

文章编号: 0258-7025(2002)Supplement-0515-04

激光熔覆 NiCrAl-陶瓷涂层的显微组织和 磨损性能研究

陈庆华 龙晋明 魏 仑

(昆明理工大学材料与冶金工程学院材料系, 昆明 650093)

摘要 运用激光熔覆技术和原位反应合成的原理,在 40Cr 钢表面用预置涂层的方法,制备了($\text{TiO}_2 + \text{B}_2\text{O}_3 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{TiB}_2$)/NiCrAl 金属陶瓷涂层。借助光学显微、电子探针及显微硬度计等手段对熔覆层的组织、物相、元素分布和显微硬度分布特征进行了分析研究。用自制的仿销环磨损机进行磨削试验,结果表明,由于 TiB_2 、 Al_2O_3 和其余陶瓷微粒的生成,大大提高了熔覆层的磨损性能,随陶瓷相在熔覆层中的配比从 5% 增加至 20% 时,陶瓷层的硬度不断增加,同时磨损性能也得到相应提高。

关键词 激光熔覆, 金属陶瓷, 微观组织, 物相, 硬度, 磨损性能

中图分类号 TN249 **文献标识码** A

Microstructure and Corrosion of Laser Cladding of NiCrAl-ceramic Coating

CHEN Qing-hua LONG Jin-ming WEI Lun

(Kunming University of Science and Technology, Kunming 650093)

Abstract A ($\text{TiO}_2 + \text{B}_2\text{O}_3 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{TiB}_2$)/NiCrAl metal-ceramic coating was fabricated on a steel (Chinese brand 40Cr) by laser. TiB_2 , Al_2O_3 were introduced by an in-situ reaction of Al, B_2O_3 and TiO_2 during laser cladding process. The microstructure, phase, element distribution and micro-hardness have been analyzed with the aid of microscope, electron probe and micro-hardness tester. The hardness and the boundary strength are significantly enhanced due to the present of ceramic particles (TiB_2 , Al_2O_3) in the coating. With the ceramic composition increasing in the range of 5% to 20% the wear resistance is enhanced.

Key words laser cladding; metal-ceramic, microstructure, phases, micro-hardness, wear properties

1 引 言

激光熔覆技术是近年来国内外研究的热点^[1-7],用激光在低合金结构钢 40Cr 表面预置粉末的方法,熔覆一层 NiCrAl + ($\text{TiO}_2 + \text{B}_2\text{O}_3 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{TiB}_2$)合金,其目的是通过原位反应在涂层中合成三氧化二铝和二硼化钛,在通常的结构材料表面形成一层高温耐磨、耐蚀的 NiCrAl-陶瓷复合涂层。

2 实验过程

试样为 50 mm × 20 mm × 10 mm 的 40Cr 结构钢,表面磨光,然后经过碱洗去油和酸洗活化备用。

实验用 NiCrAl 合金粉成分为:17% ~ 19% Cr,

5.5% ~ 6.5% Al 和 74.5% ~ 77.5% Ni;陶瓷粉末分别以 1%, 2.5%, 5%, 8%, 10%, 15%, 20% 等理论比例加入,陶瓷生成反应物按理论反应配比混合,即按质量比 Al:TiO₂:B₂O₃ = 9:8:7 加入 NiCrAl 合金粉粉末中。加入粘接剂后的粉末用手工预置到钢材表面,预置厚度为 0.8 ~ 1.0 mm。在 200 °C 的温度下烘干备用。

实验用中国科学院上海光学精密机械研究所生产的 HJ-3 千瓦横流 CO₂ 激光器作为激光光源,激光输出功率为 700 ~ 900 W。用离焦量 h 控制激光光斑尺寸($f = 200$ mm, $h = 10$ mm)、用扫描速度控制作用时间。实验所用激光扫描速度分别为 1 mm/s, 2 mm/s, 3 mm/s, 4 mm/s, 5 mm/s, 6 mm/s。

3 实验结果与讨论

3.1 光学显微观察

激光熔覆截面一般由熔覆层和热影响区及基体组成,图 1 是 NiCrAl 和 $(Al_2O_3 + TiB_2 + TiO_2 + B_2O_3)/NiCrAl$ 两种不同熔覆层的光学显微照片,熔覆层由一个在热影响区以上的白亮的带状平面长大区域、胞状长大区域、树枝状长大区域和等轴状长大

