

感应加热三元硼化物金属陶瓷涂层的组织及耐磨性

周小平, 徐义胜

(湖北工业大学, 武汉 430064)

[摘要] 采用反应喷涂技术在钢表面制备了三元硼化物金属陶瓷涂层, 为了进一步提高涂层的结合强度, 对所制涂层进行了感应加热处理, 研究了感应加热工艺对涂层组织和界面结构的影响规律, 并测试了相应涂层的显微硬度和耐磨性。结果表明: 涂层经过 980 °C 感应加热温度后, 金属陶瓷层组织无变化, 由 Mo_2FeB_2 硬质相和 $\alpha\text{-Fe}$ 基体相组成, 涂层的显微硬度达到 $\text{HV}_{0.1} 1\ 200$, 具有较高的耐磨性。

[关键词] 感应加热; 三元硼化物; 金属陶瓷; 涂层

[中图分类号] TG174.453

[文献标识码] A

[文章编号] 1001-3660(2010)01-0012-03

Microstructure and Wear Resistance of Mo_2FeB_2 Cermets Coating by Induction Heating

ZHOU Xiao-ping, XU Yi-sheng

(Hubei University of Technology, Wuhan 430068, China)

[Abstract] Mo_2FeB_2 ternary boride cermet coating was prepared on the steel substrate by reactive flame spraying. The induction heating was chosen for the purpose of improving the bonding strength of the coating. The effect of induction heating on the microstructure of the coating and its interracial microstructure were studied. Micro-hardness of the coating was tested as well as its wear resistance after heating treatment. The results show that after such treatment the coating is unchanged and composed of matrix phase $\alpha\text{-Fe}$ and horniness phase Mo_2FeB_2 with high micro-hardness ($\text{HV}_{0.1} 1\ 200$) and wear resistance when the induction heating temperature reaches 980 °C.

[Key words] Induction heating; Mo_2FeB_2 ternary boride; Cermets; Coating

反应喷涂是近年发展起来的一种制备陶瓷/金属复合涂层的新技术, 它是将自蔓延高温合成与热喷涂技术相结合, 获得性能良好的自生陶瓷基涂层^[1-2]。笔者采用这一技术在钢表面制备出了三元硼化物金属陶瓷涂层, 涂层具有较高的硬度、耐磨性和抗热疲劳性能^[3-4]。但是涂层和基材之间还是机械结合, 结合强度不高, 不能满足有一定冲击力工况条件的要求。本文采用感应加热方法, 对反应喷涂制备的三元硼化物金属陶瓷涂层进行加热, 分析研究了感应加热后涂层及涂层和基体界面的组织和性能。

1 试 验

喷涂粉末的组成为: 25%~45% FeB 粉, 35%~55% Mo 粉, 1%~5% Ni 粉, 1%~5% Cr 粉, 5%~20% Fe 粉, 基体材料是 30 mm×30 mm×10 mm 的

45 钢。

喷涂制备: 粉末混合后经球磨机湿磨 12 h, 粉末干燥后加入适量聚乙烯醇(PVA)水溶液, 再用机械团聚法制粒, 经筛分得到符合喷涂要求的喷涂粉末。

涂层制备: 喷枪用氧-乙炔作燃烧火焰, 氧气的压力为 0.6 MPa, 乙炔气的压力为 1.2 MPa。辅以压缩空气作为送粉气、加速气和冷却气, 可使粒子的飞行速度达到 150~300 m/s。试样经喷砂处理后, 先喷涂 0.1 mm 厚度自制的 Fe-Ni-Cr-C 合金粘结底层, 再喷涂 0.1 mm 的金属陶瓷涂层。

感应加热: 采用高频感应加热电源, 涂层加热温度 980 °C。

组织和硬度测试: 用 QUANTA400 型扫描电镜观察涂层的显微组织, 用 D/max-3C 型 X 射线衍射仪分析涂层的相组成, 用 HVS-1000 型显微硬度计测试涂层的显微硬度分布。

[收稿日期] 2009-09-04

[基金项目] 湖北省自然科学基金项目(2007ABA047); 武汉市科技攻关项目(200910311095)

[作者简介] 周小平(1963-), 男, 湖北武汉人, 博士, 教授, 主要从事材料表面工程研究。

耐磨性试验在 MPX-2000 型摩擦磨损试验机上进行。柱销采用 GCr15(HRC 58), 试验负载为 40 N, 转速为 1 102 r/min, 无润滑干摩擦, 每隔 10 min 将试样取下, 清洗干净后在 TG328A 分析天平上称量, 计算试样的磨损量, 整个试验进行 130 min。

2 结果与分析

2.1 涂层的显微组织

经过预先试验, 感应加热温度超过 1 000 ℃ 时, 粘结底层几乎熔融为液态, 涂层会流失, 因此涂层加热温度确定为 980 ℃。感应加热前后的涂层分别经过 X 射线衍射仪分析, 其衍射图谱相同, 该结果表明表面金属陶瓷层相组成没有显著变化, 且其均由 Mo_2FeB_2 硬质相和 $\alpha\text{-Fe}$ 基体相组成, 见图 1。涂层的显微组织见图 2, 从图中可看出, 感应加热后, 涂层中粘结底层的层状组织消失。

