

[苏] Б. Д. 奥尔洛夫 主编

陈幼松 译

接触焊工艺 和设备

国防工业出版社

内 容 简 介

本书较系统而详尽地介绍了接触焊，即电阻焊（点焊、缝焊、对焊）的原理、工艺和设备，包括检验、监控、机械化和生产自动化、接头强度等方面的问题。对凸焊、高频焊接也作了一定的介绍。

书中反映了近年来接触焊领域的新成就，对电子计算机、数理统计方法在接触焊方面的应用作了介绍。

本书可供航空与空间工业、汽车、建筑、农机、电焊机制造、火车车厢制造、船舶上层建筑制造、电器及电子器件连接、钢轨焊接、锚链及刀具焊接、石油及天然气管道铺设、冶金工业中板材和型材的半成品焊接等行业中从事接触焊工作的技术人员和工人使用。也可供学校焊接专业师生参考。

Технология и оборудование контактной сварки

Б. Д. Орлов, Ю. В. Дмитриев, А. А. Чакалев,

В. А. Сидякин, А. Л. Марченко

Машиностроение, 1975

*

接触焊工艺和设备

陈幼松 译

*

国防工业出版社 出版

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

国防工业出版社印刷厂印装

*

787×1092¹/₃₂ 印张 17³/₄ 380千字

1980年3月第一版 1980年3月第一次印刷 印数：00,001—14,000册

统一书号：15034·1906 定价：1.80元

出版者的话

本书较系统全面地介绍了接触焊(电阻焊)的各方面问题。包括接头形成的机理、缺陷的分析、各类材料和结构的焊接特点、焊接及同它有关工序的进行过程、工艺规范的选定、电极、焊接设备及夹具、焊接回路及变压器的计算、各种控制电路的原理和特点、各种检验及监控方法、接头的强度及试验方法等方面的内容。对这些内容都作了较详尽的论述。

书中列举的工艺规范、设备性能、接头尺寸和强度以及检验标准方面的数据,各种类型设备的结构图和控制电路原理图,都具有一定的实际参考价值。

本书介绍了电动力在熔化焊核中的作用、烧化过程中区域稳定性等现代概念。较具体地阐述了如何应用电子数字计算机对点焊时电场及温度场进行数值计算。应用了相似理论来分析并计算规范参数。运用概率论和数理统计的一些基本概念,对某些工艺问题作了分析,并用于处理有关的试验数据。书中以很大篇幅介绍低频焊机、二次整流焊机、电容式焊机等现代焊机点焊和缝焊的工艺和设备方面的问题。介绍了脉冲闪光对焊等新的先进焊接方法。介绍了控制电路的现代设计方法,即用一套标准的功能块元件组拼成各种用途的积木式控制电路,还介绍了新型的气压、液压系统的元件。介绍了利用程序控制的机器人、先进的夹具和现代的生产自动

线，并列举了许多例子。书中对各种无损检验方法和各种监控和自动调整方法以及各种规范参数的测定方法方面的最新进展都有所反映。特别是介绍了通过试验方法、利用电子计算机建立数学模型并对点焊过程进行最优控制的最先进的保证质量方法。

本书由于包括内容过广，有些问题阐述过于简略。各章之间笔调、体例不够一致，印刷错误较多。译者已对书中的错误作了改正，并适当添加了小标题，作了必要的注解以便于读者阅读。

目 录

绪言	1
第一章 接触焊接头形成本质的一般概念	9
第二章 点焊和缝焊时的接头形成	14
§ 1 获得焊接接头的条件	14
§ 2 焊接电流对金属的加热	19
§ 3 金属的熔化和结晶特点	56
§ 4 金属的塑性变形	61
§ 5 接头的缺陷及其形成原因	64
第三章 对焊时的接头形成	78
§ 1 获得焊接接头的条件	78
§ 2 对焊时的电阻	82
§ 3 烧化过程	85
§ 4 零件的加热	102
§ 5 顶锻时零件的塑性变形	112
§ 6 接头的缺陷及其形成原因	117
第四章 各种材料焊接特点及规范选择基础	123
第五章 点焊和缝焊	134
§ 1 点焊和缝焊工艺	134
§ 2 点焊机和缝焊机	193
第六章 对焊	244
§ 1 对焊工艺	244
§ 2 对焊机	270
第七章 高频电流焊接	311
第八章 接触焊机的主电力部分	318
§ 1 获得焊接电流的电路	318

