

李亚江 王娟 刘鹏 等著

焊接与切割 操作技能



Chemical Industry Press



化学工业出版社
工业装备与信息工程出版中心

焊接与切割操作技能

李亚江 王 娟 刘 鹏 等著



化学工业出版社
工业装备与信息工程出版中心

· 北 京 ·

(京) 新登字 039 号

图书在版编目 (CIP) 数据

焊接与切割操作技能/李亚江, 王娟, 刘鹏等著. —北京: 化学工业出版社, 2005. 4
ISBN 7-5025-6790-9

I. 焊… II. ①李…②王…③刘… III. ①焊接-操作
②焊接缺陷-检测 IV. TG441

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 021863 号

焊接与切割操作技能

李亚江 王娟 刘鹏 等著

责任编辑: 任文斗

文字编辑: 韩庆利

责任校对: 顾淑云 宋玮

封面设计: 于兵

*

化学工业出版社 出版发行
工业装备与信息工程出版中心

(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)

发行电话: (010) 64982530

<http://www.cip.com.cn>

*

新华书店北京发行所经销

北京彩桥印刷厂印刷

三河市东柳装订厂装订

开本 787mm×1092mm 1/16 印张 20 字数 496 千字

2005 年 5 月第 1 版 2005 年 5 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5025-6790-9/TH·300

定 价: 42.00 元

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者, 本社发行部负责退换

内 容 提 要

操作技能在焊接生产中是一个很重要的方面，没有众多掌握了各种技术要领的操作者，许多重要的焊接与切割工作是无法完成的。本书针对焊接与切割操作者，从实用性角度对焊接与切割操作要点及质量控制作了简明阐述，力求立意新颖、取材独特、突出实用性等特色。书中未涉及系统深入的理论，而是特别注重对实践和操作技术的阐述。本书能帮助读者发展焊接与切割技能，使读者学会解决焊接与切割问题的方法和一些特殊的技巧。

本书主要供从事焊接与切割技术相关的操作人员、工程技术人员、管理人员和质量检验人员使用，特别是供中、高级技术工人使用，也可供高等院校、科研单位的有关教学和科研人员参考。

前 言

焊接技术广泛用于机械制造、石油化工、电力、造船、建筑、桥梁、锅炉及压力容器制造等工业领域。并且随着科学技术的发展,焊接的应用范围不断扩大。“焊接操作技能”在近年来和未来几年焊接生产中的重要性越来越突出,对操作者的技术要求也越来越严格。很多焊接新产品的开发和生产都离不开技术熟练的操作者,特别是锅炉、压力容器、管道及化工容器,对焊接操作者的技能要求更高(需持证上岗),焊接质量直接涉及社会、企业生产和人员的安全。

操作技能在焊接生产中是一个很重要的方面,没有众多掌握了各种操作技能的技术水平较高的操作者,许多重要的焊接工作是无法完成的。目前实用的焊接与切割操作技能方面的技术书籍不多,而近年来改革开放和市场经济发展迫切需求阐述简明、深入浅出、可操作性强的焊接与切割操作方面的技术书籍。本书针对焊接与切割操作者,从实用性角度对焊接与切割操作技术要点及质量控制作了简明阐述,力求立意新颖、取材独特、突出实用性等特色。本书的特点是未涉及系统的理论,而是注重对实践、工艺和操作技术的阐述,给出一些新工艺和焊接生产中成功的经验和实例。本书有助于读者,特别是操作者和工程技术人员,提高焊接与切割技能,学会解决焊接与切割问题的方法和一些特殊的技巧。

本书主要供从事与焊接技术相关的焊接操作人员、工程技术人员、管理人员和质量检验人员使用,特别是供中、高级技术工人使用,也可供高等院校、科研单位的有关教学和科研人员参考。

参加本书撰写的其他人员还有张永喜、郭国林、马海军、郝滨海、陈茂爱、刘如伟、孙俊生、高进强、赵越、张永兰、王芳、沈孝芹、王勋鸿、何卓宁、刘强、孙宾、徐健、黄海啸、张燕等。

