

激光熔覆 $\text{Ni}_{16}\text{Ti}_6\text{Si}_7$ 涂层组织与耐磨性

盛伟 刘栋 王华明

(北京航空航天大学激光材料制备与成形实验室,北京 100083)

文 摘 以 $\text{Ni}-\text{Ti}-\text{Si}$ 合金粉末为原料,利用激光熔覆技术在 0Cr18Ni9 奥氏体不锈钢基材上制备了以 $\text{Ni}_{16}\text{Ti}_6\text{Si}_7$ 初生树枝晶和枝晶间 $-\text{Fe}-\text{Ni}$ 固溶体组成的耐磨涂层。用光学显微镜、扫描电镜、透射电镜等对涂层组织进行了分析,测试了其在高温干滑动条件下的磨损性能。结果表明,由于 $\text{Ni}_{16}\text{Ti}_6\text{Si}_7$ 较高的硬度和具有较好韧性配合的涂层组织,激光熔覆涂层具有优异的高温磨损性能。

关键词 激光熔覆, $\text{Ni}_{16}\text{Ti}_6\text{Si}_7$, 显微组织, 高温磨损

Microstructure and Wear Resistance of Laser Clad $\text{Ni}_{16}\text{Ti}_6\text{Si}_7$ Coatings

Sheng Wei Liu Dong Wang Huaming

(Laboratory of Laser Materials Processing and Manufacturing, Beihang University, Beijing 100083)

Abstract A wear resistant coatings consist of $\text{Ni}_{16}\text{Ti}_6\text{Si}_7$ primary dendrite and interdendrite $-\text{Fe}-\text{Ni}$ solid solution are made on 0Cr18Ni9 austenite stainless steel substrate by laser cladding using $\text{Ni}-\text{Ti}-\text{Si}$ powders. Microstructure of the coatings is characterized by optical microscope (OM), scanning electron microscope (SEM) and transmission electron microscope (TEM). Wear resistance of the coatings is tested under high temperature dry sliding wear conditions. The results indicated that the laser clad $\text{Ni}_{16}\text{Ti}_6\text{Si}_7$ -based coatings had excellent wear resistance because of its high hardness, good strength and toughness.

Key words Laser cladding, $\text{Ni}_{16}\text{Ti}_6\text{Si}_7$, Microstructure, High-Temperature wear

0 引言

在航空、航天、石油、化工等领域,存在大量需要在高温、腐蚀等严酷环境下承受强烈摩擦磨损作用的关键零部件。在材料表面制备具有良好高温性能的耐磨涂层是解决上述问题经济而有效的方法。金属硅化物以其高熔点、高强度、良好的高温抗氧化性和蠕变性能成为新型高温结构候选材料之一^[1~2],用激光熔覆方法制备金属硅化物耐磨涂层新材料具有重要的工程应用价值^[3]。 $\text{Ni}_{16}\text{Ti}_6\text{Si}_7$ 在镍基高温合金及马氏体时效钢中用于强化相^[4~5]。目前对 $\text{Ni}_{16}\text{Ti}_6\text{Si}_7$ 磨损性能的研究尚未见报道。本文利用激光熔覆的方法制备了以 $\text{Ni}_{16}\text{Ti}_6\text{Si}_7$ 为增强相, $-\text{Fe}-\text{Ni}$ 固溶体为基体的耐磨涂层,对涂层组织及其在高温干滑动磨损条件下的磨损性能进行了研究。

1 实验

以 70Ni-21Ti-9Si合金粉末作为熔覆材料,选

用 0Cr18Ni9 奥氏体不锈钢作为基材。熔覆试验在配有三轴联动四坐标数控加工机床的 CO_2 激光器上进行。采用同轴送粉工艺将混合粉末直接送入激光熔池。试验过程中通氩气保护。激光熔覆工艺参数为:激光功率 2 kW,光斑直径 5 mm,扫描速度 200 mm/min。

