

微型桥带的成型与焊接工艺研究

郑 权¹, 李永正²

(1. 中国科学院长春光学精密机械与物理研究所, 吉林 长春 130021;

2. 长春光学精密机械学院光学物理系, 吉林 长春 130022)

摘要:针对微型桥带的成型与焊接工艺难题,提出了采用电化学刻蚀成型和利用粉末熔覆工艺进行激光焊接的工艺方法,并给出了具体的工艺过程,成功地实现了低成本、高质量、成批量的工业生产要求。这些工艺方法简便可靠、适应性强,可以推广到用其它方法难以实现的微小件和脆弱件的制造与焊接工艺中。

关键词:微型桥带; 电化学刻蚀; 粉末熔覆; 激光焊接

中图分类号: TG456.7 **文献标识码:** A

1 引言

迄今,军工及民品使用的电雷管中都使用桥丝,它是焊接在铜引线柱间的金属细丝,材料多为NiCr合金(类似于保险丝材料)。当电流通过时,桥丝发热点燃周围火药,起到发火引爆作用。

但是桥丝也有其致命的弱点:由于电流的趋肤效应,桥丝表面电流密度大,发热快,在敌方电磁干扰或有闪电等作用下,极易引起自爆或误爆。为解决上述问题,提出了采用薄片带状发热体(微型桥带)代替圆柱形桥丝的方案。薄片上电流密度分布均匀,带状散热好,对外界干扰能够起到“钝化”的作用。S形就是其中的一种设计选形。其外观如图1所示。

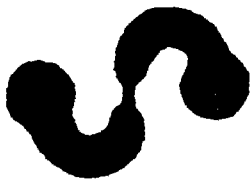


Fig. 1 Contour of S-shape tiny bridge-belt

微型桥带加工需要解决的问题有两个:一是常规机械手段难于加工出最小处线宽只有0.02mm的尺寸,而完全用激光切割效率低、成本

高,不符合生产实际;二是将厚度仅为0.1mm的NiCr合金薄片焊接在Cu引线柱上,用焊接桥丝的方法(储能焊)成品率很低(不到20%)。针对上述问题,在大量调查研究和实验的基础上,提出了下面的方案:采用电化学刻蚀,实现低成本批量加工成型S形桥带,利用粉末熔覆工艺,将成型后的桥带高成品率地焊接在铜引线柱上。

2 电化学刻蚀加工成型S形桥带

采用电化学方法加工的尺寸精度在0.01mm左右,并且这种方法不受材料本身硬度的限制,不会出现加工变形与硬化。尤其是由于存在尖端放电作用,不会出现加工毛刺。

实验表明,NiCr合金与FeCl₃电解液发生剧烈的电化学反应。因此,可以用制作电路板的前道工序来实现S形桥带的成型加工。

2.1 制版

应用Protel软件画出类似于电路图的版图,版面大小及S形个数可根据需求而定。完成到涂好光刻胶工序为止。

2.2 电化学刻蚀

将一表面覆有带S图形抗蚀胶的NiCr合金薄片(另一表面完全涂有光致抗蚀胶)放进FeCl₃电解液中,接直流电源阳极上,以碳板作阴极进行电解。图2给出了装置示意图。

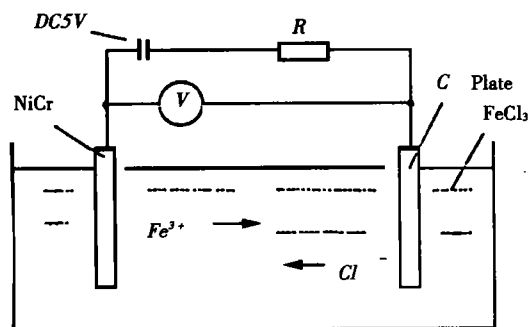


Fig. 2 Setup of electrochemical etching

根据 Ni、Cr、Fe 的电离电位,知道 Ni、Cr 均可与 FeCl_3 发生反应,从而达到刻蚀的效果。原理实验中,以 20 °C 饱和 FeCl_3 溶液作电解液,接通 5V 直流电源,在两电极距离 1cm 时,只需约半分钟即可完成。该过程中要用显微镜细心观察刻蚀进行情况。

