条接近终端封口时，把电弧拉至终端（或定位焊）缓坡处和熔池间来回预热，看到终端焊缝及坡口根部开始熔化，将电弧拉回原熔池继续焊接，焊至终端缓坡处，让电弧击穿坡口根部，听到“噗噗”声后稍做停顿，然后继续向前施焊10~15mm，填满弧坑熄弧。

2) 填充层的焊接。在始焊端后10~15mm焊缝处用划擦法引弧，待电弧引燃并稳定燃烧后用稍长电弧迅速拉至始焊端，并采用短弧（电弧长度≤3mm）锯齿形摆动焊接，摆动时中间快、坡口侧和管侧稍停顿，焊后焊缝成内凹形，并使坡口侧轮廓线为原始状态，以利盖面层的焊接。

3) 盖面层的焊接。为了保证管侧焊脚为0.5~1倍的管壁厚度，焊盖面层时沿管侧圆周直线

运条先焊一道，第二道采用锯齿形或月牙形运条，摆动均匀，始终采用短弧焊，焊条摆动到坡口轮廓线边缘稍停，使坡口轮廓线熔合 $1 \sim 1.5\text{mm}$ ，以免咬边或熔合不良，施焊过程中随时调整焊条角度以防磁偏吹，熄弧时填满弧坑。

(三) 焊缝清理

焊完试件后，切断电源，用敲渣锤、钢丝刷、凿子将焊渣、飞溅清理干净，严禁动用机动工具进行清理，保持焊缝原始状态，交考评人员检查。同时，清理场地。

三、实例二 SMAW-Fe I /Fe II -5FG-12/57-Fef3J

考核时间为 60min。

(一) 焊前准备

1. 焊机

选用 300A 以上的直流焊机；焊前焊机试运行正常，焊接电缆、焊钳、地线均接触良好，极性正确（直流反接），焊接电流在合适范围。

2. 焊材

$\phi 2.5\text{mm}$ 、 $\phi 3.2\text{mm}$ 的 E5015（J507）焊条，焊前经 $350 \sim 400^\circ\text{C}$ 烘干 1h 后放在焊条保温筒中备用。

3. 试件

Q345R 钢板、规格 $150\text{mm} \times 150\text{mm} \times 12\text{mm}$ 、无钝边 90°V 形坡口、共两块。20 钢管、规格 $\phi 57\text{mm} \times 3.5\text{mm} \times 75\text{mm}$ 、平坡口、共两根。

4. 辅助设备、工具和量具

焊条保温筒、角向打磨机、电磨头、锉刀、样冲、圆规、金属直尺、电焊手套、电焊面罩、防护眼镜、敲渣锤、钢丝刷、凿子、焊缝检验尺、气刨设备。

(二) 焊前装配定位及焊接

1. 准备试板

用角向打磨机和电磨头将板的坡口面及坡口边缘 $10 \sim 20\text{mm}$ 范围内的水、铁锈、油污、积渣和其他有害杂质清除干净，露出金属光泽。用锉刀修磨坡口钝边，使钝边尺寸在 $1 \sim 1.5\text{mm}$ 之间，然后在坡口边缘 20mm 处用圆规画出与坡口边缘同轴的圆，如图 10-31 所示，并打上样冲眼，作为测量焊缝坡口每侧增宽的基准线。

2. 试件装配、定位焊

按图 10-31 进行装配，保证管子中心和板孔中心同轴，管子端面与板底面处于同一平面，在 2 点、10 点位置定位焊。定位焊长度不大于 10mm ，高不大于 3mm ，定位焊两端用气刨或专业凿子削成缓斜坡状，保证两定位焊点焊透且双面成形，定位焊焊接材料与打底层相同，焊接电流比打底焊大 $10\% \sim 15\%$ 。

3. 焊接操作

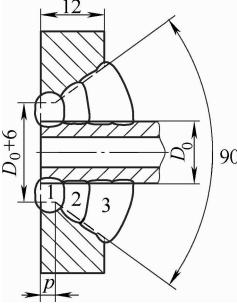
(1) 焊接参数 焊接位置为管子水平固定，打底、盖面焊接均分两半圈进行，焊接结构简图和焊接参数见表 10-22。

(2) 具体施焊技术

1) 打底层的焊接。在 5 点半或 6 点半处用划擦法引弧，待电弧引燃并稳定燃烧后用稍长电弧预热待焊坡口中心，但电弧主要预热板侧根部，“出汗”时迅速压低电弧稍停留，听到电弧穿透坡口根部发出“噗噗”声，并形成第一个熔池和熔孔，此时马上沿坡口钝边锯齿形或月牙形摆动。在保证坡口根部熔合良好的情况下，焊速尽量快些，在仰、斜仰位置用 $2/3$ 电弧在焊缝背面燃烧，立焊及平焊位电弧深度为 $1/2$ ，看到一个比坡口间隙大 $0.5 \sim 1\text{mm}$ 的熔孔，熔池形状大

小如一，通过护目镜能清楚地看到铁液和熔渣通过熔孔顺利地流向接口的背面。在焊接过程中，焊条中间快、坡口侧和管侧稍停顿，平衡钢管与钢板接口的焊接温度，保持良好的椭圆形熔池形状和大小基本一致的熔孔，完成整条焊缝的打底焊工作。

表 10-22 管-板角接头水平固定焊接结构简图和焊接参数

结构简图	焊接层次	名称	焊条直径/mm	焊接电流/A	焊条与管板面的角度/(°)	焊条与焊接方向的角度/(°)	焊条运动方式
	1	打底层	φ2.5	70~80	60~70	70~80	锯齿形或月牙形,连弧
	2	填充层	φ3.2	100~120	60~70	70~75	8字形
	3	盖面层	φ3.2	100~120	55~65	70~75	8字形

更换焊条时的接头方式有热接法和冷接法，打底层更换焊条时多选用热接法，可避免背面焊缝出现冷缩孔和未焊透；如果用冷接法，应在上一根焊条还剩 50mm 左右时（即熄弧前），使熔池逐步缩小并将熔池中心引出坡口间隙应力集中处，于板的坡口侧收弧。

热接法：在焊缝处熔池尚保持红热状态时，迅速更换焊条并在收弧斜坡前 10~15mm 处引弧，然后将电弧拉到斜坡上运条预热，在斜坡终端最低点处压低电弧，击穿坡口根部后稍停一下，使钝边每侧熔化 0.5~1.0mm 并形成熔孔，即可恢复原来的操作手法继续焊接。热接法换焊条动作越快越好。

冷接法：焊缝熔池已经凝固冷却。焊接引弧前，在收弧处用气刨等修磨出斜坡，清理好刨渣后，然后在斜坡前 10~15mm 处引弧，并运条预热斜坡，在斜坡终端最低点处压低电弧，击穿坡口根部后，稍停一下，使每侧熔化 0.5~1.0mm 并形成熔孔，即可恢复原来的操作手法继续焊接。

收弧：焊条接近终端封口时，把电弧拉至终端（或定位焊）缓坡处和熔池间来回预热，看到终端焊缝及坡口根部开始熔化，将电弧拉回原熔池继续焊接，焊至终端缓坡处，让电弧击穿坡口根部，听到“噗噗”声后稍做停顿，然后继续向前施焊 10~15mm，填满弧坑熄弧。

2) 填充层的焊接。在距始焊端后面 10~15mm 焊缝处（错开打底层接头）用划擦法引弧，待电弧引燃并稳定燃烧后用稍长电弧迅速拉至始焊端用短弧（电弧长度≤3mm）锯齿形摆动焊接，摆动时中间快、管壁侧停留时间稍长、钢板侧稍短，形成管壁侧、高钢板侧低的一圈内凹形的自然斜面，并使坡口侧轮廓线为原始状态，以利盖面层的焊接。

3) 盖面层的焊接。采用 8 字形运条，摆动均匀，始终采用短弧焊，焊条摆动到坡口轮廓线边缘稍停，使坡口轮廓线熔合 1~1.5mm，到管侧时稍停以免咬边或熔合不良，控制熔池为水平椭圆形，施焊过程中随时调整焊条角度以防磁偏吹，熄弧时填满弧坑。

（三）焊缝清理

焊完试件后，切断电源，用敲渣锤、钢丝刷、凿子将焊渣、飞溅清理干净，严禁动用机动工具进行清理，保持焊缝原始状态，交考评人员检查。同时，清理场地。

四、实例三 SMAW-Fe I /Fe II -6FG-12/57-Fef3J

考核时间为 60min。

(一) 焊前准备

1. 焊机

选用 300A 以上的直流焊机；焊前焊机试运行正常，焊接电缆、焊钳、地线均接触良好，极性正确（直流反接），焊接电流在合适范围。

2. 焊材

$\phi 2.5\text{ mm}$ 、 $\phi 3.2\text{ mm}$ E5015 (J507) 焊条，焊前经 $350\sim 400^\circ\text{C}$ 烘干 1h 后放在焊条保温筒中备用。

3. 试件

Q345R 钢板、规格 $150\text{ mm} \times 150\text{ mm} \times 12\text{ mm}$ 、无钝边 90° V 形坡口、共两块；20 钢管、规格 $\phi 57\text{ mm} \times 3.5\text{ mm} \times 75\text{ mm}$ 、平坡口、共两根。

4. 辅助设备、工具和量具

焊条保温筒、角向打磨机、电磨头、锉刀、样冲、圆规、金属直尺、电焊手套、电焊面罩、防护眼镜、敲渣锤、钢丝刷、凿子、焊缝检验尺、气刨设备。

(二) 焊前装配定位及焊接

1. 准备试板

用角向打磨机和电磨头将管板坡口面及坡口边缘 $10\sim 20\text{ mm}$ 范围内的水、铁锈、油污、积渣和其他有害杂质清除干净，露出金属光泽。用锉刀修磨坡口钝边，使钝边尺寸在 $1\sim 1.5\text{ mm}$ 之间，然后在坡口边缘 20 mm 处用圆规画出与坡口边缘同轴的圆，并打上样冲眼，作为测量焊缝坡口每侧增宽的基准线。

2. 试件装配、定位焊

按图 10-31 进行装配，保证管子中心和板孔中心同轴，管子端面与板底面处于同一平面，坡口间隙在 $3.5\sim 4\text{ mm}$ 之间，在 2 点、10 点位置定位焊，定位焊长度不大于 10 mm ，高不大于 3 mm ，定位焊两端用气刨削成缓斜坡状，保证两定位焊缝焊透且双面成形，定位焊的焊接材料与打底层相同，焊接电流比打底焊大 $10\% \sim 15\%$ 。

3. 焊接操作

(1) 焊接参数 焊接位置为 45° 固定，打底、盖面焊接均分两半圈进行，焊接结构简图和焊接参数见表 10-23。

表 10-23 管-板角接头 45° 固定焊接结构简图和焊接参数

结构简图	焊接层次	名称	焊条直径 /mm	焊接电流 /A	焊条与管板面的角度/(°)	焊条与焊接方向的角度/(°)	焊条运动方式
	1	打底层	$\phi 2.5$	$70\sim 80$	$60\sim 70$	$70\sim 80$	锯齿形或月牙形, 断弧
	2~3	填充层	$\phi 3.2$	$90\sim 105$	$60\sim 70$	$70\sim 75$	8 字形
	4	盖面层	$\phi 3.2$	$90\sim 105$	$55\sim 65$	$70\sim 75$	8 字形

(2) 具体施焊技术

1) 打底层的焊接。在 5 点半或 6 点半用划擦法引弧，待电弧引燃并稳定燃烧后用稍长电弧预热待焊坡口中心，但电弧主要预热管壁侧根部“出汗”时，迅速压低电弧稍停留，听到电弧

穿透坡口根部发出“噗噗”声，并形成第一个熔池和熔孔，此时马上用稍长电弧锯齿形或斜椭圆圈形运条向前继续施焊，用1/3电弧在管侧焊接，板侧为2/3。为了防止熔池金属下坠，电弧在管侧根部停留时间稍长，管板侧根部稍短，在保证根部熔合良好的情况下，焊速尽量快些，当打底焊施焊超过9点（3点）到12点位置时，电弧深度为1/3~1/2，同时加大焊接速度并快速运条以免烧穿。打底焊整个过程中，随管子的曲率变化，焊条的角度也相应地变化，引弧后电弧始终燃烧不停弧，平衡钢管与钢板接口的焊接温度，始终控制熔孔直径在3~3.5mm之间，熔池水平形状大小基本一致，完成整条焊缝的打底焊工作。

更换焊条时的接头方式有热接法和冷接法，打底层更换焊条时多选用热接法，可避免背面焊缝出现冷缩孔和未焊透；如果用冷接法，应在上一根焊条还剩50mm左右时（即熄弧前），使熔池逐步缩小并将熔池中心引出坡口间隙应力集中处，于钢板坡口侧收弧。

热接法：在焊缝处熔池尚保持红热状态时，迅速更换焊条并在收弧斜坡前10~15mm处引弧，然后将电弧拉到斜坡上运条预热，在斜坡终端最低点处压低电弧，击穿坡口根部后，稍停一下，使钝边每侧熔化0.5~1.0mm并形成熔孔，即可恢复原来的操作手法继续焊接。热接法换焊条动作越快越好。

冷接法：焊缝熔池已经凝固冷却。焊接引弧前，在收弧处用气刨等修磨出斜坡，清理好刨渣后，在斜坡前10~15mm处引弧，并运条预热斜坡，在斜坡终端最低点处压低电弧，击穿坡口根部后，稍停一下，使每侧熔化0.5~1.0mm并形成熔孔，即可恢复原来的操作手法继续焊接。

收弧：焊条接近终端封口时，把电弧拉至终端（或定位焊）缓坡处和熔池间来回预热，看到终端焊缝及坡口根部开始熔化将电弧拉回原熔池继续焊接，焊至终端缓坡处，让电弧击穿坡口根部，听到“噗噗”声后稍做停顿，然后继续向前施焊10~15mm，填满弧坑熄弧。

2) 填充层的焊接。在距始焊端后面10~15mm焊缝处用划擦法引弧，待电弧引燃并稳定燃烧后用稍长电弧迅速拉至始焊端用短弧（电弧长度≤3mm）锯齿形摆动焊接，摆动时中间快、管壁侧停留时间稍长，钢板侧稍短，形成管壁侧高、钢板侧低的一圈内凹形的自然斜面，并使坡口侧轮廓线为原始状态，以利盖面层的焊接。

3) 盖面层的焊接。采用8字形运条，摆动均匀，始终采用短弧焊，焊条摆动到坡口轮廓线边缘稍停，使坡口轮廓线熔合1~1.5mm，以免咬边或熔合不良，控制熔池为水平椭圆形，施焊过程中随时调整焊条角度以防磁偏吹，熄弧时填满弧坑。

填充层和盖面层的运条方式如图10-28所示。

（三）焊缝清理

焊完试件后，切断电源，用敲渣锤、钢丝刷、凿子将焊渣、飞溅清理干净，严禁动用机动工具进行清理，保持焊缝原始状态，交考评人员检查。同时，清理场地。

第四节 钢铁类板材角焊

一、考前技术交底

（一）操作技术说明

在保证能焊出合格试件的情况下，考生可自行决定装配间隙及焊接技巧，也可参照本操作规范。

（二）钢铁类板材角焊缝操作规定

- 1) 考前15min给考生技术交底和发放试件，在考评人员监督下进行焊前准备和组装。
- 2) 所用焊接材料必须按考试管理制度领用，试件统一编写考试代号。

- 3) 坡口清理及焊接参数选择由焊工独立完成。
- 4) 采用板材角焊缝试件进行焊接操作考试时, 焊缝根部应全焊透。
- 5) 焊接结束后应去除焊渣和飞溅, 保持焊缝原始表面, 不允许补焊、修磨。
- 6) 手工焊试件两端 20mm 范围内不作评定。
- 7) 严禁在非焊接部位的母材上引弧、试电流, 严格按操作规程操作, 做到工完、料净、场地清。

(三) 考核要求

钢铁类板材角焊具体考核要求见表 10-24。

表 10-24 钢铁类板材角焊具体考核要求

序号	考核内容	考核要点	检测结果
1	试件数量	一副	
2	焊前准备	劳保着装及工具准备齐全, 参数设置、设备调试正确并符合要求	
3	焊接操作	试件固定的空间位置和定位焊位置符合要求	
4	焊缝外观	焊缝表面应是焊后原始状态, 焊缝表面没有加工修磨、补焊或返修焊	
		焊缝表面不得有裂纹、未熔合、夹渣、夹钨、气孔、焊瘤和未焊透; 机动焊和自动焊不得有停弧再焊接头	
		咬边深度 $\leq 0.5\text{mm}$, 焊缝两侧咬边总长度不得超过焊缝长度的 10%	
		焊缝的凹度或者凸度 $\leq 1.5\text{mm}$	
		板材角焊缝两焊脚差 $\leq 3\text{mm}$, 焊脚为 $0.5 \sim 1$ 倍腹板厚度	
		手工焊焊缝宽度差 $\leq 3\text{mm}$, 机动焊和自动焊为 $\leq 2\text{mm}$	
5	焊缝内部	无裂纹和未熔合, 根部焊透, 气孔和夹渣最大尺寸 $\leq 1.5\text{mm}$	
6	其他	安全文明生产	
7	宏观金相	四个截面均无“序号 5”所示缺陷	

注: 表中序号 3、4、5、7 均检验合格, 则该实际操作项目合格。

二、实例 SMAW-Fe I -2F-6-Fef1

考核时间为 30min。

(一) 焊前准备

1. 焊机

选用 300A 以上的直流焊机或交流焊机; 焊前焊机试运行正常, 焊接电缆、焊钳、地线均接触良好, 焊接电流在合适范围。

2. 焊材

$\phi 3.2\text{mm}$ E4303 (J422) 焊条, 焊前经 150°C 烘干 1h 后放在焊条保温筒中备用。

3. 试件

Q235B 钢板 (底板)、规格 300mm \times 120mm \times 6mm、平坡口、共一块; Q235B 钢板 (翼板或腹板)、规格 300mm \times 75mm \times 6mm、平坡口、共一块。

4. 辅助设备、工具和量具

焊条保温筒、角向打磨机、电焊手套、电焊面罩、防护眼镜、敲渣锤、钢丝刷、凿子、焊缝检验尺。

(二) 焊前装配定位及焊接

1. 准备试板

用角向打磨机将试件待焊处及两侧各 20~30mm 范围内的铁锈、油污、积渣和其他有害杂质清除干净，露出金属光泽。

2. 试件装配、定位焊

按图 10-32 进行装配，为了保证翼板与底面的垂直，可用直角尺靠着翼板进行定固，定位焊缝在 T 形接头施焊面两端，定位焊长度不大于 15mm，高不大于 3mm，定位焊缝两端用角向打磨机磨成缓斜坡状，定位焊焊接材料与打底层相同，焊接电流比打底层大 10%~15%。

3. 焊接操作

(1) 焊接参数 焊接位置为水平角焊，板材角焊缝横焊角焊试件焊接结构简图和焊接参数见表 10-25，焊条角度示意图如图 10-33 所示。

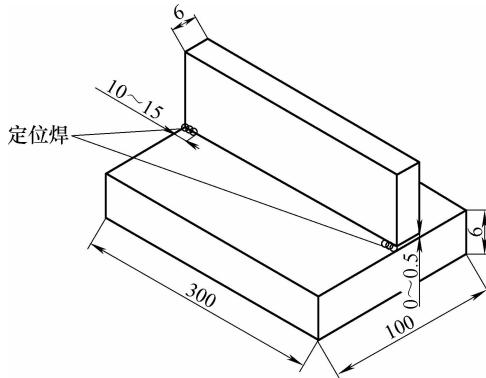


图 10-32 板材角焊缝试件组装示意

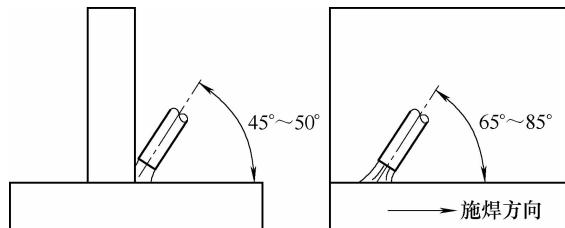
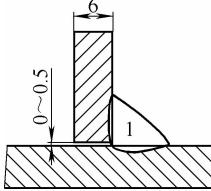


图 10-33 板材角焊缝横角焊试件焊条角度示意图

表 10-25 板材角焊缝横角焊试件焊接结构简图和焊接参数

结构简图	焊接层次	焊条直径 /mm	焊接电流 /A	焊条与底板面的角度/(°)	焊条与焊接方向的角度/(°)	焊条运动方式
	1	φ3.2	135~140	45~50	65~85	直线形
		φ4	185~190	45~50	65~85	直线形

(2) 具体施焊技术 在定位焊处用划擦法引弧，待电弧引燃后用稍长电弧来回预热定位焊缓斜坡中心处，“出汗”时迅速压低电弧从定位焊始焊端用短弧即仅焊条套筒长的电弧紧靠 T 形接头根部直线运条，刚开始焊时通过焊条适当后摆或稍加快焊速，使熔池和熔渣分离鲜明，保持熔渣半露半盖着熔池进行焊接，整个过程运条均匀。焊缝接头时迅速更换好焊条在弧坑前方 10~15mm (未焊处) 引弧后迅速拉至收弧焊缝 2/3 处，稍停形成新的熔池后重复上述运条动作焊完整条焊缝，收弧时填满弧坑熄弧。

冷接法：焊缝熔池已经凝固冷却。焊接引弧前，在收弧处用角向打磨机等修磨出斜坡，在斜坡前 10~15mm 处引弧，并运条预热斜坡，在离斜坡长度 2/3 处压低电弧，稍停一下，形成熔池

后，即可以恢复原来的操作手法继续焊接。

(三) 焊缝清理

焊完试件后，切断电源，用敲渣锤、钢丝刷、凿子将焊渣、飞溅清理干净，严禁动用机动工具进行清理，保持焊缝原始状态，交考评人员检查。同时，清理场地。

第五节 钢铁类板材耐蚀堆焊

一、考前技术交底

(一) 操作技术说明

在保证能焊出合格试件的情况下，考生可自行决定焊接道数及焊接技巧，也可参照本操作规范。

(二) 钢铁类板材耐蚀堆焊操作规定

- 1) 考前 15min 给考生技术交底和发放试件，在考评人员监督下进行焊前准备。
- 2) 所用焊接材料必须按考试管理制度领用，试件统一编写考试代号。
- 3) 待焊处及两侧清理和焊接参数选择由焊工独立完成。
- 4) 焊接结束后应去除焊渣和飞溅，保持焊缝原始表面，不允许补焊、修磨。
- 5) 手工焊试件两端 20mm 范围内不作评定。
- 6) 严禁在非焊接部位的母材上引弧、试电流，严格按操作规程操作，做到工完、料净、场地清。

(三) 考核要求

钢铁类板材耐蚀堆焊具体考核要求见表 10-26。

表 10-26 钢铁类板材耐蚀堆焊具体考核要求

序号	考核内容	考 核 要 点	检 测 结 果
1	试件数量	一件	
2	焊前准备	劳保着装及工具准备齐全，参数设置、设备调试正确并符合要求	
3	焊接操作	试件固定的空间位置符合要求	
4	焊缝外观	焊缝表面应是焊后原始状态，焊缝表面没有加工修磨、补焊或返修焊	
		焊缝表面不得有裂纹、未熔合、夹渣、夹钨、气孔、焊瘤和未焊透	
		咬边深度≤0.5mm，焊缝两侧咬边总长度不得超过焊缝长度的 10%	
		相邻焊道间的凹下量≤1mm	
		焊道间搭接处平面度≤1.5mm	
		焊道高度差≤1.5mm	
		单焊道熔敷金属宽度>12mm	
		首层至少堆焊三条并列焊道，焊缝总宽度≥38mm	
5	焊缝表面质量	渗透检测 I 级合格	
6	其他	安全文明生产	
7	理化试验	两试样侧弯后拉伸面无超标缺陷	

注：表中序号 3、4、5、7 均检验合格，则该实际操作项目合格。

二、实例 SMAW(N6)-Fe II-1G-Fef4J

考核时间为 30min。

(一) 焊前准备

1. 焊机

选用 300A 以上的直流焊机，直流反接；焊前焊机试运行正常，焊接电缆、焊钳、地线均接触良好，焊接电流在合适范围。

2. 焊材

φ3.2mm E309-15 (A307) 焊条，焊前经 250~300℃ 烘干 1h 后放在焊条保温筒中备用。

3. 试件

Q345R 钢板，规格 150mm × 150mm × 6mm，共一块。

4. 辅助设备、工具和量具

焊条保温筒、角向打磨机、电焊手套、电焊面罩、防护眼镜、敲渣锤、钢丝刷、凿子、焊缝检验尺。

(二) 试件清锈及焊接

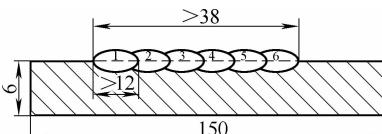
1. 准备试板

用角向打磨机将试件待焊处及两侧各 10~20mm 范围内的铁锈、油污、积渣和其他有害杂质清除干净，露出金属光泽。如图 10-34 所示。

2. 焊接操作

(1) 焊接参数 焊接位置为水平堆焊，焊接结构简图和焊接参数见表 10-27。

表 10-27 板材耐蚀层堆焊试件焊接结构简图和焊接参数

结构简图	焊接层次	焊条直径 /mm	焊接电流 /A	焊条与焊接方向的角度/(°)	焊条运动方式
	1	φ3.2	115~125	65~70	锯齿形连弧

(2) 具体施焊技术 在试件一端离试件中心线 20mm 处用划擦法引弧，待电弧引燃后用稍长电弧来回预热始焊端，“出汗”时迅速压低电弧，从始焊端用短弧作锯齿形摆动，第一道焊接时焊速稍快，摆动均匀，两侧稍停，焊缝应直，焊道的宽度大于 12mm，熄弧时填满弧坑，下一焊道施焊前应清除前一焊道的焊渣，待层间温度不大于 150℃ 时，以前一焊道的一侧焊趾为中心线紧靠前一焊道作锯齿形摆动，前后焊道焊缝重叠 1/2，直至焊道总宽度不少于 38mm。

(三) 焊缝清理

焊完试件后，切断电源，用敲渣锤、钢丝刷、凿子将焊渣、飞溅清理干净，严禁动用机动工具进行清理，保持焊缝原始状态，交考评人员检查。同时，清理场地。

第六节 有色金属板材对接

一、考前技术交底

(一) 操作技术说明

在保证能焊出合格试件的情况下，考生可自行决定装配间隙、钝边厚度及焊接技巧，也可参照本操作规范。

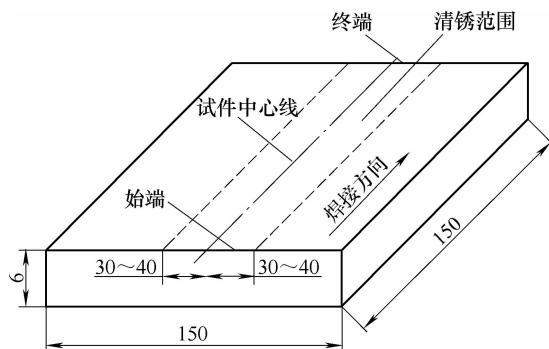


图 10-34 板材耐蚀层堆焊试件清锈范围和施焊部位示意

(二) 有色金属类板材对接操作规定

- 1) 考前 15min 给考生技术交底和发放试件，在考评人员监督下进行焊前准备和组装。
- 2) 所用焊接材料必须按考试管理制度领用，试件统一编写考试代号。
- 3) 坡口清理及焊接参数选择由焊工独立完成。
- 4) 采用不带衬垫试件进行焊接操作考试时，必须从单面焊接，全焊透。
- 5) 焊接结束后应去除焊渣和飞溅，保持焊缝原始表面，不允许修磨、补焊及试件调平。
- 6) 手工焊试件两端 20mm 范围内不作评定。
- 7) 严禁在非焊接部位的母材上引弧、试电流，严格按操作规程操作，做到工完、料净、场地清。

(三) 考核要求

有色金属类板材对接的具体考核要求见表 10-28。

表 10-28 有色金属类板材对接的具体考核要求

序号	考核内容	考 核 要 点	检测结果
1	试件数量	一副	
2	焊前准备	劳保着装及工具准备齐全，参数设置、设备调试正确并符合要求	
3	焊接操作	试件固定的空间位置和定位焊位置符合要求	
4	焊缝外观	焊缝表面应是焊后原始状态，焊缝表面没有加工修磨、补焊或返修焊	
		焊缝表面不得有裂纹、未熔合、夹渣、夹钨、气孔、焊瘤和未焊透；机动焊和自动焊不得有停弧再焊接头以及咬边和凹坑	
		咬边深度 $\leq 0.5\text{mm}$ ，焊缝两侧咬边总长度不得超过焊缝长度的 10%	
		背面凹坑深度不大于 $20\% T$ ，且不大于 2mm（仰焊位置凹坑深度不作规定），总长度不超过焊缝长度的 10%	
		焊缝边缘直线度，手工焊 $f \leq 2\text{mm}$ ；机动焊和自动焊 $f \leq 3\text{mm}$	
		平焊位置焊缝余高 $0 \sim 3\text{mm}$ ，其他位置为 $0 \sim 4\text{mm}$ ；余高差 $\leq 2\text{mm}$	
		手工焊焊缝宽度差 $\leq 3\text{mm}$ ，机动焊和自动焊焊缝宽度差为 $\leq 2\text{mm}$	
		手工焊坡口每侧增宽 $0.5 \sim 2.5\text{mm}$ ；机动焊和自动焊为 $2 \sim 4\text{mm}$	
		焊后变形角度 θ 小于或等于 10°	
		试件错边量 e 不得大于 $10\% T$ ，且小于或者等于 2mm	
		钛材焊缝和热影响区的表面颜色检查，银白色、金黄色为合格，蓝色、紫色、灰色、暗灰色与黄色粉状物均为不合格	
5	焊缝内部	射线检测合格级别不低于Ⅱ级为合格	
6	其他	安全文明生产	
7	理化试验	冷弯试验两件弯曲角度 180° ，拉伸面无超标缺陷	

