

改善激光熔覆镍基合金和陶瓷硬质相 复合涂层性能的研究

查莹 周昌焱* 唐西南 张展

(清华大学材料科学与工程系, 摩擦学国家重点实验室 北京 100084)

摘要 激光熔覆镍基合金和陶瓷硬质相(WC)复合涂层过程中存在的问题是容易形成缺陷和开裂。通过调整 WC 的比例和分布,合理的工艺参数,增设韧性良好的过渡层,并加入微量混合稀土氧化物,对发生马氏体相变硬化的热影响区进行激光回火处理等,以获得无裂纹缺陷,金相组织均匀,并具有硬度平滑过渡的优质熔覆层。

关键词 激光熔覆, Ni 基合金, 裂纹, 过渡层

1 引言

激光熔覆是利用高功率密度激光在普通金属材料表面快速熔覆一层不同于基体成分,且满足特定性能如耐磨、耐蚀要求的涂层,同时实现涂层与基体的冶金结合,达到材料表面改性或修复的目的,既满足了对材料表面的特定性能要求,又能节省价格昂贵的战略元素,所以激光熔覆技术应用前景十分广阔。

国内外已有大量文献报道了激光熔覆的研究,如送粉方式、光斑直径、光束扫描速率对涂层质量、涂层与基体结合的影响^[1]。目前,激光熔覆技术已实现在不同金属基体上熔覆不同性能涂层,如在普通碳钢表面熔覆 WC-TiN-SiC-Co 高硬质合金^[2],在低碳钢上熔覆高锰钢^[3],获得了良好结果。

但是,激光熔覆还存在一定的问题,如在熔覆层本身,熔覆层与基体结合处极易产生裂纹和气孔,严重影响了激光熔覆技术的应用。国内外学者对于裂纹的形成机理以及裂纹的预防问题作了大量研究^[4,5]。本文通过对熔覆层与基体结合界面的结构特征、力学性能分析,运用预置过渡层,改变熔覆层组成分布和增加少量稀土元素来减少裂纹,以提高涂层质量。

2 试验方法

选择镍基合金(如表 1)和陶瓷硬质相(WC)合金粉作为熔覆材料。基体材料为低碳铬锰钢。采用 2 kW 横流 CO₂ 激光器,自动送粉。试验中,激光熔覆功率为 1600~1700 W,光束移动速度为 200 mm/min,光斑直径为 4 mm。并利用日立 S-450 电子扫描显微镜和 HX-1 型显微硬

* 通信联系人。

收稿日期: 1998-05-15; 收到修改稿日期: 1998-07-17

度计对熔覆层与基体界面的结构和硬度进行分析。

表 1 镍基合金粉末化学成分(wt-%)
Table 1 The composition of Ni superalloy (wt-%)

composition	C	Ni	Cr	Si	Fe	Al	hardness
wt-%	0.3~0.5	Bal.	14.0~16.0	0.6~1.0	6.0~9.0	3.0~5.0	HB200~250

3 试验结果及分析

3.1 激光熔覆层的微观结构

通常激光熔覆分为三部分(如图 1 所示),即熔覆层、熔覆层与基体结合区及基体三部分。图中,熔覆区内的白色颗粒为陶瓷硬质相 WC,基体与熔覆层结合处为白色的固溶体,基体热影响区为自淬火的马氏体。在激光熔覆过程中很容易产生裂纹等内部缺陷,如图 2 所示,严重影响了熔覆层的质量。