§ 2 焊机的主要电气参数和外特性	337
§ 3 二次回路的导电元件	345
§ 4 变压器	354
第九章 接触焊机的控制系统	377
§ 1 控制系统的功用和构成	377
§ 2 接触开关	379
§ 3 控制开关的电气部件及组件	388
§ 4 低频焊机和电容式焊机的部件和组件	411
§ 5 压紧力控制部件和器件	418
§ 6 同步部件(焊机工作循环的控制)	430
第十章 接触焊的机械化和自动化	454
§ 1 机械化和自动化的基本设备	454
§ 2 装配夹具	456
§ 3 支托和移动夹具	461
§ 4 专用夹具和焊机自动机	471
§ 5 程序控制的多功能自动装置——机器人	478
§ 6 流水线和自动线	481
第十一章 接触焊的检验和监控	490
§ 1 焊接的缺陷和检验大纲	490
§ 2 焊接接头的检验	497
§ 3 焊接过程的自动监控和测量	511
第十二章 焊接接头强度	542
§ 1 点焊和缝焊接头的强度	542
§ 2 对接接头的强度	555
第十三章 接触焊的技术经济指标和技术安全	557
§ 1 技术经济指标	557
§ 2 技术安全	560
参考文献	561

绪 言

接触焊是通过零件流过电流使金属加热，同时施加压力使接头区产生塑性变形，因而在零件间形成不可拆卸接头的一种过程。使用《接触》焊这一术语，是由于当初以为电触点上的接触(过渡)电阻对加热具有决定性的作用[●]。在接触焊范畴内包括一大类的焊接方法，其中许多种已在工业中得到广泛的应用。这些方法的主要特点是接头可靠、机械化和自动化水平高、焊接过程的生产率和生产的文明程度高。据统计，所有焊接接头中约有 30% 系由接触焊焊成。

接触焊的应用范围非常广泛，大至宇宙飞行器，小至精细的半导体器件和各种厚、薄膜集成电路无不采用它。这种方法在飞机制造中尤其重要，例如新型的旅客机上有多达几百万个的焊点和长达几百米的缝焊焊缝。

此外，多点焊和凸焊非常广泛地用于汽车制造中，例如《莫斯科人-412》小汽车上便有 5000 个焊点。接触焊还用于火车车厢制造、船舶制造以及建筑业中。闪光对焊则可在野外的条件下用于安装输油、输气管道和铺设铁道的钢轨，并可在锅炉制造中用于焊接管子底盘的棒头，还可用于制造各种承力元件(如隔框)以及各种工具和刀具。

各种特殊性能的合金钢和合金，如各种结构钢、钛合金、铜合金、铝合金、镁合金、难熔合金和烧结铝之类的烧结材

● 使用“接触焊”这一术语，是由于历史上人们片面的认识所造成的，目前，除苏联外，其他国家均称为“电阻焊”。——译者

料都可以用接触焊焊接。尽管这里列举了足够多的材料种类，但可用接触焊焊接的结构材料远不止这些。

至于接触焊设备也在逐年完善，现代工业能够生产类型众多、用途各异的通用和专用设备，这些设备都有高的生产率。例如，目前已有每分钟可焊 600 个焊点的点焊机，又如用射频电流焊接管子之类的半制品时，焊速可高达 100 米/分。接触焊设备的另一特点就是自动化程度高，现代接触焊机的控制系统可以对各种焊接规范参数进行非常精确的调整。近几年来在焊接电流的控制电路和换接电路[●]上，广泛地采用半导体元件如晶体管、可控硅等代替老式元件。

