

试验研究

热处理对热浸镀镍基涂层磨料磨损的影响

王立生, 林涛, 郭志猛, 侯婷, 高治山

(北京科技大学, 北京 100083)

[摘要] 对热浸镀镍基合金涂层进行热处理, 将热处理前后的涂层样品进行 SiC 磨料磨损试验, 采用 XRD 和 EDS 分析了涂层热处理前后的物相组成和成分含量, 用 SEM 观察了涂层磨损后的表面形貌, 测定了质量损失。根据试验结果, 探讨了涂层的磨料磨损机理, 分析了热处理对涂层抗磨料磨损性能的影响。研究表明: 涂层热处理前后, 均由涂层基体 γ -(Fe, Ni) 相和析出物富铬相组成, 基体相的磨料磨损机理由微小剪切和犁削向疲劳断裂转变, 析出物相的磨损机理则均为脆性断裂; 热处理能提高基体相的塑性, 从而显著提高了涂层抗 SiC 磨料磨损的性能。

[关键词] 热浸镀; 镍基合金涂层; 热处理; 耐磨性; 磨损机理

[中图分类号] TG156.9; TG174.443

[文献标识码] A

[文章编号] 1001-3660(2010)06-0001-03

Effect of Heat Treatment on Abrasive Wear of Hot Dipping Ni-based Coating

WANG Li-sheng, LIN Tao, GUO Zhi-meng, HOU Ting, GAO Zhi-shan

(University of Science and Technology Beijing, Beijing 100083, China)

[Abstract] SiC abrasive wear test was carried out into the Ni-based alloy coatings before and after heat treatment. The phases and the component contents of the coatings were analyzed by XRD and EDS, respectively. The surface morphology of the coatings after abrasive wear was observed by SEM. And then the mass loss of the Ni-based coatings was determined by electronic balance. Based on the results, the mechanism of abrasive wear of the coatings was discussed, and effect of heat treatment on abrasive wear of the coatings was analyzed. The research shows that, before and after heat treatment, the phases of the coatings are both composed of γ -(Fe, Ni) phase as the matrix and Cr-rich phase as the precipitates. The mechanism of abrasive wear of the matrix transfers from the slight cutting and ploughing to the fatigue fracture, while the precipitates are fell off as the brittle fracture under the action of the hard SiC particles. Heat treatment can improve the plasticity of the matrix of the coatings, and thus improve the wear resistance of the coatings.

[Key words] hot dipping; Ni-based alloy coatings; heat treatment; wear resistance; wear mechanism

镍基合金以优异的耐冲蚀磨损、摩擦磨损、腐蚀和高温氧化性能被广泛应用于制造业^[1]。涂层的耐磨性是重要的性能指标, 因而受到广泛的关注^[2-4], 国内外有学者对镍基合金涂层的耐磨性进行了相关研究, 并取得了一定的研究成果^[3-5], 但关于镍基合金涂层磨料磨损的报道较少。

热浸镀铝、锌及其合金以工艺简单、低能耗、高效率 and 低成本等优点被广泛应用于工业产品^[6], 热浸镀铜和热浸镀不锈钢也有相关报道^[7-9], 但利用热浸镀

法制备镍基合金涂层的相关报道较少^[10]。文中采用热浸镀工艺在碳钢表面制备了镍基合金涂层, 目的是通过对比热处理前后镍基合金涂层的磨损特性, 分析镍基合金涂层的磨料磨损机理, 提出改善镍基合金涂层耐磨性的方法。

1 实验

基体材料为尺寸 300 mm × 120 mm × 8 mm 的

[收稿日期] 2010-08-10; **[修回日期]** 2010-08-26

[基金项目] 水利部 948 项目(201048)

