

高等学校试用教材

压 力 焊

哈尔滨工业大学 赵熹华 主编

GAO DENG XUE
XIAO JIAO CAI

机械工业出版社

基本符号表

符 号	代表内容	符 号	代表内容
A	焊透率、二次淬硬比	$R(R')$	电阻(平均值)、结晶速度、球面半径、热轧
a	热扩散率、振幅幅值	r	电阻(动态)、圆角半径、坐标轴、转(单
b	指数、宽度、剩余高度	位)	
C	(缝)焊缝宽度、电容(量)、比热容、淬	τ_0'	恒定系数
C'	火	S	功率、面积、固相、入工时效、边距、
C_e	压痕深度	位移	
C_{eq}	碳当量	T	温度、周期
C_0	溶质浓度	T_m	熔点
D	电极端面直径、焊件直径、液体过梁根	T_r	再结晶温度
	部直径	t	时间
d	熔核直径、液体过梁中部直径	t'	全周期
E	弹性模量	U	电压(有效值)
e	点距、(缝)焊缝间距	u	电压(瞬时值)
F	力、破坏载荷	v	速度
f	频率、挠度、点距(缝焊)	W	线圆阻数
G	温度梯度、炸药量	X	负载持续率、感抗
H	磁场强度	x	系数、坐标
h	高度、安装间隙	Z	阻抗、自然失效、坐标
I	电流(有效值)	α	控制角、冷弯角
i	电流(瞬时值)	α_n	指数
i	电流密度	α_1	电阻温度系数
$K(K')$	系数、变压比	Δ	留量、间隙、深度、间隙
L	电感	δ	厚度、伸长率
l	调串长度、(缝)焊缝长度	δ_n	间隙
l'	熔核长度(缝焊)	η	有效系数
M	退火	θ	导通角
m	趋表效应系数	λ	热导率
m_0	熔化潜热	ρ	电阻率
N	疲劳循环次数	ρ'	密度
n	焊缝数量、焊点数量、自然数	$\sigma(\sigma')$	强度
p	压强、压力	τ	时间常数
$Q(Q')$	热量、气流速	φ	功率因数角、电位

前 言

本教材系根据1984年1月全国高等工业学校焊接教材分编审委员会扩大会议审定的《压力焊》教学大纲编写的，供高等学校焊接专业作为教材之用。

根据大纲要求，内容分为电阻焊、其它压焊方法二篇。其中，第一篇为电阻焊，重点编写了电热原理、接头形成过程、规范参数对焊接质量影响的一般规律等基础理论；简要分析、总结了常用金属材料及典型零件的电阻焊特点；适当加强了现代电阻焊机的机械、供电、控制装置的工作原理、选择、使用及设计知识；较全面介绍了电阻焊质量检验及监控方法。第二篇为其它压焊方法，主要介绍了扩散焊、超声波焊、摩擦焊、旋弧焊、爆炸焊、磁力脉冲焊等方法的基本原理、工艺特点及适用范围。

在编写过程中，力求理论联系实际，归纳和突出压力焊的基本问题，注重思路 and 能力的培养，适当反映国内外的新成就和新的发展趋势。书中许多图表由于引自最新的国内外标准，可供实际生产选用。

本教材编审人员及分工：

主编 赵燕华（哈尔滨工业大学），全书统稿并编写了绪论、第一篇全部和第二篇第十二章等。

协编 易蕴琛（吉林工业大学），编写第二篇第九章；蔡七雄（哈尔滨工业大学），编写第二篇第十章；才荫先（哈尔滨焊接研究所），编写第二篇第十一章。

主审 邱凤翔（西安交通大学）。

协审 张义（吉林工业大学）。

对在编写及审定过程中，提出过许多宝贵意见的上海电焊机厂董锦垣；天津大学孙仁德；西北工业大学贺耀华、吴禄；上海交通大学严向明；北京航空学院张义淑；西安交通大学王士元等同志及援引的参考文献作者，一并致以深切的谢意。