在焊接辅助工序方面，也在机械化和自动化上取得了不小成就。例如，已经建成了汽车部件、仪表元件和无线电电路装配及焊接的流水线和自动线，它们都有优良的经济性，而且已经开始使用程序控制的多功能机械——工业机器人。

需要指出，接触焊系在复杂而快速变化的电场和温度场条件下形成接头的，所以加热和变形的速度高，加以接头形状特殊，这些都给研究接触焊过程带来较大困难。为了研究接触焊过程的各种现象，需要广泛利用有关学科如热物理学、数学、金属学等方面的成果。在分析接头形成的本质时要利用固体物理方面的概念，在研究温度场和电场时要使用电子计算机，在研究接头金属的组织 and 成分时，要使用电子显微镜和 X 射线显微分析仪。

尽管各种接触焊方法千差万别，但它们可按以下各种特点进行分类（图 1）。1) 按形成接头时焊接区金属所处

● 换接电路指控制供电网路接通到焊接变压器的电路，如交流焊机上的开关电路和直流脉冲焊机上的主电力整流电路等。——译者

的相态分，有固相焊接和液相焊接； 2) 按接头类型分，有搭接焊接和对接焊接； 3) 按所用的工艺方法分，有电阻对焊、闪光对焊、点焊和缝焊等； 4) 按焊接时的周围气氛分，有大气中焊接和保护气体中焊接； 5) 按焊接电流馈送方法和焊接电流脉冲波形分，有接触馈电法和感应馈电法以及各种频率的交流焊接、直流焊接和单向脉冲焊接； 6) 按同时焊成的接头数量分，有单点焊和多点焊以及单凸点凸焊和连续凸点（如环状凸点）凸焊等； 7) 按通电时零件或电极（滚盘）是否在移动分，有零件移动下的焊接（连续缝焊）和零件不动的焊接（步进缝焊）。

