

激光快速熔凝 CuCr50 触头材料的组织与性能 *

梁淑华 范志康

(西安理工大学 505 信箱,西安,710048)

摘要: 采用激光快速熔凝技术处理了 CuCr50 材料的表面,结果表明,该方法可使 CuCr50 材料表面得到 3~5 μm 的亚晶层,该层孔隙率低,硬度比基体提高近 1 倍,但电导率变化不大。当其它工艺参数不变时,可通过改变激光功率来获取不同深度的熔池,在熔池与基体之间存在一热影响区,该区的性能介于表层和基体之间,激光表面重熔作为 CuCr50 触头材料表面强化的工艺是可行的。

关键词: 细晶 激光重熔 CuCr50 性能

Structure and properties of CuCr50 prepared by laser fast remelt

Liang Shuhua, Fan Zhikang

(Xi'an University of Technology, Xi'an, 710048)

Abstract: If laser fast remelt technique is used to prepare CuCr50 surface, a 3~5 μm fine-grained layer will generate. The layer has less porosity. The hardness of the surface increases nearly one time than that of the matrix and the conductivity changes little. The thickness of the fine-grained layer can be controlled by laser power while the other operation parameters don't change. There is a heat-influenced layer between the fine-grained layer and the matrix, whose properties is between theirs too. Experiments show that laser fast remelt is useful to increase the hardness of CuCr50 contact material.

Key words: fine-grain laser fast remelt CuCr50 property

* 西北工业大学凝固技术国家重点实验室资助。

几个纳米^[4]。在调谐元件组合系统中,考虑到棱镜的三阶以内色散后,由图 3 和图 4 可以看出,平面镜与棱镜组合系统对输出激光($\lambda = 750\text{nm}$)线宽的影响约为 $4 \times 10^{-2}\text{nm}$,光栅与棱镜组合系统对输出激光($\lambda = 750\text{nm}$)线宽的影响约为 $8 \times 10^{-3}\text{nm}$,因此,为得到窄线宽的能量激光,使得在保证光-光转换效率的前提下,一般应采用多棱镜或与光栅组合的调谐系统,以达到窄线宽的激光输出。

参 考 文 献

- 1 王 丽,黄 骊,赵 宇.应用激光,1998;18(1):1~3
- 2 杨盛谊,李 港,陈 檬.激光杂志,1998;19(4):30~33
- 3 Fork R L. Opt Lett,1984;9(5):150~152
- 4 姚建铨.非线性光学频率变换及激光调谐技术.北京:科学出版社,1995:264~267

作者简介:王 丽,女,1958 年 11 月出生。博士,教授。现从事物理教学和激光超短脉冲、可调谐激光技术及非线性光学方面的研究。

引 言

激光是一种可控性极强的高能高功率密度热源,材料在激光作用下,其内部组织要经历一系列复杂的变化,正是这些复杂而又神奇的变化过程,构成了整个激光加工的基础。目前,材料激光加工中的焊接、切割技术已在汽车、航空、航天、机械制造等行业获得越来越广泛的应用^[1],表面强化处理也正成为国内外研究开发的热点,激光表面熔化处理可使材料获得一快速凝固层,由于 $10^3 \sim 10^6 \text{ k/s}$ 的快速冷却,增加了合金元素的饱和度,产生了亚稳相,同时细化了组织,从而强化了材料表面,除了提高耐磨性、耐蚀性以外,还可提高材料表面的热疲劳抗力^[2],CuCr50 触头材料以其优良的综合性能成为中压真空开关的主要触头材料,但却满足不了高电压、大容量、小型化的发展需求^[3],据资料介绍^[4],Cr 颗粒的细化可大大提高材料的耐压、开断等性能,本研究将激光表面处理应用于 CuCr50 触头材料,旨在其工作面产生一薄层的细晶层,以提高其耐压、开断大容量等综合性能。

1 实验条件

试样采用真空熔渗法制造的 CuCr50 触头材料,试样尺寸为 $\text{O}68\text{mm} \times 8\text{mm}$,试样表面进行涂黑处理,以增加试样对激光的吸收率和减少激光对试样表面的直接热损伤。激光处理在 Rofin-Sinar 850 型 5kW CO_2 激光器上完成,激光的工艺参数选择见表 1。

采用维氏硬度计测量表层及基体硬度,载荷 5kg,保荷时间为 15s,采用 7501 型涡流电导仪测量电导率,金相试样和扫描电镜试样均为激光处理后的纵剖面,采用普通方法机械抛光后,再用金刚石抛光膏精抛,最后用 22% 硝酸 + 50% 磷酸 + 28% 冰醋酸轻腐蚀,在华山厂西北兵器检测中心检测其含氧量。