哈尔滨工业大学曹先谕同志代为制备了全书大部分图表，谨此致谢。

由于编者水平所限，疏漏和错误肯定存在，恳切希望使用本教材的教员和读者批评指正。

编 者

一九八八年三月

目 录

绪论	1	三、微元件的点焊	48
一、压力焊的物理本质	1	§ 2-6 常用金属材料的点焊	56
二、压力焊的分类及发展过程	1	一、金属材料的点焊焊接性	56
三、课程的目的及要求	5	二、低碳钢的点焊	52
第一篇 电 阻 焊	7	三、可淬硬钢的点焊	52
一、电阻焊的物理本质	7	四、奥氏体不锈钢的点焊	56
二、电阻焊的分类	7	五、耐热合金的点焊	58
三、电阻焊的优缺点	7	六、铝合金的点焊	58
四、电阻焊的发展方向	8	七、钛合金的点焊	61
第一章 电阻焊的加热	10	八、镀锌钢板的点焊	62
§ 1-1 电阻焊的热源及其特点	10	§ 2-7 凸焊	63
一、电阻焊的热源	10	一、凸焊基本类型	63
二、电阻焊热源的特点	11	二、凸焊过程分析	64
§ 1-2 点焊时的电阻及加热	11	三、凸焊规范参数选择	66
一、点焊时的电阻	11	第三章 缝焊	68
二、点焊时的加热特点	17	§ 3-1 概述	68
§ 1-3 对焊时的电阻及加热	25	一、缝焊的分类和应用	68
一、电阻对焊时的电阻及加热特点	25	二、对缝焊接头质量的一般要求	70
二、闪光对焊时的电阻及加热特点	27	§ 3-2 缝焊过程特点及规范参数选择	71
第二章 点焊	28	一、缝焊过程特点	71
§ 2-1 概述	28	二、缝焊规范参数选择	73
一、点焊的特点、分类和应用	28	§ 3-3 常用金属材料的点焊	76
二、对点焊接头质量的一般要求	28	第四章 对焊	79
§ 2-2 点焊过程分析	31	§ 4-1 电阻对焊	79
一、点焊焊接循环	31	一、电阻对焊过程分析	79
二、接头形成过程	32	二、电阻对焊规范参数选择	81
三、熔核的结晶过程	34	§ 4-2 闪光对焊	83
§ 2-3 点焊规范参数及其相互关系	37	一、闪光对焊过程分析	83
一、点焊规范参数	37	二、闪光对焊规范参数选择	87
二、规范参数间相互关系及选择	39	三、闪光对焊新技术	93
§ 2-4 点焊时的分流	42	§ 4-3 常用金属材料与典型	
一、点焊分流的影响因素	42	零件的对焊	95
二、分流的不利影响	43	一、金属材料的对焊焊接性	95
三、消除和减少分流的措施	44	二、常用金属材料对焊特点	96
§ 2-5 特殊情况的点焊工艺	45	三、典型零件的对焊	99
一、不同厚度和不同材料的点焊	45	§ 4-4 对接缝焊	103
二、单面点焊	46	一、低频对接缝焊	103

二、高频对接缝焊	104
三、对接缝焊的选用	105
第五章 电阻焊机的机械装置	107
§ 5-1 点(凸)焊机的机械装置	107
一、加压机构的特点及类型	108
二、气压传动加压机构	108
三、扩力气压——杠杆传动加压机构	109
§ 5-2 缝焊机的机械装置	110
一、传动机构的特点	111
二、连续转动滚轮电极的传动机构	111
三、断续(步进)转动滚轮电极的传动机构	111
四、万能式传动机构	112
五、缝焊机机头	112
§ 5-3 对焊机的机械装置	114
一、夹紧机构	114
二、送进机构	116
第六章 电阻焊机的供电装置	119
§ 6-1 供电装置概述	119
一、供电装置的特点	119
二、供电波形	119
§ 6-2 阻焊变压器及其功率调节机构	125
一、阻焊变压器构造	125
二、阻焊变压器的功率调节机构	126
§ 6-3 电阻焊机的基本电参数及外特性	128
一、电阻焊机的基本电参数	128
二、电阻焊机的外特性	130
§ 6-4 焊接回路	131
一、焊接回路的结构及电气特点	131
二、电极	133
第七章 电阻焊机的控制装置	138
§ 7-1 主电力开关	138
一、主电力开关类型	138
二、整流元件	139
三、电阻焊过渡过程	140
四、晶闸管开关电路工作分析	142
§ 7-2 同步控制设备	144
一、晶体管分立元件同步控制设备	144
二、数字集成电路同步控制设备	147
三、微型计算机同步控制设备	157
§ 7-3 电阻焊的质量监控	162