此外，可从上述各种方法中把焊接厚度薄(可达几微米)、

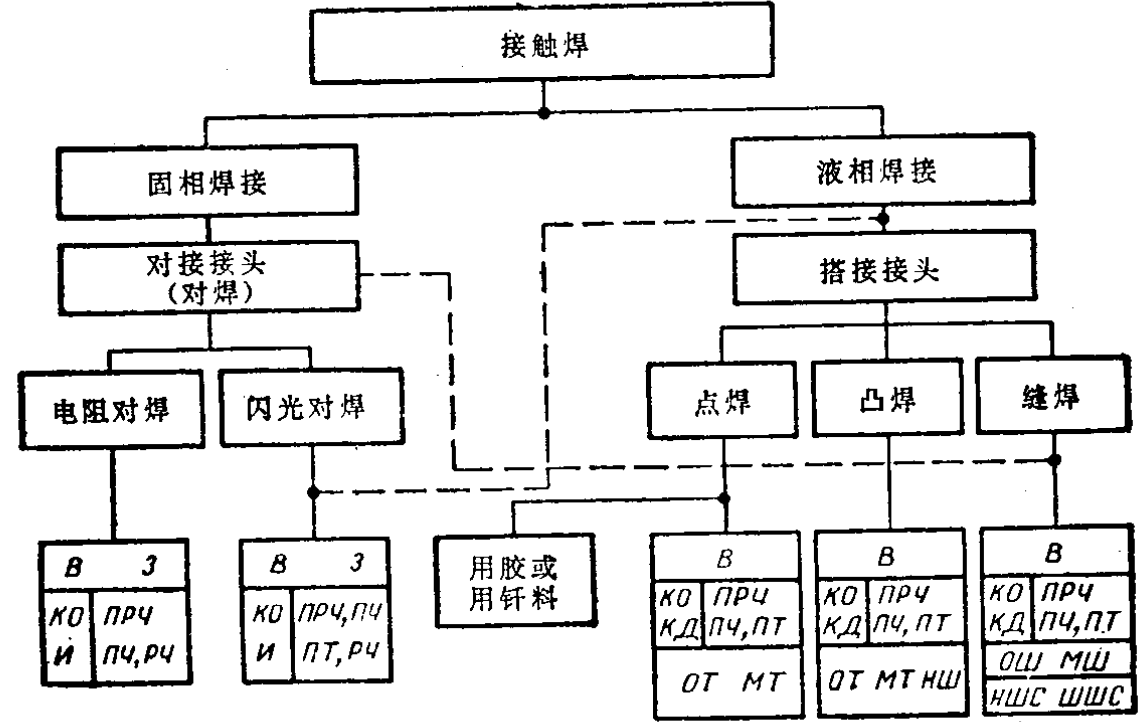


图1 接触焊方法的分类

B—在空中焊接； Z—在保护气体中焊接； KO、KD—单面和双面接触馈电； I—感应馈电； PPЧ、ПЧ、ВЧ—分别指工频、升频和高频的电流； ПЧ—射频电流； ПТ—直流电流或单向脉冲； OT、MT—单点和多点接头； HШ—连续焊缝； OШ、MШ—单缝焊和多缝焊； HШС、ШШС—连续焊及步进焊。

截面小的精密零件所用的方法专门分出来构成新的焊接领域，称之为接触精密焊接。

主要接触焊方法的简明原理图见图 2，其中固相焊接主要由对焊实现。

对焊——接触焊方法之一，这时零件系沿着整个接触面积进行焊接。对焊方法中最常用的是电阻对焊和闪光对焊。

电阻对焊(图2a)时，零件 1 夹紧于导电器 2-3 上，并用 F 力压紧，在焊接变压器一次绕组上加上电压使二次回路 4 中产生电流 I ，因而使零件在接口 5 处加热到接近金属的熔点 $(0.8 \sim 0.9)T_{\text{нп}}$ ，然后急速增大压紧力(零件顶锻)，结果在固相下形成焊接接头。

闪光对焊分为连续闪光焊和预热闪光焊。

连续闪光焊时，在焊接变压器带电的情况下，零件以一定速度接近。由于零件端面之间的触点一过梁不断地产生和破坏而造成零件的烧化，与此同时烧化时产生的熔化的金属微粒被强烈地抛射出去，因而使零件缩短。烧化时在端面上所形成的连续的液态金属层，顶锻时将随同脏物(氧化膜)一起从接口中被挤出。

预热闪光焊时先使零件端面短时间短路，通过电阻加热(类似电阻对焊)进行预热，然后再进行烧化。

高频(几千赫兹以上)电流对焊在许多方面同普通对焊类似(图 26)。这时，接于高频发生器 7 的感应器 6 使零件 1 在交变磁场的作用下产生涡流，因而使零件得到加热。射频焊接(图26)的加热是有其特点的，这时被焊工件作匀速运动，当它从感应器里面通过时，感应出来的涡流使焊接区逐渐地得到加热。由于射频下的邻近效应，金属只在焊缝附近非常

