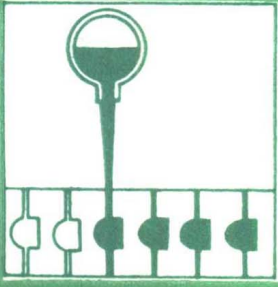


高等学校试用教材

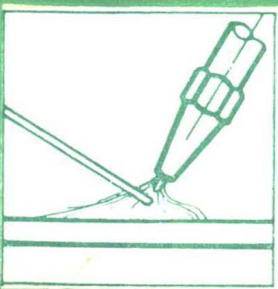
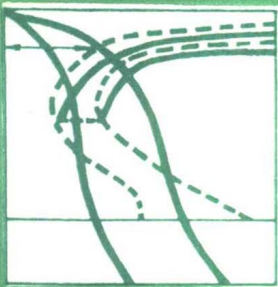


焊接方法及设备

第二分册

电阻焊

西北工业大学毕惠琴 主编



机械工业出版社

高等学校试用教材

焊接方法及设备

第二分册

电阻焊

西北工业大学毕惠琴 主编



机械工业出版社

本书系统地阐述了电阻焊（即接触焊）的原理、工艺和设备，加强了基础理论，反映了国内外电阻焊新的研究成果与生产经验。内容包括电阻焊接头形成的机理、缺陷分析、主要工艺过程、规范参数的选定、常用材料的焊接特点、焊机结构和控制装置的工作原理以及接头的检验方法等。

本书主要适用于高等学校焊接专业，也可供从事焊接工作的技术人员和工人参考。

焊接方法及设备

第二分册 电阻焊

西北工业大学毕惠琴 主编

*

机械工业出版社出版（北京阜成门外百万庄南街一号）

（北京市书刊出版业营业许可证出字第 117 号）

机械工业出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

*

开本 $787 \times 1092 \frac{1}{16}$ · 印张 $15 \frac{1}{2}$ · 字数 370 千字

1981 年 9 月北京第一版 · 1981 年 5 月北京第三次印刷

印数 18,001—20,600 · 定价 1.60 元

*

统一书号：15033·5063

前 言

本教材系根据高等学校一机部对口专业座谈会和焊接专业黄山会议所制订《焊接方法及设备》第二分册电阻焊的教学大纲编写的。内容包括电阻焊接头形成的机理、缺陷分析、主要工艺过程、规范参数的选定、常用材料的焊接特点、焊机结构和控制装置的工作原理以及接头检验方法等。

在编写中，注意加强电阻焊基本理论的阐述和反映国内外新的研究成果及生产经验；对有争论的观点从不同角度作了适当介绍。

本书讨论了电流场及电磁搅拌力在焊点形成中的作用以及热时间常数的影响；分析了核心中涡旋、环形层状花纹、裂纹、胡须以及飞溅的形成条件；结合实际阐述了几种典型零件的对焊；介绍了国外生产中常用规范图表和有镀层钢板、微型元件的焊接特点等。此外，还介绍了整流电源与谐波传动机构等，并较深入地讨论了同步控制电路的工作原理。

书中所列举的工艺规范、接头尺寸等数据和图表，可供生产和分析问题参考。鉴于国内生产实际情况，还介绍了典型电子管同步控制电路。对材料牌号和性能、各类电阻焊机的技术规格、控制箱的电气元件规格等，因已编入专门手册，本书从简。

本教材由西北工业大学毕惠琴同志主编，哈尔滨工业大学崔维达、西北工业大学嵇菊生同志协编并分工编写第五章。全书由北京航空学院张义淑同志主审，陈球武同志协审。西北工业大学吴禄同志，黄清用同志对本书提出了不少宝贵意见。一机部教材编辑室董连仁同志为本书责任编辑。

由于水平所限，书中肯定有不少疏漏和错误，恳切希望使用本教材的教师和读者批评指正。

基本符号表

符 号	代 表 内 容	符 号	代 表 内 容
a	导温系数、核心熔化高度	v_d	顶锻速度
b	宽度	v_f	闪光速度
c	比热容、压坑深度	v_w	焊接速度
d	直径	x	距离、座标
d_h	核心直径	X_b	次级绕组感抗
d_0	原始接触面直径	X_L	焊接回路感抗
d_{d_j}	电极工作端面直径	X_w	焊件感抗
d_{b_j}	电极与板件间接触面直径	A	安培
d_e	板件间接触面直径	A_0	系数
e	电源电压瞬时值	$A\%$	焊透率
f	频率、摩擦力	B	变压器、滚盘宽度
f_0	机头导轨摩擦力	C	电容、热容量、长度
f_d	单位顶锻压力	D	焊点塑性环直径、凸点尺寸
h	熔化核心高度, 凸点高度	E	电位、电势、弹性模数
i	速比、瞬时电流值	E_c	电源电压
j	电流密度	F	力、面积、电极压力
j_h	平均电流密度	F_c	接触面积
j_w	焊接电流密度	F_{ch}	焊接回路电磁斥力
k	系数	F_d	锻压力、顶锻力
l	位移量、焊件伸出长度	F_j	夹紧力、电磁力
l_h	熔化核心长度	F_w	焊接压力、电极压力
m	集肤效应系数	F_y	预压力
m_0	熔化潜热	F_w	涡流电流电磁力
n	转数	G	重量
o	原点	H	焊接回路高度
q	单位时间的热功率	I	电流
q_t	单位时间闪光量	I_f	附加电流
r	座标轴, 半径	I_F	分流电流
r_b	变压器次级绕组有效电阻	I_m	电流幅值
r_t	热阻率	I_0	空载电流
r_L	焊接回路构件有效电阻	I_w	焊接电流
s	秒、面积、距离	I_y	预热电流
t	时间、温度	I_{2d}	次级短路电流
t_d	锻压时间、顶锻时间	K	变压比、系数
t_f	附加电流持续时间、闪光时间	L	搭边尺寸、焊接回路长度、自感系数
t_g	间隔时间	N	疲劳循环次数
t_p	锻压力上升时间	P	强度
t_w	焊接时间	P_b	正拉强度
t_y	预压时间, 预热时间	P_c	拉断强度、铜损
t_z	滞后时间	P_i	铁损
t_x	休止时间	P_0	空载功率损失、过梁内轴向拉力
t_n	总时间	P_p	过梁内垂直方向电磁力
u	电压瞬时值	P_y	过梁内径向电磁力
v	速度	$P_{\Sigma r}$	输入功率