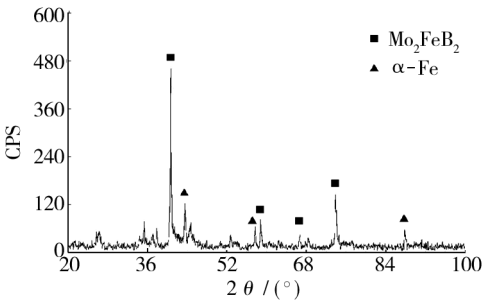


图 1 涂层的 X 射线衍射图谱

Fig. 1 X-ray diffraction pattern of the coating

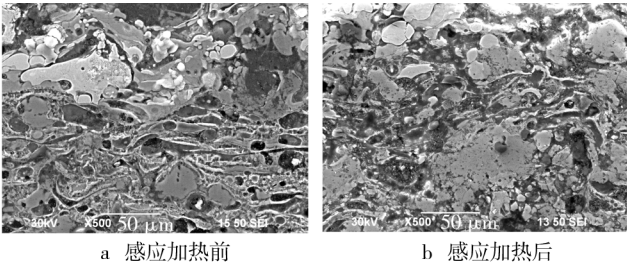


图 2 涂层感应加热前后的显微组织

Fig. 2 Microstructure of the coating before and after the induction heating

试验条件下, 金属陶瓷层中的 Mo_2FeB_2 和 $\alpha\text{-Fe}$ 相没有达到重熔的温度, 组织没有发生任何变化。粘结底层的熔点略低于 980 ℃, 当加热温度达到 980 ℃ 时, 粘结底层会产生重熔, 冷却后重新凝固, 喷涂形成的层状组织消失。此外, 重熔产生的液相会向金属陶瓷层中的孔隙内渗透, 冷却后形成包覆和镶嵌的界面结构, 同时会产生元素的扩散, 能有效提高结合强度。

2.2 涂层的界面结构

涂层和基体之间的界面结构见图 3、图 4。从图

3、图 4 中可以看出, 未经过感应加热的涂层, 粘结底层和钢基体之间界面平直, 界面两侧没有出现不同于涂层和基体的组织, 呈典型的机械结合状态。经过感应加热的涂层, 界面上从基体向涂层方向产生了新的结晶层, 结晶层的组织经过元素线扫描分析应该是 $\alpha\text{-Fe}$, 见图 5, 其中分布的条块状的组织经过能谱分析是碳化铁, 见图 6。

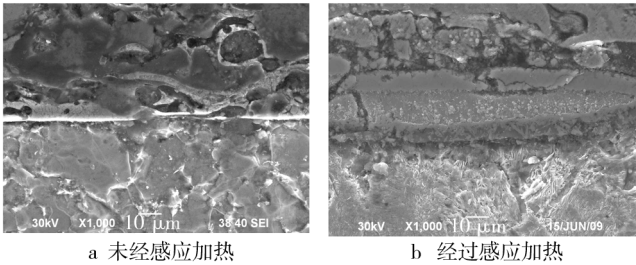


图 3 涂层和基体间的界面结构

Fig. 3 The interracial microstruture between the coating and the steel substrate before and after induction heating

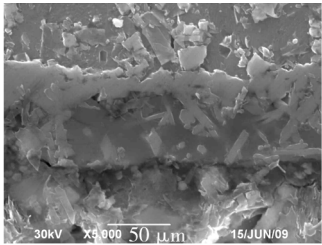


图 4 感应加热后涂层界面的高倍组织

Fig. 4 Scanning electron micrograph of the coating/substrate after the induction heating

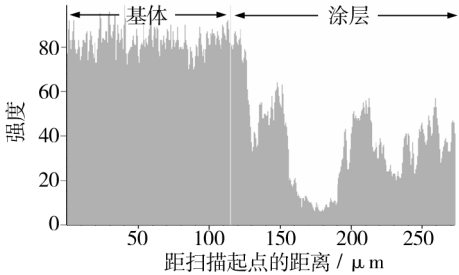


图 5 Fe 的分布

Fig. 5 The distribution of iron

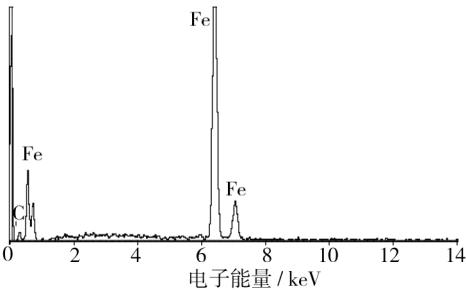


图 6 结晶层中条状组织的能谱

Fig. 6 Energy spectrum of lamellar microstructure in the crystallized layer

感应加热后涂层与基体界面上产生变化的主要原因是,粘结底层重熔后和同处于高温下的基体表面紧密接触在一起,涂层和基体中的元素相互扩散。冷却过程中,重熔的粘结底层以基体表面为共格面结晶出 γ -Fe, Ni 和 Cr 富集在结晶前沿,导致涂层界面层 Ni 和 Cr 含量很低,主要存在于涂层的内层。固溶于 γ -Fe 中的 C 原子,当 γ -Fe 转变成 α -Fe 后,以碳化铁的形式析出。