用光学显微镜、扫描电镜、透射电镜和 X射线衍射仪进行显微组织分析和物相鉴定。用 MH-6型显微硬度仪测试试样的平均硬度。磨损性能测试在销盘式高温滑动磨损试验机上进行。试样尺寸为 5 mm \times 5 mm \times 8 mm,对磨材料为镍基高温合金 GH5K,试验温度 400 $^{\circ}\text{C}$,磨损载荷 2.16 MPa,磨损行程 180 m。用精度为 0.1 mg的电子天平称量实验前后涂层的质量,以磨损失重量作为材料耐磨性的评价指标。对磨损表面进行扫描电镜观察以分析磨损机理。

2 结果与讨论

收稿日期:2007-09-30

基金项目:国家自然科学基金资助(50625413, 50331010)

作者简介:盛伟,1983年出生,硕士研究生,主要从事金属硅化物磨损性能的研究

图 1 为激光熔覆涂层 X 射线衍射图谱分析。结果表明,激光熔覆涂层组织主要由 $\text{Ni}_{16}\text{Ti}_6\text{Si}_7$ 和 Fe - Ni 固溶体组成。

图 2 为涂层组织的光学金相及扫描电镜照片。可以看到,涂层组织主要由发达初生树枝晶和枝晶间基体组成。初生树枝晶为 $53\text{Ni} - 19\text{Si} - 18\text{Ti} - 8\text{Fe} -$

1Cr ,枝晶间相成分为 $44\text{Ni} - 33\text{Fe} - 9\text{Cr} - 8\text{Ti} - 6\text{Si}$ 结合 X 射线衍射结果和能谱分析结果可以确定,初生树枝晶为 $\text{Ni}_{16}\text{Ti}_6\text{Si}_7$,枝晶间相为 Fe - Ni 固溶体。Fe - Ni 固溶体完全包裹了 $\text{Ni}_{16}\text{Ti}_6\text{Si}_7$,使得涂层既有高的硬度又具有良好的强韧性,这种组织形态将有利于提高材料的耐磨性能。

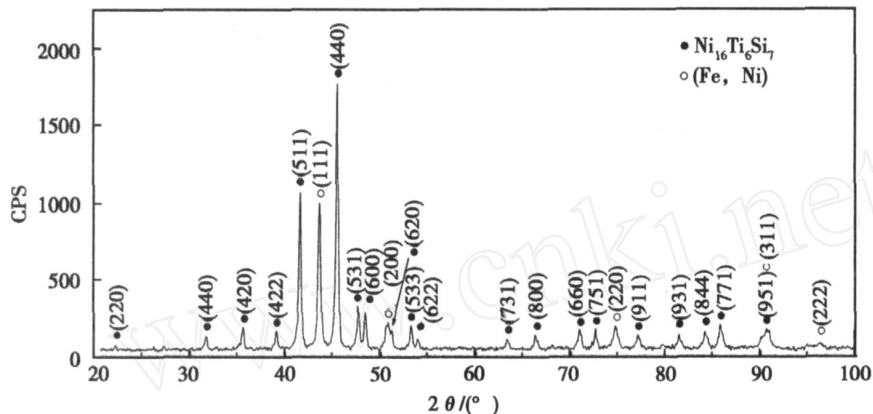
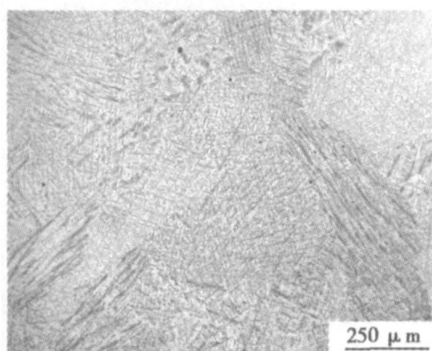
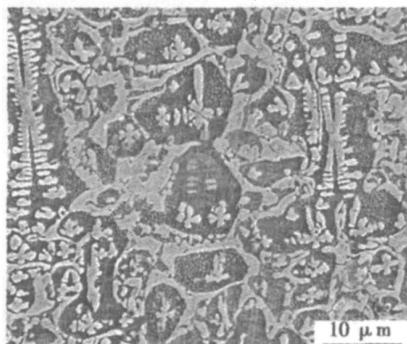