书中内容难免存在错误和疏漏之处,恳请广大读者批评指正。

李亚江

2005年2月

目 录

第 1 章 概述	1
1.1 焊接方法及适用性	1
1.1.1 焊接过程的基本特点	1
1.1.2 焊接结构生产的一般步骤	2
1.1.3 常用的焊接方法	4
1.2 焊接材料及选用	6
1.2.1 焊条及选用	6
1.2.2 焊丝及选用	9
1.2.3 焊剂及选用	11
第 2 章 手工电弧焊操作技术	15
2.1 手工电弧焊的分类及特点	15
2.1.1 手工电弧焊的分类	15
2.1.2 手工电弧焊的特点	15
2.2 手工电弧焊设备与工具	16
2.2.1 对手工电弧焊电源的要求	16
2.2.2 手工电弧焊机的型号及技术特性	18
2.2.3 常用的手工电弧焊机及维护	19
2.3 手工电弧焊工艺	26
2.3.1 坡口形式与焊接位置	26
2.3.2 焊接工艺参数	27
2.3.3 基本焊接步骤	31
2.4 手工电弧焊操作技术	31
2.4.1 手工电弧焊的基本操作	31
2.4.2 各种焊接位置的操作技术	35
2.4.3 手工电弧焊操作实例	43
第 3 章 气焊操作技术	46
3.1 气焊的特点及装置	46
3.1.1 气焊的工艺特点	46
3.1.2 气焊装置的组成	46
3.1.3 氧-乙炔火焰性质	49
3.1.4 气焊焊丝与熔剂	51
3.2 气焊操作技术要点	53
3.2.1 气焊基本操作	53
3.2.2 不同位置接头的气焊操作	58
3.2.3 管子气焊的操作要点	62

3.2.4 管-板气焊的操作要点	66
3.3 气焊操作应用实例	66
3.3.1 铝制储罐的气焊	66
3.3.2 铜合金轴瓦的焊补	67
3.3.3 铸铁件的焊补	68
3.3.4 三通管的气焊	69
第4章 气割操作技术	71
4.1 气割的特点及装置	71
4.1.1 气割的原理及特点	71
4.1.2 气割设备及装置	73
4.2 气割工艺及操作	79
4.2.1 气割的工艺参数及影响因素	79
4.2.2 气割操作的工艺要点	81
4.3 碳弧气刨及操作	86
4.3.1 碳弧气刨的特点及适用范围	86
4.3.2 碳弧气刨装置及操作要点	87
4.3.3 碳弧气刨应用实例	93
4.4 切割技术操作实例	96
4.4.1 坡口的气割	96
4.4.2 钢板的气割	98
4.4.3 圆钢和钢管的气割	103
4.4.4 拐角和圆弧的切割	105
第5章 焊接变形与控制	107
5.1 焊接接头分类及特点	107
5.1.1 焊接接头的分类	107
5.1.2 焊接接头的特点	108
5.2 焊接应力与变形	108
5.2.1 应力与变形产生的原因	108
5.2.2 产生焊接变形的影响因素	110
5.3 防止焊接变形的措施	113
5.3.1 防止变形的设计措施	113
5.3.2 防止变形的工艺措施	114
5.3.3 焊接结构变形的矫正	119
5.3.4 焊接接头的设计	122
第6章 CO₂ 气体保护焊操作技术	125
6.1 CO ₂ 气体保护焊的分类及特点	125
6.1.1 CO ₂ 气体保护焊的分类	125
6.1.2 CO ₂ 气体保护焊的特点	126
6.2 CO ₂ 气体保护焊设备及附件	130
6.2.1 CO ₂ 气体保护焊设备组成	130

6.2.2	焊接电源和控制系统	131
6.2.3	送丝机构、焊枪及气路	132
6.3	CO ₂ 气体保护焊工艺	135
6.3.1	坡口设计及焊前准备	136
6.3.2	CO ₂ 气体保护焊的工艺参数	136
6.3.3	CO ₂ 气体保护焊操作要点	142
6.3.4	CO ₂ 气体保护焊的应用	152
6.4	药芯焊丝 CO ₂ 气体保护焊	156
6.4.1	药芯焊丝 CO ₂ 气体保护焊的特点	156
6.4.2	药芯焊丝 CO ₂ 气体保护焊设备和工艺参数	159
6.4.3	药芯焊丝 CO ₂ 气体保护焊的应用	162
第7章	惰性气体保护焊工艺与操作	163
7.1	惰性气体保护焊分类及特点	163
7.1.1	惰性气体保护焊分类	163
7.1.2	惰性气体保护焊的工艺特点	164
7.1.3	惰性气体保护焊的适用范围	165
7.2	钨极氩弧焊工艺及操作	166
7.2.1	钨极氩弧焊电源特点	166
7.2.2	电极和保护气体	170
7.2.3	钨极氩弧焊焊接过程的一般程序	173
7.2.4	钨极氩弧焊工艺参数及选用	175
7.2.5	钨极氩弧焊操作技术	177
7.3	熔化极氩弧焊工艺及操作	183
7.3.1	熔化极氩弧焊的熔滴过渡特点	183
7.3.2	熔化极氩弧焊设备及材料	185
7.3.3	熔化极氩弧焊的工艺参数	189
7.3.4	熔化极氩弧焊操作实例	194
第8章	埋弧自动焊操作技术	198
8.1	埋弧自动焊特点及设备组成	198
8.1.1	埋弧自动焊特点	198
8.1.2	埋弧自动焊设备组成	199
8.2	埋弧自动焊工艺	203
8.2.1	焊前准备	203
8.2.2	焊丝与焊剂的选用	204
8.2.3	焊接工艺参数	205
8.2.4	焊接缺陷及其防止措施	210
8.3	埋弧自动焊操作技能及实例	211
8.3.1	基本操作技术	211
8.3.2	操作工艺要点	212
8.3.3	埋弧自动焊接实例	213

