

文章编号: 0258-7025(2003)04-0357-04

激光熔覆 Ni/WC 复合涂层的组织和性能

吴 萍^{1,2}, 姜恩永^{1,2}, 周昌炽³, 唐西南³

(天津大学¹理学院现代材料物理研究所, ²先进陶瓷与加工技术教育部重点实验室, 天津 300072;
³清华大学材料科学与工程系, 北京 100084)

摘要 采用激光熔覆方法在 A3 钢基体上制备 Ni/WC 复合涂层,研究了不同激光功率下复合涂层中 WC 颗粒的形貌与分布及其对涂层耐磨性能的影响。结果表明,在 Ni/WC 复合涂层中,合理的激光功率使 WC 颗粒部分熔化,并在颗粒周围重新凝固并析出针状碳化物,这既有利于提高涂层的硬度又能使未熔化的 WC 颗粒与涂层基体合金牢固结合。

关键词 金属学; Ni/WC 复合涂层; 激光熔覆; 耐磨性

中图分类号 TG 665 **文献标识码** A

Microstructure and Properties of Ni/WC Composite Coating Prepared by Laser Cladding

WU Ping^{1,2}, JIANG En-yong^{1,2}, ZHOU Chang-chi³, TANG Xi-nan³

(¹Institute of Advanced Materials Physics, School of Science, ²Key Lab of Advanced Ceramics and Machining Technology for Ministry of Education, Tianjin University, Tianjin 300072, China
³Department of Materials Science and Engineering, Tsinghua University, Beijing 100084, China)

Abstract Ni/WC composite coatings were prepared on A3 steel by laser cladding. The morphology and distribution of WC particles under the different laser power and their influences on the wear resistance properties were studied. The results showed that under the appropriate laser power WC particles partially dissolved, with the epitaxially grown needle-like carbide around them. Undissolved WC particles are combined strongly with the coating matrix, which has improved wear resistance when compared with the Ni-based alloy coating.

Key words metallography; Ni/WC composite coating; laser cladding; wear resistance property

1 引 言

激光熔覆是将涂层材料在激光作用下熔敷在熔的基体表面,形成与基体冶金结合且性质不同的表面层,提高了工件表面的耐磨、耐蚀、抗氧化等性能,具有很好的应用前景^[1,2]。

WC 是耐磨性极佳的硬质材料, Ni 基合金对 WC 有很好的润湿性。因此,激光熔覆 Ni/WC 复合涂层以其优良的耐磨性能和适中的价格在工业界得到广泛应用^[3,4]。但基体合金与陶瓷硬质相之间存

在明显的界面和较大的性能差异,容易出现陶瓷颗粒脱落、应力集中及产生裂纹等问题。因此,改善材料表面的磨损性能需要充分利用自熔性合金与陶瓷材料各自的优点,合理选择激光工艺参数,以获得高质量涂层。文献报道, WC 颗粒在激光熔覆过程中出现熔化、烧损及沉底等现象^[5]。我们的前期工作也表明, WC 颗粒的溶解与重新析出的碳化物有弥散硬化涂层的作用,且 WC 颗粒密集排列在涂层表面可使涂层的耐磨性明显提高^[6]。因此, WC 颗粒

收稿日期: 2002-09-20; 收到修改稿日期: 2002-11-29

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(50104008)、教育部留学回国人员科研启动基金资助项目和天津大学教育振兴行动计划支持项目。

作者简介: 吴萍(1968—), 女, 天津大学理学院副教授, 博士, 主要从事薄膜、粉体及材料表面改性研究。 E-mail: pingwu@eyou.com

在复合涂层中的形态对涂层的耐磨性能有很大的影响,值得进一步研究。

本文采用激光熔覆表面改性技术在 A3 钢基体上熔敷 Ni35 合金涂层和 Ni/WC 复合涂层,研究不同激光功率下复合涂层中 WC 颗粒的形态及其微观结构,对涂层样品进行磨损试验,与 Ni35 合金涂层对比,评价涂层的耐磨质量。

2 试验方法

基体材料为 A3 钢($C < 0.2\%$),加工成尺寸为 $60\text{ mm} \times 40\text{ mm} \times 20\text{ mm}$ 的块体,熔覆材料为 Ni 基合金粉末 Ni35($\text{Cr}10, \text{B}1.5, \text{Si}2.5, \text{C} < 0.4, \text{Fe} < 17, \text{Ni}$ 余量, wt.-%)和 Ni 包 WC 陶瓷粉末(牌号 KF56),粒度均为 $140 \sim 320$ 目。样品表面经磨削加工,丙酮清洗后,用树脂混合 Ni35+60 vol-% KF56 制成糊状,预置在基体表面,厚度为 0.6 mm 。在 80°C 下干燥 5 h。

