

超 声 波 焊 接

Л.Л. 錫林、Г.Ф. 巴兰丁、М.Г. 科干著



國防工業出版社

超 声 波 焊 接

Л.Л. 錫林, Г.Ф. 巴兰丁, М.Г. 科干著

姜 健、关中原譯

李清卉校



國防工業出版社

1963

內 容 簡 介

本书是一本阐述在焊接过程中采用超声技术问题的书籍。第一部分讲述了金属在超声波振动作用下的固态连接（超声波焊接）。第二部分讲述超声波振动在改善电弧焊和电渣焊缝金属质量时的应用。第三部分讲述超声波焊接用的机械振源。特别注意到讲述为了改善焊缝金属质量的超声波焊接技术和弹性振动的利用。讨论超声波振动源的结构与计算。

本书可供在工厂工作的工程师和技术人员阅读，也可供科学研究人员阅读。

УЛЬТРАЗВУКОВАЯ СВАРКА
Л. Л. СИЛИН, Г. Ф. БАЛАНДИН,
М. Г. КОГАН
МАШГИЗ 1962

*
超 声 波 焊 接
姜 健、关中原译
李清卉校

*
国防工业出版社 出版
北京市书刊出版业营业登记证出字第 074 号

国防工业出版社印刷厂印刷 新华书店北京发行所发行

*
850×1168 $1/32$ 印张 $77/8$ 201 千字

1963年12月第一版 1963年12月第一次印刷 印数：0,001—3,200册

统一书号：15034·704 定价：(10-4)1.40 元

統一書號
15034·704
定價1.40元

超 声 波 焊 接

Л.Л. 錫林, Г.Ф. 巴兰丁, М.Г. 科干著

姜 健、关中原译

李清卉校



国防工业出版社

1963

統一書號
15034·704

定價1.40元

目 录

編者序	5
序 言	7

第一部分 金属在超声振动作用下的 固态连接(超声波焊接)

第一章 点焊设备和縫焊设备	9
一、在焊件上产生超声振动的方法	9
二、超声波焊机	14
三、超声頻的交流发生器	25
第二章 焊接过程的研究	26
四、焊接热循环	26
五、焊接热规范和接头形成动力学的分析	37
六、摩擦在焊接过程中的作用与提高焊接接头质量稳定性 的方法	53
第三章 超声波焊接工艺	67
七、焊接规范的主要参数及其对接头强度的影响	67
八、各种金属的焊接规范及接头的机械試驗結果	76

第二部分 超声振动在改善电弧焊和电渣焊焊 縫金属质量时的应用

第四章 超声振动对正在結晶的熔融金属的作用	101
九、正在結晶的金属錠中的超声振动的产生	101
十、振动对結晶金属作用的效果	104
第五章 振动电弧焊和振动电渣焊的試驗結果	116
十一、有效处理結晶金属条件的探索	116

十二、在焊池中产生超声振动的电弧焊和电流焊試驗	139
十三、熔焊时超声振动的应用範圍	159

第三部分 超声波焊接用的机械振动源

第六章 机械振动源的負載特点	161
十四、表示超声振动特性的几个量	161
十五、作为机械系統一部分的焊件的特点	163
第七章 超声波焊接用的傳振杆和纵向彈性振动变幅杆的設计与計算	167
十六、制造傳振杆所用的材料的彈性	167
十七、作纵向振动的变幅杆和傳振杆	177
十八、作弯曲振动的傳振杆	196
十九、作扭轉振动的傳振杆	209
第八章 磁致伸縮換能器及其激磁电源	216
二十、磁致伸縮換能器	216
二十一、磁致伸縮換能器激磁用的电源	239
参考文献	245

編者序

近几年来，苏联及其他一些国家，研究了一种连接各种材料的新工艺方法——超声波焊接。目前，用这种方法已经焊接了許多种金屬及合金的接头，特别是銅、鈦、鋁、鋅、許多种鋼材、鋁及其合金等的接头。焊接时，可以搭接、点焊或連續縫焊。这种方法，在鋁及一些鋁合金的焊接中，应用最为广泛。

超声焊接时，两个焊件是在固体状态下连接起来的。迄今对这种焊接过程的本质还未完全搞清楚。关于超声波焊接的机理問題，人們还没有一个統一的完全有根据的看法。但是，根据本书第一部分所提到的一些专门的研究結果，現在可以认为，超声焊接过程的本质，与摩擦焊接有許多相似之处。