一、质量监控方法分类	163
二、几种点焊质量控制方法	163
参考资料一: KD7-500-3型点焊机控制箱	169
参考资料二: KF4-500-1型缝焊机控制箱	177
第八章 电阻焊接头质量及检验	179
§ 8-1 电阻焊接头的主要质量问题	179
一、点、缝焊接头质量问题	179
二、对接接头质量问题	182
§ 8-2 电阻焊接头质量检验标准	183
一、接头强度方面的规定	183
二、接头缺陷方面的规定	185
§ 8-3 电阻焊接头检验方法简介	186
一、破坏性检验	186
二、无损检验	187
第二篇 其它压焊方法	191
第九章 扩散焊	191
§ 9-1 概述	191
一、定义与优点	191
二、发展概况	191
三、分类	192
§ 9-2 扩散焊接过程分析	192
一、固态扩散焊接过程	193
二、瞬态液相扩散焊接过程	194
§ 9-3 扩散焊规范参数的选择	195
一、温度	196
二、压力	197
三、保温扩散时间	199
四、焊接表面状态	200
五、母材的物理特性	201
§ 9-4 常用材料的扩散焊	201
一、钢的扩散焊	201
二、镍基合金的扩散焊接	202
三、铝及铝合金的扩散焊	203
四、钛及钛合金的扩散焊	203
五、金属与陶瓷的扩散焊	204
§ 9-5 扩散焊机	204
一、扩散焊机的组成	204
二、常用扩散焊机	207
第十章 超声波焊	209
§ 10-1 概述	209
一、超声波焊接方法及其分类	209
二、超声波焊接的特点和应用	216

§ 10-2 超声波焊接过程及工艺参数	211	一、理想的焊接条件	234
对质量的影响	211	二、焊接参数对接头质量的影响	235
一、超声波焊接过程和结合机理	211	三、焊接规范的选择	237
二、超声波焊接工艺	214	§ 11-4 常用材料的摩擦焊	237
§ 10-3 常用材料的超声波焊接	218	一、金属的摩擦焊焊接性	237
一、金属材料的超声波焊接	218	二、摩擦焊的接头型式	239
二、不同性质及不同厚度的金属材料	221	三、典型工件的摩擦焊	241
超声波焊接	221	§ 11-5 摩擦焊机	244
§ 10-4 超声波焊机简介	221	第十二章 旋弧焊、爆炸焊、磁力	
一、超声波焊机的组成	221	脉冲焊	246
二、超声波发生器	221	§ 12-1 旋弧焊	246
三、超声波电—声换能器系统	222	一、概述	246
四、国产超声波焊机	223	二、焊接过程分析	248
第十一章 摩擦焊	224	三、规范参数选择	249
§ 11-1 概述	224	四、旋弧焊机简介	251
一、摩擦焊原理及分类	224	§ 12-2 爆炸焊	251
二、摩擦焊的特点与应用	226	一、概述	251
§ 11-2 摩擦焊过程的分析	228	二、焊接过程分析	253
一、焊接过程	228	三、规范参数选择	254
二、接头的金属组织与性能	231	§ 12-3 磁力脉冲焊	255
三、摩擦焊热源的特点	231	参考文献	257
§ 11-3 摩擦焊规范参数的选择	234		

绪 论

压力焊是焊接科学技术的重要组成部分之一，广泛应用于航空、航天、原子能、电子技术、汽车——拖拉机制造及轻工等工业部门。统计资料表明，用压力焊完成的焊接量，每年约占世界总焊接量的1/3，并有继续增加的趋势。

压力焊 (pressure welding) ① 焊接过程中，必须对焊件施加压力（加热或不加热），以完成焊接的方法。

一、压力焊的物理本质

众所周知，焊接过程的本质就是通过适当的物理—化学过程，使两个分离表面的金属原子接近到晶格距离（0.3~0.5nm），形成金属键，从而使两金属连为一体，达到焊接的目的。这一适当的物理—化学过程，在压力焊中是通过对接区施加一定的压力而实现的。压力的大小同材料的种类、所处温度、焊接环境和介质等有关，而压力的性质可以是静压力、冲击压力或爆炸力。

在少数压力焊过程中（点焊、缝焊等），焊接区金属熔化并同时被施加压力：加热→熔化→冶金反应→凝固→固态相变→形成接头，类似于熔化焊的一般过程。但是，由于有压力的作用，提高了焊接接头的质量。