样品 200°C 预热约 3 min 后用 2 kW 横流连续 CO_2 激光器及配套的数控导光系统进行激光熔覆,抛物面聚焦,焦距 350 mm 。光斑直径 4 mm ,扫描速度 180 mm/min ,搭接量 1.5 mm ,激光输出功率 $800 \sim 1200\text{ W}$ 。激光熔覆过程中加 Ar 气保护以防样品氧化。

激光熔覆后的试样,做熔覆层的断面金相试样和磨损试样,用扫描电子显微镜(SEM)观察分析 Ni/WC 复合涂层在不同激光功率下断面的形貌。用 X 射线衍射(XRD)分析涂层的相结构。同时制备了 Ni35 合金涂层,对比复合涂层的耐磨性。

在针-盘式磨损试验机上进行磨损试验,磨损试样尺寸为 $10\text{ mm} \times 10\text{ mm} \times 20\text{ mm}$ 。盘上安装 $200\#$ SiC 砂纸,盘以 120 r/min 旋转,试样上加载 300 g 并以 20 mm/s 沿径向移动。因此,试样在砂纸上的磨损轨迹为螺旋线,螺旋线的长度即为磨损行程。每完成一个磨损行程(7 m)测量一次试样失重,并更换一张新砂纸。为保证测量的精度,试样在称重前进行 5 min 超声清洗。

3 试验结果与讨论

3.1 激光功率对 WC 颗粒形态的影响

图 1 示出不同激光功率作用下的涂层断面 SEM 形貌图。经 SEM 成分扫描,证明白色相为 WC 颗粒。 800 W 激光处理的复合涂层如图 1(a)所示,WC 颗粒以原有状态存在于涂层中; 1 kW 激光

处理涂层如图 1(b)所示,WC 颗粒部分熔化,随后重新凝固并生成针状碳化物,如同颗粒上长出许多毛刺一样,这既保持 WC 颗粒原来的成分又能使 WC 颗粒与涂层内基体合金牢固结合; 1.2 kW 激光处理涂层如图 1(c)所示,WC 颗粒分布不均匀,涂层靠上部分 WC 颗粒烧损,完全由枝晶状碳化物组成,残留 WC 颗粒沉底,涂层中明显出现一些裂纹,裂纹源就在涂层底部的 WC 颗粒上,这样既不利于涂层表面的耐磨,也使基体到涂层的性能发生突变,容易引发裂纹及疲劳破坏。可见,激光功率并非越大越好,激光功率过大,不仅会增大基体的稀释作用^[7],还会使涂层中的组成元素蒸发和分解,造成过烧现象。在合金熔覆层中加入陶瓷颗粒的目的是提高其抗磨损性能,因此,希望加入的陶瓷颗粒在熔覆过程中尽量保持原来的形状与成分,同时与基体合金浸润,使合金材料与增强颗粒结合良好。本文 1 kW 激光功率制备的 Ni/WC 复合涂层中,WC 颗粒均匀分布并与基体合金形成完美融合。图 1(d)为该涂层中 WC 颗粒的放大照片,更加清楚地表明 WC 颗粒与基体合金的融合状况。

图 2 是 Ni35, Ni/WC (1 kW), Ni/WC (1.2

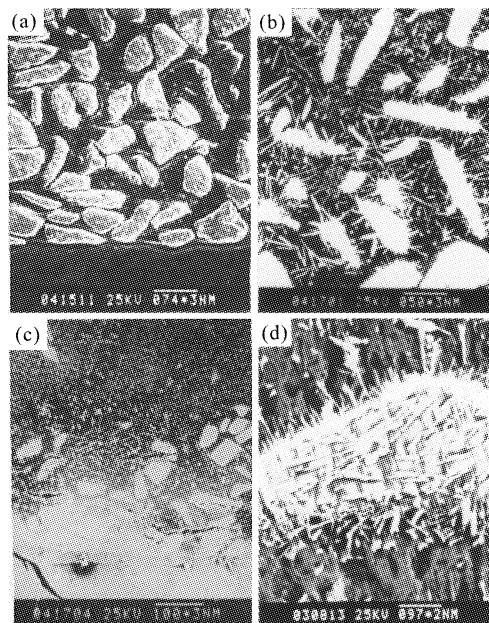


图 1 0.6 mm 厚度 Ni/WC 激光熔覆金属+陶瓷复合涂层断面 SEM 照片

(光斑直径 4 mm,扫描速度 180 mm/min)

