

200mm,重熔距离 20~30mm。

采用 JXA-840 型扫描电镜和 JXA-8800R 型电子探针针对涂层横截面的显微组织和成分分布进行分析,采用 H-800 型透射电镜和 D/max-RB 型 X 射线衍射仪进行物相结构分析。

磨损实验在 MLS-225 型湿砂橡胶轮式磨粒磨损试验机上进行。这是一种湿砂半自由磨料磨损试验机,其优点是可以根据实际情况改变对试块施加的压力,橡胶轮的转速以及试验时间等参数,故可以很好的模拟各种工况。在试验过程中橡胶轮能有效地将与水混合的磨粒带到轮缘和试块中间,并保持试块上的压力基本不变,非常适合在同一实验条件下评价不同材料的耐磨性能。本实验所用的试块为 Ni60/WC 复合喷焊层、NiCr/Cr₃C₂ 等离子喷涂层以及锅炉钢 20G 三种试样,采用线切割机制备磨损试样,尺寸为 57mm×25.5mm×6mm。磨粒磨损的具体实验参数为:磨料为 80~100 目的石英砂;磨浆比例 1000 克水+1500 克砂;磨损时间 200min。用 TG328A 型分析天平称量试样磨损前后的重量,其差值即为磨损失重量,在扫描电镜下观察试样的表面磨损形貌。

2 结果与讨论

2.1 显微组织分析

图 1 是 Ni60/WC 复合喷焊层显微组织的 SEM 图像。从图 1(a)中可以看出,试样的横截面组织由四部分组成,即喷焊层、冶金结合带、热影响区和钢基材。其中,喷焊层组织非常致密,没有喷涂态的层状结构,喷焊层中分布着三角形状的 WC 颗粒,涂层上部 WC 颗粒数量较多,而靠近钢基材处的数量较少。喷焊重熔使涂层与基材之间形成了冶金结合,但同时也造成钢基材在界面处形成大约 100μm 厚的热影响区(图 1(b))。

采用电子探针沿图 2(a)中的直线对喷焊层横截面进行元素分布线扫描,结果如图 2(b)所示。喷焊层与基材的界面处发生了互扩散现象,即基材中的 Fe、C 元素向喷焊层扩散,而喷焊层中的 Cr、W 等元素向基材扩散。互扩散的结果不仅使界面处形成了冶金结合,而且还形成了富碳区,出现了组织为珠光体的热影响区,降低了界面两侧材料在性能上的差异,大大提高了喷焊层与基材的结合强度。采用 X 射线衍射仪和透射电子显微镜对复合喷焊层进行相结构分析,如图 3、图 4 所示。可知,镍基自熔性合金与 Ni/

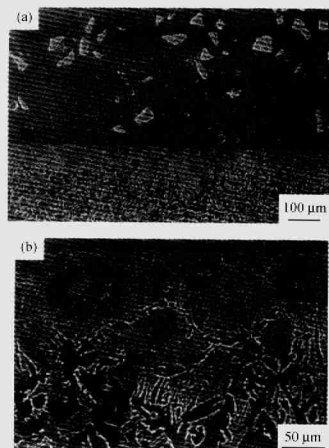


图 1 Ni60/WC 喷焊层横截面的显微形貌
(a) 喷焊层与钢基材;(b) 热影响区
Fig.1 Microstructure of the Ni60/WC coating
(a) coating and steel substrate; (b) heat-affected zone

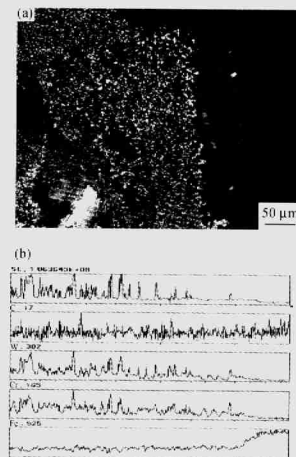


图 2 Ni60/WC 喷焊层横截面元素分布线扫描
(a) 显微组织;(b) 元素线分布
Fig.2 SEM micrograph showing microstructure and spectra
of line scanning of the Ni60/WC coating
(a) microstructure; (b) element line distribution

