

难熔金属激光焊接技术的研究及应用

吴长贵 王先秀

(国营成都国光电子管总厂)

摘要: 本文论述了难熔金属零部件激光焊接工艺的研究及应用。通过大量的科学试验, 成功地将激光焊接技术用于钨-钨、钨-钼、钨-钨、钨-钽、及钨-钽等零部件的焊接, 均收到可喜的效果。

The research in laser welding art of high-melting metals and its applications

Wu Changgui, Wang Xianxiu

(Chengdu Gouguang Electron Tube Works)

Abstract: The research in laser welding art of high-melting metal parts and applications is reported. The welding between tungsten-tungsten, molybdenum-molybdenum, tungsten-molybdenum, tungsten-tantalum, molybdenum-tantalum and so on has been realized successfully with laser welding art, and these results are satisfactory.

引 言

随着微波器件的迅速发展, 原来的电阻焊、钎焊、氩弧焊、电子束焊等焊接技术, 已满足不了其需要, 特别是电真空器件中: 钨-钨、钨-钼、钨-钨、钨-钽等零部件焊接问题早已成难题, 亟待解决。为此, 我们开展难熔金属零部件激光焊接工艺的研究, 经过反复的试验、摸索、分析和应用, 充分证实激光焊接技术是当前最理想的焊接技术。它能解决常规工艺所不能解决的问题。现在, 我们已将此技术成功地应用于钨-钨、钨-钼、钨-钨、钨-钽等零部件间的焊接, 并取得了可喜的成绩。

一、激光束斑点的功率密度及温度

众所周知, 聚焦指向性良好的高功率激光束可以熔融或蒸发各种材料。激光束的打孔、切割和焊接就是由激光束对工件的加热蒸发和加热熔化实现的。那么, 激光束是否有这么大能量将工件加热到那么高温度来达到焊接目的呢? 下面分两点来论述。

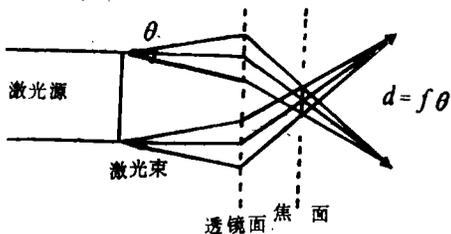


图1 发散角和聚焦性

1. 激光束光斑直径和功率密度

发散角为 θ 的光束通过焦距为 f 的透镜聚焦时，焦面上的光斑直径 d 由下式给出（参看图1）。

$$d = f\theta \quad (1)$$

因一般激光器的 θ 角是 $10^{-2} \sim 10^{-3}$ rad，焦距为几厘米的透镜在焦面上的光斑直径是几十至几百微米。被聚焦的激光束在焦面的功率密度 F 由下式给出：

$$F = \frac{4P}{\pi d^2} \quad (2)$$

因固体脉冲激光器总输出能量一般只有几焦耳至几十焦耳，振荡时间约为几分之一到几毫秒，故功率密度由（1）、（2）式得知可达 $10^5 \sim 10^8$ W/cm²。

2. 激光束照射下的工件表面温度

大家都知道，光通过物质时，能在物质内被吸收变成热能，因此，可以从热导公式计算激光照射下的加工面的温度。聚焦激光束于加工面，当加工面和焦面重合时，则激光束斑点中心温度由下式算出〔1〕：

$$T_0 = \frac{2F}{K} \sqrt{\frac{kt}{\pi}}$$

以钨为例，式中，钨热导率 $K = 1.2958$ W/cm·°C，钨热扩散率 $k = 68.3 \times 10^{-6}$ m²/s，设：激光器输出能量 $W = 5$ J，激光束斑点 $d = 0.04$ cm，激光束作用时间 $t = 4$ ms。