激光功率:(a) 800 W;(b),(d) 1 kW;(c) 1.2 kW

Fig. 1 SEM photograph of Ni/WC laser-clad coating with thickness of 0.6 mm

(beam diameter 4 mm, scanning velocity 180 mm/min)

laser power: (a) 800 W; (b), (d) 1 kW; (c) 1.2 kW

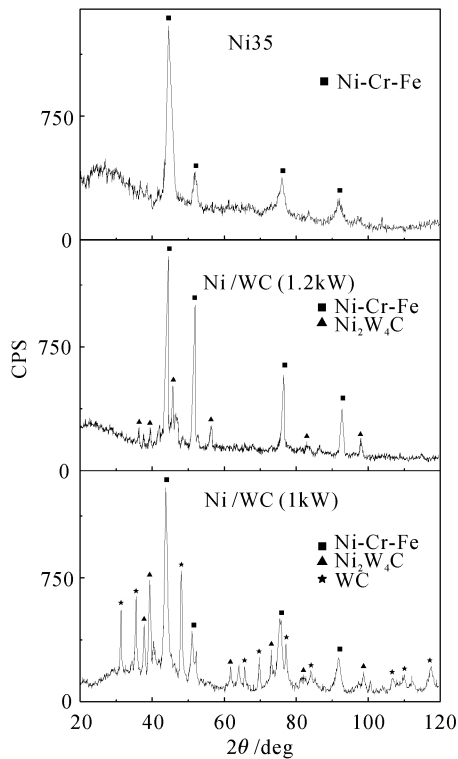


图 2 X 射线衍射图

(a) Ni35 合金涂层; (b) Ni/WC 复合涂层(1.2 kW);
(c) Ni/WC 复合涂层(1 kW)

Fig. 2 XRD results for

(a) Ni35 alloy coating; (b) Ni/WC composite coating (1.2 kW); (c) Ni/WC composite coating (1 kW)

kW) 三种涂层的 XRD 分析结果。可见, Ni35 合金涂层中主要由 Ni-Cr-Fe 相组成, Ni/WC(1.2kW) 复合涂层中除 Ni-Cr-Fe 相外, 出现 $\text{Ni}_2\text{W}_4\text{C}$ 相, 该相是 WC 颗粒熔化、重新凝固后生成的新相。Ni/WC(1 kW) 复合涂层除上述两相外, 明显存在 WC 的衍射峰。XRD 分析结果与 SEM 结果一致。

3.2 WC 颗粒形态对熔覆层的开裂及磨损性能的影响

激光熔覆涂层的开裂问题是限制其应用的一大难题, 开裂现象在激光熔覆金属+陶瓷的复合涂层中尤其严重。在激光熔覆涂层中裂纹产生的原因较复杂, 但可以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。就金属+陶瓷的复合涂层而言, 其裂纹的来源可分为两部分: 1) 基底材料与熔覆材料两者间的物理参数(如膨胀系数、硬度等)上的差异; 2) 涂层内部金属基体与陶瓷硬质相之间的性能差异。为改善激光熔覆层的应力状态和消除裂纹, 除了选用塑性和韧性较好的 Ni

基合金作为熔覆层的溶剂外, 同时还应控制 Ni 基合金基体与 WC 颗粒之间的性能过渡。镍、铁的热导率和热膨胀系数相近, 有利于降低温度梯度所引起的热应力。因此, 功率为 1 kW 时 Ni/WC 复合涂层中存在两种过渡状态: 1) 基底金属与 Ni 基合金基体的平稳过渡; 2) WC 颗粒的表面部分熔化并在其周围凝固生成的针状碳化物是 Ni 基合金基体与 WC 颗粒之间的过渡层。因此, 在 1kW Ni/WC 复合涂层中几乎没有开裂现象, 而其他两种涂层样品中明显存在裂纹等缺陷。

对三种激光功率作用下 Ni/WC 复合涂层及 Ni35 合金涂层进行磨损试验, 其累计磨损失重与行程的关系见图 3, 可见, 功率为 1 kW 时复合涂层的磨损失重最小、耐磨性最好; 功率为 800 W 时复合涂层在 21 m 行程后磨损失重的变化率明显增加; 功率为 1.2 kW 时复合涂层的耐磨性比 Ni35 合金涂层有了一定的改善。相同的磨损条件下, 在磨损过程中磨料在合金涂层表面以切削犁沟变形的方式产生磨损沟痕, 而对于功率为 800 W, 1 kW 时的复合涂层, 由于涂层表面密集排列的 WC 颗粒硬度较高, 磨损是在 WC 颗粒与合金涂层间交替进行的, 且主要作用在 WC 颗粒上。由于 WC 颗粒硬而脆, 随着多次应力作用产生疲劳裂纹而脱落。由于功率为 1 kW 时复合涂层中 WC 颗粒周围的毛刺, 使其与涂层内的基体合金融为一体, 磨损试验中没有出现整块 WC 颗粒脱落的现象。该涂层的表面磨损形貌见图 4, 可见, 1 kW 时复合涂层中 WC 颗粒突出于基体合金, 在磨损过程中与磨料发生相互作用, 在磨料的冲击作用下 WC 颗粒出现破裂现象, 但仍

