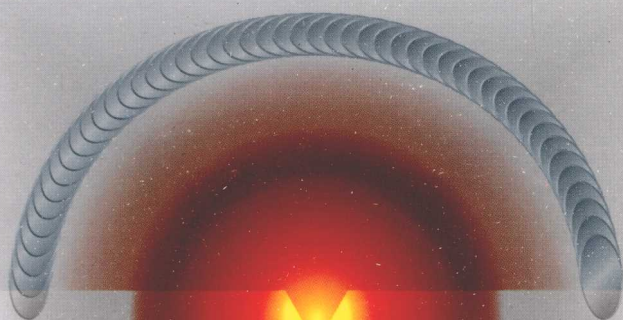


# 实用 焊接操作技法

钟翔山 钟礼耀 主编



**着眼工作能力的培养与提高**  
**注重专业知识与操作技能的融合**

 **机械工业出版社**  
CHINA MACHINE PRESS



013942360

TG44  
60

# 实用焊接操作技法

钟翔山 钟礼耀 主编



机械工业出版社



北航

C1651202

TG44  
60

013045300

本书针对焊接件的加工特点,从最基本的焊缝、焊接接头的标注及焊件图的识读入手,对焊条电弧焊、CO<sub>2</sub>气体保护焊、氩弧焊、气焊、钎焊、气割、碳弧气刨等的操作技能与焊接规范的制订,以及常用金属材料的焊接加工方法、要领进行了系统的介绍。本书具有内容系统全面、结构清晰明了和实用性强等特点。书中内容着眼于工作能力的培养与提高,以实用为主,紧密结合生产实际,突出实用技能,同时注重专业知识与操作技能、方法的有机融合,由浅入深,通俗易懂。

本书可供焊接操作人员和技术人员使用,也可供从事焊接教学与科研的人员参考,还可作为高等学校相关专业的学生岗前职业技能的培训教程。

## 图书在版编目(CIP)数据

实用焊接操作技法/钟翔山,钟礼耀主编. —北京:  
机械工业出版社, 2013. 6  
ISBN 978-7-111-42197-9

I. ①实… II. ①钟…②钟… III. ①焊接工艺  
IV. ①TG44

中国版本图书馆CIP数据核字(2013)第077103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:陈保华 责任编辑:陈保华 王 琰

版式设计:霍永明 责任校对:陈秀丽

责任印制:张 楠

北京京丰印刷厂印刷

2013年6月第1版·第1次印刷

169mm×239mm·22.25印张·496千字

0 001—3 000册

标准书号:ISBN 978-7-111-42197-9

定价:49.00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

网络服务

社服务中心:(010)88361066

教材网:<http://www.cmpedu.com>

销售一部:(010)68326294

机工官网:<http://www.cmpbook.com>

销售二部:(010)88379649

机工官博:<http://weibo.com/cmp1952>

读者购书热线:(010)88379203

封面无防伪标均为盗版

# 前 言

焊接是现代工业生产中主要的加工工艺之一。焊接结构具有节省金属材料、减轻结构重量、简化加工和装配工序、接头的密封性好、能承受高压、易实现机械化和自动化生产、缩短产品制造周期、提高产品质量和生产效率等一系列优点，因此在机械、冶金、航空、造船、化工和国防等行业应用非常广泛。

随着现代工业技术突飞猛进地发展，特别是现代钣金制造业发展迅速，一方面研制、应用的机器设备种类越来越多，需求量越来越大，涉及的焊接构件品种越来越多、越来越复杂，同时对焊接加工人员的技术要求越来越高，对从事钣金构件加工的人员也提出了一专多能的要求；另一方面，随着全球新一轮产业结构的调整，从事焊接加工技术的中、高级技术工人又非常短缺。基于这种现状，为满足焊接加工技术人员的实际需要，我们编写了这本书。

全书共12章，第1章主要介绍了金属熔焊原理、焊接接头、焊缝、焊接装配图等焊接基础知识，第2章至第9章分别对焊接设备及工具焊条电弧焊、CO<sub>2</sub>气体保护焊、氩弧焊、气焊、钎焊、气割、碳弧气刨等方面的操作技能、焊接规范的制订、焊接缺陷及防止措施、焊接安全技术等内容进行了介绍，第10章、第11章对常用金属材料、常见焊接结构的焊接工艺、焊接加工方法和要领进行了具体的讲解，第12章对焊接缺陷及其质量的检查方法、要求进行了简要的分析与介绍。

本书具有内容系统完整、结构清晰明了和实用性强等特点。在内容编排上，着眼于工作能力的培养与提高，坚持以实用为主，突出实用技能，同时注重专业知识与操作技能、方法的有机融合，由浅入深，通俗易懂。

