

金刚石工具焊接技术新发展

唐华生

(北京粉末冶金研究所)

文中介绍了金刚石工具焊接新法——激光焊接。简要地阐述了激光焊接的原理、设备以及热源特点等。

关键词: 激光焊接; 焊接原理; 设备构成; 操作技术



钻探技术

金刚石是世界上最硬的材料, 在工业生产中广泛用于切削、磨削超硬金属、陶瓷和石材等。目前在这方面应用的金刚石中, 国外有90%以上是人造金刚石。它一般为粉状, 当用作各种工具(包括切削工具和模具等)或零件时, 需将粉状人造金刚石烧结成整体, 然后焊接在工具或零件上。因此, 金刚石与金属基体的焊接, 是极为重要的应用技术。

普通焊接技术的进展

普通焊接技术是用焊料将经过烧结而成的聚晶金刚石焊接于基底之上。

衡量焊接质量的要点, 一是焊接强度(剪切及冲击性能); 二是焊接(温度等)对基底的影响; 三是焊接对聚晶金刚石层的影响。

从后两方面考虑, 要求焊接操作温度低, 以减少对基底及聚晶金刚石层性能的破坏。但目前所用银基焊料的操作温度范围为600~700℃, 剪切强度低于276MPa。另一种名为Cocuman R146、R149及其他的焊料, 可以获得414MPa的焊接强度, 但操作温度约为1000℃。

1. DBF1焊料

目前已研制成的DBF1焊料, 其成分为(wt%): Cu53%, Au14.5%, Ni3.5%, Mn29.0%。此种合金约在880℃开始熔化, 约在910℃完全熔化(液相线)。

在加热状态下观察到: 这种焊料在880℃时无焊接; 890℃时焊料与其两端夹持的碳化物之一发生焊接; 900℃将两件碳化物焊接在一起; 915℃时焊料流动、碳化物焊接; 930℃时焊料流动过多。

平均剪切强度414MPa, 在焊接层最高达581MPa。冲击强度(或韧性)对于 $\phi 13.44\text{mm}$ 的试样, 在5m/s冲击速度下为 $77 \pm 6\text{J}$, 此值相当于高温、高强度焊料。

此外, 还发现聚晶金刚石的热破坏是由于金刚石层中第二相的微量元素。因此采取对Co第二相的化学成分进行精炼, 可以改善热稳定性。

2. 焊接实验

在3种不同功率条件下(表1), 用高频感应加热和DBF1焊料进行焊接。为了对比, 使用高温焊接合金(HT)。焊料的焊接或操作温度, 即合金熔化、适当流动、粘结的温度, 一般高于其熔化温度。DBF1的焊接温度为920℃, HT焊接合金的焊接温度为1004℃。

实验结果首先是视力观察, 发现D1、

焊接参数 表 1

试样	焊料	功率(占50kW 最大值%)	时间 (s)
D1	DBF1	55	60
D2	DBF1	48	70
D3	DBF1	38	120
W1	HT	44	120

D2、W1由于焊接功率和时间的关系而在试样端部呈现出变色区,说明对碳化物有破坏,但D3未发现此种现象。D1和D3的焊料层出现流动和粘接良好,W1中的焊料不存在适当的流动,而且超声波检查也说明,即便W1的功率高于D3,仍完全没有焊接。由此得出结论:HT焊料需要用高得多的功率才可以获得高质量的粘结,但这样做会破坏碳化物。

金相学技术也证实上述超声波观察所表现的W1不良焊接。D1、D2、W1的扫描电子显微镜观察,也反映出在表面以下1mm的变色区中存在着孔隙,说明在焊接操作中Co挥发,温度超过Co的共晶熔点,破坏硬合金的组织 and 机械性能,被破坏区的硬度比其他不受影响区要低150HV30。另一方面,D3试样的硬质合金组织良好,未观察到负的效果^[1]。

新的焊接技术——激光焊接

激光,在金刚石工具工业中最早是用于天然金刚石模具穿孔,约以2mm/min的穿透速度穿成 $\phi 0.1\text{mm}$ 的孔。后来用于切除金刚石圆形锯片的钢芯。