(续)

符 号	代 表 内 容	符 号	代 表 内 容
P_w	焊接功率、有效功率	T_y	预热温度
P_τ	抗剪强度	T_z	焊热加热终了温度
Q	热量	U	电压
Q_{sh}	损失热量	U_{20}	变压器次级空载电压
Q_{cs}	产生热量	U_c	网压
Q_{yx}	有效热量	U_g	栅压
R	电阻、总电阻、半径	V	体积
R_b	板件内部电阻	X	感抗
R_c	接触电阻	Z	阻抗
R_F	分路电阻	δ	厚度
R_g	对焊件内部电阻	δ_0	原始板厚
R_t	瞬时电阻	δ_r	对口处熔化层厚度
R_w	焊接电阻	ρ	电阻率、密度
R_{bj}	电极-板件间接触电阻	ρ_t	加热为 t 时间的电阻率
R_{gj}	电极-工件间接触电阻	γ	重度
R_{dj}	球面电极的半径	τ	时间常数、热时间常数
S	移动距离、视在功率	λ	导热系数
S_d	点距	σ	物质密度
S_h	面积	α	电阻温度系数、引燃角、控制角
S_{bj}	滚盘-板件间接触面积	σ_b	抗拉强度
T	温度、晶体管	σ_τ	抗剪强度
T_f	闪光温度	η	效率
T_h	缓冷最大温度	μ	导磁率
T_m	最大稳定温度	ω	匝数
T_M	马氏体转变温度	φ	相位角
T_0	原始温度	θ	导通角
T_r	熔化温度	$II\%$	负载持续率
T_s	金属塑性温度	Δ_f	闪光留量
T_w	焊接温度		

目 录

绪论	F
一、何谓电阻焊	F
二、电阻焊的分类	F
三、电阻焊的优缺点	7
四、电阻焊的发展方向	8
第一章 点焊和缝焊的基本理论	10
§ 1-1 金属的加热	10
一、焊接区的电阻	11
(一) 接触电阻 R_c	11
(二) 板件内部电阻 R_b	13
(三) 点焊过程的全电阻 R	16
(四) R_c 与 R_b 对焊接过程加热的影响	17
(五) 缝焊的电流场及电阻	21
二、点焊与缝焊的热过程	22
(一) 点焊的加热	23
(二) 缝焊的加热	26
(三) 热时间常数 τ	27
§ 1-2 接头的形成	30
一、预压阶段	31
二、加热熔化阶段	32
(一) 熔化核心的形成	32
(二) 熔化阶段的几个现象	33
三、冷却结晶阶段	38
(一) 熔化核心结晶的过程及其特点	38
(二) 核心冷却结晶过程中常出现的问题	39
第二章 点焊与缝焊	47
§ 2-1 点焊工艺	47
一、点焊的一般要求	47
二、点焊规范参数	49
(一) 工艺参数对质量的影响	49
(二) 各参数间相互关系	51
(三) 规范参数的选择	52
三、表面准备与分流	57
(一) 表面准备	57
(二) 分流	59
四、特殊情况的点焊工艺	61

(一) 不同厚度、不同材料的焊接	61
(二) 单面点焊	66
(三) 微型零件点焊	67
§ 2-2 缝焊工艺	70
一、缝焊的特点	70
二、缝焊规范参数及其对接头质量的影响	70
(一) 缝焊规范参数的特点	70
(二) 缝焊规范参数的选择	75
三、特殊形式接头的缝焊特点	77
(一) 单面缝焊	77
(二) 垫箔带零件对接缝焊	77
(三) 小直径圆周与周缘缝焊	80
§ 2-3 凸焊工艺	81
一、凸焊接头形成过程	82
二、凸焊接头的准备工作	83
三、凸焊规范参数的选择	84
§ 2-4 常用金属材料点焊、缝焊的特点	85
一、低碳钢与低合金钢的焊接	87
(一) 低碳钢的焊接	87
(二) 低合金钢的焊接	89
(三) 涂覆层钢的焊接特点	90
二、不锈钢与耐热合金的焊接	93
三、铝合金的焊接	95
四、其他合金	97
§ 2-5 点焊机与缝焊机	98
一、焊机的分类及组成	98
二、加压机构	99
(一) 对加压机构的要求	99
(二) 常用加压机构	100
三、缝焊机的传动、减速与导电机构	103
(一) 常用减速、传动机构	104
(二) 导电机构	105
四、焊接回路及其它	106
五、电极	108
(一) 对电极材料的要求	108
(二) 电极形式	109
第三章 电阻焊电源及控制装置	114
§ 3-1 电阻焊电源	114
一、电阻焊电源变压器特点和功率调节	114
(一) 电阻焊电源变压器的特点	114
(二) 电阻焊变压器的功率调节	114
(三) 电阻焊变压器的结构	116