解： $\therefore F = \frac{4P}{\pi d^2}$ 式中， $P = \frac{W}{t} = \frac{5\text{J}}{4 \times 10^{-3}\text{s}} = 1.25 \times 10^3 \text{W}$

$$\therefore F = \frac{4P}{\pi d^2} = \frac{4 \times 1.25 \times 10^3}{3.14 \times 4 \times 10^{-4}} = 9.95 \times 10^5 \text{ (W/cm}^2\text{)}$$

故： $T = \frac{2F}{K} \sqrt{\frac{kt}{\pi}} = \frac{2 \times 9.95 \times 10^5 \text{ W/cm}^2}{1.295 \text{ W/cm} \cdot \text{°C}} \sqrt{\frac{68.3 \times 10^{-6} \text{ cm}^2/\text{s} \times 4 \times 10^{-3} \text{ s}}{3.14}}$

$$= 1.5357 \times 10^6 \frac{\text{°C}}{\text{cm}} \times 2.949 \times 10^{-2} \text{ cm}$$

$$= 4.529 \times 10^4 \text{ °C}$$

由上述数据说明，激光束斑点的功率密度和温度是十分可观的，对加工任何金属和非金属均已足够。

二、激光焊接实例

本实验是在下述激光机上进行的：JK9数控脉冲激光焊接机，是沈阳市机电工业研究设

计院1979年产,其最大输出能量20J,脉冲宽度8ms; System2000是英国JK公司产,其最大输出能量40J,脉冲宽度0.1ms~10ms。

(1) 搭焊。丝料或片料(板料)的零件焊前应进行净化处理,然后将二者重合在一起(重合长度视要求而定,一般约为5mm)。在工件重合部分一边缘的中点上焊一点的为一个焊点,和在其相对应两边缘中点上各焊一点为两个焊点,焊点质量见图2a~e和表1。

(2) 并焊。将直径不一的各种零件,经净化处理后将其二者紧密地并列在一起,然后在其并接处焊一点或若干点,焊点质量见图2f~j和表1,当并焊的两根丝料,其直径相差

表1 激光焊接件于30kg拉力机上的拉断力试验

焊接方式	材料	焊点数			备注
		拉断力	焊一点	焊二点	
搭 焊	0.2钼带与0.2钼带	2.2	4.05	6.8	均为两件 平均拉断 力数
	$\phi 0.3$ 钨丝与 $\phi 0.3$ 钨丝	1.8	3.4		
	$\phi 0.3$ 钨丝与 $\phi 0.4$ 钼丝	3.4	6.3		
	$\phi 0.3$ 钨丝与0.2钼带	4.1	7.9		
	0.2钼带与0.2钼带	4	8.1		
并 焊	$\phi 0.3$ 钨丝与 $\phi 0.3$ 钨丝		4.51	6.3	大部分从中间 断,少数从焊 点处拉断
	$\phi 0.4$ 钼丝与 $\phi 0.4$ 钼丝		2.7	3.85	
	$\phi 0.4$ 钼丝与 $\phi 0.3$ 钨丝		2.9	5.75	
	$\phi 0.4$ 钼丝与 $\phi 0.4$ 钼丝		3.4	7.1	
	$\phi 0.4$ 钨丝与 $\phi 0.4$ 钼丝		3.1	6.5	
对 焊	$\phi 0.4$ 钼丝与 $\phi 0.4$ 钼丝	4.1			由于丝太细只 能焊一点
	$\phi 0.25$ 钨丝与 $\phi 0.25$ 钨丝	1.75			
	$\phi 0.4$ 钼丝与 $\phi 0.3$ 钨丝	4.25			
	$\phi 0.35$ 钨丝与 $\phi 0.5$ 钼丝	4.7	6.9		在其交接处的正反 面各焊一点
	$\phi 0.4$ 钼丝与 $\phi 0.5$ 钼丝	4.9	7.8		