2 实验结果与分析

2.1 显微组织

图 1 为 CuCr50 触头材料的金相组织,试样均经过固溶、时效处理,第一部分为原始的熔渗法制备的 CuCr50 的金相组织,其中灰色凸起部分为 Cr 颗粒,其尺寸为 $75\mu\text{m}$ 左右,白亮的基体为铜,基体上围绕 Cr 颗粒周围析出的点状、棒状析出物为 Cr 质点。第二部分为激光处理表层与基体的过渡区,从图中可以看出,这一部分 Cr 颗粒与第一部分没有明显差异,但是铜基体上析出 Cr

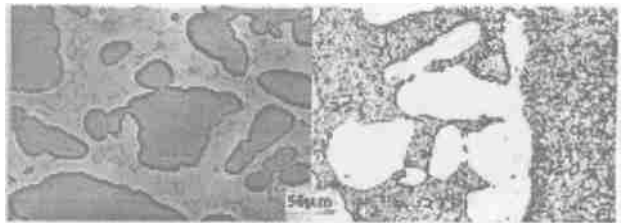


Fig. 1 OP of CuCr50 contact material



Fig. 2 SEM of the laser remelting zone

a—3.2kW b—4kW

质点却发生了明显的变化,Cr 质点以更小的点状枝晶析出,且不仅仅是围绕 Cr 颗粒,而且是均匀分布在铜基体上,并以枝晶网形态存在,这是由于激光表面熔化处理后对基体存在一个热影响区,该区域的温度远远低于熔池温度,所以,Cr 基体保持原始形态,但因铜熔点较低,也发生了快速熔凝,处理后析出大量的弥散物。第三部分为激光表面重熔区,这一部分 Cr 颗粒明显细化,Cr 颗粒尺寸仅为 $3 \sim 5\mu\text{m}$,且分布均匀,不存在传统熔炼法造成的由于 Cu,

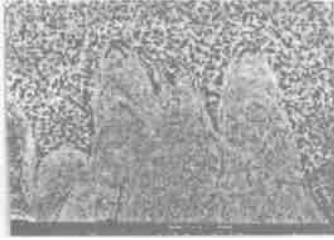


Fig. 3 Microstructure of the laser remelting zone

Cr 的互不固溶产生的严重偏析,这是因为材料受激光辐射产生热效应迅速升温熔化,激光移开后熔池急冷所致。在重熔区,靠近基体的组织和最表层的组织更为细小,这是由于根部接触到的基体相当于一冷铁,冷却速度更快,所以,这部分的组织细小,而中间部分则相对冷却速度慢一些,组织相对粗大一些。图 2 是激光功率分别为 3.2kW 和 4kW 的重熔区 SEM 形貌,由图可知,功率越高,组织越粗大;功率越低,组织越细小,这是由于功率不同,熔池吸收的热量不一样,导致最终的冷却速度也不一样所致。图 3 为激光重熔区的熔池形貌,熔池的深浅与功率、扫描速度密切相关。当功率相同时,一方面扫描速度大,则温升相对小,一方面可能熔池较浅,甚至表层不溶化,另一方面熔池中的对流引起的搅拌作用不显著,液相中成分还未达到均匀就开始凝固,如图 4 所示。中间一条黑带为铜带,未来得及与 Cr 均匀就开始凝固,因 Cu 凝固时放出大量的热量,所以,相邻的 Cr 以粗大的柱状晶凝固。

2.2 含氧量

对于真空触头材料而言,含氧量是其中的一项重要指标,它直接影响真空灭弧室的工作状态^[5],故我们专门测试了重熔前后触头内的含氧量变化。结果如表 2 所示。

Table 2 Content of oxygen in CuCr50 at different power

power	0kW	2.8kW	3.2kW	3.5kW	4.0kW
content of oxygen (ppm)	450	453	459	461	460

2.3 孔隙率

孔隙率是衡量粉末冶金制品致密程度的指标,它可以表示为 $\frac{\text{实际密度}}{\text{理论密度}}$,孔隙率越小,说明致密度越高,工艺越成熟,表 3 为不同功率下的孔隙率。由表 3

可以看出,随着功率的增加,孔隙率变小,这是因为测量密度的试样为整体(仅表层无法测量),随着功率增加,熔化层的厚度增加,从而孔隙率减少,激光重熔后的组织更加致密,缺陷更小。

2.4 熔池深度

在扫描速度、离焦量不变的情况下,熔池深度主要与激光功率有关。表 4 为不同激光功率时,熔池的深度。

由表 4 可以看出,随着功率增加,熔池深度增加,所以,可以依靠改变功率大小来达到控制熔池深浅的目的。值得一提的是,熔池越深,凝固速度越慢,形成的晶粒越大(如金相图所示),甚至有时失去激光表面处理细晶化的意义。