二、电阻焊机的主要电参数及外特性	118
(一) 电阻焊机的主要电参数	118
(二) 电阻焊机外特性曲线及其应用	121
(三) 电阻焊过渡过程简介	122
三、其他电阻焊电源	124
(一) 电容贮能供电方式	124
(二) 直流脉冲供电方式	125
(三) 低频供电方式	125
(四) 次级整流供电方式	126
(五) 高频供电方式	129
§ 3-2 控制装置	129
一、开关装置	129
二、半导体同步控制装置	132
(一) 同步控制装置的要求	132
(二) KD7 (改型) 同步控制箱的特点及其电路组成	132
(三) KD7 (改型) 控制装置的基本工作原理	133
(四) KD7 (改型) 控制装置动作顺序	145
§ 3-3 KD型点焊同步控制箱	147
一、电路基本工作原理	149
(一) 主动力电路	149
(二) 引燃电路	153
(三) 整流电路	155
(四) 整步电路	155
(五) 触发电路	157
(六) 移相、校正电路	162
(七) 稳压电路	166
(八) 辅助电路	168
二、全机电路工作过程	168
(一) 准备工作	168
(二) 焊接	169
(三) 同步控制箱的调节	169
三、故障分析方法	169
(一) 分析方法	169
(二) 故障分析举例	169
四、控制箱的使用	170
五、技术数据	170
§ 3-4 质量控制	171
第四章 电阻焊接头质量的检验	177
§ 4-1 点焊、缝焊接头的强度	177
§ 4-2 点焊、缝焊接头的缺陷	181
§ 4-3 点焊、缝焊接头质量的检验	184
一、工艺试验与气密性试验	185

二、焊点内部缺陷的检验	185
第五章 对焊	188
§ 5-1 对焊的应用及其分类	188
§ 5-2 电阻对焊	190
一、热源	190
二、电阻对焊的加热	192
三、电阻对焊的接头形成	193
四、电阻对焊的特点及其获得优质接头的条件	194
五、电阻对焊的工艺参数	195
§ 5-3 闪光对焊	196
一、闪光对焊的加热	196
二、闪光阶段	197
三、顶锻阶段	199
四、获得优质接头的条件	200
五、预热闪光对焊	201
六、闪光对焊的规范参数及其对接头质量的影响	202
§ 5-4 常用金属材料的对焊特点	206
一、焊前零件准备	206
二、常用材料的对焊	206
§ 5-5 几种典型零件的对焊工艺	213
一、杆件的焊接	213
二、薄板的焊接	214
三、环形零件的焊接	218
四、管子对焊	220
五、刀具对焊	221
六、钢轨对焊	224
§ 5-6 对焊设备	225
一、对焊机的组成与分类	225
二、机架和导轨	226
三、送进机构	226
四、夹紧机构	231
五、对焊机焊接回路	234
六、对焊机的功率范围及选择	236
主要参考文献	236

绪 论

电阻焊又称接触焊，属压焊范畴，是主要的焊接方法之一。在航空、汽车、锅炉、地铁车辆、自行车、量具刃具、无线电器件……等工业中都得到广泛应用。如美国 F4-U 飞机上有一百多万个焊点；日本某些铝制高速地铁车辆每台约有一万个焊点；粗大管道一次可对焊 18000 平方毫米，而细小的微电子元件焊接处却只有几个微米；一辆轿车至少有 5000 个焊点，缝焊长达 40 米以上。此外，汽车车身、厢体、轮圈大都采用了电阻焊生产自动线；先进的汽车公司在自动线上还大量使用了用于电阻焊的机械手、机器人；船舶的大型锚链对焊也已自动化。图 1~3 为几种典型产品。

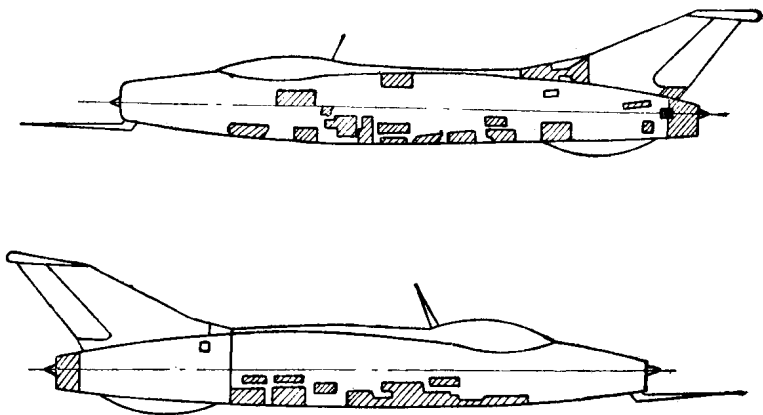


图 1 某型飞机点焊零件位置示意图

一、何谓电阻焊

如图 4 所示，将准备连接的工件置于两电极之间加压，并对焊接处通以电流，利用工件电阻产生的热量加热并形成局部熔化（或达塑性状态），断电后，在压力继续作用下，形成牢固接头。这种工艺过程即称为电阻焊。