2.3 涂层的显微硬度分布及耐磨性

涂层的显微硬度分布见图 7,涂层中由于产生了大量的 Mo_2FeB_2 相,具有较高的硬度,显微硬度达到 $\text{HV}_{0.1} 1\ 200$,粘结底层在 Cr, Ni 固溶强化和析出的碳化物共同作用下,显微硬度达到 $\text{HV}_{0.1} 400 \sim 600$ 。

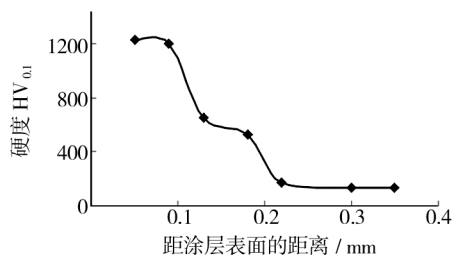


图 7 涂层显微硬度分布

Fig. 7 Micro-hardness distribution of the coating

耐磨性试验结果见图 8。磨损对照试样为 W18Cr4V 钢,经热处理后其硬度为 HRC62。磨损初始阶段,涂层试样因喷涂后表面具有疏松层,使其磨损量和 W18Cr4V 钢磨损量相近且均较少。随着磨损时间的进一步延长,其磨损量则明显少于 W18Cr4V 钢,表明涂层试样耐磨性高。高耐磨性得益于 Mo_2FeB_2 相的作用,在摩擦磨损过程中, Mo_2FeB_2 相能有效抵御外来磨粒的磨损,磨损时产生磨损微裂纹的裂纹源与裂纹扩展的路径受到极大限制,并能够将部分磨粒在涂层表面上的滑动摩擦与凿削变为滚动,减轻了磨粒对涂层的磨损。

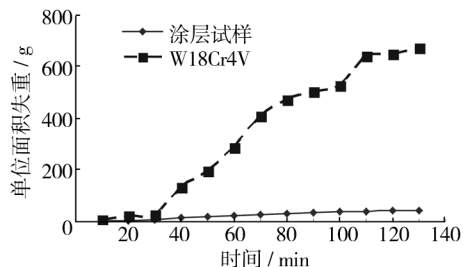


图 8 磨损试验曲线

Fig. 8 Curves of wear loss test

涂层表面摩擦磨损形貌见图 9。从图 9 可知, W18Cr4V 钢表面产生了明显的犁沟;而涂层表面犁沟很浅,这是由于 Mo_2FeB_2 硬质相作用所致。随着试

验进行,表层 Mo_2FeB_2 硬质相逐渐磨损,基体在未得到保护的情况下,很快被磨损掉。当表层的 Mo_2FeB_2 颗粒磨损到剩余小部分时,在外来磨粒的反复挤压擦划下,最终被刨离涂层表面,此时,内层的 Mo_2FeB_2 相开始抵抗外来磨粒磨损。涂层的主要破坏形式是 Mo_2FeB_2 相的逐渐剥落。

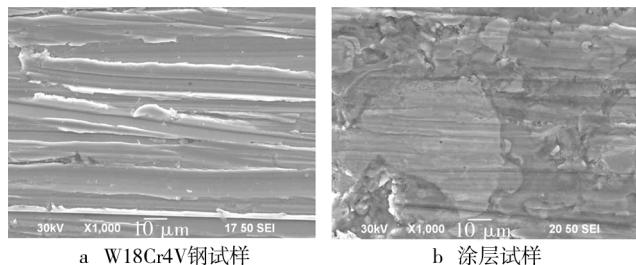


图 9 磨损试验后试样表面磨痕

Fig. 9 The friction and wear microstructure of the samples

3 结 论

- 1) 反应喷涂金属陶瓷涂层的显微组织为: α -Fe + Mo_2FeB_2 。
- 2) 感应加热后,金属陶瓷涂层组织未发生明显变化,粘结底层和基体间通过重熔产生冶金结合。
- 3) 金属陶瓷涂层的显微硬度达到 $\text{HV}_{0.1} 1\ 200$,耐磨性高于 W18Cr4V 钢。

[参 考 文 献]

- [1] 王建江,刘宏伟,杜心康,等. Al_2O_3 复相陶瓷涂层的 SHS 反应火焰喷涂过程[J]. 中国表面工程, 2004, (4): 28—31.
- [2] 王建江,杜心康,王俊英,等. SHS 火焰喷涂 Al_2O_3 基复相陶瓷涂层机理[J]. 复合材料学报, 2004, 21(3): 63—68.
- [3] 周小平,胡心彬,王钰. H13 钢表面反应火焰喷涂三元硼化物金属陶瓷涂层的组织和性能[J]. 中国表面工程, 2009, 22(2): 49—52.
- [4] 周小平,胡心彬,王钰. 反应火焰喷涂三元硼化物金属陶瓷涂层的组织和性能[J]. 表面技术, 2009, 38(2): 7—9.