[作者简介] 王立生(1979-), 男, 河北唐山人, 博士生, 主要从事金属表面改性方面的研究。

Q235 钢。涂层材料为镍基合金,成分(质量分数)为:C 低于 1%,Cr 11%,Fe 20%,B 2%,Si 3%,Ni 为余量。

热浸镀过程如文献[10]所述,热处理在马弗炉中进行,热处理制度为:950 ℃保温 8 h 的固溶处理后,再进行 700 ℃保温 16 h 的时效处理。利用日本理学 Dmax-RC 旋转式阳极 X 射线衍射仪(XRD)分析涂层热处理前后的物相组成,并用 S-3500N 型扫描电镜携带的能谱仪(EDS)分析涂层热处理前后的元素含量。将热处理前后的镀镍基合金钢基体用线切割机加工成 10 mm×10 mm×12 mm 的样品,样品的涂层表面经打磨、抛光后用于磨料磨损试验,磨损后用 S-3500N 型扫描电镜(SEM)观察涂层的形貌。

镍基合金涂层的磨料磨损过程见图 1。图 1 中箭头为磨盘旋转方向,样品处的线速度为 15 m/s。磨损介质为 SiC 和水的混合浆料,载荷为 5 N,磨损时间为 10 min。所需样品的尺寸为 $\phi 20$ mm×20 mm。图 2 为原始 SiC 磨料的形貌, SiC 颗粒的平均尺寸为 100 μ m,形状不规则且棱边尖锐。用精度为 0.1 mg 的 Sartorius TE214S 型电子天平测得磨损前后的质量(热浸镀样品 10 个,热浸镀后热处理的样品 10 个),通过质量损失评价涂层的耐磨性。

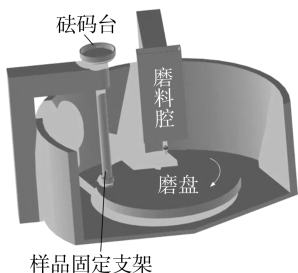


图 1 磨料磨损示意图

Fig. 1 Schematic of abrasive wear of particles

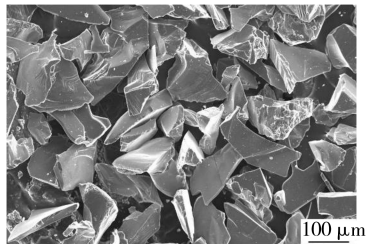


图 2 SiC 磨料的 SEM 形貌

Fig. 2 SEM micrograph of SiC particles

2 实验结果及分析

2.1 涂层磨料磨损分析

图 3 为镍基合金涂层样品的 XRD 图谱。从图 3 中分析,热处理前后,涂层的相组成没有发生变化,均以 γ -(Fe,Ni)相和 CrB 相为主,并存在少量的 Cr_2B 相