本书由钟翔山、钟礼耀主编，参加本书编写的人员有：钟翔山、钟礼耀、钟翔屿、孙东红、钟静玲、陈黎娟、刘玉燕、曾冬秀、周莲英、周彬林、刘梅连、欧阳勇、周爱芳、周建华、胡程英、李澎、彭英、周四平、李拥军、曾俊斌、钟师源、孙雨暄、欧阳露、周宇琼。全书由钟翔山整理统稿，钟翔屿、孙东红、刘玉燕校审。

在本书的编写过程中，我们得到了同行、有关专家和高级技师的热情帮助、指导和鼓励，在此一并表示由衷的感谢。

由于我们水平有限，经验不足，难免有疏漏错误之处，热诚希望读者指正。

编 者

# 目 录

## 前言

<b>第 1 章 焊接加工基础</b> .....	1
1.1 焊接的特点及其分类 .....	1
1.2 金属熔焊的原理 .....	4
1.3 焊接接头 .....	8
1.4 焊缝的种类及其标注 .....	11
1.5 焊接装配图的识读 .....	18
<b>第 2 章 常用焊接设备及工具</b> .....	22
2.1 焊条电弧焊设备及工具 .....	22
2.2 气体保护焊设备及工具 .....	27
2.3 气焊及气割设备 .....	29
2.4 钎焊设备 .....	37
<b>第 3 章 焊条电弧焊的操作</b> .....	39
3.1 电弧焊的过程 .....	39
3.2 焊条 .....	42
3.2.1 焊条的组成及分类 .....	42
3.2.2 焊条的选用及使用 .....	49
3.3 电弧焊的基本操作手法 .....	54
3.3.1 引弧 .....	54
3.3.2 运条 .....	55
3.3.3 焊缝的起头、接头和收弧 .....	56
3.3.4 定位焊缝的焊接 .....	60
3.3.5 单面焊双面成形焊接技术 .....	61
3.4 焊接规范 .....	64
3.5 各种焊接位置的操作方法 .....	67
3.5.1 平焊法 .....	68
3.5.2 立焊法 .....	73
3.5.3 横焊法 .....	76
3.5.4 仰焊法 .....	80
3.6 电弧焊的操作技术 .....	83
3.6.1 板材的焊接操作 .....	83
3.6.2 管材的焊接操作 .....	86
3.6.3 管道向下立焊的操作 .....	94
3.6.4 管板的焊接操作 .....	97

3.6.5 焊条电弧焊的补焊 .....	100
3.7 焊条电弧焊的缺陷及防止 .....	102
3.8 电弧焊的安全技术 .....	103
<b>第4章 CO<sub>2</sub> 气体保护焊的操作 .....</b>	<b>105</b>
4.1 CO <sub>2</sub> 气体保护焊的过程 .....	105
4.2 焊丝 .....	106
4.3 CO <sub>2</sub> 气体保护焊的基本操作 .....	108
4.4 焊接规范 .....	110
4.5 CO <sub>2</sub> 气体保护焊的操作方法 .....	111
4.5.1 板材的焊接操作 .....	111
4.5.2 管材的焊接操作 .....	113
4.5.3 管板的焊接操作 .....	114
4.5.4 药芯焊丝的 CO <sub>2</sub> 气体保护焊操作 .....	115
4.6 CO <sub>2</sub> 气体保护焊常见缺陷及防止 .....	118
4.7 CO <sub>2</sub> 气体保护焊的安全技术 .....	119
<b>第5章 氩弧焊的操作 .....</b>	<b>121</b>
5.1 氩弧焊的过程 .....	121
5.2 氩弧焊的基本操作 .....	121
5.3 氩弧焊的焊接规范 .....	124
5.4 氩弧焊各种位置的操作 .....	128
5.5 氩弧焊的操作方法 .....	129
5.5.1 板材的焊接操作 .....	130
5.5.2 管材的焊接操作 .....	131
5.5.3 管板的焊接操作 .....	133
5.6 氩弧焊常见缺陷及防止 .....	134
5.7 氩弧焊的安全技术 .....	137
<b>第6章 气焊的操作 .....</b>	<b>138</b>
6.1 气焊的原理及特点 .....	138
6.2 气焊焊丝及气焊熔剂 .....	139
6.3 气焊的操作手法及步骤 .....	140
6.4 气焊的工艺要点 .....	143
6.5 不同空间位置气焊的操作 .....	148
6.6 气焊的操作技术 .....	152
6.6.1 T形接头和搭接接头的焊接 .....	152
6.6.2 管材的气焊 .....	154
6.7 气焊常见缺陷及防止 .....	157
6.8 气焊操作的安全技术 .....	162
<b>第7章 钎焊的操作 .....</b>	<b>165</b>
7.1 钎焊的原理及特点 .....	165