注：表中序号 3、4、5、7 均检验合格，则该实际操作项目合格。

二、实例一 GTAW-Ni II -3G-6-NifS2-02/10/12

考核时间为 40min。

(一) 焊前准备

1. 焊机

选用 ZX7-400ST 手工氩弧焊机，直流正接；焊前焊机试运行正常，高频或高压引弧正常，管

内外氩气保护正常，焊枪、地线均接触良好，钨极直径、钨棒伸出长度和端部锥度合适，焊接电流在合适范围。

2. 焊材

$\phi 2.0 \sim 3.0\text{mm}$ 钨极；氩气（纯度 $\geq 99.96\%$ ）；焊丝 ERNiCu-7 $\phi 2.0\text{mm}$ 。

3. 试件

06Cr19Ni10 板材、规格 $300\text{mm} \times 120\text{mm} \times 6\text{mm}$ 、无钝边 60°V 形坡口、共两块（根据《特种设备焊接操作人员考核细则》，母材可用奥氏体不锈钢代替）。

4. 辅助工具和量具

角向打磨机、电磨头、锉刀、样冲、画线盘、电焊手套、电焊头罩、防护眼镜、钢丝刷、焊缝检验尺、板材背面氩气保护装置。

（二）焊前装配定位及焊接

1. 准备试板

用角向打磨机将试件两侧坡口面及坡口边缘 $10 \sim 20\text{mm}$ 范围内的水、油污、积渣和其他有害杂质清除干净，露出金属光泽。用锉刀或角向打磨机修磨坡口钝边，使钝边尺寸 p 在 $1 \sim 1.2\text{mm}$ 之间，然后在坡口边缘 100mm 处用画线盘画出两根与坡口边缘平行的平行线，如图 10-1 所示，并打上样冲眼，作为测量焊缝坡口每侧增宽的基准线。

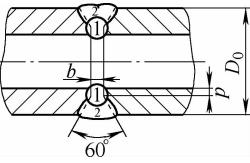
2. 试件装配、定位焊、预制反变形和板背面氩气保护

按图 10-1 进行装配，始焊端间隙 b_1 为 3.5mm ，终端间隙 b_2 为 4.5mm ，始焊端定位焊长度不大于 10mm ，高不大于 3mm ，终端定位焊长度为 $10 \sim 15\text{mm}$ ，始焊端和终端定位焊一端用角向打磨机加工成陡坡状，两端错边量均应不大于 0.5mm ，如超标应磨掉重新定位焊，合格后预制反变形 3° ，反变形量为 3mm 。定位焊焊接材料与打底层相同。施焊前背面通氩，氩气流量为 $15 \sim 20\text{L}/\text{min}$ ，焊接时减为 $6 \sim 8\text{L}/\text{min}$ 。对于薄板，为防止背面焊缝氧化，盖面层时背面仍通氩气。

3. 焊接操作

（1）焊接参数 焊接位置为向上立焊位，焊接结构简图和焊接参数见表 10-29。

表 10-29 镍及镍合金板状试件向上立焊对接结构简图和焊接参数

结构简图	焊接层次	名称	焊丝直径/mm	焊接电流/A	钨极直径/mm	钨极伸出长度/mm	氩气流量/(L/min)	喷嘴直径/mm	喷嘴至试件距离/mm	送丝方式
	1	打底层	3.0	90~120	3	5~6	10~14	8~12	10~12	间断送丝
	2	盖面层	3.0	95~125	3	5~6	10~14	8~12	10~12	摆动送丝

收弧：当一根焊丝用完或焊工调整自身站位时需要收弧。熄弧前向熔池过渡一至二滴熔滴，使熔池饱满以防出现弧坑裂纹，然后起动衰减电流，并将电弧下压熄弧。熄弧后待熔池稍冷却再移开焊枪，以免空气介入产生冷缩孔。

焊缝接头分为收弧处接头和封口处接头。收弧处接头时，引弧方法与始焊时相同，开始焊接时应尽量抬高焊枪，焊枪与试件焊接方向夹角以85°~95°为宜，待收弧处熔化并击穿坡口根部后，再填丝焊接。封口接头时，焊枪运行至距定位焊缝3~4mm时，即停止送丝，并压低电弧，待封口后继续向前施焊10mm左右熄弧。

2) 盖面层的焊接。盖面层焊接前，应用机械方法清除层间氧化膜，焊接也是自仰焊位置开始，由于打底焊时在此位置未及时填充焊丝，盖面层时应填丝补齐打底焊缝，使此处焊缝高度与其他位置一致。盖面层焊接填丝时注意与焊枪运行动作配合良好，焊丝端部应始终处于氩气保护区，采用断续点滴填丝法。为保证坡口两侧熔合良好，焊枪可稍加横向摆动，电弧长度保持在4~7mm。

(三) 焊缝清理

焊完试件后，切断电源，关闭气源，用钢丝刷清理干净，严禁动用机动工具进行清理，保持焊缝原始状态，交考评人员检查。同时，清理场地。

三、实例二 GTAW-Ti I -6G-3/18-TifS1-02/10/12

考核时间为90min。

(一) 焊前准备

1. 焊机

选用ZX7-400ST直流手工氩弧焊机，直流正接；焊前焊机试运行正常，高频或高压引弧正常，管内外氩气保护正常，焊枪、地线均接触良好，钨极直径、钨棒伸出长度和端部锥度合适，焊接电流在合适范围。

2. 焊材

φ2.0~φ3.0mm 钽钨极；氩气（纯度≥99.96%）；焊丝 ERTA1ELI 直径为1.6mm。

3. 试件

TA1 管、规格 $\phi 18\text{mm} \times 3\text{mm} \times 100\text{mm}$ 、无钝边 30°V 形坡口面、共六根。

4. 辅助工具和量具

角向打磨机、电磨头、锉刀、砂布、画线盘、电焊手套、电焊头罩、防护眼镜、钢丝刷、焊缝检验尺、管内氩气保护装置。

(二) 焊前装配定位及焊接

1. 准备试件

焊前应将焊丝表面、试件坡口面及坡口外边缘、坡口内边缘 $20\sim30\text{mm}$ 范围内的氯化物、氧化皮、水分、油污和其他有机杂质清除干净，露出金属光泽。清理干净的焊丝、试件在焊前严禁沾污，不要用手触摸焊接部位，否则需重新清理。用角向打磨机修磨坡口钝边，使钝边尺寸在 $0.5\sim1\text{mm}$ 之间，然后在坡口边缘 50mm 处用画线盘画出两根与坡口边缘平行的平行线，作为测量焊缝坡口每侧增宽的基准线。

2. 试件装配、定位和管内充氩

将试件放在 $140\text{mm} \times 40\text{mm}$ 角钢上进行装配，用与管子相同材质的扁条（或直接）在管子圆周侧时钟 2 点、10 点位置进行单面定位焊，间隙为 2mm ，管径圆周错边量均应不大于 0.5mm ，如超标应磨掉重新定位焊。定位焊焊接材料与打底层相同。施焊前管内通氩，氩气流量为 $15\sim20\text{L}/\text{min}$ ，焊接时减为 $6\sim8\text{L}/\text{min}$ 。对于薄壁管，防止管内焊缝氧化，盖面层时管内仍通氩。

3. 焊接操作

(1) 焊接参数 水平固定管的打底、盖面焊接均分两半圈进行，焊接结构简图和焊接参数见表 10-33。

表 10-33 45° 固定钛管手工钨极氩弧焊焊接结构简图和焊接参数

结构简图	焊接层次	名称	焊丝直径 /mm	焊接电流 /A	钨极直径 /mm	钨极伸出长度/mm	氩气流量 /(L/min)	喷嘴直径 /mm	喷嘴至试件距离/mm	送丝方式
	1	打底层	1.6	65~80	2.5	3~4	10~12	8	10~12	间断送丝
	2	盖面层	1.6	80~90	2.5	3~4	10~12	8	10~12	摆动送丝

(2) 具体施焊技术

1) 打底层的焊接。在 5 点半（或 6 点半）的坡口上侧位置开始引弧，待电弧稳定后，将电弧压低（在不影响视线及钨极不触及试件的情况下越低越好），在坡口根部间隙两侧用焊枪画圈预热，待坡口两侧钝边同时熔化形成熔孔后，紧贴熔孔送进焊丝（如焊缝在仰面、斜仰面的位置内陷，可改为管内送丝），在钝边熔化边缘两侧各给送一滴液态金属，通过焊枪横向摆动，使其形成搭桥连接，形成第一个熔池，调整焊枪摆动使熔孔成水平，椭圆状熔池清晰明亮后再添加焊丝，焊枪均匀上移，当焊至定位点，敲掉定位扁铁，继续焊接。在仰面、斜仰面的位置，焊丝应紧贴熔池尽量推进钝边间隙中，而上爬坡与管平面位置，焊丝送至上坡口根部间隙的边沿处，焊枪略向后倾，焊速加快，采用间断送丝法进行送丝，即焊丝在不离开氩气保护范围内一拉一送、一滴一滴地向熔池填送金属，又不触及钨极（如“打钨”应将焊缝彻底打磨干净后再施焊），整个过程保持焊枪下倾角 $80^\circ\sim85^\circ$ ，身体围绕试件转动，焊枪喷嘴、焊丝与试件的角度如

图 10-29 所示, 始终控制坡口两侧母材金属各熔化 0.5~1mm, 熔孔直径在 2.5~3mm 之间, 熔池位置水平, 椭圆形状大小基本如一, 当发现熔孔过大, 钛液稍有下坠现象时立即熄弧, 但焊枪不能马上离开, 要使用滞后停气功能。待熔池稍冷却后再引弧→熔化→填丝→焊接, 熄弧前, 应将焊枪向坡口上侧移动并添加焊丝逐步缩小熔池后熄弧, 另外半圈用同样的焊接方法施焊, 完成整个打底焊工作。

施焊过程中断或更换焊丝或与定位焊缝接头操作: 应先将收弧处或与定位焊缝接头处打磨成斜坡状, 在斜坡上开始施焊, 当焊至斜坡端部出现熔孔后立即送丝并转入正常焊接; 焊至定位焊缝斜坡接头时, 电弧稍作停留, 暂缓送丝, 待熔池与斜坡端部充分熔化有小熔孔后再送丝焊接。

收弧: 当焊缝接近终端时, 停止送丝, 把电弧拉至终端缓坡处和熔池间来回画圈预热, 看到终端焊缝及坡口根部开始熔化, 将电弧拉回原熔池填丝焊接, 熔孔逐渐缩小时应及时添加焊丝, 直至熔孔闭合, 封口后停止送丝, 压低电弧继续向前施焊 10~15mm, 熄弧时填满弧坑。

2) 盖面层的焊接。盖面层焊前, 应仔细检查打底层与坡口两侧母材夹角处的焊缝, 确保焊层圆滑过渡, 比管表面低约 1.5mm 左右, 并保证两侧坡口轮廓线为原始状态, 以利盖面层的焊接。在去除临时定位试件时, 不应损伤母材并将其残留焊疤清理干净, 打磨修整好确保管表面无裂纹。

当盖面层采用单道焊时, 焊枪尽量靠到试件上均匀向上滚动, 电弧长度控制在 2~3mm, 待打底焊缝开始熔化后立即送丝, 在坡口两侧横向小摆动并稍作停留, 控制熔池在水平状态, 焊丝随着焊枪的移动在相应的熔池一侧前上方送入一滴铁液, 并保证坡口轮廓线熔合 1~1.5mm, 以免咬边或熔合不良, 熄弧时填满弧坑。整个施焊过程中焊枪与下管壁的夹角为 70°~75°, 焊枪与施焊点切线夹角为 75°~85°, 焊丝与施焊点切线夹角为 15°~20°。

(三) 焊缝清理

焊完试件后, 切断电源, 关闭气源, 用钢丝刷清理干净, 严禁动用机动工具进行清理, 保持焊缝原始状态, 交考评人员检查。同时, 清理场地。

四、实例三 GTAW-Cu I -6G-3/18-CuFS1-02/11/12

考核时间为 90min。

(一) 焊前准备

1. 焊机

选用 ZX7-400ST 大功率直流手工氩弧焊机, 直流正接; 焊前焊机试运行正常, 高频或高压引弧正常, 氩气保护正常, 焊枪、地线均接触良好, 钨极直径、钨棒伸出长度和端部锥度合适, 焊接电流在合适范围。

2. 焊材

ϕ 2.0~ ϕ 3.0mm 钨钨极; 氩气 (纯度≥99.96%); 焊丝 HSCu 直径 ϕ 1.6mm。

3. 试件

T2 管、规格 ϕ 18mm×3mm×100mm、无钝边 30°V 形坡口面、共六根。

4. 辅助工具和量具

角向打磨机、电磨头、锉刀、样冲、画线盘、电焊手套、电焊头罩、防护眼镜、钢丝刷、焊缝检验尺。

(二) 焊前装配定位及焊接

1. 准备试件

焊前应将焊丝表面、试件坡口面及坡口外边缘、坡口内边缘 20~30mm 范围内的氧化膜、水分、油污和其他有害杂质清除干净, 露出金属光泽。用锉刀或角向打磨机修磨坡口钝边, 使钝边

尺寸在 $0.5 \sim 1\text{mm}$ 之间，然后在坡口边缘 50mm 处用画线盘画出两根与坡口边缘平行的平行线，并打上样冲眼，作为测量焊缝坡口每侧增宽的基准线。

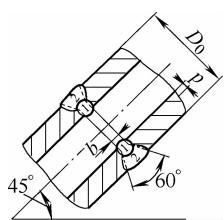
2. 试件装配、定位

将试件放在 $140\text{mm} \times 40\text{mm}$ 角钢上进行装配，用与管子相同材质的扁铁条（或直接）在管子圆周侧时钟 2 点、10 点位置进行单面定位焊，间隙为 2mm ，管径圆周错边量均应不大于 0.5mm ，如超标应磨掉重新定位焊。定位焊焊接材料与打底层相同。

3. 焊接操作

(1) 焊接参数 水平固定管的打底、盖面焊接均分两半圈进行，焊接结构简图和焊接参数见表 10-34。

表 10-34 45° 固定铜管手工钨极氩弧焊焊接结构简图和焊接参数

结构简图	焊接层次	名称	焊丝直径/mm	焊接电流/A	钨极直径/mm	钨极伸出长度/mm	氩气流量/(L/min)	喷嘴直径/mm	喷嘴至试件距离/mm	送丝方式
	1	打底层	1.6	90 ~ 100	3	3 ~ 4	12 ~ 15	8	10 ~ 12	间断送丝
	2	盖面层	1.6	100 ~ 110	3	3 ~ 4	12 ~ 15	8	10 ~ 12	摆动送丝

(2) 具体施焊技术

1) 打底层的焊接。在 5 点半（或 6 点半）的坡口上侧位置开始引弧，待电弧稳定后，将电弧压低（在不影响视线及钨极不触及试件的情况下越低越好），在坡口根部间隙两侧用焊枪画圈预热，待坡口两侧钝边同时熔化形成熔孔后，紧贴熔孔送进焊丝（如焊缝在仰面、斜仰面的位置内陷，可改为管内送丝），在钝边熔化边缘两侧各给送一滴液态金属，通过焊枪横向摆动，使其形成搭桥连接，形成第一个熔池，调整焊枪摆动使熔孔成水平，椭圆状熔池清晰明亮后再添加焊丝，焊枪均匀上移，当焊至定位点，敲掉定位扁铁，继续焊接。在仰面、斜仰面的位置，焊丝应紧贴熔池尽量推进钝边间隙中，而上爬坡与管平面位置，焊丝送至上坡口根部间隙的边沿处，焊枪略向后倾，焊速加快，采用间断送丝法进行送丝，即焊丝在不离开氩气保护范围内一拉一送、一滴一滴地向熔池填送金属，又不触及钨极（如“打钨”应将焊缝彻底打磨干净后再施焊）。整个过程保持焊枪下倾角 $80^\circ \sim 85^\circ$ ，身体围绕试件转动，焊枪喷嘴、焊丝与试件的角度如图 10-29 所示，始终控制坡口两侧母材金属各熔化 $0.5 \sim 1\text{mm}$ ，熔孔直径在 $2.5 \sim 3\text{mm}$ 之间，熔池位置水平，椭圆形状大小基本如一。当发现熔孔过大，钛液稍有下坠现象时立即断弧，但焊枪不能马上离开，要使用滞后停气功能。待熔池稍冷却后再引弧→熔化→填丝→焊接，熄弧前，应将焊枪向坡口上侧移动并添加焊丝逐步缩小熔池后熄弧，另外半圈用同样的焊接方法，完成整个打底焊工作。

施焊过程中断或更换焊丝或与定位焊缝接头操作：应先将收弧处或与定位焊缝接头处打磨成斜坡状，在斜坡上开始施焊，当焊至斜坡端部出现熔孔后立即送丝并转入正常焊接；焊至定位焊缝斜坡接头时，电弧稍作停留，暂缓送丝，待熔池与斜坡端部充分熔化有小熔孔后再送丝焊接。

收弧：当焊缝接近终端时，停止送丝，把电弧拉至终端缓坡处和熔池间来回画圈预热，看到终端焊缝及坡口根部开始熔化，将电弧拉回原熔池填丝焊接，熔孔逐渐缩小时应及时添加焊丝，直至熔孔闭合，封口后停止送丝，压低电弧继续向前施焊 $10 \sim 15\text{mm}$ ，熄弧时填满弧坑。

2) 盖面层的焊接。盖面层焊前, 应仔细检查打底层与坡口两侧母材夹角处的焊缝, 确保焊层圆滑过渡, 比管表面低 1.5mm 左右, 并保证两侧坡口轮廓线为原始状态, 以利盖面层的焊接。在去除临时定位试件时, 不应损伤母材并将其残留焊疤清理干净, 打磨修整好确保管表面无裂纹。

当盖面层采用单道焊时, 焊枪尽量靠到试件上均匀向上滚动, 电弧长度控制在 2~3mm, 待打底焊缝开始熔化后立即送丝, 在坡口两侧横向小摆动并稍作停留, 控制熔池在水平状态, 焊丝随着焊枪的移动在相应的熔池一侧前上方送入一滴铁液, 并保证坡口轮廓线熔合 1~1.5mm, 以免咬边或熔合不良, 熄弧时填满弧坑。整个施焊过程中焊枪与下管壁的夹角为 70°~75°, 焊枪与施焊点切线夹角为 75°~85°, 焊丝与施焊点切线夹角为 15°~20°。

(三) 焊缝清理

焊完试件后, 切断电源, 关闭气源, 用钢丝刷清理干净, 严禁动用机动工具进行清理, 保持焊缝原始状态, 交考评人员检查。同时, 清理场地。

第八节 有色金属管-板角接

一、考前技术交底

(一) 操作技术说明

在保证能焊出合格试件的情况下, 考生可自行决定装配间隙、钝边厚度及焊接技巧, 也可参考本操作规范。

(二) 有色金属类管板角接操作规定

- 1) 考前 15min 给考生技术交底和发放试件, 在考评人员监督下进行焊前准备和组装。
- 2) 所用焊接材料必须按考试管理制度领用, 试件统一编写考试代号。
- 3) 坡口清理及焊接参数选择由焊工独立完成。
- 4) 采用不带衬垫试件进行焊接操作考试时, 必须从单面焊接, 整个圆周截面全焊透。
- 5) 焊接结束后应去除焊渣和飞溅, 保持焊缝原始表面, 不允许补焊、修磨。
- 6) 严禁在非焊接部位的母材上引弧、试电流, 严格按操作规程操作, 做到工完、料净、场地清。

(三) 考核要求

有色金属类管板角接具体考核要求见表 10-35。

表 10-35 有色金属类管板角接具体考核要求

序号	考核内容	考 核 要 点	检 测 结 果
1	试件数量	两副(当管外径 < 76mm 时)	
2	焊前准备	劳保着装及工具准备齐全, 参数设置、设备调试正确并符合要求	
3	焊接操作	试件固定的空间位置和定位焊位置符合要求	
4	焊缝外观	焊缝表面应是焊后原始状态, 焊缝表面没有加工修磨、补焊或返修焊	
		焊缝表面不得有裂纹、未熔合、夹渣、夹钨、气孔、焊瘤和未焊透; 机动焊和自动焊不得有停弧再焊接头	
		咬边深度 ≤ 0.5mm, 焊缝两侧咬边总长度不得超过焊缝长度的 10%	
		背面凹坑深度不大于 20% T, 且不大于 2mm(仰焊位置凹坑深度不作规定), 总长度不超过焊缝长度的 10%	

(续)

序号	考核内容	考 核 要 点	检 测 结 果
4	焊缝外观	焊缝的凹度或者凸度 $\leq 1.5\text{mm}$	
		管板角接头管侧焊脚为 $(0.5 \sim 1)T$	
		背面焊缝余高 $\leq 3\text{mm}$	
		手工焊焊缝宽度差 $\leq 3\text{mm}$, 机动焊和自动焊为 $\leq 2\text{mm}$	
		手工焊坡口一侧增宽 $0.5 \sim 2.5\text{mm}$; 机动焊和自动焊为 $2 \sim 4\text{mm}$	
		钛材焊缝和热影响区的表面颜色检查, 银白色、金黄色为合格, 蓝色、紫色、灰色、暗灰色与黄色粉状物均为不合格	
5	焊缝内部	无裂纹和未熔合, 根部焊透, 气孔和夹渣最大尺寸 $\leq 1.5\text{mm}$	
6	其他	安全文明生产	
7	宏观金相	四个截面均无“序号 5”所示缺陷	

注: 表中序号 3、4、5、7 均检验合格, 则该实际操作项目合格。

二、实例一 GTAW-Ni II -5FG-6/60-NiFeS2-02/10/12

考核时间为 60min。

(一) 焊前准备

1. 焊机

选用 ZX7-400ST 手工氩弧焊机, 直流正接; 焊前焊机试运行正常, 高频或高压引弧正常, 管内外氩气保护正常, 焊枪、地线均接触良好, 钨极直径、钨棒伸出长度和端部锥度合适, 焊接电流在合适范围。

2. 焊材

$\phi 2.0 \sim \phi 3.0\text{mm}$ 钨极; 氩气 (纯度 $\geq 99.96\%$); 焊丝 ERNiCu-7 直径为 2.0mm。

3. 试件

06Cr19Ni10 板材、规格 $150\text{mm} \times 150\text{mm} \times 6\text{mm}$ 、无钝边 90°V 形坡口、共两块; 0Cr18Ni9 管子、规格 $\phi 60\text{mm} \times 6\text{mm} \times 75\text{mm}$ 、平坡口、共两根 (根据《特种设备焊接操作人员考核细则》, 母材可用奥氏体不锈钢代替)。

4. 辅助工具和量具

角向打磨机、电磨头、锉刀、样冲、圆规、金属直尺、电焊手套、电焊头罩、防护眼镜、钢丝刷、焊缝检验尺、背面氩气保护装置。

(二) 焊前装配定位及焊接

1. 准备试板

用角向打磨机和电磨头将管板坡口面及坡口边缘 $10 \sim 20\text{mm}$ 范围内的水、油污、积渣和其他有害杂质清除干净, 露出金属光泽。用锉刀修磨坡口钝边, 使钝边尺寸 P 在 $0.5 \sim 1\text{mm}$ 之间, 然后在坡口边缘 20mm 处用圆规画出与坡口边缘同轴的圆, 如图 10-31 所示, 并打上样冲眼, 作为测量焊缝坡口每侧增宽的基准线。

2. 试件装配、定位焊

按图 10-31 进行装配, 保证管子中心和板孔中心同轴, 管子端面与板底面处于同一平面, 在 2 点、10 点位置定位焊, 定位焊长度不大于 10mm , 高不大于 3mm , 定位焊两端用气刨削成缓斜坡状, 保证两定位焊缝焊透且双面成形, 定位焊的焊接材料与打底层相同, 焊接电流比打底焊大 $10\% \sim 15\%$ 。

3. 焊接操作

(1) 焊接参数 焊接位置为管子水平固定, 打底、盖面焊接均分两半圈进行, 焊接结构简图和焊接参数见表 10-36。

表 10-36 镍与镍合金管子和管板角接头水平固定焊接结构简图和焊接参数

结构简图	焊接层次	名称	焊丝直径 /mm	焊接电流 /A	钨极直径 /mm	钨极伸出长度/mm	氩气流量 /mm	喷嘴直径 /mm	喷嘴至试件距离/mm
	1	打底层	φ2.0	70 ~ 85	2.5	4 ~ 5	8 ~ 10	8	8 ~ 10
	2	填充层	φ2.0	85 ~ 95	2.5	4 ~ 5	8 ~ 10	8	8 ~ 10
	3	盖面层	φ2.0	100 ~ 110	2.5	4 ~ 5	8 ~ 10	8	8 ~ 10

(2) 具体施焊技术

1) 打底层的焊接。将组对好的试件装卡在焊接工位架上, 管子轴线水平固定, 在五点半或六点半开始焊接, 焊接方向自下而上。引弧前提前供气 5 ~ 10s, 然后将焊枪喷嘴以 45°位置斜靠在坡口内, 使钨极端面距母材表面 2 ~ 3mm, 起动焊枪开关, 引燃电弧。电弧引燃后, 对坡口根部两侧进行预热, 待钝边熔化后, 即可填丝焊接。焊接时, 焊枪与板角度在 70° ~ 80°, 填丝与板角度在 15° ~ 20°。焊枪摆动方法为反月牙形。电弧摆动至坡口两侧时要稍作停留, 保证坡口两侧熔合良好, 焊接过程中, 电弧应交替加热坡口根部和焊丝端头。注意控制熔孔形状和尺寸, 一般熔孔形状应为横向椭圆形, 熔孔大小为电弧熔化坡口每侧 0.5 ~ 1mm 为宜。注意焊枪向上移动的速度要合适, 尽可能让已焊好的焊缝托住熔池, 保证内外焊缝整齐、平滑。填丝时, 要使焊丝端头与电弧中心保持一定距离, 使熔化的焊丝以小滴状落入熔池。焊丝运行方向应与焊枪摆动方向一致, 焊丝摆动幅度不宜过大, 以免与钨极接触产生夹钨和使钨极严重烧损, 同时焊丝摆动幅度过大还易扰乱氩气层流, 使空气介入产生氧化和气孔等缺陷。收弧前应适当加快送丝速度, 填满弧坑后, 将电弧移向坡口一侧停弧。待熔池稍冷却后, 再将焊枪拿开, 以防熔池在高温下氧化或产生冷缩孔。接头前, 先用电弧将收弧处加热至熔化状态, 然后将熔孔扩大到正常焊接尺寸, 送进焊丝接头焊接。

2) 填充层的焊接。填充层焊接时的操作方法与打底焊时相同, 但焊枪摆动到中间快, 管壁侧停留时间稍长, 钢板侧稍短, 形成管壁侧高钢板侧低的一圈内凹形的自然斜面, 并使坡口侧轮廓线为原始状态, 以利盖面层的焊接。焊枪摆动应平稳缓慢, 不得晃动, 以免破坏气流保护, 使空气介入。

3) 盖面层的焊接。焊盖面层前, 应仔细检查打底层与板侧和管侧母材夹角处的焊缝并清理焊缝表面。盖面层焊接时操作方法与填充层焊接时相同, 但焊枪横向运行幅度应继续加大。电弧摆动至管侧稍停留以免咬边或熔合不良, 摆动至板侧时应至距坡口边缘棱角 1 ~ 2mm 处, 并将电弧稍稍缩短, 以减小熔池尺寸, 防止咬边的产生。

(三) 焊缝清理

焊完试件后，切断电源，关闭气源，用钢丝刷清理干净，严禁动用机动工具进行清理，保持焊缝原始状态，交考评人员检查。同时，清理场地。

三、实例二 SMAW-Ni II -5FG-12/60-Nif2

考核时间为 60min。

(一) 焊前准备

1. 焊机

选用 ZX5-400 手工电弧焊焊机；焊前焊机试运行正常，焊接电缆、焊钳、地线均接触良好，极性正确（直流反接），焊接电流在合适范围。

2. 焊材

$\phi 2.5\text{ mm}$ 、 $\phi 3.2\text{ mm}$ ENiCu-7 (Ni202) 焊条，焊前经 $300\sim 350^\circ\text{C}$ 烘干 2h 后放在焊条保温筒中备用。

3. 试件

0Cr19Ni10 板材、规格 $150\text{ mm} \times 150\text{ mm} \times 12\text{ mm}$ 、无钝边 90° V 形坡口、共两块；0Cr18Ni9 管子、规格 $\phi 60\text{ mm} \times 6\text{ mm} \times 75\text{ mm}$ 、平坡口、共两根（根据《特种设备焊接操作人员考核细则》，母材可用奥氏体不锈钢代替）。

4. 辅助设备、工具和量具

焊条保温筒、角向打磨机、电磨头、锉刀、样冲、圆规、金属直尺、电焊手套、电焊面罩、防护眼镜、敲渣锤、钢丝刷、凿子、焊缝检验尺、气刨设备。

(二) 焊前装配定位及焊接

1. 准备试板

用角向打磨机和电磨头将板的坡口面及坡口边缘 $10\sim 20\text{ mm}$ 范围内的水、油污、积渣和其他有害杂质清除干净，露出金属光泽。用锉刀修磨坡口钝边，使钝边尺寸在 $1\sim 1.5\text{ mm}$ 之间，然后在坡口边缘 20 mm 处用画规画出与坡口边缘同轴的圆，如图 10-31 所示，并打上样冲眼，作为测量焊缝坡口每侧增宽的基准线。

2. 试件装配、定位焊

按图 10-31 进行装配，保证管子中心和管板孔中心同轴，管子端面与板底面处于同一平面，在 2 点、10 点位置定位焊，定位焊长度不大于 10 mm ，高不大于 3 mm ，定位焊两端用气刨削成缓斜坡状，保证两定位焊缝焊透且双面成形，定位焊焊接材料与打底层相同，焊接电流比打底层大 $10\% \sim 15\%$ 。

