

焊接漫谈

〔苏〕 Б.Е.帕顿 著
А.Н.柯尔年科



科学普及出版社

焊 接 漫 谈

〔苏〕 B.E. 帕 顿 著
A.H. 柯尔年科

徐新民 刘君礼 译

科 学 普 及 出 版 社

内 容 提 要

焊接是现代应用最广的工艺之一。在生产建设中,焊接对提高结构的强度和寿命、节约金属和降低成本、缩短工期和提高生产率起着巨大的作用。今天,无论是建造宇宙飞船和巨轮、水坝和高楼大厦,还是生产机器和电子元件,离开了它就寸步难行。那么,焊接作为一门科学技术是怎样产生和发展的,它的最新成就和前景如何?本书作者苏联科学院院士Б.Е.帕顿和青年科学家А.Н.柯尔年科对这些问题都一一作了通俗的叙述。

本书可供中学高年级学生和理工科大学生、青年工人和待业知识青年等广大读者阅读。

Б.Е.Патон А.Н.Корниенко

Огонь сплавляет металлы

Издательство «Педагогика»

*

*

焊 接 漫 谈

[苏]Б.Е.帕顿 А.Н.柯尔年科 著

徐新民 刘君礼 译

责任编辑:阿卜

封面设计:王序德

*

科学普及出版社出版(北京海淀区白石桥路32号)

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

北京市京东印刷厂印刷

*

开本:787×1092毫米 1/32印张:3 1/8 字数:67千字

1985年5月第1版 1985年5月第1次印刷

印数:1—16,700册 定价:0.45元

统一书号:15051·1128 本社书号:0567

目 录

序言.....	(1)
连接工艺史简述.....	(3)
最通用的热源.....	(14)
电弧同金属相遇.....	(21)
焊接“损坏”金属.....	(28)
焊接自动化.....	(39)
自动焊接的胜利.....	(45)
焊接在工地和车间.....	(52)
征服金属和合金.....	(61)
科学技术革命的先锋.....	(74)
工作空间的扩大.....	(82)
宇宙中和水下的焊接机器人.....	(90)
结束语.....	(93)
译后记.....	(94)

序 言

船舶在航行。它的船体和上层建筑是焊接的。列车在奔驰。它的电气机车和车厢是焊接的；铁路线上的钢轨和桥梁也是焊接的。制造火箭和飞机，修建住宅、电站和工厂，离开焊接同样寸步难行。从多方面来看，零件连接方法的完善是技术进步的基础。现在，焊接在许多情况下决定着整个生产的工艺水平。焊接已成了零件连接工艺过程的首要环节，也是最后竣工的环节。

苏联焊接方面的最重要的研究工作在基辅帕顿^①电焊研究所进行。这个研究所还承担着全国焊接科学研究的协调工作。基辅成了众所公认的、焊接工作者的首都。

建造新结构，修理机器设备和修复被破坏的构筑物，都要利用焊接。焊接结构现被用于超高温、超低温、超大气压力和宇宙真空等条件下。

现代焊接的成就，使人们不仅可以接合金属，而且可以接合塑料、玻璃、陶瓷和其他材料。在空气中，在水下，在真空中，在酷热的撒哈拉大沙漠，在北极地带的冰原……都能实现焊接。苏联宇航员Г.С. 绍宁和B.H. 库巴索夫，乘“联盟-6”号宇宙飞船在宇宙真空和失重条件下完成了焊接试验，这是世界上首开纪录的事件。

焊接正在排挤其他一些接合金属的方法，如铆接、铸焊、锻接。但是，焊接也常常同这些竞争者进行创造性的合

^① 全名为E.O.帕顿。——译者

作。结果，创造出焊接-铸件、焊接-锻件和焊接-冲压件。

焊接之所以得到迅速的发展，是因为它能提高结构的强度和使用寿命，节约金属，降低工程造价和缩短工期。

正在成长的一代科学家、工程师和焊接工人，面临着许许多多的创造性课题。要解决这些课题，需要有钻研的精神、渊博的知识和顽强的毅力。

本书叙述的是焊接科学的研究对象、发展途径、科学成果和技术成就。

连接工艺史简述

生产工艺的发展阶段 原始人使用的第一批劳动和狩猎工具，除了石头和刮器以外，还有石斧和用长带捆扎起来的重石器。那时的连接工艺，即生产方法，并不复杂。古代的专家们凿石头，折树枝，再用藤条或动物的筋腱把它们连接起来。但是，想到把两个互不相连的部分连成工具，那就需要有创造性的思维。第一批简陋工具的制取，是人类在其发展过程中迈出的一大步。