7.2	钎料和钎剂 .....	166
7.3	钎焊的接头形式 .....	170
7.4	钎焊操作的步骤及工艺要点 .....	172
7.5	常用钎焊方法的操作要点 .....	180
7.6	常用金属材料的钎焊 .....	182
7.7	钎焊的常见缺陷及防止 .....	188
<b>第8章</b>	<b>气割 .....</b>	<b>190</b>
8.1	气割的原理及特点 .....	190
8.2	气割参数的选择 .....	191
8.3	气割操作的步骤与要点 .....	195
8.4	常用金属材料的气割 .....	199
8.5	气割设备的常见故障及排除方法 .....	204
8.6	气割操作注意事项 .....	206
8.7	气割的常见缺陷及防止 .....	209
<b>第9章</b>	<b>碳弧气刨 .....</b>	<b>212</b>
9.1	碳弧气刨的原理及特点 .....	212
9.2	碳弧气刨参数的选择 .....	213
9.3	碳弧气刨的操作 .....	213
9.4	常用金属材料的碳弧气刨 .....	216
9.5	碳弧气刨的缺陷及防止措施 .....	217
<b>第10章</b>	<b>常用金属材料的焊接 .....</b>	<b>219</b>
10.1	金属材料的焊接性 .....	219
10.1.1	常用金属材料的分类、牌号和用途 .....	219
10.1.2	常用金属材料的焊接性 .....	228
10.2	焊接方法的选择 .....	233
10.3	碳钢的焊接 .....	235
10.3.1	低碳钢的焊接 .....	235
10.3.2	中碳钢的焊接 .....	238
10.3.3	高碳钢的焊接 .....	239
10.3.4	碳素铸钢的气焊补焊 .....	240
10.4	低合金钢的焊接 .....	241
10.4.1	低合金钢的焊接特点及工艺措施 .....	241
10.4.2	常见低合金钢的焊接 .....	243
10.5	不锈钢的焊接 .....	245
10.5.1	不锈钢的焊接特点及规范 .....	246
10.5.2	常见不锈钢的焊条电弧焊 .....	250
10.6	铬钼耐热钢的焊接 .....	254
10.6.1	低合金珠光体耐热钢的焊接 .....	255
10.6.2	Cr5Mo 耐热钢管的焊接 .....	259

10.7 铸铁的焊接 .....	261
10.7.1 铸铁的焊接特点 .....	261
10.7.2 灰铸铁的电弧冷焊法 .....	262
10.7.3 灰铸铁的电弧热焊法 .....	264
10.7.4 灰铸铁的气焊补焊 .....	265
10.7.5 球墨铸铁的气焊补焊 .....	267
10.8 铝及铝合金的焊接 .....	268
10.8.1 铝及铝合金的焊接特点 .....	268
10.8.2 铝及铝合金的焊条电弧焊 .....	269
10.8.3 铝及铝合金的氩弧焊 .....	271
10.8.4 铝及其合金的气焊 .....	276
10.8.5 铸造铝合金的气焊补焊 .....	279
10.9 铜及铜合金的焊接 .....	280
10.9.1 铜及铜合金的焊接特点 .....	280
10.9.2 铜及铜合金的焊接要点 .....	281
10.10 钛及钛合金的焊接 .....	289
10.10.1 钛及钛合金的焊接特点 .....	289
10.10.2 钛及钛合金的手工钨极氩弧焊 .....	290
10.11 异种金属材料的焊接 .....	292
10.11.1 不锈复合钢板的焊接 .....	293
10.11.2 不锈钢与碳钢的焊接 .....	295
10.11.3 铸铁与低碳钢的焊接 .....	296
<b>第 11 章 常见钢结构的焊接方法 .....</b>	<b>299</b>
11.1 梁的焊接 .....	299
11.2 支柱的焊接 .....	300
11.3 钢架的焊接 .....	301
11.4 储器和容器的焊接 .....	302
11.5 大直径不锈钢筒体的焊接 .....	303
11.6 焊接生产的定额 .....	304
<b>第 12 章 焊接缺陷及其质量的检查 .....</b>	<b>310</b>
12.1 焊接应力及变形的产生 .....	310
12.2 减少和消除焊接应力的方法 .....	312
12.3 防止或减少焊接变形的的方法 .....	313
12.4 焊接变形的矫正 .....	319
12.5 焊缝的缺陷 .....	323
12.6 焊接接头的质量检查 .....	328
12.7 焊件的几何公差检验 .....	333
<b>附录 .....</b>	<b>336</b>
附录 A 焊条新旧型号对照表 .....	336



附录 B 变形铝及铝合金新旧牌号对照表 .....	342
附录 C 各种硬度值与碳素钢抗拉强度近似对照表 .....	343
附录 D 低合金高强度结构钢新旧牌号对照表 .....	346
参考文献 .....	347

# 第 1 章 焊接加工基础

## 1.1 焊接的特点及其分类

焊接是根据被焊工件的材质（同种或异种），通过加热、加压或二者并用，采用（或不用）填充材料，使焊件达到原子间的结合而形成永久性连接的加工工艺。

### 1. 焊接加工的特点

焊接加工属于不可拆卸连接，是现代工业生产中主要的加工工艺之一，应用十分广泛。采用焊接结构具有节省金属材料、减轻结构重量、简化加工和装配工序、接头的密封性好、能承受高压、易实现机械化和自动化生产、缩短产品制造周期、提高产品质量和生产效率等一系列优点。