可见，电阻焊有如下两个最显著的特点：

1. 采用内部热源——利用电流通过焊接区的电阻产生的热量进行加热。
2. 必须施加压力——在压力作用下，通电加热、冷却，形成接头。

要形成一个牢固的永久性的焊接接头，两工件间必须有足够量的共同晶粒。熔化焊是利用外加热源使连接处熔化、凝固结晶而形成焊缝；而电阻焊则利用本身的电阻热及大量塑性变形能量，形成结合面的共同晶粒而得到焊点、焊缝或对接接头（图 6）。从连接的物理本质来看，二者都是靠工件金属原子之间的结合力结合在一起的，但它们之间的热源不同，在接头形成过程中有无必要的塑性变形也不同，即实现接头牢固结合的途径不同。这便是电阻焊与一般熔化焊的异同之处。

由此可见，要获得适当的电阻热，必须有外加电源，并始终在压力作用下进行焊接。所以，焊接电流 I_w ，电极压力 F_w 是形成电阻焊接头的最基本条件。至于焊接过程中这两个参数应如何变化，则要根据焊件材料、结构特点及现有焊接设备的不同而定。

二、电阻焊的分类

电阻焊种类很多，一般可根据接头形式和工艺方法、电流以及电源能量种类来划分，如图 5 所示。



图2 汽车装配焊接线

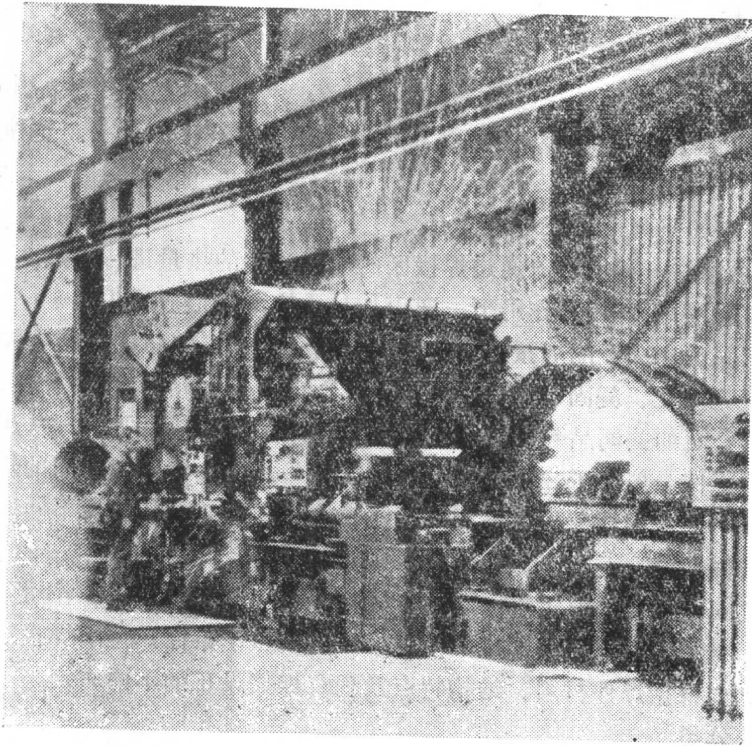


图3 薄板闪光对焊

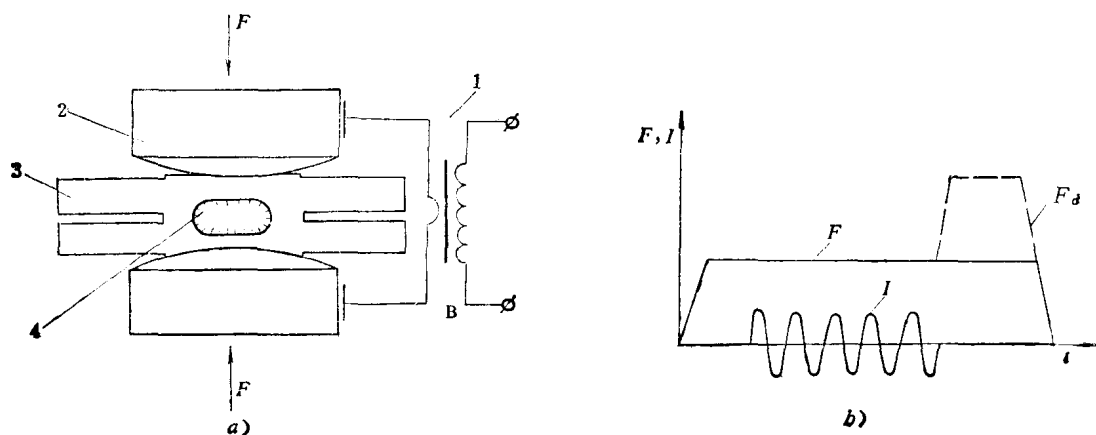


图4 电阻焊原理图

a) 原理图 b) 点焊过程循环图

1—变压器 2—电极 3—板件 4—熔化核心

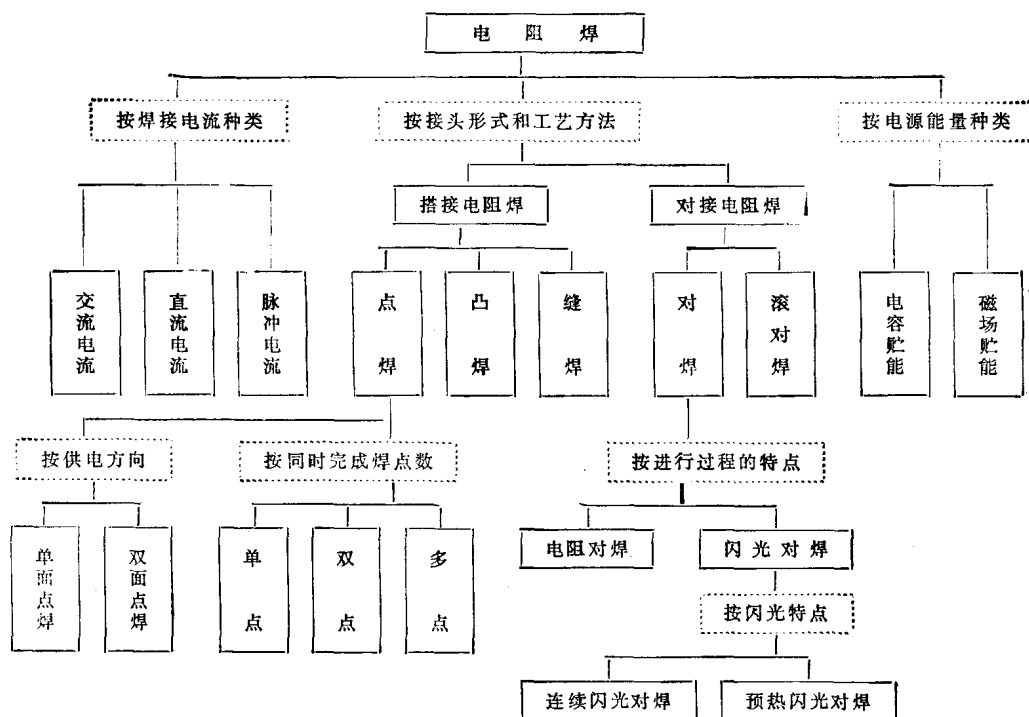


图5 电阻焊分类

(一) 按接头形式和工艺方法分类

按接头形式分为搭接电阻焊和对接电阻焊两种。结合工艺方法，则可分为点焊、缝焊及对焊等几类。点焊、缝焊一般都是搭接接头，个别情况下也采用对接接头；对焊零件均采用对接接头。点焊、缝焊、对焊接头示意图可参看图6。

1. 点焊 点焊时，工件间靠尺寸不大的焊点形成牢固接头。如图4a)所示，板件3由铜合金电极2压紧后通电加热，至工件内部形成应有尺寸的熔化核心4为止，切断电流，核心冷

