



焊接工艺 简明手册

HANJIE GONGYI
JIANMING SHOUCHE

焊接工程技术人员和技术工人的
常备工具书

徐峰 主编

焊接基础知识
焊接设备及调试
焊接材料
常用焊接技法
常用金属材料的焊接
异种金属材料的焊接
典型焊接制结构
焊接缺陷与检验

上海科学技术出版社

焊接工艺简明手册

徐 峰 主编

上海科学技术出版社

内 容 提 要

主要包括:焊接基础知识;焊接设备及调试;焊接材料;常用焊接技术;常用金属材料的焊接;异种金属材料的焊接;典型焊接钢结构;焊接缺陷与检验;焊接安全生产技术等方面。本手册不仅侧重于焊接工艺方法的介绍,更注重了它的实用性,因而适当删掉了部分理论内容,增加了大量实用技术数据,以便焊接工作者在生产施工中查阅。

本手册是现场焊接工程技术人员和技术工人的工具书,为各行业焊工在生产过程中对焊接设备、材料、工艺方法的选择提供了方便,本书也可作为提高焊工理论知识和操作技能的学习用书。

前 言

焊接技术被广泛应用于船舶、车辆、航空、锅炉、压力容器、电机、冶炼设备、石油化工机械、矿山、起重、建筑及国防等各个行业。正是由于焊接技术的广泛应用,所以焊接技术质量的可达性、安全性是关系着国计民生的大事,其焊接质量的好坏,更关系着社会的安定和稳定。

我国焊接行业经过多年的发展壮大,目前已形成一批有一定规模的企业,可以基本满足国民经济的需求。在科学技术飞速发展的今天,焊接业已经完成了其自身的蜕变。焊接已经从一种传统的热加工工艺发展到了集结构、力学、电子等多门类科学为一体的综合工程学科。而且,随着相关学科技术的发展和进步,不断有新的知识融合在焊接之中。在新型工业化道路的进程中,我国焊接工业的发展充满了机遇和挑战。面对新的形势,广大焊工迫切需要知识更新,特别是学习和掌握与新的应用领域有关的新技能。为此,我们组织编写了《焊工工艺简明手册》。

本手册编委会邀请有关专家和教授就各自擅长的领域分工编写,编写时综合考虑实际需要和篇幅容量,在取材上,遵循实用和精炼的原则;在内容上,力争通俗易懂的原则。本手册系统地介绍了有关的最新国家标准、最必要的基础知识、最实用的产品资料、最有效的维护技术等内容,具有公式数据可靠、技术资料翔实、理论方法实用的特点。

本手册由徐峰高级工程师主编,参加编写的还有艾春平、余莉、高霞、郭永清、励凌峰、王文荻、陈玲玲、程美玲、王亚龙、徐淼、崔俊、李茵、崔俊、金英、刘璐、戴胡斌、程国元、夏红民、冯宪民、袁荷伟、魏金营、杨波、张露露等同志。本书在编写过程中吸收了大量的培训讲义和同类出版物的精华,并融合了编者多年的工作实践经验,同时,得到了江苏省焊接协会、南京理工大学机械学院、中国石化扬子石油化工股份有限公司各位领导的大力支持和帮助。在此,向原作者和单位表示最诚挚的谢意!

因编者水平有限,加上时间仓促,书中难免有错误和不妥之处,恳请读者批评指正。

编 者

目 录

第一章 焊接基础知识	1	第五节 其他焊接材料	68
第一节 焊接方法的分类及其选择	1	一、气体保护焊用气体	68
一、焊接方法的分类	1	二、气体保护焊用钨极材料	70
二、焊接方法的选择	4	三、碳弧气刨用碳电极	70
第二节 焊接接头及焊缝形式	6	第四章 常用焊接技术	72
一、焊接接头的特点及形式	6	第一节 手工电弧焊	72
二、常用焊接接头的工作特性	7	一、手工电弧焊构成	72
三、焊接接头构造的设计与选择	12	二、手工电弧焊基本操作技能	79
四、焊接接头强度计算基础	18	三、单面焊双面成形技术	85
五、焊缝符号及标准方法	23	四、平板对接焊接技术	88
第二章 焊接设备及调试	26	五、T形接头焊接技术	92
第一节 焊接设备	26	六、管板焊接技术	94
一、焊接设备的分类与电焊机型号	26	七、管子焊接技术	97
二、弧焊电源	29	第二节 埋弧焊	98
三、电弧焊机	32	一、埋弧焊的特点及应用	98
四、等离子弧焊机	37	二、埋弧焊的工艺参数	99
五、气焊设备	39	三、埋弧焊的基本操作技能	101
第二节 焊接设备的调试	40	第三节 钨极氩弧焊	105
一、焊机调试的内容	40	一、钨极氩弧焊的特点及应用	105
二、几种常用焊机的调试	41	二、钨极氩弧焊的工艺参数	106
第三章 焊接材料	43	三、手工钨极氩弧焊的基本操作技能	107
第一节 焊条	43	第四节 二氧化碳气体保护焊	110
一、焊条的组成及作用	43	一、二氧化碳气体保护焊的特点及应用	110
二、焊条的选择和使用	45	二、半自动二氧化碳气体保护焊工艺	112
第二节 焊丝	48	三、半自动二氧化碳气体保护焊的操作要点	113
一、焊丝的分类及特点	48	第五节 等离子弧焊接与切割	118
二、焊丝的正确使用和保管	51	一、等离子弧的特点及分类	118
第三节 焊剂	51	二、等离子弧的焊接	119
一、埋弧焊剂的分类	52	三、等离子弧的切割	120
二、埋弧焊剂型号、牌号的编制	52	第六节 气焊与气割	123
第四节 钎料	55	一、手工气焊工艺	123
一、钎料的分类及型号编制	55		
二、硬钎料的成分、性能及作用	57		
三、软钎料的成分、性能及用途	64		