3. 焊接操作

(1) 焊接参数 焊接位置为管子水平固定，打底、盖面焊接均分两半圈进行，焊接结构简图和焊接参数见表 10-37。

(2) 具体施焊技术

1) 打底层的焊接。在 5 点半或 6 点半处用划擦法引弧，待电弧引燃并稳定燃烧后用稍长电弧预热待焊坡口中心处，但电弧主要预热管、板侧根部，“出汗”时迅速压低电弧稍停留，听到电弧穿透坡口根部发出“噗噗”声，并形成第一个熔池和熔孔，此时马上沿坡口钝边锯齿形或月牙形摆动，在保证坡口根部熔合良好的情况下，焊速尽量快些，在仰、斜仰位置用 $2/3$ 电弧在焊缝背面燃烧，立焊及平焊位电弧深度为 $1/2$ ，看到一个比坡口间隙大 $0.5\sim 1\text{ mm}$ 的熔孔，熔池形状大小如一，通过护目镜能清楚地看到铁液和熔渣通过熔孔顺利地流向接口的背面，在焊接过程中，焊条摆动中间快、坡口侧和管侧稍停顿，平衡管与板接口的焊接温度，保持良好的椭圆形熔池形状和大小基本一致的熔孔，完成整条焊缝的打底焊工作。

表 10-37 镍与镍合金管子和管板角接头水平固定焊接结构简图和焊接参数

结构简图	焊接层次	名称	焊条直径/mm	焊接电流/A	焊条与管板面的角度/(°)	焊条与焊接方向的角度/(°)	焊条运动方式
	1	打底层	φ2.5	70~80	60~70	70~80	锯齿形或月牙形, 连弧
	2~3	填充层	φ3.2	100~110	60~70	70~75	8字形
	4	盖面层	φ3.2	100~110	55~65	70~75	8字形

更换焊条时的接头方式有热接法和冷接法，打底层更换焊条时多选用热接法，可避免背面焊缝出现冷缩孔和未焊透；如果用冷接法，应在上一根焊条还剩 50mm 左右时（即熄弧前），使熔池逐步缩小并将焊池中心引出坡口间隙应力集中处，于板坡口侧收弧。

热接法：在焊缝处熔池尚保持红热状态时，迅速更换焊条并在收弧斜坡前 10~15mm 引弧，然后将电弧拉到斜坡上摆动预热，在斜坡终端最低点处压低电弧，击穿坡口根部后，稍停一下，使钝边每侧熔化 0.5~1.0mm 并形成熔孔，即可以恢复原来的操作手法继续焊接。热接法换焊条动作越快越好。

冷接法：焊缝熔池已经凝固冷却。焊接引弧前，在收弧处用气刨等修磨出斜坡，清理好刨渣后，在斜坡前 10~15mm 处引弧，并摆动预热斜坡，在斜坡终端最低点压低电弧，击穿坡口根部后，稍停一下，使每侧熔化 0.5~1.0mm 并形成熔孔，即可恢复原来的操作手法继续焊接。

收弧：焊条接近终端封口时，把电弧拉至终端（或定位焊）缓坡处和熔池间来回预热，看到终端焊缝及坡口根部开始熔化，将电弧拉回原熔池继续焊接，焊至终端缓坡处，让电弧击穿坡口根部，听到“噗噗”声后稍做停顿，然后继续向前施焊 10~15mm，填满弧坑熄弧。

2) 填充层的焊接。在距始焊端后面 10~15mm 焊缝处（错开打底层接头）用划擦法引弧，待电弧引燃并稳定燃烧后用稍长电弧迅速拉至始焊端，用短弧（电弧长度≤3mm）锯齿形摆动焊接，焊接时焊条摆动中间快、管壁侧停留时间稍长、钢板侧稍短，形成管壁侧高钢板侧低的一圈内凹形的自然斜面，并使坡口侧轮廓线为原始状态，以利盖面层的焊接。

3) 盖面层的焊接。采用 8 字形摆，摆动均匀，始终采用短弧焊，焊条摆动到坡口轮廓线边缘稍停，使坡口轮廓线熔合 1~1.5mm，到管侧时稍停以免咬边或熔合不良，控制熔池为水平椭圆形，施焊过程中随时调整焊条角度以防磁偏吹，熄弧时填满弧坑。

（三）焊缝清理

焊完试件后，切断电源，用敲渣锤、钢丝刷、凿子将焊渣、飞溅清理干净，严禁动用机动工具进行清理，保持焊缝原始状态，交考评人员检查。同时，清理场地。

四、实例三 GTAW-Al I -5FG-12/27-AlfS1-02/11/14

考核时间为 60min。

（一）焊前准备

1. 焊机

选用 WSF-315TSM 交直流两用氩弧焊机；焊前焊机试运行正常，高频或高压引弧正常，氩气

保护正常，水冷系统，焊枪、地线均接触良好，钨极直径、钨棒伸出长度和端部锥度合适，焊接电流在合适范围。

2. 焊材

$\phi 3.0 \sim \phi 4.0$ mm 钨极；氩气（纯度 $\geq 99.96\%$ ）；焊丝 ER1100 直径 $\phi 3.0$ mm。

3. 试件

1060 板材、规格 $150\text{mm} \times 150\text{mm} \times 12\text{mm}$ 、无钝边 90° V 形坡口、共两块；1060 管子、规格 $\phi 27\text{mm} \times 3\text{mm} \times 75\text{mm}$ 、平坡口、共两根。

4. 辅助工具和量具

角向打磨机、刮刀、锉刀、样冲、圆规、电焊手套、电焊头罩、防护眼镜、不锈钢丝刷、球、焊缝检验尺。

(二) 焊前装配定位及焊接

1. 准备试件

用汽油或丙酮溶液清洗焊丝和试件表面油污，再用 50°C 左右的温水冲洗 $1 \sim 2\text{min}$ ，并经 80°C 烘干处理。对于焊丝表面的氧化膜，可用不锈钢丝球擦拭干净；对于试管坡口内外两侧 50mm 范围内的氧化膜可用刮刀和不锈钢丝刷进行清理，彻底清除焊丝和试件表面的水分、尘土、油污、漆、氧化物、含氢物质及所有附着物，然后用锉刀修磨坡口钝边，使钝边尺寸在 $0.5 \sim 1\text{mm}$ 之间，然后在坡口边缘 50mm 处用圆规画出坡口边缘的同心圆，如图 10-31 所示并打上样冲眼，作为测量焊缝坡口每侧增宽的基准线。

2. 试件装配、定位

将试件放在工作平台上进行装配，按图 10-31 进行装配，保证管子中心和板孔中心同轴，管子端面与板底面同平面，在 2 点、10 点位置处定位焊，定位焊长度不大于 10mm ，高不大于 3mm ，定位焊两端用机械方式削成缓斜坡状，保证两定位焊缝焊透且双面成形，定位焊焊接材料与打底层相同，焊接电流比打底层大 $10\% \sim 15\%$ 。

3. 焊接操作

(1) 焊接参数 焊接位置为管子水平固定，打底、盖面焊接均分两半圈进行，焊接结构简图和焊接参数见表 10-38。

表 10-38 铝与铝合金管子和管板角接头水平固定焊接结构简图和焊接参数

结构简图	焊接层次	名称	焊丝直径/mm	焊接电流/A	钨极直径/mm	钨极伸出长度/mm	氩气流量/(L/min)	喷嘴直径/mm	喷嘴至试件距离/mm	送丝方式
	1	打底层	3.0	90 ~ 110	3	5 ~ 6	10 ~ 14	8 ~ 12	10 ~ 12	间断送丝
	2 ~ 3	填充层	3.0	100 ~ 120	3	5 ~ 6	10 ~ 14	8 ~ 12	10 ~ 12	摆动送丝
	4	盖面层	3.0	115 ~ 125	3	5 ~ 6	10 ~ 14	8 ~ 12	10 ~ 12	摆动送丝

(2) 具体施焊技术

1) 打底层的焊接。将组对好的试件装卡在焊接工位架上, 管子轴线水平固定, 在五点半或六点半处开始焊接, 焊接方向自下而上。引弧前提前供气5~10s, 然后将焊枪喷嘴以45°位置斜靠在坡口内, 使钨极端面距母材表面2~3mm, 启动焊枪开关, 引燃电弧。电弧引燃后, 立即抬起焊枪, 从仰焊位置开始焊接, 电弧与试件间距离为2~3mm, 先不填充焊丝, 焊枪向前行走时速度稍快, 且要均匀平稳, 焊枪不摆动, 电弧尽量短, 使熔孔尺寸略大于焊缝间隙。当焊枪越过6点钟接近7点钟位置时, 开始填充焊丝, 焊丝填充方法采用断续点滴填丝法, 当熔孔加大时, 填丝速度应加快, 熔孔减小时, 填丝速度应减慢。当焊枪运行至立焊位置时, 电弧可适当加长至4~6mm, 填丝速度也可适当加快, 但必须保证根部熔透。焊至管顶端平焊位置时, 应继续向前施焊100mm左右, 再停止送丝终止焊接。右半部分的焊接方法与左半部分相同。

收弧: 当一根焊丝用完或焊工调整自身站位时需要收弧。熄弧前向熔池过渡一至二滴熔滴, 使熔池饱满以防出现弧坑裂纹, 然后启动衰减电流, 并将电弧下压熄弧。熄弧后待熔池稍冷却再移开焊枪, 以免空气介入产生冷缩孔。焊缝接头分为收弧处接头和封口处接头。收弧处接头时, 引弧方法与始焊时相同, 开始焊接时应尽量抬高焊枪, 焊枪与焊接方向夹角以85°~95°为宜, 待收弧处熔化并击穿坡口根部后, 再填丝焊接。封口接头时, 焊枪运行至距定位焊缝3~4mm时, 即停止送丝, 并压低电弧, 待封口后继续向前施焊10mm左右熄弧。

2) 盖面层的焊接。多层多道焊时每焊完一道应使用机械方法清除层间或道间氧化膜, 盖面层焊接也是自仰焊位置开始, 焊接方向自下而上。盖面层焊接填丝时注意与焊枪运行动作配合良好, 焊丝端部应始终处于氩气保护区, 采用断续点滴填丝法。为保证坡口两侧熔合良好, 焊枪可稍加横向摆动, 电弧长度保持在4~7mm。

(三) 焊缝清理

焊完试件后, 切断电源, 关闭气源。用钢丝刷清理干净, 严禁动用机动工具进行清理, 保持焊缝原始状态, 交考评人员检查。同时, 清理场地。

五、实例四 GTAW-Ti I -6FG-6/18-TiF1-02/10/12

考核时间为60min。

(一) 焊前准备

1. 焊机

选用ZX7-400ST直流手工氩弧焊机, 直流正接; 焊前焊机试运行正常, 高频或高压引弧正常, 管内外氩气保护正常, 焊枪、地线均接触良好, 钨极直径、钨棒伸出长度和端部锥度合适, 焊接电流在合适范围。

2. 焊材

φ2.0~φ3.0mm铈钨极; 氩气(纯度≥99.96%); 焊丝ERTA1ELI(ERTi-1)直径为1.6mm。

3. 试件

TA1板材、规格150mm×150mm×6mm、无钝边90°V形坡口、共两块; TA1管子、规格φ18mm×3mm×75mm、平坡口、共两根。

4. 辅助工具和量具

角向打磨机、电磨头、锉刀、砂布、圆规、电焊手套、电焊头罩、防护眼镜、钢丝刷、焊缝检验尺、管内氩气保护装置。

(二) 焊前装配定位及焊接

1. 准备试件

焊前应将焊丝表面、试件坡口面及坡口外边缘、坡口内边缘20~30mm范围内的氯化物、氧

化皮、水分、油污和其他有机杂质清除干净，露出金属光泽。用锉刀修磨坡口钝边，使钝边尺寸在1~1.5mm间，然后在坡口边缘20mm处用圆规画出与坡口边缘同轴的圆，如图10-31所示，并打上样冲眼，作为测量焊缝坡口每侧增宽的基准线。

2. 试件装配、定位焊

按图10-31进行装配，保证管子中心和板孔中心同轴，管子端面与板底面同平面，在2点、10点位置处定位焊，定位焊长度不大于10mm，高不大于3mm，定位焊两端用机械方式削成缓斜坡状，保证两定位焊点焊透且双面成形，定位焊焊接材料与打底层相同，焊接电流比打底层大10%~15%。

3. 焊接操作

(1) 焊接参数 焊接位置为45°固定，打底、盖面焊接均分两半圈进行，焊接结构简图和焊接参数见表10-39。

表 10-39 钛与钛合金管子和管板角接头45°固定焊接结构简图和焊接参数

结构简图	焊接层次	名称	焊丝直径/mm	焊接电流/A	钨极直径/mm	钨极伸出长度/mm	氩气流量/mm	喷嘴直径/mm	喷嘴至试件距离/mm
	1	打底层	φ1.6	70~85	2.5	4~5	8~10	8	8~10
	2	填充层	φ1.6	85~95	2.5	4~5	8~10	8	8~10
	3	盖面层	φ1.6	100~110	2.5	4~5	8~10	8	8~10

(2) 具体施焊技术

1) 打底层的焊接。将组对好的试件装卡在焊接工位架上，管子轴线水平固定，在五点半或六点半处开始焊接，焊接方向自下而上。引弧前提前供气5~10s，然后将焊枪喷嘴以45°位置斜靠在坡口内，使钨极端面距母材表面2~3mm，启动焊枪开关，引燃电弧。电弧引燃后，对坡口根部两侧进行预热，待钝边熔化后，即可填丝焊接。焊接时，焊枪与板的角度在70°~80°，填丝与板的角度在15°~20°。焊枪摆动方法为反月牙形。电弧摆动至坡口两侧时要稍作停留，保证坡口两侧熔合良好，焊接过程中，电弧应交替加热坡口根部和焊丝端头。注意控制熔孔形状和尺寸，一般熔孔形状应为横向椭圆形，熔孔大小为电弧熔化坡口每侧0.5~1mm为宜。注意焊枪向上移动的速度要合适，尽可能让已焊好的焊缝托住熔池，保证内外焊缝整齐、平滑。填丝时，要使焊丝端头与电弧中心保持一定距离，使熔化的焊丝以小滴状落入熔池。焊丝运行方向应与焊枪摆动方向一致，焊丝摆动幅度不宜过大，以免与钨极接触产生夹钨和使钨极严重烧损，同时焊丝摆动幅度过大还易扰乱氩气层流，使空气介入产生氧化和气孔等缺陷。收弧前应适当加快送丝速度，填满弧坑后，将电弧移向坡口一侧熄弧。待熔池稍冷却后，再将焊枪拿开，以防熔池在高温下氧化或产生冷缩孔。焊缝接头前，先用电弧将收弧处加热至熔化状态，然后将熔孔扩大到正常焊接尺寸，送进焊丝接头焊接。

2) 填充层的焊接。填充层焊接时的操作方法与打底焊时相同，但焊枪摆动到中间快，管壁侧停留时间稍长，板侧稍短，形成管壁侧高板侧低的一圈内凹形的自然斜面，并使坡口侧轮廓线为原始状态，以利盖面层的焊接。焊枪摆动应平稳缓慢，不得晃动，以免破坏气流保护，使空气

介入。

3) 盖面层的焊接。盖面层焊前, 应仔细检查打底层与板侧和管侧母材夹角处的焊缝并清理焊缝表面。盖面层焊接时操作方法与填充层焊接时相同, 但焊枪横向运行幅度应继续加大。电弧摆动至管侧稍停留以免咬边或熔合不良, 移动至板侧时应至距坡口边缘棱角1~2mm处, 并将电弧稍稍缩短, 以减小熔池尺寸, 防止咬边的产生。

(三) 焊缝清理

焊完试件后, 切断电源, 关闭气源, 用钢丝刷清理干净, 严禁动用机动工具进行清理, 保持焊缝原始状态, 交考评人员检查。同时, 清理场地。

第十一章 特种设备焊工基本知识考试参考题库

一、是非题

1. 《固定式压力容器安全技术监察规程》规定：从事压力容器焊接作业的人员（焊工），应当按照《特种设备焊接操作人员考核细则》的规定考核合格，取得相应项目的《特种设备作业人员证》后，方能在有效期间内担任合格项目范围内的焊接工作。（ ）
2. 焊工应当按照焊接工艺规程或者焊接作业指导书施焊且作好施焊记录，制造单位的检验员应当对实际的焊接参数进行检查。（ ）
3. 压力容器制造中不允许强力组装，不宜采用十字焊缝。（ ）
4. 要求焊后消除应力热处理的压力容器，一般应当在热处理前焊接返修，如在热处理后进行焊接返修，应当根据补焊深度确定是否需要消除应力处理。（ ）
5. 产品焊接试件应当在筒节纵向焊缝的延长部位与筒节同时施焊（球形压力容器和锻焊压力容器除外）。（ ）
6. 《固定式压力容器安全技术监察规程》规定进行局部无损检测的压力容器，制造单位也应当对未检测部分的质量负责。（ ）
7. 焊件是用焊接方法连接的或有堆焊层的承压设备或其零部件，焊件包括母材和焊接接头（或堆焊层）两部分。（ ）
8. 试件是按照预定的焊接工艺制成的用于试验的焊件，试件包括母材和焊接接头（或堆焊层）两部分。（ ）
9. 焊接坡口表面应保持平整，不应有裂纹、分层、夹杂物等缺陷。（ ）
10. 组对定位过程中要注意保护不锈钢和有色金属表面，防止发生机械损伤。（ ）
11. 焊接管子、管件时，一般应采用多层焊，各焊道的接头应尽量错开。（ ）
12. 角焊缝的根部要保证焊透。（ ）
13. 多道焊或多层焊时，应注意道间和层间清理，将焊缝表面熔渣、有害氧化物、油脂、锈迹等清除干净后再继续施焊。（ ）
14. 双面焊必须清理焊根，显露出正面打底的焊缝金属。对于机动焊和自动焊，若经试验确认能保证焊透及焊接质量，亦可不作清根处理。（ ）
15. 焊接产品焊接试件的焊工应是参加该承压设备元件的焊工。（ ）
16. 试件焊缝允许返修，返修工艺应与所代表的承压设备元件焊缝的返修工艺相同。（ ）
17. GB 150.4 中规定，不锈钢材料制造的容器不得有咬边。（ ）
18. GB 150.4 中规定，有应力腐蚀的容器不得有咬边。（ ）
19. GB 150.4 中规定，低温容器不得有咬边。（ ）
20. GB 150.4 中规定，焊缝同一部位的返修次数不宜超过2次。如超过2次，返修前应经本单位技术负责人批准，返修次数、部位和返修情况应记入该容器的质量证明文件。（ ）
21. 《特种设备安全监察条例》所称特种设备，是指对人身和财产安全有较大危险性的锅炉、压力容器（含气瓶）、压力管道、电梯、起重机械、客运索道、大型游乐设施、场（厂）内专用机动车辆，以及法律、行政法规规定适用本法的其他特种设备。（ ）
22. 焊接接头不包括热影响区。（ ）

23. 焊缝基本符号是表示焊缝横截面形状的符号。()
24. 焊缝与焊接接头是一回事。()
25. 第Ⅲ类压力容器接管与壳体之间焊接接头应当全焊透。()
26. 焊接接头包括母材、熔合区、热影响区。()
27. 根据《固定式压力容器安全技术监察规程》的规定,压力容器焊缝返修部位应当按照原要求经过检测合格。()
28. 根据《固定式压力容器安全技术监察规程》的规定,焊缝与母材应当圆滑过渡。()
29. 低温压力容器是指设计温度低于-20℃的压力容器。()
30. 气体保护焊时,只能用一种气体作为保护介质。()
31. 焊接电压加大时,即电弧拉长时,熔深减少,焊缝宽度增加。()
32. 压力容器由于开孔,筒体强度将被削弱,同时影响容器的疲劳寿命。()
33. 《特种设备安全监察条例》中起重机械的含义是指用于垂直升降或者垂直升降并水平移动重物的机电设备,其范围规定为额定起重量大于或者等于0.5t的升降机;额定起重量大于或者等于1t且提升高度大于或者等于2m的起重机和承重形式固定的电动葫芦等。()
34. 《特种设备安全监察条例》中压力管道的含义是指利用一定的压力,用于输送气体或者液体的管状设备,其范围规定为最高工作压力大于或者等于0.1MPa(表压)的气体、液化气体、蒸汽介质或者可燃、易爆、有毒、有腐蚀性、最高工作温度高于或者等于标准沸点的液体介质,且公称直径大于25mm的管道。()
35. 《特种设备安全监察条例》中锅炉的含义是指利用各种燃料、电或者其他能源,将所盛装的液体加热到一定的参数,并承载一定压力的密闭设备,其范围规定为容积大于或者等于30L的承压蒸汽锅炉;出口水压大于或者等于0.1MPa(表压),且额定功率大于或等于0.1MW的承压热水锅炉;有机热载体锅炉。()
36. 《特种设备安全监察条例》中压力容器的含义是指盛装气体或者液体,承载一定压力的密闭设备,其范围规定为最高工作压力大于或者等于0.1MPa(表压),且压力与容积的乘积大于或者等于2.5MPa·L的气体、液化气体和最高工作温度高于或者等于标准沸点的液体的固定式容器和移动式容器;盛装公称工作压力大于或者等于0.2MPa(表压),且压力与容积的乘积大于或者等于1.0MPa·L的气体、液化气体和标准沸点等于或者低于60℃液体的气瓶、氧舱等。()
37. 低氢型焊条必须采用直流焊机。()
38. 奥氏体不锈钢手工电弧焊时,焊条要适当横向摆动,以加快其冷却速度。()
39. 酸性焊条的工艺性较差,易出气孔,烟尘大,但抗裂性好,冲击韧性高。()
40. 碱性焊条不烘干也可使用。()
41. 焊条是由药皮和焊芯两部分组成。()
42. 酸性焊条的工艺性好,焊缝成形好,但冲击韧性较低。()
43. E5015焊条型号中,“E”表示焊条,“50”表示熔敷金属最小抗拉强度等级。()
44. 钢材的拉伸试验可以检查金属材料的韧性。()
45. 奥氏体不锈钢与腐蚀介质接触面应后焊。()
46. 碱性焊条的工艺性较差,易出气孔,烟尘大,但抗裂性好,冲击韧性高。()
47. 焊剂HJ431是属于烧结焊剂中的一种。()
48. 奥氏体不锈钢的焊接接头冷却速度越快越好。()
49. H10Mn2焊丝配HJ431焊剂可以焊Q345R。()

50. 含碳量大于 0.25% 但不超过 0.6% 的钢是低碳钢。()
51. 钢中主要的杂质是硫和磷。()
52. 随钢中含碳量的增加, 钢的强度下降。()
53. 低合金高强度钢的强度等级越高, 其焊接性越差。()
54. 低合金钢中合金元素总含量大于 5%。()
55. 热输入大, 接头的冲击韧性下降。()
56. 焊接接头的力学性能是均匀的。()
57. 钼的放射性比钍低得多, 钨极氩弧焊用钼钨极代替钍钨极, 可大大减少放射性危害。()
58. 钨极氩弧焊用的电极有纯钨极、钍钨极、钼钨极三种。()
59. 铝及铝合金焊条在实际生产中使用极少。()
60. 铝及铝合金焊丝是根据化学成分来分类并确定型号的。()
61. 热处理强化铝合金强度高, 焊接性好, 广泛用来作为焊接结构材料。()
62. 根据脱氧方式不同, 碳素钢可分为镇静钢、半镇静钢及沸腾钢。()
63. 强度等级越高的钢, 其焊接性越差。()
64. 普通碳素结构钢的强度等级是指钢的屈服强度等级。()
65. 普通低合金结构钢应该根据和母材等强度的原则选择对应的焊材。()
66. 各种合金元素总含量小于 10% 的钢称为低合金钢。()
67. 低合金耐热钢因为含有 Cr 和 Mo 等合金元素, 所以强度比碳素钢高, 焊接性也随之变好。()
68. 普通低合金结构钢由于含有较多的合金元素, 所以它的焊接性要比低碳钢好得多。()
69. 按合金元素总含量的不同, 把合金钢分为低合金钢、中合金钢和高合金钢。()
70. 马氏体不锈钢焊接时容易出现的缺陷之一是冷裂纹, 而不是热裂纹。()
71. 奥氏体加铁素体的双相组织中, 铁素体的含量越多越好。()
72. 奥氏体不锈钢主要的腐蚀形式是晶间腐蚀。()
73. 奥氏体不锈钢具有较高的抗腐蚀能力, 实际上只是指其抗整体腐蚀的能力比较强。()
74. 奥氏体不锈钢具有很大的电阻, 所以不锈钢焊条焊接时药皮容易发红。()
75. 奥氏体不锈钢焊后处理的目的是增加其强度和冲击韧性。()
76. 奥氏体不锈钢的焊接接头中不会形成延迟裂纹。()
77. 奥氏体不锈钢的焊件多层焊时, 一定要保持层间温度不能太低, 才能得到高质量的焊接接头。()
78. 18-8 型不锈钢具有较高的热导率, 所以焊接时热量易散失, 必须采取保温措施。()
79. 18-8 型不锈钢具有较高的抗腐蚀能力, 但其强度却不高, 和低碳钢差不多。()
80. 奥氏体不锈钢中的镍含量越高, 越易形成奥氏体组织, 钢的耐蚀性越好。()
81. 不锈钢中的铬是提高抗腐蚀性能的最主要的合金元素之一。()
82. 与腐蚀介质接触的奥氏体不锈钢焊缝, 应首先进行焊接, 以使其缓慢冷却, 细化晶粒, 提高抗腐蚀性。()
83. 由于碳是形成热裂纹的主要元素之一, 所以奥氏体不锈钢焊接时, 采用超低碳焊丝的原因就是为了防止热裂纹。()
84. 小电流、快速焊是焊接不锈钢的主要焊接工艺。()

85. 双相组织的焊缝不但具有较高的抗晶间腐蚀能力，同时还具有较高的抗热裂纹能力。
()
86. 焊条保温筒的作用在于防潮。()
87. 可以采用交流电源进行焊接的焊条，一定可以采用直流电源。()
88. 碱性焊条焊成的焊缝含氢量低的原因之一是药皮中的萤石(CaF_2)有去氢作用。()
89. H08Mn2SiA 焊丝中的“A”表示 S、P 杂质含量比没有“A”的更低。()
90. 埋弧焊用焊剂垫的作用是防止熔渣和熔池金属从焊缝背面流失，并防止烧穿。()
91. 一般低碳钢、低合金钢埋弧焊用的焊剂都可作为奥氏体不锈钢埋弧焊用。()
92. 奥氏体不锈钢埋弧焊用焊剂应该具有较低的氧化性。()
93. 道间温度(俗称层间温度)是指多层多道焊时，在施焊后继焊道之前其相邻焊道应保持的温度。()
94. 不锈钢焊接严格控制热输入，是防止产生晶间腐蚀倾向的重要措施。()
95. 层间温度应不低于预热温度，也不高于焊接工艺规定的数值。()
96. 碳当量数值越高，表示该种材料的焊接性越好。()
97. 焊接时需要预热的材料，其焊接性较差；预热温度越高，焊接性越差。()
98. 焊接工艺规程是根据合格的焊接工艺评定报告编制的，用于产品施焊的焊接工艺文件。
()
99. 需要预热的焊件接头温度在整个焊接过程中应不低于预热温度。预热温度的测量应在加热面的背面测定。如做不到，应先移开热源，待母材厚度方向上温度均匀后测定温度。()
100. 焊工应按图样、工艺文件和技术标准施焊。()
101. 应在引弧板或坡口内引弧，禁止在非焊接部位引弧。纵焊缝应在引出板上收弧，弧坑应填满。()
102. 焊条电弧焊时，采用直流反接法熔深最大。()
103. 定位焊用的焊条必须比正式焊接用的焊条强度低，要求与母材低匹配。()
104. 焊接工艺评定应该与产品焊接同时进行。()
105. 焊接工艺评定试件的焊工应是本单位熟练焊工。()
106. 埋弧焊引弧时，焊丝与工件短路应顶的越紧越好，否则焊丝与工件接触不好不易起弧。
()
107. 埋弧焊要防止焊偏，最有效的办法是加装自动跟踪装置。()
108. 埋弧焊比焊条电弧焊的电流大，所以它的熔深和熔敷速度都大大提高。()
109. 埋弧焊的缺点之一是焊工难以观察电弧是否对正坡口。()
110. 埋弧焊焊接电弧的引燃方法是接触短路引弧法。()
111. 埋弧焊焊剂使用前可不烘干。()
112. 焊前预热主要是为了防止焊接接头产生裂纹。()
113. NZC-500 是自动熔化极 CO_2 焊机。()
114. 气体保护焊时，可以用混合气体作为保护介质。()
115. CO_2 气体保护焊一般采用直流正接。()
116. CO_2 气体保护焊不适用于不锈钢和低温钢的焊接。()
117. CO_2 气体保护焊产生气孔的主要原因是 CO_2 夹在焊缝中未能及时浮出。()
118. 焊丝伸出长度越长则电阻热越小。()
119. CO_2 气体在高温下会发生分解，所以 CO_2 气体保护焊时，焊缝具有较高的力学性能。
()