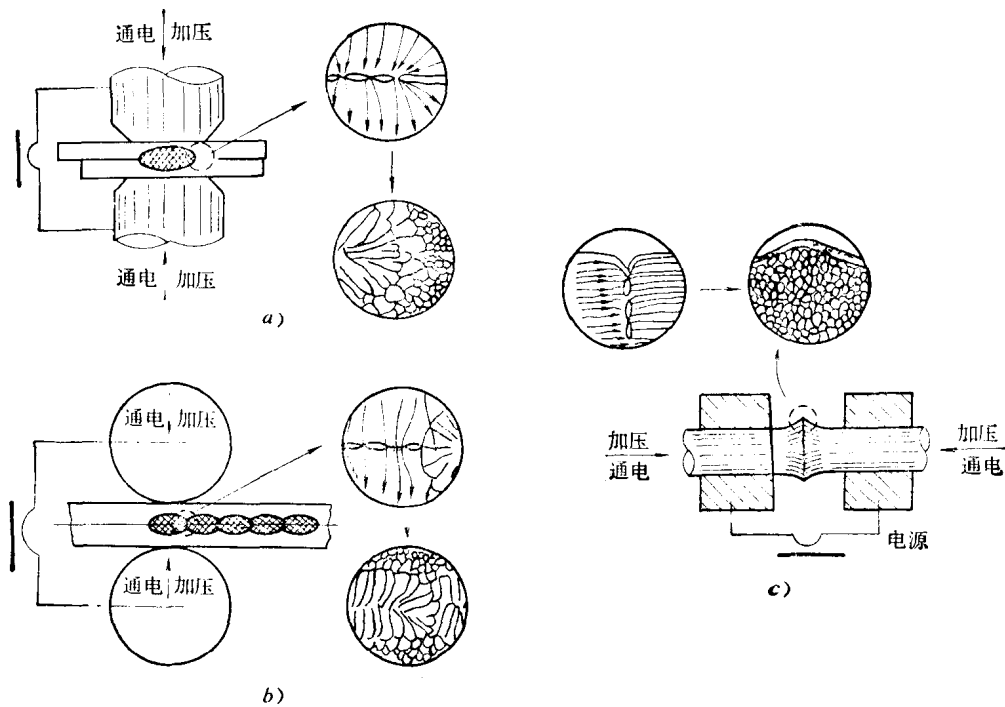


图6 接头示意图

a) 点焊接头 b) 缝焊接头 c) 对接接头

却凝固后去除压力。核心周围的环状塑性变形区称为塑性环，可隔绝周围气氛对核心熔化金属的侵袭，并可防止飞溅。点焊过程循环图如图4b)所示。

按对工件供电的方向，点焊可分为单面点焊与双面点焊两种。

单面点焊，是由工件一侧供电(图7)，多在工件较大，夹具笨重，移动不便，或受通用焊机机臂尺寸限制时使用。用单面点焊可直接在装配夹具上装配，能较好地保证装配精度，在汽车、飞机等薄板冲压件装配焊接的生产线上采用甚多。

双面点焊，是由工件两侧对两个零件供电(图8)，可用两个电极，或一面是电极，另一面为导电垫板，以保护焊件表面涂覆层。

点焊按一次形成的焊点数可分为单点、双点或多点点焊。

2. 凸焊 凸焊是点焊的一种变态，在成批生产中得到广泛应用。它主要用于将较小的零件(如螺母、垫圈等)焊到较大零件上去，或两种均为大面积零件的焊接(图9)。凸焊时，工件首先在预制的凸点、凸环或零件原有倒角、凸肩处相接触。开始通电时，电

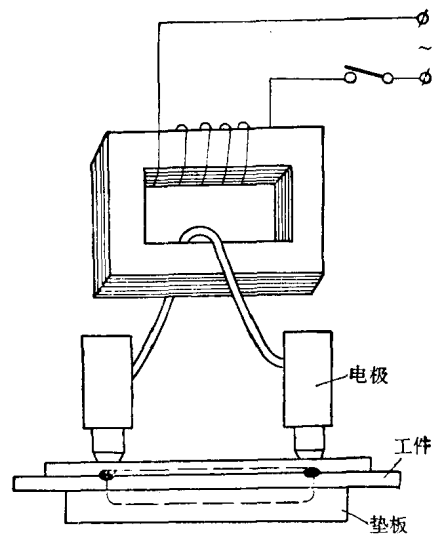


图7 单面点焊

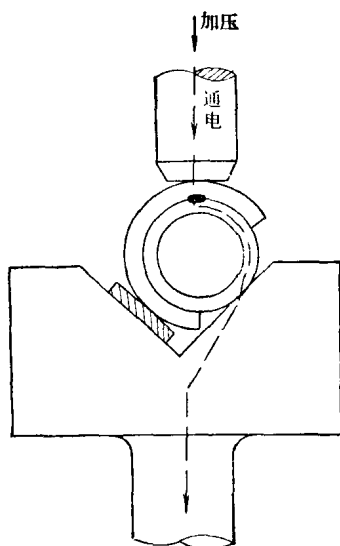


图8 双面点焊

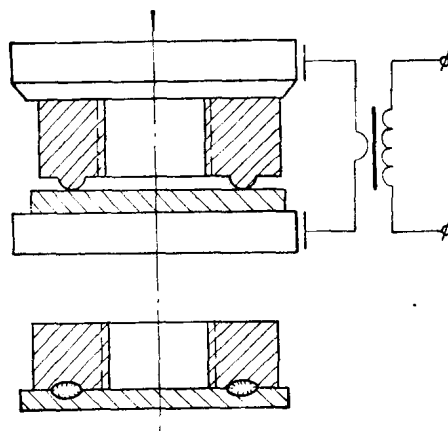


图9 凸焊原理示意图

流在凸点处密集，提高了电流密度。加热后，凸点变形、熔化而形成焊点。凸焊中因电流密集而热量集中，并改善了分流影响，从而节省了总能量。由于一次可完成多点的焊接，故提高了生产率。凸焊在汽车、飞机等制造工业中得到广泛应用，如汽车作动筒，飞机口盖、加强板、防尘网，无线电元件的管壳与管座等工件的焊接。

3. 缝焊 缝焊用滚盘代替电极，通常把一个个焊点相互重叠起来，形成类似连续点焊的焊缝。缝焊依滚盘转动与馈电方式分为：连续缝焊（滚盘连续滚动，电流连续接通）、断续缝焊（滚盘连续滚动，电流间歇接通）、步进式缝焊（滚盘滚动与通电均为间歇式，电流在滚盘不动时输入）。按供电方向或一次成缝特点也可分为单面缝焊、双面缝焊，及单缝缝焊、双缝缝焊等。一般情况下，缝焊皆用于有气密性要求的焊件，如油箱；或焊件组装，如火焰筒等，有时也可用于为提高点焊速度的滚点焊。缝焊过程与焊接循环见图10。