图 1 激光熔覆 $\text{Ni}_{16}\text{Ti}_6\text{Si}_7$ 涂层的 XRD 衍射谱图

Fig 1 XRD patterns of laser clad $\text{Ni}_{16}\text{Ti}_6\text{Si}_7$ -based coatings



(a) 典型组织的光镜



(b) 扫描电镜照片

图 2 激光熔覆 $\text{Ni}_{16}\text{Ti}_6\text{Si}_7$ 涂层典型组织的光镜及 SEM

Fig 2 OM and SEM micrographs showing the typical microstructure of laser clad $\text{Ni}_{16}\text{Ti}_6\text{Si}_7$ -based coatings

由图 2 (b) 可以看出, $\text{Ni}_{16}\text{Ti}_6\text{Si}_7$ 初生树枝晶具有典型的小平面相的生长特征,说明 $\text{Ni}_{16}\text{Ti}_6\text{Si}_7$ 具有较

高的熔化焓。值得注意的是,在 $\text{Ni}_{16}\text{Ti}_6\text{Si}_7$ 初生相内还有十字状同样具有小平面相特征的组织。能谱分析结果表明,该物质与 $\text{Ni}_{16}\text{Ti}_6\text{Si}_7$ 初生相具有几乎相同的成分。对涂层组织进行透射电镜分析结果表明,该物质为面心立方结构,点阵常数为 111.4 nm,与文献中 $\text{Ni}_{16}\text{Ti}_6\text{Si}_7$ 数据相符。

图 3 为激光熔覆涂层在 400 、2.16 MPa 接触应力条件下磨损结果。选择 Stellite6 钴基硬质合金和不锈钢基材作为对比试样。结果表明,激光熔覆涂层在该条件下的磨损性能优于 Stellite 合金。

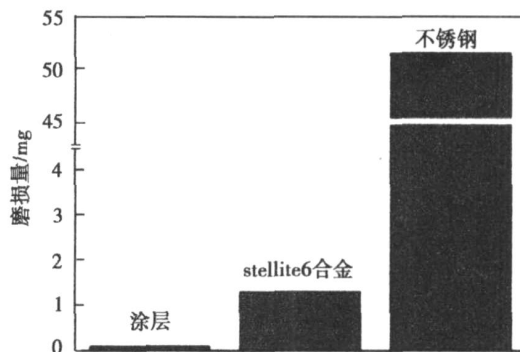


图 3 激光熔覆 $\text{Ni}_{16}\text{Ti}_6\text{Si}_7$ 涂层与对比试样高温磨损结果

Fig 3 High temperature wear performance of laser clad $\text{Ni}_{16}\text{Ti}_6\text{Si}_7$ -based coatings and reference materials

图 4 为激光熔覆涂层磨损表面形貌的扫描电镜
宇航材料工艺 2007年 第 6期

照片。可以看到,涂层表面光滑,没有切削或犁沟的痕迹。试样表面也没有变形和断裂等特征。 $\text{Ni}_6\text{Ti}_6\text{Si}_7$ 具有较高的硬度和强度,其硬度值远高于 Stellite6合金和 0Cr18Ni9不锈钢(表 1)。

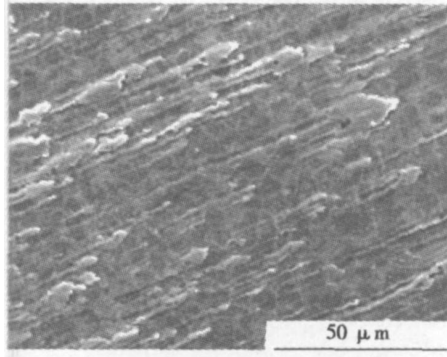


图 4 激光熔覆 $\text{Ni}_6\text{Ti}_6\text{Si}_7$ 涂层磨损表面形貌

Fig 4 SEM micrograph showing worn morphology of laser clad $\text{Ni}_6\text{Ti}_6\text{Si}_7$ -based coatings

