

铝塑复合管的超声金属焊接

陈思忠 郑伟成 都文华 仲大琪

(上海船舶电子设备研究所 上海 200025)

1999 年 11 月 8 日收到

摘要 本文主要介绍了金属材料超声焊接的特点, 原理分析、焊接强度与参数的关系及在铝塑复合管生产中的应用。

关键词 铝塑复合管, 超声, 焊接

Ultrasonic metal welding of aluminum-plastics composite tube

Chen Sizhong Zheng Weicheng Du Wenhua Zhong Daqi

(Shanghai Marine Electronic Equipment Research Institute, Shanghai 200025)

Abstract This paper discusses the main features of ultrasonic metal welding, its principle, the relation between strength and parameters selection and its application to the production of aluminum-plastics composite tube.

Key words Aluminum-plastics composite tube, Ultrasound, Welding

1 引言

铝塑复合管是一种用以取代传统金属管和塑料管的新型管材。传统的金属给水管最致命的弱点是耐蚀性差, 极易生锈, 管中重金属离子尤其危害人体健康, 90 年代初国际上新开发的铝塑管则取金属、塑料两者之长, 避两者之短, 彻底解除了这些矛盾。它是由内外两层聚乙烯材料和中间一层铝合金管胶合而成, 重量是铁管的 1/15, 强度高且有一定柔韧性, 不受长度限制, 接头少, 施工方便, 寿命达 50 年以上, 内壁光滑不结垢, 完全没有二次污染水质的隐忧, 而综合造价仅为镀锌铁管的 1/5。因此被国际上称为本世纪末最佳管材, 在西方国家被迅速推广应用。目前非但占领了给水管

领域, 也在热水管、化学用管中大展身手。我国有关部门也明文规定新建筑中镀锌铁管已不能使用, 旧的需要不断换装, 因此铝塑复合管市场将是十分广宽的。

铝塑复合管生产中需要一种铝管焊接关键设备——超声波金属焊接机。超声焊由于能连续焊接、速度快、焊接强度高, 能耗低, 缝焊厚度从几个 μm 到 1mm 范围, 因此倍受铝塑复合管生产厂商的欢迎, 本文就超声焊接机理及焊接强度与参数等关系进行了研讨。

2 超声波金属焊接的特点^[1]

(1) 超声波金属焊接机是一种可点焊、连续焊等各种焊接工作方式的焊接工具。它具有焊

接速度快,易于实现焊接的控制,特别在当前已经进入计算机控制时代,它能很好地和计算机配合进行焊接控制。从而达到高精确度的焊接。并且实现焊接的全自动化。

(2) 超声波焊接与其他焊接相比,因它对焊接件产生的高温是局部、短时的因而对被焊工件的形变量很小。一般小于 10%,焊区的温度一般不超过被焊金属溶化温度的 30-50%,并不发生材料溶化以及大范围的冶金变化过程,从而不使金属结构发生变化。故焊缝的焊面美观、应用领域前景广泛。

(3) 超声波金属焊接机是在二块被焊接物体重叠情况下经过超声波振动在压力下结合形成固体形式,其结合时间短,结合部分不产生铸造组织(粗糙面)缺陷。

(4) 超声波金属焊接能在同种金属,不同种金属之间进行焊接。尤其是高导热、高导电材料,即使物理性能相差悬殊,可焊性也很好。

(5) 超声波金属焊接与电焊、气焊相比能耗少得多。一般超声波金属焊接所需消耗的电能仅仅是电阻焊接的 5% 左右。显示了超声波金属焊接方法在提高能源利用率上的极大潜力。

(6) 超声波金属焊接焊接强度高,稳定性好,具有高抗疲劳强度。

(7) 超声波金属焊接尤其适用金属箔片、细丝、微小器件及厚薄悬殊、多层箔片的特殊焊接。一般金属焊接的材料可以在 0.006-2mm 范围。

(8) 超声波金属焊接在焊接过程中无需添加任何材料、焊剂。

(9) 超声波金属焊接无需像一般焊接那样进行焊接面预处理,超声波焊接自身包含着对焊接件表面破碎及清洗作用,所以表面对焊接的影响较小。

3 超声焊接的原理

超声金属焊接原理图见图 1。它由焊头、变幅杆、换能器振子、超声波发生器、调速电机

机、变额器、压缩机、气缸等组成 [2]。

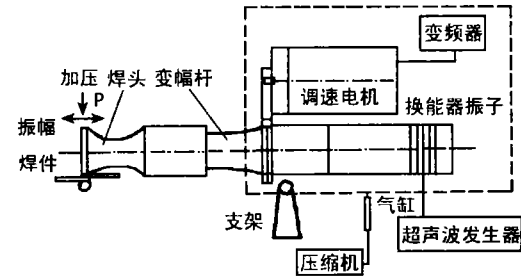


图 1 超声金属焊接原理图

这是一种固相焊接方法,焊件之间的连接是通过声学系统的高频振动以及焊件之间的静压力的夹持作用下实现的。由于使用的振动频率超过了人类听觉的上限,而处于“超声波”范围,因而被称为超声波焊接。如果换能器和焊头随电机作连续转动,焊接称为缝焊;如果焊头不作转动,焊接称为超声波点焊。