往昔的哲学家和历史学家，依据神话、传说和考古研究去想象原始社会的历史。到十九世纪初，考古学家积累了大量的关于原始人的工具的知识。丹麦考古学家汤姆森系统地整理了哥本哈根国立博物馆保存的古代文物，从而得出结论说：制品的年代离我们的时代越远，其加工就越简陋，制造工艺就越简单。看来，石器的制造早于铜器和青铜器，而最“年轻的”是铁器。据此，汤姆森于1836年提出把原始社会的发展划分为三个阶段：**石器时代、青铜时代和铁器时代**。汤姆森作出这种分期的依据是：在这三个时代，制造器具的主要材料是各不相同的。然而，区别不仅在于材料，而且在于材料的加工方法。现在我们知道的零件的连接方法多得很，而在原始时代，主要的甚至可能是唯一的方法就是捆扎。就时间而言，捆扎法相当于石器时代。

在青铜时代和铁器时代，当人们开始掌握金属时，就必须创造新的连接工艺。连接金属的第一种方法就是锻接。

锻接时代 人们开始用适当形状的石头把天然金、银、铜打成各种各样的工具和用品。用这种工艺方法有可能不用加热就把几块金属“锻造”在一起。甚至现在人们还采用冷焊连接塑性良好的金属。

随着新材料——青铜（铜锡合金）的出现，古代的专家们只得制定新的连接方法。青铜具有比原始材料更良好的性能：较高的硬度、强度和耐磨性。但是，它的塑性不如铜，甚至在预热的情况下，锻接也不能保证它具有高质量的接合。于是就出现了**铸焊**。在采用铸焊时用高温金属液浇铸在外包着铸型的焊件连接处，高温金属液同焊件熔合，然后冷凝成焊缝。在古希腊和古罗马时代遗留下来的青铜器皿上发现了这样的焊缝。

在公元前三千年到二千年间，地球上的不同地区，开始用铁来制造劳动工具和武器。在这种金属的生产过程中，熟铁块的锻接占了重要的地位。熟铁是用铁矿石和木炭一起加热而从铁矿石中提取的。把几块熟铁加热到白炽的程度，再叠在一起加以锻造，就成了大块熟铁。

在中世纪，锻接工在制造劳动工具和武器方面的技能达到了相当高的水平。他们凭经验和直观采用锻接的办法制造出铁中夹钢的、刃口锋利的犁和剑。

冷焊、铸焊和锻接 是技术史上的第一批工艺方法。人们利用这些工艺方法可使金属牢固地连接起来。焊件连接处的牢固结合是依靠原子的相互作用而达到的。

就在这同一时期，人们开始采用钎焊来焊接金属。这种方法是利用第三种易熔金属即所谓“添加金属”来把两种金属接合起来的。

第一批焊接方法是不完善的。由于当时没有强大的热

源，很难均匀加热大型结构和复杂工件，很难立刻锻造连接处或完整地铸接头（因为金属会迅速地冷凝）。

在青铜时代晚期，人们开始采用另一种接合金属的方法——铆接。在连接两块金属板之前，要把它们相互搭接好，打上孔，准备和加热铆钉，把铆钉插入两块金属板的孔中，最后用大锤铆平。

在中世纪，基本的建筑材料是木料和石头。连接木料和石头，并不需要焊接；而为了制造为数不多的金属制品，则利用已知的焊接方法也就完全可以对付了，其中最常用的是铆接和锻接。

在通往现代焊接的道路上 在十八世纪，出现了机器生产。对金属、金属结构、运输工具、机械、蒸汽机和其他机器的需求量急剧增加。于是，就需要高效的连接和修理金属制品的新方法。