第 9 章 等离子弧焊接与切割	219
9.1 等离子弧焊的特点及适用范围	219
9.1.1 等离子弧焊的特点	219
9.1.2 等离子弧及焊接分类	220
9.1.3 等离子弧焊的适用范围	222
9.2 等离子弧焊设备及工艺	223
9.2.1 等离子弧焊设备的组成	223
9.2.2 等离子弧焊工艺及参数	227
9.2.3 微束等离子弧焊工艺	230
9.2.4 等离子弧焊接应用实例	233
9.3 等离子弧切割操作技术	237
9.3.1 等离子弧切割的特点	237
9.3.2 等离子弧切割方法分类	239
9.3.3 等离子弧切割设备的组成	241
9.3.4 等离子弧切割工艺	244
第 10 章 堆焊操作技术	250
10.1 堆焊的特点及堆焊材料	250
10.1.1 堆焊的方法及特点	250
10.1.2 堆焊的应用范围	252
10.1.3 堆焊材料的选用	252
10.2 堆焊工艺操作要点	257
10.2.1 手工电弧堆焊	257
10.2.2 氧-乙炔火焰堆焊	262
10.2.3 气体保护堆焊和等离子弧堆焊	263
10.2.4 堆焊操作实例	266
10.3 堆焊层的性能检测	272
10.3.1 堆焊层硬度测定	272
10.3.2 堆焊层抗裂性检验	273
10.3.3 堆焊层金相检验	274
10.3.4 耐磨、耐蚀性检验	275
第 11 章 焊接缺陷与检验	277
11.1 常见焊接缺陷及防止措施	277
11.1.1 常见焊接缺陷的特征	277
11.1.2 不同焊接操作中的常见缺陷及防止措施	281
11.2 焊接接头的检验	283
11.2.1 焊缝外观检验	283
11.2.2 焊缝的无损检验	284
11.2.3 焊缝致密性检验	286
11.2.4 力学性能检验	287
11.3 焊接质量评定及控制	289

11.3.1	焊接质量评定	289
11.3.2	影响焊接质量的因素及控制	290
第 12 章	焊接安全与防护	295
12.1	焊接安全用电	295
12.1.1	安全电压	295
12.1.2	触电的原因及防护措施	295
12.2	焊接操作安全	298
12.2.1	熔焊的操作安全	298
12.2.2	气焊和气割的操作安全	304
12.3	焊接防护措施	306
12.3.1	焊接防护的工艺措施	306
12.3.2	个人防护措施	307
参考文献		308

第 1 章 概 述

焊接是一种应用广泛的永久性连接的方法，广泛用于机械制造、造船、建筑、石油化工、电力、桥梁、锅炉及压力容器制造等各工业领域。在生产中有时以焊接取代铆、锻、铸等加工方法，制造比较复杂的金属结构，不但可以节省工时，提高产品质量，还可以大量地节约材料。随着科学技术的发展，焊接工艺的应用范围不断扩大，受到各行各业的极大关注，对国民经济建设有重要的影响。

1.1 焊接方法及适用性

传统的金属连接主要采用铆接工艺。自 19 世纪以来，由于焊接工艺的成功应用及迅速发展，焊接逐步取代了铆接。焊接技术具有节省金属材料、减小结构质量、简化加工与装配工序、接头密封性好、能承受较大载荷、容易实现自动化和生产效率高等一系列特点，在工业生产中占有重要的地位。

1.1.1 焊接过程的基本特点

焊接是通过加热或加压（或者两者并用），采用或不用填充材料，使焊接接头处达到原子结合的一种加工方法。为了达到焊接的目的，大多数焊接方法都需要借助加热或加压，或同时实施加热和加压，以实现原子结合。

