

焊接与焊接结构

王元良 赵素洁 编

西南交通大学

李敏

前 言

利用加热或加压、或同时加热加压使两块材料形成不可分的联结叫焊接。焊接是机械制造中主要工艺之一。焊接不只用于各种金属，也能用于某些非金属，如塑料焊接目前就已广泛应用。焊接在我国国民经济中越来越占有重要地位，目前已成为铁路机车车辆、铁路工程机械、铁路装卸机械、铁路桥梁及其它工程结构等各方面制造和修理的基本工艺之一。

在一般情况下焊接有下列优点：①节省金属，比铆接节省15~20%；比铸铁节省50~60%；比铸钢节省30%。②减轻结构或机件自重。③减少劳动量，提高劳动生产率。④降低劳动强度，改善劳动条件。⑤提高产品质量。

焊接课程内容包括：各种焊接方法、电弧焊设备、焊接冶金过程、主要材料的焊接、焊接变形及应力、焊接结构强度、焊缝无损检验等。

本教材为需要焊接知识较多的非焊接专业同学学习焊接课程而编写。学习这些知识的时候，必须按照理论与实践相结合的方法，除一定的课堂教学外，还须作实验，并分析实验结果，从而提高同学们分析问题和解决问题的能力。在教学中可视有关专业需要对某些章节作某些删减或补充。

目 录

前 言

第一章 各种焊接方法

§ 1 气焊与气割	1
§ 2 电弧焊	4
§ 3 电阻焊 (又称接触焊)	6
§ 4 电渣焊	8
§ 5 几种先进焊接工艺简介	9

第二章 电弧焊设备

§ 1 焊接电弧	11
§ 2 焊接电源设备	12
§ 3 半自动焊及自动焊设备	20

第三章 电弧焊时焊接规范的选择

§ 1 电弧热对金属的熔化	27
§ 2 焊接规范的选择	29
§ 3 焊接规范的调整	32
§ 4 焊接接头的坡口间隙及焊缝尺寸要求	33
§ 5 提高金属熔化率以提高生产率的工艺方法	36

第四章 电弧焊接冶金过程及焊接材料选择

§ 1 金属的氧化和氮化 (光焊条焊接过程)	38
§ 2 气体保护焊接过程	39
§ 3 焊条的焊接过程 (焊条药皮和熔渣的作用)	40
§ 4 焊接材料的选择	45

第五章 主要材料的焊接

§ 1 焊缝组织及性能	54
§ 2 热影响区组织及性能	56

§ 3	碳钢及合金结构钢的焊接	58
§ 4	高合金钢焊接	67
§ 5	铸铁焊接	70

第六章 焊接变形及应力

§ 1	焊接变形的分类	75
§ 2	焊接变形及应力产生的原因	76
§ 3	影响弯曲变形的因素及其防止措施	82
§ 4	焊接变形的校正	87
§ 5	焊接残余应力及其对结构的影响	89

第七章 焊接接头及结构强度

§ 1	焊接接头及结构的静载强度	94
§ 2	焊接接头及结构的疲劳强度	102
§ 3	焊接接头及结构的冲击强度	110
§ 4	焊接接头及结构的脆断强度	116

第八章 断裂力学在焊接中的应用

§ 1	焊接结构与断裂力学分析	121
§ 2	焊接接头的断裂韧性	125
§ 3	影响焊接接头及结构断裂韧性的因素	128
§ 4	关于裂纹扩展的分析	132
§ 5	关于焊接缺陷的评定	134

第九章 焊接缺陷及检验

§ 1	焊接时常遇到的缺陷	141
§ 2	焊缝质量的外观检查	141
§ 3	焊缝严密性检验	142
§ 4	焊缝的磁性探伤	143
§ 5	X光及 γ 光探伤	144
§ 6	超声波探伤	145

第一章 各种焊接方法

按照焊接时加热的热源不同，焊接方法可分为以下几种：气焊、电弧焊、电阻焊、电渣焊、等离子焊、电子束焊，激光焊等等，各种焊接方法有其本身的特点，下面分别介绍。

§1 气焊与气割

一、气焊

用气体火焰作为热源把金属加热到熔化状态，然后冷却，凝固结晶而形成焊缝。

乙炔(C₂H₂)、氢气、石油蒸汽、天然气及其它燃气均可作为燃料，而最常用的是乙炔，因为它燃烧的火焰热量集中，温度高。氧气作为助燃气体，它与乙炔气体共同燃烧形成的火焰作为气焊时的焊接热源。氧—乙炔气体火焰温度可达3150°C，用以焊接或切割钢材。

气体火焰产生的工艺过程及设备示意图如图1-1。气焊时由于有气体火焰保护，故能用光焊条焊接，应用范围广，由于是独立热源，能很方便地对一些难焊材料进行预热，同时不用电源，便于在野外工地焊接，目前气焊仍普遍应用，特别在一些小规模 的修理单位，焊接铸铁、有色金属、合金钢堆焊和薄钢板焊接中应用甚广。但气焊也存有缺点：由于热量分散，生产效率低，而且焊接变形大。