物理学和化学上的新发现，力学、电工学和冶金学方面的科学研究和工程设计，以及电力、氧气、可燃气体的工业化生产及其在各个技术领域中的应用，使人们有可能制定新的焊接方法。

在十八世纪末期，意大利物理学家伏特研制了能长时间工作的电力源——伏打电堆。这成了在焊接中利用电力的推动力。1802年，俄国科学家彼得罗夫发现了电弧现象，并证明了利用电弧熔化金属的可能性。1841~1842年，英国科学家焦耳和俄国科学家楞次各自独立地测定了电流通过导体时导体所析出的热量。

化学家也开始进行对新型热源的研究。他们是：俄国科学家贝凯托夫、法国科学家贝特洛和夏特利耶。

在十九世纪下半期，工业获得了对金属施加作用的物理-

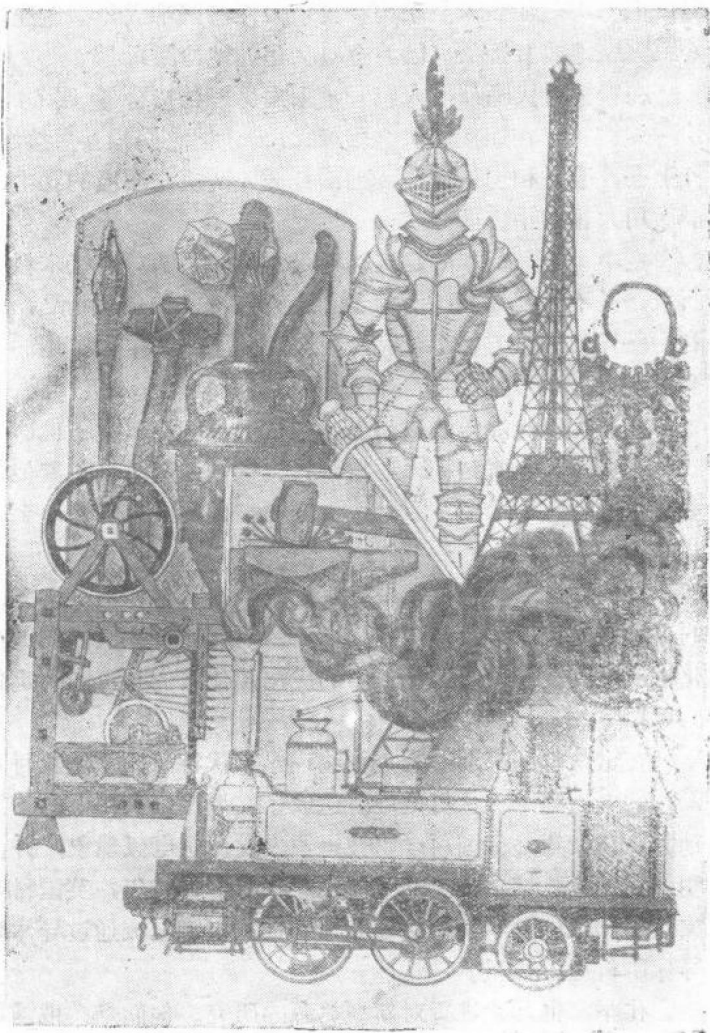


图 1

化学方法，这些方法开始使机械工具退居到第二位。

俄国科学家彼得罗夫发现的电弧现象，开始应用于探照灯和专用的照明器中，应用于整流器和控制电流强度的仪器中，应用于加热和熔化金属的冶金学中。

1881年，俄国发明家贝纳尔多斯发明了利用炭精电极进行电弧焊接的方法。为了纪念古希腊的锻造之神，他把这种方法叫作“电赫菲斯特”^①。利用电弧焊接零件时，不需要对整个零件进行加热。任何尺寸和任何外形的金属结构，都可以用牢固而密实的焊缝接合起来。这样，就出现了**电弧焊**——十九世纪的一项杰出的发明。