120. CO₂ 气体保护焊不可焊接不锈钢。()
121. 将 CO₂ 气瓶倒置 1~2h 是为了除去水分。()
122. CO₂ 气体保护焊焊薄板时采用短路过渡方式。()
123. 药芯焊丝 CO₂ 气体保护焊比实芯焊丝 CO₂ 气体保护焊的质量好。()
124. 用钨极氩弧焊焊接不锈钢时, 应采用直流焊机, 而且要正接。()
125. 手工钨极氩弧焊要求弧焊电源具有上升外特性。()
126. 手工钨极氩弧焊的钨极伸出喷嘴长度越短保护效果越好。()
127. 铝及铝合金用等离子切割下料后, 即可进行焊接。()
128. 铝和铝合金采用机械清理时, 一般都用砂轮打磨, 直至露出金属光泽。()
129. 铝及铝合金的熔点低, 焊前一律不能预热。()
130. 铜及铜合金采用开坡口的单面焊时, 必须在背面加成形垫板才能获得所要求的焊缝形状。()
131. 由于异种金属之间性能上的差别很大, 所以焊接异种金属比焊接同种金属困难得多。()
132. 对于不同高度梁的对接, 应有一过渡段, 焊缝应尽可能在过渡段部位()
133. 焊接方向对控制梁的焊接变形是很重要的。不同的焊接方向引起的焊接变形不同。()
134. 铝和铝合金焊接时, 只有采用直流正接才能产生“阴极破碎”作用, 去除工件表面的氧化膜。()
135. CO₂ 气路内的预热器, 其作用是防止瓶阀和减压阀冻坏或气路堵塞。()
136. CO₂ 气路内的干燥器, 其作用是吸收 CO₂ 气体中的水分。()
137. 半自动焊枪根据焊丝送给方式, 又分为推丝式和拉丝式两种。()
138. 碳弧气刨的电源极性应根据被刨金属材料进行选择。()
139. 逆变直流焊机是将工频交流电整流为直流后, 再经过大功率开关器件的快速开关作用, 逆变为中高频交流, 再经整流而输出直流的焊机。()
140. 焊接电源适应焊接电弧变化的特性, 叫做焊接电源的动特性。()
141. 焊机的空载电压一般不超过 100V, 否则将对焊工产生危险。()
142. 焊机的负载持续率高, 可以使用的焊接电流就越大。()
143. 弧长变化时, 焊接电流和电弧电压都要发生变化。()
144. 在焊机上调节电流实际上就是调节外特性曲线。()
145. 弧焊电源的种类应根据焊条药皮的性质来进行选择。()
146. 焊条电弧焊用的交、直流焊机均可作为钨极氩弧焊的电源。()
147. CO₂ 气体保护焊的电弧静特性曲线是一条上升的曲线。()
148. 多层多道焊对金属的塑性、韧性等有不利影响。()
149. 左焊法是指焊接热源从接头右端向左端移动, 并指向待焊部分的操作方法。()
150. 增加焊接电流可以有效地减少磁偏吹。()
151. 飞溅是影响电弧稳定性的因素之一。()
152. 清除焊件表面的铁锈、油、漆等污物, 其目的是提高焊缝金属的强度。()
153. 实际生产中, 焊条电弧焊控制焊接速度的可行办法是控制每根焊条的焊接长度。()
154. 埋弧焊采用船形位置焊接的主要特点是会得到“凹”形焊缝。()
155. 埋弧焊的缺点之一是对气孔的敏感性比较大。()

156. 焊接管道时，管内充氩的目的是防止在焊接高温的作用下焊缝背面产生氧化和过烧。
()
157. 钨极尖端沾上填充金属或熔池金属后，电弧会变得不集中，不稳定，甚至旋转。
()
158. 钨极氩弧焊时，为保证氩气的保护效果，钨极伸出喷嘴的长度应尽可能短，以不妨碍焊工观察为宜。
()
159. 钨极氩弧焊属于熔化极电弧焊。
()
160. CO₂ 气体保护焊焊接低碳钢和低合金钢时难以避免产生气孔。
()
161. 用自保护药芯焊丝焊接时必须要外加保护气体。
()
162. CO₂ 气体保护焊电源采用直流正接时，产生的飞溅要比直流反接时严重得多。
()
163. CO₂ 气体保护焊时，产生的气孔主要是由于保护气层破坏，使得空气入侵而形成的氮气孔。
()
164. CO₂ 气体保护焊时，熔滴不应呈粗粒状过渡，因为此时飞溅加大，焊缝成形恶化。
()
165. CO₂ 气体保护焊时，应先引弧再通气，才能保持电弧的稳定燃烧。
()
166. CO₂ 气体在电弧高温下会发生分解，所以 CO₂ 气体保护焊时，焊缝具有良好的力学性能。
()
167. 不论焊丝直径粗细，CO₂ 气体保护焊时熔滴均应采用短路过渡的形式，才能获得成形良好的焊缝。
()
168. 熔化极电弧焊时，熔化焊条（或焊丝）的主要热量是电弧热。
()
169. 熔深大是熔化极氩弧焊的优点之一。
()
170. 药芯焊丝 CO₂ 气体保护焊属于气-渣联合保护。
()
171. 预防 CO₂ 气体保护焊产生气孔的措施之一是焊丝中增加脱氧元素。
()
172. 所有角焊缝中，焊脚尺寸总是等于焊脚。
()
173. 上坡焊时，焊缝厚度和余高都增加。
()
174. 焊接速度变化时，对焊缝的形状几乎没有影响。
()
175. 焊接电压增加时，焊缝厚度和余高将略有减小。
()
176. T 形、十字形和角接接头处于平焊位置进行的焊接叫船形焊。
()
177. 开坡口的目的是保证焊件可以在厚度方向上全部焊透。
()
178. 选择适当的坡口形式是保证获得高质量的焊接接头的因素之一。
()
179. 钨极氩弧焊焊接铝及铝合金常采用右向焊法。
()
180. 黄铜比纯铜焊接时出现的问题是锌的蒸发。
()
181. 青铜的焊接性比纯铜和黄铜都差。
()
182. 铜及铜合金的焊接方法很多，熔焊是应用最广泛、最容易实现的工艺方法。
()
183. 钛合金焊接时焊缝容易产生热裂纹。
()
184. 钛合金的焊接方法很多，气焊、焊条电弧焊、埋弧焊、氩弧焊、真空电子束焊等都能得到很好的焊接质量。
()
185. 钛及钛合金焊接目前应用最广泛的方法是焊条电弧焊。
()
186. 钛合金组焊时，焊工必须戴洁净的手套，严禁用铁器敲打。
()
187. 钛合金钨极氩弧焊时，喷嘴加拖罩的目的是为了加强对焊缝的保护。
()
188. 当两种金属的线膨胀系数和热导率相差很大时，焊接过程中会产生很大的热应力。
()

189. 焊接异种钢时，必须加填充金属，并采用小热输入，以减小熔合比。（ ）
190. 不锈复合钢板焊接复层和基层的交界处，应按异种钢焊接原则选择焊接材料。（ ）
191. 纯铝和防锈铝气孔倾向大。（ ）
192. 铝及铝合金焊后清理的目的是清除残留在焊缝及邻近区域的熔剂，以防腐蚀焊件。（ ）
193. 小直径珠光体耐热钢管子焊接时，较合适的焊接方法是钨极氩弧焊。（ ）
194. 珠光体耐热钢焊接时，必须根据等强度的原则，选择与母材强度相一致的焊条。（ ）
195. 铁素体不锈钢目前只采用焊条电弧焊进行焊接。（ ）
196. 铁素体不锈钢可以用奥氏体不锈钢焊条进行焊接。（ ）
197. 奥氏体不锈钢焊条的使用电流值应比相同直径的低碳钢焊条降低 20% 左右。（ ）
198. TIG 焊接不锈钢时，当焊缝表面呈金黄色时，表示气体保护效果最好。（ ）
199. 不锈钢钨极氩弧焊专用的药芯焊丝熔化后产生少量熔渣，足以在背面无氩气保护的情况下保护焊缝背面。（ ）
200. Q345R 钢焊前必须进行预热，并一定要采用碱性焊条，以免焊缝中产生裂纹。（ ）
201. 异种钢焊接时，预热温度应根据合金成分高的一侧或焊接性差的一侧进行选择。（ ）
202. 焊缝余高及对口错边、棱角超标会引起应力集中，降低疲劳寿命。（ ）
203. 将焊缝余高打磨掉可减低焊接接头的应力集中。（ ）
204. 低温容器不允许采用未焊透的焊接结构。（ ）
205. 焊件的拘束应力是产生焊接应力的原因之一。（ ）
206. 加热时，焊件不能自由膨胀；冷却时，焊件能自由收缩，则焊后产生的焊接应力最小。（ ）
207. 咬边不会引起应力集中和减少承载能力。（ ）
208. 一般情况下，焊条电弧焊的热影响区宽度比埋弧焊的热影响区宽度要小。（ ）
209. 为减小焊接应力，应先焊接结构中收缩量最大的焊缝。（ ）
210. 焊件的刚性越大，则焊后变形越大，焊后残余应力越小。（ ）
211. 焊接梁和柱时，极易在焊后产生弯曲变形、角变形和扭曲变形。（ ）
212. 利用反变形法可以克服梁的角变形和弯曲变形。（ ）
213. 对梁变形的矫正方法有机械矫正法和火焰矫正法。（ ）
214. 凹形角焊缝的应力集中要比凸形角焊缝小得多。（ ）
215. 搭接接头由于钢板之间连接的面积较多，所以是一种强度较高的接头形式。（ ）
216. 焊件焊后的纵向和横向收缩变形可以通过预留收缩余量来进行控制。（ ）
217. 焊件的纵向收缩和横向收缩在焊接过程中是同时产生的。（ ）
218. 焊件的装配间隙越大，横向收缩量也越大。（ ）
219. 焊件的刚性越大，则焊后变形越大，焊后残余应力越小。（ ）
220. 焊缝如果不在焊件的中性轴上，则焊后将会产生弯曲变形。（ ）
221. 焊缝尺寸的大小对焊接残余变形有影响。（ ）
222. 焊缝不对称时，应该先焊焊缝少的一侧，以减少弯曲变形量。（ ）
223. 刚性固定可减小薄板焊接波浪变形。（ ）
224. 对于厚度较大，刚性较强的焊件，可以利用三角形加热来矫正其焊接残余变形。（ ）

225. 电弧焊时, 产生应力和变形的根本原因是电弧的高温对焊件局部加热的结果。()
226. 锤击焊缝是减小焊接残余应力行之有效的一种方法。()
227. 采用刚性固定法焊接时, 焊件能够减小焊接应力, 增大焊接变形。()
228. 普通低合金结构钢常用预热法来减少焊后的残余应力。()
229. 角变形是由焊缝截面形状不对称或施焊层次不合理引起的。()
230. 角变形产生的原因是焊缝横向收缩在厚度方向上分布不均匀。()
231. 火焰矫正变形时, 火焰应该采用中性焰。()
232. 火焰加热温度越高, 则矫正变形的效果越大, 所以利用火焰加热矫正法时, 加热的温度越高越好。()
233. 焊接应力和变形在焊接时是必然要产生的, 是无法避免的。()
234. 焊接容器进行水压试验时, 同时具有降低焊接残余应力的作用。()
235. 焊接接头中出现十字焊缝是很理想的, 因为这时焊缝中仅产生线应力。()
236. 焊件中的残余应力焊后必须进行消除, 否则将对整个焊接结构产生严重影响。()
237. 梁、柱、管道等长焊缝焊后的变形主要是弯曲变形。()
238. 焊件焊后进行整体高温回火, 既可以消除应力, 又可以消除变形。()
239. 装配顺序对焊接变形没有影响。()
240. 辊压法可以用来消除薄板变形。()
241. 在同样厚度的焊接条件下, U形坡口的变形比V形小。()
242. 由于不锈钢的线膨胀系数比低碳钢大, 所以焊后的残余变形比低碳钢大。()
243. 消除波浪变形最好的方法是将焊件焊前预先进行反变形。()
244. 同样厚度的焊件, 单道焊比多层多道焊产生的焊接变形小。()
245. 使焊件自由收缩有利于减小焊接应力。()
246. 不要求进行全部无损检测的压力容器, 局部检测的部位由制造单位根据实际情况指定, 但是应当包括A、B类焊缝交叉部位及将被其他元件覆盖的焊缝部分。()
247. 压力容器经过局部无损检测的焊接接头, 如果在检测部位发现超标缺陷时, 应当在该缺陷两端的延伸部位各进行不少于250mm的补充检测; 如果仍然存在不允许的缺陷, 则对该焊接接头进行全部检测。()
248. 压力容器中公称直径大于或者等于250mm的接管焊接接头的无损检测方法、检测比例和合格级别与压力容器壳体主体焊接接头的要求相同。()
249. 缺欠是在焊接接头与母材中, 无损检测标准中允许存在的不连续部位。()
250. 定位焊缝不得有裂纹、否则应清除重焊。如存在气孔、夹渣时也应去除。()
251. 熔入永久焊缝内的定位焊缝两端应便于接弧, 否则应予修整。()
252. 力学性能、耐腐蚀性能不符合要求, 属于焊接缺陷。()
253. 焊接速度过快, 易造成未焊透、未熔合及焊缝成形不良等缺陷。()
254. 锅炉、压力容器、压力管道焊缝表面不得存在裂纹、气孔、弧坑等缺陷。()
255. 磁粉检测可以检查焊缝内部有无气孔、夹渣等缺陷。()
256. 射线检测底片上的白色带表示焊缝, 白色带中的黑色斑点或条纹表示缺陷。()
257. 焊条电弧焊时, 产生气孔的一个原因是坡口角度过小。()
258. 普通低合金结构钢焊接时的主要问题是在焊接接头中容易产生热裂纹。()
259. 预防热裂纹的措施之一是采用多层多道焊。()
260. 不锈钢焊接要严格控制焊接热输入, 这是防止晶间腐蚀倾向的重要措施。()
261. 未焊透是接头根部未完全熔透而留有间隙的部分。()

262. 在进行埋弧焊操作时,如果焊接速度相对过快,易造成未焊透、未熔合及焊缝成形不良等缺陷。()
263. 焊缝返修一定要找准缺陷部位、深度、内外侧及缺陷性质、数量。()
264. 药芯焊丝比实心焊丝容易出气孔。()
265. 产生咬边的一个原因是焊接电流太大,焊速过快。()
266. 产生未焊透的一个原因是双面焊时背面清根不彻底。()
267. 产生未焊透的一个原因是焊接电流太小,焊速过快。()
268. 产生热裂纹的一个原因是焊接区存在拉伸应力的作用。()
269. 产生冷裂纹的一个原因是焊接接头存在较大的拉伸应力。()
270. 背面内凹虽然削弱了焊缝的有效截面积和强度,但不会造成应力集中。()
271. 焊接结构中的裂纹是产生脆性断裂的重要原因。()
272. 奥氏体不锈钢的冷裂倾向小。()
273. 清除碳钢低合金钢超标缺陷的方法一般是使用碳弧气刨和砂轮打磨。()
274. 冷裂纹是焊接低碳钢、奥氏体不锈钢常见的裂纹。()
275. 预防咬边的一个措施是正确掌握运条技术。()
276. 未熔合所形成的尖锐缝隙,承载后应力集中极易产生裂纹。()
277. 未焊透降低了接头强度,减小了焊缝承载能力,但承载后不容易产生裂纹。()
278. 熔池凝固太快熔渣来不及浮出,会产生夹渣。()
279. 热裂纹是熔池凝固前产生的裂纹。()
280. 裂纹是焊接接头中最危险的缺陷,但裂纹尖端不一定存在应力集中现象。()
281. 控制焊接电流不能预防咬边。()
282. 弧坑削弱了焊缝强度,同时在弧坑内很容易产生气孔微小裂纹。()
283. 烘干焊条和焊剂是减少焊缝金属含氢量的重要措施之一。()
284. 焊瘤不仅使焊缝表面质量不美观,而且会造成应力集中。()
285. 焊缝中产生夹渣缺陷是因为焊工没有认真清理焊道,与其操作水平无关。()
286. 焊缝余高对焊缝可起加强作用。()
287. 焊缝外观形状和尺寸一般指余高、焊缝宽度、焊脚尺寸等。()
288. 对接接头的应力集中主要产生在焊趾处。()
289. 对要求进行硬度检查的焊口,硬度检查部件应包括母材、焊缝和热影响区。()
290. 焊工操作技能考试试件焊缝表面不得有裂纹、未熔合、夹渣、夹钨、气孔、焊瘤和未焊透。()
291. 焊工操作技能考试机动焊和自动焊的焊缝表面不得有咬边和凹坑。()
292. 焊工焊接操作技能考试管材角焊缝和管板接头试件,金相检验试样包含全部焊缝区、熔合区和热影响区。()
293. 焊工焊接操作技能考试宏观金相检验采用目视或者5倍放大镜检验。()
294. 焊工焊接操作技能考试金相检验气孔或者夹渣的尺寸不得超过1.5mm。()
295. 焊工焊接操作技能考试金相检验允许有裂纹和未熔合。()
296. 《特种设备作业人员证》逾期未申请复审、复审不合格者,其证件失效,由发证机关予以注销并公告。()
297. 焊机操作工指操作机动焊、自动焊设备的焊工。()
298. 手工焊焊工的所有考试试件,第一层焊缝长度中部附近至少有一个停弧再焊接头,焊机操作工考试时,中间不得停弧。()

299. 采用不带衬垫试件进行焊接操作技能考试时，必须从单面焊接。（ ）
300. 焊工考试时，对接焊缝试件、角焊缝试件、管板角接头试件，均要求全焊透。（ ）
301. 焊工考试试件的焊缝表面应当是焊后原始状态，焊缝表面没有加工修磨或者返修。（ ）
302. 考试试件各种焊缝表面不得有裂纹、未熔合、夹渣、夹钨、气孔和未焊透，机动焊和自动焊的焊缝表面不得有咬边和凹坑。手工焊焊缝表面的咬边和背面凹坑不得超过规定。（ ）
303. 特种设备焊工考试只需要任意考一个项目，就可以从事其他焊接方法和不同焊接位置的所有焊缝。（ ）
304. 单面焊焊接试件的背面焊缝宽度可不测定。（ ）
305. 《特种设备焊接作业人员考核细则》第二条规定：本细则适用于从事《特种设备安全监察条例》中规定的锅炉、压力容器（气瓶，下同）、压力管道和电梯、起重机械、客运索道、大型游乐设施、场（厂）内专用机动车辆焊接操作人员的考核。（ ）
306. 《特种设备焊接作业人员考核细则》第三十二条规定：以考试作弊或者以其他欺骗方式取得《特种设备作业人员证》的焊工，吊销证书后3年内不得重新提出焊工考试申请。（ ）
307. 试件位置代号1G表示板材对接平焊或者是管材对接水平转动焊。（ ）
308. 试件位置代号2G是表示板材对接横焊或管材对接垂直固定焊。（ ）
309. 试件位置代号3G是表示板材对接立焊。（ ）
310. 试件位置代号4G是表示板材对接仰焊。（ ）
311. 试件位置代号5G是表示管材对接水平固定位置焊。（ ）
312. 试件位置代号6G是表示管材对接45°固定位置焊。（ ）
313. 试件位置代号2FG是表示管板插入垂直固定位置焊。（ ）
314. 试件位置代号5FG是表示管板插入水平固定位置焊。（ ）
315. 试件位置代号6FG是表示管板插入45°固定位置焊。（ ）
316. 焊接方法代号SMAW表示焊条电弧焊。（ ）
317. 焊接方法代号SAW表示埋弧焊。（ ）
318. 焊接方法代号GMAW表示熔化极气体保护焊。（ ）
319. 焊接方法代号GTAW表示钨极气体保护焊。（ ）
320. 焊接方法代号FCAW表示药芯焊丝电弧焊。（ ）
321. 金属材料类别代号FeⅠ代表低碳钢，如Q245R。（ ）
322. 金属材料类别代号FeⅡ代表低合金钢，如Q345R。（ ）
323. 金属材料类别代号FeⅢ代表Cr≥5%的铬钼钢、铁素体、马氏体钢，如1Cr5Mo、06Cr13等。（ ）
324. 金属材料类别代号FeⅣ代表奥氏体、奥氏体与铁素体双相钢，如06Cr19Ni10、022Cr23Ni5Mo3N等。（ ）
325. 金属材料类别代号CuⅠ代表纯铜，CuⅡ代表铜锌合金和铜锌锡合金，CuⅢ代表铜硅合金、CuⅣ代表铜镍合金、CuⅤ代表铜铝合金。（ ）
326. 金属材料类别代号NiⅠ代表纯镍，NiⅡ代表镍铜合金，NiⅢ代表镍铬铁合金和镍铬钼合金、NiⅣ代表镍钼铁合金、NiⅤ代表镍铁铬合金。（ ）
327. 金属材料类别代号AlⅠ代表纯铝和铝锰合金，AlⅡ代表铝镁合金（Mg≤4%），AlⅢ代表铝镁硅合金，AlⅣ代表铝镁合金（Mg≥4%）。（ ）

328. 金属材料类别代号 Ti I 代表低强纯钛和钛钯合金, Ti II 代表高强纯钛和钛钼镍合金。()
329. 填充金属材料类别代号 Fef3J 代表药皮呈低氢型、碱性的碳钢焊条、低合金钢焊条、马氏体钢焊条、铁素体钢焊条。()
330. 填充金属材料类别代号 Fef4J 代表药皮呈碱性的奥氏体焊条、奥氏体与铁素体双相钢焊条。()
331. 填充金属材料类别代号 FefS 代表全部钢焊丝。()
332. 填充金属材料类别代号 NifS1 代表纯镍焊丝。()
333. 填充金属材料类别代号 TifS1 代表纯钛焊丝。()
334. 焊工进行焊接操作技能考试时, 镍与镍合金母材可以用奥氏体不锈钢代替。()
335. 焊接操作技能考试可以由一名焊工在同一试件上采用一种焊接方法进行, 也可以由一名焊工在同一试件上采用不同焊接方法进行组合考试, 或者由 2 名以上(含 2 名)焊工在同一试件上采用相同焊接方法或者不同焊接方法进行组合考试, 但是由 3 名以上(含 3 名)焊工的组合考试, 试件厚度不得小于 20mm。()
336. 钛材焊缝和热影响区的表面颜色检查, 银白色、金黄色(致密)为合格, 蓝色、灰色、暗灰色与黄色粉状物均为不合格。()
337. 焊工考试包括基本知识考试和焊接操作技能考试两部分。其中焊接操作技能采用施焊试件并且进行检验评定的方法。()
338. 改变或者增加母材种类(如钢、铝、钛等)的应当进行相应的基本知识考试。()
339. 被吊销《特种设备作业人员证》的焊工重新申请考试的焊工可以不参加基本知识考试。()
340. 焊工基本知识考试合格或不合格均能参加焊接操作技能考试, 焊工基本知识考试成绩有效期 1 年。()
341. 板材对接焊缝试件、管材对接焊缝试件和管板角接头试件, 分为带衬垫和不带衬垫两种。试件和焊件的双面焊、角焊缝, 焊件不要求焊透的对接焊缝和管板角接头, 均视为带衬垫。()
342. 焊工焊接操作技能考试通过检验试件进行评定, 各试件按照规定的检验内容逐项进行, 每个试件只要有一项检验要求合格时, 该考试项目为合格。()
343. 焊工考试试件焊缝的余高和宽度可用焊缝检验尺测量最大值和最小值, 不取平均值。()
344. 焊工考试属于一个考试项目的所有试件外观检查的结果均符合各项要求, 该项试件的外观检查为合格, 否则为不合格。()
345. 焊工考试试件镍和镍合金、钛和钛合金其焊缝表面均不得有咬边。()
346. 焊工考试堆焊试件两相邻焊道之间的凹下量不得大于 1mm, 焊道间搭接接头的不平度在试件范围内不得超过 1.5mm。()
347. 焊工考试试件焊缝外形尺寸规定: 焊缝边缘直线度 f , 手工焊 $f \leq 2\text{mm}$, 机动焊与自动焊的 $f \leq 3\text{mm}$ 。()
348. 焊接操作技能考试时, 试件的焊接位置可以改变。()
349. 焊接操作技能考试时, 试件的焊接位置不得改变, 管材对接焊缝和管板角接头 45°固定试件, 管轴线与水平面的夹角应为 $45^\circ \pm 5^\circ$ 。()
350. 水平固定试件和 45°固定试件, 应当在试件上标注焊接位置的钟点标记, 定位焊缝不得在“6 点”标记处。()

351. 焊工在进行管材向下立焊试件操作技能考试时, 严格按照钟点标记固定试件位置, 并且只能从“12点”标记处起弧, “6点”标记处收弧。()
352. 焊工只要有焊工证, 就可以承担特种设备焊接工作。()
353. 持证焊工应当按照《特种设备焊接作业人员考核细则》的规定, 承担与合格项目相应的特种设备焊接工作。()
354. 年龄超过55岁的焊工, 需要继续从事特种设备焊接作业, 根据情况由发证机关决定是否需要进行考试。()
355. 与焊接操作技能有关的要素有: 焊接方法、焊接方法的机动化程度、金属材料类别、填充金属类别、试件位置、衬垫、焊缝金属厚度、管材外径、焊接工艺因素。()
356. 焊缝不能单独存在, 焊缝位置基本上由试件位置决定。()
357. 板材对接焊缝试件的位置有四种, 即平焊、横焊、立焊和仰焊。()
358. 焊接操作技能考试合格的焊工, 当变更焊剂型号、保护气体种类、钨极种类时, 不需要重新进行焊接操作技能考试。()
359. 手工焊焊工向下立焊试件考试合格后, 不能免考向上立焊, 反之可以。()
360. 焊机操作工采用螺柱焊试件, 经过仰焊位置考试合格后, 适用于任何位置的螺柱焊焊件; 其他位置考试合格后, 只适用于相应位置的焊件。()
361. 手工焊焊工通过板材对接1G位置后, 可以焊相同位置任意直径的管材对接。()
362. 手工焊焊工通过板材对接1G位置后, 可以焊相同位置的板材对接、直径 $\geq 76\text{mm}$ 的管材对接和角焊缝。()
363. 焊工通过板材对接的平(1G)、横(2G)、立(3G)、仰(4G)任一个位置, 均适用于平焊(1G)。()
364. 焊工通过管板角接头试件6FG位置焊后, 适用于所有位置的管板角接头焊。()
365. 焊工通过管材对接试件6G位置焊后, 适用于向下立焊位置除外的所有位置对接焊缝和角焊缝。()
366. 气焊焊工采用带衬垫对接焊缝试件, 经焊接操作技能考试合格后, 适用于不带衬垫对接焊缝试件, 反之亦可。()
367. 焊机操作工采用对接焊缝试件或者管板角接头试件考试时, 母材规格由考试机构自定, 经焊接操作技能考试合格后, 适用于焊件焊缝金属厚度不限。()
368. 气焊焊工焊接操作技能考试合格后, 适用于焊件母材厚度与焊缝金属厚度不大于试件母材和焊缝金属厚度。()
369. 手工焊管材对接考试, 如果试件外径是 $\phi 57\text{mm}$, 那么适用于管材焊件的外径范围不限。()
370. 手工焊管材对接考试, 如果试件外径是 $\phi 57\text{mm}$, 那么只能焊接管材外径 $\geq \phi 25\text{mm}$ 的管子。()
371. 手工焊焊工采用管板角接头试件, 如果管材试件外径是 $\phi 57\text{mm}$, 那么只能焊接管材外径 $\geq \phi 25\text{mm}$ 的管板角接头, 管壁厚度不限。()
372. 手工焊焊工或者焊机操作工采用对接焊缝试件或者管板角接头试件, 经焊接操作技能考试合格后, 适用于角焊缝焊件, 且母材厚度和管径不限, 但受焊件位置的限制。()
373. 手工焊焊工或者焊机操作工采用管材角焊缝试件, 经焊接操作技能考试合格后, 手工焊焊工适用于管材角焊缝焊件尺寸是有范围的, 而焊机操作工不限。()
374. 焊接工艺因素代号只要有改变, 焊工都需要重新进行焊接操作技能考试。()
375. 焊接工艺因素有的代号改变, 焊工需要重新进行焊接操作技能考试。()

376. 手工焊焊工或者焊机操作工采用堆焊试件考试合格后，适用于焊件的堆焊层厚度是不限的，但适用于焊件母材厚度是有限的。（ ）
377. 焊机操作工考试时，不允许加引弧板和引出板。（ ）
378. 焊工考试的每个试件应当先进行外观检查，合格后再进行其他项目检验，如射线检测、弯曲试验、宏观金相检验等。（ ）
379. 焊工考试的焊缝外形尺寸也是有要求的，比如焊缝边缘直线度、角焊缝的凸或凹度、角焊缝的焊脚尺寸等。（ ）
380. 焊工考试的焊缝边缘直线度，手工焊要求 $\leq 2\text{mm}$ ，机动焊与自动焊要求 $\leq 3\text{mm}$ 。（ ）
381. 不带衬垫的板材对接焊缝试件、不带衬垫的管板角接头试件和外径不小于76mm的管材对接焊缝试件，背面焊缝的余高不大于3mm。（ ）
382. 板材对接焊缝试件焊后变形角度小于或者等于 3° ，（有色金属小于或者等于 10° ），试件错边量不得大于10%板厚，且小于或者等于2mm。（ ）
383. 《特种设备焊接操作人员考核细则》规定报名参加考试的焊工应具有初中以上（含初中）学历。（ ）
384. 《特种设备焊接操作人员考核细则》规定：手工焊焊工考试板材试件厚度大于10mm时，允许用焊接卡具或者其他办法将板材试件刚性固定。（ ）
385. 《特种设备焊接操作人员考核细则》规定：埋弧焊操作工采用某类别任一钢号，经考试合格后，焊接其他类别钢号时，不需要重新进行考试。（ ）
386. 《特种设备焊接操作人员考核细则》规定：基本知识考试满分为100分，不低于70分为合格。（ ）
387. 焊工和签署意见的用人单位或者培训机构应当对《特种设备焊接操作人员考试申请表》《特种设备焊接操作人员复审申请表》中的内容真实性负责。（ ）
388. 焊工解除聘用关系后，原用人单位有责任向发证机关提供焊工焊接档案资料。（ ）
389. 熔入锅炉、压力容器、压力管道受压元件的永久焊缝内的定位焊缝及受压元件与非受压元件间的焊缝可以不按《特种设备焊接操作人员考核细则》进行考试。（ ）
390. 《特种设备焊接操作人员考核细则》规定：手工焊焊工的所有考试试件，第一层焊缝长度中部附近至少有一个停弧再焊接头。（ ）
391. 管子水平固定位置焊接时，有仰焊、立焊、平焊位置，所以焊条的角度随着焊接位置的变化而变换。（ ）
392. 乙炔钢瓶只能直立存放和使用。（ ）
393. 低尘低毒焊条适用于密闭容器和通风不良的场合焊接。（ ）
394. 对于在比较潮湿环境下或在金属容器内部进行焊接，安全电压的数值规定为36V。（ ）
395. 用酸性焊条焊接时，药皮中的萤石在高温下会产生氟化氢有毒气体。（ ）
396. 为了工作方便，工作服的上衣应系在工作裤内。（ ）
397. 焊工工作服一般用合成纤维织物制成。（ ）
398. 在有易燃易爆物品的场合焊接时，鞋底应有鞋钉，以防滑倒。（ ）
399. 焊接场地应符合安全要求，否则会造成火灾、爆炸、触电等事故的发生。（ ）
400. 面罩是防止焊接时的飞溅、弧光及其他辐射对焊工面部及颈部损伤的一种遮蔽工具。（ ）
401. 焊工在更换焊条时，可以赤手操作。（ ）