较大时,则激光束斑点即焊点应适当向丝径大的一边移动,否则易将细丝焊断。

(3) 对焊。零件需要对焊的端面要平整、洁净。对焊的焊点大小及数量由零件的大小及要求来定。本试验的丝径均较细,其丝径在 $\phi 0.4$ 以下的仅在交接处焊一点,而丝径为 $\phi 0.5$ 的则在交接处正、反面各焊一点,而且焊点略偏向粗丝一边。焊接质量见图2k~o和表1。

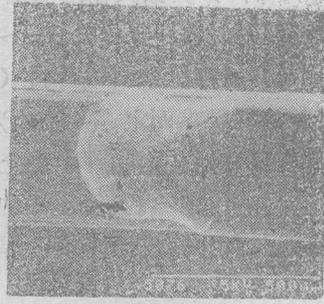
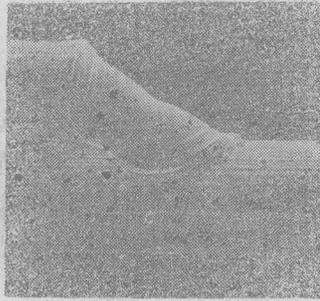
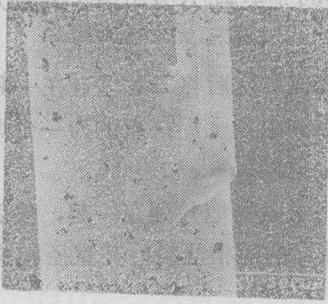
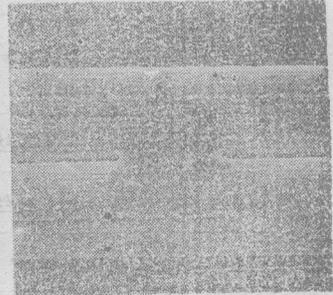
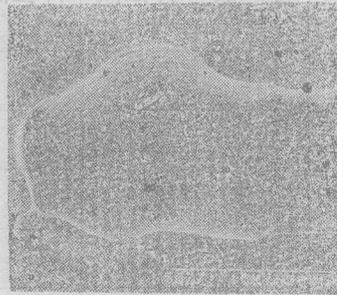
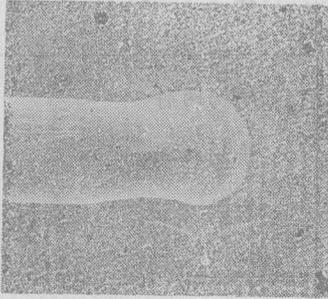


图 2

a— $\phi_w 0.25$ 与 $\phi_{M_0} 0.8$ 搭焊

b— $\phi_w 0.35$ 与 $\phi_w 0.3$ 搭焊

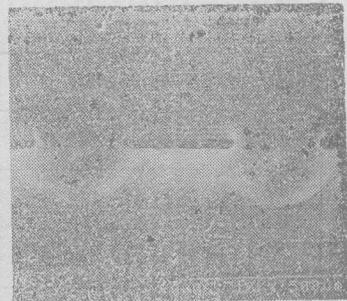
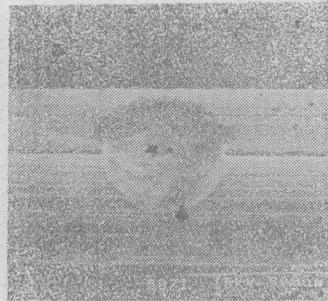
c— $\delta_{M_0} 0.2 \times 0.4 \times 5$ 相互搭焊



d— $\phi_w 0.3$ 与 $\delta_{T_a} 0.2 \times 3 \times 3$ 搭焊

e— $\delta_{M_0} 0.2 \times 0.4 \times 5$ 与
 $\delta_{T_a} 0.2 \times 5 \times 5$ 搭焊