焊接也有不足之处，首先，由于局部加热不均匀容易引起焊件变形和产生内应力，焊后有时要作矫正处理，对重要构件还要进行焊后热处理以消除内应力。其次，金属的内部组织在焊接后受到破坏，焊接热影响区塑性下降，硬度增大，容易产生裂纹。另外，某些焊接方法会产生强光或有害气体和烟尘，必须采取相应的劳保措施，以保护工人的身体健康。这些不足之处需要在焊接生产中特别注意。

### 2. 焊接加工的分类

工业生产中应用的焊接方法很多，按焊接过程的特点可归纳为三大类。

(1) 熔焊 这类焊接方法的共同特点是，利用局部加热的方法，将焊件的接合处加热到熔化状态，互相融合，冷凝后彼此结合在一起。常见的电弧焊、气焊就属于这一类。

(2) 压焊 这类焊接方法的共同特点是，在焊接时不论加热与否，都施加一定的压力，使两个接合面紧密接触，促使原子间产生结合作用，以获得两个焊件的牢固连接。电阻焊、摩擦焊就属于这一类。

(3) 钎焊 它与熔焊有相似之处，也可获得牢固的连接，但两者之间有本质的区别。这种方法是比焊件熔点低的钎料和焊件一同加热到高于钎料的熔点且低于焊件熔点的温度，使钎料熔化，利用液态钎料润湿焊件，填充接头间隙，并与焊件相互扩散，实现焊件彼此连接，如锡焊、铜焊等。

图 1-1 所示为常用焊接方法的分类。

### 3. 各种焊接方法的基本原理及用途

上述各种焊接方法的基本原理及用途见表 1-1。

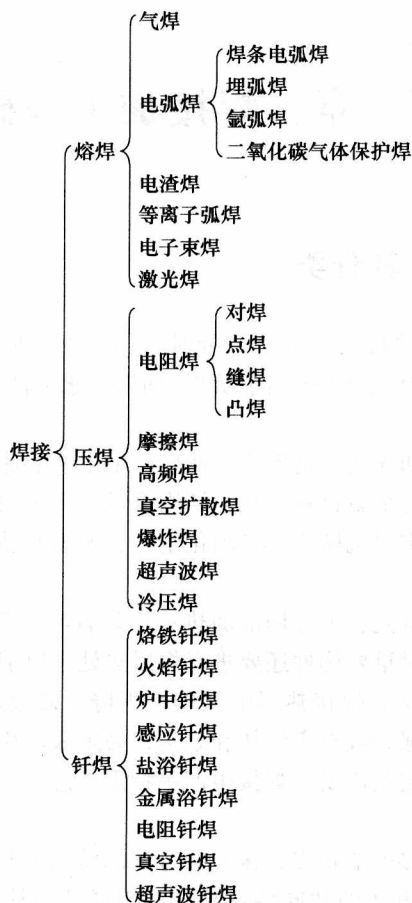


图 1-1 焊接方法分类

表 1-1 各种焊接方法的基本原理及用途

焊接方法	基本原理	用途
气焊	利用氧乙炔焰或其他气体火焰加热焊件，熔化焊料及焊件表面部分而达到焊接的目的。火焰温度约 3000℃	适用于焊接较薄工件，如铜、有色金属、铸铁、硬质合金及热塑性塑料的焊接，连接强度不如电弧焊
电渣焊	利用电流通过熔渣产生的电阻热来熔化母材和填充金属进行焊接。它的加热范围大，对厚的焊件能一次焊成，温度达 600 ~ 700℃	焊接大型和很厚的零部件（厚度 > 5mm 的各种钢材），也可进行电渣熔炼
焊条电弧焊	利用电弧作为热源熔化焊条和母材而形成焊缝的一种焊接方法	应用范围广。适于焊短小焊缝及全位置焊缝

(续)