超声波焊接方法的特点是：能够焊接不同种类的金屬薄板，或将金屬薄板和金屬箔焊接到厚的金屬板上；焊接区中基本金屬性能的变化很小；对焊接表面的焊前准备工作要求不高。此外，設備的特点是，电功率較小，能在距电源較远的地方进行焊接。超声波焊接的上述特点，决定了它的应用范围。显然，它可用以焊接不同厚度及不同种类的金屬与合金；焊接薄板結構；以及在仪表制造业和无线电工业中，进行細小零件的焊接。在本书第二章及第三章中列举了一些点焊和縫焊的例子，并提出了許多种金屬及合金的超声波焊接工艺基本原理，而特別重要的是，对于选择稳定的焊接规范（振幅和振动頻率，傳振杆的材料、結構及几何形状）和焊接設備，也提出了很多科学技术方面的意見。

超声也在鑄造时用来处理熔融金屬，以提高鑄錠质量。显然，在超声振动作用下，鑄造金屬的晶粒将被細化。在处理单相合金时，可得到最显著的效果。

在本书第二部分指出，熔焊时利用超声波能够提高焊缝金属的质量。例如，能显著降低奥氏体钢及镍基耐热合金焊缝的热裂倾向。在研究中着重分析了弹性振动对于结晶金属的作用，并研究了在自动电弧焊和电渣焊的实际条件下，将振动引入焊池中的方法。

有根据认为，熔焊时，利用超声波焊接合金，特别是在焊接容易形成热裂纹的合金时，可提高焊缝金属的抗热裂纹能力。利用超声还能提高焊缝金属的抗腐蚀性。

第三部分，对超声波焊接用的机械振动源，以及振动在焊池中的产生问题，进行了分析和工程计算，并推荐出一些弹性振动变幅杆和焊接用的传振杆的设计资料。此外，还介绍了磁致伸缩换能器和超声频交流发生器工作的基本知识。

在本书中，较全面地分析了由 Н. Н. 雷卡林和 Ю. И. 基太果罗德斯基领导的两个科学研究单位的研究成果。

本书还应用了下述研究机关所发表的研究成果。这些研究机关是：苏联科学院声学研究所，拉脱维亚加盟共和国科学院机械科学研究所，莫斯科包曼工学院，莫斯科动力学院，苏联科学院机械科学研究院，以及其他一些研究机关。

本书第一部分和第二部分，由 Л. Л. 锡林和 Г. Ф. 巴兰丁写成，第三部分由 М. Г. 科干写成。

Н. Н. 雷卡林

序 言

本书叙述了超声波在焊接过程中的应用。

在第一部分，討論了目前关于超声波焊接的机理的各种观点，列举了焊接接头强度的研究成果，并叙述了焊接工艺和设备。研究用超声振动进行焊接的方法时，利用了关于干摩擦〔1〕，〔2〕和滑移焊接〔3〕方面的研究成果。我們知道，滑移焊接是两个相互压紧的零件相对滑动的結果。所以，加力的特点和两个零件相对滑动的距离，都能影响这种焊接接头的强度。在切向力的动载作用下，接头的强度将增加〔1〕。强度值也是随着两个零件相对滑动的距离的增加而增加的〔4〕。因此，使两个工件的焊接部分以超声频率相对滑动时，便能在很短的时间內得到强度很高的焊接接头。

本书第二部分研究了超声振动对焊缝金属的作用。一般是用热处理方法和冶金方法来改变金属的组织，也就是这里所说的焊缝金属的性能。但是，利用已知的这些方法，还远远不能从根本上改进堆焊金属的质量。例如，在焊接奥氏体合金时为了防止产生热裂纹，工艺师就不得不采用降低焊缝金属的耐热性能的方法。然而，已经查明，在铸造条件下，超声波不仅能使熔融金属除气〔5〕，〔6〕，〔7〕，使金属组织独特的均匀化，改进金属及合金最后的机械性能〔7〕，〔8〕，而且也能降低金属的热裂倾向〔9〕，〔10〕。这就給利用超声振动对结晶焊缝的作用，来控制焊接条件下的焊缝金属质量的研究创造了条件。本书第二部分还討論了超声場中的熔融金属在结晶过程中金属组织細化的主要原因；叙述了自动电弧焊和电渣焊时，在焊池中产生振动的方法。这些方法是有实际价值的。另外，还列举了一些应用超声振动焊接試驗的

