

文章编号: 1001-3806(2002)05-0354-03

## CeO<sub>2</sub> 对镍基碳化钨激光熔覆层性能的影响<sup>\*</sup>

杜利平 梁二军 陈长青 雒江涛

(郑州大学河南省激光应用技术重点实验室,郑州,450052)

**摘要:** 研究了不同激光功率条件下不同含量的氧化铈对镍基碳化钨金属陶瓷熔覆层宏观质量、显微组织及熔覆层横截面硬度的影响。CeO<sub>2</sub> 的掺入均能使镍基碳化钨金属陶瓷熔覆层中的相组织得到细化,裂纹大大减少,宏观质量得到显著改善。随稀土氧化物加入量的增加,稀土的细晶变质作用效果更加明显。当 CeO<sub>2</sub> 的含量为 0.16wt %时,熔覆层的硬度达到最大约为 900HV<sub>0.3</sub> ~ 1300HV<sub>0.3</sub>,裂纹基本消失。激光功率对熔覆层的宏观质量、显微硬度及微观组织均有影响,当激光功率低于 1.5kW 时,难以得到连续光滑的熔覆层;当激光功率高于 2.0kW 时,熔覆层的晶粒长大,硬度明显降低。

**关键词:** CeO<sub>2</sub>;激光熔覆;裂纹;微观组织

**中图分类号:** TG665 **文献标识码:** A

## The effect of CeO<sub>2</sub> on the properties of Ni/ WC cladding layer

Du Liping, Liang Erjun, Chen Changqing, Luo Jiangtao

(Henan Key Laboratory of Laser Technology and Applications, Zhengzhou University, Zhengzhou, 450052)

**Abstract:** The effect of CeO<sub>2</sub> on the macro-quality, microstructure and micro-hardness of Ni/ WC cladding layer has been studied. The results indicate that incorporation of CeO<sub>2</sub> can greatly refine the microstructure, reduce the crack tendency and improve the micro-quality of the Ni/ WC cladding layer. The refine effect becomes more evident with increasing CeO<sub>2</sub> content. When CeO<sub>2</sub> content is increased to 0.16wt %, the micro-hardness reaches its maximum of ca. 900HV<sub>0.3</sub> ~ 1300HV<sub>0.3</sub> and cracks vanish. Laser power affects the macro-quality, microstructure and micro-hardness of the cladding layer also. A continuous and smooth layer cannot be obtained if the laser power is lower than 1.5kW, while large crystal particles appears in the cladding layer and the corresponding hardness obviously if the laser power is higher than 2.0kW.

**Key words:** CeO<sub>2</sub>; laser cladding; crack; microstructure

## 引 言

金属陶瓷激光熔覆中最棘手的问题是熔覆层的开裂和基体的变形,并在很大程度上限制了这一技术的应用。对于金属陶瓷碳化钨熔覆层的开裂问题,国内外已进行了大量研究,并取得了一些进展<sup>[1~3]</sup>。最近查莹等人<sup>[4]</sup>运用预置过渡层,加入微量的混合稀土氧化物和对热影响区进行激光回火处理等来抑制裂纹的发生。尚丽娟等人<sup>[5,6]</sup>采用等离子体喷涂工艺预制涂层,研究了氧化铈对 204 钴基合金激光熔覆层性能的影响,目的是希望降低合金的膨胀系数,阻止合金覆层的开裂,但效果并不理

想。他们在激光熔覆前对预制层进行了黑化处理,黑化处理可能会对熔覆层的性能产生不利影响。这些研究均采用预置涂层和固定激光熔覆工艺(固定激光功率和扫描速度),在此,将研究不同激光功率和同步送粉条件下不同含量的 CeO<sub>2</sub> 对镍基碳化钨(Ni60A + 70wt %镍包碳化钨)激光熔覆层开裂倾向及其各种物理性能的影响。

## 1 实验材料、实验设备及测试方法

实验所用基材为 45<sup>#</sup> 钢(尺寸为 100mm × 30mm × 20mm),待熔覆面经磨削加工,实验前用砂纸擦磨试块表面,除去氧化物,然后用丙酮和无水乙醇清洗干净,预热 400 。熔覆后自然冷却。采用的合金粉末为 Ni60A + 70wt %镍包碳化钨。所掺入的 CeO<sub>2</sub> 粉末为分析纯,纯度 99%,掺入量为 0.1wt %。实验所用 Ni60A 粉末成分列于表 1。