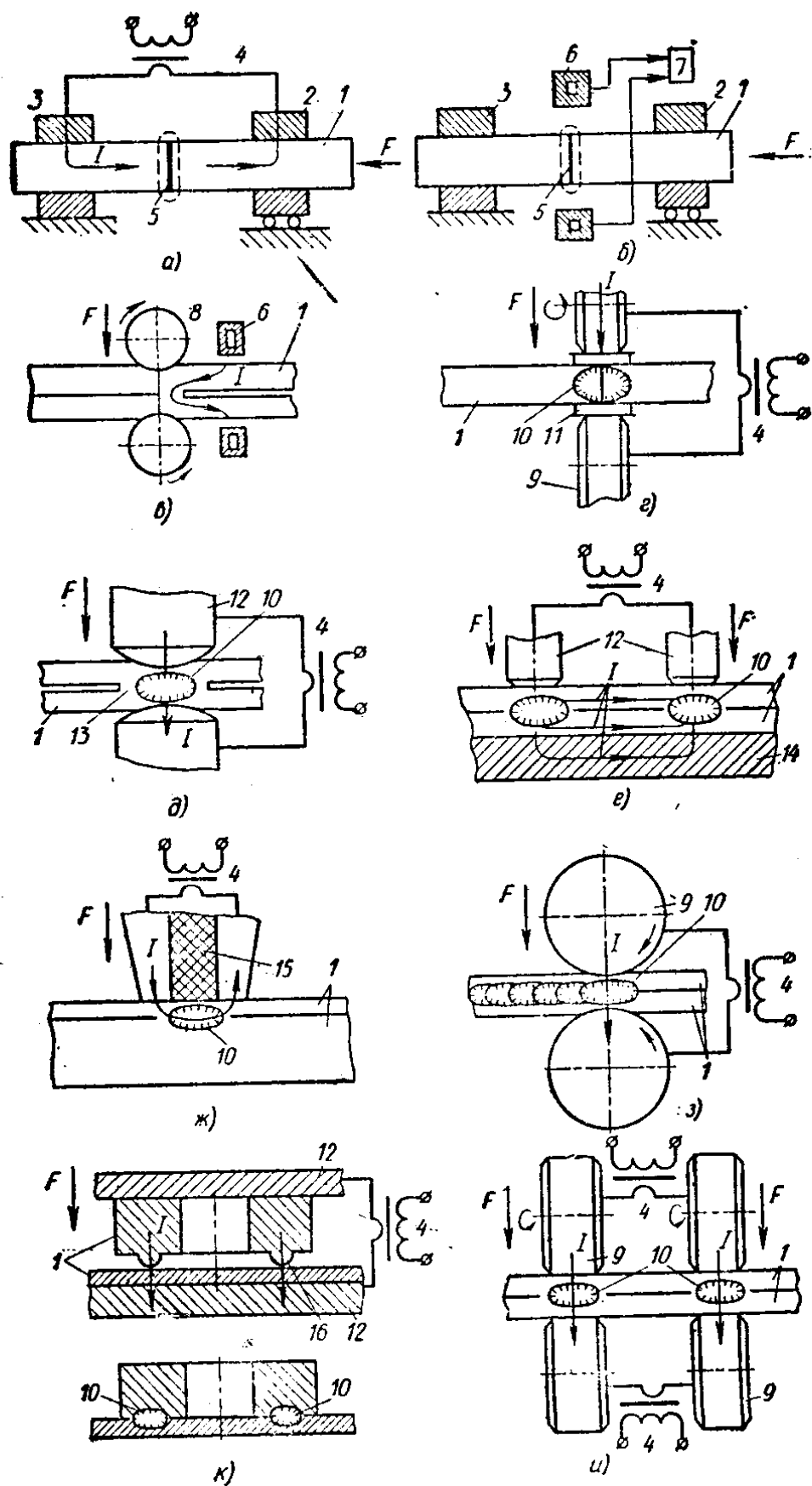


图2 主要接触焊方法的原理图

窄的范围内被加热。因为加热集中所以零件接口处往往出现金属的烧化，烧化的金属通过滚轮 8 压紧管子而被挤走。同闪光对焊时一样，烧化形成的液态金属层起保护接口免受氧化的作用，因而构成了形成接头的有利条件。射频焊接通常在冶金工业中用于制造钢或有色金属的管子和各种型材。

现在，介绍一下工业中最常用的接触焊方法，也就是液相下焊接的方法，包括点焊、缝焊和凸焊。

点焊——一种接触焊方法，这时零件只在有限的接触面积上，即所谓“点”上进行焊接。

点焊(图 2 d)和对焊不同，系采用搭接接头。零件先由铜合金的电极(导体 12)压紧，然后通电加热直到零件内部出现熔化区 10——焊核或焊点。熔化金属由密封环 13 使其保持在焊核内，以免发生飞溅并可靠地防止同周围气氛起作用。所谓密封环是指紧靠着点核的环状塑性变形区。

点焊时通常用短时间的(0.01~0.5秒)交流电脉冲(50赫兹)或单向电流脉冲(只改变幅值不改变方向)进行加热。

根据馈送电流方式的不同，点焊可分为双面焊和单面焊。双面焊时从两面往两个零件上馈电(图 2 d)，单面焊时只从一面往零件之一上馈电(图 2 e)。单面焊时，为了保证零件触点处有足够的热析出，往往在下面的零件这边使用分流铜垫板 14。