多数压力焊过程中，焊接区金属仍处于固相状态，依赖于在压力（不加热或伴以加热）作用下产生的塑性变形、再结晶和扩散等作用形成接头，这里强调了压力对形成接头的主导作用。但是，对加热可促进焊接过程的进行和更易于实现焊接，也应予以充分注意。因为加热可提高金属的塑性，降低金属变形阻力，显著减小所需压力。同时，加热又能增加金属原子的活动能力和扩散速度，促进原子间的相互作用。例如，铝在室温下其对接端面的变形度要达到60%以上才可以实现焊接（冷压焊），而当对接端面被加热至400℃时，则只需8%的变形度就能实现焊接（电阻对焊）。当然，此时所施加的压力亦将大为降低。压力和加热温度之间存在着一定关系，图1示意表明，焊接区金属加热的温度愈低，实现焊接所需的压力就愈大。显然，冷压焊时所需压力为最大，扩散焊时为最小，而熔化焊时则不需要压力。一般说来，这种固相焊接接头的质量，主要取决于对口表面氧化膜（室温下其厚度为1~5nm）和其它不洁物在焊接过程中被清除的程度，并总是与接头部位的温度、压力、变形和若干场合下的其它因素（如超声波焊接时的摩擦、扩散焊时的真空度等）有关。

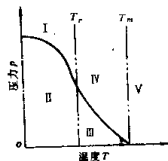


图1 压力与加热温度的关系
I—冷压焊区 II—非焊接区 III—扩散焊区 IV—热压焊区 V—熔化焊区
 T_m —熔点 T_r —再结晶温度

二、压力焊的分类及发展过程

压力焊种类繁多，其基本组成见图2。

1. 电阻焊

① 引自GB3375—82焊接名词术语：本书中所有焊接名词术语除特别注明者外，均引自此国家标准。

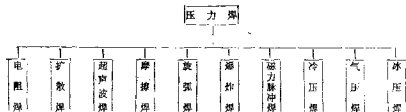


图2 压力焊的分类

电阻焊由点焊、缝焊、对焊和对接缝焊等焊接方法组成。其中，点焊原理见图 3a，焊件 3 由铜合金电极 2 压紧后通电加热，至焊件内部形成应有尺寸的熔化核心 4 为止；切断电流待核心冷却凝固后去除压力，焊件间即靠此焊点形成牢固接头。对焊中的电阻对焊原理见图 3b，将焊件 3 置于夹钳电极 2 中夹紧，并使两焊件端面压紧，然后通电加热，当焊件端面及附近金属加热到一定温度时，突然增大压力进行顶锻，两焊件便在固态下形成牢固的对接接头 4。

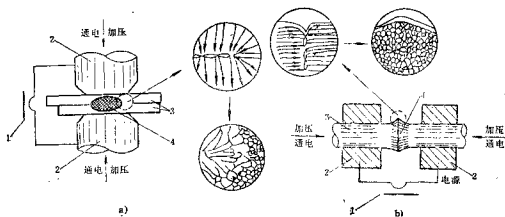


图3 电阻焊原理

a) 点焊原理 b) 电阻对焊原理

1—焊接变压器 2—电极 3—焊件 4—熔核(a)或对接接头(b)

2. 摩擦焊

摩擦焊原理见图 4。将两焊件夹紧并旋转其中的一个焊件（图 4a）；推进另一焊件使两焊件端面紧密接触（图 4b）；旋转运动 n 和推力 P （摩擦压力）产生的摩擦使端面及其邻近金属的温度迅速升高（图 4c）；停止旋转并施加更大的推力 P （顶锻压力）完成焊接（图 4d）。

3. 旋弧焊

旋弧焊原理见图 5。将两根管子靠在一起，焊口放在磁场线圈中间（图 5a）；接通焊接电源、激磁电源和保护气体，将两焊件端面相互移开一定距离引弧（图 5b）；电弧旋转，工件端部开始熔化（图 5c）；对两根管子施加轴向压力 P ，切断电流、磁场和保护气体，完成焊接（图 5d）。