对实现焊接过程的能源要求是能量密度大、加热速度快，以减小热影响区，避免接头过热。具有工程意义的焊接用的能源主要有电弧、火焰、电阻热、化学能等。常用焊接热源的主要特性见表 1.1。将工件加热至熔化状态（一般不加热）以实现焊接的方法，统称熔焊；凡必须施加压力（加热或不加热）以实现焊接的方法，统称压焊。

表 1.1 常用焊接热源的主要特性

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	3470
手工电弧焊电弧	10 ⁻³	10 ⁴	6000
钨极氩弧	10 ⁻³	1.5×10 ⁴	8000
埋弧自动焊电弧	10 ⁻³	2×10 ⁴	6400
电渣焊热源	10 ⁻³	10 ⁴	2273
熔化极氩弧	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	18000~24000

焊接中最常用的热源是焊接电弧，它是由焊接电源提供的，在具有一定电压的两电极间或电极与母材金属之间，气体介质中产生的强烈而持久的放电现象。采用电弧焊接时，母材金属为电弧的一端，电极为另一端，多数情况下电极的一端被电弧熔化，形成液态金属熔滴过渡到熔池中。用电弧作为热源时，局部熔化了母材金属和焊接材料熔化形成的填充金属

需进行必要的保护。保护方式的不同构成了不同的熔焊方法。有时电极也可以不熔化，如采用钨极。

用于熔化被焊金属和焊接材料的热源有很多种，有的用纯氧作氧化剂燃烧气体产生的热量作为焊接热源，如气焊；有的是利用高密度电流通过金属产生的电阻热作为热源，如电阻焊；有的是利用两个工件互相摩擦产生的热量作为热源，如摩擦焊；有的是利用聚焦成密度很高、很细并加速到高速的光束或电子束的动能转化成热能作为热源，如激光焊、电子束焊。

随着科学技术的发展，焊接结构越来越复杂，焊接工作量越来越大，对焊接技术和提高焊接生产效率的要求越来越高。例如，制造一辆小轿车要焊接 5000~12000 个焊点；30 万吨油轮要焊接 1000km 长的焊缝；一架飞机的焊点多达 20~30 万个。由此可见，没有现代化和高效率的焊接工艺，完成上述工作是不可设想的。

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有较大差别。产品质量要求较高时，可选用氩弧焊、电子束焊、激光焊等。产品质量要求较低时，可选用手工电弧焊、CO₂ 气体保护焊、气焊等。

可以说，没有一种焊接方法是完美无缺的，也没有一种焊接方法能以最低成本，在各种位置焊接不同厚度的材料。焊接成本和焊件的质量与制造厂家的生产条件密切相关。最适合的焊接方法是制造厂家能针对具体产品用最低的成本和最高的效率生产出性能可以满足使用要求的焊件。

1.1.2 焊接结构生产的一般步骤

焊接结构的制造，除了焊接外，还需经过许多道工序，才能把各种类型的钢材制成符合设计要求的结构，达到要求的使用性能。尽管焊接结构形式各种各样，但生产工艺的一般步骤基本上是一样的。

焊接结构生产的工艺过程主要包括：备料（材料矫正、放样、切割下料、坡口加工等）、装配、焊接、矫正变形及质量检验等工序。在焊接结构制造过程中，各工序之间有密切关系，切割、装配、焊接等工序对焊接质量影响很大。

（1）备料、钢材矫正和划线

在焊接生产过程中，装配时所需零件的一切准备工作统称备料。钢材在轧制及运输、堆放过程中，会出现表面凹凸不平或弯曲、扭曲等，特别是薄钢板及截面积小的型钢。这对要求平直的构件来说，会影响各道工序的正常进行。因此，需矫平钢板和矫直型钢，这个工序称为钢材矫正。

生产中常用的矫正方法有手工矫正、多辊式矫直机矫正、压力机矫正、火焰矫正等。手工矫正只需要少量简单工具，如铁锤、千斤顶等，一般在缺乏或不便使用矫正设备的情况下采用。多辊式矫直机可用于矫平钢板，不平整的板材通过矫正机上下辊之间的缝隙时发生反复弯曲和波浪形塑性变形，使缩短部分伸长，从而达到矫正的目的。

经过剪切或气割加工后发生变形的构件，也需进行矫正。较小的构件可放在预先矫平的厚钢板上，一起放入辊式矫直机将变形构件矫平。通常，钢板越弯曲，矫正时需要的轧辊数目越多。矫正中、厚板的多辊式矫直机有 5~9 个工作辊，矫正薄钢板的多辊式矫直机有 11~13 个工作辊，也有专供矫正型钢用的多辊式矫直机。