二、手工气割工艺·····	128	一、铸铁的种类及性能·····	194
三、火焰矫正与加工技术·····	130	二、铸铁焊接性分析·····	196
第七节 电阻焊·····	133	三、铸铁焊接方法简介·····	198
一、电阻焊的原理、特点及应用·····	133	第七节 铝及铝合金的焊接·····	200
二、电阻焊的焊接工艺·····	134	一、铝及铝合金的可焊性·····	200
三、点焊和对焊的基本操作技能·····	137	二、铝及铝合金的牌号及基本性能·····	201
第八节 电渣焊·····	139	三、铝及铝合金的焊接特点·····	201
一、电渣焊的原理、特点及应用·····	139	四、铝及铝合金焊接材料的选择·····	202
二、电渣焊的工艺及设备·····	141	五、铝及铝合金焊件焊前、焊后的清理·····	204
三、电渣焊的基本操作技能·····	145	六、焊接工艺·····	205
第五章 常用金属材料的焊接·····	147	第八节 铜及铜合金的焊接·····	215
第一节 碳钢的焊接·····	147	一、铜及铜合金的分类、性能及成分·····	215
一、碳钢的焊接性·····	147	二、铜及铜合金的焊接特点·····	216
二、低碳钢的焊接·····	148	三、焊接方法的选择·····	217
三、中碳钢的焊接·····	152	四、焊接材料的选择·····	217
四、高碳钢的焊接·····	153	五、焊前准备·····	218
第二节 合金结构钢的焊接·····	154	六、焊接工艺·····	218
一、合金结构钢概述·····	154	第六章 异种金属材料的焊接·····	223
二、合金结构钢的焊接·····	155	第一节 异种金属焊接原理·····	223
第三节 耐热钢的焊接·····	162	一、异种金属的焊接性·····	223
一、常用耐热钢的力学性能·····	162	二、异种金属焊接的主要困难·····	224
二、耐热钢焊接特点·····	163	三、异种金属焊接接头·····	224
三、珠光体耐热钢的焊接·····	164	四、异种金属的焊接方法·····	227
四、奥氏体型耐热钢的焊接·····	166	第二节 铸铁与钢的焊接·····	228
五、马氏体型耐热钢的焊接·····	167	一、铸铁与钢的焊接性·····	228
六、铁素体型耐热钢的焊接·····	168	二、灰铸铁与碳素钢的焊接·····	230
第四节 不锈钢的焊接·····	169	三、可锻铸铁与碳素钢的焊接·····	233
一、不锈钢的分类及性能·····	169	四、球墨铸铁与碳素钢的焊接·····	235
二、奥氏体不锈钢的焊接工艺·····	175	五、铸铁与不锈钢的焊接·····	235
三、马氏体不锈钢的焊接·····	182	第三节 钢与有色金属的焊接·····	236
四、铁素体不锈钢的焊接·····	186	一、钢与铝及其合金的焊接·····	236
第五节 低温钢的焊接·····	191	二、钢与铜及其合金的焊接·····	237
一、低温钢的分类·····	191	第四节 异种有色金属焊接·····	239
二、低温钢的化学成分及基本性能·····	191	一、铝与铜的焊接·····	239
三、低温钢的焊接特点·····	193	二、钛与铝的焊接·····	241
四、焊接材料的选择·····	193	三、钛-铜的焊接·····	242
五、焊接规范·····	194		
六、焊接工艺要点·····	194		
第六节 铸铁的焊接·····	194		

第七章 典型焊接钢结构 ·····	244	第二节 焊接质量检验 ·····	277
第一节 焊接结构设计基础 ·····	244	一、非破坏性检验·····	277
一、钢结构的特点·····	244	二、破坏性检验方法·····	279
二、焊接结构采用时应注意的 问题·····	245	第九章 电焊安全技术 ·····	290
三、焊接结构总体设计要求·····	245	第一节 电焊作业的危害因素 ·····	290
四、焊接结构设计中应考虑的工艺 性问题·····	246	第二节 电焊安全技术 ·····	292
五、合理的接头设计·····	247	一、焊接安全用电·····	292
第二节 压力容器结构的焊接 ·····	248	二、焊条电弧焊安全技术·····	295
一、锅炉及压力容器焊接的特点、 分类及要求·····	248	三、气体保护焊安全技术·····	296
二、圆筒形压力容器的生产工艺·····	250	四、埋弧焊安全技术·····	296
三、球形压力容器的生产工艺·····	254	五、等离子弧焊接与切割安全 技术·····	297
第三节 网架结构的焊接 ·····	257	六、电阻焊安全技术·····	297
一、焊接空心球节点·····	257	七、碳弧气刨安全技术·····	298
二、焊接钢板节点·····	259	八、容器焊接作业安全技术·····	298
三、焊接钢管节点·····	260	九、电焊工高处作业安全技术·····	298
四、焊接鼓节点·····	260	十、焊接作业的防火防爆措施·····	299
第四节 梁及柱的焊接 ·····	261	十一、触电急救·····	299
一、梁的焊接·····	261	第三节 焊接劳动保护 ·····	300
二、柱的焊接·····	268	一、电焊辐射防护措施·····	300
第八章 焊接缺陷与检验 ·····	269	二、高频电磁场的防护措施·····	301
第一节 焊接缺陷 ·····	269	三、焊接烟尘和有毒气体的防护 措施·····	301
一、焊接缺陷的分类·····	269	四、放射性防护措施·····	303
二、焊接缺陷的产生原因、危害和 防止措施·····	269	五、噪声防护措施·····	303
		参考文献 ·····	304

第一章 焊接基础知识

第一节 焊接方法的分类及其选择

一、焊接方法的分类

根据母材是否熔化将焊接方法分成熔焊、压焊和钎焊三大类,然后再根据加热方式、工艺特点或其他特征进行下一层次的分类,如表 1-1 所示。这种方法的最大优点是层次清楚,主次分明,是最常用的一种分类方法。