电弧焊很快地就在当时最复杂的工业部门——蒸汽机车制造业中得到了应用。为了简化焊接过程，这位发明家设计了电焊钳，焊钳周围是煤气喷灯。

贝纳尔多斯的同代人斯拉维亚诺夫用金属熔化电极代替炭精电极，从而完善了贝纳尔多斯的发明。这位发明家建议用熔渣保护焊缝，不让空气进入焊缝之中，从而使焊缝更加

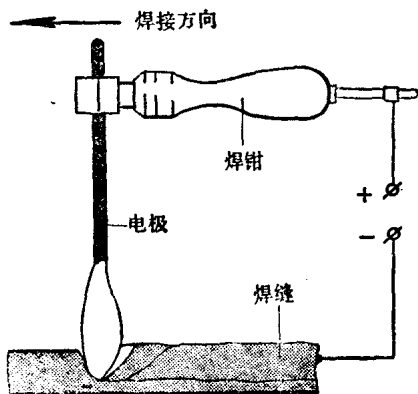


图 2

贝纳尔多斯电弧焊接法的原始方案。把炭精电极和制品接上电源。电流强度达100~150安的电弧熔化了焊件连接处的边缘。在两个边缘之间形成了共同的液态金属熔池。在凝固了的熔池处形成整体的焊缝

① 赫菲斯特 (ΓΕΦΕΣΤ)：古希腊神话中的火神、打铁业的护神。

——译者

坚实可靠。英国科学家汤姆生和贝纳尔多斯分别于1886年和1887年取得了电阻焊的专利。在电阻焊中，把待连接的零件夹在两个电极之间。接通电流，焊件的个别区段就受热而接合起来。

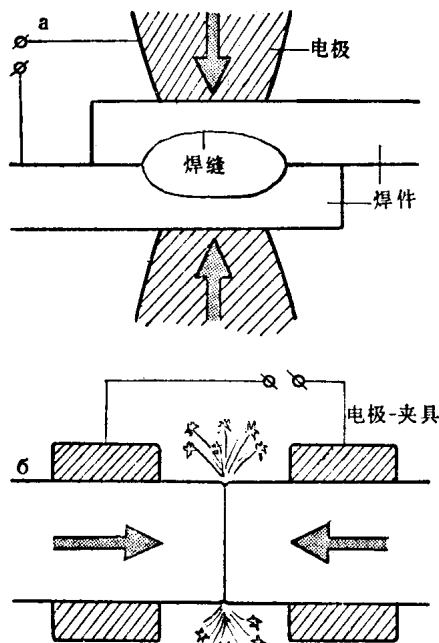


图 3

电阻焊（接触焊）。给预先夹好的焊件通上电流。由于焊件连接处的电阻比焊接链的其他区段（电极、导线）的电阻大，产生的热量也最大，所以它被迅速加热到塑性或熔化状态，在压力下造成连接。图中：a——点焊；6——对焊

十九世纪末，提出了利用乙炔焰的焊接方法。

电弧和乙炔焰的能量足以焊接几毫米厚的钢、铜和黄铜。对对接轨道或钢管，可以采用高热剂（铝或镁和氧化铁的粒状混合物），利用高热剂，经过化学反应还原出来的高温铁液，浇注在焊件连接处，使其达到高温，而造成连接。

这样，在十九世纪最后的20年中，人们把电能和化学反应能转变成金属焊接所需的热能。然而，所有这些焊接方法还未能排挤掉铆接，因为利用这些方法

所形成的焊缝的质量不高。

科学技术革命时代的焊接 二十世纪科学技术的杰出成

就，奠定了现代焊接方法的基础。

焊接的应用领域不断扩大。焊接成了工业、建筑业、交通运输业和农业等部门中制造和修理金属结构和制品的主要工艺过程。但是，并不是所有的焊接方法都已经十全十美了。某些焊接方法刚刚为人们所掌握，人们才开始认识它们的适用性，而它们的基本用途只有在未来才能显示出来。另一些焊接方法已经达到了完善的程度。还有一些焊接方法已经不能满足现代技术的某些要求了。

