

焊工

袁建国 周增文 周先平 编著

操作指南

HANJIEGONG CAOZUO ZHINAN



 湖南科学技术出版社

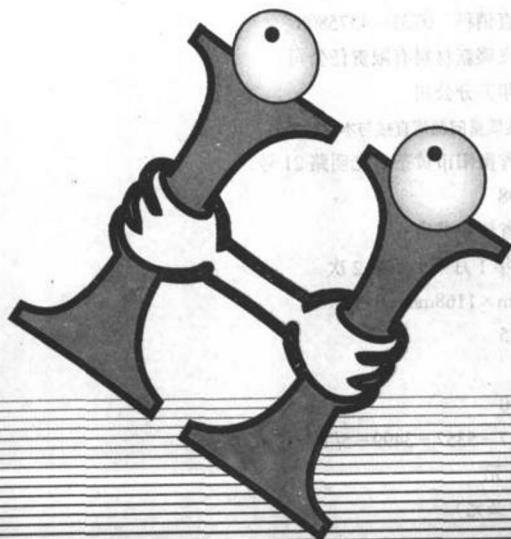
焊工

袁建国 周增文 周先平 编著

湖南科学技术出版社

操作指南

HANJIEGONG CAOZUO ZHINAN



焊接工操作指南

编 著：袁建国 周增文 周先平

责任编辑：余 汝

出版发行：湖南科学技术出版社

社 址：长沙市湘雅路 280 号

<http://www.hnstp.com>

邮购联系：本社直销科 0731-4375808

印 刷：湖南飞碟新材料有限责任公司

衡阳印务分公司

(印装质量问题请直接与本厂联系)

厂 址：湖南省衡阳市黄茶岭光明路 21 号

邮 编：421008

经 销：湖南省新华书店

出版日期：2003 年 1 月第 1 版第 2 次

开 本：850mm×1168mm 1/32

印 张：6.3125

插 页：4

字 数：179000

书 号：ISBN 7-5357-3499-5/TG·13

定 价：13.00 元

(版权所有·翻印必究)

前 言

焊接技术在国民经济建设与国防建设中的应用都十分广泛,如交通运输工具中的飞机、船舶、火车、汽车等壳体的焊接;建筑工程中桥梁、房屋钢筋的焊接;航空、航天的各种飞机、火箭、卫星的部件焊接;军事上运用的导弹和炮弹的焊接等等。此外,焊接技术也与人们的生活息息相关,如锅炉、压力容器、器皿等的焊接;家用电器电路的焊接;住房防盗窗防盗门的焊接等。

对于各种产品构件的焊接质量与性能要求,将因产品的使用条件不同而不同。而正确选择焊接方法、焊接材料和焊接设备是保证产品使用性能的关键,因而也是从事焊接技术工作人员必须要掌握的基本知识。为此我们编著了本书,希望对广大技术人员有所帮助。

本书贯彻简明实用的原则,将具有相似的焊接特征或特点的对象尽可能归于一类,并辅以实例加以说明,以满足不同层次的需求。全书主要讲述焊接设备、焊接材料、常用金属材料焊接、修复焊接技术和装修焊接技术、焊接缺陷与检验等内容,希望能帮助正在从事焊接的人员进一步提高,能给那些想掌握焊接方法的人们提供参考。