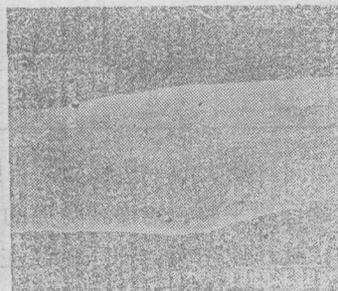
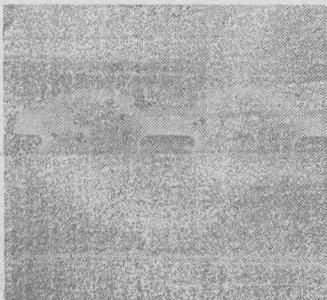
f— $\phi_w 0.35$ 与 $\phi_w 0.35$ 并焊



g— $\phi_{M_0} 0.4$ 与 $\phi_{M_0} 0.4$ 并焊

h— $\phi_{M_0} 0.4$ 与 $\phi_w 0.25$ 并焊

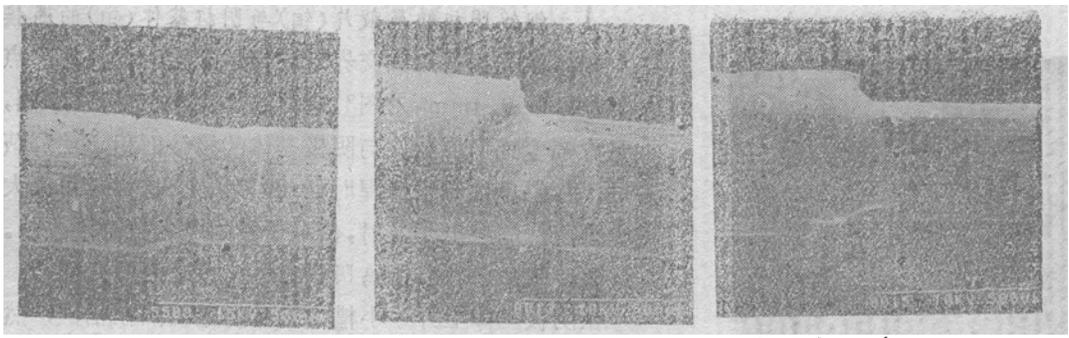
i— $\phi_w 0.4$ 与 $\phi_{T_a} 0.4$ 并焊



j— ϕ_w 与 $\phi_{T_a} 0.4$ 并焊

k— $\phi_w 0.25$ 与 $\phi_w 0.25$ 对焊

l— $\phi_{M_0} 0.4$ 与 $\phi_{M_0} 0.4$ 对焊



m— $\phi_w 0.3$ 与 $\phi_{M_0} 0.4$ 对焊

n— $\phi_{M_0} 0.4$ 与 $\phi_{r_a} 0.5$ 对焊

o— $\phi_w 0.35$ 与 $\phi_{r_a} 0.5$ 对焊

三、影响激光焊接的因素

影响激光焊接质量的因素有：焊件的清洁度；焊件间的配合尺寸；激光束能量；激光束作用时间；光斑点的大小；惰性气体的保护。

(1) 焊件的清洁度。待焊接的零件应事先进行清洗、退火等工序，使其表面清洁无污，否则焊接时易产生飞溅现象，焊点出现裂纹和气孔，影响焊接质量。

(2) 焊件间的配合。焊接件的焊接部位相互之间应接触良好，由实验得出，焊接件之间的间隙应在 0.02mm 之内为好，以免焊点出现裂纹和焊不牢现象。

(3) 激光束能量。其能量的大小，对工件焊接起决定性作用。对钨、钼、钽而言一般在 $5\sim 10\text{J}$ 。激光能量的大小与储能电容的大小及电压平方成正比($W = CV^2/2$)。在激光焊接中，通用调节电压的方法来确定能量的大小，若能量过大，被焊金属汽化甚至打出孔来，能量小则焊接不牢或根本焊不上。因此要根据材料的物理性能和几何尺寸的大小，选择合适的激光焊接能量。