4. 扩散焊

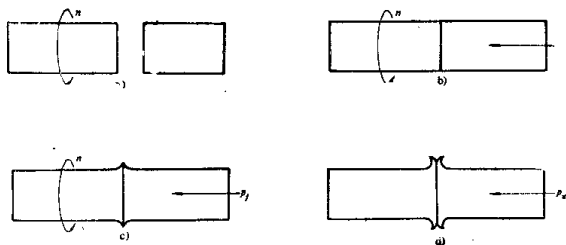


图4 摩擦焊接过程

a) 装夹 b) 接触 c) 摩擦 d) 顶锻

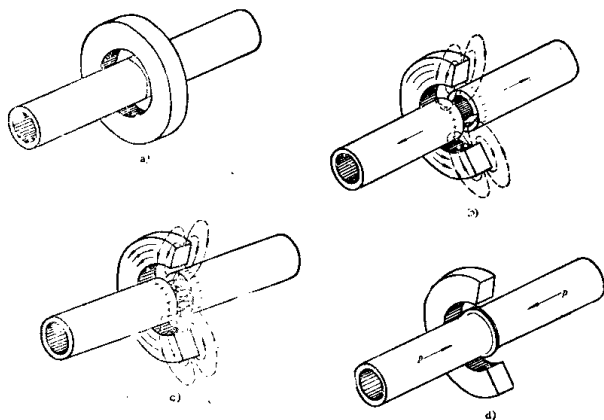


图5 旋弧焊原理

a) 初始状态 b) 焊接开始 c) 焊接过程 d) 焊接结束

扩散焊（图6），是将两焊件紧密贴合并置于真空或保护气氛中加热，在一定温度和压力下保持一段时间，使接触面之间的原子相互扩散以完成焊接的一种压焊方法。在焊接过程中母材一般不发生熔化和宏观塑性变形。

5. 超声波焊

超声波焊（图7），两块焊件在压力作用下，利用声极发出超声波的高频振荡，使焊件表

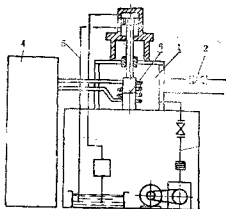


图6 扩散焊装置示意图

1—真空室 2—冷却水系统 3—抽真空系统 4—加热器及加热器 5—液压加压系统 6—焊件

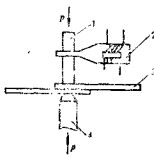


图7 超声波点焊

1—焊板 2—焊件 3—焊件 4—基板

而产生强烈的摩擦作用，清除表面氧化物并局部加热而实现焊接的一种压焊方法。仅适用于薄片，尤其是微电子焊接。

6. 爆炸焊

爆炸焊原理见图8。当炸药沿覆板表面被逐步引爆时，巨大的冲击力造成覆板局部变形并在分开间隔内加速运动与基板猛烈撞击，在撞击点产生射流，清洁了金属表面，使覆板与基板在高压下紧密结合实现焊接。

7. 磁力脉冲焊

磁力脉冲焊原理见图9。当磁场线圈中瞬间流过强大的脉冲电流时，在待焊管中将产生方向相反的感应电流。感应电流所产生的磁场和线圈电流所产生的磁场之间的相互作用就产生一个高强度的压力 P ，该力使得待焊管变形并向管内侧装配的管或棒材冲撞，使二者压接在一起实现常温压焊。显然，磁力脉冲技术不仅可用于焊接，还可用于金属成形。

8. 冷压焊

在没有外部热源或电流作用条件下，仅仅利用在室温下对工件施加压力的方法（压力可由液压或机械压力机、辗压机，专用的冷压焊钳和冷压焊机提供），使金属产生塑性变形，而实现固态焊接的一种方法。冷压焊的基本要求是被连接的金属中至少有一种金属应具有很高的塑性，并且不会有严重的加工硬化。典型冷压焊接头见图10。

9. 气压焊

气压焊是用气体火焰加热两焊件端面，在压力作用下获得牢固接头的焊接方法。以其过

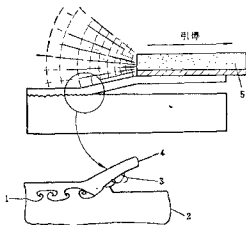


图8 爆炸焊原理

1—焊缝 2—基板 3—射流 4—覆板 5—炸药

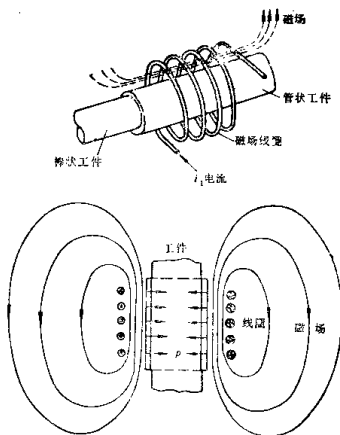


图9 磁力脉冲焊原理

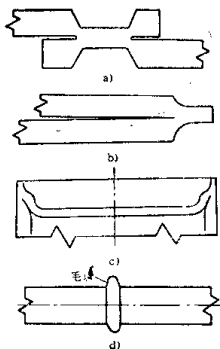


图10 冷压焊接头形式

a) 搭接接头 b) 端接接头 c) 轨扁接头 d) 对接接头

程特点可分为两种：

接头闭合法气压焊 以适当压力，将零件需连接的清洁表面对顶到一起，并用气体火焰加热，直到接头达到预定的顶锻量。

接头散开法气压焊 先用气体火焰将待焊表面分别加热到熔化，然后使之接触和迅速顶锻。

气压焊时一般使用圆环状多头焊炬，焊炬头是可以对开的。

10. 冰压焊

冰压焊是利用水凝固成冰时产生的膨胀力(可高达2000MPa)作为焊接压力,实现常温压焊的一种方法。当冰压装置采用多段增压结构时,可获得5000~10000MPa的焊接压力。