本书由袁建国、周增文和周先平等编著。在本书成稿过程中得到了何信媛编辑的宝贵建议,在此表示衷心的感谢。不当之处,恳请读者批评指正。

编著者

2002年3月26日

目 录

第一章 焊接基础知识	(1)
第一节 焊接电弧的产生	(1)
一、电弧的构成	(1)
二、焊接电弧的引燃方法	(2)
第二节 焊接电弧的性质	(3)
一、焊接电弧的特点	(3)
二、电弧的静特性	(3)
三、焊接电弧的稳定性	(4)
第三节 焊接材料的熔化与熔滴的过渡	(5)
一、焊条、焊丝的加热及熔化.....	(5)
二、焊条、焊丝向熔池的过渡.....	(6)
第四节 焊缝和接头的形成与性能	(8)
一、焊接熔池	(8)
二、焊缝和焊接接头的形成	(8)
三、焊缝的组织 and 性能	(9)
四、焊接接头熔合区、热影响区的组织及性能	(11)
五、影响焊接接头性能的因素及质量控制.....	(12)
第五节 焊接中采取的保护方法	(13)
第二章 焊接设备的选择与使用	(14)
第一节 焊接电源(焊机)的外特性	(14)
第二节 手工电弧焊机的选择与使用	(15)
一、手工电弧焊的特点.....	(15)
二、手工电弧焊设备.....	(16)

三、手工电弧焊机的使用与维修·····	(18)
第三节 埋弧焊设备的选择与使用·····	(20)
一、埋弧焊的特点·····	(20)
二、埋弧自动焊机及使用·····	(21)
三、埋弧焊机的维护及故障排除·····	(23)
第四节 气体保护焊设备的选择与使用·····	(24)
一、气体保护焊的特点·····	(24)
二、气体保护焊设备及使用·····	(25)
第五节 电阻焊设备的选择与使用·····	(36)
一、电阻焊的特点·····	(36)
二、DN-10 点焊机及使用·····	(37)
第三章 焊接材料的选择与使用及操作技术·····	(39)
第一节 手工电弧焊焊条的选择与使用·····	(39)
一、电焊条的选择原则·····	(39)
二、手工电弧焊焊接工艺规范·····	(43)
三、手工电弧焊操作技术·····	(48)
第二节 CO ₂ 气体保护焊焊接材料的选择与使用·····	(64)
一、CO ₂ 气体保护焊焊接材料的选择·····	(64)
二、CO ₂ 气体保护焊焊接规范·····	(64)
三、CO ₂ 气体保护焊焊接操作技术·····	(65)
第三节 埋弧焊焊接材料的选择与使用·····	(77)
一、埋弧焊焊接材料的选用·····	(78)
二、埋弧焊焊接技术·····	(79)
第四节 手工钨极氩弧焊材料的选择与操作技术·····	(85)
一、焊接材料的选用·····	(85)
二、焊接规范的选择·····	(85)
三、焊接操作技术·····	(86)
第四章 常用金属材料的焊接·····	(90)
第一节 确定焊接工艺的一般原则·····	(90)
一、根据钢铁材料的焊接性确定工艺措施·····	(90)

二、控制焊接变形的措施·····	(91)
三、控制焊接应力的措施·····	(100)
第二节 碳素钢的焊接·····	(104)
一、低碳钢的焊接·····	(104)
二、中碳钢的焊接·····	(106)
第三节 低合金高强度钢的焊接·····	(108)
一、低合金高强度钢的焊接工艺·····	(109)
二、16Mn 钢的焊接及应用举例·····	(111)
三、18MnMoNb 钢的焊接及应用举例·····	(119)
第四节 不锈钢的焊接·····	(122)
一、奥氏体不锈钢的焊接工艺·····	(122)
二、铁素体不锈钢的焊接工艺·····	(127)
三、马氏体不锈钢的焊接工艺·····	(127)
四、奥氏体-铁素体双相不锈钢的焊接性及焊接工艺 ·····	(128)
第五节 异种钢的焊接·····	(129)
一、低碳钢与合金钢的焊接·····	(129)
二、低碳钢与铸钢的焊接·····	(131)
三、低碳钢与不锈钢的焊接·····	(133)
第五章 修复焊接技术·····	(137)
第一节 堆焊技术·····	(137)
一、堆焊技术要点·····	(137)
二、零件堆焊实践·····	(143)
第二节 补焊技术·····	(149)
一、补焊工艺的确定原则及操作要点·····	(149)
二、如何提高工件补焊合格率·····	(150)
三、工件补焊实践·····	(152)
第六章 装修焊接技术·····	(159)
第一节 装修焊接技术要点·····	(159)
第二节 钢及不锈钢薄板构件的焊接·····	(159)