2.3 剥膜

当窗口尺寸达到要求时,取出版面后进行充分的水洗,并立即放入热的 NaOH 溶液中。抗蚀胶一经与剥膜液接触,便很容易分离,水洗就能彻底地将残渣除去。此后甩去水份并用热风干燥。

2.4 检验

用显微镜观察,看 S 形各部分尺寸是否符合规格;还应进行电阻测量,此时桥带电阻按照要求略小于 1Ω 为宜。

2.5 需要注意的几点

(1)在电解电路中,为避免短路,在直流电路中应接上一个限流电阻。

(2)由于存在侧面钻蚀现象,使刻蚀成的窗口比光刻尺寸略大(本实验中,侧面钻蚀尺寸为 0.0075mm)。为了修正,在设计版面时应留有余量。侧面钻蚀越小,产品精度越稳定。在电解液中加入少量 H_3PO_4 可起到保护侧壁的作用。

(3)为了保证刻蚀的均匀性,采用大面积平板电极,使电流密度均匀。并严格管理电解液,必要时使用流动的电解液。

(4)酸性电解液电导率高,材料去除快,电解产物溶解于电解液中,在加工间隙中不生成沉淀物。但加工过程中的电解产物(Cl_2 气及 Ni、Cr 离子)对人体及环境有害,应妥善处理。

3 利用激光熔覆工艺焊接桥带

激光焊接作用时间短、热影响区小、焊接参数可以有效地控制和调节,容易在最佳工艺参数下

焊接,并可稳定重复。因此,激光焊接适应性强,成品率高。但把厚度仅为 0.1mm 的 S 形合金薄片焊接在直径为 1.0mm 的铜引线柱上却有很大的难度。

3.1 存在的难度及原因

实验中,将合金薄片放在铜引线柱上,以脉冲 YAG 激光进行焊接。结果发现:当脉冲能量较低时, NiCr 薄片熔化而 Cu 引线柱不熔,形成不了焊接;提高能量, NiCr 薄片汽化飞溅,但 Cu 引线柱仍无熔化迹象;再进一步提高能量至其能够熔化 Cu 引线柱,则发现 NiCr 薄片早已蒸发成孔。以上三种情况均无法实现良好的焊接。

究其原因,主要是 NiCr 合金薄片与 Cu 引线柱的热物理参数不同。合金薄片很薄,其热容限和过功率承受能力都很小,在激光作用的时间和区域内,很小的能量就能导致其汽化溅射。倘若引线柱的热传导率较低,吸收系数较大,这种困难还可以在某种程度上得到克服。然而,实际情况却恰恰相反: Cu 对 YAG 激光的反射系数较 NiCr 大,热传导系数也较大,这就意味着 Cu 引线柱上获得的热能小而传导损失的又多。这样,即使其熔点略低于 NiCr 合金,也很难在焊点部位积累足够的能量形成互熔焊接。另外,由于熔化和汽化 NiCr 材料的能量差别不大,焊接中对激光能量的要求也相当苛刻,即使换成反射率和热传导率相对较低的不锈钢引线柱,也很难得到高的成功率。

3.2 利用激光表面熔覆工艺实现焊接的方法

激光表面熔覆工艺已较为广泛地用于生产实践中,它是将合金粉末撒在金属表面,用高功率密度激光束加热至全部熔化,同时金属零件表面也有少量熔融,激光束离去后涂覆材料迅速凝固,形成与基体材料牢牢结合的涂覆层。合金粉末材料不仅具有良好的抗腐蚀性能,也能提高抗磨损能力。

在对微型桥带进行激光焊接的过程,针对 NiCr 薄片脆弱性的一面,用合金粉末覆盖保护桥带,提高其热容量,使其对激光能量承受能力大大增强,不易蒸发出孔。同时,熔融的合金粉末亦可作为熔化 Cu 引线柱的热源,积累能量,降低因高反射率和高热传导率导致的热量损失。

(1) 熔覆用合金粉末的选取

一般容易想到应该在合金粉末中含有基体材料,即 NiCr。但实验表明,单纯用 NiCr 粉末达不到预期的效果。这是因为 NiCr 粉末熔化时,在表面张力作用下已熔化的金属粉末向中心收缩形成