和 Cr_3C_2 相。由此推断,涂层中的析出物为 Cr 的硼化物或碳化物。因此,涂层在磨料磨损过程中可分为涂层基体相和富铬相两种不同的磨损形式。

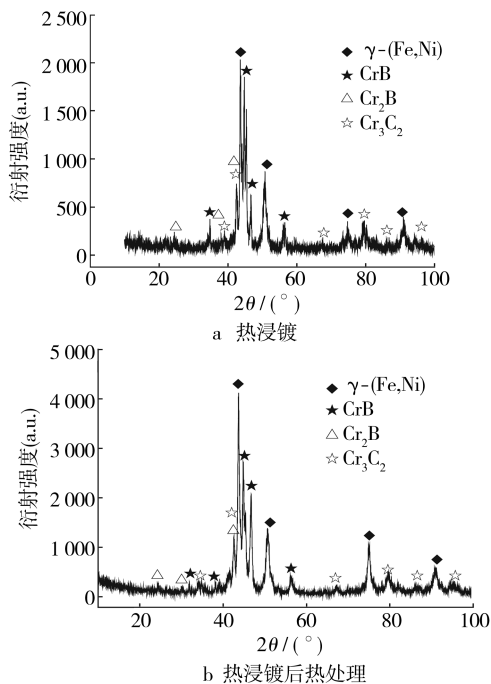


图 3 涂层的 XRD 分析

Fig. 3 XRD pattern of the surface of coating

图 4 为热浸镀镍基合金涂层样品经磨损后的表面形貌。图 4a 中箭头指示方向为磨料移动方向,只能观察到少数深而平行的犁痕,大部分区域犁痕方向不明显且较浅,涂层表面存在大量类似锯齿状的翻边,表现出微小剪切和犁削的特征,这是由碳化硅颗粒划过涂层表面引起的。当更硬的碳化硅颗粒与涂层表面接触时,主要的磨损类型为滚动磨损^[5]。这种类型的磨损,磨料粒子与涂层表面的接触是不断变化的,磨粒并不能镶嵌到涂层表面,其移动产生的切应力使涂层表面产生显微裂纹,造成锯齿状形貌。

为了进一步研究镍基合金涂层中析出相的磨损机理,图 4b 给出了磨损表面的高倍背散射像。图 4b 中可以清晰看到富铬析出相在涂层表面的磨损情况,与涂层基体相比,并不能发现微小剪切和犁削的痕迹。析出相与涂层基体之间的界面存在少量二次显微裂纹,并沿二者界面扩展,如 a 箭头所指处。这些析出相并没有从涂层基体中脱落,其表面没有类似于涂层基体的犁痕形貌,而是表现为典型的脆性断裂形貌,是由硬质 SiC 颗粒滚压和切削涂层表面引起的,如图 4b 中正方形区域。有人认为^[5],一般情况下,析出相与涂层基体界面并不能抵抗硬质 SiC 颗粒的作用,较小的析出相在磨料磨损过程中容易从基体中分离,使得镍基合金涂层整体表现出较差的耐磨性。而笔者的研究结果表明,在 SEM 背散射像的图片中并没有观察到析出

相从基体中分解脱落,可能是因为析出相的尺寸较大,增加了与基体的接触面积,使析出相与基体的结合强度增加。然而,这些大尺寸析出物本身发生的脆性断裂导致了镍基合金涂层的部分质量损失。因此,涂层中的 γ -(Fe,Ni) 相通过微小剪切和犁削的方式优先磨损,硬质相继而暴露在涂层表面,最终在硬质 SiC 颗粒的挤压和切削作用下发生脆性断裂而脱落。

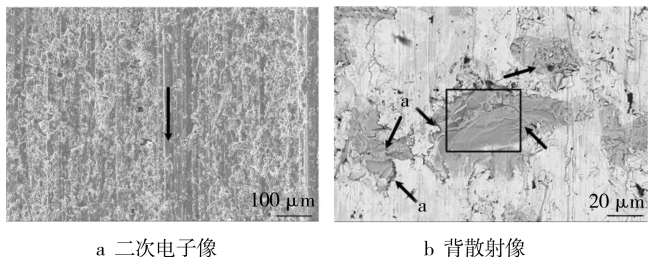


图 4 镍基合金涂层表面磨损后的形貌
Fig. 4 Surface micrograph of the Ni-based alloy coatings after abrasive wear

2.2 热处理对涂层磨料磨损的影响

图 5 为热浸镀后热处理的涂层样品表面的磨料磨损形貌。图 5a 中,箭头指示方向为磨料移动方向,犁痕边缘存在大量的塑性变形,与图 4a 相比,涂层表面没有出现明显的锯齿状形貌。图 5b 与图 4b 相比,涂层硬质相磨损形貌没有发生明显变化,而涂层基体相出现大量的塑性变形,这种塑性变形造成了涂层基体相的疲劳断裂。经过测定,热处理的涂层平均磨损失重为 0.523 0 g,而未经热处理的涂层平均磨损失重为 1.453 9 g,后者约为前者的 2.8 倍。造成这种结果的原因可能是,热处理使涂层内应力减小,降低了脆性断裂的发生几率。另外,EDS 结果表明,热处理前,涂层基体相 γ -(Fe,Ni) 固溶体中 Ni,Fe,Cr 的质量分数分别为 69.72%,22.12%,8.16%,热处理之后则分别为 68.61%、29.31% 和 2.08%。可见热处理后, γ -(Fe,Ni) 固溶体中的 Cr 脱溶,降低了固溶体的强度而提高了其塑性,从而减少了涂层的磨损失重。因此,热处理没有改变析出物的磨损方式,而是提高了 γ -(Fe,Ni) 固溶体的塑性,从而提高了涂层抗 SiC 磨损的性能。