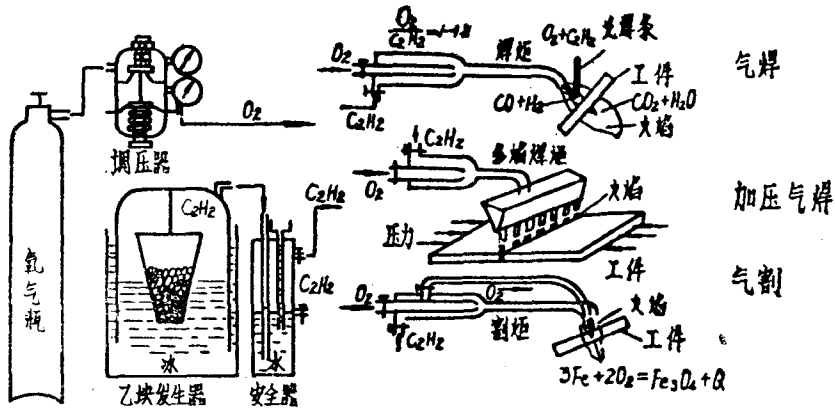


图 1-1 火焰产生的工艺过程及设备

二、气割

(一) 气割过程

气割的原理是用 O₂、C₂H₂ 火焰先将金属预热到高温，然后打开切割氧，使金属在氧气中剧烈的氧化并吹去氧化物。



这时铁就变成氧化铁同时放出大量的热，这个热又可不断继续预热待切割处之金属，使之在氧气中继续氧化并使氧化物被吹走，这样不断进行，金属便被割开。

含碳量小于0.7%的钢可以切割，但含碳量高的钢切割时易产生裂缝和切口硬化。含碳高于0.7%的钢其燃点接近熔点，如铸铁则燃点高于熔点，切割时未氧化就先熔化了，而使切口凹凸不平，质量很差；不少高合金钢切割是由于氧化物熔点很高，难以切割。现有用外加低碳钢丝于切割通过处（火焰与切口相遇处），使其氧化而生辅助热和形成熔渣降低氧化物熔点来切割不锈钢和高铬钢；有色金属由于导热性高，熔点低，有的燃烧生成热很小，有的易生成高熔点氧化物，也难以切割。因此用一般氧气切割难以进行，必须用等离子焰切割等特殊方法进行。

（二）机械气割设备

气割可以手工进行，灵活方便，但生产率低，劳动强度大，而且切割表面不平整。机械切割具有生产率高，劳动强度低，切割质量高及成本低等优点。目前我国定型生产的气割机有小车式和仿形式两种。目前我国已生产和应用很多种固定式大型机械气割机，如光电跟踪气割机、数字程序控制气割机等。

三种气割机的主要技术数据列于表1-1。

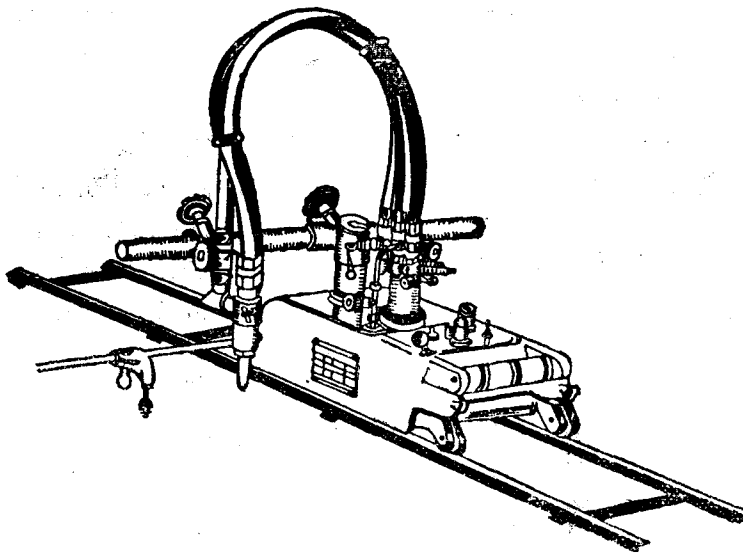
表 1-1

气割机型号名称	CG1—30型 小车式气割机	CG2—150型 仿形气割机	光电跟踪气割机
气割钢板厚度（毫米）	5~60	5~60	3~100
气割速度（毫米/分）	50~750	50~750	~660
割件最大尺寸（毫米）	—	500×500, 400×900, 450×750	2200×8500一节机座 7000二节机座
割圆直径（毫米）	200~2000	600	
割炬数目（个）	1~3	1~3	每个横臂1~2
电动机功率（瓦）	24	24	
外形尺寸 长×宽×高（毫米）	370×230×240	1190×335×800	21000(11000)×7000×2500

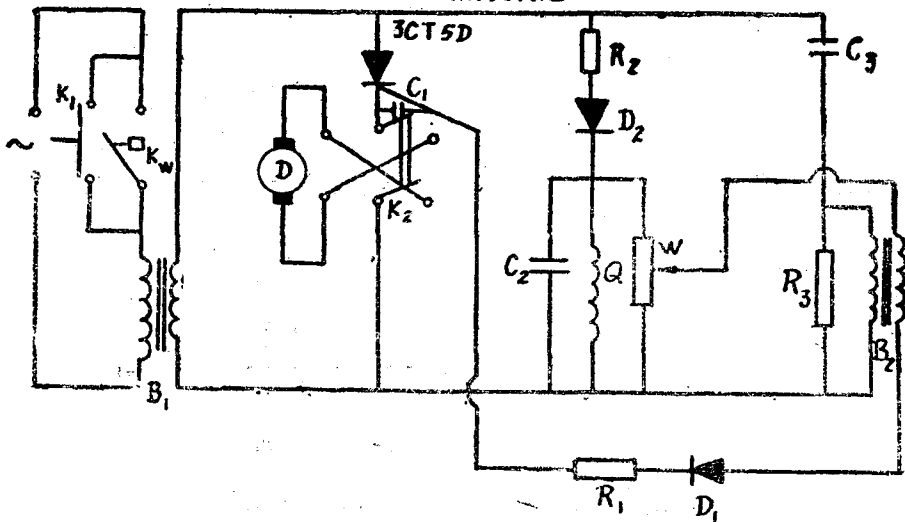
1. CG1—30 气割机

CG1—30 气割机为小车移动式，可以用轨道割直线及用定心规割圆。气割机的构造及电路图如图1-2。

气割机由机身、割炬、气体分配器、横移架、升降架、压力开关及控制板组成。机身采用铝合金制成，具有重量轻、强度高及耐腐蚀等优点。这种切割机可装1个割炬割直线和圆，也可装两个割炬割一定宽度的板条以避免变形，也可以用两个割炬同时割法兰及V型坡