美国Norton公司最早用激光将熔渗着金刚石的扇形块焊接于圆片上。后来一些厂家也采用了这种技术。

1. 激光焊接设备及热源的特性

图1为普通激光焊接设备构成的示意图。1kW级的CO₂激光振荡器(高速轴流式)设备,由CO₂激光振荡器、电源、冷却装置、控制及工作台构成。

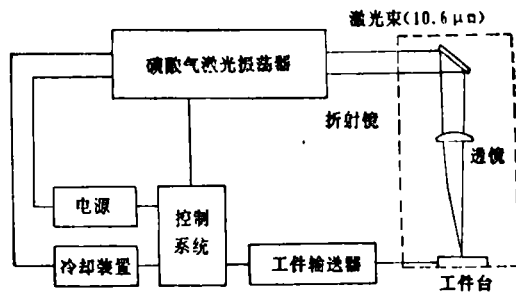


图 1 普通CO₂激光焊接设备构成示意图

由CO₂激光振荡器发出的激光束,通过折射镜改变方向,导向聚光透镜等聚光光学系统,在工作表面聚光进行焊接。聚光透镜用对于CO₂激光束的透明材料ZnSe、GaAs等制成。如果功率为1kW,则经过聚光的焦点面的能量密度可达以下高值:

$$\frac{1000\text{W}}{\pi(0.02/2\text{cm})^2} = 3 \times 10^6 \text{W/cm}^2$$

与常用的TIG电弧焊接(钨惰性气体焊接)等的电弧热源为 10^4W/cm^2 左右的能量密度相比较,激光热源可以说是热集中性极好的热源^[2]。

2. 激光焊接原理及特点

聚光后的激光束照射工件时,部分反射,其余被吸收而成为热能,形成如图2所示的现象:当提高激光束的能量密度时,则发生如(a)、(b)、(c)顺序的由加热到

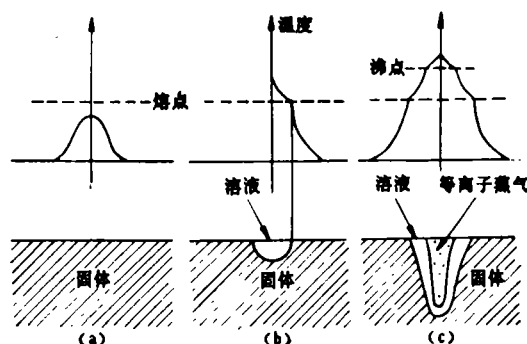


图 2 激光束加热能量密度的影响

(a) 无熔焊的加热; (b) 无深熔焊的熔融; (c) 有深的熔焊

深熔焊的反应。在照射能量密度高的情况下，照射中心处加热至工件沸点以上，于是开始蒸发。

蒸汽的压力排除溶液，因而产生所谓键孔 (Key hole)。这种现象只有在高的能量密度热源下发生 (图2c)。因此不同于电弧焊接的无深熔焊 (图2b)。激光焊接的焊道狭窄，可获得熔焊很深的焊道。

此外，在激光焊接的情况下，工件表面发生保护气体辉度高的等离子，从而吸收激光束进行加热。因此，在键孔底部妨碍着激光束的有效传递，于是熔焊成酒杯状。但是在激光束照射处，喷射着气体以及降低等离子辉度 (去掉等离子)，能够进一步加深熔焊。

激光功率越高、焊接速度越缓慢，去掉此种等离子就越困难，可以利用保护气体加以改变。一般在电离电位高的情况下，会产生难于发生等离子体的倾向。

根据上述设备、热源特性和焊接现象，可以将激光焊接的特点归纳如下：

(1) 因为具有高的能量密度热源，所以能进行高速、精密焊接。而且焊接后的热影响宽度狭窄，很少变形。但由于束径细小，故与过去的热源相比，需要的焊缝坡口 and 定位的精度要高。