图 1 中超声波发生器是一个变频装置,它将市网 50Hz 电压变换成 20kHz 超声波频率的振荡电压,换能器则依靠“压电效应”将超声波发生器馈入的振荡电能转换成高额振动能,变幅杆是用来放大振幅并用来藕合负载。气缸是作为焊件的加压之用,调速电机、变频器是使焊头作连续转动。

具体的焊接过程,超声波发生器施加电功率于换能器,使之作高频纵向振动,其振幅经变幅杆放大传输到焊头。焊头在受压下在焊件表面作强烈的超声振动。这时两被焊件在垂直压力 P 和焊头作平行于焊件的振动的高频摩擦下,产生温升和塑性流动,摩擦同时还去除氧化膜,为纯净金属表面的接触创造了焊接条件。圆盘焊头转动实现连续不断的焊接,焊接过程中没有电流直接流进焊件,也没有高温热源(如电弧、电子束等)注入焊件。这种焊接是通过被焊区域表面层金属原子的互相扩散或互相结合状态下进行的固相结合。

经过对焊接过程的研究表明,摩擦、塑性流动以及温度是实现超声焊接的三个互为依赖

的主要因素, 其中摩擦起主导作用, 这不仅是焊接中的主热源, 而且通过排除氧化膜为纯净金属表面间接触创造了条件。

超声焊接摩擦所需能量可由下式表示^[3]

$$E = \int \mu P v dt \quad (1)$$

这里 μ —摩擦系数; P —焊头上所加的垂直压力; v —焊头振速。 $v = 4Af$

式中 A —焊头的振幅; f —超声振动频率; t —焊接时间。

由此可见超声缝焊由于摩擦所需的能量与所加焊头的压力 P , 焊头的振速 v , 焊接时间 t (与焊头转速有关) 的乘积有关。摩擦系数与焊头和焊件间表面状态、焊件夹持的方法等有关, 所加压力 P 与被焊材料的可流动性极限有关, 还与焊件材料的硬度、厚度及焊头振幅大小有关; 焊头振幅要根据焊件物性和尺寸选取, 一般选 $5\sim 25\mu\text{m}$ 。

上面已提到摩擦力在焊接过程中主要转换成结合面的热能和塑性形变。温度实质上最能反映出一种焊接方法的特点。因此有人曾对超声波焊接进行过多种测温试验。但精度较差, 测定的结果仅能反映出焊区的平均温度。通过对不同金属的焊区温度测量, 焊区温度一般为金属熔点的 $30\%\sim 60\%$, 例如铝板的焊区温度为 300°C 左右, 铝与蒙乃尔合金之间的焊接温度可达 600°C , 不锈钢可达 800°C 。这说明了超声波缝焊(或点焊)中焊件材料没有发生熔化。这是一种特殊的固相焊接方法。也可以说这是金属原子间的“键合”过程, 可以简单地描述为: 在焊接开始时, 金属材料在摩擦力作用下发生了强烈的塑性流动, 为纯净金属表面之间的接触创造了条件。而接头区的温升以及高频振动, 则又进一步造成了金属晶格上原子的受激活状态。因此, 当有共价键性质的金属原子互相接近到以 A° 计的距离时, 就有可能通过公共电子形成了原子间的电子桥, 即实现了所谓金属“键合”过程。

应用声学

4 焊接强度与参数的选取关系

超声波焊接强度与参数选取有直接关系。

超声波金属焊接的主要几个参数是: 振动频率 f 、振幅 A 、静压力 P 及焊接时间 t 。

工作频率的选取通常以焊件的厚度及物理性能为依据。在焊接薄件时, 例如几个 μm 到 $15\mu\text{m}$ 的铝箔, 工作频率应选取在 40kHz 左右, $15\sim 50\mu\text{m}$ 的选取在 30kHz 左右, $0.1\sim 0.4\text{mm}$ 时选在 20kHz 左右, 这是因为在焊接薄件时, 在维持声功率一定的前提下, 提高振动频率可相应降低需用的振幅, 而降低振幅即可减轻薄材料因交变应力而可能引起的疲劳破坏。由于频率的提高, 高频振动能量在声学系统中的损耗将增大, 因此厚材料的金属焊接常选用频率 $15\sim 20\text{kHz}$ 。另一方面, 根据材料厚度选取不同的频率对于提高焊接强度有好处。一般说来, 对于硬度及屈服极限较低的材料, 频率范围应选在低频范围。

