

文章编号: 1001-3806(2002)03-0183-03

宽带激光熔覆 WCp/Ni 基合金梯度涂层的组织与性能*

朱维东 刘其斌

(贵州工业大学, 贵阳, 550003)

摘要: 在 40Cr 调质钢表面采用宽带激光熔覆铸造 WCp/Ni 基合金梯度复合涂层, 对涂层组织和性能进行了测试分析, 并对其性能提高的机理进行了初步讨论。

关键词: 宽带激光熔覆; 梯度复合陶瓷涂层; 显微硬度; 摩擦磨损

中图分类号: TG665 文献标识码: A

Microstructure and properties of broadband laser cladding WCp/Ni base alloy gradient coating

Zhu Weidong, Liu Qibin

(Guizhou University of Technology, Guiyang, 550003)

Abstract: The cast WCp/Ni base alloy gradient composite coating is clad onto 40Cr tempered steel by means of broadband laser. The microstructure and properties of the coating have been tested and analyzed. A preliminary discussion of the mechanism to improve the coating's properties is also made.

Key words: broadband laser cladding; gradient composite ceramic coating; microhardness; friction and abrasion

引 言

宽带激光熔覆金属陶瓷技术是采用高能激光束在普通金属材料表面熔覆一层硬度高、热稳定性好、与基材为冶金结合的金属陶瓷涂层工艺^[1]。它将金属的强韧性和好的工艺性与金属陶瓷的高硬度、好的化学稳定性和高耐磨性有机地结合起来, 构成一种新的复合材料, 从而大大地提高了工件性能。将其用于工模具等易磨损部位, 可大幅度延长使用寿命, 有着广阔的应用前景。

在宽带模式下, 不仅增加了熔覆带宽度, 且由于激光束斑快速局部摆动使熔池表面温度的最高点快速变化, 导致熔池中央区域温度梯度下降, 裂纹敏感性降低, 表面质量改善。同时, 又可利用熔池边缘的温度梯度形成的表面张力场, 起到搅拌熔体使合金元素均匀分布的作用^[2]。我们将描述在 40Cr 调质钢表面进行 WCp/Ni 基合金梯度复合涂层的宽带激光熔覆处理。

实验条件和方法

实验用基材为 40Cr 调质钢, 加工成 100mm × 50mm × 10mm 的块状, 对激光将要处理的面进行打磨、清洗备用。熔覆层中陶瓷相为多角状铸造 WCp, 粒度 -140~+320 目, 熔点 2525℃, 显微硬度 HV2100~HV2500, 密度 16.5g/cm³, 由 WC+W₂C 共晶及少量 WCp 组成; 粘结金属为 Ni60B 镍基自熔合金粉末, 粒度 -150~+320 目, 其化学成分(质量分数): 0.8% C, 16% Cr, 3.5% B, 4.5% Si, 15% Fe, 余量为 Ni。

采用 2 台串接 HJ-4 工业激光器, JK-6 型激光宽带扫描转镜及自动送粉装置。基材处理前在 400℃预热。配制 3 种粉末混合物((1) Ni60B90% + WCp10%, (2) Ni60B75% + WCp25%, (3) Ni60B50% + WCp50%, 均为体积分数), 进行宽带激光熔覆梯度复合涂层试验。为减小开裂敏感性, 用自动送粉装置在基材上预置一层纯镍基合金粉末, 再在此基础上多层熔覆不同体积比的粉末混合物体制得梯度复合材料涂层。实验优化工艺参数示于表 1。每熔覆一层都要进行激光重熔处理, 目的是为了减小开裂倾向, 均匀合金成分以及改善表面质量。

* 贵州省自然科学基金资助项目。

作者简介: 朱维东, 男, 1954 年出生。教授。现从事激光加工与表面改性等方面的研究。

收稿日期: 2001-03-12

Table 1 Technological parameters of laser cladding

facula size	laser power	scanning velocity	powder feeding rate	laser power (remelting)	scanning velocity (remelting)
/(mm×mm)	/kW	/(mm·s ⁻¹)	(g·s ⁻¹)	/kW	/(mm·s ⁻¹)
20×2	2.5	1	5.1	1.8	0.5

2 实验结果与分析

2.1 X射线衍射物相分析

采用 Labr 6000 型 X 射线衍射仪对熔覆层进行了 X 射线衍射物相分析, 图 1 是熔覆层 X 射线衍射图谱, 可看出, 熔覆层除主相 γ -Ni 外有 $M_{23}C_6$, M_7C_3 , WC_{1-x} , WC_x , $W_{3.2}Cr_{1.8}B_3$, Ni_3B 等多种硬质相组成。在激光熔覆过程中, 原始 WC_p 发生溶解, 溶解的 W, C 等元素与粘结金属中的 Ni, Cr, B 等元素发生化学反应, 在随后的快速凝固过程中, 以多种化合物的形式析出, 这些 Cr 的硼化物、Cr 的碳化物以及 Ni 的硼化物等对表面熔覆层起到了极大的强化作用。