402. 焊条电弧焊施焊前, 应检查设备绝缘的可靠性, 接线的正确性, 接地的可靠性, 电流调整的可靠性等。()
403. 储存过易燃易爆物品的容器不可以直接用氧乙炔焰切割。()
404. 被化学物质或油脂污染的容器设备在动火前, 常用一嗅二看三测爆的方法预先检查。()
405. 可燃物质自燃点越高, 火灾的危险性就越大。()
406. 消除焊接车间有害烟尘的主要措施是加强通风。()
407. 在有易燃易爆气体或有毒气体的室内焊接, 应加强室内通风, 并戴好防毒面具。()
408. 为达到保护人体和设备安全所进行的焊机保护接零就是保护接地。()
409. 容器内焊接烟气太大, 可用氧气管插入通风。()
410. 密闭的容器不能随便切割或焊接。()
411. 裸露的电缆线不能在楼梯、扶手、潮湿的地方通过。()
412. 焊接作业处应离易燃易爆物品 3m 以外。()
413. 焊接电缆的绝缘应定期进行检查, 一般为每一年检查一次。()
414. 短时中断工作时, 焊钳要放在安全的地方, 防止焊钳与焊件之间短路而烧坏焊机。()
415. 高空作业时为了便于调节电流, 应将弧焊机放在高空脚手架上。()
416. 根据焊机的负载持续率来调节最大焊接电流, 才是合理安全使用焊机。()
417. 焊工的工作服、手套和绝缘鞋应保持干燥。()
418. 焊工要熟悉和掌握有关预防触电和触电后急救办法等知识, 严格遵守安全规程, 防止触电事故发生。()
419. 焊接操作中大量的金属烟尘主要来源于金属元素的蒸发和焊条药皮的蒸发、氧化。()
420. 电弧焊面罩既可防弧光和灼伤, 又可减轻烟尘和有害气体对人体的损害。()
421. 电焊线不能在起重吊运场所通过。()
422. 电焊设备的装设、检查和修理工作, 必须在切断电源后进行。()
423. 登高作业时, 为防止焊接电缆滑落, 应将焊接电缆缠绕在身上。()
424. CO₂ 气体保护焊时, 会生成对人体有害的一氧化碳气体, 应加强通风。()
425. CO₂ 气体一般不会爆炸, 离热源近些或在太阳下曝晒也无妨。()
426. 登高作业时, 应备有焊条、工具和小零件的专用工具袋, 以防坠落伤人。()
427. 严禁在起吊部件过程中, 边吊边焊接。()
428. 氧气、乙炔气瓶使用完必须将瓶内气体放空。()
429. 乙炔气体的橡胶软管在使用中发生脱落时, 应先将焊枪的火焰熄灭, 然后停止送气。()
430. 遇到焊工触电时, 应先迅速切断电源; 如果触电者呈昏迷状态, 应立即施行人工呼吸, 及时送到医院。()
431. 在潮湿地点进行焊接作业时, 地面应铺上绝缘板。()
432. 埋弧焊考试合格的焊工, 当变更焊剂型号时不需要重新进行焊接操作技能考试。()
433. 焊工具备 6G 项目合格证, 则可以从事平、横、立、仰四种位置的焊接工作。()
434. 自动焊是焊工操作焊机进行调节与控制工艺参数而完成的焊接。()
435. 机动焊是焊工操作焊机进行调节与控制工艺参数而完成的焊接。()

436. 操作机动焊、自动焊设备的焊工称为焊机操作工。()
437. 《特种设备作业人员证》的样式,证书编号方法由国家质量监督检验检疫总局统一规定。()
438. 特种设备作业人员,取得国家任何证书,都可从事特种设备作业。()
439. 特种设备作业人员考核发证工作由县以上各级质量技术监督部门分级负责。()
440. 焊工考试时,对接焊缝的试件需要做弯曲试验,这主要是检测焊接接头的塑性。()
441. 特种设备法律、法规和标准不是基本知识考试范围。()
442. 法规、安全技术规范有关焊接作业人员考核和管理规定是基本知识考试范围。()
443. 焊接方法不是与焊接操作技能有关的要素。()
444. 焊接方法的机械化程度不是与焊接操作技能有关的要素。()
445. 金属材料类别是与焊接操作技能有关的要素。()
446. 填充金属类别是与焊接操作技能有关的要素。()
447. 衬垫是与焊接操作技能有关的要素。()
448. 焊工考试试件因为要进行射线检测,所以不必进行外观检查。()
449. 焊接操作技能考试时,焊工必须按焊接工艺施焊。()
450. 特种设备的焊接作业包括承压焊和结构焊。()
451. 在同一种焊接方法中,自动焊焊工变更为机动焊焊工,不需要重新进行焊接操作技能考试。()
452. 在同一种焊接方法中,手工焊焊工变更为焊机操作工,不需要重新进行焊接操作技能考试。()
453. 由2名以上(含2名)焊工进行的组合考试,应当分别记录。()
454. 手工焊焊工向下立焊试件考试合格后,可以免考向上立焊。()
455. 手工焊焊工考试板材试件厚度小于或者等于10mm,允许刚性固定。()
456. 手工焊焊工考试板材试件厚度大于10mm时,允许试件在定位焊时预留反变形。()
457. 手工焊焊工考试板材试件厚度大于10mm时,不允许用焊接卡具或者其他办法将板材试件刚性固定。()
458. 手工焊焊工采用某类别任一钢号,经过焊接操作技能考试合格后,焊接该类别其他钢号时不需要重新进行焊接操作技能考试。()
459. 焊接操作技能考试属于同一个考试项目的所有试件外观检查的结果均符合各项要求,该项试件的外观检查为合格,否则为不合格。()
460. 4F表示板材对接焊缝试件仰焊位置。()
461. 3F表示板材对接焊缝试件立焊位置。()
462. 焊接缺陷的产生原因、危害、预防方法和返修不是基本知识考试范围。()
463. 焊缝外观检查方法和要求,无损检测方法的特点、适用范围是基本知识考试范围。()
464. 焊接应力和变形的产生原因和防止方法不是基本知识考试范围。()
465. 焊接质量控制系统、规章制度、工艺纪律基本要求不是基本知识考试范围。()
466. 焊接安全和规定,是基本知识考试范围。()
467. 焊接作业指导书、焊接工艺评定不是基本知识考试范围。()
468. 《特种设备作业人员监督管理办法》中作业人员种类不包括特种设备的焊接作业。

()

469. 焊工考试时，对手工焊的焊缝余高尺寸没有规定范围。()
470. 变更焊接方法，焊工不需要重新进行焊接操作技能考试。()
471. 单面焊的背面焊缝宽度可不测定。()
472. 焊缝金属厚度是焊接操作技能有关的要素。()
473. 焊接操作技能考试可以由一名焊工在同一试件上采用一种焊接方法进行。()
474. 焊接操作技能考试试件焊缝的余高和宽度可用焊缝检验尺测量最大值，不取平均值。

()

475. 焊接操作技能考试由3名以上(含3名)焊工的组合考试，试件厚度不得大于20mm。

()

476. 焊工考试编号需要在监考人员与焊工共同确认的情况下，在试件上标注焊工考试编号和考试项目代号。()

477. 首次取得的合格项目在第一次复审时，不需要重新进行考试。()

478. 第二次以后(含第二次)复审时，可以在合格项目内抽考。()

479. 焊工个人不得将复审资料直接提交原发证机关，申请复审。()

480. 跨地区作业的焊工，可以向作业所在地的发证机关申请复审。()

481. 违章操作造成特种设备事故的，原发证机关可吊销或撤销《特种设备作业人员证》。

()

482. 管材角焊缝试件焊接操作技能考试时，可在管-板角焊缝试件与管-管角焊缝试件中任选一种。()

二、单选题

1. 根据《特种设备安全监察条例》第八十六条规定：从事特种设备作业的人员，未取得相应特种作业人员证书上岗作业的和未对特种设备作业人员进行特种设备安全教育和培训的，由特种设备安全监督管理部门责令限期改正；逾期未改正的，责令停止使用或者停产停业整顿并处予()罚款。

- A. 2000元以上2万元以下 B. 2万元以上10万元以下 C. 10万元以上50万元以下

2. 根据《特种设备作业人员监督管理办法》第三十二条规定非法印制、伪造、涂改、倒卖、出租、出借《特种设备作业人员证》，或者使用非法印制、伪造、涂改、倒卖、出租、出借《特种设备作业人员证》的，并处予()罚款；构成犯罪的，依法追究刑事责任。

- A. 2000元以上2万元以下 B. 1000元以下 C. 1000元以上3万元以下

3. 压力容器焊接接头的表面质量，哪一项是错误的：()

- A. 不得有表面裂纹、未焊透、未熔合、表面气孔、弧坑、未填满和肉眼可见的夹渣等缺陷。焊缝与母材应当圆滑过渡 B. 角焊缝的外形应当凹形圆滑过渡 C. 按照疲劳分析设计的压力容器，应当去除纵、环缝的余高，使焊缝表面与母材表面平齐 D. 咬边及其他表面质量，没有什么要求

4. 压力容器无损检测方法不包括以下哪条：()

- A. 射线检测 B. 超声检测 C. 磁粉检测 D. 渗透检测 E. 涡流检测 F. 力学性能检测

5. 有关压力容器接管与壳体之间的D类焊接接头，下列说法错误的是()。

- A. 介质为易爆或者介质毒性为极度危害和调试危害的压力容器，要全焊透 B. 要求气压试验或者气液组合压力试验的压力容器，要全焊透 C. 第Ⅲ类压力容器，要全焊透 D. 低温压力容器，要全焊透 E. 疲劳设计的压力容器、直接受火焰加热的压力容器可以不用全焊透

6. 压力容器产品施焊前, 下列哪一项不需要进行焊接工艺评定。()
 A. 压力容器支座板之间的焊接 B. 受压元件焊缝及与受压元件相焊的焊缝 C. 熔入永久焊缝内的定位焊缝 D. 受压元件母材表面堆焊与补焊 E. 以上 B. C. D 项焊缝的返修焊缝
7. 根据危险程度, 《固定式压力容器安全技术监察规程》把适用范围内的压力容器划分为()类, 以利于进行分类监督管理。
 A. 二 B. 三 C. 四 D. 五
8. 关于焊接环境的说法, 焊接环境出现下列哪一种情况时, 可不用采取有效防护措施。()
 A. 风速: 气体保护焊大于 2m/s, 其他焊接方法大于 10m/s B. 相对湿度大于 90% C. 雨雪环境 D. 焊件温度低于 -20℃ E. 焊接车间
9. 锅炉、压力容器、压力管道的安全监察七环节是设计、制造、()、使用、检验、修理和改造。
 A. 返修 B. 检查 C. 安装 D. 检测
10. GB 150 对容器的焊接接头分为 A、B、C、D、E 五类, 其中 A 类是指()。
 A. 圆筒部分(包括接管)和锥壳部分的纵向接头、球形封头与圆筒连接的环向接头、各类凸形封头和平封头中的所有拼焊接头及嵌入式的接管或凸缘与壳体对接连接的接头 B. 壳体部分的环向接头 C. 法兰与壳体或接管连接的接头 D. 接管与壳体连接的接头 E. 非受压元件与受压元件的连接接头
11. GB150.4 中规定, 当 B 类焊接接头的两侧钢材厚度不等且超过规定时, 应采取()措施。
 A. 直接焊, 不用采取措施 B. 厚板削薄或采用堆焊方法将薄板边缘焊成斜面
12. GB150.4 中规定, 下列哪种焊接接头的附近不得采用钢印标志()。
 A. 碳钢容器 B. 常压容器 C. 低温容器和不锈钢容器的耐腐蚀表面 D. 都可以在焊接接头附近打钢印
13. GB150.4 中规定, C、D 类接头的焊脚尺寸, 在图样无规定时, 取焊件中较薄之厚度。补强圈的焊脚, 当补强圈的厚度不小于 8mm 时, 其焊脚尺寸等于补强圈厚度的 70%, 且不小于()。
 A. 6mm B. 8mm C. 10mm D. 12mm
14. GB150.4 中规定, 焊接接头表面不得有表面裂纹、未焊透、未熔合、表面气孔、弧坑、未填满、夹渣和飞溅物; 焊缝与母材应圆滑过渡; 角焊缝的外形应()圆滑过渡。
 A. 凹形 B. 凸形 C. 不作要求
15. 低温容器是指容器的设计温度低于()的容器。
 A. -10℃ B. -20℃ C. -30℃ D. -40℃
16. 在压力容器中, 筒体与封头等重要部件的连接均采用()接头。
 A. 对接 B. 角接 C. 搭接 D. T 形
17. 用于焊接压力容器主要受压元件的碳素钢和低合金钢, 其碳的质量分数不应大于()。
 A. 0.08% B. 0.10% C. 0.20% D. 0.25%
18. 焊接特种设备的焊工, 必须进行考试, 取得()后, 才能担任焊接工作。
 A. 电气焊工安全操作证 B. 特种设备焊接作业人员证 C. 中级焊工证 D. 高级焊工证
19. 压力容器相邻两筒节间的纵缝应错开, 其焊缝中心线之间的外圆弧长一般应大于筒体厚度的 3 倍, 且不小于()mm。

- A. 80 B. 100 C. 120 D. 15
20. 压力容器同一部位的返修次数不宜超过()次。
A. 1 B. 2 C. 3 D. 4
21. 锅炉压力容器压力管道是生产和生活中广泛使用的()的承压设备。
A. 提供动力 B. 换热和贮运 C. 固定式 D. 有爆炸危险
22. 锅炉压力容器压力管道大多数是焊接结构, 其焊接质量直接影响它们的()。
A. 安装位置 B. 结构特点 C. 生产周期 D. 使用安全
23. 根据《锅炉安全技术监察规程》的规定, 锅炉的受压元件不应采用()的办法修理。
A. 补焊 B. 挖补 C. 贴补 D. 更换
24. 按照《锅炉安全技术监察规程》的规定, 锅炉制造过程中, 没有预热措施不得进行焊接的环境温度为()。
A. 5℃以下 B. 0℃以下 C. -5℃以下 D. -10℃以下
25. 《固定式压力容器安全技术监察规程》规定, 压力容器制造中不宜采用()。
A. 角焊缝 B. 丁字焊缝 C. 十字焊缝 D. 端接焊缝
26. 焊接接头往往是造成锅炉压力容器压力管道损坏的薄弱环节, 其重要原因有三个, 但是()不是重要原因。
A. 存在焊接缺陷 B. 焊接接头区的应力较高 C. 焊接接头的使用条件 D. 焊接接头的组织和性能不均匀
27. 能源部标准 NB/T47018.1~47018.7—2011《承压设备用焊接材料订货技术条件》, 规定了用于承压设备的焊接材料比一般的焊材国家标准要求要()。
A. 低 B. 高 C. 都一样 D. 没什么特别的要求
28. 下列钢材中, 属于低合金钢的是()。
A. Q235-B B. Q345R C. 20G D. S30408
29. 钢中含铬量大于()的钢叫不锈钢。
A. 8% B. 13% C. 16% D. 18%
30. J422 焊条是()焊条。
A. 碱性 B. 酸性 C. 氧化性 D. 还原性
31. J507H 牌号中的“H”表示()焊条。
A. 高强度 B. 抗氢 C. 超低氢 D. 耐热钢
32. 当伸长率一定时, 焊接接头的强度越高, ()越低。
A. 脆性 B. 韧性 C. 塑性 D. 弹性
33. 奥氏体不锈钢产生晶间腐蚀的“危险温度区”是()。
A. 150~250℃ B. 250~450℃ C. 450~850℃ D. 850~1050℃
34. HJ431 牌号中, “HJ”表示埋弧焊用()焊剂。
A. 陶质 B. 烧结 C. 熔炼 D. 粘结
35. 埋弧焊用的焊接材料有焊丝、焊剂和()。
A. 保护气体 B. 衬垫 C. 电极 D. 引出板
36. 埋弧焊的焊丝, 既是(), 又是填充材料。
A. 电极 B. 送丝机 C. 引弧器 D. 焊剂
37. 埋弧焊的焊剂具有保护、()、成形、稳弧的作用。
A. 渗合金 B. 容易引弧 C. 防止裂纹 D. 容易脱渣
38. 埋弧焊焊丝按其芯部的结构和成分来分类, 有实芯焊丝和()焊丝两类。

- A. 镀铜 B. 热丝 C. 药芯 D. 空芯
39. 焊材一级库内的相对空气湿度应低于()。
A. 80% B. 60% C. 30% D. 50%
40. 焊缝金属在固态下的金相组织转变称为()结晶。
A. 液相 B. 一次 C. 二次 D. 三次
41. SJ101 牌号中, “SJ” 表示埋弧焊用()焊剂。
A. 陶质 B. 烧结 C. 熔炼 D. 粘结
42. 钨极是含()氧化铈的钨极, 是较理想的钨极。
A. 2% B. 5% C. 0.5% D. 15%
43. 氩气是一种()气体, 高温下不分解, 无色、无味。
A. 氧化性 B. 还原性 C. 惰性 D. 活性
44. 钨极氩弧焊常用的喷嘴材料是()。
A. 铝合金 B. 不锈钢 C. 纯铜 D. 陶瓷
45. 下列牌号中()是纯铝。
A. L1 B. LF6 C. LD2 D. LY3
46. 下列牌号中()是铝镁合金。
A. L1 B. LF6 C. LD2 D. LY3
47. 常见钢材中抗氧化性最好的是()。
A. 低碳钢 B. 低合金钢 C. 低温钢 D. 耐热钢
48. 常见钢材中耐腐蚀性最好的是()。
A. 低碳钢 B. 低合金钢 C. 低温钢 D. 不锈钢
49. 钢中随含碳量的增加, 钢的强度()。
A. 不变 B. 提高 C. 下降 D. 没有规律的变化
50. 铁碳合金中, 含碳量为()的部分是钢。
A. 小于 0.8% B. 0.8% ~ 0.2% C. 0.02% ~ 2% D. 大于 2%
51. 钢中主要的杂质是指()。
A. 硫及磷 B. 碳及硅 C. 硅及锰 D. 铬及镍
52. 低碳钢焊接时, 其焊接性(), 一般不需采取特殊的工艺措施, 如预热、缓冷等。
A. 一般 B. 不好 C. 良好 D. 极差
53. 含碳量小于或等于 0.25% 的钢是()。
A. 高碳钢 B. 中碳钢 C. 低合金 D. 低碳钢
54. 低温钢焊接时, 主要是保证焊接接头的()。
A. 强度 B. 韧性 C. 塑性 D. 硬度
55. 低合金钢中, 合金元素总含量为()。
A. 小于 3% B. 小于 5% C. 小于 7% D. 小于 10%
56. 常见耐热钢 12CrMo 中的“12”表示()。
A. 平均含铬量为百分之十二 B. 平均含铬量为万分之十二 C. 平均含碳量为万分之十二
D. 平均含钼量为万分之十二
57. 按合金元素总含量的不同, 把合金钢分为低合金钢、中合金钢及()。
A. 低碳钢 B. 高合金钢 C. 高碳钢 D. 耐热钢
58. 普通低合金高强度钢焊接时, 容易产生()。
A. 气孔及夹渣 B. 咬边及内凹 C. 淬硬及冷裂纹 D. 氧化及过热

59. 耐热钢中加入钼可以明显提高钢的()。
A. 耐腐蚀性 B. 低温性能 C. 焊接性能 D. 热强性能
60. 耐热钢焊接时,易产生()。
A. 淬硬及冷裂纹 B. 气孔及咬边 C. 夹渣及未熔合 D. 氧化及过热
61. 铬镍奥氏体不锈钢焊接时,应采取的主要工艺措施是()。
A. 小的热输入及强制冷却 B. 大电流及单道焊 C. 横向摆动焊 D. 预热及缓冷
62. 钢中加入适量的锰元素可以提高()。
A. 强度 B. 塑性 C. 抗氧化性 D. 耐腐蚀性
63. 不锈钢的含铬量应()。
A. 高于5% B. 高于12% C. 在5%~12%之间 D. 不限制
64. 不锈钢06Cr19Ni10中的“19”表示()。
A. 平均含铬量为19% B. 平均含铬量为0.19% C. 平均含镍量为19% D. 平均含镍量为0.19%
65. 不锈钢06Cr19Ni10中的“10”表示()。
A. 平均含铬量为10% B. 平均含镍量为10% C. 平均含铬量为0.10% D. 平均含镍量为0.10%
66. 铬镍奥氏体不锈钢焊接时,主要是产生()。
A. 气孔及夹渣 B. 淬硬及冷裂纹 C. 咬边及未熔合 D. 晶间腐蚀及热裂纹
67. 钢材中加入铬及镍,可以提高钢材的()。
A. 导电性 B. 导热性 C. 耐腐蚀性 D. 导磁性
68. 对于钢焊条来说,碱性焊条的药皮类型为()。
A. 钛铁矿型 B. 氧化铁型 C. 纤维素型 D. 低氢型
69. 采用碱性焊条进行焊接时,导致产生气孔的主要原因之一是()。
A. 短弧焊接 B. 焊条未烘干 C. 焊前工件未预热 D. 焊条的强度级别较高
70. 酸性焊条要根据受潮的具体情况,确定使用前是否烘干,烘干要求为()。
A. 50~100℃烘焙1~2h B. 100~200℃烘焙1~2h C. 200~250℃烘焙1~2h D. 250~300℃烘焙
71. 碱性焊条主要优点之一是()。
A. 脱渣性能较好 B. 电弧稳定 C. 对弧长无要求 D. 具有良好的抗裂性
72. 碱性焊条由于电弧中含氧量较低,焊接时如果遇到工件存在的铁锈或水分等,焊缝容易产生()。
A. 氧气孔 B. 氢气孔 C. 氮气孔 D. 一氧化碳气孔
73. 焊材库的焊接材料必须分类、分牌号、入库时间、批号、规格存放,并应有明确的标志,离地面不小于()m。
A. 0.2 B. 0.3 C. 0.4
74. 焊条、焊剂烘焙时应铺放平整,控制堆高在()以下以保证受热的均匀性并利于潮气排除。
A. 60mm B. 100mm C. 150mm
75. 焊条在储存期内,由于保管不善往往会吸潮,吸潮的焊条主要是()。
A. 工艺性能变坏 B. 抗拉强度下降 C. 焊接时烟尘量增加 D. 焊条的导电性能下降
76. 焊条药皮的主要作用之一是()。
A. 稳定电弧 B. 防止电弧偏吹 C. 减小焊接变形 D. 减小焊接应力