表 1-1 焊接方法的分类

第一层次 (根据母材是否熔化)	第二层次	第三层次	第四层次	代号	是否易于 实现自动化	
熔焊 利用一定的热源,使构件的被连接部位局部熔化成液体,然后再冷却结晶成一体的方法 压力焊 利用摩擦、扩散和加压等物理作用,克服两个连接表面的不平度,除去氧化膜及其他污染物,使两个连接表面上的原子相互接近到晶格距离,从而在固态条件下实现连接的方法	电 弧 焊	熔化极电弧焊	手工电弧焊	111	△	
			埋弧焊	121	○	
			熔化极气体保护焊(GMAW)	131	○	
			CO ₂	135	○	
			螺柱焊		△	
		非熔化极电弧焊	钨极氩弧焊(GTAW)	141	○	
			等离子弧焊	15	○	
			氢原子焊		△	
	气 焊	氧-氢火焰	氧-氢火焰		311	△
			氧-乙炔火焰			△
			空气-乙炔火焰			△
			氧-丙烷火焰			△
			空气-丙烷火焰			△
	铝热焊					△
	电渣焊				72	○
	电子束焊	高真空电子束焊			76	○
		低真空电子束焊				○
		非真空电子束焊				○
	激 光 焊		CO ₂ 激光焊		751	○
			YAG 激光焊			○
电阻点焊				21	○	
电阻缝焊				22	○	
压力焊	闪光对焊			24		
	电阻对焊			25	○	
	冷压焊				△	
	超声波焊			41	○	
	爆炸焊			441	△	
	锻 焊				△	
	扩 散 焊			45	△	
	摩 擦 焊			42	○	

(续表)

第一层次 (根据母材是否熔化)	第二层次	第三层次	第四层次	代号	是否易于 实现自动化	
钎焊 采用熔点比母材低的材料作钎料,将焊件和钎料加热至高于钎料熔点但低于母材熔点的温度,利用毛细作用使液态钎料充满接头间隙,熔化钎料润湿母材表面,冷却后结晶形成冶金结合的方法	火焰钎焊			912	△	
	感应钎焊				△	
	炉中钎焊	空气炉钎焊				△
		气体保护炉钎焊				△
		真空炉钎焊				△
	盐浴钎焊				△	
	超声波钎焊				△	
	电阻钎焊				△	
	摩擦钎焊				△	
	金属浴钎焊				△	
	放热反应钎焊				△	
	红外线钎焊				△	
	电子束钎焊				△	

注: ○——易于实现自动化; △——难以实现自动化。

焊接工艺对能源的要求是能量密度大、加热速度快,以减小热影响区,避免接头过热。焊接用的能源主要有电弧、火焰、电阻热、电子束、激光束、超声波、化学能等。

电弧是应用最广泛的一种焊接热源,主要用于电弧焊、堆焊等。电渣焊或电阻焊利用电阻热进行焊接。锻焊、摩擦焊、冷压焊及扩散焊等利用机械能进行焊接,通过顶压、锤击、摩擦等手段,使工件的结合部位发生塑性流变,破坏结合面上的金属氧化膜,并在外力作用下将氧化物挤出,实现金属的连接。气焊依靠可燃气体(如乙炔、氢、天然气、丙烷、丁烷等)与氧混合燃烧产生的热量进行焊接。热剂焊利用金属与其他金属氧化物间的化学反应所产生的热量作能源,利用反应生成的金属为填充材料进行焊接,应用较多是铝热剂焊。爆炸焊利用炸药爆炸释放的化学能及机械冲击能进行焊接。常用焊接热源的主要特性见表1-2。

表1-2 碳钢焊接性与含碳量的关系

焊接热源	最小加热面积/cm ²	最大功率密度/W·cm ⁻²	正常温度/K
氧-乙炔火焰	10 ⁻²	2×10 ³	3 470
手工电弧焊电弧	10 ⁻³	10 ⁴	6 000
钨极氩弧(TIG)	10 ⁻³	1.5×10 ⁴	8 000
埋弧自动焊电弧	10 ⁻³	2×10 ⁴	6 400
电渣焊热源	10 ⁻³	10 ⁴	2 273
熔化极氩弧(MIG)	10 ⁻⁴	10 ⁴ ~10 ⁵	
CO ₂ 焊电弧	10 ⁻⁴	10 ⁴ ~10 ⁵	
等离子弧	10 ⁻⁵	1.5×10 ⁵	18 000~24 000
电子束	10 ⁻⁷		
激光束	10 ⁻⁸		

常用的焊接方法有手工电弧焊、CO₂焊、埋弧焊、钨极氩弧焊、熔化极氩弧焊、电渣焊、电子束焊、激光焊、电阻焊、钎焊等。

1. 手工电弧焊

手工电弧焊是目前应用最广泛的一种焊接方法。其优点是应用灵活、方便、适用性最强,而且设备简单,特别适合于焊接全位置短焊缝、自动焊难以焊接的焊缝。手工电弧焊时,焊件厚度不受限制,但焊件厚度较大时经济效益降低,而且随着厚度的增大,焊接缺陷增多。因此,工件厚度较大时应尽量采用埋弧焊或电渣焊。

手工电弧焊的主要缺点是生产率低、劳动强度大、对焊工技术水平的依赖性强且对焊工健康的影响大。

2. 埋弧自动焊

这种焊接方法适合于厚度在 4 mm 以上的低碳钢、低合金钢、不锈钢等的焊接。一般情况下,只能进行平焊及船形焊。埋弧焊允许使用的电源较大,熔敷速度及熔透能力大,中等厚度的钢板可不用开坡口,焊接生产率比手工电弧焊高得多。这种方法的焊缝质量稳定、劳动条件好且对焊工的技术水平依赖性小。

3. 电渣焊

电渣焊是一种适用于大厚度钢板的高效焊接方法。板件厚度超过 30 mm 时就可考虑采用电渣焊。厚度大于 50 mm 时,电渣焊的经济效益就超过埋弧焊。电渣焊有丝极、板极及熔嘴电渣焊三种,变断面或断面复杂的焊件必须采用熔嘴电渣焊。

电渣焊是利用电阻热熔化金属的焊接方法,整个焊接过程中无电弧和飞溅,生产率高,热效率高达 80%(埋弧焊为 60%),且电能与焊接材料消耗比埋弧焊少(仅为 1/20)。电渣焊的缺点是焊缝及热影响区的组织粗大,降低了焊接接头的塑性与冲击韧性,焊后必须对工件进行正火处理。

4. 熔化极气体保护焊

常用的熔化极气体保护焊有 CO₂ 焊、熔化极惰性气体保护焊(MIG)以及活性气体保护焊(MAG)。

CO₂ 焊是一种生产率高、成本低的焊接方法。主要用于低碳钢及低合金钢的焊接。其优点是可进行各种位置的焊接,既可焊薄板,也可焊厚板,而且焊接速度较快,熔敷效率较高,便于实现自动化。