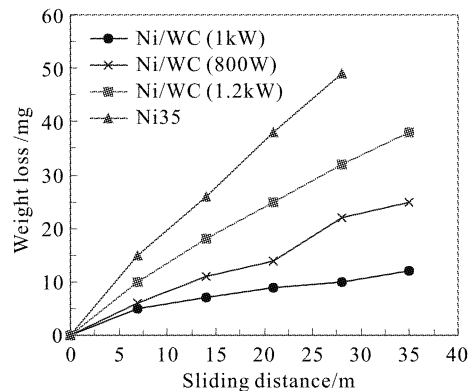


图 3 Ni/WC 复合涂层和 Ni35 合金涂层累计磨损失重与行程的关系图

Fig. 3 Cumulative wear weight loss as functions of sliding distance for Ni/WC composite coatings and Ni35 alloy coating

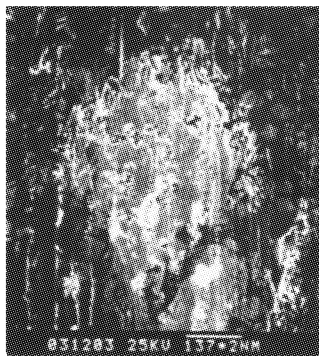


图 4 1 kW 激光熔覆 Ni/WC 复合涂层表面
磨损形貌图

Fig. 4 SEM photograph of the worn surface of 1 kW
Ni/WC laser-clad coating

然与基体合金牢固地结合在一起。功率为 800 W 时复合涂层中 WC 颗粒与基体合金结合差,一定行程后出现的磨损失重变化率的增加就是因为 WC 颗粒脱离基体而造成的。WC 颗粒熔化并重新凝固生成的针状碳化物对涂层有弥散硬化作用,也在一定程度上改善了涂层的耐磨性。可见,在提高材料耐磨性途径方面,硬度和韧性达到最佳匹配时,材料的耐磨性才最好。

4 结 论

1) WC 颗粒在不同的激光功率作用下呈现不同的形貌与分布,进而影响涂层的质量和磨损性能。

2) WC 颗粒在激光熔覆过程中存在不同程度的熔化或溶解,重新凝固并生成对涂层有弥散硬化作用的针状碳化物;采用适中的激光功率可使 WC 颗粒保持原来的成分并与基体合金形成完美融合。

3) WC 颗粒密集排列在涂层表面,可增加涂层的耐磨性;WC 颗粒沉于涂层底部既不利于涂层表面的耐磨,也使基体到涂层的性能发生突变,容易引发裂纹及疲劳破坏。

参 考 文 献

- 1 J. de Damborenea. Surface modification of metals by high power lasers [J]. *Surf. Coat. Technol.*, 1998, **100-101**(1-3):377~382
- 2 L. Shepeleva, B. Medres W. D. Kaplan *et al.*. Laser cladding of turbine blades [J]. *Surf. Coat. Technol.*, 2000, **125**(1-3):45~48
- 3 Q. Li, T. C. Lei, W. Z. Chen. Microstructural characterization of WCp reinforced Ni-Cr-B-Si-C composite coatings [J]. *Surf. Coat. Technol.*, 1999, **114**(2-3):285~291
- 4 J. Przybylowicz, J. Kusinski. Structure of laser cladded tungsten carbide composite coatings [J]. *J. Mater. Proc. Technol.*, 2001, **109**(1-2):154~160
- 5 P. H. Chong, H. C. Man, T. M. Yue. Microstructure and wear properties of laser surface-cladded Mo-WC MMC on AA6061 aluminum alloy [J]. *Surf. Coat. Technol.*, 2001, **145**(1-3):51~59
- 6 P. Wu, C. Z. Zhou, X. N. Tang. Laser alloying of a gradient metal-ceramic layer to enhance wear properties [J]. *Surf. Coat. Technol.*, 1995, **73**(1-2):111~114
- 7 M. Cadenas, R. Vijande, H. J. Montes *et al.*. Wear behaviour of laser cladded and plasma sprayed WC-Co coatings [J]. *Wear*, 1997, **212**(2):244~253