

金属焊接工艺学

陈东海 朱福顺 冯文华

焦作矿业学院

一九九二年九月

前 言

随着现代科学技术的飞速发展，国民经济各部门迫切需要尽可能多的具有现代科学知识的全面型技术人才。为使机械类非焊接专业的培养目标能适应社会主义建设客观实际的需求，使机械类专业的学生不仅掌握机械加工专业知识，而且掌握与此相关的各种其他知识，其中包括金属热加工方面的知识和技能。焊接工艺即是金属热加工工艺的一种。同时，这也与国家教委要求高等院校应拓宽培养人才的专业面完全符合。

多年来，由于历史的原因，各院校专业越办越多，而专业又越分越细，使学生在校所学的知识面越来越窄，严重影响了毕业生在社会生产实践中的适应性。《金属焊接工艺学》课程的开设，相信对机械类专业的学生会有所裨益。

本书内容包括常用焊接方法、焊条焊剂、焊接热影响区的组织性能、碳素钢和合金钢的焊接、有色金属的焊接、铸铁焊补、异种金属的焊接等焊接工艺及焊接材料、焊接性分析，力求反映近年来国内外关于熔化焊方面的最新研究成就和生产经验，注重实用性。

本书可作为各工科院校机械类非焊接专业的试用教材，也可供从事机械设计、制造及焊接工程技术人员参考。

由于水平有限，加以时间比较紧迫，书中的缺点和错误在所难免，欢迎读者批评指正。

——编者

1992年10月

目 录

绪论.....	1
一、焊接技术的发展现状.....	1
二、焊接过程的物理本质.....	1
三、焊接过程的分析.....	3
第一章 常用焊接方法.....	5
§ 1—1 熔化焊.....	6
一、气 焊.....	6
二、电弧焊.....	6
§ 1—2 压力焊.....	10
一、对 焊.....	10
二、点 焊.....	12
三、缝 焊.....	12
§ 1—3 钎 焊.....	13
第二章 焊接规范的选择.....	14
§ 2—1 焊接温度场.....	14
§ 2—2 电弧对金属的加热.....	15
一、电弧焊对电弧热能的利用.....	15
二、焊接线能量 E	16
§ 2—3 焊接规范的选择.....	16
一、手弧焊时焊接规范的选择.....	16
二、埋弧自动焊焊接规范的选择.....	17
§ 2—4 焊接规范对焊缝形状的影响.....	19
一、焊缝形状的一般概念.....	19
二、焊接规范对焊缝形状的影响.....	20
§ 2—5 焊接接头形式及坡口尺寸.....	21
一、手弧焊焊接接头形式及坡口尺寸.....	21
二、埋弧自动焊接头形式及坡口尺寸.....	23
第三章 焊条和焊剂.....	24
§ 3—1 焊 条.....	24
一、焊条的分类及其组成.....	24
二、焊条的工艺性能.....	25
三、焊条的冶金性能.....	30

§ 3—2 焊 剂.....	3 1
一、焊剂的组成及分类.....	3 1
二、焊剂的性能及用途.....	3 3
附录一 焊条牌号编制方法.....	3 5
附录二 焊剂牌号编制方法.....	3 9
第四章 焊接应力及变形.....	5 1
§ 4—1 焊接应力及变形的分类.....	5 1
一、产生焊接应力及变形的一般原因.....	5 1
二、焊接变形的分类.....	5 2
三、焊接应力的分类.....	5 3
§ 4—2 焊接应力及变形.....	5 4
一、纵向焊接应力及变形.....	5 4
二、横向焊接应力及变形.....	5 7
三、弯曲变形.....	5 8
四、角变形、波浪变形及扭曲变形.....	6 0
§ 4—3 影响焊接变形的因素.....	6 2
§ 4—4 减少和防止焊接变形的措施.....	6 3
一、设计措施.....	6 3
二、工艺措施.....	6 4
§ 4—5 焊接残余应力的调整及消除.....	6 6
一、调节残余应力的措施.....	6 6
二、焊后消除内应力的方法.....	6 6
第五章 碳素钢的焊接.....	6 8
§ 5—1 低碳钢的焊接.....	6 8
一、低碳钢的特点.....	6 8
二、低碳钢的焊接.....	6 8
§ 5—2 中碳钢的焊接.....	7 2
一、中碳钢的焊接特点.....	7 2
二、中碳钢的焊接方法.....	7 2
§ 5—3 高碳钢的焊接.....	7 3
一、高碳钢的焊接特点.....	7 3
二、高碳钢的焊接方法.....	7 4
第六章 合金结构钢的焊接.....	7 5
§ 6—1 合金结构钢的分类.....	7 5
一、强度用钢.....	7 5
二、特殊用钢.....	7 5