Cr 的互不固溶产生的严重偏析,这是因为材料受激光辐射产生热效应迅速升温熔化,激光移开后熔池急冷所致。在重熔区,靠近基体的组织和最表层的组织更为细小,这是由于根部接触到的基体相当于一冷铁,冷却速度更快,所以,这部分的组织细小,而中间部分则相对冷却速度慢一些,组织相对粗大一些。图 2 是激光功率分别为 3.2kW 和 4kW 的重熔区 SEM 形貌,由图可知,功率越高,组织越粗大;功率越低,组织越细小,这是由于功率不同,熔池吸收的热量不一样,导致最

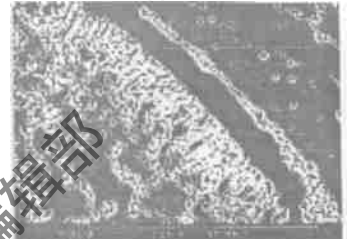


Fig. 4 Segregation of the laser remelting zone

由表 2 可以看出,重熔前后含氧量无明显增加,说明在惰性气体保护下,快速熔凝,材料吸气不严重,符合触头材料对含氧量的要求。

Table 3 Porosity of CuCr50 at different power

power	0kW	2.8kW	3.2kW	3.5kW	4.0kW
porosity	2.11	2.11	2.08	1.96	1.94

Table 4 Depth of the pool remelting under different laser power

power	0kW	2.8kW	3.2kW	3.5kW	4.0kW
depth of pool (mm)	0	1.1	1.9	2.8	4

2.5 硬度

一般认为,触头材料的硬度越高,其耐压水平越高,抗熔焊力越好^[6],对激光重熔处理的样品的硬度测试从表层开始逐渐深入,每隔 0.5mm,测试一点热处理之后的硬度值,测试结果

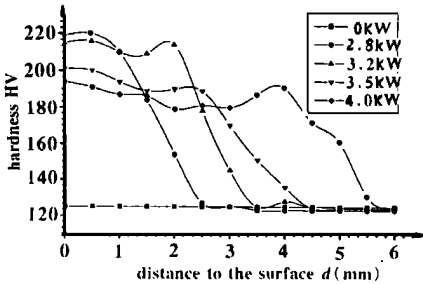


Fig. 5 Hardness of the laser remelting zone

如图 5 所示。由图可以看出,随着功率的增加,硬度呈下降趋势,这正如前面所分析的,功率越高,熔池积蓄的热量越多,凝固速度越慢,形成的组织越粗,故硬度呈下降趋势。而功率低时,熔池较浅,凝固速度快,急冷形成了细晶组织,故硬度较高。对于在同一功率下熔化的试样,硬度呈一定趋势分布,由表层到里,基本上可以分为 3 个区域:重熔区硬度最高;激光影响区(过渡区)硬度居中;基体硬度最低。在重熔区又表现为两端稍高,而中间偏低,这可以从图

1 的金相组织得到很好的解释,重熔区晶粒越细,过渡区有大量析出的 Cr 枝晶,基体析出物较少,所以硬度最低。

2.6 电导率

触头材料的电导率直接影响断路器的开断性能及通流能力^[7],本试样的电导率测量在重熔面上进行,结果如表 5 所示。

Table 5 Electrical conductivity of CuCr50 after laser remelting

power	0kW	2.8kW	3.2kW	3.5kW	4.0kW
electrical conductivity (mm ² /mm)	19.1	16.4	17.2	17.1	17.6

结果表明,重熔后电导率略有降低,但仍远远高于使用标准,说明了表面重熔后产生细晶硬度大幅度提高,但对电导率影响不大。

3 结 论

(1)采用激光表面重熔处理可得到一层组织均匀、孔隙率小的细晶层,其晶粒比基体小一个数量级。(2)细晶层的硬度较基体提高了 1 倍,但电导率下降不多。(3)在其它条件不变的情况下,熔池深度随着功率增大而增大,并且不同程度地存在一热影响区。(4)激光重熔作为 CuCr50 触头材料表面的强化工艺是可行的。

参 考 文 献

- 1 任乃飞,张永康. 应用激光,1997;17(5):201
- 2 王安安,程顺琪. 应用激光,1997;17(2):65
- 3 王亚平,张丽娜,杨志懋 *et al.* 高压电器,1997;(2):34~39
- 4 Muller R. Siemens Forsch-U Entwickl-Ber,1988;17:105~111
- 5 周武平. 高压电器,1994;(5):12~17
- 6 杨志懋,严群,丁秉钧 *et al.* 高压电器,1995;(6):28~36
- 7 周文元,吕大铭,周武平. 粉末冶金技术,1999;(1):41~46

作者简介:梁淑华,女,1968 年出生。讲师,在职博士。主要从事电合金及铜基复合材料的研究工作。

收稿日期:1999-10-11 收到修改稿日期:2000-03-02