(a) 气割机构造



(b) 电路图

图 1-2 CG1-30 气割机及其电路图

口，气体分配器有两套供两个割炬使用。机器内有 S261 型 110 伏 24 瓦直流伺服电动机，与速比为 1:1035 二对蜗轮蜗杆和一对正齿轮组成的减速器通过离合器连接驱动小车行走轮。

CG1-30 气割机工作原理

气割机的电路图如图 1-2b。这种气割机是自动进行切割的，切割速度通过小车行走速度来实现，而小车的行走速度是通过电器控制线路可无级调速（切割速度在 50~750 毫米/分内调整）。关键是转动控制板上的电位器 W 以控制可控硅 SCR (3CT5D) 的导通角，以控制整流电路电流，进行无级调速。

电路图中各符号的含义如下：

K_1 表示电源开关， K_w 表示压力开关（又叫风压开关），当通入切割氧气时，靠氧气的压力使开关合上，接通电源。 K_2 换向开关。 R_1 、 R_2 、 R_3 表示电阻。 C_1 、 C_2 、 C_3 表示电

容。D₁、D₂ 表示晶体二极管。Q—S261 伺服电机的激磁线圈。W 表示可调电位器。B₁、B₂ 表示变压器。SCR(3CT5D)表示可控硅管。

2. CG2—150 仿形气割机

这种气割机如图 1—3，主要由底座、主轴、基臂、速度控制箱、主臂、割炬架与割炬、导向机构、控制板气体分配器、样板固定装置等组成。割炬的移动是借电磁导向机构带动的，导向机构由电压 110 伏、功率 24 瓦的 S262 型直流伺服电机通过速比为 1:175 的减速机构带动一直径 10 毫米的永久磁铁滚轮，使滚轮依靠固定在样板架的样板移动，割炬即可割成相应形状的工件。切割机的电器控制原理与 CG1—30 相似，用可控硅无级调速。

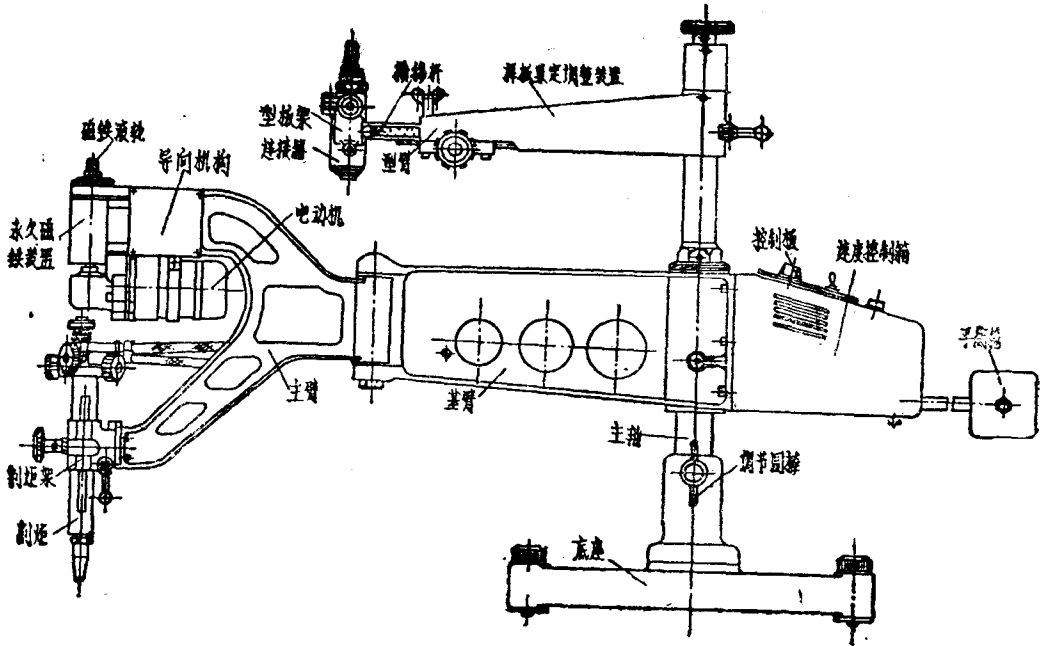


图 1—3 CG2—150 型仿形气割机

CG2—150 仿形气割机可作为大批生产中某一零件的专用气割机。生产效率高，可以很方便的割出各种形状。

§ 2 电 弧 焊

电弧焊的热源是电弧热，电弧温度可达 6000K，比气焊火焰温度高，而且热量集中，因此有较高的生产率。

一、手工电弧焊 (图 1—4)

现在最常用的是手工金属极(焊条)电弧焊，焊条是金属电极又是填充料，焊条与工件接触后立即拉开，即在焊条与工件间产生电弧用以熔化焊条及工件。为了采用廉价的交流电源设备，使电弧保持稳定，于是在焊条芯四周涂以稳弧剂(常用碱土金属