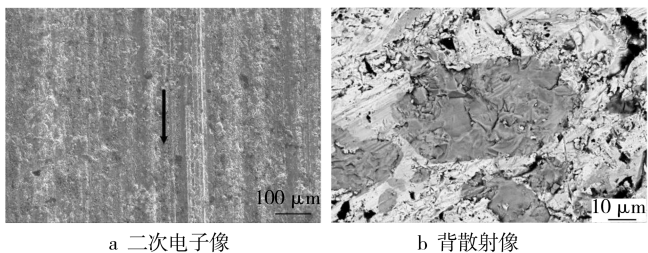


图 5 热处理后镍基合金涂层表面磨料磨损形貌
Fig. 5 Abrasive wear surface micrograph of the Ni-based alloy coatings after heat treatment

3 结论

热浸镀镍基合金涂层热处理前后,以 γ -(Fe,Ni) 相和 CrB 相为主,并存在少量的 Cr_2B 相和 Cr_3C_2 相。涂层中的 γ -(Fe,Ni) 相和富铬相表现出不同的磨损特性,热处理后, γ -(Fe,Ni) 相的磨料磨损机理由热处理前的微小剪切和犁削向疲劳断裂转变,富铬析出物的磨料磨损机理则仍为热处理前的脆性断裂。热处理不改变析出物相的磨损方式,但能提高 γ -(Fe,Ni) 相的塑性,从而显著提高了涂层抗 SiC 磨料磨损的性能。

[参 考 文 献]

- [1] Das C R, Albert S K, Bhaduri A K, et al. A Novel Procedure for Fabrication of Wear-resistant Bushes for High-temperature Application[J]. J Mater Process Tech, 2003, 141(1): 60—66.
- [2] Song Wen-ming, Yang Gui-rong, Hao Jin-jun, et al. Microstructure and Wear Behaviour of Ni-based Surface Coating on Copper Substrate[J]. Wear, 2007, 262(7/8): 868—875.
- [3] Liu Sheng-lin, Zheng Xue-ping, Geng Gang-qiang. Dry Sliding Wear Behavior and Corrosion Resistance of NiCrBSi Coating Deposited by Activated Combustion H 第 39 卷 igh-velocity Air Fuel Spray Process[J]. Materials and Design, 2010, 31(2): 913—917.
- [4] Hou Q Y, Huang Z Y, Shi N, et al. Effects of Molybdenum on the Microstructure and Wear Resistance of Nickel-based Hardfacing Alloys Investigated Using Rietveld Method[J]. Journal of Materials Processing Technology, 2009, 209(6): 2767—2772.
- [5] Navas C, Colaco R, Damorenea J D, et al. Abrasive Wear Behaviour of Laser Clad and Flame Sprayed-melted NiCrBSi Coatings[J]. Surf Coat Technol, 2006, 200(24): 6854—6862.
- [6] 李会谦,许根国,马江虹,等. 热浸镀技术及其应用[J]. 有色金属(冶炼部分), 2008(增刊): 17—19. (余不详)
- [7] 方晓英,郭红. 热浸镀法生产的铜包钢线性能研究[J]. 热加工工艺, 2006, 35(22): 49—51.
- [8] 井玉安,王晨宇. 不锈钢复合板生产技术综述[J]. 鞍山科技大学学报, 2007, 30(12): 590—594.
- [9] 于九明,孝云祯,王群骄,等. 金属层状复合技术及其新进展[J]. 材料研究学报, 2000, 14(1): 12—16.
- [10] 王立生,林涛,侯婷,等. 热浸镀镍基合金涂层组织及腐蚀行为[J]. 表面技术, 2010, 39(5): 19—21, 25