熔化极惰性气体保护焊可焊接所有金属。由于焊丝的载流能力大,与非熔化极惰性气体保护焊相比,该方法的熔深能力大,焊接生产率高。特别适用于有色合金、不锈钢的中厚板的焊接。活性气体保护焊主要用于低碳钢、低合金钢及不锈钢的焊接。

5. 非熔化极气体保护焊(TIG)

非熔化极气体保护焊(TIG)是用钨作电极,用惰性气体作保护气体的一种焊接方法。优点是焊接质量好,可焊接所有金属,特别适用于焊接铝、钛、镁等活性金属以及不锈钢。也用于重要钢结构的打底焊。由于受钨极载流能力的限制,所焊的焊件厚度有限,焊接速度及生产率也较低。

6. 电阻焊

电阻焊是一种机械化程度及生产率较高的焊接方法。这种焊接方法主要用于焊接厚度小于 3 mm 的薄件,对于棒材、轴、钻杆、管子等可进行电阻对焊。电阻焊接头质量对焊接部位的污染物非常敏感,焊前准备工作要求较严格,必须清除接头处的油污、锈、氧化皮等,生产中应有相应的辅助设备。电阻焊主要适用于大批量生产,电阻焊机的功率一般较大,结构复杂,价格贵。

7. 等离子弧焊

等离子弧是一种压缩的钨极氩弧,具有较高的能量密度及挺直度。利用穿孔工艺进行焊接时,对于一定厚度范围内的大多数金属,可以采用单面焊双面成形方法进行焊接。采用微束等离子工艺进行焊接时,可焊接超薄板(可焊接的最薄厚度为 0.01 mm)。这种方法的缺点是设备较复杂,对焊接工艺参数的控制要求较严格。

8. 高能束焊接

高能束焊接主要有激光束及电子束两种。由于激光束及电子束的能量密度大,因此,这两种焊接方法具有熔深大、熔宽小、焊接热影响区小、焊接变形小、接头性能好的特点。既可对很薄的材料进行精密焊接,又可对很厚的材料进行焊接。由于设备价格较贵,运行成本也较高,目前主要用于质量要求高的产品以及难焊材料的焊接。

9. 钎焊

加热温度较低,母材不熔化,因此焊接热循环对母材性能的影响较小,焊件变形及残余应力也较小。这种方法不但可焊接几乎所有的金属,而且还可焊接异种金属、金属与非金属以及非金属与非金属,尤其适合于焊接形状复杂的制品。但钎焊接头强度不高、工作温度较低。因此一般用于受载荷不大、工作温度较低的接头的焊接。

二、焊接方法的选择

选择的焊接方法首先应能满足技术要求及质量要求,在此前提下,尽可能地选择经济效益好,劳动强度低的焊接方法。表 1-3 给出了不同金属材料适用的焊接方法,不同焊接方法所适用材料的厚度不同。

表 1-3 不同金属材料所适用的焊接方法

材料	厚度 / mm	手工电弧焊	埋弧焊	熔化极气体保护焊				管状焊丝气体保护焊	钨极气体保护焊	等离子弧焊	电渣焊	气电立焊	电阻焊	闪光焊	气焊	扩散焊	摩擦焊	电子束焊	激光焊	硬钎焊						软钎焊
				喷射过渡	潜弧	脉冲喷射	短路过渡													火焰钎焊	炉中钎焊	感应加热钎焊	电阻加热钎焊	浸渍钎焊	红外线钎焊	
碳钢	≤3	△	△			△	△		△				△	△	△			△	△	△	△	△	△	△	△	
	3~6	△	△	△	△	△	△	△					△	△	△			△	△	△	△	△	△	△	△	
	6~19	△	△	△	△	△		△					△	△	△			△	△	△					△	
	≥19	△	△	△	△	△		△			△	△		△	△			△	△						△	
低合金钢	≤3	△	△			△	△		△				△	△	△			△	△	△	△	△	△	△	△	
	3~6	△	△	△		△	△	△					△	△		△	△	△	△	△	△	△			△	
	6~19	△	△	△		△							△		△	△	△	△	△	△	△				△	
	≥19	△	△	△		△					△			△	△	△			△						△	
不锈钢	≤3	△	△			△	△		△	△				△	△			△	△	△	△	△	△	△	△	
	3~6	△	△	△		△	△		△	△					△	△	△	△	△	△	△	△			△	
	6~19	△	△	△		△			△						△	△	△	△	△	△	△				△	
	≥19	△	△	△		△					△				△	△	△			△					△	
铸铁	3~6	△												△					△	△	△				△	
	6~19	△	△	△			△							△					△	△	△				△	
	≥19	△	△	△			△							△					△						△	
镍及其合金	≤3	△				△	△		△	△			△	△	△			△	△	△	△	△	△	△	△	
	3~6	△	△	△		△	△		△	△					△	△	△	△	△	△	△				△	
	6~19	△	△	△		△			△						△	△	△	△	△	△					△	
	≥19	△		△		△					△				△	△			△						△	
铝及其合金	≤3			△		△			△	△			△	△	△			△	△	△	△	△	△	△	△	
	3~6			△		△			△				△	△		△	△	△	△	△	△				△	
	6~19			△					△					△	△			△	△	△					△	
	≥19			△							△	△						△							△	

(续表)

材 料	厚度 / mm	手工电弧焊	埋弧焊	熔化极气体保护焊				管状焊丝气体保护焊	钨极气体保护焊	等离子弧焊	电渣焊	气电立焊	电阻焊	闪光焊	气焊	扩散焊	摩擦焊	电子束焊	激光焊	硬钎焊						软钎焊
				喷射过渡	潜弧	脉冲喷射	短路过渡													火焰钎焊	炉中钎焊	感应加热钎焊	电阻加热钎焊	浸渍钎焊	红外线钎焊	
钛及其合金	≤3					△			△	△			△	△			△	△					△	△		
	3~6			△		△			△	△			△	△			△	△						△		
	6~19			△		△			△	△			△	△			△	△						△		
	≥19			△		△							△	△			△	△						△		
铜及其合金	≤3			△		△			△	△			△				△	△	△	△				△	△	
	3~6			△		△			△				△			△	△	△	△					△	△	
	6~19												△			△	△	△	△					△		
	≥19												△			△	△	△	△					△		
镁及其合金	≤3			△		△			△								△	△	△	△				△		
	3~6			△		△			△				△			△	△	△	△					△		
	6~19			△		△							△			△	△	△	△					△		
	≥19			△		△							△			△	△	△	△					△		
难熔金属	≤3					△			△	△			△				△	△	△	△			△	△		
	3~6			△		△			△				△				△	△	△	△				△		
	6~19												△				△	△	△	△						
	≥19																									