焊接方法	基本原理	用途
埋弧焊	电弧在焊剂层下燃烧, 利用颗粒状焊剂作为金属熔池的覆盖层。焊剂靠近熔池处熔融并形成气包将空气隔绝使之不能侵入熔池, 焊丝自动送入焊接区, 焊缝质量好, 成形美观	适用于长焊缝焊接, 焊接电流大, 生产率高
等离子弧焊	利用气体在电弧内电离后, 再经过热收缩效应和磁收缩效应而产生的一束高温热源来进行熔焊。等离子体能量密度大、温度高, 通常达 20000℃ 左右	可用于焊接不锈钢、高强度合金钢、耐热合金钢以及钛、铜及钛合金等, 并可焊接高熔点及高导热性金属
气体保护电弧焊 (亦称气电焊)	利用气体保护焊接区的电弧焊, 气体作为金属熔池的保护层将空气隔绝。采用的气体有惰性气体、还原性气体和氧化性气体	用于自动或手工焊接铝、钛、铜等有色金属及其合金; 氧化性气体保护焊用于普通碳素钢及低合金钢材料的焊接
真空电子束焊	利用电子枪发射的高能电子束在真空中轰击焊件, 使电子的动能变为热能, 以达到熔焊的目的	主要用于尖端技术方面的活泼金属、高熔点金属和高纯度金属的焊接
非真空电子束焊	利用电子枪发射高能电子束, 此电子束具有足够的能量密度, 能在大气中轰击焊件, 以达到熔化金属、形成焊缝的目的	适于焊接不锈钢等材料, 有时也焊接结构钢
铝热焊	铝粉及氧化铁粉按一定比例配制成的铝热焊剂, 经点燃后形成铝热钢液体, 将铝热钢注入预先设置的型腔内, 使接头端部熔化达到焊接的目的	主要用于钢轨连接或修理
激光焊	利用聚焦的激光束对工件接缝进行加热熔化的焊接方法	适用于铝、铜、银、不锈钢、钨、钼等金属的焊接
电阻焊	利用电流通过焊件产生的电阻热并加压进行焊接的方法, 可分点焊、缝焊、对焊。点焊、缝焊是把焊件加热到局部熔化状态同时加压, 对焊是把焊件加热到塑性状态或表面熔化状态同时加压	可焊接薄板、棒料。闪光焊用于主要工件的焊接, 可焊异种金属(铝-钢、铝-铜) $\phi 0.01 \sim \phi 20000\text{mm}$ 的棒材, 如刀具、钢筋、钢轨的焊接
摩擦焊	利用焊件之间摩擦产生的热量将接触区域加热到塑性状态, 然后加压形成接头	用于焊接导热性好、易氧化的金属, 如有色金属及其合金, 异种金属、钢材, 热塑性塑料也可
冷压焊	不加热, 只靠强大的压力, 使工件产生很大程度的塑性变形, 工件接触面上金属产生流动, 破坏了氧化膜, 并在强大压力作用下, 借助于扩散和再结晶过程使金属焊在一起	主要用于导线焊接
超声波焊	利用超声波的高频振动对工件接头进行局部加热和表面清理, 然后施加压力实现焊接的方法	点焊和缝焊有色金属及其合金薄板、热塑性塑料

(续)

焊接方法	基本原理	用途
锻焊	焊件在炉内加热后, 用锤锻使焊件在固相状态结合的方法	焊接板材为主
扩散焊	在一定的时间、温度或压力的作用下, 两种材料在相互接触的界面上发生扩散和连接的方法	能焊弥散强化高温合金、纤维强化复合材料、非金属材料、难熔和活性金属材料
爆炸焊	以炸药爆炸为动力, 凭借高速倾斜碰撞, 使两异种(或同种)金属材料在高压下焊成一体的方法	制造复合板材
钎焊	采用比母材熔点低的材料作为填充金属, 利用加热使填充金属熔化, 母材不熔化, 借助液态填充金属与母材之间的毛细现象和扩散作用实现焊件连接的方法	一般用于焊接薄的、尺寸较小的工件, 如导线、蜂窝夹层、硬质合金刀具。可焊各种金属

## 1.2 金属熔焊的原理

熔焊是一个靠近焊缝的母材被加热、冷却和焊缝金属结晶并随后冷却的加工过程。熔焊时, 被焊金属(母材)和填充金属在热源作用下熔融在一起, 并形成具有一定几何形状的液体金属叫做熔池, 冷却凝固后即称为焊缝。图 1-2 所示为焊条电弧焊示意图。

### 1. 焊接熔池的特点

焊接熔池在极短的时间内要经过一系列的高温冶金反应, 当电弧离开之后便冷却结晶, 它的结晶与一般钢锭结晶相比, 具有以下独特的特点:

1) 由于熔池体积小, 周围被冷却金属包围, 所以熔池冷却速度很快。

2) 熔池中液体金属的温度比一般浇注钢液的温度高得多, 过渡熔滴的平均温度约为  $2300^{\circ}\text{C}$ , 熔池平均温度约为  $1700^{\circ}\text{C}$ , 所以熔池中的液体金属处于过热状态。

3) 熔池中心液体温度高, 熔池边缘凝固界面处散热快, 冷却速度大, 因而熔池结晶是在很大的温差条件下进行的。

4) 熔池一般随电弧的移动而移动, 因此熔池的形状和结晶组织受焊接速度的影响。此外, 焊条的摆动、电弧的吹力等对熔池有强烈的搅拌作用, 使熔池内的熔化金属在运动状态下结晶, 即熔池前半部 *abc* 进行熔化过程, 而后半部 *cda* 进行凝固过程, 如图 1-3 所示。