一、焊接方法与焊接电源的选择	(159)
二、薄板的手工电弧焊	(160)
三、不锈钢薄板的氩弧焊	(162)
四、薄板的电阻点焊	(163)
五、铝及铝合金的焊接	(165)
六、薄板构件焊接实践	(167)
第七章 焊接缺陷与检验	(171)
第一节 焊接缺陷	(171)
一、焊接裂纹及防止措施	(171)
二、未焊透和未熔合及防止措施	(176)
三、夹渣及防止措施	(178)
四、气孔及防止措施	(179)
五、表面缺陷及防止措施	(181)
第二节 焊接检验	(185)
一、外观检验	(185)
二、射线探伤	(186)
三、超声波探伤	(188)
四、磁粉探伤	(190)
五、着色探伤	(190)
六、金相检验	(190)
七、焊缝金属及焊接接头的机械性能试验	(191)
八、化学试验	(193)

第一章 焊接基础知识

对于金属焊接来说，在不同的场合、不同的要求下，要使用的焊接设备、焊接材料和母材（被焊的金属材料）可能极不相同，但在焊接过程中都有一个共同特点，就是在被焊接电弧加热的地方，部分金属先要熔化，然后冷却凝固而形成焊缝与焊接接头。一般焊接接头只占焊接结构整体质量的百分之几或千分之几，但如果焊接结构出现问题，可以说基本上是由焊接接头引起的。这是由于焊接接头的质量较难保证，一般情况下是没有母材的质量好。为了保证焊接接头的质量，就必须了解焊接电弧的一些性质和掌握一些金属熔化焊接过程的基础知识。在此基础上选择焊接设备、焊接材料、母材和焊接工艺参数，以获得质量符合要求的焊接接头。

第一节 焊接电弧的产生

电弧是用来熔化金属的热源。焊接时，焊接材料和母材靠电弧加热熔化，才能形成焊缝。焊接时首先碰到的问题是怎样产生电弧和利用电弧。

一、电弧的构成

电弧是一种气体放电现象。在一定条件下，位于阴极和阳极两个电极之间的气体发光发热，构成一个导电回路，我们就说在两个电极之间产生了电弧。如图 1-1 所示，电弧不是一个均匀的导体，它分为阴极区、阳极区和弧柱区。靠近阴极和阳极的区域分别称为阴极区和阳极区，这两个区域具有较高的电场强度，其电压降分别称为阴极

压降和阳极压降；中间的区域称为弧柱区，相应的压降称为弧柱压降。三个区域的电压总和称为电弧电压 U_a ，就是通常说的焊接电压。

当焊接电流为 I 时，电弧的能量为 $E = U_a I$ ，其中大部分转变为热能。弧柱部分产生的热主要以辐射的形式散失到周围的空间。在焊接过程中主要利用阴极区和阳极区的热来加热和熔化焊接材料及母材。在阴极区和阳极区产生的热与电极的性质、尺寸和形态以及气体性质有关。一般情况下，阳极区的产热大于阴极区。在焊接中常利用电弧的这个特点，将工件和电焊钳与焊接