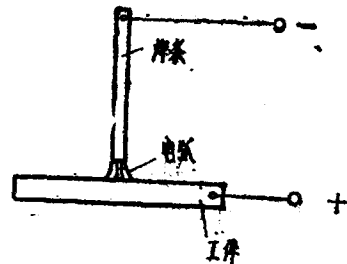


图 1—4 手工电弧焊

化合物），这就是薄药焊条，如药皮同时起相应冶金作用以提高质量，则为目前所用的厚药皮的焊条。

二、埋弧自动焊及半自动焊

电弧在焊剂层（相当于焊条药皮的作用）下燃烧，没有电弧光露出来，叫埋弧焊。焊条是光的连续送入电弧中，送进焊条和电弧移动都是自动进行的，因此叫自动焊。如图 1—5。自动焊时可加大焊接电流，节约换焊条时间，减少了热量损失和金属飞溅，改善了焊缝成型，既提高了生产率，又提高了质量。但自动焊只能焊简单直焊缝、圆弧焊缝或一定规律运动轨迹的焊缝，灵活性较差。

半自动焊过程与自动焊基本相同，所不同的是移动电弧（即焊接运动）是由手工操作的，焊丝由软管中送进，因此其直径细（不大于 2 毫米），它能焊任何曲线焊缝和短焊缝。

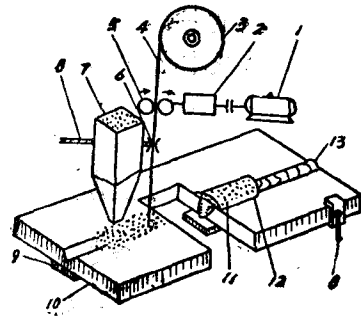


图 1—5 埋弧自动焊的焊接过程示意图

1—焊丝传动马达；2—变速箱；3—焊丝盘；4—焊丝；5—焊丝给送轮；6—导电阻；7—焊剂斗；8—电缆；9—金属板；10—焊件；11—未熔化焊剂；12—焊渣层；13—焊缝

三、气体保护焊

气体保护焊是以气体作为保护介质的焊接。有弧光露出来，属明弧焊。主要采取二种不同方式进行（图 1—6）：

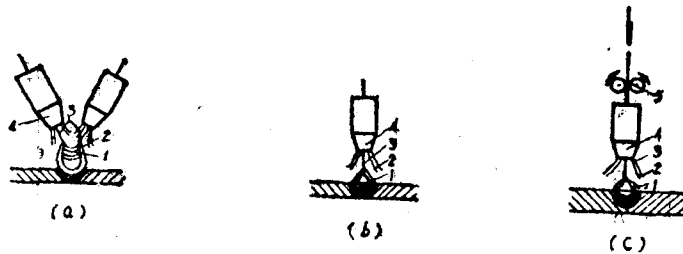


图 1—6 气体保护焊示意图

1—电弧；2—保护气体；3—电极；4—喷嘴；5—送丝轮

1. 采用一根不熔化的电极（钨极）的直接电弧焊，如氩弧焊，氩弧焊用氩气保护，多用于焊高合金钢、有色金属及合金和稀有金属的焊接。

2. 采用一根或多根熔化焊丝的直接电弧焊，这时一般采用半自动或自动焊进行，保护气体有 CO_2 、 Ar 、 H_2O 蒸汽等。

CO₂ 气体保护焊如图 1—7, CO₂ 气体保护焊需要有电源设备、进条设备及供气设备。以 CO₂ 气体作为保护气体,防止了空气中的有害氮气、氧气侵入焊缝,保证获得优质的焊缝。半自动 CO₂ 气体保护焊可以进行各种位置(平、仰、横、立)焊接,可焊接曲线焊缝及短焊缝。CO₂ 气体成本比焊剂低。目前国内在大力推广 CO₂ 气体保护焊。其规范实例如表 1—2。

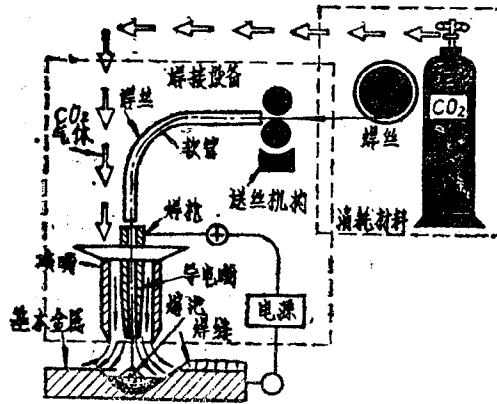


图 1—7 CO₂ 气体保护焊原理图

表 1—2

板厚 (mm)	焊条直径 (mm)	间隙 (mm)	电焊电流 (安)	电焊电压 (伏)	气体流量 (升/时)		气体压力 公斤/厘米 ²	接头
1	0.5	0~0.5	23~30	17~18	400		0.5~1.2	对接
1.5	0.5	0~0.5	30~40	18~19	400			
2.0	0.8	0~0.5	60~70	18~19	500			
3.0	1.0	0~0.5	100~140	20~21	500			
4.0	1.0	0.5~1.0	100~110	20~21	500			
5.0	1.2	1.0	120~150	21~25	39.4	30 31 33		
7.0	1.6	1.0	220~260	26~29	厘米/分			
12.4	1.6	1.0	340~300	28~32				
14.0	1.6	1.0	340~450	30~36				
10+12	2.0		400~420	20				