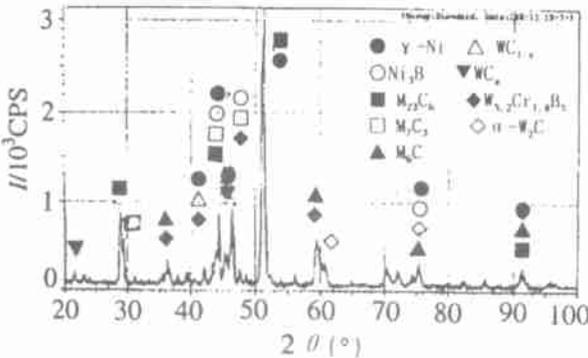


Fig. 1 X-ray diffraction diagram of cladding layer

2.2 显微组织分析

图 2 为结合界面组织形貌, 由图可见, 靠近热影响区出现了一白亮带, 厚度约为 10 μ m, 它是以平面



Fig. 2 Bonding interface between coating and substrate

晶的生长形态沿热流方向生长出来的, 并与热影响区保持着平直界面, 白亮带的形成表明熔覆层与基材之间实现了冶金结合。经标定^[2], 白亮带主要是

单相的 γ (Fe, Cr, Ni, Si) 固溶体组织, 在服役过程中, 这一韧性相对于基体变形进行跟踪能保持充分的展延性, 牢固的冶金结合对防止熔覆层崩落也是非常重要的。

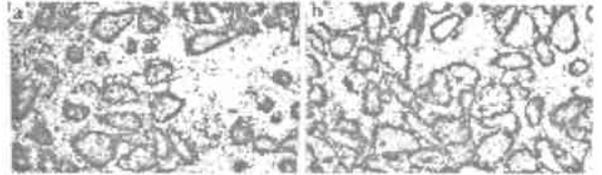


Fig. 3 The microstructure photos
a—the second gradient coating b—the third gradient coating

图 3 为熔覆区中部、上部, 即所谓“第二梯度层、第三梯度层^[3]”的组织形貌, 从中可见 WC 颗粒分布于 Ni 基金属基体内, 密度分布也与粉末体混合比相对应, 且两照片都反映下部较上部密集。因 WC_p 的比重较之 Ni60B 粉末大, 在激光熔池中有下沉的趋势。而且可以发现, WC_p 虽下沉但不是集中在界面处, 因而避免了熔覆层和基体界面处的应力集中, 有效地防止



Fig. 4 Microstructure of a WC_p

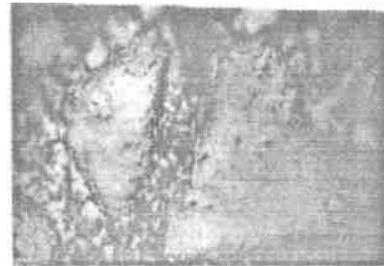


Fig. 5 Cast WC_p and structure around it

了裂纹的出现。

在观察高倍形貌 (见图 4) 时, 可以看出, 铸造 WC_p 仍由 WC 与 W_2C 共晶组织组成, 在其周围有一层须晶状外

延生长层 (见图 5), 靠近外延生长层凝固的粘合金中有块状结晶析出物。从 X 射线衍射分析结果, 结合能谱及显微硬度分析的结果可判定须晶状外延生长层主要是 $M_{23}C_6$, 块状组织为 M_6C , 这些似毛刺状的碳化物可以使 Ni 基金属和 WC 更加牢固地结合。除了上述典型特征外, 还有一种呈溃散状的 WC_p (见图 6), 一些较大 WC_p 本身存在内

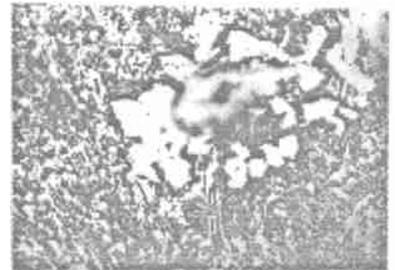


Fig. 6 Discrete state of cast WC_p

部存在内

部缺陷,在激光熔覆过程中,受热震的影响,产生破碎,机械分布于梯度复合涂层的局部区域。

2.3 熔覆层的显微硬度分布

图 7 是应用一台 HVS-1000(343) 型显微硬度计测出的熔覆层硬度分布。其硬度分布呈梯度形式变化,完全与 WCp 分布的“梯度涂层”对应,而且预置一层纯镍基合金作为一层过渡层的效果也很明显,这种硬度呈梯度分布的特征将有助于提高涂层与基材之间的匹配性,缓解应力集中,避免裂纹形成,实现基材与涂层良好的冶金结合。