成对电极焊接是单面焊的一种变型，它广泛地用于电子工业中，以制造各种精密器件和微型电路(图 2 ж)。这种电极中间由绝缘材料 15 或高电阻金属隔开，因而电极总是分成成对的两半而同时存在。

点焊又可分为单点焊(图 2 d)和多点焊(图 2 e)。单点焊

时每焊接一次焊一个焊点，多点焊时则同时焊两个以上的焊点。

缝焊——一种接触焊方法。缝焊时焊成一系列焊点彼此部分重叠，使被焊零件之间形成连续的接头(焊缝)，所以这一类接头可以成为密封的(紧实的)焊缝。两个可转动的盘状电极(滚盘) 9 同焊机压力传动系统相连接，焊接时靠滚盘往零件上馈电并带动零件移动(图2 3)。和点焊一样，可用不同波形的电流脉冲加热金属，同时不必采取专门措施保护液体金属免受周围气氛的作用。

可以对缝焊进行分类，如可按馈电方式分，按使用的滚盘数目及同时焊成的焊缝数目分，根据这样的分类方法图2 4 就是一种双面双缝焊。还可以根据通电时零件或电极是否在运动进行分类，如步进缝焊就是在它们短暂静止的瞬间通电焊接的。

近来，在薄板结构制造中推广应用缝对焊(图2 5)，这时导电滚盘 9 沿着对接零件的接口移动，和缝焊时一样在通电时使金属熔化，因而焊上。

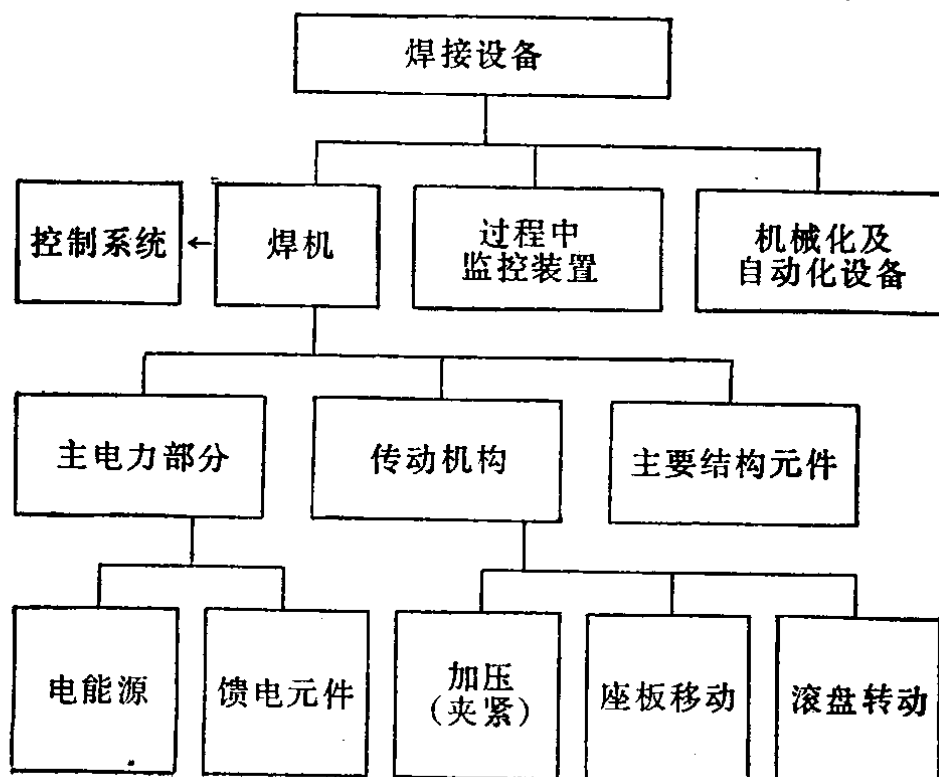
凸焊——点焊的一种变形，这时零件的最初接触被限于凸点 16 的面积上(图2 6)，凸点预先在零件上制成，其剖面可成为三角形或梯形的。这样，便可在最初的通电瞬间对金属进行更集中的加热。通过对零件加热和使凸点变形，同时在焊接过程的一定阶段产生金属的熔化便可形成焊核。