§ 6—2 高强钢的焊接	77
一、高强钢的可焊性	77
二、高强钢的焊接工艺特点	79
§ 6—3 珠光体耐热钢的焊接	93
一、珠光体耐热钢的特性	93
二、珠光体耐热钢的焊接	95
第七章 有色金属的焊接	101
§ 7—1 铝及其合金的焊接	101
一、铝及其合金的种类和性质	101
二、铝及其合金可焊性分析	102
三、铝及其合金的焊接工艺	105
§ 7—2 铜及铜合金的焊接	115
一、铜及铜合金的分类	115
二、铜及铜合金可焊性分析	115
三、紫铜的焊接工艺	116
四、黄铜的焊接工艺	119
五、青铜的焊接工艺	122
第八章 铸铁焊接	124
§ 8—1 铸铁可焊性的分析	124
一、焊补铸铁时经常遇到的困难	124
二、焊补铸铁时产生白口的原因和防止方法	124
三、焊补铸铁时产生裂纹的原因及预防措施	125
§ 8—2 灰口铸铁的焊接	125
一、同质(铸铁型)焊缝的熔化焊	126
二、异质(非铸铁型)焊缝的电弧冷焊	134
三、钎焊	146
§ 8—3 球墨铸铁的焊接	147
一、同质(铸铁型)焊缝的熔化焊	147
二、异质(非铸铁型)焊缝的电弧冷焊	148
第九章 异种金属的焊接	150
§ 9—1 珠光体钢与奥氏体钢的焊接	150
一、可焊性分析	150
二、焊接工艺	156
三、不锈钢复合钢板焊接工艺特点	159
§ 9—2 钢与铜及其合金的焊接	160
一、可焊性分析	160
二、焊接工艺要点	162

绪 论

焊接是一种重要的金属加工工艺。随着科学技术的不断发展，它已发展成为一门独立的学科，并且广泛应用于航空、航天、化工、原子能、造船、海洋工程、电子技术、建筑、交通运输、电力、机械制造等工业部门，可以预料，在实现“四个”现代化的过程中，它将占有重要的地位。

一、焊接技术的发展现状

焊接技术是十九世纪末叶二十世纪初发展起来的。由于它具有一系列技术和经济上优越性，所以焊接技术发展很快，现在已有几十种焊接方法。六十年代以后，随着工业的飞速发展，焊接新能源的开发和焊接新工艺的应用达到了一个新的水平。除手工电弧焊以外，生产率较高的埋弧自动焊，电渣焊，高效气体保护焊，电子束焊接，激光焊接，以及等离子切割和焊接等日益广泛地应用到各个工业部门。此外，近来正在研究离子束焊接和光束焊接，其中包括太阳能焊接。

在焊接技术机械化和自动化方面也有很大的发展。在世界各工业先进国家已有许多程序控制的自动焊接生产线，有些工业生产部门，如汽车制造业，水下工程和核电站修复等已采用计算机控制的焊接机器人或遥控全位置焊接设备。

从应用方面看，采用焊接技术制造了各种现代化的大型高质量的设备，如各种复杂，大型结构，数十万吨的巨型油轮，10万立方米的大型储罐，异种金属，金属和非金属的电子元件，超音速歼击机，原子能发电设备，高压设备，火箭，宇宙飞船等宇航设备。

由于许多设备日益向着高参数（如高温、高压）、大容量、长寿命、大型化的方向发展。因而不断提出具有特殊性能材料的焊接问题，如高强钢，超高强钢，不锈钢，耐热钢，耐腐蚀钢，铝合金，钛合金，耐热合金，各种活性金属，难熔金属，异种金属以及金属与非金属的焊接。这对焊接提出了更高的要求，促使焊接工艺方法，焊接设备、焊接材料、焊接基础理论和研究方法以及焊接技术人员的培训等都有很大的发展。

二、焊接过程的物理本质

认识焊接过程的物理本质对于提高焊接质量、发展焊接技术具有十分重要的意义。

从微观上讲，我们可以给焊接下如下的定义：

两种或两种以上的材料（同种或异种）通过原子或分子之间的结合和扩散造成永久性联接的工艺过程叫作焊接。

由此可知，焊接与其他的联接方法不同。通过焊接被联接在一起的材料不仅在宏观上建立了永久性的联系，而且在微观上建立了组织之间的内在联系。

大家都知道，固体是依靠键合力结合在一起的。就金属而言是依靠金属键的结合力而结合在一起的。图1是一个双原子模型，两个原子之间的结合力决定于二者之间引力和斥力共同作用的结果。由图1我们可以看出，当原子之间的距离为 r_A 时，结合力为最大，对于大多数金属 $r_A = (3 \sim 5) \times 10^{-8} \text{ cm}$ （即 $3 \sim 5 \text{ \AA}$ ）。当原子之间的距离

大于或小于 r_A 时，结合力都要显著减小。

那么，怎样才能实现焊接过程呢？

从理论上讲，将被联接的固体金属表面接近到 $3 \sim 5 \text{ \AA}$ ，就能在接触表面上进行扩散，再结晶等物理化学过程，从而形成金属键，达到焊接的目的。但是，实际上即使经过精加工的金属表面，也是凹凸不平的，同时金属表面还常常具有氧化膜、水分和油污的吸附层，这些都阻碍金属表面的紧密接触。

为了克服阻碍金属紧密接触的各种因素，在焊接工艺中可以采用两种措施：

第一是对被焊金属施加压力，目的是破坏联接处的氧化膜，使联接处发生局部塑性变形，增加有效接触面积，从而达到紧密的接触。

第二是加热被焊金属的联接处，达到塑性状态或熔化状态，目的是加快接触面上氧化膜的破坏，降低金属变形的抗力，增加原子的能量，促进再结晶、扩散、化学反应、结晶过程的发展。

每一种金属实现焊接所必须的最低温度和压力之间都存在着一定关系。一般而言，金属加热温度越低，实现焊接所需的压力就越大。当加热温度等于（或大于）被焊金属熔化温度时，实现焊接所需的压力为零，这就是熔化焊的情况。