77. 焊条型号和焊条牌号不仅符号不同，而且表示的内容也有差别，焊条牌号增加了特殊性能的符号，但没有（ ）。

A. 焊接电流种类的代号 B. 药皮类型的代号 C. 熔敷金属抗拉强度的代号 D. 区别焊接位置的编号

78. 焊条使用前进行烘干的主要目的是（ ）。

A. 保证焊缝的抗拉强度 B. 去掉药皮中的水分 C. 降低药皮中的含氧量 D. 改善脱渣性能

79. 焊条药皮由多种材料组成，按药皮中的主要成分可分为：氧化钛型、钛钙型、钛铁矿型、氧化铁型、纤维素型、（ ）、石墨型、盐基型等类型。

A. 钛钙型 B. 碳酸钙型 C. 低氢型 D. 镍基型

80. 使用药皮吸潮后的低氢型焊条焊接，熔敷金属中的扩散氢含量（ ）。

A. 不变 B. 明显提高 C. 明显降低 D. 少量提高

81. 碱性焊条是药皮含有大量（ ）的焊条。

A. 碱性氧化物 B. 酸性氧化物 C. 中性氧化物 D. 二氧化硅

82. 焊条药皮的熔点是指药皮开始熔化的温度，又称为（ ）温度。

A. 造渣 B. 氧化 C. 脱氧 D. 造气

83. “R347”是铬和铬钼耐热钢焊条牌号完整的表示方法，牌号中的“R”表示（ ）。

A. 铬及铬钼耐热钢焊条 B. 焊条主要用途的符号 C. 焊条特殊用途的符号 D. 适用于压力容器焊

84. “J422”是结构钢焊条牌号完整的表示方法，其中“42”表示焊缝金属的（ ）。

A. 牌号的编号 B. 主要化学成分等级 C. 抗拉强度等级 D. 工作温度等级

85. “E4315”是碳钢焊条型号完整的表示方法，其中第三位阿拉伯数字是表示焊条的（ ）。

A. 药皮类型 B. 电流种类 C. 焊接位置 D. 化学成分代号

86. 酸性焊条的主要优点之一是（ ）。

A. 渗合金的效果较好 B. 有助于脱硫磷 C. 抗气孔能力较强 D. 熔敷金属冲击韧性较高

87. 焊条型号“E5016”对应的焊条牌号是（ ）。

A. J502 B. J506 C. J507 D. J557

88. 焊条型号“E4303”对应的焊条牌号是（ ）。

A. J421 B. J422 C. J426 D. J427

89. 焊条牌号“J507”，其中“7”表示焊条药皮类型为（ ）。

A. 氧化钛型 B. 低氢钠型 C. 低氢钾型 D. 钛铁矿型

90. 不锈钢焊条型号“E308-16”对应的焊条牌号（ ）。

A. A302 B. A307 C. A102 D. A107

91. 药芯焊丝是由薄钢带卷成圆形或异型钢管，同时在其中填满一定成分的（ ），经拉制而成的一种焊丝。

A. 药皮 B. 药粉 C. 金属 D. 无机物

92. “H08A”是实心焊丝牌号完整的表示方法。牌号的第一个字母“H”表示（ ）。

A. 焊丝 B. 焊接用钢 C. 焊接用实心焊丝 D. 焊接用药芯

93. CO₂气体保护焊时，焊丝的含碳量必须限制在0.10%以下，其主要目的是（ ）。

A. 提高焊缝脱氧能力 B. 减少飞溅 C. 改善焊缝成形 D. 减少合金元素过渡

94. CO₂气体保护焊用药芯焊丝的芯部粉剂的成分与焊条药皮成分相比，没有（ ）。

- A. 稳弧剂 B. 脱氧剂 C. 造渣剂 D. 粘结剂

95. CO₂气体保护焊用焊丝镀铜以后，既可防止生锈，又可改善焊丝的()。

- A. 导电性能 B. 导磁性能 C. 导热性能 D. 热膨胀性能

96. 焊接专用钢丝的牌号为“H08MnA”其末尾“A”表示()。

- A. 焊条用钢 B. 普通碳素钢焊丝 C. 高级优质钢焊丝 D. 特级钢焊丝

97. 焊丝牌号“H08Mn2SiA”中阿拉伯数字“08”表示焊丝的平均()。

- A. 含碳量 B. 含锰量 C. 含硅量 D. 焊丝的顺序号

98. “SJ501”是埋弧焊用烧结焊剂，“SJ”后第一位数字“5”表示焊剂熔渣类型为()。

- A. 铝钛型 B. 氟碱型 C. 高铝型 D. 硅锰型

99. “HJ431X”是熔炼型焊剂牌号的完整表示方法，“HJ”后面第一位数字“4”表示焊剂中氧化锰含量属于()。

- A. 无锰型 B. 低锰型 C. 中锰型 D. 高锰型

100. 埋弧焊用焊剂主要有两种类型，即熔炼焊剂和()。

- A. 陶质焊剂 B. 烧结焊剂 C. 粘结焊剂 D. 浮石状焊剂

101. 焊剂使用前应按说明书所规定的参数进行烘焙。通常熔炼焊剂烘焙要求是()。

- A. 150~200℃烘焙2h B. 200~250℃烘焙2h C. 250~300℃烘焙2h D. 300~350℃烘焙2h

102. 焊剂的作用与焊条药皮作用有相似之处。焊剂对焊缝起到渣保护作用等，但不起()作用。

- A. 脱氧 B. 渗合金 C. 气保护 D. 提高熔敷效率

103. 焊条药皮的作用不包括()。

- A. 稀渣作用 B. 造渣作用 C. 脱氧作用 D. 耐腐蚀作用

104. 不锈钢焊条型号中最后两位数字为“15”，表示该焊条为碱性药皮，适用于()焊接。

- A. 直流正接 B. 直流反接 C. 交流 D. 交直流均可

105. E5015焊条的药皮类型为()。

- A. 钛型 B. 钛钙型 C. 低氢型 D. 纤维素型

106. 钢材经过退火处理后，可以降低硬度，使钢的晶粒细化，消除()等。

- A. 内应力 B. 变形 C. 表面缺陷 D. 偏析

107. 钢材正火处理后，可以细化晶粒，提高()。

- A. 抗腐蚀性 B. 物理性能 C. 抗氧化性 D. 综合力学性能

108. 焊后消除应力热处理可以提高钢的()。

- A. 耐磨性 B. 硬度 C. 强度 D. 塑性及韧性

109. 焊接接头包括焊缝区、熔合区和()。

- A. 部分母材区 B. 部分组织转变区 C. 热影响区 D. 粗晶区

110. 焊后立即把焊件的全部或局部加热到250~350℃，保温2~6h，然后使其缓冷或空冷的工艺措施称为()。

- A. 后热处理 B. 焊后热处理 C. 焊接热循环 D. 高温回火

111. 焊接接头的组成不包括()。

- A. 焊缝 B. 熔合区 C. 热影响区 D. 弧柱区

112. 奥氏体不锈钢的稳定化热处理温度范围是()。

- A. 850~930℃ B. 600~650℃ C. 250~350℃ D. 1010~1150℃

113. 热影响区的组织和性能()。

A. 是不均匀的 B. 是均匀的 C. 与母材相同 D. 与焊接材料相同

114. 熔合比会影响焊缝的()。

A. 化学成分 B. 结晶速度 C. 冷却速度 D. 焊缝成形系数

115. 为改善焊缝金属的力学性能, 必须使焊缝中()。

A. 硫和磷含量尽量增多 B. 硫和磷含量尽量减少 C. 硫和磷保持一定数量 D. 硫和磷不允许存在

116. 下述四种焊接方法中, 热影响区较宽的是()。

A. 气焊 B. 焊条电弧焊 C. 埋弧焊 D. 手工钨极氩弧焊

117. 预热的作用是()。

A. 减小焊接应力 B. 保证成形美观 C. 防止未焊透 D. 减小焊接变形

118. 后热处理的作用是()。

A. 消除焊接应力 B. 减少焊接缺陷 C. 消氢 D. 减少焊接变形

119. 消氢处理的温度范围一般在()。

A. 150 ~ 200℃ B. 250 ~ 350℃ C. 400 ~ 450℃ D. 500 ~ 550℃

120. 焊后立即采取消氢处理的作用是()。

A. 防止气孔 B. 防止热裂纹 C. 防止冷裂纹 D. 防止再热裂纹

121. 电弧区内的气体对焊缝性能影响最大的是()。

A. 氮气、氧气、氢气 B. 二氧化碳、一氧化碳 C. 氩气 D. 少量的金属蒸气

122. 中厚板焊接时, 增加焊接层数, 焊接热输入减小, 有利于提高焊接接头的()。

A. 耐腐蚀性 B. 导电性 C. 强度及硬度 D. 塑性及韧性

123. 将金属加热到一定的温度, 并保持一定的时间, 然后以一定的冷却速度冷却到室温, 这个过程称为()。

A. 预热缓冷 B. 金属结晶过程 C. 焊接热循环 D. 热处理

124. 不锈耐酸钢按化学成分选择焊接材料, 其主要目的是保证焊接接头的()。

A. 抗腐蚀性 B. 高温性能 C. 抗裂性 D. 塑性

125. 对冷裂敏感的高强钢, 返修后要立即进行()。

A. 消氢 B. 焊后热处理 C. 预热 D. 压力试验

126. 焊后把低碳钢焊加热至 600 ~ 650℃, 保温一段时间, 然后随炉缓冷或降到一定温度后空冷的处理方法称为()。

A. 后热处理 B. 消除应力热处理 C. 正火处理 D. 调质处理

127. 淬火可以提高钢的硬度及()。

A. 耐磨性 B. 耐腐蚀性 C. 韧性 D. 塑性

128. 力学性能试验主要有拉伸试验, 硬度试验及()等。

A. 冲击试验 B. 金相试验 C. 水压试验 D. 焊接性试验

129. 金属材料在一定温度及外力作用下, 抵抗变形及断裂的能力, 称为()。

A. 化学性能 B. 物理性能 C. 力学性能 D. 加工工艺性能

130. 金属材料试样在拉断过程中, 单位面积所承受的最大拉力称为()。

A. 布氏硬度 B. 洛氏硬度 C. 屈服强度 D. 抗拉强度

131. 金属材料抵抗比它更硬的物体压入其表面的能力称为()。

A. 强度 B. 硬度 C. 韧性 D. 塑性

132. 焊缝中心形成的热裂纹一般是()。

A. 晶内偏析的结果 B. 晶间偏析的结果 C. 层状偏析的结果 D. 区域偏析的结果

133. 交流电弧焊机一般指()。
A. 弧焊变压器 B. 弧焊发电机 C. 弧焊整流器 D. 逆变焊机
134. 一般情况下允许施焊的环境最大相对湿度是()。
A. 60% B. 50% C. 80% D. 90%
135. 焊条电弧焊时, 焊接 J427 焊条应该采用()。
A. 长弧焊 B. 短弧焊 C. 快速 D. 慢速
136. 焊缝的基本符号“ I ”是()。
A. 焊缝开“ I ”形坡口 B. 平行焊缝 C. 搭接接头 D. 对称焊缝
137. 用埋弧焊进行中厚板焊接时, 如果收弧不当, 容易产生()。
A. 冷裂纹 B. 结晶裂纹 C. 弧坑裂纹 D. 再热裂纹
138. 采用 HJ431 焊剂焊接低碳钢时, 用交流电源的焊缝熔深比直流反接的要()。
A. 小 B. 大 C. 没有区别 D. 以上都不是
139. 焊接热输入太大时, 虽然可以降低焊后冷却速度, 但会使焊接热影响区增宽, 焊缝熔池金属在高温停留时间(), 对焊接接头的塑性和韧性不利。
A. 缩短 B. 不变 C. 增长 D. 以上都不是
140. 焊剂重复使用前, 必须(), 以除去渣、壳粉尘及杂物。
A. 挑选 B. 过筛 C. 掺入新焊剂 D. 烘干
141. 埋弧焊用焊剂垫的作用是防止()。
A. 裂纹 B. 过烧 C. 烧穿 D. 夹渣
142. 埋弧焊在盖面焊时, 为了获得平滑的焊缝表面应()。
A. 适当提高电压 B. 降低电压 C. 提高电流 D. 降低电流
143. 埋弧焊焊接方法属于()焊接方法的一种。
A. 电弧焊 B. 电阻焊 C. 钎焊 D. 气焊
144. ()焊接电源最容易由自身磁场引起磁偏吹现象。
A. 交流 B. 直流 C. 脉冲
145. 细丝 CO₂ 气体保护焊适于薄板的焊接, 调节规范的原则是产生稳定的()。
A. 短路过渡 B. 射流过渡 C. 亚射流过渡 D. 颗粒过渡
146. 手工钨极氩弧焊喷嘴至工件的距离是决定保护效果的重要参数, 一般为()。
A. 0 ~ 5mm B. 6 ~ 15mm C. 15 ~ 20mm D. 20 ~ 30mm
147. 手工钨极氩弧焊最常用的熄弧方法是()。
A. 电流衰减法 B. 反复熄弧法 C. 划圈法 D. 回焊法
148. 铝及铝合金焊前必须仔细清理焊件表面的原因是为了防止()。
A. 热裂纹 B. 冷裂纹 C. 气孔 D. 烧穿
149. 焊接铝及铝合金时, 在焊件坡口下面放置垫板的目的是为了防止()。
A. 热裂纹 B. 冷裂纹 C. 气孔 D. 塌陷
150. 铝合金焊接时焊缝容易产生()。
A. 热裂纹 B. 冷裂纹 C. 再热裂纹 D. 层状撕裂
151. 钨极氩弧焊焊接铝及铝合金常采用的电源及极性是()。
A. 直流正接 B. 直流反接 C. 交流 D. 直流正接或交流
152. 钨极氩弧焊焊接铝及铝合金采用交流焊的原因是()。
A. 飞溅小 B. 成本低 C. 设备简单 D. 具有阴极破碎作用和防止钨极熔化
153. 焊接梁的翼板和腹板的角焊缝时, 由于该焊缝长而规则, 通常采用自动焊, 并最好采

用()位置焊接。

- A. 角焊 B. 船形 C. 横焊 D. 立焊

154. 焊条电弧焊、钨极氩弧焊应该采用具有()形状的电源外特性曲线。

- A. 水平 B. 上升 C. 缓降 D. 陡降

155. 采用交流焊机时, ()不会引起焊接电流减小。

- A. 焊接电缆太长 B. 焊接电缆太粗 C. 焊接电缆成盘 D. 电缆接触不良

156. BX1—330型焊条电弧焊机是()弧焊变压器。

- A. 动铁心漏磁式 B. 动圈漏磁式 C. 同体式 D. 逆变式

157. 焊条电弧焊焊机型号中, 第一个字母“B”表示()。

- A. 弧焊变压器 B. 弧焊发电机 C. 弧焊整流器 D. 逆变器

158. 交流焊机过热的原因不包括()。

- A. 焊机外壳没有接地 B. 焊接电流过大 C. 连续使用时间过长 D. 线圈短路

159. 焊机型号 BX3—300 中, “300”表示()。

- A. 焊接电流 300A B. 额定电流 300A C. 短路电流 300A D. 空载电流 300A

160. 动圈式弧焊变压器是依靠()来获得下降外特性的。

- A. 漏磁 B. 串联电抗器 C. 活动铁心 D. 串联镇定变阻器

161. 直流弧焊机的空载电压为()。

- A. 380V B. 220V C. 50~90V D. 24~36V

162. ZX7 型弧焊机的外特性是()。

- A. 下降外特性 B. 水平外特性 C. 上升外特性 D. U形特性

163. 选择焊条电弧焊焊机的焊接电缆应根据焊机的()。

- A. 初级电流 B. 额定电流 C. 短路电流 D. 焊接电流

164. 焊条电弧焊焊机型号中, 第一个字母“Z”表示()。

- A. 弧焊变压器 B. 弧焊发电机 C. 弧焊整流器 D. 逆变器

165. 使用焊条电弧焊焊机时, 负载持续率增大, 则焊机许用电流()。

- A. 增大 B. 减小 C. 不变 D. 可大可小

166. ZX7—400 型弧焊机是()。

- A. 弧焊发电机 B. 弧焊变压器 C. 弧焊整流器 D. 逆变焊机

167. ()不是造成电弧偏吹的原因。

A. 焊条药皮偏心 B. 电弧侧向气流大 C. 电弧周围磁场(强度)分布不均匀 D. 焊工操作技术不好

168. 埋弧焊焊缝的自动跟踪系统的关键装置是()。

- A. 执行机构 B. 传感器 C. 控制线路 D. 原始对中

169. NSA2—300—1 型焊机是()。

- A. 埋弧焊焊机 B. 电渣焊焊机 C. 手工钨极氩弧焊焊机 D. CO₂ 气体保护半自动焊焊机

170. 手工钨极氩弧焊要求弧焊电源具有()。

- A. 陡降外特性 B. 水平外特性 C. 上升外特性 D. 动特性

171. 直流钨极氩弧焊时, 用高频振荡器的目的是()。

- A. 引弧 B. 消除直流成分 C. 减小飞溅 D. 消除交流成分

172. CO₂ 气体保护焊的电源通常采用()。

- A. 交流电 B. 直流反接 C. 直流正接 D. 高频电

173. NBC—200 型焊机是()。

A. 焊条电弧焊焊机 B. 埋弧焊焊机 C. CO₂ 气体保护半自动焊焊机 D. 氩弧焊焊机

174. 焊接时, 随着焊接速度的增加, 焊接热输入()。

A. 增大 B. 减小 C. 不变 D. 无规律变化

175. 焊接时, 随着焊接电流的增加, 焊接热输入()。

A. 无规律变化 B. 不变 C. 增大 D. 减小

176. 在其他条件不变的情况下, 焊接电流增大会引起()。

A. 熔深增大 B. 熔宽减小 C. 熔深减小 D. 焊条熔化速度减小

177. 焊接过程中, 焊条横向摆动主要是()。

A. 防止烧穿 B. 保证焊透 C. 控制焊缝余高 D. 保证焊缝宽度

178. 多层焊时, 为保证根部焊透, 打底焊缝使用的焊条直径与其他层焊缝相比应()。

A. 无规律变化 B. 不变 C. 大些 D. 小些

179. 采用相同焊条直径焊接时, 平焊位置与其他焊接位置的焊接电流相比应()。

A. 大些 B. 小些 C. 无规律变化 D. 不变

180. 焊条电弧焊时, 在工件板厚相同的条件下, 平焊位置与其他空间位置的焊条直径相比可()。

A. 不变 B. 小些 C. 大些 D. 无规律变化

181. 焊条电弧焊时, 若电弧增长, 则电弧电压()。

A. 无规律变化 B. 不变 C. 减小 D. 增加

182. 焊条电弧焊时, 焊条直径随工件厚度的增大而()。

A. 减小 B. 增大 C. 不变 D. 无规律变化

183. 焊条电弧焊时, 焊条送进速度的快慢可以起到控制()的作用。

A. 焊缝宽度 B. 焊缝成形 C. 弧长 D. 余高

184. 焊条电弧焊时, 对焊接区域所采取的保护方法是()。

A. 渣保护 B. 气-渣联合保护 C. 气保护 D. 混合气体保护

185. 焊接热输入的参数不应包括()。

A. 电弧电压 B. 焊接电流 C. 焊接速度 D. 焊条直径

186. 焊条电弧焊运条时, 焊条直线移动快慢主要控制()。

A. 焊缝横截面积大小 B. 熔深 C. 飞溅 D. 夹渣

187. 钨极氩弧焊时, 焊接电流过大(超过钨极允许的电流)时, 会造成钨极过热而蒸发, 使电弧不稳定和焊缝中易产生()。

A. 未熔合 B. 未焊透 C. 夹钨 D. 气孔

188. 钨极氩弧焊时, 电弧电压过高会产生未焊透和()等。

A. 裂纹 B. 夹钨 C. 咬边 D. 保护不良

189. 手工钨极氩弧焊时, 钨极直径应根据焊接电源种类、极性和()选择。

A. 焊件形状 B. 焊件厚度 C. 焊件化学成分 D. 焊接电流大小

190. 手工钨极氩弧焊的引弧方法不使用()。

A. 高频引弧 B. 高压脉冲引弧 C. 射流引弧 D. 短路引弧

191. 对于镍铬耐热合金钢的焊接, 氩气的纯度一般应大于或等于()。

A. 99% B. 99.90% C. 99.95% D. 99.98%

192. 在下列焊接方法中, 最容易实现单面焊双面成形的是()。

A. 焊条电弧焊 B. 埋弧焊 C. 钨极氩弧焊 D. CO₂ 气体保护焊

193. 用钨极氩弧焊焊接不锈钢时, 应采用()。

- A. 交流焊 B. 直流反接 C. 直流正接 D. 以上都行
194. 用钨极氩弧焊焊接低碳钢时, 应采用()。
- A. 交流焊 B. 直流反接 C. 直流正接 D. 以上都行
195. “MIG”是指()。
- A. 熔化极氩弧焊 B. 脉冲钨极氩弧 C. 钨极氩弧焊 D. 窄间隙焊
196. CO₂气体保护焊焊接薄板及全位置焊接时, 溶滴过渡的形式通常采用()。
- A. 颗粒状过渡 B. 射流过渡 C. 渣壁过渡 D. 短路过渡
197. 表示焊缝横截面形状的符号是()。
- A. 基本符号 B. 辅助符号 C. 补充符号 D. 焊缝尺寸符号
198. 在焊接接头横截面上, 母材熔化的宽度称为()。
- A. 焊脚 B. 熔宽 C. 余高 D. 熔深
199. 在焊接过程中间隙的作用是()。
- A. 保证焊缝宽度 B. 保证焊透 C. 便于清渣 D. 防止烧穿
200. 在焊接过程中钝边的作用是()。
- A. 便于组装 B. 保证焊透 C. 便于清渣 D. 防止烧穿
201. 下列四种坡口形式中熔合比最小的是()。
- A. I形坡口 B. V形坡口 C. X形坡口 D. U形坡口
202. 坡口角度在焊接过程中的作用主要是保证焊透及()等。
- A. 防止烧穿 B. 防止变形 C. 便于清渣 D. 保证电弧稳定燃烧
203. 焊趾连线以上的那部分焊缝金属的高度称为()。
- A. 余高 B. 熔深 C. 焊缝厚度 D. 焊脚
204. 焊接时, 焊缝倾角80°~90°、焊缝转角0°~180°的焊接位置称为()。
- A. 平焊位置 B. 立焊位置 C. 横焊位置 D. 仰焊位置
205. 焊接时, 焊缝倾角0°~5°、焊缝转角70°~90°(对接焊缝)及焊缝倾角0°~5°、焊缝转角30°~55°(角焊缝)的焊接位置称为()。
- A. 横焊位置 B. 平焊位置 C. 仰焊位置 D. 立焊位置
206. 焊接时, 焊缝倾角0°~5°、焊缝转角0°~10°的焊接位置称为()。
- A. 平焊位置 B. 立焊位置 C. 横焊位置 D. 仰焊位置
207. 焊接时, 焊缝倾角0°~15°、焊缝转角165°~180°(对接焊缝)及焊缝倾角0°~15°, 焊缝转角115°~180°(角焊缝)的焊接位置称为()。
- A. 横焊位置 B. 立焊位置 C. 平焊位置 D. 仰焊位置
208. 焊缝基本符号“V”的名称是()。
- A. V形焊缝 B. 单边V形焊缝 C. 带钝边V形焊缝 D. 带钝边单边V形焊缝
209. 焊缝符号一般由基本符号与()组成。
- A. 说明符号 B. 补充符号 C. 技术条件符号 D. 指引线
210. 从提高焊接效率和减小收缩变形的观点出发, 坡口角度越()越好。
- A. 大 B. 小 C. 不变 D. 没规律
211. 表示焊脚尺寸的焊缝尺寸符号是()。
- A. A B. B C. K
212. 图11-1所示拼板焊接, 为减小焊接应力最合理的焊接顺序是()。
- A. 3—2—1 B. 1—2—3 C. 1—3—2

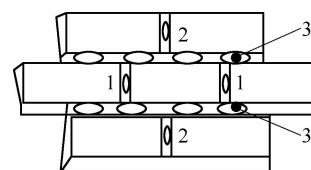


图 11-1

213. 图 11-2 所示分段退焊法的焊接顺序是()。

- A. a→b→c→d B. a→c→b→d C. d→c→b→a

214. 图 11-3 所示是 CO₂ 气体保护焊的()。

- A. 左焊法 B. 右焊法 C. 两种方法都不是

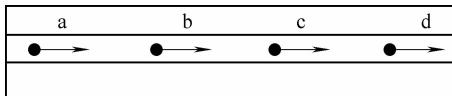


图 11-2

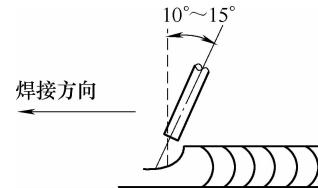


图 11-3

215. 埋弧焊时, 焊丝的中心线()坡口中心线 (等厚板对接), 否则容易产生咬边、夹渣、成形不良、甚至未焊透等缺陷。

- A. 可偏离 B. 应偏离 C. 应对准

216. T形接头船形焊位置的埋弧焊时, 焊丝与水平线夹角为()。

- A. 45° B. 90° C. 120°

217. Q245R 与 Q345R 之间焊接, 下列四种焊条中, 最合理的选择是用()焊条。

- A. J422 B. R307 C. J507 D. J427

218. CO₂ 气体保护焊的电弧气氛氧化性较强。所以, 在焊接碳钢时, 焊丝选用()。

- A. H08 B. H08MnA C. H08Mn2Si D. H10Mn2

219. 常用来焊接除铝镁合金以外的铝合金的通用焊丝是()。

- A. 纯铝焊丝 B. 铝镁焊丝 C. 铝硅焊丝 D. 铝锰焊丝

220. 焊接黄铜时, 为了抑制()的蒸发, 可选用含硅量高的黄铜或硅青铜焊丝。

- A. 铝 B. 镁 C. 锰 D. 锌

221. 铝及铝合金工件和焊丝表面清理以后, 在潮湿的情况下, 一般应在清理()h 内施焊。

- A. 4 B. 12 C. 24 D. 36

222. 铝及铝合金工件和焊丝表面清理以后, 在干燥的情况下, 一般应在清理()h 内施焊。

- A. 4 B. 12 C. 24 D. 36

223. 铜及铜合金焊接前工件常需要预热, 预热温度一般为()。

- A. 100~150°C B. 200~250°C C. 300~700°C D. 700~800°C

224. 异种金属焊接时, 熔合比越小越好的原因是()。

A. 减小焊接材料的填充量 B. 减小熔化的母材对焊缝的稀释作用 C. 减小焊接应力
D. 减小焊接变形

225. 纯铜焊接时, 母材和填充金属难以熔合的原因是纯铜()。

- A. 导热性好 B. 导电性好 C. 熔点高 D. 有锌蒸发出

226. 纯铜焊接时, 常常要使用大功率热源, 焊前还要采取预热措施的原因是()。

A. 纯铜导热性好, 难熔合 B. 防止产生冷裂纹 C. 提高焊接接头的强度 D. 防止锌的蒸发

227. 钨极氩弧焊焊接纯铜时, 电源及极性应采用()。

- A. 直流正接 B. 直流反接 C. 交流 D. 直流正接或交流

228. 下列()不是焊接钛合金时容易出现的问题。

- A. 裂纹
- B. 容易沾污, 引起脆化
- C. 气孔
- D. 塌陷

229. S30408 不锈钢和 Q235 低碳钢焊条电弧焊时, ()焊条焊接才能获得满意的焊缝质量。

- A. 不加填充
- B. E308—16
- C. E309—15
- D. E310—15

230. 低碳钢和低合金钢焊接时, 焊条牌号的选用, 通常根据钢板的化学成分、力学性能、抗裂性能要求选择, 而不需要考虑()。

- A. 结构刚性
- B. 工作条件
- C. 焊接质量
- D. 坡口形式

231. 当比较重要的结构所用材料为 Q245R, 而施工现场又无直流电源时, 焊接应选用牌号为()焊条。

- A. J422
- B. J426
- C. J427
- D. J507

232. 碳钢和低合金钢不同强度等级之间异种钢焊接时, 通常应按()选用焊条。

- A. 两者中强度级别较高者
- B. 两者中强度级别较低者
- C. 两种材料的平均抗拉强度

D. 特殊要求

233. 异种钢焊接时, 选用焊条的过程必须考虑熔合比以及母材的()作用。

- A. 填充
- B. 熔合
- C. 混合
- D. 稀释

234. 从受力的角度看()是较好的接头形式, 它的应力集中最小。

- A. 对接接头
- B. 搭接接头
- C. T形接头
- D. 端接接头

235. 减少焊接应力的措施不包括()。

- A. 刚性固定
- B. 采取合理的焊接顺序和方向
- C. 锤击焊缝
- D. 采取小的焊接热输入

236. 对接焊缝的余高过大, 在焊趾处会形成较大的()

- A. 应力集中
- B. 淬硬倾向
- C. 焊瘤
- D. 焊接变形

237. 不同厚度钢板对接焊时, 要求对厚板进行削薄的目的是()。

- A. 便于焊接
- B. 降低应力集中
- C. 减少焊接变形
- D. 防止夹渣

238. 焊后未经热处理的焊件, 一般刚性越大, 焊接变形()。

- A. 越大
- B. 越小
- C. 不变
- D. 与刚性无关

239. 焊接变形种类虽多, 但基本上都是由()引起的。

- A. 焊缝的纵向收缩和横向收缩
- B. 弯曲变形
- C. 扭曲变形
- D. 角变形

240. 在焊接过程中, 焊接电流过大时, 导致焊件的应力及变形()。

- A. 增大
- B. 减小
- C. 无规律变化
- D. 不变

241. 采用分段退焊会()。

- A. 减小焊接残余应力
- B. 减小焊接残余变形
- C. 增大焊接残余变形
- D. 增大焊件角变形

242. 为减小焊接应力选择合理的装配焊接顺序, 其中包括()。

A. 在拼板时应先焊错开的短焊缝, 后用分段退焊法焊直通的长焊缝 B. 在拼板时应先焊直通的长焊缝, 后焊短焊缝 C. 在拼板时随便先焊哪处均可以

243. 锤击焊道表面可以使焊缝产生塑性变形而降低()。

- A. 硬度
- B. 强度
- C. 韧性
- D. 残余应力

244. 对接焊缝采用(), 焊后产生变形最小。

- A. V形坡口
- B. Y形坡口
- C. U形坡口
- D. X形坡口

245. 焊接热输入对焊件产生变形的影响是()。

A. 焊接热输入越大, 变形越小 B. 焊接热输入越小, 变形越大 C. 焊接热输入越小, 变形越小 D. 焊接热输入对变形没有影响

246. 多层焊时, () 焊缝引起的收缩量最大。

- A. 第一层 B. 第二层 C. 第三层

247. 图 11-4 所示的焊接变形属于()。

- A. 弯曲变形 B. 扭曲变形 C. 波浪变形

248. 图 11-5 所示的焊接变形属于()。

- A. 弯曲变形 B. 扭曲变形 C. 波浪变形

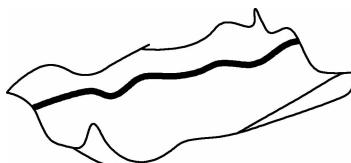


图 11-4

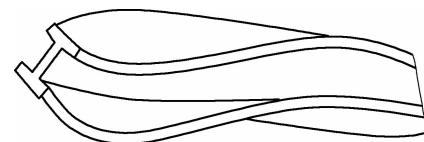


图 11-5

249. 图 11-6 所示筒体和封头的组装焊接, 通常容易产生的变形是()。

- A. 错边变形 B. 扭曲变形 C. 弯曲变形

250. 图 11-7 所示工件焊接主要产生()。

- A. 角变形 B. 纵向收缩变形 C. 横向收缩变形

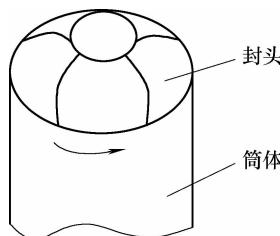


图 11-6

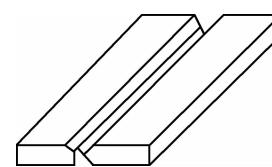


图 11-7

251. 焊条电弧焊时, 产生气孔的一个原因是()。

- A. 电弧过长 B. 焊条未烘干 C. 坡口间隙过小 D. 焊机的空载电压较高

252. 预防热裂纹的措施之一是采用() 焊条。

- A. 酸性 B. 中性 C. 碱性 D. 酸性或中性

253. 产生咬边的一个原因是()。

- A. 电弧过长 B. 焊条未烘干 C. 焊条药皮脱落 D. 焊条直径过大

254. () 不是咬边的主要危害。

- A. 减小焊件工作截面 B. 引起应力集中 C. 引起疲劳裂纹 D. 降低承载能力

255. 焊缝返修应在() 前完成。

- A. 热处理 B. 气密性试验 C. 产品出厂 D. 水压试验

256. 焊接缺陷中, 危害最大的是()。

- A. 气孔 B. 裂纹 C. 未焊透 D. 咬边

257. 焊后残留在焊缝中的熔渣, 叫()。

- A. 夹渣 B. 夹钨 C. 焊瘤 D. 气孔

258. 手工钨极氩弧焊焊接不锈钢时, 焊缝表面() 颜色说明保护效果最好。

- A. 蓝色 B. 银白、金黄 C. 红灰 D. 灰色

259. 焊接梁和柱时, 除防止产生缺陷外, 最关键的问题是要防止()。

A. 接头不等强 B. 接头不耐蚀 C. 焊接变形 D. 锌的蒸发

260. 产生气孔的原因不包括()。

A. 电流小 B. 电流大 C. 钢中含碳量多 D. 坡口钝边过大

261. 产生夹渣的原因不包括()。

A. 坡口角度过小 B. 焊接速度过快 C. 坡口间隙过小 D. 焊接电流太小

262. 在焊接过程中, 焊接电流过小(焊接热输入过小)时, 会产生未焊透、气孔及()等。

A. 焊瘤 B. 咬边 C. 夹渣 D. 裂纹

263. 在焊接过程中, 焊接电流过大时, 容易造成气孔、咬边及()等。

A. 夹渣 B. 未焊透 C. 内凹 D. 焊瘤

264. 焊缝内部常见的缺陷有()。

A. 裂纹、未熔合 B. 夹渣、气孔 C. 未焊透 D. 以上都是

265. 下列焊接缺陷中()不是内部缺陷。

A. 裂纹 B. 未焊透 C. 未熔合 D. 咬边

266. 焊接过程中, 焊接速度过慢时, 易产生过热及()等。

A. 未焊透 B. 烧穿 C. 气孔 D. 咬边

267. 焊接过程中, 焊接速度过快时, 易产生焊缝尺寸不符合要求及()等。

A. 未焊透 B. 塌陷 C. 焊瘤 D. 裂纹

268. 埋弧焊时, 采用较大的焊缝成形系数可以防止产生()。

A. 冷裂纹 B. 咬边 C. 热裂纹 D. 未焊透

269. 焊条电弧焊时, 产生夹渣的原因是()。

A. 电流过大 B. 电流过小 C. 焊接速度过慢 D. 摆动太慢

270. 焊条电弧焊时, 产生气孔的原因之一是()。

A. 电弧过长 B. 焊接速度过慢 C. 坡口间隙过大 D. 电弧过短

271. 焊条电弧焊时, 产生气孔的原因之一是()。

A. 电弧电压过低 B. 焊条没按规定烘干 C. 坡口间隙过小 D. 坡口间隙过大

272. 焊条电弧焊时, 产生未焊透的原因之一是()。

A. 焊接电流过小 B. 坡口间隙过大 C. 坡口钝边过小 D. 坡口未清理干净

273. 不能检查内部缺陷的无损检测方法是()。

A. 射线检测 B. 超声检测 C. 渗透检测 D. 磁粉检测

274. 手工焊焊工的所有考试试件, 第一层焊缝长度中部附近至少有()个停弧再焊接头。

A. 1 B. 2 C. 3 D. 4

275. 焊接操作技能考试试件手工焊的板材试件两端()mm 内的缺陷不计。

A. 10 B. 20 C. 30 D. 40

276. 焊工焊接操作技能考试试件堆焊两相邻焊道之间的凹下量不得大于()mm。

A. 1 B. 2 C. 3 D. 4

277. 焊工焊接操作技能考试板材对接焊缝试件焊后变形角度小于或者等于()。

A. 3° B. 4° C. 5° D. 6°

278. 焊工焊接操作技能考试板材对接试件错边量不得大于 10% 试件厚度, 且小于或者等于()mm。

A. 1 B. 2 C. 3 D. 4

279. 焊工焊接操作技能考试管与板角焊缝和管板角接头试件, 金相检验取()个检查面。

A. 1 B. 2 C. 3 D. 4

280. 焊工焊接操作技能考试金相检验气孔或者夹渣的尺寸大于 0.5mm, 不大于 1.5mm 时, 其数量不得多于()。

A. 1 B. 2 C. 3 D. 4

281. 焊工焊接操作技能考试金相检验, 当存在小于或者等于 0.5mm 的气孔或者夹渣时, 其数量不得多于()。

A. 1 B. 2 C. 3 D. 4

282. 焊工考试时, 板状试件焊缝两侧咬边总长度不得超过焊缝长度的()。

A. 10% B. 15% C. 20% D. 25%

283. 焊工考试时, 试件的错边量不得大于()。

A. 10% 试件厚度 B. 15% 试件厚度 C. 20% 试件厚度 D. 30% 试件厚度

284. 焊工考试时, 手工焊的平焊焊缝余高应是()。

A. 0~3mm B. 不大于 2mm C. 不小于 3mm D. 0~4mm

285. 焊工考试时, 咬边的深度不应超过()。

A. 0.5mm B. 1mm C. 1.5mm D. 2mm

286. TSGZ6002—2010 是《特种设备()操作人员考核细则》。

A. 焊接 B. 无损检测 C. 检验 D. 生产

287. 持证手工焊焊工或者焊机操作工某种焊接方法中断特种设备焊接作业()以上, 该手工焊焊工或者焊机操作工若再使用该焊接方法进行特种设备焊接作业前, 应当复审抽考。