通过上述主要接触焊方法的简要介绍，可以看到，接触焊的接头形成取决于一系列物理-化学过程，这些过程便构成了接触焊工艺的理论基础。工艺是一种同被焊的具体零件和结构有关的操作工序和生产方法的总称。操作工序中包括

直接的焊接工序和辅助工序，例如装配、表面准备、接头质量检验等等。

工艺决定了对焊接设备提出的要求，而设备则是指各种机构和装置的整体(见方框图 1)。设备的主体是包括控制系统在内的焊机，焊机由电源(例如变压器)、往零件馈电的元件(由汇流母线、机臂、电极等组成的导电回路)、各种用途(点焊和缝焊时的零件加压，对焊时的零件夹紧和移动等等)的传动机构以及保证焊机具有一定刚性和强度的各种结构元件(机壳或机座、机臂、支座、电极、座板等)所组成。焊机可以装备焊接时监控接头质量的装置，还可以装备使辅助工序机械化和自动化的设备。

多种多样的接触焊方法加上工艺、设备和检验所达到的现代化水平，使我们能够制造用途极其不同而重要性相差悬殊的各种各样工件。



方框图 1

第一章 接触焊接头形成 本质的一般概念

焊接时，在不同零件的原子集团之间进行着强迫形成原子（化学）键合的过程。对金属结构焊接来说，就是形成金属键，这种金属键由离子和公共价电子相互作用而形成。当原子互相靠近，其距离与金属晶格参数（几埃）相接近时，便可形成金属键。

理想物体的焊接 所谓理想物体是指其表面平整而干净，而且其晶格类型和方向也完全一致的物体。现在，首先研究具有这样性质的两个物体形成焊接接头的过程(图1-1)。

如果物体间距离 l 远远超过晶格参数，则物体的原子之间不能相互作用。这时，吸引力 F_{np} (由一个物体原子的外部电子同另一个物体的原子核相互作用而引起) 和排斥力 F_{or} (由一个物体表面原子的电子同另一物体原子的电子相互作用以及由两个物体的原子核之间相互作用而引起) 都接近于零(图1-2)。

如果不计微弱的范-德-华尔力，则当原子距离接近到 l_2 (和 l_0 同一数量级) 时，由于最外层轨道上的电子开始发生静电作用，原子之间便出现排斥力 F_{or} 。因此，提高了两个物体系统的内能，形成了所谓的能峰。

如果原子的能量(或外力)足以克服 F_{or} ，则两个物体上的原子便能够进一步接近。当达到距离 l_1 时，外层电子壳开

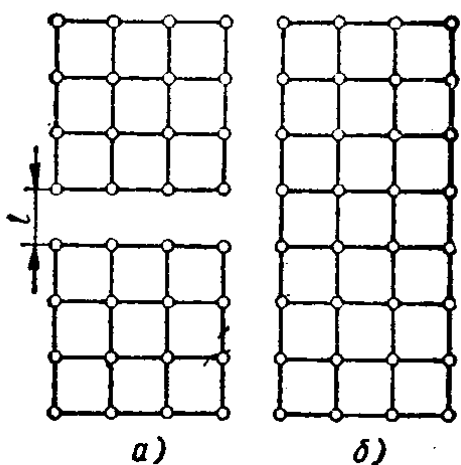
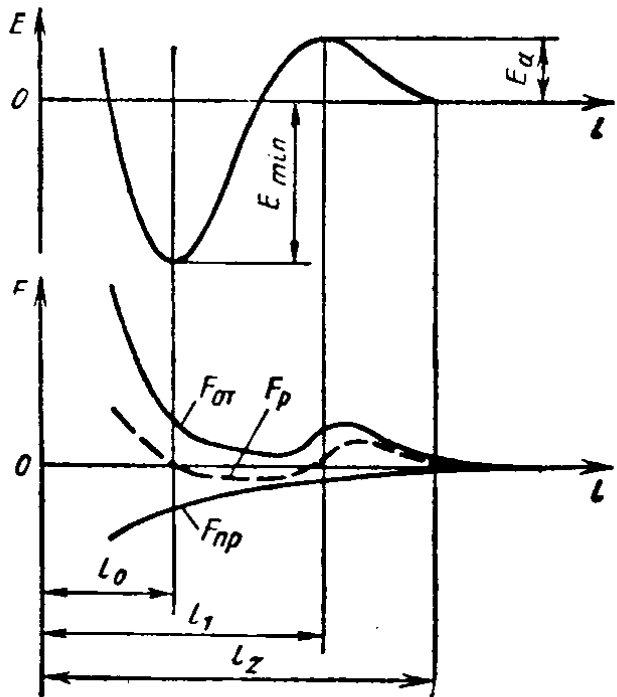