§ 3 电阻焊(又称接触焊)

一、概述

接触焊是以电流通过工件接触处的电阻所产生的热量来把金属加热到塑性状态或表面熔化状态加以压力使之接合的一种焊接方法。最常用的接触焊有点焊、缝焊和对焊(图1—8)。点焊是将工件搭接装配后,压紧在两圆柱形电极之间,通以电流,使两焊件接触处加热到熔

化温度，焊件通电通路的其它部位加热到塑性状态，加以压力；断电后在压力下凝固结晶形成焊点。点焊在汽车工业和飞机工业大量使用以焊薄板结构，建筑工业用以焊钢筋网，特点是生产率高、变形小、易于自动化。缝焊又称滚焊，其原理与点焊相似，只不过以滚动的圆盘代替圆柱形电极，工件在圆盘间靠摩擦力前移，同时由圆盘连续或断续通电到工件接触处的电阻发热焊接工件使成连续或断续焊缝，同样道理，缝焊也只适于焊薄板结构。对焊则是电流通过两个棒状工件的端部接触面的电阻使其加热到塑性状态在压力下焊接起来，这叫电阻对焊。如焊件只有轻微接触就通电，这时接触点金属迅速熔化飞溅出来，同时不断使工件靠近，使接触点不断熔化和加热，到端面普遍熔化并有一定加热深度时，再断电并加以顶锻压力使之焊接起来，这叫熔化对焊或闪光对焊，后者对工件准备要求不高，焊接质量好，故焊接大截面工件时常用，如无接缝线路钢轨焊接，机械制造及修理中轴类零件的焊接，链环的焊接都用闪光对焊。

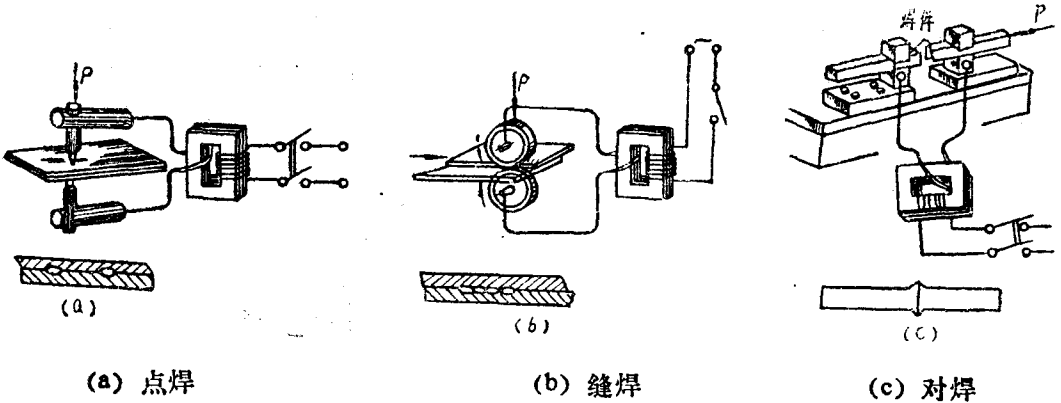


图 1—8 接触焊示意图

二、接触焊热源

为什么接触焊能产生那样大热量呢？根据焦尔—楞次定律：

$$Q = 0.24 I^2 R t$$

即产生热量 Q 与电流 I 的平方成正比，与电路中电阻 R 和通电时间 t 成正比。因此接触焊机总是用电压很低的 2—10 伏而电流很大（可大至数十万安培）的降压变压器来供电，这样就可以在很短的时间内把焊接处加热到足够的温度，如果时间过长，热量就会大量地传递到焊接处的周围，这样就浪费了热量，同时有可能使待焊处达不到所需温度，因而电流要大，时间要短。电流通过由电极、工件所组成的电路，各部分都有电阻，如图 1—9 所示，其总电阻为：

$$R = 2R_m + R_k + 2R_e$$

式中 R_m —— 工件本身电阻；

R_k —— 工件与工件接触处电阻；

R_e —— 电极与工件接触处电阻。

这些电阻中电极与工件接触电阻比较小，因为电

极形状是与工件紧密接触而且接触面小，电极又是铜制的导电性好，故电阻 R_e 小，而且有

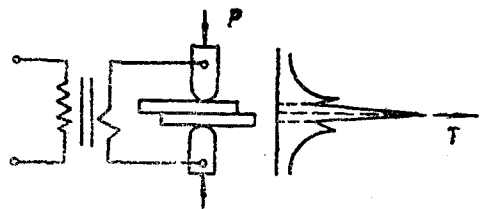


图 1—9 点焊过程

水冷却使产生的热量很快传走，故温度不是最高，工件本身电阻 R_w 也很小，因为工件是金属，电阻最大处是两工件接触面的电阻 R_k ，此处产生的热量最大而且不易导出，故温度最高，因此就能将此处金属迅速加热到塑性状态或表面熔化状态，一加压就可使其结合。

接触焊的特点是生产率高，不用填充金属和焊剂，没有弧光和有害光线照射，不产生有害气体，焊接控制操作容易，易于机械化和自动化，而且接头有较高强度，不同材料也能焊在一起，因此在汽车、飞机、车辆、自行车、建筑及五金电器及仪器生产行业中应用很广，例如汽车的车身、驾驶室、车架都用点焊代替了过去的铆钉，轮缘就是用对焊，油箱则用缝焊制成。