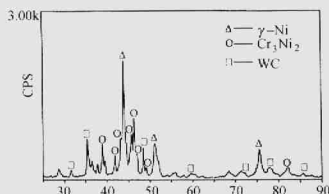


图 3 Ni60/WC 喷焊层的 X 射线衍射图谱

Fig.3 X-ray diffraction pattern of Ni60/WC coating

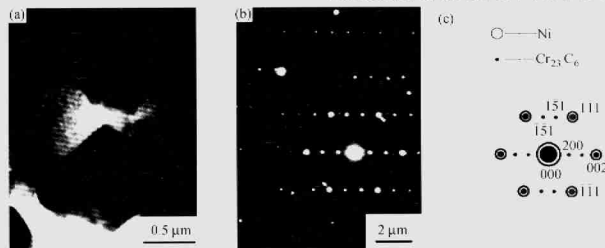


图 4 Ni60/WC 喷焊层的 TEM 图像与选区衍射斑点

(a) 喷焊层组织; (b) γ -Ni 与 Cr_{23}C_6 的复合电子衍射图; (c) 衍射斑点标定

Fig.4 TEM image showing microstructure and corresponding SAD pattern of the Ni60/WC coating

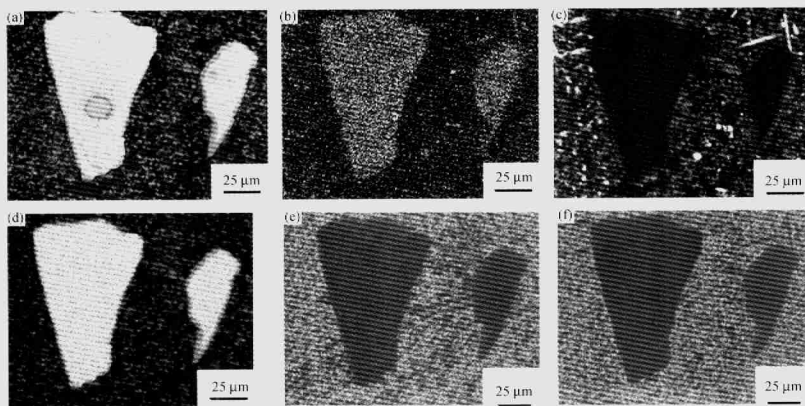
(a) microstructure; (b) SAD pattern of γ -Ni and Cr_{23}C_6 ; (c) index of the diffraction pattern

图 5 Ni60/WC 喷焊层的元素面分布

(a) 显微组织形貌; (b) C 的面分布; (c) Cr 的面分布; (d) W 的面分布; (e) Fe 的面分布; (f) Ni 的面分布

Fig.5 Element distribution of the Ni60/WC coating (a) microstructure; (b) distribution of C; (c) distribution of Cr;

(d) distribution of W; (e) distribution of Fe; (f) distribution of Ni

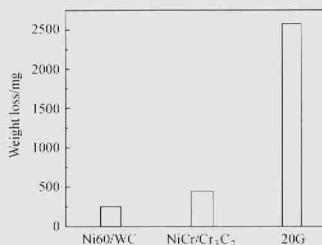


图6 磨损失重比较

Fig.6 Comparison of wear weight loss

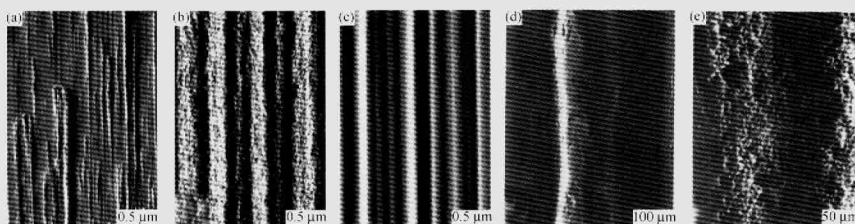


图7 磨粒磨损的表面形貌

(a) Ni60/WC 喷焊层; (b) NiCr/Cr₃C₂ 涂层; (c) 20G; (d) 图(a)的局部放大图; (e) 图(b)的局部放大图

Fig.7 SEM micrographs showing the morphologies of abrasive worn surface for different materials

(a) Ni60/WC coating; (b) NiCr/Cr₃C₂ coating; (c) 20G;

(d) view of (a) at higher magnification; (e) view of (b) at higher magnification

图7(d)和图7(e)分别为图7(a)和图7(b)的局部放大图像,可见Ni60/WC复合喷焊层中的WC颗粒与镍基固溶体基体的结合非常牢固,几乎没有脱落,而NiCr/Cr₃C₂等离子喷涂层中Cr₃C₂颗粒脱落的较多,涂层内部出现许多凹坑。这两种涂层磨粒磨损的主要机制是微观切削,其中NiCr/Cr₃C₂涂层的磨损机制还包括硬质相的脱落。