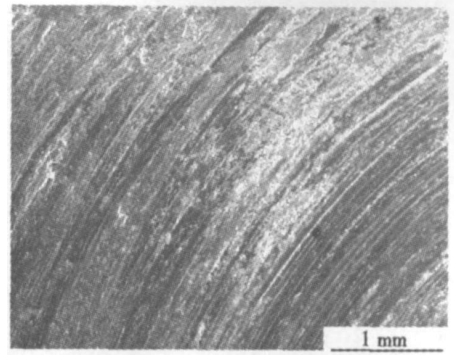
表 1 激光熔覆 $\text{Ni}_6\text{Ti}_6\text{Si}_7$ 涂层与对比试样显微硬度

Tab 1 Microhardness of laser clad $\text{Ni}_6\text{Ti}_6\text{Si}_7$ -based coatings and reference materials

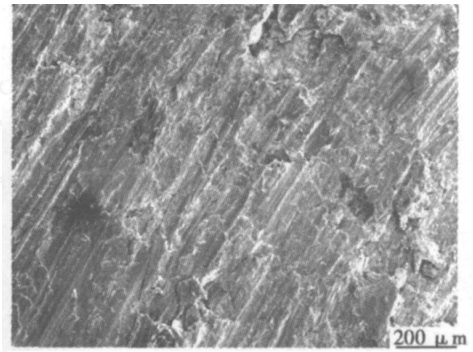
材 料	显微硬度 $\text{HV}_{0.05}$
涂层表面	780
Stellite合金	375
0Cr18Ni9不锈钢	160

高硬度和强度赋予涂层优异的抗切削和变形能力。而且由于金属硅化物固有的特性,硬度随温度升高仍能维持在较高的水平,使其在高温下的磨损性能尤为突出。激光熔覆 $\text{Ni}_6\text{Ti}_6\text{Si}_7$ 基涂层 Fe - Ni固溶体包围 $\text{Ni}_6\text{Ti}_6\text{Si}_7$ 硬质相的独特组织特点赋予涂层良好的强韧性配合,降低了因断裂破碎而失重的可能。此外,涂层表面形成较明显的黏附转移层,转移层的存在对试样表面也起到一定的保护作用。涂层因而具有优异的耐磨损性能。

图 5为 Stellite合金与不锈钢磨损表面的扫描电镜照片。观察表明,Stellite合金在该条件下的磨损主要是切削和黏着磨损。不锈钢表面不仅有明显的切削痕迹,还有因强烈塑性变形而导致断裂以及受外力作用而剥落的特征,因而具有较高的磨损率。



(a) Stellite合金



(b) 不锈钢

图 5 Stellite合金和不锈钢的磨损表面形貌

Fig 5 SEM micrographs showing worn morphology of Stellite alloy and stainless steel

3 结论

用激光熔覆方法制备了以 $\text{Ni}_6\text{Ti}_6\text{Si}_7$ 为初生相、以 Fe - Ni固溶体为基体的高温耐磨涂层。测试结果表明,涂层具有较高的硬度和优异的高温磨损性能。

参考文献

- 1 马勤,阎秉钧,康沫狂等. 金属硅化物的应用与发展. 稀有金属材料与工程, 1999; 28(1): 10 ~ 13
- 2 Petrovic J J, Vasudevan A K Key developments in high temperature structural silicides Material Science and Engineering, 1999; A261: 1 ~ 5
- 3 王华明. 金属材料激光表面改性与高性能金属零件激光快速成形技术研究进展. 航空学报, 2002; 23(5): 473 ~ 478
- 4 李玉青,刘锦岩. 高温合金晶界间隙相. 第一版. 北京: 冶金工业出版社, 1990: 33
- 5 Gemperle A, Gemperlova J, Sha W et al Aging behavior of cobalt free chromium containing maraging steels Material Science and Technology, 1992; 8: 546 ~ 554
- 6 孟庆昌. 透射电子显微学. 第一版. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学出版社, 1998: 164

(编辑 吴坚)