采用横流 CO<sub>2</sub> 气体激光器,最大输出功率为

<sup>\*</sup> 河南省高校创新人才基金及河南省杰出人才创新基金资助项目。

作者简介:杜利平,女,1975 年 6 月出生。硕士研究生。从事激光加工技术研究。

收稿日期:2001-09-03;收到修改稿日期:2002-01-07

5kW, 光束模式为多模, 工作台为 SIEMENS 数控机床。采用自动送粉工艺, 用聚焦光束以一定的速度扫描试样表面, 侧吹 Ar 气, 防止熔覆过程中发生氧化及产生的烟尘和飞溅物污染镜片。对不同的合金粉均采用相同的激光熔覆工艺参数, 其中激光功率为 1.3kW ~ 2.3kW, 扫描速度为 4mm/s, 光斑直径为 5mm, 送粉率为 19g/min。将熔覆好的试样沿横截面经线切割切开, 用金相砂纸从粗至细抛光, 然后用金刚石研磨膏抛光, 经 5% 硝酸酒精溶液腐蚀后, 在 4XB-TV 金相显微镜上观察金相组织, 在 HXD-1000 显微硬度仪上测试试样硬度。

Table 1 Compositions of Ni60A

elements	Cr	Fe	C	B	Si	Ni
content/wt %	15 ~ 18	14.3	0.5 ~ 0.93	0 ~ 4.53	5 ~ 5.5	bal.

## 2 实验结果及分析

### 2.1 熔覆层的宏观质量

从熔覆层的横截面观察, 未掺入 CeO<sub>2</sub> 时用肉眼可看到熔覆层上部垂直于熔覆层表层的宏观裂纹, 在熔覆层与基体的交界面处出现了气孔等缺陷。随稀土氧化物 CeO<sub>2</sub> 加入量的增加, 熔覆层表面宏观裂纹逐渐消失, 当掺入 CeO<sub>2</sub> 量为 0.16wt % 时, 在 400 倍放大率下未发现镍基陶瓷熔覆层中有微观裂纹。

当功率大于或等于 1.8kW 时可以得到表面光滑、平整的熔覆层, 功率为 1.5kW 时可以得到连续但表面不光滑的熔覆层, 当功率为 1.3kW 时, 不能得到连续的熔覆层。在不同的 CeO<sub>2</sub> 含量下, 熔宽随激光功率的增加逐渐增大, 呈明显的线性关系。熔深与激光功率的变化规律不太明显。这可能是因为随激光功率的增加, 基体吸收的能量增大, 所形成的熔池变宽、变深, 粉末的利用率提高。在送粉率一定的情况下所形成的熔覆层也就相应变宽、变低。

### 2.2 硬度分析

图 1a ~ 图 1d 分别为掺不同含量氧化铈的镍基碳化钨在不同激光功率下熔覆层横截面硬度分布曲线。图 1a ~ 图 1d 表明: (1) 当氧化铈含量一定时, 激光功率对熔覆层的硬度分布有明显影响, 当激光功率为 1.5kW ~ 2.0kW 时, 熔覆层的硬度分布基本均匀; 当激光功率为 2.3kW 时, 熔覆层内平均硬度较低 (约 550HV<sub>0.3</sub>), 且随熔覆层深呈缓慢下降趋势, 这可能是由于当激光功率较高时, 引起基体材料在熔覆层内扩散增大, 或者是在熔覆过程中过多的

热量不能及时扩散, 引起冷却速度变慢和晶粒长大; (2) 氧化铈含量对激光熔覆层的质量也有明显影响, 在相同的激光功率条件下, 熔覆层的硬度开始随着氧化铈含量的增大而增大, 当氧化铈含量增大至 0.16wt % 时, 硬度达到最大, 可达 900HV<sub>0.3</sub> ~ 1300HV<sub>0.3</sub>; 当继续增大氧化铈含量至 0.2wt % 时, 熔覆层的硬度反而降低至 700HV<sub>0.3</sub> 左右; 同时在该含量下, 在所使用的激光功率范围内没有观察到硬度沿熔覆层深度缓慢下降的情况, 这可能是由于过量的稀土元素使熔池中成核率增加, 抑制了晶粒的长大和稀释度的增加。