(4) 激光束作用时间。一般认为作用时间长些为好，这样有利于排除熔池内的气体，防止金属冷却后形成气孔，使熔化的金属在结晶前填满焊区的小凹坑，同时还可增加熔深，使焊点牢固，但作用时间过长会使热影响区扩大，能量消耗大。与此相反，作用时间太短、功率密度高会引起强烈的蒸发，影响焊点的强度和光洁度，所以要根据不同材料的物理性能选择合适的作用时间。由实验确定，难熔金属钨、钼、钽采用激光焊接时，其激光束作用时间选 $4\sim 8\text{ms}$ 为好。

(5) 光斑大小。众所周知，在同样的焊接条件下，焦点处的功率密度最大，作用区最小，适合焊接微型零件；对于尺寸较大的工件应选择合适的光斑，以便获得较大的焊点，确保其牢固度，所以要根据不同的材料及不同的要求来选择合适的光斑。我们通过试验对电真空器件内钨、钼、钽零件的焊接，其光斑选择在 $0.3\text{mm}\sim 0.5\text{mm}$ 范围内为佳。

(6) 惰性气体的保护。由于电真空器件对其内部的零部件要求较高，其零部件表面应清洁，不能有污和氧化现象，焊点应光滑牢固，为此对其内部工件的焊接，均应在惰性气体的保护下进行，否则焊区产生氧化，但对管外要求不高的零部件，仅要求焊牢的可不用保护性气体进行焊接。

四、应用

通过反复的试验，现在我们已广泛的应用激光焊接多种零部件，下面介绍几种应用实例：

1. 钨钨阴极的屏蔽片(钨)与阴极基体(钨)的连接
采用激光在其周围交界处均匀地焊接3~4点,焊点大小为0.3~0.4mm,见图3。这样的焊点不仅美观、牢固,而且大幅度减少屏蔽片与阴极基体的接触面积,使屏蔽片的工作温度比原来钎焊时低100℃以上,这样就可大大减少屏蔽片的热电子发射,使电子管的电参数得到改善。

2. 热丝(钨)与钨钨阴极基体(钨)之间的连接
在阴极基体上开一小槽将热丝的尾丝陷在槽内,然后在交界处焊2~3点,见图4,则得到可靠的连接。

3. 钨海绵阴极圆片与钨支持筒间的焊接
钨海绵阴极圆片厚度约0.5mm,与钨支持筒装配后,其厚度高出钨支持筒约0.2mm,借助激光束在其交接处焊接,焊点约为 $\phi 0.3\text{mm}$,此焊接应确保钨海绵阴极圆片的表面完整,否则影响其性能。焊后部件见图5,图的左上角为钨海绵阴极圆片,右下角为钨支持筒。