結果。

本書第三部分詳細地討論了焊接所用的傳振杆的計算問題。因為在工廠中應用這種設備時，還需自己製造這些元件。在講到那些工業部門已經成批生產的振動源（磁致伸縮換能器和超聲波發生器）時，重點則不是講它的計算，而講的是最佳工作規範的選擇依據。

對於所採用的術語，需要作一些說明。為了簡單起見，在本書中，我們把在超聲波作用下，在固體狀態下將金屬連接起來的工藝過程，叫做超聲波焊接。這個術語着重指出，在形成接頭的過程中起決定作用的，是超聲振動。當超聲波用在其他工藝——對結晶金屬的作用——超聲振動的產生並不影響焊接的机理，而是改進焊接質量。

在講到超聲振動源時，應用了在換能器一般理論[11]和電聲學[12]中所採用的一些術語。振動系統的主要元件是換能器（磁致伸縮式的），彈性振動變幅杆和傳振杆。在有些技術文獻中，有時採用“振動器”和“磁致伸縮發生器”，這兩術語是不夠正確的，因為它們都沒有指明作為一種將電能變為機械能的裝置，換能器的主要功用是什麼。由於同樣的原因，為了標記彈性振動變幅杆，有時用了“集波器”或“波導管”，這兩個術語也不應採用。

本書在敘述焊接設備和工藝規範時，都是採用通用的術語。

第一部分 金属在超声振动作用下的 固态连接（超声波焊接）

第一章 点焊设备和缝焊设备

一、在焊件上产生超声振动的方法

超声振动是具有高频（在听觉范围以外）变化的弹性变形。超声波焊接时，一般所用的频率范围在 18 至 80 千赫芝之间；变形所达到的数值约为 $10^{-2} \sim 10^{-3}$ ，位移幅度[●]为几十微米，而速度的幅度每秒可达到几米。

利用超声波在固体状态下连接金属时，主要是利用具有超声频率的弹性变形所决定的二次效应。在焊件表面的接触区中，由于超声振动的结果，引起一种复杂的过程。这种过程与金属在摩擦、磨损、胶合、抛光以及研磨时所产生的情况相似。

在焊接区域产生超声振动的装置的基本原理，如图 1~6 所示。这些装置是用产生驻波的（纵向的，弯曲的，扭转的及其他类型的）传振杆与焊件相连接的。弹性振动源是由发生器供给高频电流的机电式换能器。

作为振动系统一部分的零件的特性，以及振动源（传振杆、换能器及发生器）的设计和计算问题，将在第三部分讨论。所以，

- 振动系统元件的位移是时间 τ 的余弦函数，或近似余弦函数（原文为 синусоидальный，系排版错误——译者注） $\xi = \xi_m \cos \omega \tau$ ，所以，可用振动的圆周频率 ω ($\omega = 2\pi f = \frac{2\pi}{T}$ ，式中 f 为频率， T 为振动周期) 和振幅 ξ_m （位移的最大值）表示。振动的速度 ν 等于位移对时间的导数：

$$\nu = \frac{d\xi}{d\tau} = -\xi_m \omega \sin \omega \tau = -\nu_m \sin \omega \tau; \quad \nu_m = \xi_m \omega,$$

因此，速度的幅度等于位移的幅度乘以圆周频率。

本节仅从工艺可能性的观点上，简单地分析一下各种产生振动的方法。

利用纵向振动时(图1)，一般把换能器与弹性振动变幅杆相连接。变幅杆用来协调换能器和负荷的参数，并且，在工艺及结构方面也有一定的用途。

接触压力由力偶产生，由工作台的平面承受。接触压力应通过位移和速度最小的平面(振动的节点)加在焊接头上。如图1a所示，在变幅杆和传振杆的长度上各有两个半波。但是，传振杆的长度还可以增加，使之在它上面产生三个、四个或更多个半波。输入端与输出点的位移幅度的比值(变幅系数)，决定于传振杆的尺寸和形状。