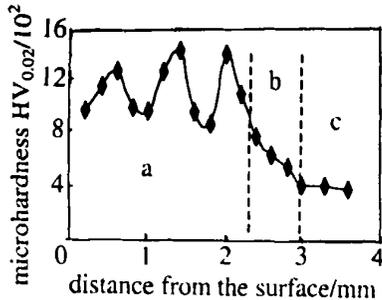


Fig. 7 The hardness distribution of cladding layer
a- cladding zone b- transition zone c- substrate

2.4 熔覆层的摩擦磨损性能

表 2 示出了熔覆层与基材摩擦磨损性能的对比试验结果(试验在 MM200 磨损试验机上进行,试验参数:转速 $n = 200\text{r}/\text{min}$; 正压力 $P = 980\text{N}$, 磨损时间 $t = 1\text{h}$)。可以看出,熔覆层的耐磨性能较基体有了很大提高,而摩擦系数却有大幅度下降,显示出梯度金属陶瓷复合涂层的优良性能。由于 WCp 作为主要增强相存

在于涂层中,这种硬质点分布于“软”基上的结构恰与典型的减摩材料相同,摩擦时,WCp 可承受高载荷,而以 $\gamma\text{-Ni}$ 为主相的基体可使压力均布于各硬质点上。

Table 2 Result of abrasion comparison test

sample materials	hardness / HRC	abrasive material	wear volume / mm^3	friction coefficient	W_V^{-1} / $\times 10^4$
40Cr temperature	27.0	GCr15	3.665	0.125	1.36
WC/ Ni60B	56.5	GCr15	0.035	0.078	3.03

note: W_V^{-1} stands for the sliding distance corresponding to wearing off unity mm^3

同时,熔覆层内其它 Cr 的硼化物、Cr 的碳化物以及 Ni 的硼化物等硬质相的存在,可以阻碍位错运动,在磨损过程中,涂层表面难于发生塑性变形,可有效地推迟裂纹的萌生与扩展,而复合涂层内各相之间牢固而紧密的结合以及复合涂层与基材之间良好的冶金结合有利于承受高的疲劳应力,对提高疲劳磨损有利^[4]。以上结果表明:采用宽带激光熔覆处理,在传统的普通金属材料表面可以获得具有优异性能的梯度金属陶瓷复合涂层,选择适当的激光处理条件可以使该技术成为改善金属材料表面性能的有效方法之一。

参 考 文 献

- [1] Freak A, Marsden C F, Wagiere J D. Surf Coat Technol, 1991, 45 (2): 435~ 441.
- [2] 刘其斌,王存山,夏元良. 贵州工业大学学报, 2001, 30(1): 27.
- [3] 周昌炽,唐西南,查莹 et al. 清华大学学报, 1998, 38(10): 32~ 34.
- [4] 朱维东,刘其斌,孙捷 et al. 应用激光, 1997, 17(5): 207~ 209.

(上接第 182 页)

衰减到 0,但开启模在上跳时启动得更快,相应地在上跳过程中,ECLD 能够更快地达到稳定输出。

3 结 论

通过数值求解速率方程组,定性讨论了光栅转动角度的大小对 ECLD 跳变点处模式变换的瞬态过程的影响。结果表明:当 ECLD 处于功率上跳点处,光栅转角较小时,模 A (switch off) 会有较强的光脉冲输出,随着转动角度的增加,而逐渐演化为一个纯粹的衰减过程。模 B (switch on) 的输出随着光栅转动角度的增加,初始波动愈来愈大,并且启动时间也提前。当 ECLD 处于功率下跳点处,光栅的转动导致模 C (switch off) 在初始阶段便直接衰减,当光栅转角较小时,模 C 的输出在初始衰减后还会略有波动,而模 D (switch on) 的输出便与张弛振荡无

甚差别。同时,当 ECLD 处于不同跳变点处,若光栅转角相同(注意:转动方向不同),上跳时,ECLD 更快达到稳态。

参 考 文 献

- [1] Kakiuchida H, Ohtsubo J. IEEE J Q E, 1994, 30(9): 2087~ 2097.
- [2] Yan C, Wang X, McInerney J G. IEEE J Q E, 1996, 32(5): 813~ 821.
- [3] Zhou X, Chen J G, Lu Y. Appl Opt, 1997, 36(18): 4138~ 4141.
- [4] Li Y, Chen J G, Li D Y et al. IEEE J Q E, 1999, 35(10): 1521~ 1525.
- [5] Chen J G, Li D Y, Li Y et al. Appl Opt, 1999, 38(30): 6333~ 6336.
- [6] Huang J, Casperson L W. Opt & Quant Electron, 1993, 25(6): 369~ 390.
- [7] 陆洋,陈建国,李大义. 激光杂志, 2000, 21(3): 23~ 24.
- [8] 陆洋,陈建国,李大义. 激光技术, 2002, 26(1): 26~ 28.
- [9] Binder J O, Comack G D. IEEE J Q E, 1990, 26(7): 1191~ 1199.