熔焊时, 随着电弧的移动, 熔池的结晶过程一直在连续地进行着。它的结晶速度相当于焊接速度。因此焊接速度越慢, 熔池体积越大, 则焊缝冷却就越慢, 晶粒尺寸也就

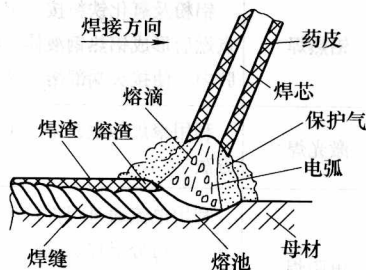


图 1-2 焊条电弧焊示意图

越粗大，焊缝金属的塑性和韧性也就越差。

## 2. 焊缝金属的结晶

熔焊时，液体熔池从高温冷却到常温，中间经过两次组织变化过程。第一次是从液态转变成固态时的结晶过程，称为一次结晶。第二次是当焊缝金属温度降至相变温度时，又发生了组织转变，这叫做焊缝的二次结晶。焊接熔池一次结晶过程如图 1-4 所示。

(1) 一次结晶 一次结晶是在液态金属中发生的。熔焊时，随着电弧的移去，熔池液态金属温度降低，原子间的活动能力逐渐减小。当温度降低到熔点时，液体金属中有一些原子就开始最先排列起来，形成所谓的“晶核”，然后晶核就依靠吸附周围液体中的原子进行生长，称为“长大”。

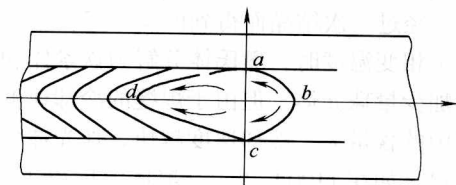


图 1-3 熔池在运动状态下结晶

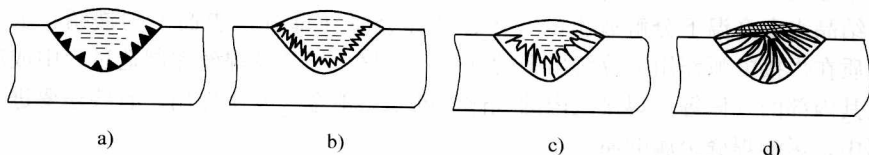


图 1-4 焊接熔池一次结晶过程

a) 开始结晶 b) 晶体长大 c) 形成柱状晶体 d) 结晶过程结束

由于液体熔池中的热量主要是通过熔合线向母材方向散失，因此接触熔合线处的一层液体金属降温最快，并首先凝固结晶，如图 1-4a 所示；因晶体不可能向已凝固的金属扩散，故晶体向着与散热方向相反的方向长大，如图 1-4b 所示；晶体向两侧方向的生长也很快受到相邻的正在生长晶体的阻挡，主要的生长方向于是指向熔池中心，并形成柱状结晶，如图 1-4c 所示；当柱状晶体不断长大到互相接触时，焊缝这一截面的结晶过程就结束了，如图 1-4d 所示。焊接熔池中的一次结晶，通常是在不平衡的冷却条件下进行的，容易出现偏析现象。偏析是指合金中各组成元素在结晶时分布不均匀的现象。例如低碳钢，若在晶界上碳和其他杂质元素的含量比钢的平均含量略高些，就称为碳或杂质在晶界上的偏析。焊缝中的偏析主要有显微偏析、区域偏析和层状偏析三种。

影响显微偏析的重要因素是金属的化学成分。金属的化学成分不同，金属开始结晶和结晶完了的区间就不相同。结晶区间越大，就越容易发生显微偏析。一般低碳钢焊接时，由于结晶开始和结束的温度区间不大，所以显微偏析现象不严重，但高碳钢和合金钢焊接时，显微偏析很严重，常常会导致热裂纹等缺陷，所以高碳钢和合金钢在焊后必须进行扩散和细化晶粒的热处理。

整个焊缝金属范围内的合金元素分布不均匀的现象称为区域偏析。对焊缝的横截面来说，焊缝的周界结晶早，金属成分纯，而低熔点合金元素和杂质集中在焊缝横截面中部，形成区域偏析。影响区域偏析的因素主要有焊接材料、冷却速度、焊缝断面形状

等。

周期性的结晶造成晶体沿着生长方向溶质含量和杂质含量周期性地变动，即一层含量高，一层含量低，这种交替分布的偏析现象称为层状偏析。

(2) 二次结晶 焊缝金属的组织是在一次结晶之后，金属继续冷却到相变温度以下，经过二次结晶而得到的实际组织。如低碳钢一次结晶的组织都是奥氏体，当冷却到低于相变温度时，奥氏体分解为铁素体和珠光体，所以二次结晶后的组织大部分是铁素体加少量珠光体。但由于焊缝的冷却速度很快，所以珠光体的含量一般都比平衡状态组织中的含量高。冷却速度越快，珠光体含量越高，而铁素体含量越少；相反，冷却速度太慢，如在 1100℃ 以上，凝固温度以下停留时间过长，则二次结晶后铁素体是晶粒粗大、性能不好的过热铁素体组织，在焊接时应尽量避免这种情况。