缺少多辊式矫正机的情况下，可以用压力机矫正。火焰矫正是利用热胀冷缩的原理，用氧-乙炔火焰加热钢材弯曲的某一部分，使其局部受热后产生收缩变形来矫正原来的变形，可矫正型材、板材的变形。火焰矫正方法使用的工具简单，不像手工矫正那样耗费体力，但

需要有丰富的经验。

对经过矫正的钢材，用钢丝刷、手动砂轮、喷砂或抛丸等方法，清除金属表面的污、锈和氧化物。大批量生产或大面积清理可采用喷砂、抛丸等方法。也可利用酸洗或其他化学方法去除金属表面的污、锈和氧化物。

对经过表面清理的钢板，在钢板毛坯或工件上用划线工具按图纸要求划出待加工部位的轮廓线或作出基准点和基准线。

(2) 切割下料

沿着划线把钢板切割成所需外形的构件，称为切割下料。切割下料可以采用冷加工工艺，如剪切、锯割等；也可以采用热加工工艺，如气割、等离子弧切割、空气碳弧切割等。

① 剪切 利用各种剪切设备完成剪切工作，例如压力剪切机、圆盘剪切机、型钢剪切机等，可按剪切要求选用。剪切机的工作部分是上下两片剪刀进行相对运动，形成剪切过程。中薄板可以采用剪切下料。

② 气割 利用对钢板进行局部火焰预热，使其在高速氧流中燃烧，然后吹去金属氧化物熔渣而将钢材切开。生产中应用较多的是氧-乙炔火焰气割。与剪切相比，气割的特点是可切割的板厚较大，而且不论形状如何复杂都能切割，但切割薄板及直线形构件的生产效率和经济性不如剪切。

③ 等离子弧切割 利用高温等离子弧进行切割的一种工艺方法，常用于一般气割方法不能切割的材料，如不锈钢、耐热钢、铸铁、有色金属等。

(3) 坡口加工和工件成形加工

1) 坡口加工

焊接接头的坡口加工包括焊前坡口成形加工及焊缝根部的碳弧气刨清理焊根等。

① 坡口成形加工 对焊件的坡口进行边缘加工，常采用气割、砂轮打磨以及刨削、铣削等机械加工方法。可利用改变割嘴的倾斜角度来气割加工焊接坡口，一般多采用半自动气割机。坡口机械加工多采用刨边机或铣边机，能加工复杂形状的坡口，获得较好的质量。圆形构件的端面加工可在立式车床或卧式车床上进行。

② 清理焊根 对接接头双面焊时，为了保证焊缝质量，特别是根部熔透，需对焊缝根部进行清理（俗称挑焊根），以清除焊缝根部的夹杂、裂纹等缺陷。清理焊根可以采用砂轮打磨的方法，但目前应用较多的是采用碳弧气刨清理焊根，特别是在返修有焊接缺陷的焊缝时，采用碳弧气刨容易发现焊缝根部各种细小的缺陷。

2) 工件成形加工

对有不同角度或曲面要求的构件，选用折边、弯板、压制、线状加热等方法，使钢板产生塑性变形，制成所需的形状，这个工序称为成形加工。在常温下对切割后的构件进行成形加工，称为冷成形；如果构件变形度大或刚度大，需把钢材加热到 $800\sim 1000^{\circ}\text{C}$ 才能进行加工，称为热加工。常用的工件成形加工包括以下几种。

a. 折边 即把钢板折个角度，折边加工可在专用的折边机或液压机上进行。

b. 弯板 把钢板弯制成圆柱或圆锥形，通常是在三辊弯板机上进行；通过调整辊轴的相对位置，能弯制不同曲率半径的圆形构件。

c. 压制 分为模压或不用模子的压弯，都是用水压机或液压机进行；模压法用于球面、椭圆球及其他复杂曲面的成形，适用于批量生产；压弯法用于型钢的弯曲成形。

d. 水火成形 用氧-乙炔火焰进行局部加热，并在周围用水加以冷却，利用不均匀加热

产生变形的原理，使钢材形成所需的形状。

(4) 装配

装配任务是利用紧固装置或点固焊，将加工好的构件按图纸要求连接成部件或整体结构。对一般大型单件生产的结构，多采用划线定位，按图纸要求确定构件的相互位置，用直尺、卷尺、角尺、水平尺、线锤等作为测量工具，先实现暂时定位或专用夹具固定，再用手工电弧焊点固。成批生产的结构，通常采用挡板、紧固螺钉或样板装配，如在专用胎架上装配。