上述方法不仅能用于点焊，而且也能用于缝焊(图1b)，并能用于轻便式的焊接设备中。根据这种方法，已经先后制造了试验用的和生产用的超声波焊接设备。

利用纵向振动传振杆使焊件产生振动的方法的缺点是：加在传振杆两端的载荷不对称。当由于产生接触压力的力矩的作用而引起弹性应力时，在传振杆中可能会产生有害的弯曲波、和由此而引起的垂直方向的振动。由于这种振动，会引起传振杆的振动头周期性地与焊件脱离，因而使焊接表面的变形增加，同时使超声作用的工艺效果降低。

只有直接在工作端头将压力加到传振杆上时，才能消除这种

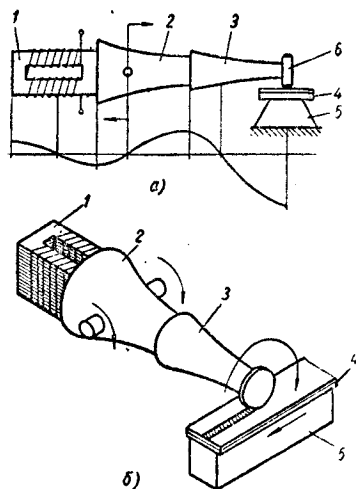


图1 利用纵向振动传振杆使焊件产生超声振动的原理图：

a—点焊；b—缝焊。a下面是位移幅度的分布曲线。1—磁致伸缩换能器；2—纵向弹性振动变幅杆；3—传振杆；4—焊件；5—工作台；6—振动头。

有害的弯曲振动(图2)。但是,在这种情况下,由于上振动极的质量加到傳振杆上的結果,振幅将会减小,并且会引起其工作表面的磨損。所以在实际中,为减少傳振杆端头的垂直振动,应当把靜压力加在距焊接头

最近的位移节点上。傳振杆应当有足够的剛性,当其长度等于两个半波时,端头的直径不应小于20毫米。

上述方法的第二个缺点是:焊件的靠近换能器那一边的几何尺寸受到限制。这一缺点可以用加长傳振杆的方法克服。

对于在工件表面的垂直方向将振动傳遞給焊件的方法,也曾进行过試驗(图3)。一些研究人員[13]用45~70公斤的接触压力、15千赫芝的振动频率和600瓦的功率,在2~3秒內就在0.25毫米厚的鋁板上焊好了焊点。看来在这种情况下,仅在焊点的周边产生連接作用。由于在这些地方,因应用了半徑很小的球形冲头的結果,使焊接表面产生了相对移动。因此,这种接头的强度是不大的——每个点不超过18公斤。在使用这种方法进行焊接时,即使接触压力的变化范围不大,振动规范也是很很不稳定的。

由于上述原因,这种方法不适用于金屬的焊接,但当用于焊接塑料时,这种方法是成功的[14]。

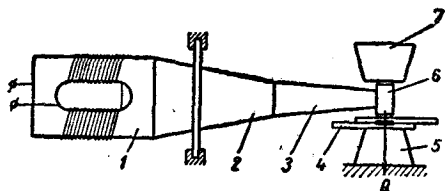


图2 在振幅最大的平面內將接触压力加在傳振杆上时的超声波焊接原理图:

- 1—磁致伸縮換能器; 2—纵向彈性振动变幅杆;
- 3—傳振杆; 4—焊件; 5—工作台; 6—振动头;
- 7—向傳振杆施加靜压力的振动极。

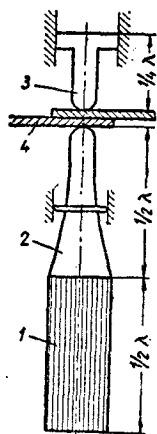


图3 用与焊接表面垂直的傳振杆使焊件产生超声振动的原理图:

- 1—換能器; 2—变幅杆;
- 3—工作台; 4—焊件。

在焊件上产生振动的第二种方法，如图 4 a 所示。按照这种方法，传振杆作弯曲振动。这种振动，是由与它相连接的变幅杆和换能器的纵向振动引起的。在这种情况下，传振杆同时也传递