综上所述，尽管实现焊接途径很多，然而就其实质而言，都是在联接处母材和焊缝金属形成了共同晶粒（图 2 a）。

这里应当指出钎焊与焊接不同。钎焊时在联接处不能形成共同晶粒，只是在焊料与母材之间形成粘合（图 2 b）。

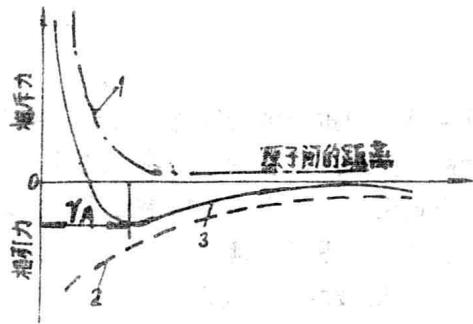


图 1 双原子之间的相互作用力与距离的关系

1—相斥力 2—引力 3—合力

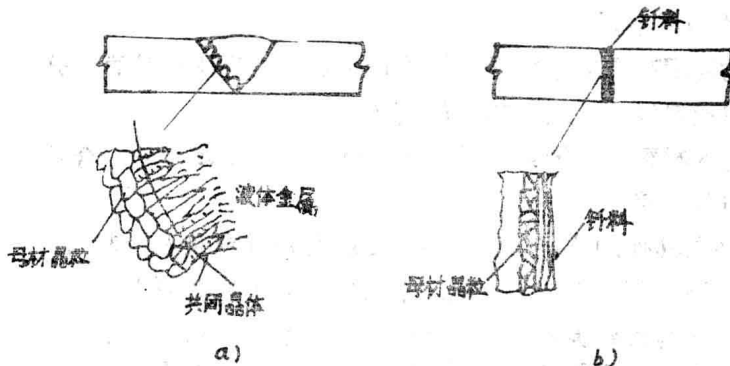


图 2 焊接与钎焊的区别

a) 焊接 b) 钎焊

三、焊接过程的分析

如上所述，实现焊接必须从外界提供足够的能量（热能或机械能）。由于焊接时所采用的能源和方式不同，所以各种焊接方法所经历的过程也有很大差别。对于钢铁材料的熔化焊来讲，一般都要经历下列几个过程：

加热—熔化—冶金反应—结晶—固态相变—形成接头。

图3显示出这些局部过程之间的相互联系和所处的条件，由图可见熔化焊时所经历的过程是很复杂的。为了便于分析，可归纳为三个相互交错进行而彼此联系着的局部过程。

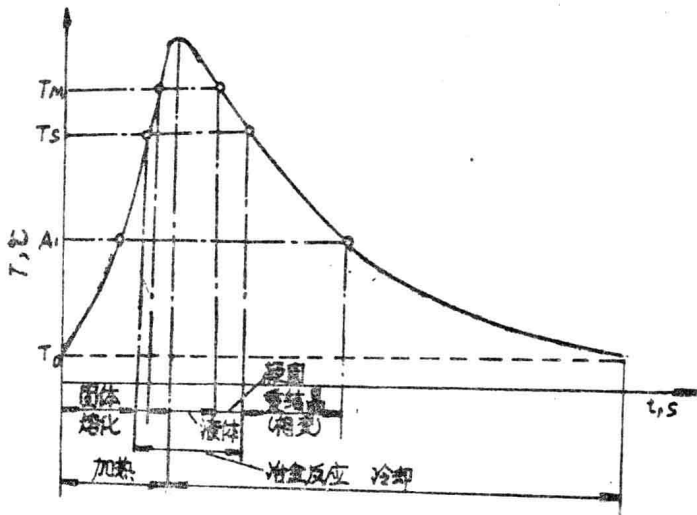


图3 焊接过程示意图

T_M — 金属熔化温度（液相线） T_S — 金属凝固温度（固相线）
 A_1 — 钢的 A_1 变态点 T_0 — 初始温度

1、焊接热过程

熔化焊时，被焊金属在热源的作用下将发生加热和局部熔化的过程。因此，在被焊金属（焊接母材）中必然存在着热量的传播和分布问题，通常称之为焊接热过程。

焊接热过程贯穿整个焊接过程始末，因此，可以说，一切焊接物理、化学过程都是在热过程中发生和发展的。例如，焊接温度场决定了焊接应变场和应力场，它还与冶金、结晶、相变过程有着不可分割的联系，使其成为影响焊接质量和生产率的主要因素之一。

2、焊接化学冶金过程

熔化焊时，在熔化金属、熔渣、气相之间进行着一系列化学冶金反应，例如金属的氧化、还原、脱磷、脱硫、焊缝金属掺合金、氮化与氢的作用等等。这些化学冶金反应直接影响焊缝金属的成分、组织和性能。因此，焊接时控制冶金过程是提高焊接质量的重要措施之一。

3、焊接时金属的结晶和相变过程

焊接时，随着热源的离开，熔化金属就开始结晶，金属原子由近程有序排列转变为远程有序排列，即由液态变为固态。对于那些具有同质异构转变的金属，随着温度的下降，将要发生固态相变。譬如，碳钢将发生 $\delta \rightarrow \gamma \rightarrow \alpha$ 转变。由于在焊接条件下金属是快速连续冷却，所以使焊缝金属的结晶和相变都具有各自的特点，并有可能在这些过程产生如偏析、气孔、夹杂、热裂纹、脆化、淬硬、冷裂纹等缺陷。因此，焊接过程中控制和调整焊缝金属的结晶和相变过程是保证焊接质量的又一关键。