§ 4 电 渣 焊

电渣焊的热源是利用电流通过熔渣（图 1—10）（具有导电性的液态焊剂）而产生的电阻热，用以熔化基体金属 1 和填充金属 4，由于焊剂比重轻，所以在焊接过程中熔渣（渣池）始终浮于液体金属（熔池——凝固后称焊缝）的上面。焊缝 6 的结晶是在水冷成型滑块之中进行，成型滑块随焊机上移，焊缝即结晶完成。填充金属是用自动焊机自动送进的，焊丝为单根焊丝或多根焊丝，这叫丝极电渣焊，如用板极（尺寸一般为 7~10mm 厚，100 左右宽）代替焊丝叫板极电渣焊，如板极中有孔（并固定不送进）而焊丝由板极孔中连续送进以补填

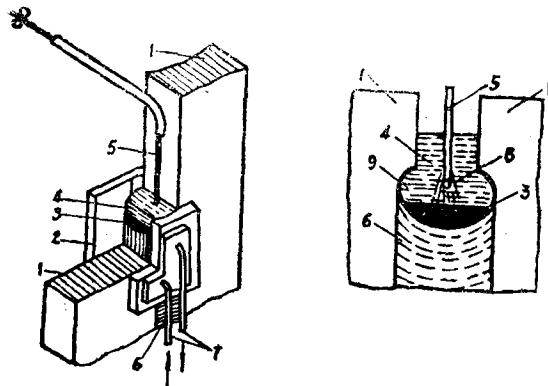


图 1—10 电渣焊示意图

1—焊件，2—冷却滑块，3—金属熔池，4—渣池，5—电极，
6—焊缝，7—冷却水管，8—熔滴，9—焊件熔池金属

充料的不足，这种叫熔咀电渣焊，此外还有接触电渣焊和手工电渣焊、躺板极电渣焊等。丝极电渣焊适用于焊 50~300 毫米厚板垂直焊接对接及角接焊缝，如 12500 吨水压机的机架、横梁、立柱都是用丝极电渣焊焊成的。板极电渣焊适于焊短焊缝，熔咀电渣焊也适于焊较短的或变断面焊缝。在机车车辆工程及起重机械修理中广泛采用手工电渣焊和板极电渣焊。

电渣焊的特点：

1. 属立焊，单道焊缝，即一次焊成。
2. 强制成形：焊接过程中熔化的金属被强制在滑块内凝固结晶而形成焊缝，焊缝的形状决定于滑块。
3. 焊接质量好，生产率高，变形小，焊缝表面光滑。

4. 金属在高温停留时间长（相当于炼钢），晶粒粗，影响机械性能，需要进行正火热处理。

§5 几种先进焊接工艺简介

一、等离子焊接及切割

所谓“等离子”是物质存在的一种形态，它是物质的第四态。等离子弧是在柱状钨极与水冷铜导电咀两个电极间，并在外加冷却气体（如氩、氮、二氧化碳等）中的电弧放电作用下形成的（图 1—11）。当电弧通过水冷的铜制喷嘴时，它受到外部不断送来的冷气流（如 Ar、N₂ 等）及导热性很好的水冷喷嘴孔道壁的冷却作用，弧柱外围气体的温度降低，导电截面缩小，这就是热收缩效应。如果要在已变小的截面上通过与原来同样大小的电流，单位截面上的电流值就提高了，也就使温度升高。又由于电弧是导体，当同一方向的电流过电弧时，把电弧弧柱看成是一束平行的导线，导线力图互相靠紧，即弧柱截面要缩小，这叫磁收缩效应。在热收缩效应和磁收缩效应的同时作用下，弧柱截面更为缩小，弧柱电流密度更高，气体充分电离，达到正负离子浓度相等的等离子态，形成弧柱温度高达 15000K~30000K 的高温等离子弧。用此等离子弧可以作为热源，进行焊接、切割和喷镀。它可以焊接高合金钢、高强度钢、铜合金、钛合金、钨、钼等合金。可以切割用氧—乙炔火焰不能切割的材料（如不锈钢、铜、铸铁、钨、钼及陶瓷等）。目前在修理部门的磨损堆焊修复中得到广泛的应用，如修复各种内燃机零件，汽车修理中用以堆焊进排气阀。

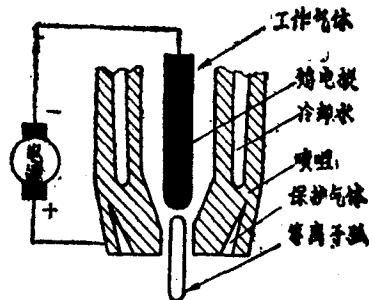


图 1—11 等离子枪原理图

二、电子束焊接

真空电子束焊接：利用阴极发射出来的电子，经高压（电压达 2 万~10 万伏，电流为 10~100 毫安）电场加速，使电子获得很高的能量，并被静电场与磁场聚焦成电子束，这种高能电子束在 10⁻⁴mm 水银柱真空度下轰击焊件，使电子巨大动能变为热能，熔化焊接金属。特别适宜焊接高熔点金属、活泼金属和高纯度金属。

目前各国已开始应用半真空或非真空电子束焊，就是把电子束从抽成真空的发射室里引到大气中来，电子束从发射室通过一系列的缓冲室而到达暴露在大气中的工件。这些缓冲室都与真空泵系统相连接。这样就可以使体积大的工件（例如飞机的机翼）进行电子束焊。因为实际上真空室不可能做成庞大的容积。