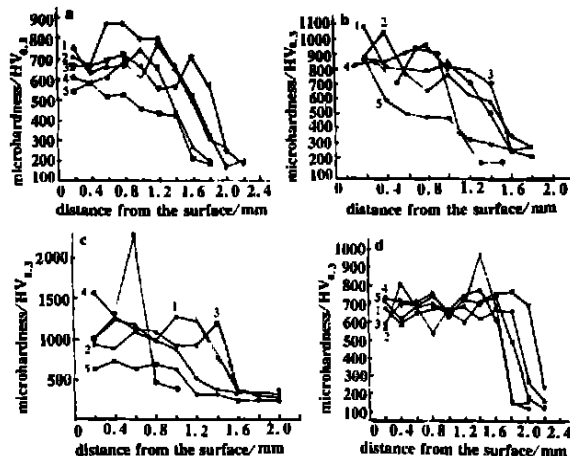


Fig. 1 Hardness distribution in the Ni/WC cladding layer with different laser power and CeO<sub>2</sub> content  
a - 0.06wt %CeO<sub>2</sub> b - 0.1wt %CeO<sub>2</sub> c - 0.16wt %CeO<sub>2</sub>  
d - 0.2wt %CeO<sub>2</sub>  
1 - P=1.8kW 2 - P=2.0kW 3 - P=1.5kW  
4 - P=1.3kW 5 - P=2.3kW

### 2.3 组织特性

图 2a ~ 图 2d 分别是镍基碳化钨和不同功率下掺 0.1wt % CeO<sub>2</sub> 的镍基碳化钨的金相组织。熔覆层的金相组织大致可分为 3 个区域: 熔化区、冶金结合区和基体热影响区。熔覆层与基体的结合区是由一条白亮带构成的熔覆层与基体之间的冶金结合界面; 基体热影响区主要由相变板条马氏体组成。图中给出的是熔化区中部的金相组织。镍基碳化钨熔化区的组织由粗大的树枝晶和枝晶间少量的共晶体组成。从图 2 可以看出, 掺入 0.1wt % CeO<sub>2</sub> 后, 金相组织得到细化。当激光功率较低时, 熔覆层中含有较多的块状物; 随着功率的增大, 块状物减少, 出现大量细小的枝晶组织; 当激光功率增大到 2.3kW 时, 枝晶组织明显长大。这与前面硬度测试的结果相对应。这一结果表明: (1) CeO<sub>2</sub> 对 Ni60A + 70WC 的激光熔覆层有一定的晶粒细化效果, 对提高熔覆层的硬度和抑制裂纹生长有一定的作用; (2) 熔覆层

的金相组织依赖于激光功率,当激光功率过高时,过多的热量使枝晶明显长大,同时使熔覆层的硬度降低。

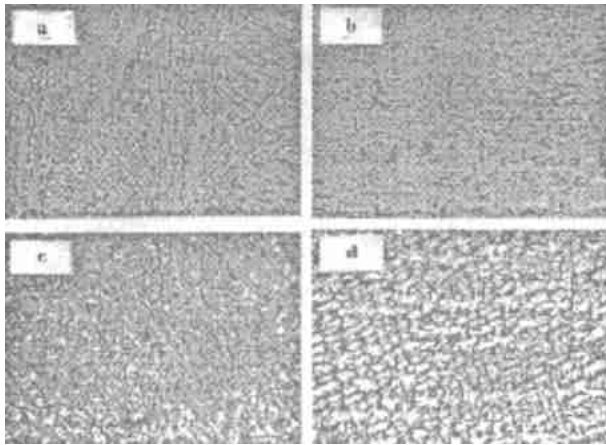


Fig. 2 Microstructure (400 $\times$ ) of Ni/WC (a) and Ni/WC incorporated with 0.1wt% CeO<sub>2</sub> (b~d) clad under different laser power a- 1.8kW b- 1.5kW c- 2.0kW d- 2.3kW