此外，接近焊缝两侧的被焊金属也受到焊接的热作用，如图4上的2、3点。通常把这个区域称为热影响区，在这个区域内各点的最高温度都不超过母材的熔点。显然，在热影响区内各点所经受的温度不同，因而它们所发生的组织变化也不同，且在某些情况下有可能产生焊接缺陷或使性能变差。所以，焊接时除了必须保证焊缝金属的性能以外，还必须保证热影响区的性能。

总之，研究上述焊接各种过程的基本理论问题都是围绕一个目的，即提高焊接质量和生产率。



图4 焊接接头示意图

- 1—焊缝 2—熔合区 3—热影响区
4—母材

第一章 常用焊接方法

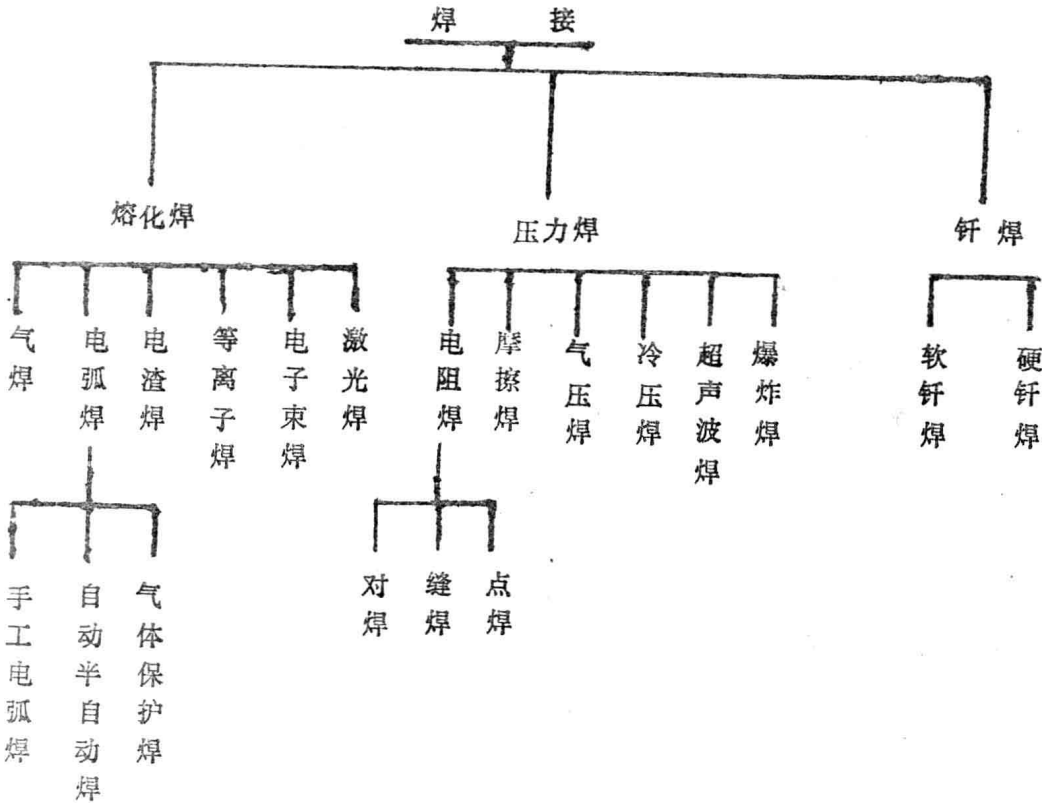
近代工业中应用的焊接方法很多，按焊接过程的特点分为三大类。

1、熔化焊 将两工件的结合处加热到熔化状态（一般常加入填充金属），并形成共同的熔池，冷却结晶后，形成牢固的接头。

2、压力焊 这类焊接方法的共同特点是，利用加压力（或同时加热）的方法，使两工件接合面紧密接触在一起，并产生一定的塑性变形，使它们的原子组成新的结晶。

3、钎焊 是采用比母材熔点低的金属材料作钎料，将焊件和钎料加热到高于钎料的熔点，低于母材熔点的温度，利用液态钎料润湿母材，填充接头间隙与被焊接金属相互扩散实现联接的方法。

常用的焊接方法：



焊接的方法达数十种之多，我们仅将最常用的焊接方法及其焊接特点和应用，分别介绍如下。

§ 1—1 熔化焊

一、气焊

气焊是利用气体火焰来熔化母材和填充金属的一种焊接方法，如图 1—1 所示。

气焊通常使用的气体是乙炔和氧气，其火焰叫氧乙炔焰。乙炔在纯氧中燃烧，其温度可达 3150°C 左右，热量也比较集中，可以用来焊接。

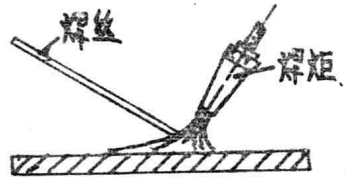


图 1—1 气焊示意图

气焊的焊丝只作为填充金属，同熔化的母材一起形成焊缝。它的成分与母材基本相同。

气焊铸铁、不锈钢、铝、铜等金属材料，还需要用焊剂，用以除去氧化物，增加液态金属流动性，并起一定的保护作用，防止有害气体侵入。

气焊不锈钢和耐热钢用的焊剂的牌号是“气剂 101”，气焊铸铁常用“气剂 201”，气焊铜及铜合金用“气剂 301”，气焊铝及铝合金常用“气剂 401”。低碳钢气焊时不用焊剂。