结合以上对涂层的组织分析可以看出,涂层磨粒磨损性能与其显微组织密切相关。Ni60/WC喷焊层中,Cr溶解于Ni中,形成了稳定的Ni-Cr固溶体,起到了固溶强化作用,同时合金中的Cr、B、Si、C在凝固后形成大量弥散分布的硬质点,又对基体起到了弥散强化作用,这样喷焊层基体的强度和硬度得到大大增强,能够有效地阻止磨粒切入基体内部。即使有一部分磨粒犁削到涂层基体,由于WC颗粒与基体的结合非常牢固,能够阻挡磨粒划痕的扩展,减缓并降低了

2.2 磨粒磨损性能分析

图6为Ni60/WC喷焊层、NiCr/Cr₃C₂等离子喷涂层以及20G的磨损失重量。在同样的磨损条件下,NiCr/Cr₃C₂涂层的磨损量为445mg,而Ni60/WC喷焊层的磨损量仅为254mg,约为前者的57%,与20G相比,Ni60/WC喷焊层的磨损量仅为其1/10。从图7的表面磨损形貌可以更直观的看出三者磨损性能的显著差异。图7(a)中Ni60/WC涂层的磨损划痕浅而窄,并且划痕不连续,图7(b)中NiCr/Cr₃C₂涂层的磨损划痕深、宽,且较为连续、平直,图7(c)中20G的磨损划痕最深,呈现出典型的塑性材料的磨损特征。

涂层磨损的程度。另外,Ni60/WC复合喷焊层中涂层上部的WC增强颗粒较多,而涂层与钢基材界面处的增强颗粒较少,这种硬质颗粒的不均匀分布不仅能增强涂层表面的耐磨性能,而且还使涂层与基体之间的硬度得到平稳过渡。对于NiCr/Cr₃C₂涂层,由于其基体是硬度较低的Ni-Cr合金,而且Cr₃C₂颗粒与涂层基体的结合属于机械结合,所以在磨料的反复挤压和犁削的作用下,硬质颗粒容易脱落,不能有效地阻挡磨痕的扩展,出现了类似塑性材料20G的磨损特征^[1]。因此,对于碳化物增强复合涂层,涂层基体的硬度以及增强颗粒与基体之间的结合强度,是影响涂层耐磨粒磨损性能的关键因素。

3 结论

1)WC颗粒增强Ni60复合喷焊层中,γ-Ni固溶体的固溶强化作用和大量细小碳化物硬质相的弥散强

化作用大大增强了涂层基体的硬度;WC 颗粒与涂层基体形成了冶金结合,有效地阻挡了磨损划痕的扩展,该涂层的耐磨粒磨损的性能远高于等离子喷涂 NiCr/Cr₃C₂ 涂层;

2)涂层的显微组织以及由其决定的涂层基体硬度、增强颗粒与基体之间的结合强度是影响碳化物增强复合涂层磨粒磨损性能的主要原因。

参 考 文 献

- [1] 邵荷生,曲敬信,许小棣,等.摩擦与磨损[M].北京:煤炭工业出版社,1992.
- [2] 李金桂.再论现代表面工程[J].中国表面工程,1998,3:1-7.
LI Jing-gui. Rediscussion on modern surface engineering [J]. China Surface Engineering, 1998, 3: 1-7.
- [3] 顾 迅.现代表面技术的应用[J].金属热处理,1999,4:1-6.
Gu Xun. Application of modern surface technology [J]. Heat Treatment of Metals, 1999, 4: 1-6.
- [4] Wang H, Xia W, Jin Y S. A study on abrasive resistance of Ni-Based coatings with a WC hard phase [J]. Wear, 1996, 195: 47-52.
- [5] Martin A, Rodriguez J, Fernández J E, et al. Sliding wear behaviour of plasma sprayed WC-NiCrBSi coatings at different temperatures[J]. Wear, 2001, 251: 1017-1022.
- [6] 李士同,王成国,伦 宁,等. Ni60(WC) 涂层的显微组织电子探针分析[J]. 电子显微学报, 2002, 21(5): 713-714.
LI Shi-tong, WANG Cheng-guo, Lun Ning, et al. J Chin Electr Microsc Soc, 2002, 21(5): 713-714.
- [7] Li Y M, Huang W D, Feng L P, Chen J. The multi-layer laser cladding of Ni60 alloy[J]. Acta Metallurgica Sinica, 1999, 12(5): 1025-1028.
- [8] Przybylowicz J, Kusiński J. Structure of laser clad tungsten carbide composite coatings [J]. Journal of Materials Processing Technology, 2001, 109: 154-160.
- [9] Wu P, Zhou C Z, Tang X N. Microstructural characterization and wear behaviour of laser clad nickel-based and tungsten carbide composite coatings [J]. Surface and Coating Technology, 2003, 166: 84-88.
- [10] 陈学定,韩文政.表面涂层技术[M].北京:机械工业出版社,1994.