装配工作一般在平台或胎架上进行。对装配工序的基本要求是：

- ① 不应使构件在安装定位后出现移动、倾斜和扭转等现象；
- ② 保证装配结构符合图纸要求，接缝应满足焊接装配工艺的要求；
- ③ 对装配结构进行质量检验。

(5) 焊接

中小型结构件装配后可直接进行焊接。大型结构件的焊接工作可在胎架上进行，能起到抑制焊接变形的作用，也利于工件翻转，保证焊接质量。大型焊接结构的装焊过程可分为以下三个阶段。

① 部件装焊 将切割或成形加工好的构件装配、焊接成部件。部件形状随结构类型不同而变化，尽管形式多样，但把它们分解开基本上都是由钢板及型钢组合成的。

② 分段装焊 把部分部件组合装焊成“分段”。分段实际上也是部件，但它的尺寸与体积要大些，构造也较复杂。如机车转向架构架，主要由端梁、侧梁、横梁等几个部件组焊而成。结构分段的划分要考虑施工的方便性与合理性，保证分段本身的结构强度，不能因自重而产生永久变形，还要有利于分段装配与吊运。小型结构可以不采用分段装焊，直接对部件进行总体装焊。

③ 总体装焊 将分段组合装焊成整体结构。分段经焊接及质量检验后，吊运至现场或在平台上进行总装。总装时必须确定合理的装配顺序、焊接工艺，以减小焊接变形，使整体结构与尺寸符合图纸设计要求。

(6) 质量检验

应严格遵照工艺规程生产，从备料、钢材矫正、切割下料、坡口加工，到装配、点固、焊接，在结构制造的每一个工序间都必须进行质量检验工作。

1.1.3 常用的焊接方法

根据母材是否熔化，人们将焊接方法分成熔焊、压焊和钎焊三大类。

① 熔焊 利用一定的热源，使焊件接头被加热至熔化状态，不施加压力，然后冷却结晶形成焊缝的方法。当被焊金属加热至熔化状态形成液态熔池时，原子之间充分扩散和紧密接触，冷却凝固后形成牢固的焊接接头。常用的熔焊方法主要有手工电弧焊、埋弧焊、电渣焊、气体保护焊、等离子弧焊等。

② 压焊 焊接过程中必须对焊件施加压力（加热或不加热），一是将被焊金属接触部分加热至塑性状态或局部熔化状态，然后施加一定的压力，使金属原子间相互结合而形成牢固的焊接接头，如锻焊、电阻焊、扩散焊、摩擦焊等；二是不加热，仅在被焊金属的接触面上施加足够大的压力，引起塑性变形，使原子间相互摩擦直至获得牢固的接头，如冷压焊、爆炸焊等。

③ 钎焊 采用熔点比母材低的材料作为钎料，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

却后结晶在接头处形成冶金结合。钎焊方法分为软钎焊和硬钎焊，根据加热方式的不同，可分别采用火焰、电炉、电阻、盐浴、超声波等加热。

电弧是应用最广泛的一种焊接热源，主要用于熔化焊。电渣焊或电阻焊利用电阻热进行焊接。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，在外力作用下将氧化物挤出，实现金属与金属的连接。气焊依靠可燃气体（如乙炔、天然气、液化石油气等）与氧的混合燃烧产生焊接、堆焊或切割所需的热量。

生产中几种常用的焊接方法如下。

（1）手工电弧焊

利用焊条与工件之间产生的电弧将焊条和工件局部加热到熔化状态，焊条端部熔化后的熔滴和熔化的母材熔合在一起，形成熔池；随着焊接电弧向前移动，熔池逐渐冷却结晶形成焊缝金属。

手工电弧焊是目前应用最普遍的一种焊接方法。其优点是方便灵活、适用广泛，而且设备简单，特别适合于焊接全位置短焊缝和自动焊难以焊接的焊缝。手工电弧焊有单层焊、双面焊和多层多道焊，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。手工电弧焊焊缝是铸态组织，接头两侧的热影响区有连续的梯度变化的组织特点。由于焊接线能量小，热影响区宽度相对较小。这种方法的主要缺点是生产率低、劳动强度大、对操作者技术水平的依赖性强。

（2）惰性气体保护焊

分为非熔化极（钨极）和熔化极惰性气体保护焊。

① 钨极氩弧焊 在惰性气体保护下，利用钨电极与工件之间产生的电弧热熔化母材和填充焊丝。焊接时保护气体从焊枪喷嘴中连续喷出，在电弧周围形成气体保护层隔绝空气，防止对钨极、熔池及热影响区的有害影响，获得优质接头。惰性保护气体主要有氩气、氦气或氩-氦混合气体等。用氩气作为保护气体的钨极氩弧焊应用最为广泛。钨极氩弧焊分为手工焊、半自动焊和自动焊三类。可焊接所有金属，特别适合于焊接铝、钛、镁等活性有色金属及不锈钢，焊接质量好，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。