压力焊具有悠久的历史,早在春秋战国时期,已经懂得以黄泥作助熔剂,用加热锻打的方法把两块金属连接在一起,这就是锻焊——最古老的压力焊方法。有明确记载的是1885年美国E·汤姆逊(Elihu Thomson)教授取得的电阻对焊专利及1886年生产出第一台电阻对焊机,这是电阻焊历史的开始。1903年德国人首先使用了闪光对焊。以后,相继诞生了冷压焊(1948年)、超声波焊(1956年)、摩擦焊(1956年)、施弧焊(1959年)、爆炸焊(1963年)等压力焊方法。随着现代工业和科学技术的发展,又扩展出一些新的压力焊方法——扩散焊、磁力脉冲焊、冰压焊和水击焊等,促进了现代焊接技术的发展。

三、课程的目的及要求

1. 目的

通过本课程的学习,使同学能较好的掌握压力焊的基础理论,并结合常用金属材料及典型零件焊接特点分析,培养具有制订压力焊工艺及处理有关实际生产问题的能力。

2. 要求

(1) 掌握电阻焊的电热原理、接头形成过程等基础理论及规范参数对焊接质量影响的一般规律。

(2) 了解常用金属材料及典型零件的电阻焊特点,并能结合产品技术要求较正确的选择电阻焊设备及规范参数。

(3) 熟悉电阻焊机及控制装置的工作原理,能正确选择和合理使用。

(4) 了解其它压力焊方法的基本原理、工艺特点及适用范围,具有选择焊接工艺方法的一般概念。

第一篇 电 阻 焊

电阻焊 (resistance welding) 焊件组合后通过电极施加压力, 利用电流通过接头的接触面及邻近区域产生的电阻热进行焊接的方法。又称接触焊。

一、电阻焊的物理本质

电阻焊过程的物理本质, 是利用焊接区金属本身的电阻热和大量塑性变形能量, 使两个分离表面的金属原子之间接近到晶格距离, 形成金属键, 在结合面上产生足够量的共同晶粒而得到焊点、焊缝或对接接头。因此, 适当的热—机械 (力) 作用是获得电阻焊优质接头的基本条件。

二、电阻焊的分类

根据所使用的焊接电流波形特征、接头形式和工艺特点, 将电阻焊作如下分类, 见图11。

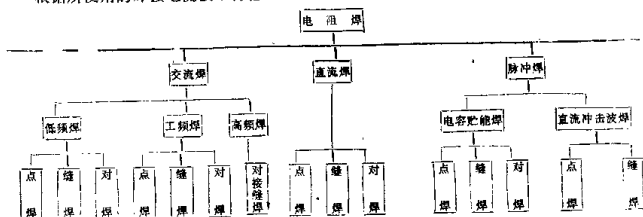


图11 电阻焊分类

说明:

(1) 交流焊中所用焊接电流频率: 低频为3~10Hz; 工频为50 (或60)Hz; 高频为2.5~450kHz。

(2) 点焊、缝焊、对焊和对接缝焊接头的基本形式见下表。

电阻焊接头的基本形式

点 焊	缝 焊	对 焊	对接缝焊

(3) 在实际中, 对某一电阻焊方法往往称呼其全名。例如, 工频交流点焊、直流冲击波缝焊、电容储能对焊、高频对接缝焊、次级整流点焊 (直流焊又称次级整流焊) 等。

三、电阻焊的优缺点

电阻焊与铆接或其它焊接方法相比, 具有接头质量高、辅助工序少、无须填充焊接材料及

文明生产等优点,尤其易于机械化、自动化生产的高效率,使其经济效益显著。例如,在1 min内可分别完成快速点焊640个焊点、次级整流缝焊26m或高频焊管200m。采用连续闪光对焊法生产铝合金车圈与采用氩弧焊方法相比,每生产10万辆自行车,仅此一项即可节约人民币66万元。电阻焊方法也存在一些缺点,例如,电阻焊接头质量的无损检验较为困难;电阻焊设备复杂、维修困难和一次性投资较高。