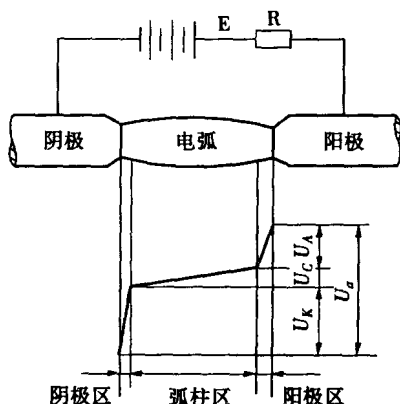


图 1-1 电弧的构成示意图

U_a - 电弧电压 U_A - 阳极压降

U_C - 弧柱压降 U_K - 阴极压降

电源的不同极性相连接，从而达到某种要求。工件接电源的正极，焊钳接电源的负极称为正接法；工件接电源的负极，焊钳接电源的正极称为反接法。

二、焊接电弧的引燃方法

气体在一般情况下是不能导电的，要产生焊接电弧（即引弧，使焊条和焊件之间产生稳定电弧的过程称为引弧），就要创造一定条件。不同的焊接方法引燃电弧的方式有所不同，但总的来说，主要有以下三种引燃电弧的方法。

1. 接触短路引弧法

这种引弧方法包括两个过程：首先是利用短路的方法，将焊条或焊丝与焊件接触短路，这时在接触点上由于电流的通过而产生高温；其次，在短路以后迅速将焊条或焊丝拉开 2~4mm 即可产生电弧。

2. 高频高压引弧法

高频高压引弧法是采用高频振荡器将工频低压交流电转换成高频高压的交流电，其输出电压为 2500 ~ 3000V，频率约为 150 ~ 260kHz。将此高频高压加在钨极或焊丝与工件之间的间隙上，将气体击穿电离，引发电弧。

3. 高压脉冲引弧法

高压脉冲引弧是采用高压脉冲发生器，将其发出的高压脉冲加在钨极或焊丝与焊件之间的间隙上，将气体击穿电离引发电弧。

第二节 焊接电弧的性质

焊接时电弧必须稳定燃烧，焊接才能顺利进行。要使电弧稳定燃烧，在焊接时就要遵循焊接电弧的要求，否则焊接就难以进行。

一、焊接电弧的特点

(1) 引弧电压（即空载电压）较高，一般大于 60V，而电弧一旦引燃后，维持电弧的电压较低，一般为 10~30V。焊机空载电压越高越有利于引弧。

(2) 流过电弧的电流变化范围很大，可从几安到几千安。

(3) 电弧具有很高的温度，弧柱的温度可达 5000~30000K，某些情况下可高达 50000K 以上。

由于电弧具有以上特点，在用电弧熔化焊接金属时，必须采取一些安全防护措施，防止对操作人员的身体造成伤害。

二、电弧的静特性

电流流过电弧，电弧才能燃烧，电弧燃烧时，流过电弧的电流与电弧上的电压有一定关系。这种关系在不同的焊接方法中是不同的，它是选择焊接设备（焊机）的一个主要依据。在电极材料、气体介质和弧长一定的情况下，电弧稳定燃烧时，焊接电流与电弧电压变化的这种关系称为电弧的静特性，也称为伏-安特性。从图 1-2 可以看

到, 电弧静特性曲线近似呈“U”形, 且整个电弧的静特性可分为三个部分: 下降特性段 ab , 此时随电流的增加, 电弧电压急速下降; 水平特性段 bc , 此时随电流增加, 电弧电压基本保持不变; 上升特性段 cd , 此时随着电流增加, 电弧电压也随之上升。不同的焊接方法, 其电弧静特性只是曲线的某一部分。