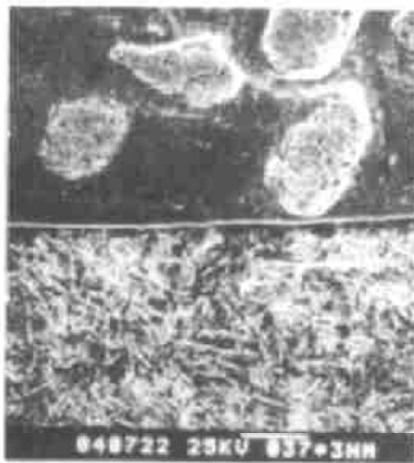


图 1 激光熔覆层示意图

Fig. 1 The structure of a laser cladding layer

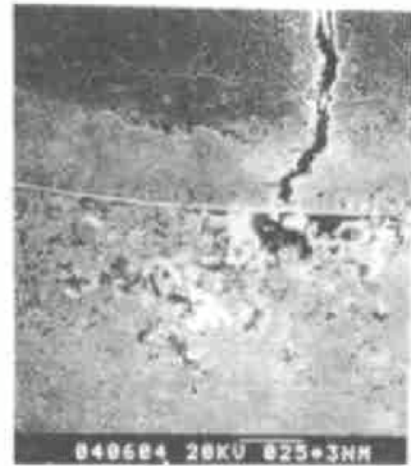


图 2 熔覆层裂纹

Fig. 2 The crack in the cladding layer

3.2 激光熔覆层缺陷的改善

从带有裂纹的激光熔覆试样中,常发现熔覆层中裂纹都发源于熔覆层与基体交界处的缺陷或熔覆层中的夹杂物处,见图 2。裂纹产生的原因很复杂,但可确定的是熔覆层的开裂与激光熔覆处理后材料内部存在较大的残余应力有关。其来源可分为两部分:热应力及相变应力。如果基体金属和熔覆材料二者的热物理参数(如膨胀系数)差别较大,在激光束作用下,容易导致热应力的产生。另一方面,熔覆层的熔化和凝固过程,交界面处钢基体材料的固态相变,都会发生体积变化,这均会产生组织应力。当这两部分应力的综合作用结果表现为拉应力状态时,容易在气孔、夹杂物尖端等处形成应力集中,导致裂纹产生。

对于熔覆层与基体间的气孔和夹杂物,可通过调整工艺参数,适当增加能量密度,改善熔体流动性来净化熔覆材料,消除气孔和夹杂。为改善激光熔覆层的应力状态和消除裂纹,除了选用塑性较好的 Ni 基合金作为熔覆层的溶剂外,同时注意控制 WC 硬质相的相对数量,设法使硬质相均匀分布,避免其在熔覆层和基体的交界面过于集中,以保证界面结合处具有良好的塑性。消除裂纹更有效的方法是,在基体和熔覆层之间设置韧性中间过渡层,它能保证较硬

的最外层与基体之间有良好的应变协调能力,如图 3,4 所示。本实验中选用没有硬质相的纯镍基合金作为过渡层。这不仅因为镍基合金韧性较好,而且,镍与铁可在界面处形成固溶体,提高结合质量。此外,镍、铁的热导率和热膨胀系数相近,有利于降低温度梯度引起的热应力。

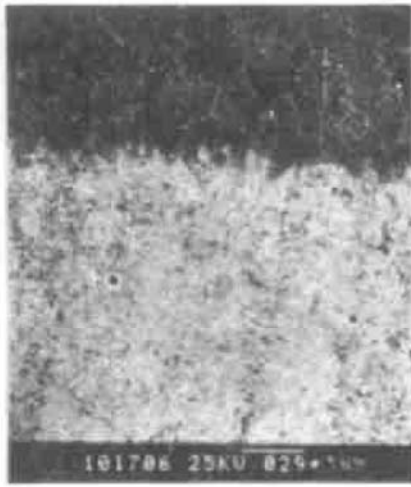


图 3 无 WC 纯 Ni 基合金过渡层与基体

Fig. 3 The pure Ni superalloy transition and the substrate



图 4 最外层(含有 WC)与纯 Ni 基合金过渡层

Fig. 4 The transition and the outside cladding (with WC ceramic)

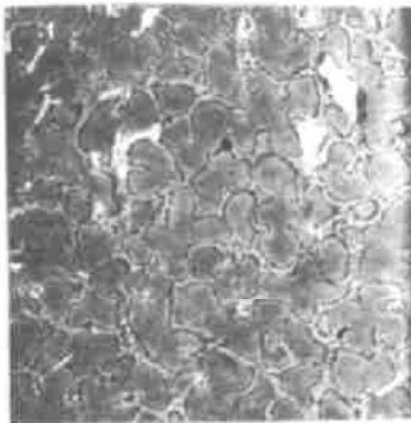


图 5 添加有稀土元素的 Ni 基熔覆层(800×)

Fig. 5 The Ni superalloy cladding with RE

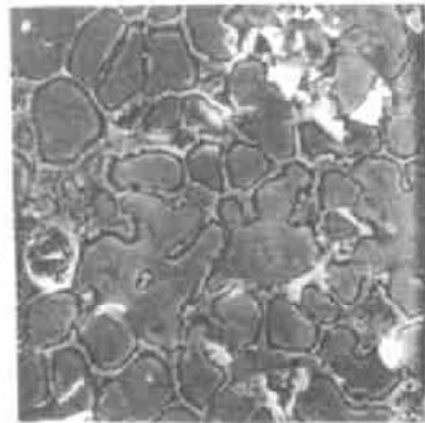


图 6 未添加稀土元素的 Ni 基熔覆层(800×)