焊接方法按照焊接所用能源的种类可分为**机械法、化学法、电气法、电气机械法、化学机械法、射线法**等。属于机械法的有：**磨擦焊、冷焊、超声波焊**等；属于化学法的有：**气焊和高热剂焊**；属于电气法的有：**电弧焊、电渣焊、等离子弧焊**等。

如果从“焊接方式”来看，则可以分为**手工焊接、机械化焊接、半自动焊接、自动焊接**。根据连接焊件的方法，焊接可分为**熔焊和压焊**两大类。在进行熔焊时，利用专门的热源加热和熔化焊件的连接处。在进行压焊时，对焊件的连接处施加压力，以造成连接。为此，有时要把焊接处的金属加热到塑性状态甚或熔融状态。大多数焊接方法，是根据能源的种类和根据保证焊接处原子间键合的那些物理现象命名的。

现在，最常用的焊接方法是**电弧焊**，因此我们将在后面的章节里详细地叙述电弧焊接法，把它当作叙述焊接科学各个分支学科的基础。各种电弧焊以及气焊、高热剂焊、电渣焊、电子束焊、激光束焊等都属于熔焊。

属于压焊的有：**电阻焊、气压焊、扩散焊、冷焊、磨擦焊、超声波焊、爆炸焊**，等等。这些方法各有其一定的适应范

围，人们可根据具体产品生产的要求选用其中的某种焊接方法。

气焊 这是二十世纪初期应用最广泛的焊接方法，而现在就其生产率而言已落在其他一些焊接方法的后面了。气焊现在主要用于修理工作和没有电的地方，而且它只能焊接几毫米厚的金属（钢、铜、生铁）。

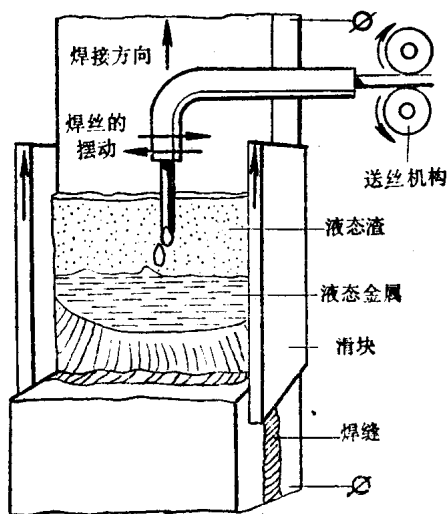


图 4

电渣焊。渣池所产生的热加热焊件连接处和添加金属（电极金属）。电极（条状或板状）和制品分别接在正负极上，电流则通过液态熔渣。液态的电极金属聚集在焊件连接处和冷却滑块之间的空间。滑块用以保持金属液和熔渣不致外流，并随着空间充填和金属冷凝而上升

为了制造厚达几米的钢、铜、钛、铝等金属结构和制造大截面焊缝的产品（锅炉、压力机座等），帕顿电焊研究所制定了**电渣焊接法**。在布鲁塞尔世界博览会上，“俄国焊接法”（在国外这样称呼电渣焊）荣获了大金质奖章。在苏联，应用电渣焊制造了几十万吨品种繁多的结构，其中包括大型机器的焊-铸部件，这些部件就尺寸和重量而言都是独一无二的。

采用**电子束焊接法**可以焊接厚度为十分之几毫米和几毫米以内的制品。电子束焊接在真空条件下进行，真空是电子自由运动和保证焊缝金属纯度所必需的。由于高度的能量集

中(达 10^5 瓦/厘米²)和高真空,这种方法是在生产一切电真空仪器时所不可代替的。在原子动力工程中,电子束焊接用来补焊燃料电池。电子束射入隔层中零件之间的间隙,穿透若干层,把厚元件同薄元件连接起来。这些类型的焊接可使人们创造出许多极重要的机器和设备的新的、更简单的结构,可使人们最有效地利用材料的性能。