1. 手工电弧焊

手工电弧焊时, 由于使用电流受到限制, 静特性一般在水平特性段。

2. 埋弧自动焊

在正常电流下焊接, 静特性为水平特性段; 采用大电流焊接, 静特性在上升特性段。

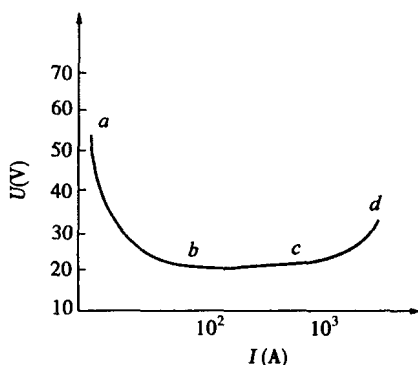


图 1-2 焊接电弧的静特性曲线

3. 钨极氩弧焊

在小电流区间焊接时, 静特性在下降特性段; 在大电流区间焊接时, 静特性在水平特性段。

4. 熔化极气体保护焊

由于使用的电流密度较大, 静特性在上升特性段。

焊接时, 电弧的静特性受很多因素影响, 气体种类和气体压力都会对电弧静特性产生影响。影响最大的是电弧长度, 当弧长增加时, 电弧电压增高, 静特性曲线随之上移; 反之当弧长缩短时, 静特性曲线就下移。弧长的变化实际上是焊条、焊丝等与工件距离的变化。弧长的变化使静特性位置变化的结果是改变了电弧电压和焊接电流, 使焊接参数变化了, 这将影响焊接质量。因此, 焊接时保持弧长不变或基本不变是非常重要的。

三、焊接电弧的稳定性

焊接电弧的稳定与否, 对焊接操作和焊接质量都有很大影响。焊接电弧的稳定性是指焊接电弧能连续燃烧, 在电弧燃烧过程中, 电流

和电压变化很小。主要有下列因素影响焊接电弧稳定性：

(1) 焊接电源的外特性与电弧的静特性的配合状态 工作在不同电弧静特性曲线特性段，就应选择不同的焊接电源外特性。

(2) 焊接电源种类 交流电源由于存在过零点的问题，所以交流电源的电弧稳定性就不如直流电源。

(3) 焊条种类 碱性焊条的电弧稳定性就不如酸性焊条。

(4) 焊工操作技术的熟练程度。

此外，焊接电流大小、电弧长度和电弧偏吹都会影响电弧的稳定性。

第三节 焊接材料的熔化与熔滴的过渡

在电弧的作用下，焊条、焊丝等焊接材料要熔化并向母材上的熔池过渡。提高焊接速度能提高生产率，而提高焊接速度就是要提高熔化速度。熔化速度主要是由焊接电流决定的。但采用适当的熔滴过渡形式和改变焊条、焊丝的受热状态，可在一定程度上提高熔化速度。同时熔滴过渡的形式与焊缝的外观有直接关系。

一、焊条、焊丝的加热及熔化

电弧一旦引燃，焊条或焊丝就会被加热和熔化。采用电弧焊时，用于加热和熔化焊条、焊丝的热能有：电阻热、电弧热和化学反应产生的热。在一般情况下化学反应产生的热仅占 1% ~ 3%，常忽略不计。

1. 电阻加热

焊接电流通过焊条、焊丝时将产生电阻热，使焊条、焊丝的温度升高。适当的电阻热有预热焊条、焊丝的作用。电阻热过大将引起许多不良后果，如增加飞溅，药皮开裂或脱落丧失冶金作用，焊缝成形变坏，甚至产生气孔等缺陷。电阻热主要取决于电流密度和焊条、焊丝的夹持长度。电流密度越大，夹持长度越长，电阻热越显著。手工电弧焊时，由于焊条夹持长度很长，电阻热相当显著，限制了使用大电流焊接，焊接电流最好不超过所推荐的数值。

气体保护焊和埋弧焊使用焊丝，焊丝夹持长度短，再配合适当的送丝速度，就可使用比手工电弧焊大许多的焊接电流密度来大幅度提高焊接生产率。

2. 电弧加热

电阻热对焊条、焊丝的熔化起辅助作用，真正使焊条、焊丝熔化的是电弧热。一般说来，电弧温度越高说明热能越集中，越有利于减少焊件的变形。

二、焊条、焊丝向熔池的过渡

在焊条、焊丝端部熔化所形成的熔化金属称为“熔滴”。熔滴长大到一定尺寸就要脱离焊条、焊丝端部奔向熔池，这种现象称为熔滴过渡。

熔滴过渡在焊接过程中能直接影响焊接电弧的稳定性、飞溅的大小、焊缝成形的优劣和产生焊接缺陷的可能性。为保证焊接质量和焊接顺利进行，不同的焊接方法常采用不同的熔滴过渡形式。