气焊同手工电弧焊相比较，火焰温度比电弧低，火焰热量也比电弧热量分散。因此，

气焊加热较为缓慢，生产率低，焊接变形严重。火焰还会氧化液态金属，其保护效果较差，而且一般没有冶金处理作用，因此，气焊焊接质量较差。但火焰加热容易控制熔池温度，达到均匀焊透，做到单面焊双面成形。此外，气焊不需要电源，对室外维修工作也有一定方便之处。因此，气焊一般应用于 3mm 以下的低碳钢薄板、铸铁和管子的焊接。铝和铜的焊接，在质量要求不高时，也可用气焊。

二、电弧焊

电弧焊的热源是电弧。大家知道，电弧能放出强烈的光和大量的热。电弧焊接就是利用它的热能来熔化焊条（焊丝）和母材的。电弧实质上是在一定条件下，在两电极之间气体中的电子发射和气体电离现象，或者说是一种气体放电现象。借助这种特殊的气体放电过程，使电能转换为热能进行焊接，见图 1—2。

电弧弧柱温度可达 6000K 左右，比气体火焰温度高，而且热量集中，因此，焊接生产率和质量较高。

(一) 手工电弧焊

手工电弧焊，简称手弧焊。它是利用焊条和工件之间产生的电弧来熔化焊条和工件的一种手工操作的焊接方法。

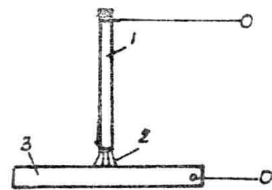


图 1—2 手工电弧焊

1—焊条 2—电弧
3—工件

行焊接。因此，目前它是焊接生产中使用最广泛的一种焊接方法。但是，由于采用手工操作，故生产率低，劳动强度大。因此，随着新的自动化焊接方法的不断出现，手工电弧焊将被部分取代。但目前它在焊接生产中仍占有很重要的地位。

(二) 埋弧自动焊

埋弧自动焊又叫焊剂层下自动焊。埋弧自动焊时，引燃电弧、送丝，电弧沿焊接方向移动及焊缝收尾等过程完全由机械来完成，图1—3所示。

焊接过程中，在工件被焊处覆盖着一层30~50毫米厚的粒状焊剂，连续送进的焊丝在焊剂层下与工件间产生电弧，电弧热量使焊剂、焊丝和工件熔化，形成金属熔池和熔渣。液态熔渣构成的弹性膜包围着电弧与熔池，使它们与空气隔绝。随着焊机自动向前移动，电弧不断熔化前方的工件金属、焊丝及焊剂。而熔池后方的边缘开始冷却凝固形成焊缝，液态熔渣随后也凝固形成渣壳。

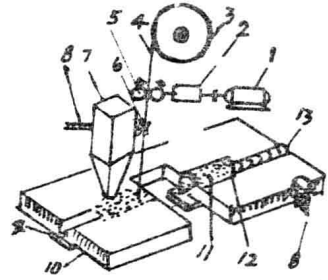


图1—3 埋弧自动焊焊接过程

- | | |
|---------|--------|
| 1—送丝马达 | 2—变速箱 |
| 3—焊丝盘 | 4—焊丝 |
| 5—送丝轮 | 6—电阻 |
| 7—焊剂斗 | 8—电缆 |
| 9—垫板 | 10—焊件 |
| 11—未熔焊剂 | 12—熔渣层 |
| 13—焊缝 | |

埋弧自动焊主要有如下优点：

1、生产率高 埋弧焊时，焊丝从导电嘴伸出的长度较短，因而可以使用较大的焊接电流，电流密度可大大提高，使埋弧自动焊在单位电流、单位时间内焊丝的熔化量（熔化系数）可达〔14~18克/（安·时）〕（手工电弧焊一般为〔3~12克/（安·时）〕），使焊接熔池深度增加，因而较厚的焊件不开坡口也能焊透。另外，电弧热量集中，并且利用率较高，所以焊接生产率显著提高。

2、焊缝质量高 埋弧焊时，由于焊剂对电弧空间有可靠的保护，防止了空气的侵害；同时由于焊接过程较为稳定，所以焊缝的化学成分和性能比较均匀，焊缝表面也较光洁平直；因为熔池深度较大，不易产生未焊透的缺陷，同时也消除了手工电弧焊中，因更换焊条而容易引起的一些缺陷。

3、节省焊接材料和电能 由于焊接线能量（ $E = U \cdot I / V_H$ ）较大，焊接时可不开或少开坡口，减少了焊缝中焊丝的填充量，这样即节约了焊丝和电能，又节省了由于坡口加工而消耗掉的金属；同时，由于焊剂的保护，金属的烧损和飞溅明显减少，完全消除了手工电弧焊中焊条头的损失等。

4、焊件变形小 埋弧焊的热源集中，焊接速度快，则焊缝热影响区较小，焊件的变形也就小。

5、改善了劳动条件 由于采用了机械化，使焊工的劳动强度大为降低；又因是埋弧焊接（即电弧在焊剂层下燃烧），故消除了弧光对焊工的有害作用及省去面罩，便于

操作；同时埋弧焊所放出的有害气体也较少。

埋弧焊也是电弧焊中一种常用的工艺方法。适于批量较大，较厚较长的直线或较大直径的焊件焊接。广泛应用于锅炉、化工容器、造船、机车车辆、起重机等金属结构的制造。

但是这种方法也有不足之处，如不及手工电弧焊灵活。一般只适合于水平位置或倾斜度不大的焊缝；工件边缘准备和装配质量要求较高，费工时；由于是埋弧操作，看不到熔池和焊缝形成过程，因此，必须严格控制焊接规范。