四、电阻焊的发展方向

1. 向节能方向发展

世界性的能源紧张在70年代已比较突出,为此,在电阻焊领域应大力发展和推广如下新技术:三相次级整流式和三相低频率电阻焊机,其输入容量比单相交流电阻焊机可减少到 $1/3 \sim 1/4$;采用硬规范点焊工艺和凸焊工艺比软规范点焊可节能 $1/3$;含集成阻焊变压器的同体型焊钳比固定式电阻焊机可节能 $1/3 \sim 1/5$;高频对接缝焊工艺仅为摩擦焊能量消耗的70%;内水冷薄电极缝焊可节能 $1/5$ 和提高电极使用寿命3倍;采用无顶锻电流连续闪光对焊法,其焊接功率比有预热和有顶锻电流闪光对焊可减少到 $1/5 \sim 1/6$ 。

2. 采用计算机技术控制电阻焊过程

(1) 焊接车间的集中控制和监视系统。法国Sciaky公司研制的该系统已有数种规格,分别可控制64、128、256台单独的电阻焊机(包括点焊机、焊钳、凸焊机和缝焊机)。可实现:代替原焊机上的时间调节器(即程序控制电路);监控引燃管或晶闸管的触发;自动补偿网压波动;进行功率因数的自动调整;自动进行热量调节;发出电极更换信号;合理安排各焊机工作次序及通电时间,使电网负荷均衡;打印出各台焊机工作状态记录。

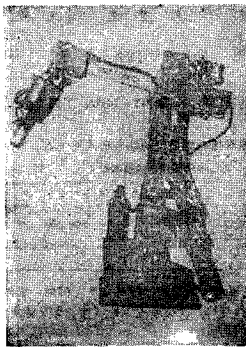


图12 HRGD-1型点焊机机器人

(2) 微处理机质量监控器的应用 法国Sciaky公司用一台内存28K的微处理机来控制汽车轮幅点焊机, 利用焊件动态电阻变化曲线与标准曲线对比来监视焊点质量, 同时并承担焊机的其它所有逻辑控制, 据称这种装置已有35套在实际中使用。国内也已研制成功用单板或单片机来控制工频交流点焊机, 并利用“热膨胀位移法”、“动态电阻法”和“恒流法”等来监控焊点质量, 例如, KDWJ-1型交流点焊微机控制箱。

3. 机械手在电阻焊方面的应用

目前在焊接领域中机械手应用得最多的是电阻点焊, 其代表为点焊机器人 (Spot-Welding Robot)。根据世界工业机器人协会1983年底的统计, 目前全世界 (不包括苏联和东欧) 已用于生产的工业机器人总数为37000台, 其中点焊机器人的数量仅次于搬运机器人而居第二位。这些机器人大部分用在汽车制造业中, 机器人荷重为30~100kg、定位重复精度可达 ± 1 mm, 具有5~6个自由度。我国由哈尔滨工业大学设计研制的第一台HRGD-1型点焊机器人 (荷重65kg、图12), 已于1987年6月在第一届北京国际机器人及仪器仪表展览会上正式展出, 并用于HR-130汽车装配线上。

4. 采用联合工艺

为充分发挥电阻焊长处, 弥补其短处, 可采用胶接点焊、电阻钎焊等联合工艺。

第一章 电阻焊的加热

电阻焊接头是在热—机械（力）联合作用下形成的。电阻焊时的加热，是建立焊接温度场、促进焊接区塑性变形和获得优质连接的基本条件。因此，必须了解电阻焊的热源基础和焊接时的加热特点。

§1-1 电阻焊的热源及其特点

一、电阻焊的热源

电阻焊的热源是电阻热。由电工学可知，电流通过导体时，导体将析热，其温度会升高，这是因为导体电阻吸收的电能转换成热能的缘故，这种现象称为电流的热效应。同样，电阻焊时，当焊接电流通过两电极间的金属区域——焊接区时，由于焊接区具有电阻（图1-1），亦会析热，并在焊件内部形成热源——内部热源。