### 3. 气体对焊缝金属的影响

焊接过程中，熔池周围有大量的气体，这些气体主要来自电弧周围的气体介质，焊条药皮中造气剂产生的气体，药皮或焊剂受潮后蒸发出来的水蒸气、焊条药皮或焊剂中残留的结晶水在高温下分解放出的气体，被焊金属（母材）表面上的铁锈、水分、油漆等杂质在焊接电弧作用下分解出来的气体，母材、焊芯及焊丝在制造过程中或冶炼时残留在其内部的气体等。焊接区内的气体不断与熔池金属发生作用，有些还要进入到焊缝金属中，影响焊缝金属的质量。

(1) 氮对焊缝金属的影响 焊接区的氮主要来自空气。它在高温时溶入熔池，并能溶解在凝固的焊缝金属中。随着温度下降，氮的溶解度降低，析出的氮与铁形成化合物，以针状夹杂物形式存在于焊缝金属中。

氮的含量较高，将对焊缝金属力学性能有较大的影响，如硬度和强度提高，塑性降低。此外，氮也是形成气孔的原因之一。由于氮主要来源于空气，故电弧越长，氮侵入熔池也越多。熔池保护差，氮侵入也多。

(2) 氢对焊缝金属的影响 焊接区中的氢主要来自受潮的药皮或焊剂中的水分、焊条药皮中的有机物以及工件表面的铁锈、油脂、油漆等物质。

通常情况下，氢不和金属化合，但它能够溶解于 Fe、Ni、Cu、Cr、Mo 等金属。温度越高，氢溶解的数量越多。焊接时冷却速度很快，由于相变时气体的溶解度发生突变，容易造成过饱和的氢残留在焊缝金属中形成气孔，而且还会产生许多有害作用，引起氢脆性、白点、硬度升高，使钢的塑性下降，严重时会引起裂纹。

(3) 氧对焊缝金属的影响 焊接区的氧主要来自周围的空气，其次是药皮中的氧化物和工件表面的铁锈、水分等分解产物。

氧在电弧高温作用下分解为原子，原子氧对金属的作用比分子氧更大。焊接时，金属的氧化发生在熔滴和熔池金属的表面。由于氧化的结果，使焊缝中的有益元素大量烧损，氧化的产物一般漂浮到熔渣中去，有时也会以夹杂物的形式存在于焊缝中。

焊缝中的含氧量增加，就会使它的抗拉强度、屈服强度、塑性和冲击韧度下降，尤其是冲击韧度的下降更为明显。此外，还会使焊缝金属的耐蚀性降低，加热时有晶粒长大的趋势，且冷脆的倾向增加。氧与碳、氢反应，生成不溶于金属的气体 CO 和 H<sub>2</sub>O，

若这种反应是在结晶温度时进行,由于熔池已经开始凝固,CO和H<sub>2</sub>O就不能顺利逸出,便会形成气孔。

要防止熔池金属氧化,首先必须要采取有效的措施减少氧的来源,特别是防止空气中氧的侵入。进入熔池中的氧通常以FeO形式溶解,而设法排除熔池金属中FeO的过程就叫做金属的脱氧。

#### 4. 控制焊缝质量的措施

影响焊缝质量的因素很多,在焊接加工原理上,主要是从控制焊缝金属的脱氧、脱硫、脱磷等方面进行的。

(1) 焊接熔渣的作用 熔渣是焊接时由焊条药皮或焊剂熔化后经过冶金反应而形成的。焊接熔渣是多种化学成分的复杂体系。焊接熔渣在焊接过程中起到的主要作用是:

1) 保证电弧集中、稳定,使熔滴金属容易过渡。

2) 机械保护作用。焊接时,生成的熔渣覆盖在熔滴和熔池的表面上,把液态金属与空气隔离开,保护液态金属不被氧化和氮化。液态熔渣凝固后所形成的渣壳覆盖在焊缝上,也可以防止处于高温的焊缝金属受空气的有害作用。

3) 改善焊接工艺性能。具有适宜物化性能(熔点、粘度、表面张力、膨胀系数等)的熔渣可使焊条具有良好的全位置焊接适应性,电弧容易引燃,并能连续燃烧,飞溅小,焊缝成形美观,保证脱渣容易,焊缝具有良好的成形等。

4) 冶金处理作用。生成的熔渣和液态金属能够发生一系列的物理化学反应。在一定的条件下,熔渣可以除去焊缝中的有害杂质(如脱硫、脱磷、脱氧等),保护有益元素,向焊缝过渡所需要的合金元素,使其合金化,满足焊缝金属所需的各种性能要求。