注：△——被推荐的焊接方法。

不同焊接方法对接头类型、焊接位置的适应能力是不同的。电弧焊可焊接各种形式的接头，钎焊、电阻点焊仅适用于搭接接头。大部分电弧焊接方法均适用于平焊位置，而有些方法，如埋弧焊、射流过渡的气体保护焊不能进行空间位置的焊接。表 1-4 给出了常用焊接方法所适用的接头形式及焊接位置。

表 1-4 常用焊接方法所适用的接头形式及焊接位置

适用条件	手工电弧焊	埋弧焊	电渣焊	熔化极气体保护焊				钨极弧焊	等离子弧焊	气电立焊	电阻点焊	缝焊	凸焊	闪光对焊	气焊	扩散焊	摩擦焊	电子束焊	激光焊	钎焊
				喷射过渡	潜弧	脉冲喷射	短路过渡													
碳钢	对接	A	A	A	A	A	A	A	A	A	C	C	C	A	A	A	A	A	A	C
	搭接	A	A	B	A	A	A	A	A	C	A	A	A	C	A	A	C	B	A	A
	角接	A	A	B	A	A	A	A	A	B	C	C	C	C	A	C	C	A	A	C
焊接位置	平焊	A	A	C	A	A	A	A	A	C					A			A	A	
	立焊	A	C	A	B	C	A	A	A	A					A			C	A	
	仰焊	A	C	C	C	C	A	A	A	C					A			C	A	
	全位置	A	C	C	C	C	A	A	A	C					A			C	A	
设备成本	低	中	高	中	中	中	中	低	高	高	高	高	高	低	高	高	高	高	高	低
焊接成本	低	低	低	中	低	中	低	中	中	低	中	中	中	中	高	低	高	高	中	中

注：A——好；B——可用；C——一般不用。

尽管大多数焊接方法的焊接质量均可满足实用要求，但不同方法的焊接质量，特别是焊缝的外观质量仍有较大的差别。产品质量要求较高时，可选用钨极弧焊、电子束焊、激光焊等。质量要求较低时，可选用手工电弧焊、CO₂焊、气焊等。

自动化焊接方法对工人的操作技术水平要求较低,但设备成本高,管理及维护要求也高。手工电弧焊及半自动 CO_2 焊的设备成本低,维护简单,但对工人的操作技术水平要求较高。电子束焊、激光焊、扩散焊设备复杂,辅助装置多,不但要求操作人员有较高的操作水平,还应具有较高的文化层次及知识水平。选用焊接方法时应综合考虑这些因素,以取得最佳的焊接质量及经济效益。

第二节 焊接接头及焊缝形式

一、焊接接头的特点及形式

焊接接头的类型很多,其中应用最为广泛是熔焊焊接接头,本章将重点分析这种接头工作性能和焊缝强度计算方法。

1. 焊接接头的概念及特点

① 焊接接头 由焊缝金属、熔合线、热影响区和邻近的母材组成(图 1-1)。

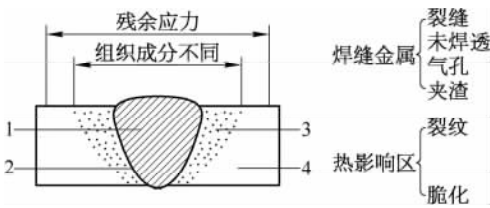


图 1-1 焊接接头的构成

1—焊缝金属; 2—熔合线;
3—热影响区; 4—母材

焊接接头中的化学成分、金相组织和力学性能一般是不均匀的。焊接接头因焊缝的形式和分布不同,会引起不同程度的应力集中。另外,在焊接接头中存在残余应力和残余变形。

② 焊接接头的特点 焊接接头是一个化学和力学不均匀体。焊接接头的不连续性体现在以下四个方面:几何形状不连续;化学成分不连续;金相组织不连续;力学性能不连续。

影响焊接接头的力学性能的因素主要有焊接缺陷、接头形状的不连续性、焊接残余应力和变形等。常见的焊接缺陷的形式有焊接裂纹、熔合不良、咬边、夹渣和气孔。焊接缺陷中的未熔全和焊接裂纹,往往是接头的破坏源。接头的形状的不连续性主要是焊缝增高及连接处集中现象,同时由于焊接结构中存在着焊接残余应力和残余变形,导致接头力学性能的不均匀。在材质方面,不仅有热循环引起的组织变化,还有复杂的热塑性变形产生的材质硬化。此外,焊后热处理和矫正变形等工序,都可能影响接头的性能。

2. 焊缝及焊接接头的基本形式

(1) 焊缝的基本形式 焊缝是构成焊接接头的主体部分,焊缝的基本形式有对接焊缝和角焊缝。

① 对接焊缝 用于对接接头中的焊缝,一般情况下对接焊缝是沿被连接的焊件的厚度方向进行连接的,它是力学性能较好的焊缝形式。

② 角焊缝 角焊缝一般是按被连接的焊件的两个表面进行连接的,通常把它的截面看成三角形,按形状可分为四种(图 1-2),其中应用最多的是截面为直角等腰三角形(图 1-2a)。一般用腰长来表示其大小,称为焊角尺寸 K 。斜边上的高 a 所在的截面称为计算断面。

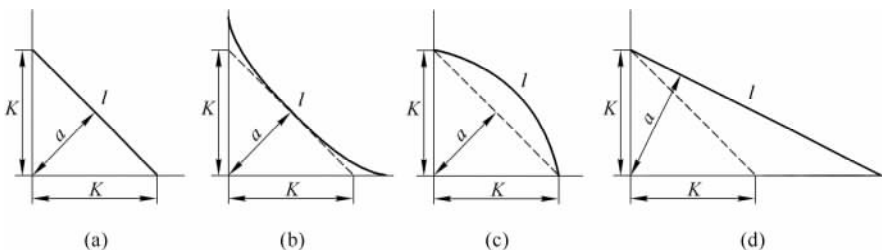


图 1-2 角焊缝截面形状及计算断面

(2) 焊接接头的基本形式 焊接接头的基本形式有对接接头、搭接接头、T形(十字)接头和角接头。不同类型的接头有各自的优缺点,不同的焊接工艺及方法也有其特殊的接头形式。