在二十世纪60年代初期,创造了脉冲作用的**激光束焊接装置**,而现在大功率连续激光束焊接器正在顺利地进行试验。

激光束既可焊接均质金属,又可焊接异质金属。同时,这种焊接的特点是具有良好的机械性能。

扩散焊接是建立在真空中扩散现象的基础之上的。当焊件同时受热和受压时,扩散(一种物质的分子渗入到另一种物质中)就进行得更加剧烈。

焊接在真空度达到 10^{-4} 毫米水银柱的真空装置中进行。利用高频电流把焊件加热到 $600\sim 800^{\circ}\text{C}$ 。在这样高的温度下,焊件连接处表面上阻碍扩散的氧化膜遭到破坏。加压和磨光表面有利于扩散。利用这种方法甚至可以焊接脆性材料零件,其中包括异质金属和非金属零件。然而,扩散焊接需要

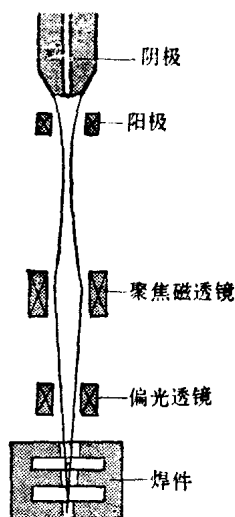


图 5

利用经聚焦的电子流在真空条件下进行电子束焊接。在电场作用下,电子具有的动能等于电子质量与运动速度平方乘积的二分之一。这种动能在电子同制品物质相互作用时被消耗掉

复杂的设备，焊件的尺寸受到真空室尺寸的限制，而且扩散过程要花许多时间——10~30分钟。

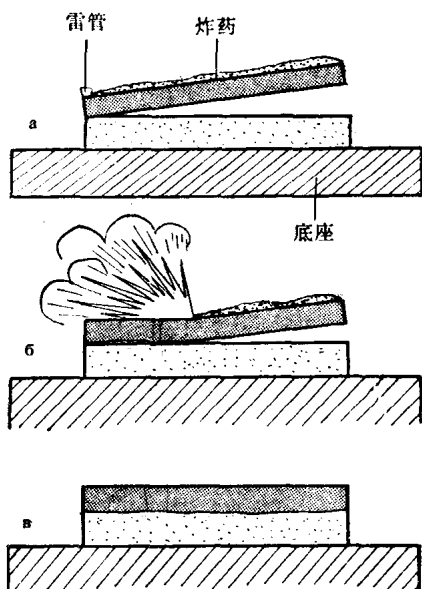


图 6

爆炸焊接。零件之一安置在整体的底座上。另一个零件表面上铺一层炸药，并以一定的角度安置在第一个零件上。炸药从一端起爆，爆炸波造成一个零件对另一个零件的巨大压力

他们就牢固地连接在一起。**摩擦焊接**的工艺过程简单，易于机械化，生产效率高，可用于焊接异质金属，因而为人们所乐用。在用普通软钢制造切削工具时，用这种方法把不大的特种合金刀片焊在软钢上特别有效。

为了连接几微米厚的金属，制定了**超声波焊接法**。超声波焊接工具的声极头把频率为几万赫的机械振动传递到焊接

最快的焊接方法就是**爆炸焊接**：几乎方米的面积可在千分之几秒钟内焊好，而且还可焊接不同质量的零件以及异质金属零件。这种方法顺利地用于制造不能加热的产品，例如，用于安装电话电缆的包皮。1956年，车工丘季科夫用一台普通车床进行焊接，他把不旋转的零件压紧在用卡盘夹持的、旋转着的零件上。两个零件的接合处在几秒钟之内就被加热到赤热的程度，旋转一停止，它

区。在超声波的作用下，焊件连接处的氧化膜被破坏，金属表面变热，在压力下完成焊接。

在二十世纪70年代初期，人们开始应用超声波来连接、熔接和切割生物组织。外科医生已开始利用焊接机来熔焊人的骨骼组织。

无须熔化而把材料连接起来的方法也已制定出来。这就是**钎焊**和**粘合**。

在钎焊时，焊件连接处表面被熔融金属(焊料)浸润时，即产生原子间的键合。

有些合金和塑料在加热或加压时会丧失其特有的性能。为了接合这些合金和塑料，可以采用粘合法。人们在用难以焊接的高强铝合金建造飞机时，就采用了这种方法。