三、超声波焊接

声音是由物体振动产生声源，推动周围空气引起波动，传到人的耳膜，再由神经传到大脑，于是就听到声音。声音的高低是由物体振动的快慢决定的。振动越快声音越高，反之则低。声源每秒钟振动的次数，称作频率。频率的高低对人耳的影响是不同的，太低和太高的

频率，都不能使人耳引起感觉。人耳听到声音频率范围是16~2万次/秒，超过2万次/秒振动所产生的声波叫超声波，低于16次/秒的声波叫次声波。

目前超声波已应用于焊接中，在熔焊时加上超声波可细化晶粒，排除气体，排除渣质，加强渗合金作用，帮助合金扩散，改善热影响区组织。在钎焊中可以加上超声波去除氧化物薄膜，使钎焊易进行。在接触焊中用超声波产生机械振动来缩短加压下的工件的原子间距，帮助金属扩散以达到焊接接合。

四、激光焊接

激光焊是利用激光束聚焦后所获得的高能量密度、方向性极好的光束，并调焦在工件需要焊接部位，使光能转换为热能，以熔化金属而达到焊接目的。激光焊接能量集中，焊接过程迅速，使工件热影响区和焊接变形较小，并且金属不易氧化，可在大气中进行焊接，不需要真空和惰性气体保护，因此便于生产使用。由于激光束能利用反射面将其向任何方向弯曲或聚焦，所以特别适合于焊接极复杂的零件。

激光焊可进行同种金属和异种金属的焊接，其中包括铝、铜、银、不锈钢及某些高熔点金属钨、钨等，甚至还可以焊接玻璃钢等非金属。但目前由于激光器功率有限，故焊接厚度受到了限制。

激光不只可用于焊接，也可用于对金属或某些非金属的切割和打孔。

第二章 电弧焊设备

§1 焊接电弧

一、电弧的发生、维持及极性

电弧是两电极间气体中的放电过程。这个过程就是电子由阴极发射并在气体中运动的过程。这个过程的发生和发展在于电子运动能力和气体对电子运动的阻力的大小来决定，因此我们就必须使参与这个过程的物质的作用以增加电子运动能力，减少气体对电子运动的阻力来促使这个过程的发生和发展。比如在焊接过程中我们提高电焊机电压可以促进电子发射，但为了焊工安全，一般都把这个电压控制在一定范围之内（一般40~90伏）而不是太高，因此就采用加热阴极促使电子发射。焊接引弧时先将焊条与工作（相当于两极）短路（图2-1），电流由焊条端部凸出处通过而生电阻热，这时由于短路电流大，加热范围小，很快就将阴极端部和两极间气体加热，并且产生一部分金属蒸汽散于两极之间，这样就增加了阴极电子运动能力，减少了两极间气体对电子运动的阻力（因为气体电离程度增加而导电性增加了），这时焊条一离开，电子就放射出来，电弧就引燃了。

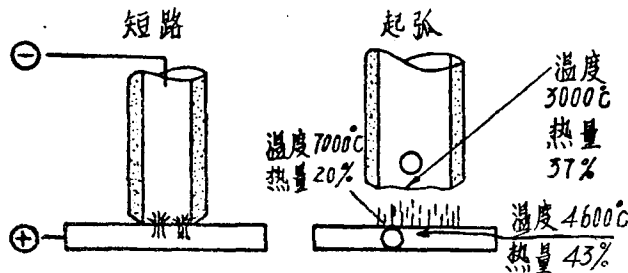


图 2-1 引弧过程图

电弧引燃后，电子冲击气体分子是加速气体电离的，气体电离后正离子跑向阴极并给以能量而加速电子发射，给电弧稳定创造了有利条件。但另一方面气体电离程度还决定于气体的性质，如在手工焊中，在焊条上加上含有钾、钠、钡、钙的焊药皮熔化蒸发后放于气体中就有利稳定弧；如在氩、氢、氮等气体中焊接就需要用高的引弧电压或用特殊稳弧装置（如氩弧焊要用高频振荡器引弧）。

电弧分为三个部分，如图2-1，即阴极部分、弧柱部分和阳极部分。阴极部分的温度大概在3000°C的范围内，它放出整个电弧中37%的热量，弧柱部分最高温度可达7000°C左右，它放出电弧中约20%的热量；由于电子运动速度很高，冲击阳极的功能大，故阳极比阴极温度高，可达4600°C左右，比阴极热量多，它放出电弧中约43%的热量。

一般情况下工件较厚需热多，故将工件接阳极，焊条接阴极，这叫正联；反之在一些工件需热少的情况，如焊薄板、铸铁及有色金属或用一些特殊焊条时用反联。自动焊时由于焊

剂的影响，反联时工件反而熔深大。在交流电焊接时，由于电流方向是交变的，故无正反联之分，同时由于电流交变有周期性零点，故电弧稳定较直流低。

二、电弧的静特性

焊接电弧的静特性，就是指电弧燃烧时电压与电流之间有一定的关系。可用电弧静特性曲线来表示（图 2—2）。若在焊接电路上接上电流表和在电弧两端接上电压表，当改变电焊机电流时电弧电压也随着变化。可以通过实验测定出来。也可以用下列公式表示电弧电压与电流的变化关系

$$u_a = a + bI + \frac{c + dI}{I}$$

式中 u_a ——电弧电压，
 I ——焊接电流。

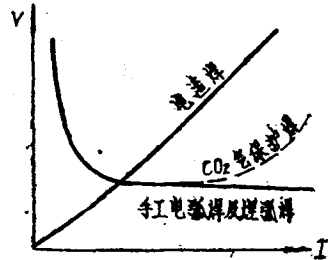


图 2—2 电弧的静特性

a、b、c、d 为与电极材料、气体性质、气体压力有关的常数。因此一般情况下电流增加，电弧电压下降（图 2—2），但当电流增加到相当大以后，则 $u_a =$

$a + bI$ 电弧电压与电流大小无关，而主要与电弧长度有关，即电弧越长，所需要的电压也越高。一般电弧焊均可用此式来表示其静特性。但对埋弧自动焊特别是细焊丝自动焊时，由于焊剂封闭空间的气体压力增大和电流密度增大，在气体保护焊时由于气体压力及气体冷却的作用，使电流密度增大，因此在大电流时，电弧电压有些上升，即它们的静特性曲线与一般电弧焊不同（图 2—2）。这个静特性曲线对不同焊接方法需要对电焊机提出不同要求。