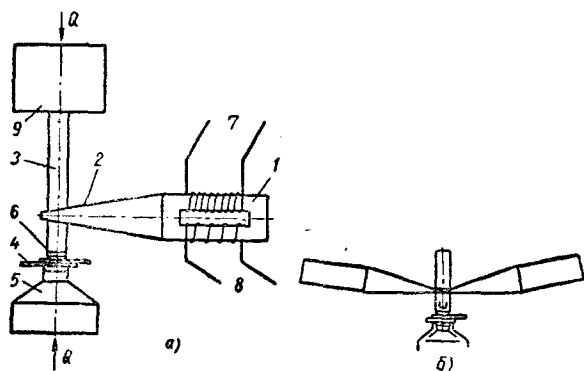


图 4 通过带连接体的弯曲振动传振杆使焊件产生超声振动的原理图:

a—用一个换能器；b—用两个换能器。

1—磁致伸缩换能器；2—纵向弹性振动变幅杆；3—传振杆；
4—焊件；5—工作台；6—振动头；7—激磁电流线圈；8—高频电流线圈；9—连接体。

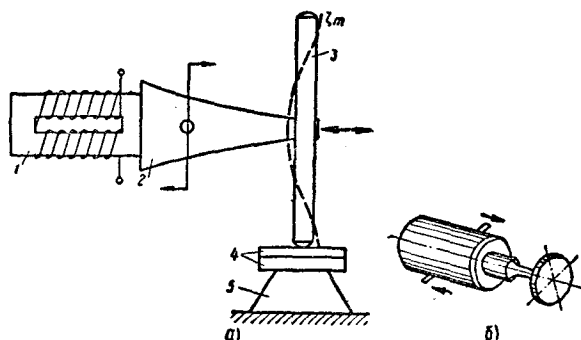


图 5 利用有一个自由端的，作弯曲振动的传振杆使焊件产生超声振动的原理图:

a—点焊；b—缝焊。

1—磁致伸缩换能器；2—纵向弹性振动变幅杆；
3—传振杆；4—焊件；5—工作台。

接触压力。为了增加功率，可用两个同步工作的换能器[16]（图46）。这两个换能器的振动相位相差 180° 。我們知道，利用有一个自由端的、作弯曲振动的傳振杆，也是超声波焊接的一种方法（图5a）。当用大直径的圆盘代替垂直杆后，上述方法便能用于縫焊（图56）。

使形成接头的地方产生切应变的第三种方法，是利用扭轉振动[17]~[19]。其中一种方法[18]，是用两个同步工作的换能器（图6a）在变幅杆的上平面内产生振动；第二种方法[17]，是用特殊的傳振杆[19]产生扭轉振动（图66）。这种特殊的傳振杆是按着下面的工艺方法制造的：在等于四分之一波长的长度上，沿着傳振杆柱体的母綫銑出一些槽，并使这些槽越靠近端头越深；当把黃銅衬条压入傳振杆中后，将其加热并进行扭轉，使多头螺旋槽的間距，越靠近端头越小。当这种傳振杆与换能器連接起来时，它除能产生纵向振动外，也能产生扭轉振动。利用这种方法，在几公斤的接触压力下，已經获得了鋁箔（0.1毫米）的焊接接头。这种方法（图66）的缺点是，在傳振杆中会产生纵向振动。如上所述，这种纵向振动会损坏接头的外形，并会降低超声振动作用的工艺效果。

目前只有两种方法，即用纵向振动傳振杆（见图1）和用弯曲振

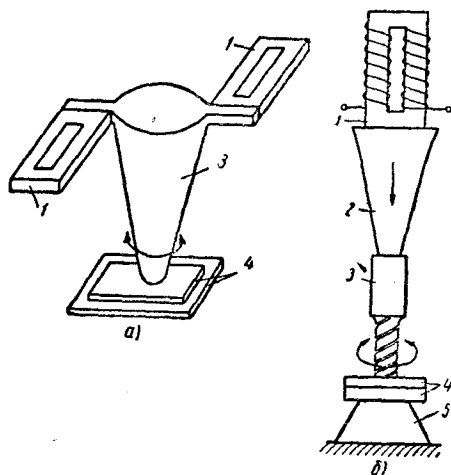


图6 点焊时加旋轉力矩(a)及利用帶螺旋槽的傳振杆(b)使焊件产生扭轉超声振动的原理图：

- 1—磁致伸縮換能器；2—纵向彈性振动变幅杆；
3—傳振杆；4—焊件；5—工作台。