② 熔化极惰性气体保护焊 是利用氩气或富氩气体作为保护介质，采用连续送进可熔化的焊丝与燃烧于焊丝与工件间的电弧作为热源。焊接质量稳定可靠，最适于焊接铝、铜、钛及其合金等中、厚板，也适于焊接不锈钢、耐热钢和低合金钢等。由于焊丝的载流能力大，与非熔化极惰性气体保护焊相比，该方法的熔深大，焊接生产率高。熔化极惰性气体保护焊的电弧是明弧，焊接过程工艺参数稳定，易于检测及控制，容易实现自动化。世界上大多数的弧焊机械手及机器人采用这种焊接方法。

（3）CO₂ 气体保护焊

以 CO₂ 气体作为保护气体，用焊丝作为熔化电极，焊丝和焊件之间产生电弧熔化金属，是一种生产率高、成本低的焊接方法。CO₂ 气体保护焊的电弧在气流压缩下燃烧，热量集中，焊接热影响区小，变形和裂纹倾向小，特别适于薄板焊接。由于焊丝送进自动化，焊接速度较快，焊后不清渣，节省时间，比手工电弧焊生产效率高 1~3 倍。这种方法主要用于低碳钢及低合金钢的焊接，优点是可进行各种位置的焊接，既可焊薄板，也可焊中、厚板，操作技术容易掌握，熔敷效率较高，便于实现自动化。

(4) 埋弧自动焊

利用电弧作为热源，但电弧是在一层颗粒状的可熔化焊剂的覆盖下燃烧，电弧光不外露，所用的金属电极是不间断送进的焊丝。电弧热将焊丝端部及电弧附近的母材和焊剂熔化，熔化金属形成熔池，冷却后成为焊缝。熔融的焊剂成为熔渣，凝固后的熔渣覆盖在焊缝表面。埋弧焊的电弧控制和形成焊缝的相对运动，都是由机器自动完成的，焊接材料由焊丝和焊剂两部分组成。

埋弧焊的特点是热效率高、熔深大、焊缝质量稳定、劳动条件好，对操作者的技术水平依赖性小。适合于焊接厚度 4 mm 以上的低碳钢、低合金钢、不锈钢等。一般情况下只能进行平焊及船形焊。允许使用较大的焊接线能量，熔敷速度及熔透能力大，中等厚度的板可不开坡口，焊接生产率比手工电弧焊高得多。焊缝及热影响区随着焊接线能量增加而加宽。这种方法的缺点是设备价格较高，对工件装配要求较高，适用性较差（不能进行空间位置、薄板、短焊缝等的焊接）。

(5) 等离子弧焊接与切割

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，弧柱温度高，穿透力强。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，可以单面焊双面成形。厚度 10~12mm 的工件可不开坡口，能一次焊透双面成形，焊接速度快，生产效率高，变形小。微束等离子弧工艺焊接的电流小到 0.1A 时，等离子弧仍能稳定燃烧，保持良好挺度与方向性，可焊接超薄板（最薄厚度为 0.01mm）。这种方法的缺点是设备复杂，对焊接工艺参数的控制要求较严格。

自动化焊接方法对工人的操作技术要求低，但设备成本高、设备管理及维护要求高。手工电弧焊及半自动 CO₂ 焊的设备成本低，维护简单，但对工人的操作技术要求较高。电子束焊、激光焊设备复杂，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。

1.2 焊接材料及选用

焊接过程中用以进行焊接的消耗材料统称焊接材料。焊接材料不仅影响焊接过程的稳定性、接头质量及焊接结构的使用性能，同时也影响着焊接生产率。生产中广泛使用的焊接材料主要有焊条、焊丝、焊剂等。

1.2.1 焊条及选用

(1) 焊条的组成

焊条是指在一定长度的金属芯外表层均匀地涂敷一定厚度的具有特殊作用药皮的手弧焊用的熔化电极。焊条由焊芯和涂料药皮两部分组成，因而也称为药皮焊条。焊条在全部焊接材料中所占比重最大。