根据熔滴过渡的特征有以下三种熔滴过渡形式：

(1) 短路过渡 在短弧焊时，熔滴长大受到电弧空间的限制，熔滴还没有长大到它的最大尺寸就与熔池发生接触，形成短路。短路后，熔滴在表面张力和其他力的作用下，开始沿着熔池表面流散，并使熔滴迅速形成细颈，称之为金属小桥。由于金属小桥中的电流密度急剧上升，熔滴被强烈过热爆炸而脱离端部，过渡到熔池之中。然后电弧又重新点燃，开始下一个周期过渡，如图 1-3 所示。

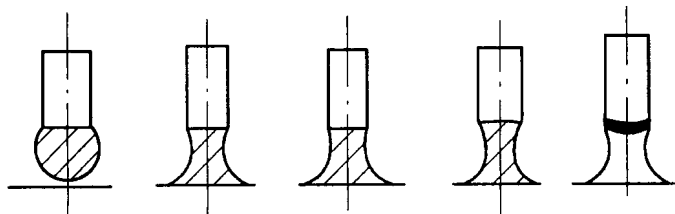


图 1-3 短路过渡示意图

短路过渡是 CO_2 气体保护焊所采用的最典型过渡形式，在工艺上具有如下特点：

①对焊件的熔透能力弱，熔池体积小，而且冷凝快，特别适合焊接薄板。

②使用细焊丝，焊接电流密度高，焊接速度快，焊接过程对焊件加热集中，热输入小，可减少焊接接头热影响区范围和焊件变形。

③短路过渡因靠金属小桥爆炸来实现，焊接过程中飞溅较严重。

(2) 颗粒状过渡 当电弧长度超过某一长度时，熔滴在焊条或焊丝端部长大到最大尺寸才脱离焊条、部分落入熔池，不发生电弧的熄灭，如图 1-4 所示。

颗粒过渡是手工电弧焊和埋弧焊所采用的过渡形式，在工艺上有如下特点：

①颗粒的大小受焊接电流和焊条药皮类型影响较大，增大焊接电流可使颗粒细化，碱性药皮一般是粗颗粒过渡，酸性药皮一般是细颗粒过渡。细颗粒过渡比粗颗粒过渡的焊缝外观要好。

②电弧熔透能力较强，适合中厚板的焊接。

(3) 喷射过渡 熔化极气体保护焊时，如果焊接过程中电弧间隙较大，当焊接电流增加到某一定值后，熔滴过渡的特性发生突变，从滴状过渡变为喷射过渡。喷射过渡的熔滴尺寸很小，过渡颗粒频率（即每秒过渡的熔滴数目）很高，如图 1-5 所示。

喷射过渡是熔化极氩弧焊、富氦混合气体保护焊等所采用的过渡

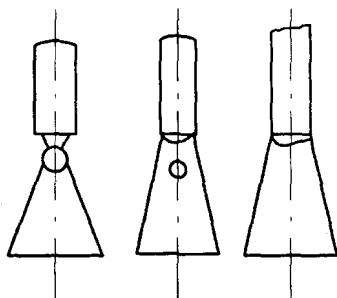


图 1-4 颗粒过渡示意图

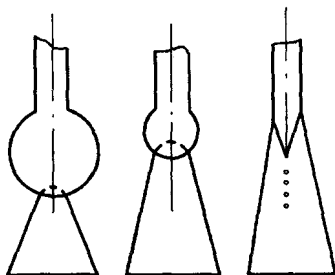


图 1-5 喷射过渡示意图

形式，在工艺上有如下特点：

- ①电弧稳定，对保护气体的扰动较小，可获得良好的保护效果。
- ②焊接过程稳定，飞溅很小，焊缝成形良好。
- ③电弧功率大，热流集中，对焊件的熔透能力强。

第四节 焊缝和接头的形成与性能

熔池金属凝固形成焊缝，焊缝及其两侧在焊接过程中有性能变化与并未熔化的母材金属一起形成焊接接头。焊接接头的性能直接决定了焊接质量。焊接应采取各种措施来保证焊接接头的性能达到技术要求。