关于振幅的选取一般可通过调节超声波发生器输出功率实施。由于材料的硬度、厚度不同, 所需的功率也不同。超声波焊接接用发生器的功率可由下式确定^[4]:

$$W = kH^{3/2}\delta^{3/2} \quad (2)$$

式中 W —超声波发生器功率; k —常数; H —材料的显微硬度; δ —焊接材料的厚度。

超声波焊接需用电功率与焊件硬度及厚度的关系如图 2 的曲线所示。厚度 0.25mm 的铝板缝焊所需的功率大约在 $200\sim 300\text{W}$ 之间, 如果用超声进行点焊, 对于 $1\sim 1.1\text{mm}$ 材料铝板大约需 $1.5\sim 4\text{kVA}$ 。如果改用接触焊, 则至少需用 75kVA , 前者为后者的 5% 。

由于超声焊接消除了熔化焊、接触焊中因金属熔化及高温所带来的不良影响。其焊接强度平均比接触焊高 $15\%\sim 25\%$ 。当然这与焊接所选用参数也有关。

超声焊接的静压力与焊接强度的关系: 压力过小, 焊接强度就不高, 反之压力过大, 焊

接变形量大，其焊接强度也下降（超声缝焊的静压力较点焊小得多，一般为 0.1-0.5MPa）

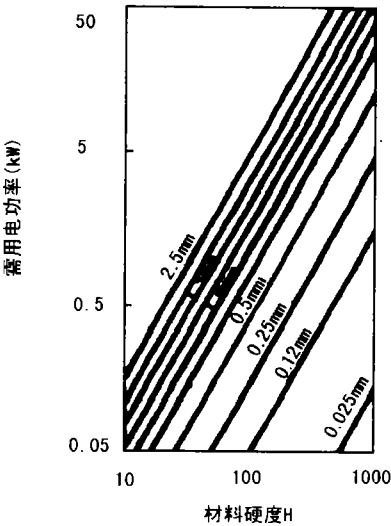


图 2 超声波焊接所需功率与焊件硬度及厚度的关系

焊接强度与振动位移（振幅）的关系：振幅若过大、时间过长，材料被焊部分的周围引起疲劳，会导致焊接强度下降。焊接静压力与焊接时间不变，焊接强度与振动位移也有个最佳值，反之焊接强度都会下降。

在具体焊接过程中一般焊接强度的控制是

通过调节超声波发生器输出功率及加在焊头上的压力以及缝焊机振动系统上焊头转速（焊接时间）实现的。例如对于 0.25mm 厚的铝圆管的缝焊超声波发生器输出功率在 250-500W 间可调，发生器与换能器的工作频率为 20kHz，焊接速度 4-8m/min 可调；静压力 0.1-0.8MPa 可调。

5 超声波金属焊接的应用前景

目前超声波金属焊接应用十分广泛，随着我国的供水、供气、供热用铝塑、铜塑复合管替代镀锌管的实施，以及铝板箔厂、铜板箔厂所需要的薄板接带和食品、烟草的包装、电子零部件、通信电缆屏蔽等，都需要超声波焊接技术，因此应用前景相当广阔。

参 考 文 献

- 1 陈思忠，袁易全等著. 近代超声原理与应用. 南京大学出版社，1996. 81-87.
- 2 陈思忠. 超声缝焊研究. 1998 全国声学学术会议文集. 成都科技大学出版社，1998. 393-394.
- 3 (日)小玉漏. 最近超音波熔接现状. 超音波工业株式会社，1985. 64-67.
- 4 沈世瑶. 焊接方法与设备（第三册）. 机械工业出版社，1982. 154.

SHX-DFL 型大风量片式消声器系列通过产品鉴定

2000 年 4 月 25 日经上海市经委批准，由上海市轻工控股（集团）公司主持，对上海申华声学装备有限公司研制的 SHX-DFL 型大风量片式消声器系列通过了产品鉴定。

大风量片式消声器广泛应用于地铁、隧道、地下车库、发电站等大中型通风工程中。上海申华声学装备有限公司结合上海地铁 1# 线、2# 线通风工程的需要，经过数年的试生产已形成一定的生产能力。目前可提供风量由 15000m³/h 至 400000m³/h 七大系列共 91 种规格的片式消声器。消声片长度为 2000mm，消

声片高度分别为 1000mm、1250mm、1500mm、1750mm、2000mm，消声片厚 250mm，片间距 250mm。消声器声学 and 气动性能经同济大学测试，单位长度消声量为 8dB(A)，压力损失为 1mm 水柱。产品质量经上海市环保产品质量监督检验总站检测，质量优良。专家鉴定认为，该系列消声器生产工艺合理，工装设备先进，检测手段完善，产品加工质量符合设计要求和标准规定，产品质量达到国内领先水平，一致同意通过产品鉴定，投入批量生产。

(中国船舶工业第九设计研究院 吕玉恒)