(三) 氩弧焊

氩弧焊是利用氩气作为保护介质的一种电弧焊方法。大家知道，氩气是一种惰性气体，它既不与金属起化学反应使被焊金属（母材）氧化或合金元素烧损，亦不溶解于金属液体，引起气孔，因而氩气的保护是很可靠的，可获得高质量的焊缝。

氩弧焊时，由于氩气的电离势较高，故引弧较困难，因而常借用高频振荡器产生高压电来引弧。但氩气的散热性能较差，因而一旦电弧引燃后，就能够较稳定地燃烧。

氩弧焊按所用的电极不同分为两种；非熔化极氩弧焊和熔化极氩弧焊。

1、非熔化极氩弧焊

非熔化极氩弧焊时，电极只起发射电子、产生电弧的作用，电极本身不熔化，常采用熔点较高的钨棒或铈钨棒作为电极，因而又叫钨极氩弧焊。焊接过程可以用手工进行，也可以自动进行。其过程如图 1—4 所示。焊接时，在钨极和工件之间产生电弧，填充金属从一侧送入（和气焊时一样），在电弧热的作用下，填充金属与工件熔融在一起，而形成焊缝。为了防止电极的烧损和熔化，焊接电流不能过大，所以，钨极氩弧焊通常适用于焊接 4 毫米以下的薄板。

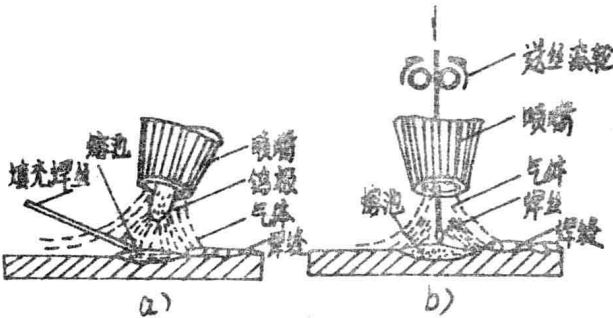


图 1—4 氩弧焊示意图

a) 钨极氩弧焊 b) 熔化极氩弧焊

由于氩弧焊正极发热量及温度高于负极，为了避免钨棒过快耗损，因而，钨极氩弧焊通常采用直流正接（如焊接低合金钢，耐热钢，不锈钢和钛合金等）。但若用钨极氩弧焊焊接铝、镁及其合金时，则需采用交流电（或直流反接），这是因为当工件处于负

极半周内，质量较大的氩正离子猛烈轰击熔池及焊接表面，能清除金属表面氧化膜，这就是所谓“阴极破碎”作用。由于这一作用，用交流电的钨极氩弧焊焊接铝、镁及其合金，无需采用焊剂，即可获得优质的焊缝。

2、熔化极氩弧焊

熔化极氩弧焊是利用金属焊丝作为电极，电弧在焊丝和工件之间产生，焊丝不断送进，并熔化过渡到焊缝中去。因而熔化极氩弧焊所采用的焊接电流可以大大提高，通常是采用直流反接法，适合中、厚板的焊接。焊接过程采用自动或半自动方式。

熔化极氩弧焊时的金属熔滴过渡，主要采用喷射过渡的型式。喷射过渡的特点是在焊接电压较高，焊接电流超过某临界值时，熔滴呈雾状的细滴沿焊丝轴向高速射入熔池。喷射过渡时不发生短路现象，电弧燃烧非常稳定，飞溅现象消失，焊缝成形较好，熔透深度增加，所以熔化极氩弧焊主要用来焊接厚度为3毫米以上的金属。

由于氩气为惰性气体，对焊缝的保护效果较好；但氩气稀缺，焊接成本高，故目前氩弧焊主要用于焊接易氧化的有色金属（如铝、镁及其合金）、稀有金属（如钛、钼及其合金）、高强度合金钢及一些特殊用途的高合金钢（如耐热钢、不锈钢等）。

(四) 二氧化碳气体保护焊

二氧化碳气体保护焊以二氧化碳气体作为保护介质的电弧焊方法。它是用焊丝做电极，以自动或半自动方式进行焊接。目前应用较多的是半自动二氧化碳气体保护焊，如图1—5所示。

CO₂ 气体保护焊按所采用的焊丝直径不同，可分为两大类：一类是细丝二氧化碳气体保护焊，焊丝直径为0.5~1.2毫米，主要用于焊接0.8~4毫米的薄板；另一类是粗丝CO₂ 气体保护焊，焊丝直径为1.6~5毫米，主要用来焊接3~25毫米的厚板。

利用二氧化碳作为保护气体，虽然可使焊接区域与周围空气隔离，防止空气中的氮对焊缝的有害作用，但是由于CO₂ 是一种氧化性气体，在焊接过程中会使焊缝金属氧化，且使合金元素烧损，从而使焊缝机械性能大为降低；此外，CO₂ 的氧化作用也是导致气孔和飞溅的一个重要原因。为了克服上述不良后果，须采用脱氧措施，即在焊丝中加入一定的脱氧剂，如锰、硅等。常用的焊丝牌号是H08MnSiA。