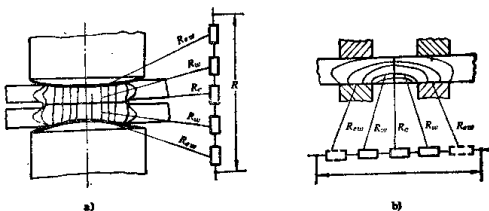


图1-1 焊接区示意图和等效电路图

a) 点焊 b) 对焊

R —焊接区总电阻 R_{ew} —电极与焊件间接触电阻 R_w —焊件内部电阻 R_c —焊件间接触电阻

根据焦耳定律，焊接区的总析热量

$$Q = I^2 R t \quad (1-1)$$

式中 I ——焊接电流的有效值^①；

R ——焊接区总电阻的平均值；

t ——通过焊接电流的时间。

由于在电阻焊过程中，焊接电流和焊接区电阻并非保持不变（图1-2），因此焊接热源总析热量 Q 的确切表达式为：

$$Q = \int_0^t i^2 r dt \quad (1-2)$$

① 在电阻焊中，实际指平均有效值。例如，用MM-308A型焊接检验器（官地电子株式会社出品）实测焊接电流，仪器将给出在设定的通电时间内各周期电流有效值之和与所测周期数之比，该值即为焊接电流的（平均）有效值。

式中 i ——焊接电流的瞬时值, 是时间的函数;
 r ——焊接区总电阻的动态电阻值, 是时间的函数;
 t ——通过焊接电流的时间。

对于点焊和缝焊, 焊接热源总析热量还可以写成

$$Q = \int_0^t i^2 (r_0 + 2r_{0e} + 2r_w) dt \quad (1-3)$$

式中 r_0 ——焊件间接触电阻的动态电阻值, 是时间的函数;
 $2r_{0e}$ ——电极与焊件间接触电阻的动态电阻值, 是时间的函数;
 $2r_w$ ——焊件内部电阻的动态电阻值, 是时间的函数。

对于对焊, 由于夹钳电极对焊件的夹紧力很大, 所以电极与焊件间接触电阻很小。同时, 该电阻又远离接合面, 其析热对加热过程所起作用甚小, 可忽略不计。故

$$Q = \int_0^t i^2 (r_0 + 2r_w) dt \quad (1-4)$$

二、电阻焊热源的特点

电阻焊热源产生于焊件内部, 与熔化焊时的外部热源 (电弧、气体火焰等) 相比, 对焊接区的加热更为迅速、集中。例如, 电容储能焊机点焊薄钢板时, 焊接区的平均加热速度可高达 10^6 °C/s 数量级。随着加热速度的提高, 将给接头的组织与性能带来新的影响。其中, 由于碳元素来不及扩散均匀, 20号低碳钢点焊接头中会发现罕见的马氏体组织。

内部热源使整个焊接区发热, 为获得合理的温度分布 (例如, 点焊时应使焊件贴合面^①处温度高, 而表面温度低), 散热作用在电阻焊的加热中具有重要意义。在点焊、对焊中, 主要依靠内部水冷的铜合金电极对焊接区的急冷作用来实现; 在缝焊时, 为进一步提高散热效果、保证焊接质量, 还需用冷却水直接冲刷焊接区。

电阻焊的加热过程与金属材料的热物理性质 (尤其是材料的导电性和导热性) 关系密切。一般说, 导电性、导热性良好的金属材料 (铝、铜合金等), 由于析热少而散热快, 其焊接性较差; 而导电性、导热性较差的金属材料 (低碳钢等) 则易于焊接。

综上所述, 电阻焊的热源是电阻热。产生电阻热的内在因素是焊接区具有一定的电阻, 产生电阻热的外部条件是电阻焊时焊接区要通以强大的焊接电流。由于该热源产生于焊件内部, 具有内部热源的特点。

§1-2 点焊时的电阻及加热

一、点焊时的电阻

点焊焊接区总电阻 R , 由焊件间接触电阻 R_0 、电极与焊件间接触电阻 $2R_{0e}$ 及焊件本身的

① 贴合面 (faying surface) 点焊和缝焊时, 在电极正压力作用下, 两焊件彼此紧密接触的表面。

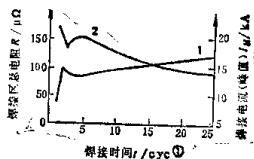


图1-2 点焊动态参数测量曲线

1—焊接电流的动态曲线 2—焊接区总电阻的动态曲线

(测试条件 1. SO432型点焊机; 2. 低碳钢、板厚1.2+1.2mm; 3. 电极压力 $F_{0e} = 2500$ N; 4. 电极球面半径 $R = 70$ mm)

① cyc(cycle)——周波时间, 即0.02s。