一、焊接熔池

电弧焊时，在焊条或焊丝熔化的同时，被焊金属（母材）也在发生局部的熔化。母材上由熔化的焊条或焊丝与母材金属所组成的具有一定几何形态的液体物质称为焊接熔池。用非熔化极进行焊接时（无焊条、焊丝等填充），则熔池仅由熔化的母材组成。

电弧焊时，熔池很像一个不标准的半椭球。熔池的大小对焊缝性能和外观成形都有影响。一般来说，熔池越小，焊缝就越小，焊缝性能也越好。焊接时，适当提高焊接速度和降低焊接电流，则熔池尺寸减小。

二、焊缝和焊接接头的形成

焊接熔池凝固后就形成了焊缝，焊缝形成后就把两块分离的材料联结成了一个整体。两块材料被焊缝联结的地方称为焊接接头。焊接接头是由焊缝、熔合区和热影响区组成的，如图1-6所示。

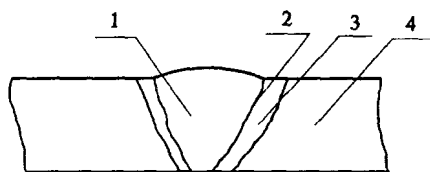


图 1-6 焊接接头组成示意图

1—焊缝 2—熔合区 3—热影响区 4—母材

由于焊接接头是在高温热源作用下，局部加热后形成的，使其具有如下特点：

①焊缝金属是由焊条或焊丝等填充材料与部分母材熔融凝固形成的铸造组织，组织和成分都和母材有差异。母材上焊缝附近的组织和性能都有改变。

②焊接接头中存在较高的残余应力，且应力分布不均匀。

③焊接接头是一种不可拆卸的连接形式，刚性很大，对裂纹很敏感。焊接构件的破坏多是从焊接接头中的裂纹开始的。

三、焊缝的组织 and 性能

焊缝作为焊接接头的一部分，其性能对焊接接头的性能影响很大。在给定化学成分的情况下，焊缝的性能主要决定于焊缝组织。

1. 焊缝金属的一次结晶组织及对性能的影响

焊接熔池由液态凝固后所得到的组织称为一次结晶组织。

(1) 焊缝金属的一次结晶形态 焊缝金属的一次结晶形态是由熔池液态金属的成分过冷决定的。熔池中成分过冷的分布，在熔池不同部位是不同的，使得焊缝一次结晶具有多种形态。在熔池边缘，成分过冷接近于零，平面晶得到发展。随着远离熔池边界，晶体向熔池中心长大，成分过冷随之增大；结晶形态将由平面晶向胞状晶，胞状树枝晶，一直到等轴晶发展。

实际焊接中，由于化学成分、板厚和接头形式等的不同，不一定具有上述全部结晶形态。总的说来，焊缝金属的一次结晶组织形态是从熔池边界开始成长起来的柱状结晶，一直长大到熔池中心两边同时生长的柱状结晶相碰为止。熔池结晶后的一次结晶形态如图 1-7 所示。

(2) 一次结晶形态对焊缝性能的影响 焊缝的一次结晶形态对性能的影响很明显，一般来说，粗大的柱状结晶不但降低焊

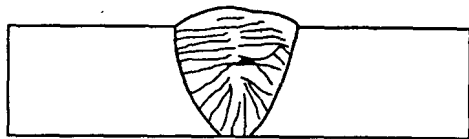


图 1-7 熔池结晶后的结晶形态