① 对接接头 对接接头是最常用的接头形式。根据焊件的厚度不同,有卷边对接接头、平对接接头和坡口对接接头等形式。坡口形式如图 1-3 所示。

② 搭接接头 用(角)焊缝将两个工件相互重叠连接而成的接头。根据不同的焊接方法及工艺,搭接接头有以下几种形式,如图 1-4 所示。

钻孔塞焊、开槽塞焊常用于对强度要求不高的结构中;电阻点焊常用于薄板结构中。搭接接头虽然不是焊接结构

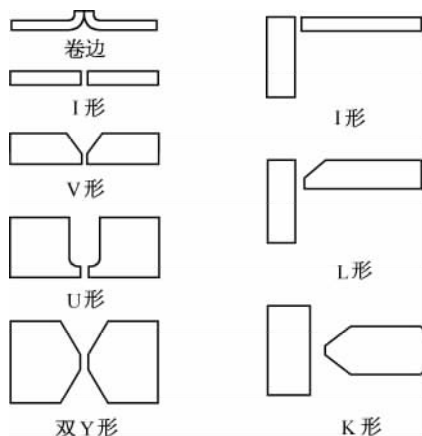


图 1-3 对接接头的坡口形式

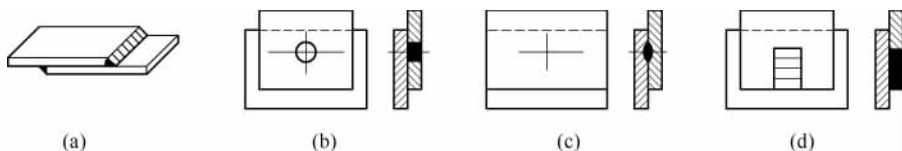


图 1-4 搭接接头的形式

的理想接头形式,但因焊前准备和装配工作比较简单,其横向收缩量也比较小,因此在焊接结构中仍然得到广泛的应用。

③ T形接头(十字接头) 将互相垂直的工件用(角)焊缝连接起来的接头。这种接头种类较多,能承受各种方向的外力和力矩。这类接头应避免采用单面角焊缝,因为接头的根部有较深的缺口,其承载能力较低,如图 1-5 所示。

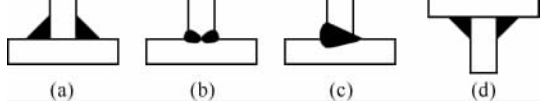


图 1-5 T形接头的基本形式

④ 角接头 角接头多用于箱形结构,常用的形式如图 1-6 所示。其中,图 1-6a 是最简单的角接头,但承载能力差;采用双面焊缝从内部加强的角接头,承载能力较大,图 1-6b~图 1-6d

开坡口易焊透,有较高的疲劳强度。图 1-6e、f 易装配,是最经济角接头。图 1-6g 保证角接头有准确的直角,并且刚性大,但角钢的厚度应大于焊件厚度。图 1-6h 不易施焊,是不合理的角接头。

二、常用焊接接头的工作特性

1. 对接接头

对接接头用于连接在同一平面的金属板。其传力效率最高,应力集中较低,并易保证焊透和排除工艺缺陷。具有较好的综合性能,是重要零件和结构连接的首选接头。其缺点是焊前准备工作量大,组装费时,而且焊接变形也较大。

对接接头工作应力分布较均匀

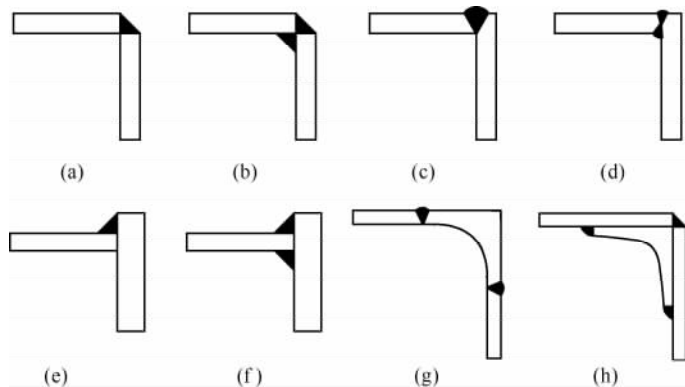


图 1-6 角接头的形式

(图 1-7)。应力集中产生在焊趾处,应力集中系数 $K_T (= \sigma_{max} / \sigma_m)$ 与焊缝余高 h 、焊缝向母材的过渡角 θ 以及焊趾处的过渡圆弧半径 r 有关。增大 h , 减小 r , 或减小 θ , 则 K_T 增大, 是不利的。如果在焊趾处加工成较大的过渡圆弧半径, 则 K_T 显著降低; 若削平焊缝余高 h , 则没有应力集中, 均可提高接头的疲劳强度。

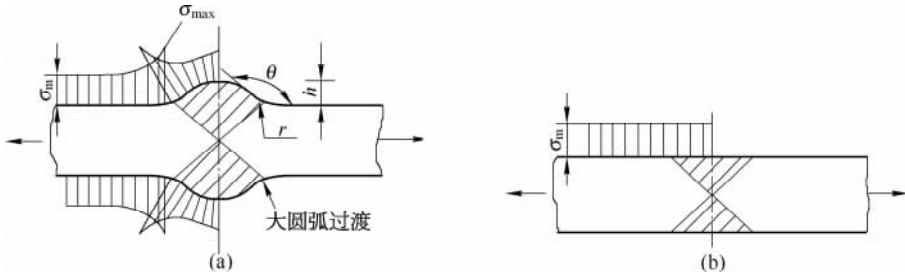


图 1-7 对接接头的应力分布

(a) 一般接头及焊趾处加工成圆弧过渡; (b) 削平焊缝余高接头

单面焊的对接接头, 若采用保留垫板形式(图 1-8), 虽然在工艺上可以克服未焊透的问题, 但根部仍存在相当严重的应力集中, 因此, 这种接头不宜用于承受较大动载荷或腐蚀介质中。