Fig. 6 The Ni superalloy cladding without RE

实验中我们在涂覆材料内添加了 0.1wt-% 左右的混合稀土氧化物(即 Y_2O_3 , CeO_2 , La_2O_3)。它可有效地促进涂层材料中 Si 等元素发生脱氧造渣反应。同时,稀土元素可减小残渣与熔体的表面张力,促进熔体对流,使残渣迅速上升到熔池表面,覆盖在高温熔体表面,隔绝其与大气的接触,防止氧化。因此,微量混合稀土的应用可减少涂层内部夹杂,改善熔覆层的表面质量。同时,稀土元素有利于提高熔覆合金的结晶形核率,可有效地细化涂层晶粒,提高熔覆层的强韧性,如图 5,6 所示。

3.3 熔覆层的显微硬度分析

由图 7 显微硬度分布曲线可见,添加有硬质相的最外层硬度为 Hv530 左右,基体硬度为 Hv320。曲线 A 为没有 Ni 基合金中间过渡层的硬度分布,熔覆层与基体间的硬度发生突变,这样容易在界面处出现裂纹。曲线 B 为有过渡层的硬度分布。在交界面处的硬度值介于最外层和基体之间的中间过渡层,使得硬度分布呈缓慢过渡。而且,纯 Ni 基合金过渡层不含有陶瓷硬

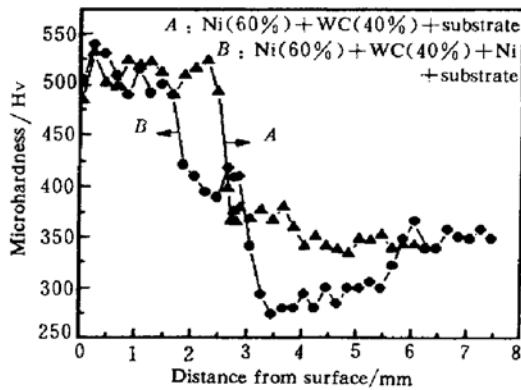


图 7 熔覆层的显微硬度分布曲线
Fig. 7 The Microhardness distribution in the cladding layers

质相,塑性好,耐冲击性能强。有利于预防和减少裂纹的产生和扩展。此外,曲线 B 中基体靠近熔覆层部分较软,这是因为在熔覆过程中,利用激光回火(回火工艺参数:激光功率为 800 W,扫描速度为 500 mm/min,光斑大小为 4 mm)对基体热影响区进行处理,得到较细的回火组织,消除了由于熔覆时,基体热影响区发生马氏体相变产生的局部硬化带,使硬度有所下降。

参 考 文 献

- 1 M. Oian, M. Qian, L. C. Lim *et al.*. Parametric studies of laser cladding processes. *Journal of Materials Processing Technology*, 1997, **63**:590~593
- 2 Zhang Siyu, Wang Biben, Zheng Kequan. A study on laser cladding of WC-TiN-SiC-Co hard and their strengthening mechanism. *Acta Physica Sinica (物理学报)*, 1994, **43**(4):678~682 (in Chinese)
- 3 J. M. Pelletier, F. Oucherif, P. Sallamand *et al.*. Hadfield steel coatings on low carbon steel by laser cladding. *Materials Science and Engineering*, 1995, **A202**:142~147
- 4 Y. Liu, J. Mazumder, K. Shibata. Microstructural study of the interface in laser-clad Ni-Al bronze on Al alloy AA33 and its relation to cracking. *Metallurgical and Materials Transactions A*, 1995, **26A**:1519~1533
- 5 Wu Xinwei, Zeng Xiaoyan, Zhu Peidi *et al.*. Cracking tendency of laser cladding Ni-based WC composite coatings. *Chinese J. Lasers (中国激光)*, 1997, **A24**(6):570~576 (in Chinese)

Study of Improvement of Properties of Laser Cladding Ni Superalloy and WC Composite Layers

Cha Ying Zhou Changchi Tang Xinan Zhang Zhan

(Department of Materials Science and Engineering, Tsinghua University, Beijing 100084)

Abstract In order to reduce the cracks and porosity, which always appear in the laser cladding composites of Ni superalloy and WC hard-phase, some methods were introduced in this paper: 1. uniform distribution of WC; 2. reasonable processing parameters; 3. application of a tough transition layer; 4. application of 0.1 wt-% mixed rare earth cerium; 5. laser tempering the heat-affected zone in order to obtain a tough structure. The experimental results indicate that the laser cladding coating has a uniform microscopic-structure and is free of cracks. Due to the transition layer, the micro-hardness curve of cladding is smoother than that without the soft layer.

Key words Ni superalloy, transition laser, rare earth cerium, cracks