4. 阴极基体钨(0.2×4×8)与钨引线($\phi_M 0.35$)焊接

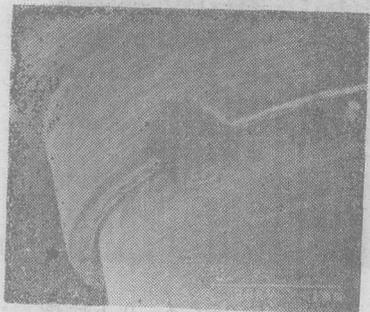


图 3

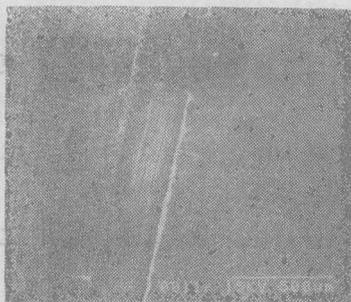


图 4

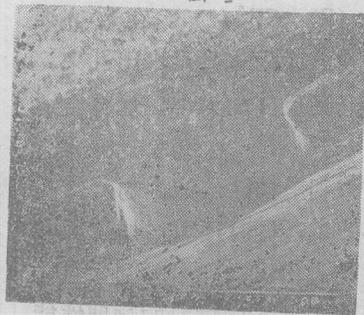


图 5

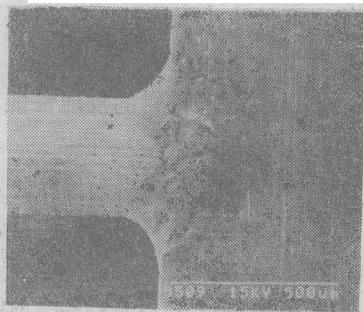


图 6

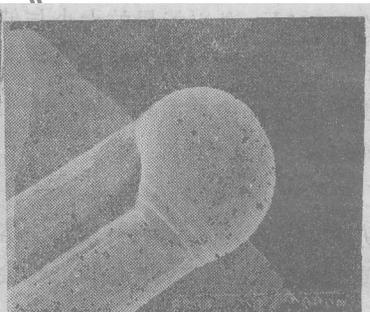


图 7

此种焊接属于对焊,因此两者的焊接部位应平整,在两者接触良好的情况下进行激光焊,其质量见图6。

5. 钨铼热电偶的焊接

将丝径相同而含铼量不同的两根钨铼热偶丝,让其一端紧并在一起,使其接触良好,然后进行激光焊,焊接质量见图7。

五、结 束 语

通过难熔金属激光焊接技术的研究和应用,使我们认识到激光焊接是一种先进、可靠的焊接工艺。它能解决常规工艺所不能解决的问题。激光束能量大,作用时间短,热影响区小,为无接触焊接。现我厂已有近十种产品中的难熔金属(钨、钼、钨零部件)采用激光焊接,均收到好的效果,尤其是高可靠产品中的阴极、热丝,采用激光焊接技术,其效果十分显

著, 激光焊接技术的好处将逐步被人们所认识并且广泛应用于电真空器件和其它领域中。

参 考 文 献

- [1] 《激光技术》, 科学出版社, 1972年。
- [2] 《特种加工》, 吉林人民出版社, 1981年。
- [3] 《国外激光》, 1980年, 第6期。

*

*

*

作者简介: 吴长贵, 男, 1937年11月出生。高级工程师。现从事电真空器件研制。

王先秀, 女, 1940年9月出生。工程师。现从事电真空化学研究。

收稿日期: 1989年6月22日。

· 简 讯 ·

横穿大西洋的光纤现代化

美国电报电话公司(AT&T)和英国电信公司共同规划的第一条北美和欧洲之间的纤维光缆TAT-8, 预计在今年12月初开通。然而, 这条众所周知的光缆并不是迄今唯一的海底纤维光缆。

英国电信公司的计划包括了横穿北海的几条光缆。英国-联邦德国5号系统预计1991年完成, 路线从英国Humberside到联邦德国Norden。英国到比利时的另一条类似电缆已于1987年6月投入使用, 英国到丹麦的另一条光缆刚刚铺设完毕。

横穿大西洋的私营电信系统(PTAT-1), 由电缆和无线电报公司(Cable and Wireless plc.)等单位承建, 预计1989年中开始运转。TAT-9系统预计1991年完成, 它连通美、英、加拿大、法国和西班牙。

AT&T公司与其它11家公司签约将铺设一条横穿加勒比海的海底电缆。美国本土将与波多黎各、多米尼加共和国、牙买加及哥伦比亚连通。预计这条电缆1990年完成, 耗资1亿3千万美元。

译自 L.F.W., 1989, Jan., P.180.

卢中尧 译 封鸿渊 校

小型光盘存储百科全书

Pergamon Compact Solution正在出售存储在IBM或PC兼容机使用的CD-ROM(小型光盘只读存储器)上的十卷国际教育学百科全书。整个百科全书存储在单只光盘上, 包括1448条款目及释文。CD-ROM以一种特殊的正式出版前的价格出售, 从而促进了它作为教育参考工具的使用。

译自 L. & O., 1988, Nov., P. 18.

于祖兰 译 刘松明 校