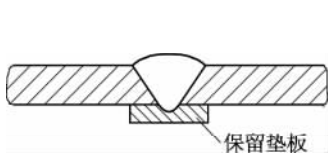


图 1-8 背面保留垫板的单面焊对接接头

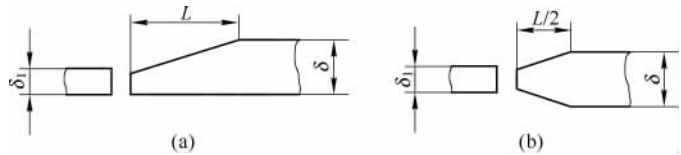


图 1-9 不同厚度钢板对接接头设计 ($L \geq 3\delta - \delta_1$)

当两块被连接板的厚度相差较大时, 按 GB/T 985、GB/T 986 的要求, 需将厚板削薄至与薄板厚度相同时再焊接。为了防止因板厚不同引起作用力偏心传递, 两块板的中心线应尽可能重合, 如图 1-9 所示。

对接接头一般采用比母材强度稍高的焊缝金属, 这种强度的组配关系称高组配, 一个无缺陷的高组配对接接头, 在受静载作用下, 一般产生塑性断裂。焊趾处应力集中系数大小几乎对塑性强度没有影响, 断裂发生在母材区域。对于高强度钢和大型厚板结构, 采用高组配的接头, 在焊接时易产生裂纹。因此, 可采用焊缝金属强度比母材低的对接接头, 这种强度的组配关系称低组配。

低组配接头的强度与相对厚度的 H/h 和宽厚比 W/h 有关。当 H/h 越小, W/h 越大, 则接头强度就越高(图 1-10)。这是焊缝金属区产生的塑性变形受到强度较高的母材区拘束的缘故。因此, 采用低组配对接接头, 需选择合适的相对厚度和宽厚比, 接头的强度才能接近母材。由于采用低强度焊缝, 提高了抗裂性能, 故可以降低高强度钢的焊接预热温度, 改善劳动条件。但抗断裂研究发现, 用比母材略高的高组配接头构成软夹硬的系统而具有较高的极限裂纹尺寸。

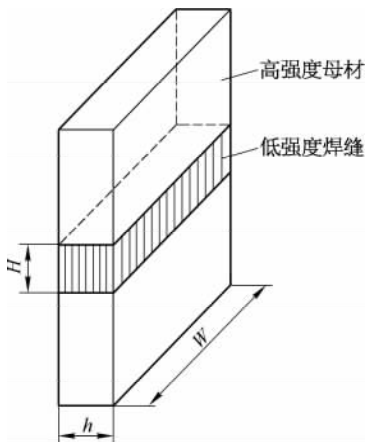


图 1-10 低组配对接接头

2. 搭接接头

搭接接头是两平板部分地相互搭置, 用角焊缝进行连接的接头。该接头使构件形状发生较大变化, 所以应力集中比对接接头复杂, 母材和焊接材料的消耗量较大, 接头的动载强度较低。搭接面间有间隙, 若外露易发生腐蚀, 若封闭则不能在高温

工作。但搭接接头焊前准备工作量较少,装配较容易,对焊工技术水平要求较对接接头为低,且焊接的横向收缩量也较小。因此,广泛用于工作环境良好,不重要的结构中。图 1-11 为常用搭接接头。

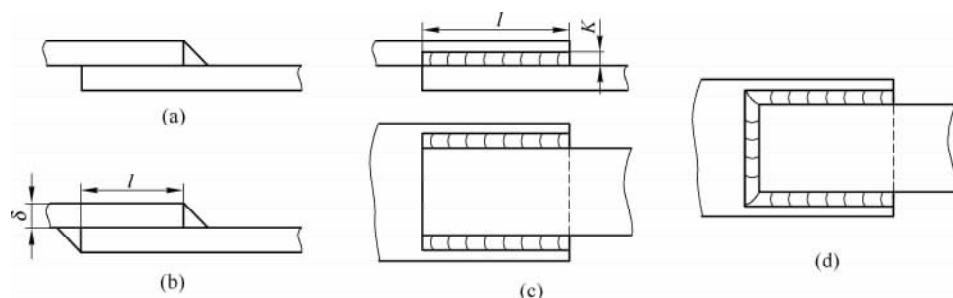


图 1-11 搭接接头的基本形式

(a) 单面正面角焊缝; (b) 双面正面角焊缝; (c) 侧面角焊缝; (d) 联合角焊缝

搭接接头受到轴向力(拉或压)作用时,垂直作用力方向的角焊缝称正面角焊缝,平行作用力方向且位于板侧的角焊缝称侧面角焊缝,介乎两者之间的称斜角焊缝。受力方向不同的角焊缝。其工作应力分布有明显差别。

正面角焊缝的应力分布如图 1-12 所示,以焊趾和焊根处的应力集中最大。减小 θ 角和增加根部熔深可降低应力集中。

只有一条正面角焊缝的搭接接头(图 1-11a),强度低,应在背面加焊一条焊缝(图 1-11b)。当背面无法焊接第 2 条焊缝时,可采用锯齿状焊缝(图 1-13),有助于提高接头强度。图 1-11b 所示搭接接头,正面角焊缝与作用力偏心,承受拉力时接头上产生附加弯曲应力,使应力集中加剧。为了减少弯曲应力,两条正面角焊缝之间的距离应不小于其板厚的 4 倍,如图 1-14 所示。

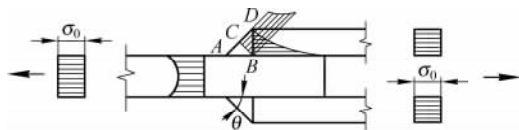


图 1-12 搭接接头正面角焊缝的应力分布

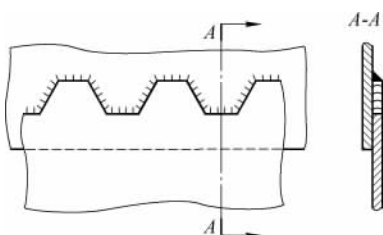


图 1-13 锯齿状焊缝搭接接头

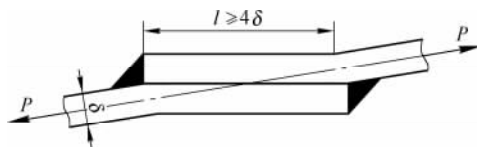


图 1-14 正面搭接接头的弯曲变形

侧面角焊缝搭接接头受轴向力作用时(图 1-15a),焊缝上的切应力 τ 呈不均匀分布,应力的最大值在焊缝的两端。应力集中系数 K_T 的大小与 l/K 和 σ/τ 有关。 l/K 和 σ/τ 越大,应力集中越严重。所以侧面角焊缝搭接接头设计,其搭接长度 l 不宜大于 $40K$ (动载时)或 $60K$ (静载时), K 为侧面角焊缝的焊脚尺寸。