(2) 因为激光束即使在大气中也几乎不衰减，所以便于光学设备的能量传送，可远距离操作及局部加工。

(3) 因为是光能，所以能够进行金刚石等非导电性材料的加工。

(4) 因为在焊接中发生等离子而吸收束，所以，进行高效率焊接，特别是在低速、高功率情况下，需要由激光照射区域去掉等离子。

3. 激光焊接操作

进行激光焊接时，聚光束的焦点位置设定在工件的何处极为重要。图3中，在工件表面设定焦点位置时为0、在工件之上时为

(+)、在工件之中为(-)进行激光焊接所表示出的焊接断面形状。

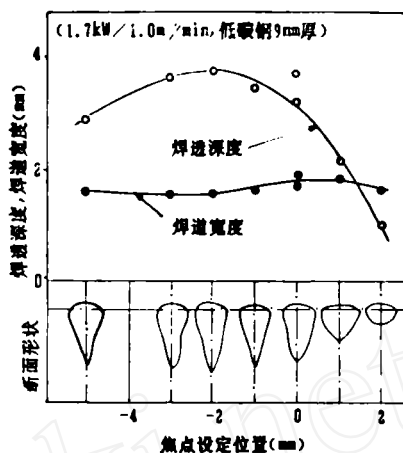


图3 焦点设定位置的影响

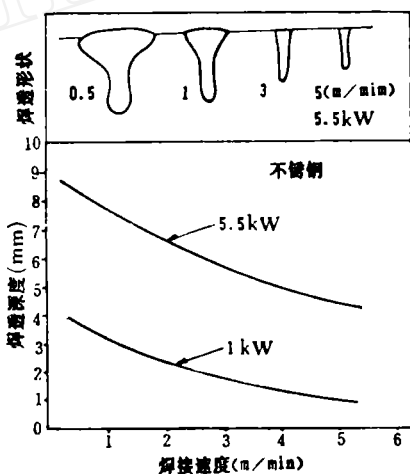


图4 焊接速度与熔焊深度关系曲线

焊透形状随着在工件上照射能量密度的变化，由焊透深度的浅半圆状向焊透深度的楔状转变。因此，对于激光焊接，如果将焦点设定在工件表面的偏内侧，则能够获得最深焊透深度。图4表示不同功率的焊透深度与焊接速度的关系。激光功率和焊接速度对焊透深度有很大影响，即功率越大，速度越慢，焊透越深。但如焊透形状所示，随着提高功率和降低速度而出现酒杯形状，等离子体的影响变得显著。

因为焊透深度受工件材料的热特性和其他物理特性的影响, 所以为确定需要的功率密度, 必须计算材料的导热性、熔点和厚度等[3]。

锯片坯料虽然可以立式放置进行焊接操作, 但以卧式为宜。首先将钢坯芯部套在经过精密磨削的销上, 然后将扇形块放在钢坯外圆的正确位置, 并用夹具固定。按1~2m/min的速度旋转, 将每个扇形块按顺序焊接。由于在二者的界面处加热, 使其软化而熔合一体。表2列出了目前所用的5种加热方法单位面积能量密度数据, 可见只有电子束能与激光相比。

激光焊接不但提高了焊接速度, 而且接合处净化而光滑, 无需利用机械加工来除掉多余的焊料和沉积物, 更重要的是焊接强度高。虽激光焊接温度高, 但因其光束极细,

不同加热方法单位面积能量密度 表 2

加热方法	最小定位区 (cm ²)	最大能量 (W/cm ²)
电 阻	10 ⁻¹	5 × 10 ¹
焊 枪	10 ⁻²	5 × 10 ⁴
电 弧	10 ⁻⁴	1 × 10 ⁵
电子束	10 ⁻⁷	5 × 10 ⁵
激 光	10 ⁻⁸	1 × 10 ⁶

可以精确导向焊接界面, 不致造成焊接变形。

参 考 文 献

- [1] Industrial Diamond Review, 1987, 6, p 254~257.
- [2] 西川和一, シールエンジニア, 1988, 3, p.90~95.
- [3] Clauser, G. et al., Industrial Diamond Review, 1987, 5, p. 207~208.
- [4] Schneider, W., Industrial Diamond Review, 1985, 5.

A New Development of the Technique for Diamond Tool Welding

Tang Huasheng

In this paper a new method using laser for welding diamond tools is introduced. The principle of laser welding and the features of equipment and the heat source used are briefly expounded and described respectively.

新书推荐

《金刚石钻探手册》即将出版

刘广志 主编

一部由22位钻探专家撰写的《金刚石钻探手册》将于1991年第4季度由地质出版社出版, 由新华书店全国发行。

《手册》以反映我国金刚石地质钻探成就为主, 兼容国外先进经验, 是一部内容翔实、资料丰富、技术先进的工具书。

全书约75万字, 分19章, 包括钻探史话、金

石、钻头、管材与附属工具、制造工艺、钻进原理、钻探工艺、液动锤钻探、定向钻探、钻孔弯曲与测量、冲洗液与流变学、钻参仪表、优化参数钻探以及施工管理等。

本书可到新华书店购买, 也可向地矿部探矿工程研究所情报室(北京房山周口店, 邮编102405, 电挂: 房山8812)先报预订数。