熔融小球,并与未熔粉末间拉开距离,形成断焊或假焊现象。参考激光熔覆工艺,采用了添加自熔性元素 B 和 Si 的自熔性合金粉末,取得了令人满意的焊接效果。

(2) 自熔性元素 B 和 Si 的特性分析

在 NiCrBSi 合金粉末中, B、Si 熔化时自身能起溶剂作用。同时, B、Si 又是强还原剂, 熔化时能还原金属氧化物, 起脱氧作用。生成的氧化硅, 氧化硼等进一步形成硼硅酸盐。且形成的硼酸盐熔点低于 NiCr 合金的熔点, 比重低, 上浮于金属表面。这样, 不仅消除了焊点内部的氧化物, 还保护了焊点不被高温氧化。特别重要的是, 这种表面层改善了熔化焊点的表面张力性质, 使之与基材的润湿性变好。所以, 粉末熔化后, 金属液池原地不动, 不再出现断焊或假焊现象, 大大提高了成品率(可达80%以上)。

综上, B、Si 有脱氧、造渣保护、湿润界面和抑制气孔的作用。但实验也发现 B、Si 在合金粉末中含量不宜太高。其含量越高, 覆层硬度越大, 并可能导致焊点出现开裂行为。因此, 应该根据使用性能要求, 合理选择配比(对此实验, B 和 Si 分别占 3.5% 和 4.5% 为宜)。

(3) 激光脉冲波形的选择

对普通的激光焊接, 通常用图3中 A 所示的带有前置尖峰的脉冲波形(B 为对应的温度曲线), 而对粉末熔覆焊接来说, 前沿较陡是有害的。因为在合金粉末中含有空气, 过快的表面熔化会导致内部滞留的气体爆炸喷出, 难以形成好的焊点。另外, 当粉末熔化时, 还需要有一定的时间使内部的化学反应发生和完成, 反应物(硼硅酸盐)上浮于表面也需要时间。

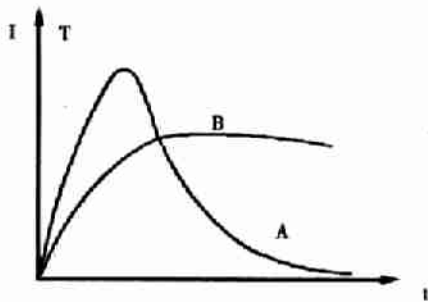


Fig. 3 Normal laser welding wave-shape

经过探索, 采用图4的波形较为合理。较缓的上升前沿使滞留气体缓慢释放, 减少了气体对焊点的冲击; 中间一段较长, 使熔池内的化学反应及生成物上浮有了时间; 缓冷可以减少焊点的残余应力, 避免裂纹产生。采用三个电容器延迟放电方