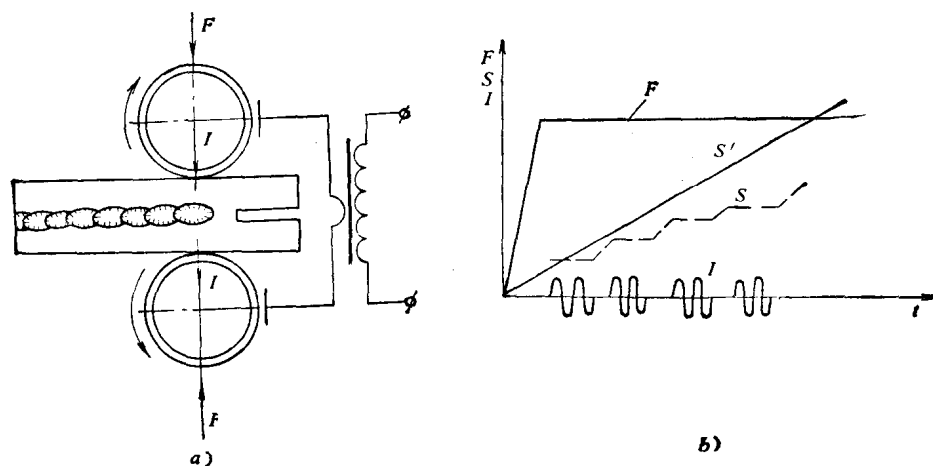


图10 缝焊及焊接循环

a) 缝焊 b) 缝焊焊接循环 S—工件断续移动距离 S'—工件连续移动距离

4. 对焊 对焊是电阻焊的另一大类，在造船、汽车及一般机械工业中占有重要地位，如船用锚链、汽车曲轴、飞机上操纵用拉杆、发动机中各种安装边等焊接中都有使用。

对焊件均为对接接头，按加压与通电方式分为电阻对焊、闪光对焊及滚对焊。对焊及其过程循环图，见图11。

电阻对焊时，将零件置于钳口（即电极）中夹紧，并使两零件端面压紧，然后通电加热，当零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，两零件便在固态下形成牢固的对接接头。

电阻对焊的接头较光滑，无毛刺，在管道、拉杆以及小链环中采用较多。由于对接面易受空气侵袭，形成夹杂物而降低接头冲击性能，所以受力要求较高的焊件应在保护气氛（如氮、氩等）下进行电阻对焊。

闪光对焊是将焊件置于钳口中夹紧后，先接通电源，再使焊件缓慢靠拢接触，因端面个别点的接触而形成火花，加热达一定程度（端面有熔化层，并沿长度有一定塑性区）后，突然加速送进焊件，并进行顶锻。这时熔化金属被全部挤出结合面之外，而靠大量塑性变形形成牢固接头。用这种方法所焊得的接头因加热区窄，端面加热均匀，接头质量较高，生产率也高，故常用于重要的受力对焊件，如涡轮轴、锅炉管道等。

断面尺寸大的对焊件，如钢轨、大直径油管等，为了保证较大的塑性变形区，使结合面加热均匀，节省金属，也可以采用预热闪光对焊。薄壁钢管多用滚对焊制造。

（二）按电流或电源能量分类

电阻焊按电流或能量的种类大致可分为交流、脉冲及直流三类，参看图12。

交流电源中应用最多的是工频交流电阻焊，可用单脉冲、多脉冲或调幅电流（图12a, c, b）。若工频经过变频后只使用3~10赫时，便称为低频焊接（图12f），可用于大厚度、大断面焊件的点焊和对焊。高频交流电源多用于薄管滚对焊（图12d），如自行车架钢管的滚对焊，一般采用中频150~300周/秒或高频2.5~450千周/秒，缝焊速度可以从每分钟几十米到百米以上，生产率高，并可减小变压器尺寸。