A. 3 个月 B. 6 个月 C. 9 个月 D. 一年

288. 焊工指从事焊接操作的人员。分为手工焊焊工、机动焊焊工和自动焊焊工, 机动焊焊工和自动焊焊工合称()操作工。

A. 冷作 B. 机器 C. 焊机 D. 安装

289. 管板角接头试件中管侧焊脚为 0.5~1 倍试件厚度, 假如管板角接头试件中管子的规格为 $\phi 57 \times 5$, 那么管侧的焊脚为()mm。

A. 2~4 B. 2.5~5 C. 3~6 D. 4~8

290. 焊工考试包括()。

A. 基本知识考试和焊接操作技能考试两部分 B. 焊接基本知识考试 C. 操作技能考试
D. 面试

291. 《特种设备作业人员证》每()年复审一次。

A. 一 B. 二 C. 三 D. 四

292. 手工焊焊工或者焊机操作工采用不带衬垫对接焊缝试件或者管板角接头试件, 经焊接操作技能考试合格后, 分别()于带衬垫对接焊缝焊件或者管板角接头焊件, 反之()。

A. 适用 B. 不适用

293. 焊接复合不锈钢的复层之间焊缝及过渡焊缝的焊工, ()取得耐蚀堆焊资格。

A. 不用 B. 应当

294. 焊工应当按照考试机构提供的()焊接考试试件。

A. 焊接作业指导书 B. 口头交待 C. 焊接书本

295. 手工焊焊工考试板材试件厚度大于()时, 不允许用焊接卡具或者其他办法将板材试件刚性固定, 但是允许试件在定位时预留反变形量, 厚度小于或者等于 10mm 的板材试件允许刚性固定。

A. 8mm B. 10mm C. 12mm D. 14mm

296. 对接焊缝试件、角焊缝试件和管板角接头试件，均要求（ ）。
A. 不用焊透 B. 部分焊透 C. 全焊透 D. 不用要求
297. 堆焊试件焊道熔敷金属宽度应当大于12mm，首层至少堆焊（ ）条并列焊道，总宽度大于或者等于38mm。
A. 3 B. 4 C. 5 D. 6
298. 因考试作弊或者以其他欺骗方式取得《特种设备作业人员证》的焊工，吊销证书后（ ）年内不得重新提出焊工考试申请。
A. 1 B. 2 C. 3 D. 4
299. 双面焊板材对接试件，属于（ ）。
A. 不带衬垫 B. 带衬垫 C. 不确定
300. 手工焊焊工向下立焊试件考试合格后，不能免考向上立焊，反之也（ ）。
A. 可以 B. 不可 C. 不确定
301. 焊工基本知识考试满分为100分，不低于（ ）为合格。
A. 50分 B. 60分 C. 70分 D. 80分
302. 焊工焊接操作技能考试通过（ ）进行评定。
A. 检验试件 B. 仅作目检 C. 外观检验
303. 焊工考试试件对接接头焊缝外形尺寸规定：焊缝边缘直线度 f ，手工焊 $f \leq 2\text{mm}$ ，机动焊与自动焊的（ ）。
A. $f \leq 2\text{mm}$ B. $f \leq 3\text{mm}$ C. $f \leq 4\text{mm}$
304. 焊工考试角焊缝试件，管板角接试件的角焊缝中，焊缝的凹度或者凸度不大于（ ）。
A. 0.5mm B. 1mm C. 1.5mm
305. 当变更下列（ ）项时，需要重新进行焊接操作技能考试。
A. 焊接方法 B. 焊剂型号 C. 保护气体种类 D. 钨极种类
306. 在同一焊接方法中，当发生（ ）时，不需要重新进行焊接操作技能考试。
A. 手工焊焊工变更为焊机操作工 B. 焊机操作工变更为手工焊焊工 C. 自动焊焊工变更为机动焊焊工 D. 机动焊焊工变更为自动焊焊工
307. 当焊工使用埋弧焊焊接任一类别钢号，并通过焊接操作技能考试，则焊接其他类别钢号时，（ ）重新进行焊接操作技能考试。
A. 需要 B. 不需要
308. 当焊工采用镍、铝或钛合金中某类别任一牌号材料，经焊接操作技能考试合格后，焊接各类别中的镍、铝或者钛及其合金中的其他牌号材料时，（ ）重新进行焊接操作技能考试。
A. 需要 B. 不需要
309. 焊接工艺评定试件的焊工应是（ ）。
A. 本地水平最高的焊工 B. 本单位任一持证焊工 C. 本单位熟练焊工 D. 本单位水平最高的焊工
310. 《特种设备焊接操作人员考核细则》规定：复审时，对年龄超过（ ）岁的焊工，需要继续从事特种设备焊接作业，根据情况由发证机关决定是否需要进行考试。
A. 50 B. 55 C. 58 D. 60
311. 焊工考试机构应当在考试结束后的（ ）个工作日内完成考试成绩的评定。
A. 10 B. 20 C. 30 D. 40
312. 根据JB3223《焊条质量管理规程》规定，烘干后的低氢焊条一般在常温下放置超过（ ）时，应重新烘干。

- A. 3h B. 4h C. 5h D. 6h

313. 根据 JB3223 《焊条质量管理规程》规定, 焊条重复烘干的次数不宜超过()。

- A. 2 次 B. 3 次 C. 4 次 D. 5 次

314. 焊工考试时, 按 JB/T4730 进行射线检测, 试件焊缝质量等级不低于()。

- A. I 级 B. II 级 C. III 级 D. IV 级

315. 《特种设备焊接操作人员考核细则》规定考试机构在考试()日前公布焊工基本知识考试和焊接操作技能考试项目、时间和地点, 并且通知申请人和考试机构所在地的质监部门。

- A. 10 B. 15 C. 20 D. 30

316. 《特种设备焊接操作人员考核细则》规定焊工基本知识考试成绩有效期为()年。

- A. 1 B. 2 C. 3 D. 4

317. 在狭小空间或密闭容器内作业时, 应加强绝缘和采取强制通风措施, 外面应有人员监护, 焊割工具放在()。

- A. 容器内 B. 容器外 C. 随焊工同进同出

318. 焊接时, 对焊缝金属性能不产生有害影响的气体是()。

- A. 氧气 B. 氢气 C. 氮气 D. 氩气

319. 在密闭容器内焊接时, 不得将焊机放在()。

- A. 容器内 B. 容器外 C. 地面

320. 为防备由焊、割作业而引起的火灾、爆炸事故, 在作业现场应放置()。

- A. 消防器材 B. 通风装置 C. 除尘设备

321. 电焊机机壳必须良好接地是为了()。

- A. 防止设备漏电引起人身触电 B. 防止设备过热烧损 C. 节约用电 D. 使焊接电流稳定

322. 在旧的特种设备内部焊接作业前应严格清洗, 用惰性气体置换, 确保安全的前提下进入, 同时外面应有()。

- A. 照明设备 B. 通风设施 C. 人员监护

323. 焊接设备在使用过程中发生故障, 焊工的责任是()。

A. 立即切断电源, 通知电工检查修理 B. 立即切断电源, 自行检查修理 C. 带电检查修理 D. 立即通知电工检查修理

324. 焊接切割过程中, 若发生回火, 应采取的措施是()。

A. 立即关闭焊割炬乙炔阀, 然后再关闭氧气阀 B. 立即先关闭焊割炬氧气阀, 然后再关闭乙炔阀 C. 立即将焊割炬放入水中 D. 立即关闭氧气瓶阀

325. 高空焊接, ()是不符合规定的。

A. 焊工施焊时, 佩戴标准安全带 B. 焊工施焊时, 电缆或氧、乙炔管不缠在身上, 而固定在架子上 C. 施焊处下方及危险区内的可燃、易燃物品应移开 D. 施焊处的下方或危险区内停留人员

326. 凡酒后或患高血压、心脏病、()、视力衰退者及身体衰弱人员禁止登高作业。

- A. 风湿性关节炎 B. 癫痫病 C. 胃炎

327. 气瓶阀冻结时解冻的方法是()。

- A. 使用火烤 B. 使用 45~60℃ 水 C. 使用电吹风加热 D. 锤击

328. 采用低尘低毒焊条的作用是()。

- A. 可降低预热温度 B. 可提高效率 C. 可提高焊接质量 D. 可减少焊接烟尘和有害气体

329. 对于比较潮湿而且触电危险较大的环境或在狭窄焊件内焊接的情况下, 我国规定的安全电压为()。

A. 12V B. 36V C. 110V D. 220V

330. 弧光中的红外线可对人的眼睛造成伤害, 引起()。

A. 畏光 B. 眼睛流泪 C. 白内障 D. 电光性眼炎

331. 焊割场地周围()范围内, 各类可燃易爆物品应清理干净。

A. 3m B. 5m C. 10m D. 15m

332. 易燃易爆物品应距离气割机切割场地()m 以外。

A. 5 B. 10 C. 15 D. 20

333. 氩气瓶瓶体颜色是()。

A. 蓝色 B. 灰色 C. 铝白色 D. 绿色

334. 焊接过程中对焊工危害较大的电压是()。

A. 空载电压 B. 电弧电压 C. 短路电压 D. 以上都是

335. 焊接过程中发生烫伤、火灾的因素与()无关。

A. 金属熔滴飞溅 B. 红热焊条头 C. 焊接电缆横截面积过大 D. 焊接电缆接头处松动

336. 绝对安全电压的数值规定为()。

A. 110V B. 36V C. 24V D. 12V

337. 若室内电线或设备着火, 不应采用()灭火。

A. 立即切断电源 B. 砂土 C. 二氧化碳或四氯化碳 D. 水

338. 氧气瓶距离明火或热源应大于()。

A. 5m B. 10m C. 15m D. 20m

339. 氧气瓶口沾染油脂会引起()。

A. 氧气纯度降低 B. 燃烧、爆炸 C. 有毒物质产生 D. 焊缝中产生气孔

340. 有害气体对焊工危害最大的焊条药皮类型是()。

A. 低氢型 B. 氧化钛型 C. 氧化钛钙型 D. 纤维素型

341. 在清理焊渣、飞溅时, 必须戴好()。

A. 绝缘胶鞋 B. 手套和平光眼镜 C. 工作帽 D. 口罩

342. 在狭窄空间及容器内, 照明所用的电压应()。

A. 不超过 380V B. 不超过 220V C. 不超过 110V D. 不超过 36V

343. 护目镜片颜色深浅的选择, 一般是()。

A. 焊接电流越大, 镜片颜色应越深 B. 焊接电流越小, 镜片颜色应越深 C. 选用碱性药皮焊条, 镜片颜色应浅些 D. 选用酸性药皮焊条, 镜片颜色应浅些

344. 电焊工不允许穿有铁钉的鞋是为了防止()。

A. 烫伤 B. 滑倒 C. 触电 D. 扎脚

345. 电焊钳柄必须可靠绝缘是为了()。

A. 防止焊钳过热引起火灾 B. 防止焊钳过热烧伤焊工 C. 防止焊工触电 D. 焊接电流稳定

346. 防止烟尘和有毒气体危害焊工的通风措施不应采取()。

A. 通压缩空气 B. 电扇 C. 通氧气 D. 吸尘排烟装置

347. 焊工必备的劳动保护用品中不包括()。

A. 密封防火器 B. 不易燃的工作服 C. 较软的长皮革手套 D. 带有滤光镜片的面罩

348. 在特种设备金属结构内暂停焊接作业时应将焊钳或焊炬()。

A. 放在钢材表面上, 并切断电源 B. 放在安全绝缘的场合或悬挂起来并切断电源 C. 悬挂起来

349. 下列焊接方法代号表示焊条电弧焊的是()。
A. GMAW B. GTAW C. SAW D. SMAW
350. 《特种设备焊接操作人员考核细则》中埋弧焊的焊接方法代号为()。
A. OFW B. GTAW C. SMAW D. SAW
351. 《特种设备焊接操作人员考核细则》中气电立焊焊接方法代号为()。
A. EGW B. PAW C. ESW D. FRW
352. 《特种设备焊接操作人员考核细则》中电渣焊焊接方法代号为()。
A. SW B. PAW C. ESW D. FRW
353. 《特种设备焊接操作人员考核细则》中摩擦焊焊接方法代号为()。
A. EGW B. PAW C. ESW D. FRW
354. 《特种设备焊接操作人员考核细则》中熔化极气体保护焊焊接方法代号为()。
A. SMAW B. GMAW C. GTAW D. SAW
355. 《特种设备焊接操作人员考核细则》中钨极气体保护焊焊接方法代号为()。
A. OFW B. GTAW C. SMAW D. SAW
356. 《特种设备焊接操作人员考核细则》中等离子弧焊焊接方法代号为()。
A. EGW B. PAW C. ESW D. FRW
357. 焊缝不能独立存在, 焊缝位置基本上由试件位置决定, 下列代号表示板材对接平焊试件的是()。
A. 1G B. 2G C. 3G D. 4G
358. 《特种设备焊接操作人员考核细则》中, 管板角接头水平固定试件位置代号为()。
A. 2FG B. 4FG C. 5FG D. 6FG
359. 《特种设备焊接操作人员考核细则》中, 板材对接焊缝仰焊试件位置代号为()。
A. 1G B. 2G C. 3G D. 4G
360. 《特种设备焊接操作人员考核细则》中, 管板角接头45°固定试件位置代号为()。
A. 2FG B. 4FG C. 5FG D. 6FG
361. 《特种设备焊接操作人员考核细则》中, 管板角接头垂直固定平焊试件位置代号为()。
A. 2FG B. 4FG C. 5FG D. 6FG
362. 《特种设备焊接操作人员考核细则》中, 管板角接头垂直固定仰焊试件位置代号为()。
A. 2FG B. 4FG C. 5FG D. 6FG
363. 《特种设备焊接操作人员考核细则》中, 管材对接焊缝水平转动试件位置代号为()。
A. 1G B. 2G C. 3G D. 4G
364. 《特种设备焊接操作人员考核细则》中管材对接焊缝45°固定试件位置代号为()。
A. 1G B. 2G C. 5G D. 6G
365. 《特种设备焊接操作人员考核细则》中管材对接焊缝45°固定试件向下立焊位置代号为()。
A. 1GX B. 2GX C. 5GX D. 6GX
366. 《特种设备焊接操作人员考核细则》中管材对接焊缝垂直固定试件位置代号为()。
A. 1G B. 2G C. 3G D. 4G
367. 《特种设备焊接操作人员考核细则》中管材对接焊缝水平固定试件位置代号为()。

A. 1G B. 2G C. 5G D. 6G

368. 《特种设备焊接操作人员考核细则》中, 板材对接焊缝立焊试件位置代号为()。

A. 1G B. 2G C. 3G D. 4G

369. 《特种设备焊接操作人员考核细则》中管材对接焊缝水平固定试件向下立焊位置代号为()。

A. 1GX B. 2GX C. 5GX D. 6GX

370. 下列焊工考试试件中, 焊接位置代号为2FRG的试件是()。

A. 管材对接焊缝水平转动试件 B. 管材对接焊缝横焊试件 C. 管板角接头水平转动试件
D. 板材对接焊缝横焊试件

371. 根据《特种设备焊接操作人员考核细则》中规定的金属材料类别, 常见的Q345R属(), S30408属()。

A. Fe I B. Fe II C. Fe III D. Fe IV

372. 《特种设备焊接操作人员考核细则》中规定1Cr5Mo的金属材料类别代号为()。

A. Fe I B. Fe II C. Fe III D. Fe IV

373. 厚度为12mm的Q345R钢板对接焊缝平焊试件, 使用J507焊条手工焊接, 试件全焊透, 项目代号为()。

A. SMAW-Fe II -1G-12-Fef3J B. GTAW-Fe II -1G-12-FefS-02/11/12 C. SAW-1G-12-07/09/19

374. 某焊工已有Q345R焊条电弧焊的合格项目, 下列钢号中, 他有资格焊的是()。

A. 1Cr5Mo B. Q235-B C. 00Cr17Ni14Mo2 D. 0Cr18Ni9

375. 《特种设备焊接操作人员考核细则》规定考试机构应当在收到报名资料()个工作日内完成审查。

A. 10 B. 15 C. 20 D. 30

376. 《特种设备焊接操作人员考核细则》规定考试机构应当在考试结束后的()个工作日内, 完成考试成绩的评定。

A. 10 B. 15 C. 20 D. 30

377. 《特种设备焊接操作人员考核细则》规定焊工报名资料和考试资料, 在考试机构存档, 保存至少()年。

A. 1 B. 2 C. 3 D. 4

378. 《特种设备焊接操作人员考核细则》规定《特种设备作业人员证》每()年复审一次。

A. 1 B. 2 C. 3 D. 4

379. 焊工用手进行操作和控制焊接参数而完成的焊接, 填充金属可以由人工供给, 也可以由焊机供给, 这种工艺方法叫()。

A. 手工焊 B. 机动焊 C. 自动焊 D. 半自动焊

380. 焊工操作焊机进行调解与控制焊接参数而完成的焊接, 这种工艺方法叫()。

A. 手工焊 B. 机动焊 C. 自动焊 D. 半自动焊

381. 焊机自动进行调节与控制焊接参数而完成的焊接, 这种工艺方法叫()。

A. 手工焊 B. 机动焊 C. 自动焊 D. 半自动焊

382. 《特种设备焊接操作人员考核细则》中, 试件用填充金属类别代号Fef1相应的型号、牌号为()。

A. EXX03 B. EXX10 C. EXX16 D. EXX15

三、多选题

1. 锅炉压力容器大多是焊接结构, 其焊接质量直接影响它们的()。
A. 安装位置 B. 结构特点 C. 使用安全性 D. 使用寿命
2. 《特种设备作业人员监督管理办法》规定, 特种设备焊接作业包括()。
A. 承压焊 B. 结构焊 C. 连接焊 D. 扩散焊
3. 国标 GB/T5117—2012 中规定, 碳钢焊条型号是根据熔敷金属力学性能、药皮类型、电流类型、()和焊后状态等进行划分的。
A. 熔敷金属化学成份 B. 焊接位置 C. 扩散氢含量 D. 抗裂性能
4. 药芯焊丝 CO₂ 气体保护焊的药芯焊丝一般含有稳弧剂、造渣剂和铁合金等, 它的作用是()。
A. 渗合金 B. 稳弧 C. 保护熔池 D. 脱氧
5. 下列型号的焊丝中, () 是铝及铝合金焊丝。
A. SAL-1 B. SALMg-1 C. HSCuAl D. HSCuZn-1 E. HSCu F. SALSi-1
6. 下列型号的焊丝中, () 是铜及铜合金焊丝。
A. SAL-1 B. SALMg-1 C. HSCuAl D. HSCuZn-1 E. HSCu F. SALSi-1
7. 铝及铝合金焊接时存在的主要困难是()。
A. 易氧化 B. 气孔 C. 热裂纹 D. 塌陷 E. 冷裂纹 F. 接头不等强
8. 焊接铝及铝合金最好的方法是()。
A. 钨极氩弧焊 B. 钨极脉冲氩弧焊 C. 焊条电弧焊 D. 熔化极氩弧焊 E. 埋弧焊
9. 压力容器广泛采用的材料是()。
A. 碳素钢 B. 铸铁 C. 低合金高强度钢 D. 奥氏体不锈钢 E. 耐磨钢 F. 有色金属及合金
10. 氢能降低钛和钛合金的塑性和韧性, 易产生()。
A. 裂纹 B. 气孔 C. 夹渣 D. 未焊透
11. 按《特种设备焊接操作人员考核细则》金属材料类别规定, 不属于 FeⅡ的有()。
A. Q275 B. HP265 C. S205 D. L290
12. 按《特种设备焊接操作人员考核细则》金属材料类别规定, 属于 FeⅡ的有()。
A. Q345 B. HP365 C. S415 D. L360
13. 按《特种设备焊接操作人员考核细则》金属材料类别规定, 属于 FeⅣ的有()。
A. 06Cr19Ni10 B. 06Cr17Ni12Mo2 C. 022Cr19Ni10 D. 12Cr18Ni9
14. 焊接耐热钢时, 选用焊条通常考虑与母材化学成分近似, 同时还要考虑()。
A. 母材的力学性能 B. 母材的抗腐蚀性 C. 母材的热膨胀 D. 焊件的工作温度
15. 焊条药皮中的造渣剂熔化后覆盖在焊缝表面上, 不仅能隔离空气中的氧和氮, 还能改善焊缝的()。
A. 成形 B. 结晶 C. 脱渣 D. 合金元素过渡
16. 焊条的分类方法有: 按用途分类、按熔渣特性分类及按()分类。
A. 焊条药皮的主要成分 B. 焊条的质量 C. 熔敷金属的金相组织 D. 熔敷金属的化学成分
17. 焊芯的主要作用是()。
A. 传导焊接电流 B. 填充焊缝金属 C. 提高焊缝强度 D. 使电弧稳定燃烧
18. CO₂ 气体保护焊时, 焊丝中必须比母材含有较多的硅、锰或铝、钛等脱氧元素, 其主要

目的是使焊缝()。

- A. 具有足够的力学性能 B. 具有良好的抗裂性能 C. 具有良好的塑性和韧性 D. 不易产生气孔
- 19. CO₂ 焊丝镀铜是为了()。
 - A. 防锈 B. 改善导电性 C. 美观 D. 防潮
- 20. 埋弧焊剂颗粒大小, 主要影响()。
 - A. 焊缝形状 B. 熔池保护效果 C. 熔池合金成分烧损 D. 熔敷金属冷却速度
- 21. 焊接低碳钢时, 常使用 H08A 或 H08MnA 焊丝, 配用牌号为()的焊剂。
 - A. HJ250 B. HJ350 C. HJ430 D. HJ431
- 22. 按《特种设备焊接操作人员考核细则》金属材料类别规定, 不属于 Fe I 的有()。
 - A. HP295 B. Q295 C. L175 D. WCA
- 23. 按《特种设备焊接操作人员考核细则》金属材料类别规定, 属于 Fe I 的有()。
 - A. 20 B. Q235 C. L245 D. WCA
- 24. 按《特种设备焊接操作人员考核细则》金属材料类别规定, 不属于 Fe III 的有()。
 - A. 12Cr1MoV B. 06Cr13 C. 10Cr17 D. 09MnNiDR
- 25. 按《特种设备焊接操作人员考核细则》金属材料类别规定, 属于 Fe III 的有()。
 - A. 15CrMo B. 1Cr5Mo C. 12Cr13 D. 00Cr27Mo
- 26. 按《特种设备焊接操作人员考核细则》金属材料类别规定, 不属于 Fe IV 的有()。
 - A. 06Ni3MoDG B. 06Cr23Ni13 C. ZG230-450 D. 06Cr13Al
- 27. 焊条电弧焊发生磁偏吹, 下列措施中可采用的是()。
 - A. 改变地线位置 B. 加大电流 C. 降低电压 D. 调整焊条倾斜角度
- 28. 产品焊接工艺中重要因素改变时, 要求()。
 - A. 重新做钢材焊接性能试验 B. 重新拟定焊接工艺指导书 C. 重新做焊接工艺评定
- D. 重新编制产品焊接工艺
- 29. 焊接奥氏体不锈钢的热输入增加, 则抗()能力下降。
 - A. 热裂纹 B. 晶间腐蚀 C. 疲劳 D. 氧化
- 30. 纵缝埋弧焊前, 下列防止焊偏的措施中可以采用的是()。
 - A. 检查埋弧焊小车轨道直不直, 若不直则修理 B. 检查埋弧焊小车轨道与纵焊缝坡口边缘是否平行 C. 检查小车的轮槽是否磨损松动, 若已磨损则更换小车轮子 D. 将电缆线放松, 并留有足够的长度, 防止小车走到较远处时电缆线拉扯小车, 将小车拉偏
- 31. CO₂ 气体保护焊短路过渡时出现较大的飞溅, 这时应调节的规范参数是()。
 - A. 减小电流 B. 增大电感 C. 增大电压 D. 减小电压
- 32. 在下列气象条件下, 无有效措施则禁止施焊的是()。
 - A. 雾 B. 雨 C. 雪 D. 烈日
- 33. 焊条电弧焊所使电焊钳的作用是()。
 - A. 夹持焊条 B. 夹持焊丝 C. 输送气体 D. 传导电流 E. 冷却焊条 F. 传导热量
- 34. 铝及铝合金焊前应清理氧化膜的原因是由于氧化膜()。
 - A. 使电弧不稳 B. 熔点高, 易造成夹渣 C. 易形成未熔合 D. 使焊缝生成气孔 E. 容易引起夹渣 F. 容易引起热裂纹
- 35. 埋弧焊机控制系统测试的主要内容是()。
 - A. 测试送丝速度 B. 测试引弧操作是否有效和可靠 C. 电流和电压的调节范围 D. 测试小车行走速度 E. 电源的调节特性试验 F. 检查各控制按钮是否灵活和有效

36. 为了防止钛合金在高温下吸收氧、氢、氮，熔化焊时需要采取()措施。
A. 惰性气体保护 B. 真空保护 C. 焊剂保护 D. 特殊药皮保护 E. 氩气箱中焊接
37. 钛合金钨极氩弧焊时，需要采用()的特殊保护措施。
A. 大直径的喷嘴 B. 喷嘴加拖罩 C. 大氩气流量 D. 氩+氢的混合气 E. 背面充氩保护
38. 奥氏体不锈钢和珠光体钢用焊条电弧对接焊时，焊接工艺应该()。
A. 小电流 B. 焊前预热 C. 快速焊 D. 珠光体钢侧用短弧停留时间短，角度要合适
E. 选用小直径焊条 F. 多层多道焊
39. 逆变弧焊整流器的特点之一是()。
A. 重量轻、体积小 B. 效率高、节能 C. 性能好 D. 价格比别的弧焊整流器便宜
40. 弧焊电源铭牌中的主要参数有()。
A. 负载持续率 B. 额定焊接电流 C. 功率 D. 一次电压
41. 常见的交流弧焊变压器有()。
A. 串联电抗器的同体式 (BX2) B. 增强漏磁的动圈式 (BX3) C. 动铁芯式 (BX1)
D. 逆变式 (BX4)
42. 用E5015 (结507) 焊条焊接时，焊机应选用()。
A. BX3—300 B. BX1—330 C. ZXG—400 D. ZX7—400
43. 氩弧焊与其他电弧焊相比具有的优点有()。
A. 保护效果好，焊缝质量高 B. 焊接变形小 C. 热影响区大 D. 易控制熔池尺寸
44. 钨极氩弧焊时，焊接电流主要根据()选择。
A. 工件厚度 B. 电极材料 C. 氩气流量 D. 焊接空间位置
45. 手工TIG焊主要按()选取钨极直径。
A. 焊件厚度 B. 焊接电流大小 C. 电源极性 D. 坡口形式
46. 埋弧焊最主要的工艺参数有()。
A. 焊接电流 B. 电弧电压 C. 焊接速度 D. 焊剂层厚度
47. 焊条电弧焊的优点有()。
A. 工艺灵活、适应性强 B. 易通过工艺调整控制焊接变形 C. 设备简单、操作方便
D. 对焊工技术要求不高
48. 埋弧焊与焊条电弧焊相比有()等缺点。
A. 焊工劳动强度大 B. 焊接位置受限制 C. 焊件形式受限制 D. 焊接效率低
49. 埋弧焊的主要焊接规范参数有()。
A. 焊接电流 B. 电弧电压 C. 焊接速度 D. 焊丝直径和伸出长度
50. 目前埋弧焊能实现的焊接位置有()。
A. 平焊 B. 立焊 C. 横焊 D. 仰焊
51. 焊接钢材时，钨极端部形状不但影响电弧的引燃、稳定性、焊缝外形，而且还在一定程度上影响()。
A. 熔深 B. 熔宽 C. 电弧电压 D. 熔化系数
52. 如果氩气纯度不够，将直接影响()。
A. 引弧效果 B. 焊缝质量 C. 钨极烧损程度 D. 喷嘴形状
53. 管子的焊接中，钨极氩弧焊常用于()。
A. 小直径管子焊接 B. 薄壁管子焊接 C. 厚壁管子焊接 D. 管子打底焊接
54. 盖面焊应注意()。
A. 控制焊缝余高 B. 防止咬边 C. 防止未焊透 D. 控制焊缝宽度

55. 铁锈没清除干净, 会引起()。
A. 气孔 B. 咬边 C. 冷裂纹 D. 热裂纹
56. 控制含氢量的目的是防止()。
A. 热裂纹 B. 再热裂纹 C. 白点 D. 冷裂纹
57. 焊条烘干温度过高会导致()。
A. 药皮中的有机物分解 B. 药皮中的碳酸盐分解 C. 药皮中的铁合金氧化失效 D. 药皮偏心
58. 下列材料()的焊接属于异种金属焊接。
A. 奥氏体钢与珠光体钢 B. Q235 钢与低碳钢 C. 铜和铝 D. 低碳钢上堆焊不锈钢
- E. 奥氏体不锈钢复合板 F. 16Mn 和 Q345 钢
59. 铝及铝合金焊接的主要特点有()。
A. 容易氧化 B. 容易产生气孔 C. 容易烧穿 D. 容易产生裂纹
60. 承压类特种设备常用的焊接方法主要有()。
A. 气焊 B. 氩弧焊 C. 埋弧焊 D. 焊条电弧焊
61. 按等强度原则, Q235-B 钢焊接时可选用()焊条。
A. J422 B. J427 C. J507 D. J557
62. 防止产生焊接变形的措施包括()。
A. 刚性固定 B. 反变形 C. 采用碱性焊条 D. 焊后热处理
63. 采用刚性固定法焊接时, 焊件能够()。
A. 减小焊接应力 B. 减小焊接变形 C. 增加焊接应力 D. 增大焊接变形
64. 有利于减小焊接应力的措施有()。
A. 锤击焊缝 B. 采用高强度焊接材料 C. 采用较小的热输入 D. 采用较大的热输入
65. 焊件中的()时, 焊接应力小。
A. 焊缝数量多 B. 焊缝数量少 C. 焊缝横截面大 D. 焊缝横截面小
66. 在焊接梁和柱时, 减小和防止变形的措施主要有()。
A. 减小焊缝尺寸 B. 正确的焊接方向 C. 正确的装配—焊接顺序 D. 正确的焊接顺序
- E. 刚性固定法 F. 反变形法
67. ()是正确的。
A. 装配顺序对焊接变形有影响 B. 焊接顺序对焊接变形没有影响 C. 焊缝长度对焊接变形有影响 D. 焊接热输入对焊接变形没有影响
68. 焊件如果在焊接过程中能够自由收缩, 则()。
A. 变形增大 B. 变形减小 C. 应力增大 D. 应力减小
69. 防止对接焊缝角变形应采取的措施有()。
A. 焊前预热 B. 增加焊接层数 C. 用 X 形坡口代替 V 形坡口 D. 减小坡口角度
70. 消除焊接应力的措施有()。
A. 刚性固定法 B. 机械拉伸法 C. 焊后使工件迅速冷却 D. 焊后热处理
71. 矫正焊后变形的方法有()。
A. 压力机矫正 B. 整体热处理 C. 火焰加热矫正 D. 消除应力退火
72. 焊件中的()时, 焊接应力小。
A. 焊缝数量多 B. 焊缝数量少 C. 焊缝截面积尺寸大 D. 焊缝截面积尺寸小
73. 焊条电弧焊产生未熔合的原因是操作失误, 如()。
A. 摆动不当 B. 焊速过快 C. 电流偏小 D. 焊条未烘干