正面和侧面角焊缝同时使用的联合搭接接头(图 1-15),有助于改善接头应力分布不均匀的现象。在 A-A 截面上母材正应力分布较只有侧面角焊缝的均匀,焊缝最大切应力 τ_{\max} 也降低。正面角焊缝比侧面角焊缝刚度大,变形小,它分担大部分外力,故有了正面角焊缝,侧面角焊缝的长度可缩短。但增加正面角焊缝对提高接头的疲劳强度作用不大,有时还会降低。

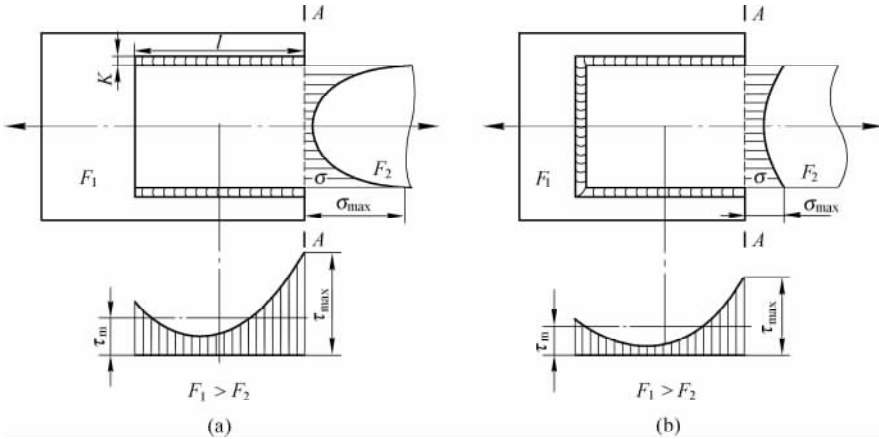


图 1-15 侧面和联合角焊缝搭接接头的应力分布

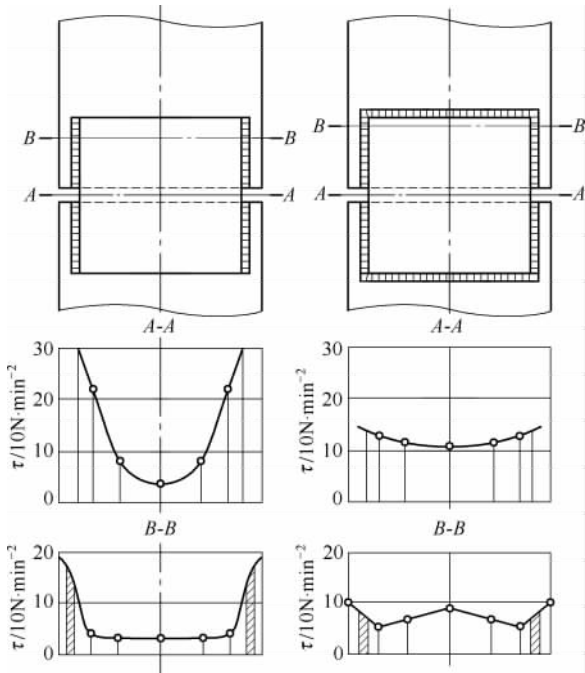


图 1-16 加盖板接头的应力分布

和过渡处都有很大的应力集中,如图 1-17a 所示。立板开坡口并焊透的接头,应力集中大大降低。这时焊缝由角焊缝转变为坡口焊缝,立板在轴向拉力作用下焊缝中的应力由以切应力为主转变为正应力,可以大大提高接头强度(图 1-17b)。

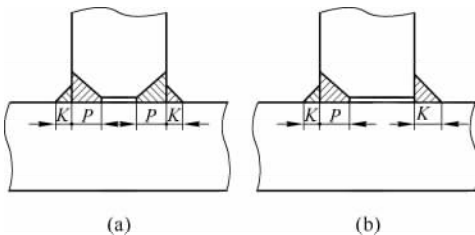


图 1-18 部分熔透的 T 字接头
(a) 对称焊缝; (b) 不对称焊缝

两板通过与盖板搭接来实现对接的接头,称盖板接头。分单面盖板和双面盖板接头。这是模仿铆钉和螺栓联接的接头形式,对于焊接来说不推荐采用这种接头,尤其在动载荷下疲劳强度极低。图 1-16 为这种接头的应力分布。从图中看出,仅有侧面角焊缝的盖板接头分布极不均匀,增加了正面角焊缝使应力分布得到改善。

3. T 形接头和十字接头

一板件之端与另一板件之表面构成直角或近似直角的接头,称 T 形接头,又称丁字接头。三件相交组成“十字”形的接头,称十字接头。这两种接头工作特性相似,焊缝向母材过渡急剧,接头在外力作用下力线扭曲很大,造成极不均匀的应力分布,在角焊缝的根部

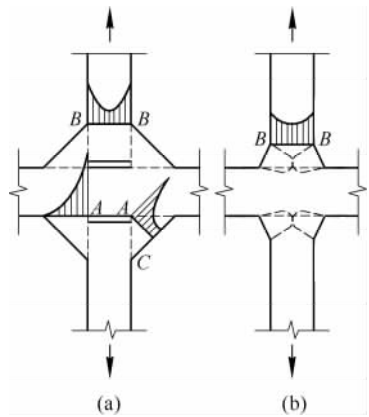


图 1-17 十字接头的应力分布
(a) 未开坡口不熔透;
(b) 开坡口熔透

开坡口或用深熔焊使之焊透。

部分熔透的 T 字接头,焊缝根部的应力集中依然存在(图 1-18)。但是当熔深较大时,作用在立板上