CO₂ 气体保护焊的另一个特点是熔滴呈非轴向过渡。因此飞溅较大，焊缝成形比较粗糙。为了解决这个问题，细丝CO₂ 气体保护焊通常采用短路过渡形式，也就是采用小电流，低电压，在焊接过程中周期地发生“电弧燃烧——形成熔滴”和“短路——

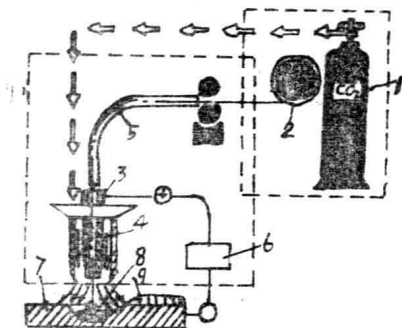


图1—5 CO₂ 气体保护焊

- 1—CO₂ 气瓶 2—焊丝盘
- 3—焊枪 4—导电咀 5—软管
- 6—电源 7—工件 8—熔池
- 9—焊缝

熔滴过渡”这两个阶段，短路频率较高，约每秒钟几十到几百次。为了适合于不同的焊丝直径，获得平稳的短路过渡，通常在焊接回路中串联可调节的电抗器，借以调节电源动特性。焊接电源常采用平特性焊接整流器，直流反接。

粗丝 CO_2 气体保护焊多采用细滴过渡型式。它与氩弧焊的喷射过渡不同，其熔滴较粗大，熔滴过渡频率较低，因而飞溅稍大。目前有些工厂已采用这种过渡型式。

二氧化碳气体保护焊的主要优点是：

1、生产率高 CO_2 气体保护焊可以采用较大的电流密度（高达200安/毫米²），焊丝熔化快，穿透力强，对10毫米左右的钢板可以不用开坡口。又不需打渣，辅助时间相应减少，易于实现机械化和自动化，因此生产率比手工电弧焊高1~5倍。

2、焊接质量高 由于电弧热量集中，加热面积小，以及 CO_2 气流的冷却作用，因而工件焊接变形小；焊缝含氢量少。同时，因为采用含锰焊丝，故抗裂性较高。

3、明弧操作 我们可以直接观察到焊接区，操作简便、灵活，易掌握。

4、细丝焊采用短路过渡型式，可以进行全位置焊接。

5、 CO_2 气体是许多工业部门的副产品，价廉易得。

CO_2 气体保护焊的主要缺点是：飞溅大，焊缝成形不够光滑；大电流焊接时弧光强烈，烟雾较大，需加强防护。此外， CO_2 气流保护作用易被风破坏，户外作业时要有防风措施。

CO_2 气体保护焊主要用于焊接低碳钢和低合金钢。我国近几年来，在汽车、造船、机车车辆、起重机械，各种罐体、油管、自行车制造等方面得到广泛的应用。 CO_2 气体保护焊是目前我国推广的一种焊接方法。

§ 1-2 压力焊

这一节我们仅介绍一下电阻焊（接触焊）。电阻焊是借助于强电流通过被焊工件的接触处所产生的电阻热，将该处金属迅速加热到塑性状态或熔化状态，并在一定压力下形成接头的焊接方法。

电阻焊按其接头型式可分成对焊、点焊和缝焊三种，如图1-6所示。

一、对焊

对焊是使两个被焊工件沿整个接触面连接的焊接方法图1-6C所示。根据焊接过程和操作方法的不同，对焊又可分成电阻对焊和闪光对焊两种。

（一）电阻对焊

焊接过程是：首先把两个被焊工件装在对焊机的两个电极夹具中对正、夹紧，并施加预压力使两被焊工件的端面互相挤紧（即要使工件端面紧密接触），然后接通电源。当强电流通过被焊工件和接触处时，利用接触电阻和工件电阻产生的热量（电阻热），使两被焊工件的接触部分迅速加热到塑性状态后，再切断电流，增加压力，接触处将产生一定的塑性变形而形成焊接接头。

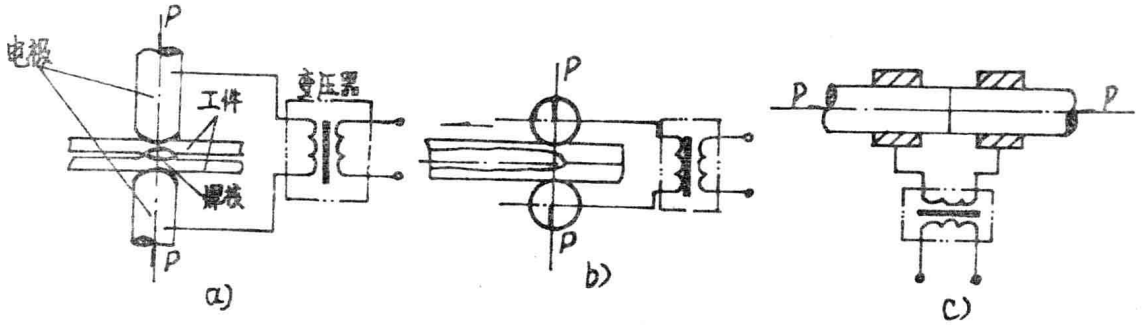


图 1—6 电阻焊示意图

a) 点焊 b) 缝焊 c) 对焊

此法操作简便，端部挤出的金属少并容易除掉，接头外形较匀称。但焊前对被焊工件表面的清理要求较高，否则容易引起接触面加热不均匀，引起局部氧化或夹渣。此外，这种方法由于焊后接合面上有残留氧化物夹渣和晶粒粗大等，故接头强度较低。