(2) 焊缝金属的脱氧 焊缝金属的脱氧有先期脱氧、沉淀脱氧和扩散脱氧三种途径。

1) 先期脱氧。先期脱氧即焊接时药皮中的脱氧剂(锰铁、硅铁、钛铁、铝铁等)与氧反应,生成氧化物,转入熔渣中固定下来,尽早地把氧控制住。先期脱氧的脱氧剂种类与药皮成分、熔渣碱度有很大关系。酸性焊条主要用锰铁作脱氧剂,碱性焊条主要用硅铁、钛铁、铝铁作脱氧剂。

2) 沉淀脱氧。沉淀脱氧是利用熔池中的合金元素进行脱氧。脱氧产物不溶于熔池而进入熔渣。脱氧对象主要是溶解于熔池中的FeO。常用的脱氧剂有Mn、Si、Ti。

3) 扩散脱氧。利用氧化物能溶解于熔渣的特性,通过扩散使氧化物从熔池金属进入熔渣中,从而降低金属中氧化物浓度的过程,叫做扩散脱氧。

(3) 焊缝金属的脱硫 硫是钢中的有害杂质之一。硫在低碳钢中以FeS和MnS的形式存在。MnS在液态铁中溶解度极小,容易排入渣中。FeS可溶解在液态铁中,但溶于固态铁中的却很少,因此在熔池结晶过程中即析出,与Fe、FeO等形成低熔点共晶体,并存在于晶界上。当焊缝冷却收缩时,焊缝在内应力的作用下导致热裂纹。

焊缝金属中的硫是从母材、焊丝、焊条药皮或焊剂在熔焊过程中进入熔池金属的。因此要降低焊缝金属中的含硫量,首先必须限制原材料的含硫量,其次在焊接过程中脱



硫，其主要办法有元素脱硫和熔渣脱硫。

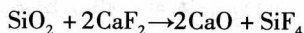
1) 元素脱硫。在液体金属中加入一些对硫的亲合力比对铁的亲合力大的元素，把铁从 FeS 中还原出来。脱硫后生成的硫化物应能溶解于熔渣，而在金属中的溶解则越少越好。常用的脱硫元素是锰。

2) 熔渣脱硫。熔渣脱硫主要是通过 MnO、CaO 和 CaF<sub>2</sub> 来进行的。

MnO 的脱硫反应： $\text{FeS} + \text{MnO} \rightarrow \text{MnS} + \text{FeO}$

CaO 的脱硫反应： $\text{FeS} + \text{CaO} \rightarrow \text{FeO} + \text{CaS}$

CaF<sub>2</sub> 在脱硫时，一方面氟与硫化物生成挥发性的化合物，另一方面 CaF<sub>2</sub> 与 SiO<sub>2</sub> 作用可生成 CaO，有利于脱硫，其反应式为



(4) 焊缝金属的脱磷 磷是钢中的有害杂质之一。磷以铁的磷化物形式存在于钢中，而 Fe<sub>3</sub>P 等能与铁形成低熔点共晶体，聚于晶界上，易引起热裂纹。这些低熔点共晶体削弱了晶粒间的结合力，使钢在常温或低温时变脆（即冷脆性），造成冷裂纹。

焊接时的脱磷过程主要是使磷氧化生成 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>。生成的 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 在高温时很不稳定，容易分解，若采用强碱性氧化物（CaO）与酸性的 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 生成稳定的磷酸盐，反应后的磷酸盐便进入到熔渣中。实际上，通过焊接冶金来脱磷比较困难，一般采用严格控制原材料中含磷量的方法降低磷的危害。

(5) 焊缝金属的合金过渡 合金过渡就是把所需要的合金元素通过焊接材料过渡到焊缝金属（或堆焊金属）中的过程。合金过渡的目的是：①补偿焊接过程中由于蒸发、氧化等原因造成的合金元素的损失，获得成分、组织和力学性能与母材相同或相近的焊缝金属；②消除焊接缺陷，改善焊缝金属的组织 and 性能；③获得具有特殊性能的堆焊金属。合金过渡的方式主要有：应用合金焊丝或带极，应用药芯焊丝或药芯焊条，应用合金药皮或粘结焊剂，应用合金粉末，通过从金属氧化物中还原金属的方式合金化等。

为了说明合金过渡的情况，常用过渡系数  $\eta$ （%）来表示，即

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

式中  $\eta$ ——合金元素过渡系数（%）；

$C_F$ ——焊缝金属中某元素的含量；

$C_T$ ——该元素在焊条中的原始总含量。

影响合金元素过渡系数  $\eta$  的因素很多，其中主要因素有焊接熔渣的酸碱度和合金元素本身对氧的亲合力。

### 1.3 焊接接头

焊接接头是用焊接方法连接的接头。它由焊缝、熔化区和热影响区三部分组成。