式可实现脉宽2ms 的所示波形。

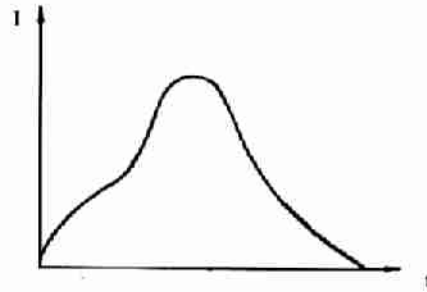


Fig. 4 3-phase welding wave-shape

(4) 焊接质量检查

为了解铜引线柱、粉末与桥带的交融情况, 将焊点沿铜引线柱轴线方向剖开, 其金相结构如图 5A 示, 表明焊料与互焊件已完全互熔。

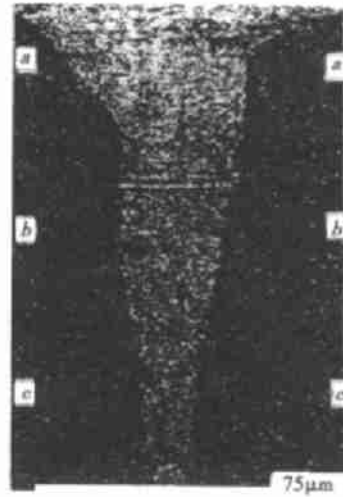


Fig. 5A Welding-spot metallographic structure

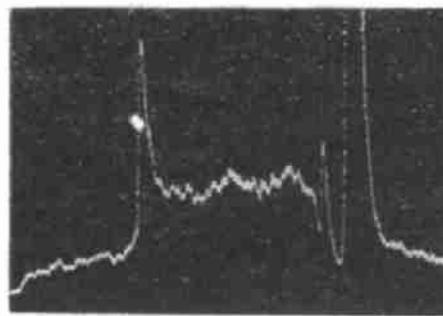


Fig. 5B Content curve of Si

为了解桥带(不含硅)与粉末(含硅)的交融情况, 用电子探针沿焊点中桥带方向作硅元素探测, 其探测曲线如图5B 示。稳定的曲线说明了焊点中桥带与粉末很好地互融。同样, 对剖面自上而下作镍元素(由于铜引线柱中不含镍)探测, 其探测曲线如5C 示, 表明在粉末和铜引线柱的交界面之间形成了较好的固溶体。

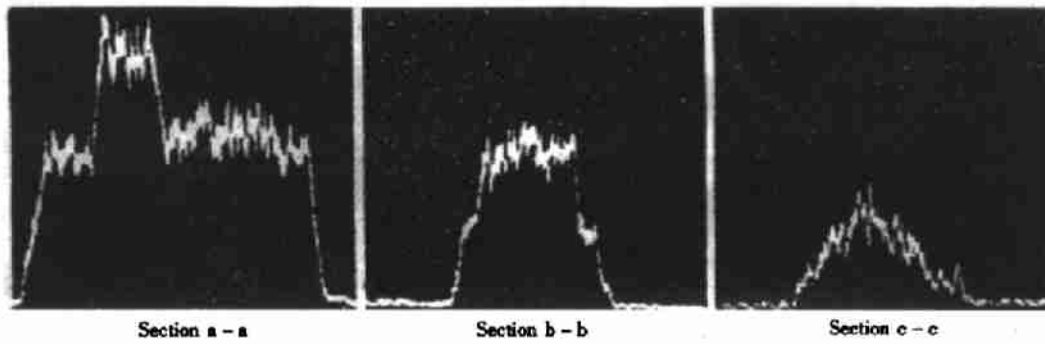


Fig. 5C Content curve of Ni at different part

结果证明:薄片、中介层、引线柱三者间形成了牢固的冶金结合,没有明显的分界线,并且焊点内部致密(无孔洞、无夹渣、无氧化物),抗腐蚀,质量稳定可靠。

4 结 论

将成型的微型桥带焊接在引信上进行电阻测

参考文献:

- [1] 刘振辉. 特种加工[M]. 重庆:重庆大学出版社,1991. 68-120.
- [2] 朱企业. 激光精密加工[M]. 北京:机械工业出版社,1990.
- [3] 胡耀志. 机电产品微细加工技术与工艺[M]. 广州:广东科技出版社,1993.
- [4] 叶玉堂. 激光微细加工[M]. 成都:电子科技大学出版社,1994.
- [5] 石世宏. 激光熔覆工艺与粉末对覆层开裂行为的影响[J]. 激光杂志,1998,19(3),46-48.

Producing and welding of tiny bridge-belt

ZHENG Quan¹, LI Yong-zheng²

(1. Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics,
Chinese Academy of Sciences, Changchun 130021, China;
2. Department of Optical Physics, Changchun Institute
of Optics and Fine Mechanics, Changchun 130022, China)

Abstract: In order to solve the difficulties in producing and welding tiny bridge-belt, two methods—producing by electrochemical etching and laser welding with powder cladding were put forward. The scheme is proved to be successful and practical in meeting the requirements of low cost, high quality and batch processing. These methods can also be extended to produce and weld other tiny and frail work-piece.

Key words: tiny bridge-belt; electrochemical etching; powder cladding; laser welding

作者简介: 郑权(1973—),男,黑龙江甘南县人,中科院长春光机所博士研究生,现主要从事激光加工和激光医疗设备与技术方面的研究。

量和点火试验,证明阻值符合要求,在5V电压下引信安全点火。这充分说明该工艺实现了低成本、成批量、高质量的生产要求,方案是可行的。应用电化学刻蚀成型和利用熔覆工艺实现焊接的方法适应性强,可以推广到其它微小及脆弱件的制造和焊接工艺中。