电阻对焊适用于焊接断面简单，紧凑（如圆形、方形等）和断面直径小于 20 毫米的低碳钢及强度要求不高的工件。

（一）闪光对焊

闪光对焊根据具体操作方法不同，又分为连续闪光对焊和预热闪光对焊。

连续闪光对焊，是将被焊工件夹紧在夹具内以后，首先接通电流，然后逐渐移动被焊工件使之相互接触，由于接触面上只有某些点接触，强电流通过这些点，产生电阻热，使工件升温、熔化、甚至汽化，再加上电极间电磁作用，液体金属即发生爆破，并以火花的形式从接触处往外散开，形成闪光现象。若继续移动工件，使其连续产生新的接触点，则闪光现象连续不断产生。待焊件被加热到其端面全部熔化时，即迅速对焊件加压，并且切断电源，焊件在一定压力作用下产生塑性变形而焊在一起。

预热闪光对焊和连续闪光对焊的不同处是焊前要进行预热。预热闪光对焊预热也在对焊机上进行，其方法通常分为电阻预热和断续闪光预热两种：电阻预热是在工件上稍加压力，使接触面贴紧，然后连续或断续通电将工件加热；断续闪光预热是在电流接通的情况下，把工件交替地接触和离开，每次接触都要引起短暂的闪光过程。待被焊接处预热到一定温度后，再按连续闪光焊法焊接。

闪光对焊的主要优点是：焊前对被焊工件端面要求不太高；接头中氧化物，夹杂物较少，因而焊缝的强度和塑性均较高。主要缺点是：金属损耗多，焊后有毛刺；设备也较复杂。

闪光对焊可用于相同金属或不同金属（铜—钢、铝—钢、铝—铜等）的焊接。被焊工件可以是小到 0.01 平方毫米的金属丝，也可以大到数万平方毫米的金属棒或金属板。

目前，对焊广泛应用于刀具、锚链、钢筋、导线连接、自行车车圈、钢轨和管道等的焊接生产。

二、点焊

点焊(图 1—6 a)是在被焊工件的接触面之间形成许多单独的焊点,从而将两工件连接在一起的焊接方法。

每个焊点的形成过程是:首先将表面已清理好的构件叠合,置于两电极之间预压夹紧,使被焊工件接触处紧密接触,然后接通电源,使接触处产生电阻热。由于电极是由中间通水冷却,导热性良好的铜合金制成,它与被焊工件间接触电阻产生的热量被电极传走,故热量主要集中在工件间接触处,将该处金属加热到熔化状态而形成熔核。熔核周围的金属则被加热到塑性状态,则在压力作用下形成一紧密封闭的塑性金属环,围住熔化核心,使其不致外溢。此时切断电流,使熔核金属在压力作用下冷却和结晶,即获得组织致密的焊点(图 1—7)。

由点焊形成的焊件,熔化的金属不与外界空气接触,故焊点强度高。且工件表面光滑,焊接变形小。

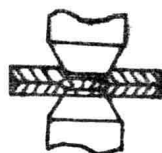


图 1—7 焊点断面图

点焊方法主要用于薄板结构,可以用来焊接厚度为 $0.2+0.2$ 毫米到 $16+16$ 毫米的低碳钢,另外,还可以焊接不锈钢、钛合金、铜合金和铝镁合金等。目前广泛应用于飞机、汽车、客车、钢筋构件、电子管、仪表、煤矿设备等的制造。

三、缝焊

缝焊又称滚焊。它是在两个被焊构件的接触面之间形成许多连续的焊点,而将两工件连接起来的焊接方法。缝焊的焊接过程与点焊相似,可以这样认为缝焊是连续的点焊过程,所不同的是缝焊时用转动的圆盘状电极来代替点焊时采用的圆柱状电极(图 1—6 b)。当压紧焊件的圆盘电极转动并通电时,工件从两圆盘电极之间通过,两工件接触面之间就形成许多连续而彼此重叠的焊点(图 1—8),从而获得紧密的焊缝。

缝焊工件不仅表面光滑平整,且焊缝具有较高的强度和气密性,因而常用来焊接要求密封的薄壁容器(厚度可以从几分之一毫米到四毫米),且广泛应用于汽车、飞机制造业中。缝焊可以焊接低碳钢、合金钢、铝及铝合金等材料。

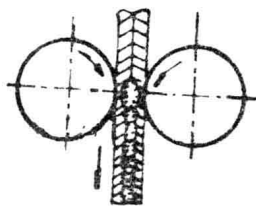


图 1—8 缝焊过程图

电阻焊(接触焊)是一种生产率极高的焊接方法,可以在短时间($1/100$ 到几十秒)内获得焊接接头。不需填充材料和焊剂,因而节省材料。焊缝表面平整,焊接变形小。它可以焊接同种金属,且可以焊接两种不相同的金属。它的工作电压很低,一般仅几伏到十几伏,没有弧光和其它有害辐射。操作简单,易实现机械化、自动化。可是,它需要大功率的焊接电源和较复杂的机械设备,焊前工件清理要求高,并且受焊件大小及接头型的限制。