74. 咬边将引起()。
A. 应力集中 B. 变形 C. 过热区增大 D. 承载能力下降
75. 焊接奥氏体不锈钢的热输入增加, 则抗()能力下降。
A. 热裂纹 B. 晶间腐蚀 C. 疲劳 D. 氧化
76. 下列四种因素中, 焊接()是影响焊接接头性能的因素之一。
A. 设备 B. 热输入 C. 参数 D. 材料
77. 影响焊接接头性能的主要因素有材料匹配、焊接方法、熔合比、坡口形式、()等。
A. 消氢处理 B. 背面保护 C. 焊接参数 D. 焊后热处理
78. 手工钨极氩弧焊产生未焊透的原因是操作失误, 如()。
A. 焊接电流小 B. 焊接电流大 C. 焊速过快 D. 电弧电压低
79. 纯铜焊接时容易产生的问题主要是()。
A. 易变形 B. 气孔 C. 热裂纹 D. 难熔合 E. 冷裂纹 F. 焊接接头的力学性能降低
80. 压力容器焊接接头要求表面不得有()。
A. 表面裂纹 B. 未焊透、未熔合 C. 表面气孔 D. 弧坑 E. 未焊满 F. 肉眼可见的夹渣
81. 焊缝外观检查常用的工具有()。
A. 放大镜 B. 样板 C. 焊缝检验尺 D. 射线探伤仪
82. 焊接电流过大, 会引起()。
A. 未焊透 B. 夹渣 C. 气孔 D. 咬边
83. 焊缝返修是在刚性拘束较大的情况下进行的, 返修次数增加, 会造成()。
A. 金属晶粒粗大 B. 应力状态复杂 C. 裂纹 D. 组织不均匀, 降低焊接接头性能
84. 防止热裂纹产生的主要措施有()。
A. 限制钢材中硫、磷含量 B. 改善熔池金属的一次结晶 C. 控制焊接参数 D. 降低焊接应力
85. 防止冷裂纹产生的主要措施有()。
A. 选用低氢型焊条 B. 严格烘干焊条、焊剂 C. 严格清理焊丝和工件坡口两侧的油、锈、水分 D. 改善结构应力状态, 降低焊接应力
86. 防止焊缝产生夹渣的主要措施有()。
A. 正确选择焊接规范, 适当增加热输入 B. 改进坡口设计, 便于坡口及层间清理 C. 降低焊接应力 D. 提高焊接技术水平, 正确的操作方法
87. 形成气孔的主要气体是()。
A. 氢气 B. 氧气 C. 氮气 D. 一氧化碳
88. 下列属于面积型缺陷的有()。
A. 裂纹 B. 未熔合 C. 夹渣 D. 气孔
89. 焊接接头内部缺陷一般有()等。
A. 裂纹 B. 未熔合 C. 夹渣 D. 气孔
90. 位于焊缝外表面, 目测或用低倍放大镜可以看到的缺陷叫外部缺陷, 常见的有()。
A. 咬边 B. 焊瘤 C. 弧坑 D. 根部内凹
91. 焊缝中有气孔存在, 将会()。
A. 降低焊缝金属致密性 B. 减少焊缝金属的有效工作截面 C. 降低焊接接头强度 D. 降低焊接接头塑性
92. 预热可以防止()的产生。

A. 热裂纹 B. 冷裂纹 C. 气孔 D. 夹渣

93. 焊条电弧焊时, 产生咬边的原因是()。

A. 焊接电流过大 B. 焊接电流过小 C. 电弧过长 D. 电弧过短

94. 焊条电弧焊时, 产生未焊透的原因是()。

A. 坡口间隙过大 B. 坡口间隙过小 C. 坡口钝边过大 D. 坡口钝边过小

95. 按规定烘干焊条可以防止()的产生。

A. 热裂纹 B. 冷裂纹 C. 气孔 D. 夹渣

96. 《特种设备焊接操作人员考核细则》规定试件外观检查时, 焊缝外形尺寸应检查()。

A. 焊缝余高、余高差 B. 焊缝比坡口每侧增宽 C. 焊缝宽度差 D. 焊道高度差

97. 焊接质量控制系统至少包括()。

A. 焊接人员控制 B. 焊接设备控制 C. 焊接工艺控制 D. 焊接材料控制

98. 在焊接厚度较大的焊缝时, 减小热输入应采用的焊接方式是()。

A. 多层多道焊 B. 单层摆动焊 C. 小电流焊 D. 快速焊

99. 下列工作中, 应在焊接前完成的是()。

A. 预热 B. 清根 C. 清理坡口 D. 定位焊

100. 填充焊最后一层要控制坡口剩余深度均匀一致, 并正好容纳盖面焊道, 这是为了()。

A. 防止盖面层焊不满 B. 防止盖面层余高过高 C. 防止盖面层余高不均匀 D. 防止盖面层与填充层熔合不好

101. 焊接工艺评定的目的是()。

A. 验证所焊钢材的焊接性能 B. 验证施焊单位拟定的焊接工艺的正确性 C. 评定焊工的焊接技能 D. 评定施焊单位的焊接能力

102. 较严重的偏析会造成()。

A. 焊缝金属化学成分分布不均匀 B. 焊接冶金过程不能进行 C. 熔滴的过渡不顺利

D. 焊缝中产生裂纹、夹渣或气孔

103. 在焊接过程中, 焊接电流过大(焊接热输入过大)时, 焊接接头过热, 使()下降。

A. 强度 B. 塑性 C. 冲击韧性 D. 导电性

104. 发生触电事故后, 首先要使触电者脱离电源, 其主要方法是()。

A. 立即送医院 B. 切断事故发生场所电源开关或插头 C. 可用绝缘工具切断电源线路
D. 救护者可用随身物品拉拽触电者

105. 电弧焊接时引起触电的危险因素主要是()。

A. 焊机的空载电压较高 B. 焊机和电缆经常性的超负荷工作 C. 绝缘老化变质 D. 面罩变光

106. ()等操作应在切断电源开关后才能进行。

A. 改变焊机接头 B. 更换焊条 C. 检修焊机故障 D. 移动工作地点

107. 焊接过程中产生的烟尘对焊工的危害是()。

A. 尘肺 B. 高血压 C. 胃痉挛 D. 锰中毒

108. 电焊钳柄必须绝缘良好, 否则会产生()。

A. 钳柄过热烫伤焊工 B. 焊钳过热引起火灾 C. 焊工触电 D. 焊接电流不稳定

109. 容易触电的危险环境主要有()。

A. 特别潮湿的作业场所 B. 在容器、管道内焊接 C. 在金属构架上施焊 D. 有木料、沥青

青等铺设的地面

110. 与电击伤害程度有关的因素包括()。
A. 通过人体电流的大小与接触时间 B. 电流通过人体的路径 C. 焊接方法 D. 人体的健康状况
111. 高空作业时应该具备的条件有()。
A. 配带标准安全带 B. 把电缆或氧—乙炔管固定在架上 C. 施焊处下方的易燃易爆物品被移开 D. 施焊处的下方随意停留人员
112. 电焊工必须具备的防护用具包括()和清除焊渣时用的白光眼镜。
A. 滤光镜面罩 B. 电焊手套 C. 橡胶绝缘鞋 D. 焊工工作服
113. 焊工使用的面罩应该()。
A. 不导电 B. 不导热 C. 不漏光 D. 耐燃
114. 焊接过程中存在的对人体和环境不利的因素有()。
A. 电弧辐射 B. 高频电磁场 C. 有毒有害气体 D. 粉尘
115. 焊接过程中存在着许多对人体和环境有害的因素，稍有疏忽就会发生()等事故。
A. 火灾 B. 爆炸 C. 触电 D. 烫伤
116. 焊接烟尘对焊工的危害有()。
A. 尘肺 B. 胃痉挛 C. 锰中毒 D. 心跳加快
117. 磨削钨极时，砂轮应装有吸尘装置，焊工要做到()。
A. 戴好口罩 B. 戴好面罩 C. 戴好手套 D. 戴好护目眼镜
118. 焊接时弧光中的紫外线可造成对人眼睛的伤害，引起()。
A. 畏光 B. 眼睛流泪和剧痛 C. 电光性眼炎 D. 白内障
119. 电线或设备着火，应()。
A. 立即切断电源，用水灭火 B. 立即切断电源，用二氧化碳灭火器灭火 C. 立即切断电源，用沙土灭火 D. 立即切断电源，用四氯化碳灭火
120. 从工艺方面来考虑，焊接烟尘和有害气体的防护方法主要有()。
A. 采用低尘、低毒的焊条、焊剂等材料 B. 尽量采用自动、半自动焊接方法 C. 尽量减少在筒体内的焊接工作量 D. 穿戴好个人防护用品
121. 若有人触电时，应采取()的方法救护。
A. 迅速切断电源 B. 用绝缘物体将触电者与电源分开 C. 救护者赤手拉开触电者 D. 用金属物体将触电者与电源分开
122. 取得特种设备焊工合格证后，在有效期间可以承担特种设备的()。
A. 所有焊接工作 B. 所有返修焊工作 C. 合格项目范围内的焊接工作 D. 合格项目范围内的返修焊工作
123. 进行特种设备焊接操作人员考试的目的是()。
A. 搞好焊接工艺评定 B. 确保焊工素质 C. 加强焊工管理 D. 保证焊接质量
124. 《特种设备焊接操作人员考核细则》规定，下列哪些情况应当进行相应基本知识考试。()
A. 首次申请考试的 B. 改变或者增加焊接方法的 C. 改变或者增加母材种类 D. 被吊销《特种设备作业人员证》的焊工重新申请考试的

答 案

一、是非题

1. (√) 2. (√) 3. (√) 4. (√) 5. (√) 6. (√) 7. (√)
 8. (√) 9. (√) 10. (√) 11. (√) 12. (√) 13. (√) 14. (√)
 15. (√) 16. (√) 17. (√) 18. (√) 19. (√) 20. (√) 21. (√)
 22. (×) 23. (√) 24. (×) 25. (√) 26. (√) 27. (√) 28. (√)
 29. (√) 30. (×) 31. (√) 32. (√) 33. (√) 34. (√) 35. (√)
 36. (√) 37. (×) 38. (×) 39. (×) 40. (×) 41. (√) 42. (√)
 43. (√) 44. (×) 45. (√) 46. (√) 47. (×) 48. (√) 49. (√)
 50. (×) 51. (√) 52. (×) 53. (×) 54. (×) 55. (√) 56. (×)
 57. (√) 58. (√) 59. (√) 60. (√) 61. (×) 62. (√) 63. (√)
 64. (√) 65. (√) 66. (×) 67. (×) 68. (×) 69. (√) 70. (√)
 71. (×) 72. (√) 73. (√) 74. (√) 75. (×) 76. (√) 77. (×)
 78. (×) 79. (×) 80. (√) 81. (√) 82. (×) 83. (×) 84. (√)
 85. (√) 86. (√) 87. (√) 88. (√) 89. (√) 90. (√) 91. (×)
 92. (√) 93. (√) 94. (√) 95. (√) 96. (×) 97. (√) 98. (√)
 99. (√) 100. (√) 101. (√) 102. (√) 103. (×) 104. (×) 105. (√)
 106. (×) 107. (√) 108. (√) 109. (√) 110. (√) 111. (×) 112. (√)
 113. (√) 114. (√) 115. (×) 116. (×) 117. (×) 118. (×) 119. (×)
 120. (×) 121. (√) 122. (√) 123. (√) 124. (√) 125. (×) 126. (√)
 127. (×) 128. (×) 129. (×) 130. (√) 131. (√) 132. (×) 133. (√)
 134. (×) 135. (√) 136. (√) 137. (√) 138. (×) 139. (√) 140. (√)
 141. (√) 142. (×) 143. (√) 144. (√) 145. (√) 146. (√) 147. (√)
 148. (×) 149. (√) 150. (×) 151. (√) 152. (×) 153. (√) 154. (√)
 155. (√) 156. (√) 157. (√) 158. (√) 159. (×) 160. (×) 161. (×)
 162. (√) 163. (√) 164. (√) 165. (×) 166. (×) 167. (×) 168. (√)
 169. (√) 170. (√) 171. (√) 172. (×) 173. (√) 174. (×) 175. (√)
 176. (√) 177. (√) 178. (√) 179. (×) 180. (√) 181. (×) 182. (√)
 183. (×) 184. (×) 185. (×) 186. (√) 187. (√) 188. (√) 189. (√)
 190. (√) 191. (√) 192. (√) 193. (√) 194. (×) 195. (√) 196. (√)
 197. (√) 198. (√) 199. (√) 200. (×) 201. (√) 202. (√) 203. (√)
 204. (√) 205. (√) 206. (√) 207. (×) 208. (√) 209. (√) 210. (×)
 211. (√) 212. (√) 213. (√) 214. (√) 215. (×) 216. (√) 217. (√)
 218. (√) 219. (×) 220. (√) 221. (√) 222. (√) 223. (√) 224. (√)
 225. (√) 226. (√) 227. (×) 228. (√) 229. (√) 230. (√) 231. (√)
 232. (×) 233. (√) 234. (√) 235. (×) 236. (×) 237. (√) 238. (×)
 239. (×) 240. (√) 241. (√) 242. (√) 243. (×) 244. (×) 245. (√)
 246. (√) 247. (√) 248. (√) 249. (√) 250. (√) 251. (√) 252. (×)
 253. (√) 254. (√) 255. (×) 256. (√) 257. (×) 258. (×) 259. (√)

260. (✓) 261. (✓) 262. (✓) 263. (✗) 264. (✗) 265. (✓) 266. (✓)
 267. (✓) 268. (✓) 269. (✓) 270. (✗) 271. (✓) 272. (✓) 273. (✓)
 274. (✗) 275. (✓) 276. (✓) 277. (✗) 278. (✓) 279. (✗) 280. (✗)
 281. (✗) 282. (✓) 283. (✓) 284. (✓) 285. (✗) 286. (✗) 287. (✓)
 288. (✓) 289. (✓) 290. (✓) 291. (✓) 292. (✓) 293. (✓) 294. (✓)
 295. (✗) 296. (✓) 297. (✓) 298. (✓) 299. (✓) 300. (✓) 301. (✓)
 302. (✓) 303. (✗) 304. (✓) 305. (✓) 306. (✓) 307. (✓) 308. (✓)
 309. (✓) 310. (✓) 311. (✓) 312. (✓) 313. (✓) 314. (✓) 315. (✓)
 316. (✓) 317. (✓) 318. (✓) 319. (✓) 320. (✓) 321. (✓) 322. (✓)
 323. (✓) 324. (✓) 325. (✓) 326. (✓) 327. (✓) 328. (✓) 329. (✓)
 330. (✓) 331. (✓) 332. (✓) 333. (✓) 334. (✓) 335. (✓) 336. (✓)
 337. (✓) 338. (✓) 339. (✗) 340. (✗) 341. (✓) 342. (✗) 343. (✓)
 344. (✓) 345. (✓) 346. (✓) 347. (✓) 348. (✗) 349. (✓) 350. (✓)
 351. (✓) 352. (✗) 353. (✓) 354. (✓) 355. (✓) 356. (✓) 357. (✓)
 358. (✓) 359. (✗) 360. (✓) 361. (✗) 362. (✓) 363. (✓) 364. (✓)
 365. (✓) 366. (✗) 367. (✓) 368. (✓) 369. (✓) 370. (✗) 371. (✓)
 372. (✓) 373. (✓) 374. (✗) 375. (✓) 376. (✓) 377. (✗) 378. (✓)
 379. (✓) 380. (✓) 381. (✓) 382. (✓) 383. (✓) 384. (✗) 385. (✓)
 386. (✗) 387. (✓) 388. (✓) 389. (✗) 390. (✓) 391. (✓) 392. (✓)
 393. (✓) 394. (✗) 395. (✗) 396. (✗) 397. (✗) 398. (✗) 399. (✓)
 400. (✓) 401. (✗) 402. (✓) 403. (✓) 404. (✓) 405. (✗) 406. (✓)
 407. (✓) 408. (✗) 409. (✗) 410. (✓) 411. (✓) 412. (✗) 413. (✗)
 414. (✓) 415. (✗) 416. (✓) 417. (✓) 418. (✓) 419. (✓) 420. (✓)
 421. (✓) 422. (✓) 423. (✗) 424. (✓) 425. (✗) 426. (✓) 427. (✓)
 428. (✗) 429. (✓) 430. (✓) 431. (✓) 432. (✓) 433. (✓) 434. (✗)
 435. (✓) 436. (✓) 437. (✓) 438. (✗) 439. (✓) 440. (✓) 441. (✗)
 442. (✓) 443. (✗) 444. (✗) 445. (✓) 446. (✓) 447. (✓) 448. (✗)
 449. (✓) 450. (✓) 451. (✗) 452. (✗) 453. (✓) 454. (✗) 455. (✓)
 456. (✓) 457. (✓) 458. (✓) 459. (✓) 460. (✗) 461. (✗) 462. (✗)
 463. (✓) 464. (✗) 465. (✗) 466. (✓) 467. (✗) 468. (✗) 469. (✗)
 470. (✗) 471. (✓) 472. (✓) 473. (✓) 474. (✓) 475. (✗) 476. (✓)
 477. (✗) 478. (✓) 479. (✗) 480. (✓) 481. (✓) 482. (✓)

二、单选题

- | | | | | | | |
|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| 1. (A) | 2. (B) | 3. (D) | 4. (F) | 5. (E) | 6. (A) | 7. (B) |
| 8. (E) | 9. (C) | 10. (A) | 11. (B) | 12. (C) | 13. (B) | 14. (A) |
| 15. (B) | 16. (A) | 17. (D) | 18. (B) | 19. (B) | 20. (B) | 21. (D) |
| 22. (D) | 23. (C) | 24. (B) | 25. (C) | 26. (C) | 27. (B) | 28. (B) |
| 29. (B) | 30. (B) | 31. (C) | 32. (B) | 33. (C) | 34. (C) | 35. (B) |
| 36. (A) | 37. (A) | 38. (C) | 39. (B) | 40. (C) | 41. (B) | 42. (A) |
| 43. (C) | 44. (D) | 45. (A) | 46. (B) | 47. (D) | 48. (D) | 49. (B) |
| 50. (C) | 51. (A) | 52. (C) | 53. (D) | 54. (B) | 55. (B) | 56. (C) |

57. (B) 58. (C) 59. (D) 60. (A) 61. (A) 62. (A) 63. (B)
64. (A) 65. (B) 66. (D) 67. (C) 68. (D) 69. (B) 70. (B)
71. (D) 72. (B) 73. (B) 74. (A) 75. (A) 76. (A) 77. (D)
78. (B) 79. (C) 80. (B) 81. (A) 82. (A) 83. (A) 84. (C)
85. (C) 86. (C) 87. (B) 88. (B) 89. (B) 90. (C) 91. (B)
92. (C) 93. (B) 94. (D) 95. (A) 96. (C) 97. (A) 98. (A)
99. (D) 100. (B) 101. (C) 102. (C) 103. (D) 104. (B) 105. (C)
106. (A) 107. (D) 108. (D) 109. (C) 110. (A) 111. (D) 112. (A)
113. (A) 114. (A) 115. (B) 116. (A) 117. (A) 118. (C) 119. (B)
120. (C) 121. (A) 122. (D) 123. (D) 124. (A) 125. (A) 126. (B)
127. (A) 128. (A) 129. (C) 130. (D) 131. (B) 132. (D) 133. (A)
134. (D) 135. (B) 136. (A) 137. (C) 138. (A) 139. (C) 140. (B)
141. (C) 142. (A) 143. (A) 144. (B) 145. (A) 146. (B) 147. (A)
148. (C) 149. (D) 150. (B) 151. (C) 152. (D) 153. (B) 154. (D)
155. (B) 156. (A) 157. (A) 158. (A) 159. (B) 160. (A) 161. (C)
162. (A) 163. (B) 164. (C) 165. (B) 166. (D) 167. (D) 168. (B)
169. (C) 170. (A) 171. (A) 172. (B) 173. (C) 174. (B) 175. (C)
176. (A) 177. (D) 178. (D) 179. (A) 180. (C) 181. (D) 182. (B)
183. (C) 184. (B) 185. (D) 186. (A) 187. (C) 188. (D) 189. (D)
190. (C) 191. (C) 192. (C) 193. (C) 194. (C) 195. (A) 196. (D)
197. (A) 198. (B) 199. (B) 200. (D) 201. (D) 202. (C) 203. (A)
204. (B) 205. (A) 206. (A) 207. (D) 208. (A) 209. (D) 210. (B)
211. (C) 212. (B) 213. (C) 214. (A) 215. (C) 216. (B) 217. (D)
218. (C) 219. (C) 220. (D) 221. (A) 222. (C) 223. (C) 224. (B)
225. (A) 226. (A) 227. (A) 228. (D) 229. (C) 230. (D) 231. (B)
232. (B) 233. (D) 234. (A) 235. (A) 236. (A) 237. (B) 238. (B)
239. (A) 240. (A) 241. (B) 242. (A) 243. (D) 244. (D) 245. (C)
246. (A) 247. (C) 248. (B) 249. (A) 250. (B) 251. (B) 252. (C)
253. (A) 254. (A) 255. (A) 256. (B) 257. (A) 258. (B) 259. (C)
260. (D) 261. (C) 262. (C) 263. (D) 264. (D) 265. (D) 266. (B)
267. (A) 268. (C) 269. (B) 270. (A) 271. (B) 272. (A) 273. (C)
274. (A) 275. (B) 276. (A) 277. (A) 278. (B) 279. (D) 280. (A)
281. (C) 282. (A) 283. (A) 284. (A) 285. (A) 286. (A) 287. (B)
288. (C) 289. (B) 290. (A) 291. (D) 292. (A) (B) 293. (B)
294. (A) 295. (B) 296. (C) 297. (A) 298. (C) 299. (B) 300. (B)
301. (B) 302. (A) 303. (B) 304. (C) 305. (A) 306. (D) 307. (B)
308. (B) 309. (C) 310. (B) 311. (B) 312. (B) 313. (B) 314. (B)
315. (D) 316. (A) 317. (C) 318. (D) 319. (A) 320. (A) 321. (A)
322. (C) 323. (A) 324. (A) 325. (D) 326. (B) 327. (B) 328. (D)
329. (A) 330. (C) 331. (C) 332. (B) 333. (B) 334. (A) 335. (C)
336. (D) 337. (D) 338. (A) 339. (B) 340. (A) 341. (B) 342. (D)
343. (A) 344. (C) 345. (C) 346. (C) 347. (A) 348. (B) 349. (D)

350. (D) 351. (A) 352. (C) 353. (D) 354. (B) 355. (B) 356. (B)
357. (A) 358. (C) 359. (D) 360. (D) 361. (A) 362. (B) 363. (A)
364. (D) 365. (D) 366. (B) 367. (C) 368. (C) 369. (C) 370. (C)
371. (D) 372. (C) 373. (A) 374. (B) 375. (B) 376. (C) 377. (D)
378. (D) 379. (A) 380. (B) 381. (C) 382. (A)

三、多选题

1. (CD) 2. (AB) 3. (AB) 4. (ABCD) 5. (ABF) 6. (CDE)
7. (ABCDF) 8. (ABD) 9. (ACDF) 10. (AB) 11. (ABC) 12. (ABCD)
13. (ABCD) 14. (AD) 15. (AB) 16. (AD) 17. (AB) 18. (AD)
19. (AB) 20. (AB) 21. (CD) 22. (AB) 23. (ABD) 24. (AD)
25. (BCD) 26. (ACD) 27. (ACD) 28. (BCD) 29. (A B) 30. (ABCD)
31. (BD) 32. (ABC) 33. (AD) 34. (ABCD) 35. (ABDEF) 36. (ABE)
37. (ABE) 38. (ACDEF) 39. (ABC) 40. (ABCD) 41. (ABC) 42. (CD)
43. (ABD) 44. (AD) 45. (ABC) 46. (ABC) 47. (ABC) 48. (BC)
49. (ABCD) 50. (AC) 51. (AB) 52. (BC) 53. (ABD) 54. (ABD)
55. (AC) 56. (CD) 57. (ABC) 58. (ACDE) 59. (ABCD) 60. (BCD)
61. (AB) 62. (AB) 63. (BC) 64. (AC) 65. (BD) 66. (ABCDEF)
67. (AC) 68. (AD) 69. (CD) 70. (BD) 71. (AC) 72. (BD)
73. (ABC) 74. (AD) 75. (AB) 76. (BCD) 77. (C D) 78. (AC)
79. (ABCDF) 80. (ABCDEF) 81. (ABC) 82. (CD) 83. (ABCD) 84. (ABCD)
85. (ABCD) 86. (ABD) 87. (ACD) 88. (AB) 89. (ABCD) 90. (ABCD)
91. (ABCD) 92. (BC) 93. (AC) 94. (BC) 95. (BC) 96. (ABCD)
97. (ABCD) 98. (ACD) 99. (ACD) 100. (ABC) 101. (BD) 102. (ABCD)
103. (BC) 104. (BC) 105. (ABC) 106. (ACD) 107. (AD) 108. (AC)
109. (ABC) 110. (ABD) 111. (ABC) 112. (ABCD) 113. (ABCD) 114. (ABCD)
115. (ABCD) 116. (AC) 117. (AC) 118. (ABC) 119. (CD) 120. (ABC)
121. (AB) 122. (CD) 123. (BCD) 124. (ABCD)

参 考 文 献

- [1] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. TSG Z6002—2010 特种设备焊接操作人员考核细则 [S]. 北京: 新华出版社, 2010.
- [2] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. TSG Z0004—2007 特种设备制造、安装、改造、维修质量保证体系基本要求 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2007.
- [3] 全国锅炉压力容器标准化技术委员会. 承压设备焊接工程师培训教程 [M]. 昆明: 云南科技出版社, 2004.
- [4] 刘廷贵. 锅炉压力容器管道焊工考证基础 [M]. 北京: 中国计量出版社, 2002.
- [5] 李维钺, 李军. 中外金属材料牌号速查手册 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2009.
- [6] 张子荣, 时炜. 简明焊接材料选用手册 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2004.
- [7] 刘云龙. 焊工技师手册 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2008.
- [8] 钱在中. 焊工取证上岗培训教材 [M]. 2 版. 北京: 机械工业出版社, 2008.
- [9] 陈剑虹. 焊接手册 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2001.
- [10] 刘云龙. 国家职业资格培训教材 焊工: 初级 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2005.
- [11] 刘云龙. 国家职业资格培训教材 焊工: 中级 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2006.
- [12] 刘云龙. 国家职业资格培训教材 焊工: 高级 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2007.
- [13] 浙江省劳动和社会保障厅. 焊工: 技师、高级技师 [M]. 杭州: 浙江科学技术出版社, 2008.
- [14] 李正端. 焊条电弧焊焊接技术 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2010.
- [15] 王晓雷. 承压类特种设备无损检测相关知识 [M]. 北京: 中国劳动社会保障出版社, 2007.
- [16] 范绍林. 焊工操作技巧集锦 100 例 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2008.
- [17] 湖北省职工焊接技术协会. 焊接技术能手绝技绝活 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2010.
- [18] 王宗杰. 熔焊方法及设备 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2006.
- [19] 张文钺. 焊接冶金学 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2004.
- [20] 周振丰. 金属焊接性 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2002.
- [21] 黄石生. 弧焊电源及其数字化控制 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2006.
- [22] 全国电焊机标准化技术委员会. GB/T10249—2010, 电焊机型号编制方法 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2011.
- [23] 雷世明. 焊接方法与设备 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2004.
- [24] 李亚江, 等. 焊接与切割操作技能 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2005.
- [25] 李隆骏, 许林滔. 特种设备焊工考证基础 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2012.
- [26] 国家能源局. NB/T 47014—2011 承压设备焊接工艺评定 [S]. 北京: 新华出版社, 2011.
- [27] 国家能源局. NB/T 47015—2011 压力容器焊接规程 [S]. 北京: 新华出版社, 2011.
- [28] 国家能源局. NB/T 47018—2011 承压设备用焊接材料订货技术条件 [S]. 北京: 新华出版社, 2011.



地址:北京市百万庄大街22号

邮政编码:100037

电话服务

社服务中心:010-88361066

销售一部:010-68326294

销售二部:010-88379649

读者购书热线:010-88379203

网络服务

教材网: <http://www.cmpedu.com>

机工官网: <http://www.cmpbook.com>

机工官博: <http://weibo.com/cmp1952>

封面无防伪标均为盗版

ISBN 978-7-111-45490-8



9 787111 454908

上架指导 工业技术 / 金属加工 / 焊接

ISBN 978-7-111-45490-8

策划编辑◎沈红 / 封面设计◎陈沛

定价: 56.00元