① 焊芯 指焊条用的被药皮包覆的金属芯，例如 H08A 钢芯。焊芯有两个作用：一是传导电流，产生焊接电弧；二是焊芯本身熔化形成焊缝中的填充金属。焊芯采用焊接专用的金属丝（即焊丝），一般是通过冶炼方法铸成钢锭后热轧，然后拉拔到所需要的尺寸切断而成。焊芯牌号的首位字母是“H”，后面的数字表示碳含量，其他合金元素含量的表示方法与钢材的表示方法相同。高质量的焊芯，尾部加“A”表示优质钢，加“E”表示特优质钢。通常所说的焊条规格实际上是指焊芯直径，如 $\phi 3.2\text{mm}$ 、 $\phi 4\text{mm}$ 等。

② 药皮 由具有不同物理和化学性质的细颗粒状物质经黏结均匀包覆在焊芯表面的涂层。焊条药皮的作用是在焊接过程中形成具有合适的熔点、黏度、密度、碱度等物理、化学性能的熔渣，保证电弧稳定燃烧、使熔滴金属容易过渡、在电弧区和熔池周围造成一种气氛、保护焊接区域、获得良好的焊缝成形与性能等。也可通过向药皮中加入脱氧剂、合金元素或一定含量的铁粉，满足焊缝金属使用性能或提高熔敷效率的要求。

焊条药皮由多种具有不同物理和化学性质的细颗粒物质的混合物组成。焊条药皮可以采用氧化物、碳酸盐、硅酸盐、有机物、氟化物、铁合金等数十种原材料粉末，按照一定的配方混合而成。药皮组成物也称涂料，呈一定粒度的粉末状，按配比要求机械混合后，再采用黏结剂混匀，然后压涂于焊芯周围，烘干后即为焊条。

(2) 焊条的分类

根据我国焊条国家标准，焊条按型号划分为 8 大类。焊条牌号是根据焊条的主要用途及性能特点来命名的，划分为 10 大类。我国焊条型号和焊条牌号的划分见表 1.2。

表 1.2 我国焊条型号和焊条牌号的划分

焊 条 型 号				焊 条 牌 号		
序号	焊条分类	代号	国家标准	序号	焊条分类 (按用途分类)	代号 汉字(字母)
1	碳钢焊条	E	GB/T 5117—95	1	结构钢焊条	结(J)
2	低合金钢焊条	E	GB/T 5118—95	2	钼及钼耐热钢焊条	热(R)
				3	低温钢焊条	温(W)
3	不锈钢焊条	E	GB/T 983—95	4	不锈钢焊条 ① 铬不锈钢焊条 ② 铬镍不锈钢焊条	铬(G) 奥(A)
4	堆焊焊条	ED	GB 984—85	5	堆焊焊条	堆(D)
5	铸铁焊条	EZ	GB 10044—88	6	铸铁焊条	铸(Z)
6	镍及镍合金焊条	ENi	GB/T 13814—92	7	镍及镍合金焊条	镍(Ni)
7	铜及铜合金焊条	TCu	GB 3670—83	8	铜及铜合金焊条	铜(T)
8	铝及铝合金焊条	TAI	GB 3669—83	9	铝及铝合金焊条	铝(L)
				10	特殊用途焊条	特(TS)

各大类焊条按主要性能的不同还可分为若干小类，如低合金钢焊条又可分为低合金高强钢焊条、低温钢焊条、耐热钢焊条等。有些焊条同时可以有多种用途。

根据焊接药皮的酸碱性可将焊条分类为酸性焊条和碱性焊条。

① 酸性焊条 药皮中含有大量的 TiO_2 、 SiO_2 等酸性造渣物及一定数量的碳酸盐等，熔渣氧化性强，熔渣碱度系数小于 1。酸性焊条焊接工艺性好，电弧稳定，可交、直流两用，飞溅小、熔渣流动性和脱渣性好，熔渣多呈玻璃状，较疏松，脱渣性好，焊缝外表美观。酸性焊条的药皮氧化性较强，合金元素烧损较多，合金过渡系数较小，熔敷金属中的氧含量和氢含量较高，焊缝金属塑性和韧性较低。

② 碱性（低氢型）焊条 药皮中含有大量的碱性造渣物（大理石、萤石等），并含有一定数量的脱氧剂和合金剂。碱性焊条主要靠碳酸盐（如 CaCO_3 等）分解出 CO_2 作为保护气体，弧柱气氛中的氢分压较低，萤石中的 CaF_2 在高温时与氢结合成氟化氢（HF），降低了焊缝中的氢含量，故碱性焊条又称为低氢型焊条。采用甘油法测定时，每 100g 熔敷金属中的扩散氢含量，碱性焊条为 1~8mL，酸性焊条为 17~50mL。

碱性渣中 CaO 多，熔渣脱硫的能力强，熔敷金属的抗热裂纹的能力较强。碱性焊条由于