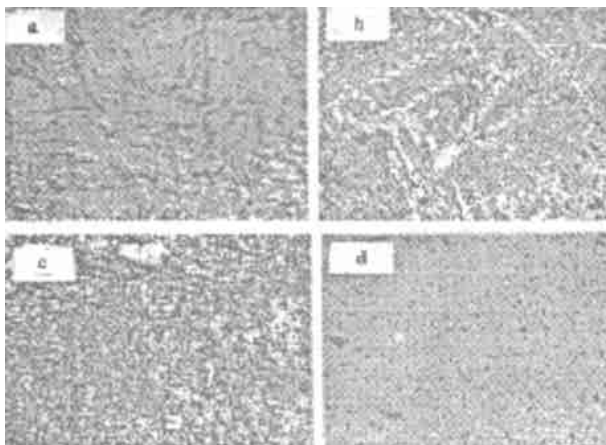


Fig. 3 Effect of the CeO<sub>2</sub> content on the microstructure of the cladding layer (laser power: 1.8kW) a- 0.06wt% b- 0.1wt% c- 0.16wt% d- 0.2wt%

图 3a~图 3d 是 1.8kW 激光功率下氧化铈含量分别为 0.06wt%、0.1wt%、0.16wt% 和 0.20wt% 时的熔覆层的金相组织。从图 3 可以看出,当氧化铈含量较低时,熔覆层中存在许多较大的块状物或二次晶臂很发达的放射状枝晶。随着氧化铈含量的

增加,晶粒细化的效果愈加明显,因此会使熔覆层的硬度提高,这与硬度测试结果相符合。当氧化铈的含量为 0.20wt%,熔覆层没有明显的晶粒结构特征,甚至在冶金结合区也没有明显的枝晶生长。这种组织特征所对应的硬度虽然较低,但对阻止裂纹产生有显著效果。

### 3 总 结

在 Ni60A + 70wt% 镍包碳化钨合金粉末中掺入不同比例的微量 CeO<sub>2</sub>,能使镍基碳化钨金属陶瓷熔覆层中的裂纹大大减少,使熔覆层的宏观质量得到改善,使熔覆层的相组织得到细化。

(1)在同种激光功率条件下,随 CeO<sub>2</sub> 的加入量的增大熔覆层的晶粒尺寸变小。

(2)对于同样激光功率条件下,不同 CeO<sub>2</sub> 含量的熔覆层,横截面硬度值不与其加入量成正比,而是存在一 CeO<sub>2</sub> (0.16wt%) 掺入比例使得熔覆层的横截面硬度值最高。当激光功率为 2.0kW 时,掺入 0.06wt%、0.1wt%、0.16wt%、0.2wt% CeO<sub>2</sub> 熔覆层的横截面硬度值分别为 750HV<sub>0.3</sub>、800HV<sub>0.3</sub>、970HV<sub>0.3</sub>、700HV<sub>0.3</sub>。

(3)随 CeO<sub>2</sub> 含量的增加,熔覆层的裂纹逐渐减少,当其含量达到 0.2wt% 时裂纹完全消失。这对于激光熔覆技术的实际应用具有一定意义。

### 参 考 文 献

- [1] 吴新伟,曾晓雁,朱蓓蒂 *et al.* 中国激光,1997,24(46):570~575.
- [2] Zhong M L, Yao K F, Liu W J *et al.* J Laser Applications, 2001, 13(6):247~251.
- [3] 石世宏,李必文. 激光杂志,1998,19(3):46~48.
- [4] 查莹,周昌炽,唐西南 *et al.* 中国激光,1999,26(10):947~950.
- [5] 尚丽娟,阎秀梅,李峰 *et al.* 沈阳工业大学学报,1995,17(2):37~40.
- [6] 吴承建,张保良. 中国稀土学报,1992,10(1):48~51.
- [5] Zhang H J, Meng X L, Zhu L *et al.* Opt Commun, 1999, 160:273~276.
- [6] Aka G, Kahr Harari A, Mougel F. J O S A, 1997, B14(9):2238~2247.
- [7] Wang C Q, Chow Y T, Gambling W A *et al.* Opt Commun, 2000, 174:471~474.
- [8] Hou X Y, Sun Y M, Li Y F *et al.* Opt & Laser Technol, 2000, 32:135~138.

(上接第 353 页)

- [2] Mougel F, Aka G, Kahr Harari A *et al.* J A P, 1998, B67:533~535.
- [3] Vivien D, Mougel F, Aka G *et al.* Laser Phys, 1998, 8(3):759~763.
- [4] Mougel F, Aka G, Kahr Harari A *et al.* Opt Materials, 1997(8):161~173.