图1-1 表面平整而干净的两个理想物体，形成接头的图解
a—焊接前的晶体； b—焊接后的晶体。



始结合，亦即开始了焊接。这时，排斥力急剧减小而吸引力迅速增大，整个系统的能量则有所降低。

但是，随着内层电子轨道的接近，排斥力又重新增大，当达到距离 l_0 时， $F_{\sigma r}$ 又等于 F_{np} ，这两种力的合力 F_p 便等于零。这时，系统的能量最小，而且相当于排列在晶格中的原子的位能，而距离 l_0 则相当于排列在这种晶格中的原子之间最小距离。这样，两个物体的表面原子之间便建立起牢固的金属键，于是焊接（固着）过程便告完成。距离为 l_0 的系统则处于稳定状态：因为如要减小 l_0 则急剧增大的排斥力（由内层电子壳重叠而引起）阻碍原子的进一步接近；反之，如要增大 l_0 则会出现吸引力阻止原子往相反方向分开。

可见，为了获得焊接接头需要克服固着能峰，就是说甚至在焊接理想物体时也要从外部给以能量。这种能量称为活化能 E_a ，它可以通过使物体变形（机械活化）或加热（热活化）

来加入。接触焊往往同时采用这两种活化方法。

在机械活化时需要加上足以克服排斥力的巨大压紧力。在热活化时通常把系统加热到接近或等于熔点的温度,这样,增大了原子的位能和动能,减小了电子排列的稳定性,所以提高了距离增大时电子壳进行结合的可能性。

实际物体的焊接 实际物体表面通常存在吸附有水分和气体的氧化膜,此外,零件表面不可能绝对平整,总有一定宏观和微观的凸起。氧化膜的厚度和凸起的尺寸一般比距离 l_0 大若干数量级,因而沿整个接触面积形成金属键较理想物体焊接时困难得多。因此为了焊接实际物体,除了给以 E_* 外还要再给以能量 E_n ,以便压平不平的凸起并使表面原子摆脱同外部杂质的键合(即去除氧化膜、净化表面)。在实际中,通常 $E_n \gg E_*$ 。可以认为,为了焊接实际物体需要花费的总能量

$$E_{\text{о6ш}} = E_* + E_n$$

在不平的凸起和表面氧化膜去除之后,通过克服固着能峰可使原子进一步接近,因而得以形成金属键。但是,焊接实际物体时,系统的最低能级 $E_{\min}$ (即距离为 l_0 时的能级)总是高于焊接理想物体时的。这是因为实际物体内部的晶格方向,有时还包括晶格参数,甚至组成物体的晶粒晶格类型都不能象理想物体那样保持完全一致的缘故。焊接时,被焊接外的表面便成为接头的界面,该处原子的能级较没有畸变的晶格内的原子(如理想物体内的)能级高,因而它的状态不及理想物体时的稳定●。

● 换句话说,从理论上讲实际物体的焊接接头总是不及理想物体的焊接接头牢固。——译者