区域构成。

由图 1(a)和图 1(b)可见,陶瓷的加入,使得枝晶间以及晶体内部出现大量在光学显微镜下发暗的物质,这些发暗的物质是多种陶瓷相的细小复合物。加入陶瓷后,由于原位反应生成了较多的结晶核,同时陶瓷相的引入可以阻碍枝晶的生长,使得整个熔池更快地进入等轴晶结晶阶段,因此,整个凝固组织变细。



图 1 熔覆层凝固特征(100×). (a) NiCrAl 熔覆层;(b) $(Al_2O_3 + TiB_2 + TiO_2 + B_2O_3)/NiCrAl$ 熔覆层
Fig. 1 Structure of cladding zone

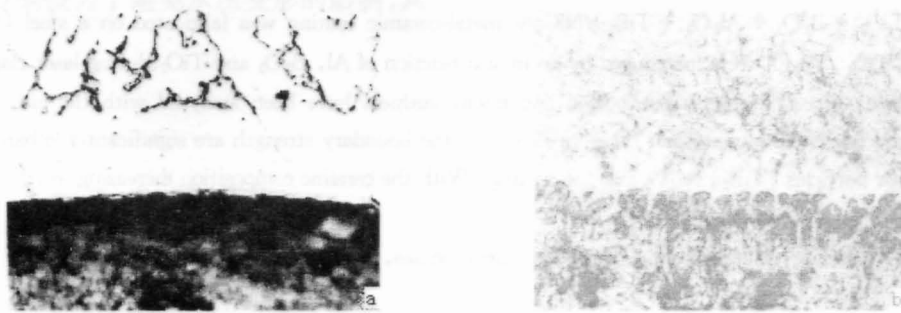


图 2 NiCrAl 覆层(a)与加陶瓷的 NiCrAl 覆层(b)过渡区的光学显微组织(×500)
Fig. 2 Optical morphologies of the layer/substrate interface of NiCrAl coating (a) and ceramic introduced NiCrAl coating (b)

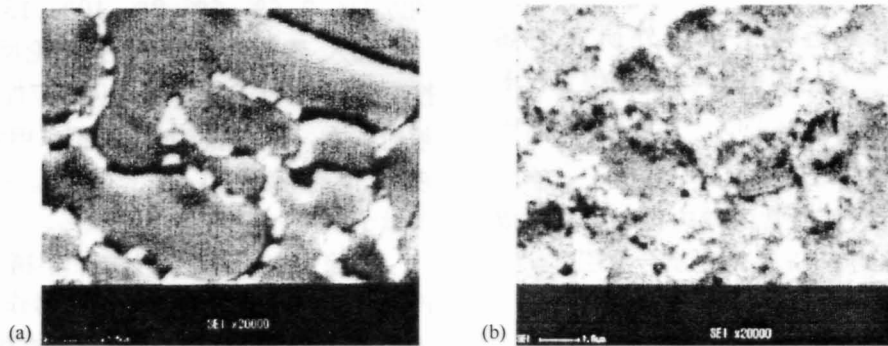


图 3 SEM 显微照片(a)枝晶间的陶瓷相分布;(b)等轴晶粒间和晶粒内部的陶瓷分布
Fig. 3 SEM micrograph. (a) distribution of ceramic in the dendrite; (b) distribution of ceramic particle at grain boundaries and in the grains

没有加入陶瓷相的 NiCrAl 合金覆层无一例外地发生了开裂,然而,加入了陶瓷粉末的覆层却没有开

裂。提高放大倍数之后,可清楚地看到加入陶瓷后的合金覆层和基体的衔接边界上,出现了一种特殊的类似犬齿交错的边界现象(图2),熔覆层牢牢扎根于基体,同时由于陶瓷相的细化晶粒作用,减小了熔覆层和基体的应力,因此减小了开裂倾向;而没有陶瓷相的 NiCrAl 熔覆层却没有这个现象,且晶粒粗大, NiCrAl 合金覆层开裂。

3.2 扫描电镜显微观察、电子探针和物相分析

用更高的倍数观察时发现,枝晶和晶粒界面上有陶瓷相存在,但是,它的分布都是点状分布,在枝晶或等轴晶内也发现有陶瓷相的分布,但是颗粒细小,在两万倍的放大倍数下很难分辨。

利用 EPMA-1600 型电子探针,在获得高分辨

率图像的同时,采用面扫描、点分析等检测方式,进行微区成分分析,图4为元素面扫描分析结果。

结合显微分析、面扫描、波谱分析、X射线衍射(XRD)等手段,可以得出以下结论:

- 1) 熔覆层主要由 γ -Ni, γ' 相, α -Al₂O₃, TiB₂, B₂O₃ 和 TiO₂ 等相组成;
- 2) B₂O₃ 和 TiO₂ 等氧化物主要处于晶界上,颗粒在 1.5 μ m 以下;
- 3) α -Al₂O₃, TiB₂ 等陶瓷相主要处于晶内,颗粒尺寸小于 0.1 μ m;
- 4) 由于陶瓷相的加入使得枝晶间距减小到约 7 μ m,二次枝晶间距减小到约 0.5~1 μ m,枝晶大大细化。

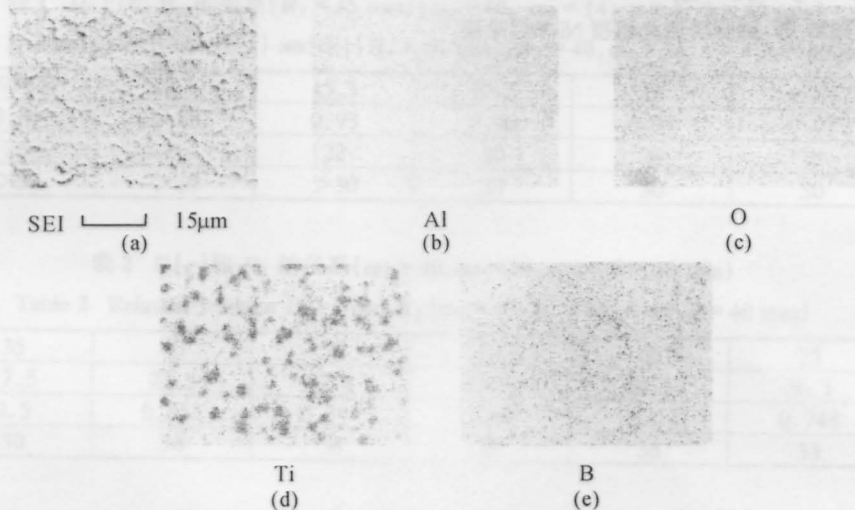


图4 熔覆层元素面扫描分析结果

Fig. 4 Elemental maps taken from the cladding zone. (a) SEM images; (b) distribution of element Al; (c) distribution of element O; (d) distribution of element Ti; (e) distribution of element B

3.3 耐磨性对比试验

涂覆层的显微硬度与激光熔覆条件、覆层组成

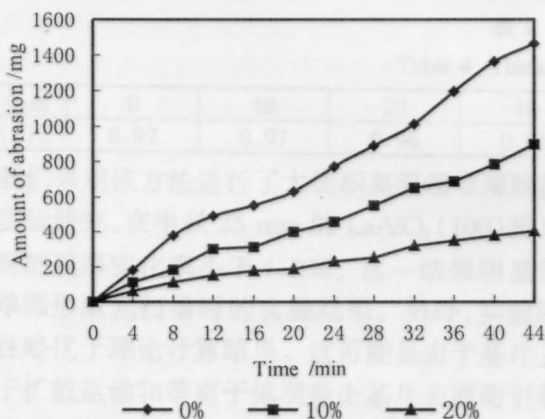


图5 磨粒磨损量和磨损时间关系曲线

Fig. 5 Relationship between wear amount and the wear testing time in abrasion test under the load of 0.027 MPa

成分的关系已经在文献[8]中进行了详细报道。笔者用自制的销-盘式磨粒磨损试验机对三种不同成分的 NiCrAl-陶瓷涂层进行磨损试验,磨削介质为 320# Al₂O₃ 水砂纸,在不断用水冷却的条件下进行试验,试验载荷为 0.027 MPa。

图5表明,随着陶瓷加入量的增加,磨损量大大降低,这是由于 NiCrAl 合金涂层中较多高硬度的细小陶瓷相粒子能有效地阻止磨料的显微切削和塑性变形犁作用,从而使材料的耐磨性得到显著提高。

4 结 论

通过以上叙述可以得到如下结论:

- 1) 由于陶瓷的加入, NiCrAl-陶瓷复合涂层的晶粒得到了极大的细化,陶瓷颗粒存在于晶粒间界和晶粒内部,晶界上主要陶瓷相为 B₂O₃ 和 TiO₂,晶