§ 2 焊接电源设备

电弧焊的焊接热源是电弧热。因此必须有电焊机作为电源，才能实现电弧焊，各种类型的电焊机称为电弧焊的焊接设备。

一、对电焊机的要求

根据电弧的发生和维持过程，知道电焊机要适应电弧的短路——引弧——稳定燃烧并熔化金属的工作过程。关键在于电焊机的外特性要适应这个过程。什么叫电焊机的外特性呢？就是电焊机的输出电压与焊机输出的电流（焊接电流）间的关系叫电焊机的外特性。这种关系如用一条曲线来表示，叫做外特性曲线。

一般电源多是电阻负载并要求最小的线路损失和恒定的工作电压，故要求电源是平特性，在电渣焊正常工作时也是电阻负载，就可用平特性。手工电弧焊及焊剂层下自动焊时如果用平特性电源，引弧或短路时就会烧坏保险甚至损坏电机，而且不会与电弧有相应工作点，因此必须用下降外特性的电源（图 2—3 a），这才能与相应的电弧静特性有相应的工作点，如图 2—3 a 中 O_1 、 O_2 、 O_3 点，由图中看出，既有较高的空载电压便于引弧，又有不太大的短路电流适应短路工作，并且以与一定弧长电弧相适应的工作电压和工作电流来维持电弧工作和

熔化金属,这就使电弧和电机特性统一在工作点的电压、电流上,但弧长变化(图 2—3 a)和网络电压变化(图 2—3 b)是会使电弧电压和电流变化的,如果电焊机特性越陡,则同样的电压变化时电流变化小,电弧就稳,这在手工焊小电流焊时就特别重要,但在自动焊时由于电流大,电弧热量高,稳弧问题不大,故可用较平的下降特性。在二氧化碳气体保护焊时,由于电弧特性有上升倾向,甚至可用平特性或上升特性。

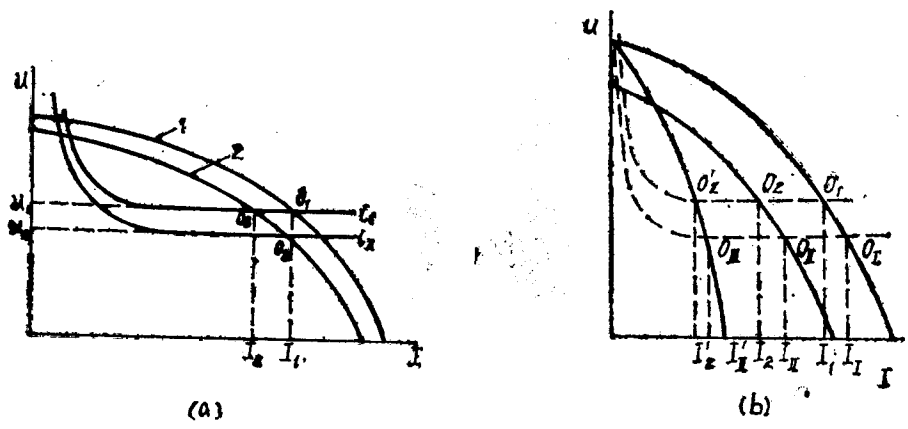


图 2—3 电焊机特性

为了适应不同厚度金属熔化的热量需要,电焊机的电流要有一定调节范围,调节电流可通过调节特性曲线的位置(改变空载电压,不改变斜率)或斜率(不改变空载电压)(图 2—3 b),这样就使工作电流在一定范围内可以进行调节。

由此看出电焊机与一般电机是有区别的。对电焊机有下列要求:①短路电流不能过大,即为短期短路工作提供条件。②为了便于引弧,需要有较高的空载电压(在安全范围内)。③为了稳定燃烧在电压发生变化时,电流变化要小(在手工焊时较重要)。④为了适应熔化不同厚度金属,需要一定量的电流并应能在一定范围内调节。

电弧焊所用电源设备主要分三大类:直流焊接发电机(简称直流焊机);交流焊接变压器;焊接整流器。下面分别介绍。

二、直流焊接发电机

焊接发电机与一般发电机不同点在于获得焊接所需下降特性和调节特性,现在举例加以说明。

(一) 他激式焊接发电机

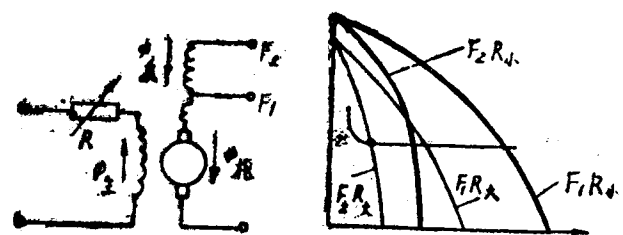


图 2—4 他激式焊接发电机原理图