脉冲焊（包括电容贮能、直流脉冲等）采用单方向的畸变的脉冲式电流焊接。

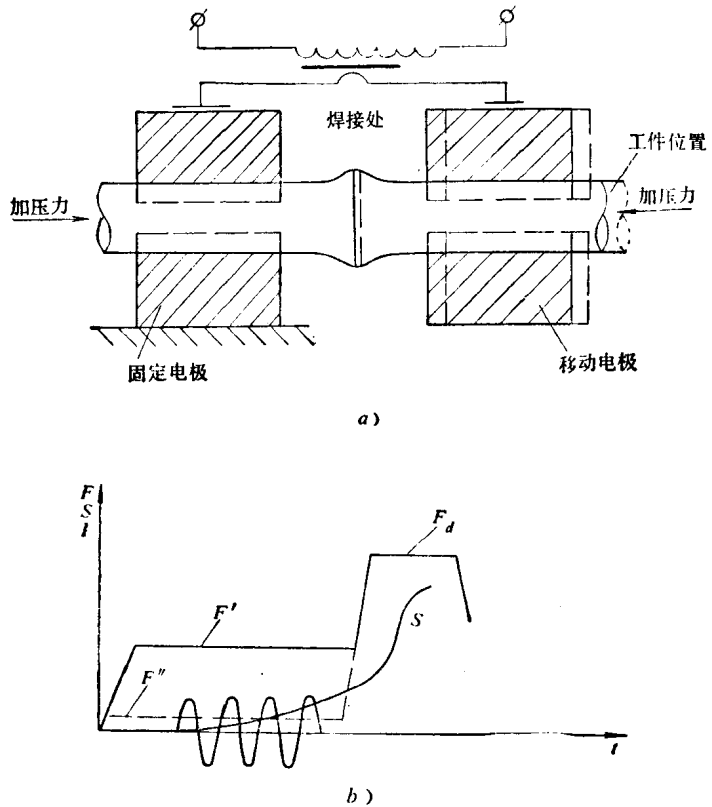


图11 对焊及焊接循环

a) 对焊示意图 b) 对焊焊接循环
F'—电阻对焊压力 F''—闪光对焊压力

电容储能焊是利用贮藏在电容中的能量对焊接处突然放电的脉冲电流进行焊接。放电时间短，电流峰值高，波形陡峭（图12e），加热与冷却速度很快，对导热性很好的金属（如轻合金及铜合金等）显出很大优点，可用于焊接铝制零件、车辆、家具以及发动机隔热屏、波纹板、“O”形圈等。

直流脉冲焊接又称直流冲击波焊接。它利用普通交流电源整流成直流（在变压器初级侧整流）后，供给焊接处以直流电源。电流波形具有缓升缓降的性质（图12h），这对一些易产生裂纹的较厚的铝合金零件甚为有利，故在雷达、飞机、发动机、车辆等一些部件装配焊接中获得较广泛的应用，但这种整流装置比较复杂。

近年来国内外已开始采用次级整流的直流电源（图12g）。这种焊机是在焊接变压器初级接入控制开关，经次级整流后输出。其技术与经济指标较好，可用于焊接各种材料，对焊件及装配夹具的磁性无限制，并且可用较小功率焊接较厚焊件，可节约3/4的功率。

目前，最通用的分类方法是按工艺方法分类，即分为点焊、缝焊、对焊三种基本方法。

三、电阻焊的优缺点

电阻焊方法虽在十九世纪末叶已经出现，但我国至本世纪四十年代仍是空白，自五十年代才在冲焊薄板结构与工具生产中得到应用，而至今仍已成为毛坯准备、组合件装配的重要工艺方法之一。近年来，电阻焊得到迅速发展，这与其技术经济特点有着密切关系。与同样用于组装的铆接或其他焊接方法相比，电阻焊的优点为：

1. 因是内部热源，热量集中，加热时间短促，在焊点形成过程中始终被塑性环包围，故电阻焊冶金过程简单，热影响区小，变形小，易于获得质量较好的焊接接头。在某些大型构件或用熔焊不易保证质量的焊件上，易于满足焊接质量要求，如铝制地铁车辆厢体及房屋构架、汽车车身的焊接等。

2. 与铆接结构相比，重量轻、结构简化，易于得到形状复杂的零件。减轻结构重量不但节省金属，还能改进结构承载性能，减少动力消耗，提高运行速度。如高速铁路的车辆、导弹、飞行器、船舶等对结构重量的控制甚为严格。

3. 电阻焊因机械化、自动化程度高，可提高生产率，改善工作条件。与手工铆接比，采

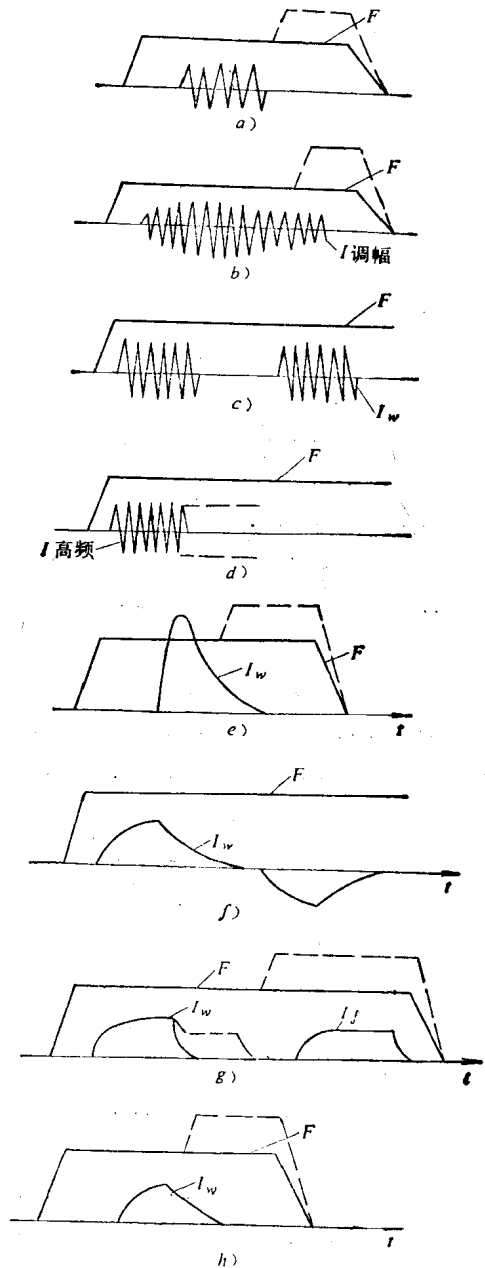


图12 电阻焊所用电源类别
a) 单脉冲交流 b) 交流调幅 c) 多脉冲交流 d) 高频交流 e) 电容储能 f) 低频 g) 次级整流 h) 直流脉冲