



高温及氧化对 WC-10Co4Cr 涂层 微观结构及性能的影响

吴燕明^{1,2}, 赵 坚^{1,2}, 陈小明^{1,2}, 伏 利^{3,4}, 毛鹏展^{2,3}, 周夏凉^{2,3}

- (1. 水利部产品质量标准研究所, 杭州 310012;
2. 浙江省水利水电装备表面工程技术研究重点实验室, 杭州 310012;
3. 水利机械及其再制造技术浙江省工程实验室, 杭州 310012;
4. 水利部杭州机械设计研究所, 杭州 310012)

摘 要: 采用 X 射线衍射仪(XRD)、扫描电镜(SEM)、显微硬度计、摩擦磨损试验机、冲蚀试验机等手段研究高温及氧化对超音速喷涂 WC-10Co4Cr 涂层的显微组织、显微硬度、结合强度、耐磨性能、耐冲蚀性能等的影响。结果表明: 在空气中经 600℃ 热处理后, 涂层发生了明显的高温氧化, 涂层中 WC、Co、Cr 相的含量降低, 转化为 CoWO₄、Cr₂O₅、C₆WO₆ 等氧化物相, 孔隙率明显升高, 结合强度有所降低, 虽然涂层的显微硬度值有所提高, 但耐磨损及耐冲蚀性能都明显降低; 通过 Ar 保护, 涂层只受到 600℃ 的高温作用, 涂层的相组成未发生明显改变, 显微硬度有较大幅度的提高, 且分布更加均匀, 耐干摩擦磨损及耐泥沙冲蚀性能均获得大幅提高。

关键词: WC-10Co4Cr 涂层; 高温; 氧化; 微观结构; 性能

文章编号: 1004-0609(2017)-07-1395-08

中图分类号: TG174.442

文献标志码: A

超音速热喷涂 WC-10Co4Cr 涂层因具有极高的硬度、良好的致密性、耐磨性、耐腐蚀性和耐泥沙冲蚀性, 被广泛应用于现代工业各个领域, 如航空航天、冶金、机械、钢铁、电力、水利等, 可以起到良好的防护作用, 大幅延长机械产品的使用寿命^[1-5]。目前, 对于热喷涂 WC-10Co4Cr 涂层的研究主要集中在涂层的制备方法和性能表征方面, 如王群等^[6]研究了超音速火焰喷涂 WC-Co 涂层的磨粒磨损行为; 李松林等^[7]研究了超音速火焰喷涂 WC-10Co-4Cr 涂层的耐滑动磨损行为, 指出采用液体煤油燃料 HVOF 制备的 WC 涂层具有优异的抗滑动磨损性能; 张光华等^[8]研究了 DJ-2700 和 JP-5000 制备的 WC-10Co4Cr 的抗砂浆冲蚀行为, 发现 JP-5000 制备的涂层的硬度高于 DJ-2700 制备的涂层的, 且气孔率也较低。

通常情况下, WC-10Co4Cr 涂层被直接用于各类的机械零部件表面, 如飞机起落架、球阀、纸辊、启闭机活塞杆等, 可以保持并发挥出良好的性能^[9]。然而在实际的应用过程中许多机械零部件本身的一些特殊加工工艺要求对涂层性能提出了新的考验, 如水轮机叶片等零部件在制造过程中需要进行焊接及去应力

退火(退火温度一般为 600℃ 以上)等, 在这些工艺条件下涂层的性能可能会朝着有利的方向改变也可能是截然相反的情况, 因此, 研究高温热处理等工艺对涂层性能的影响对于热喷涂 WC 涂层在水轮机叶片等机械零部件上的应用具有重要意义。

本文作者重点研究分析 600℃ 高温及氧化的综合作用以及 600℃ 纯高温作用对涂层微观结构、显微硬度、耐干摩擦磨损性能及耐泥沙冲蚀性能的影响, 以为超音速热喷涂 WC 涂层在水轮机叶片等复杂工件上的应用提供一种新思路。

1 实验

试样采用 0Cr13Ni4Mo 不锈钢制成 100 mm×80 mm×5 mm 长方形薄片, 主要化学成分(质量分数, %): ≤0.07 C, ≤1.00 Mn, ≤1.00 Si, ≤0.03 S, ≤0.035 P, 11.50~13.50 Cr, 3.50~5.00 Ni, 0.40~1.00 Mo, Fe 余量。

表面经过除油、去离子水漂洗、超声波清洗处理

后进行喷砂处理, 砂子采用粒度为 600~710 μm 的白刚玉砂。粉末采用 WC-10Co-4Cr 金属陶瓷粉(粒径为 15~45 μm), 喷涂设备采用 STR-50 超音速火焰喷涂系统, 该系统以航空煤油作为燃料, 氧气作为助燃气, 氮气作为载气, 工艺参数为: 煤油流量 22 L/h、氧气流量 52 m^3/h , 送粉量 60 g/min, 喷涂距离 360 mm, 涂层厚度为 200~220 μm 。

喷涂后试样在 SX JK-4-13 型程序控制箱式电阻炉及 SXZ16-12-13YZ 型真空气氛烧结炉(保护气体为氩气, 试验前排空炉内空气)中进行热处理, 热处理工艺为 600 $^{\circ}\text{C}$ 保温 3 h。

采用 SUPRA55 型场发射扫描电子显微镜(SEM)分析涂层的微观形貌。采用 XPer Powder 型 X 射线衍射仪(XRD)测定粉末与涂层的相结构。采用 KMM-500 型金相分析仪测试涂层截面的孔隙率, 测量 5 个视场取平均值。

采用 WDW-50kN 型微机控制电子万能试验机测试试样的结合强度, 测试夹具及试样按照国标 GB/T8642—2002 制作, 采用 FM1000 薄膜胶进行粘结并固化, 拉伸速率为 0.5 mm/min, 制备两组试样进行

测试取平均值。

采用 HXD-1000TMC 型显微硬度计测试试样的显微硬度, 峰值载荷为 0.3 N, 加载时间 15 s, 每个试样测量 15 个点, 去掉极值后取平均值。采用 HT-1000 型球-盘摩擦磨损试验机考察试样在干摩擦下的磨损性能, 采用 d 4 mm 氮化硅陶瓷球进行对磨, 试验时间为 180 min, 载荷为 1000 g, 摩擦圆半径为 6 mm, 转速 1120 r/min, 并采用 LE225D 型十万分之一电子天平进行质量损失称量。

采用 LTM-200 型冲蚀试验机模拟泥沙冲蚀, 砂子密度为 40%, 搅动砂子的叶片转速为 1200 r/min, 并采用 LE225D 型十万分之一电子天平进行质量损失称量。

2 结果与分析

2.1 涂层微观形貌、孔隙率及结合强度

图 1 所示为涂层横截面的 SEM 像。由图 1 中可以看出, 未经过热处理的涂层具有致密的结构, WC 硬质合金相呈较大的颗粒状分布在 Co 相中; 经过

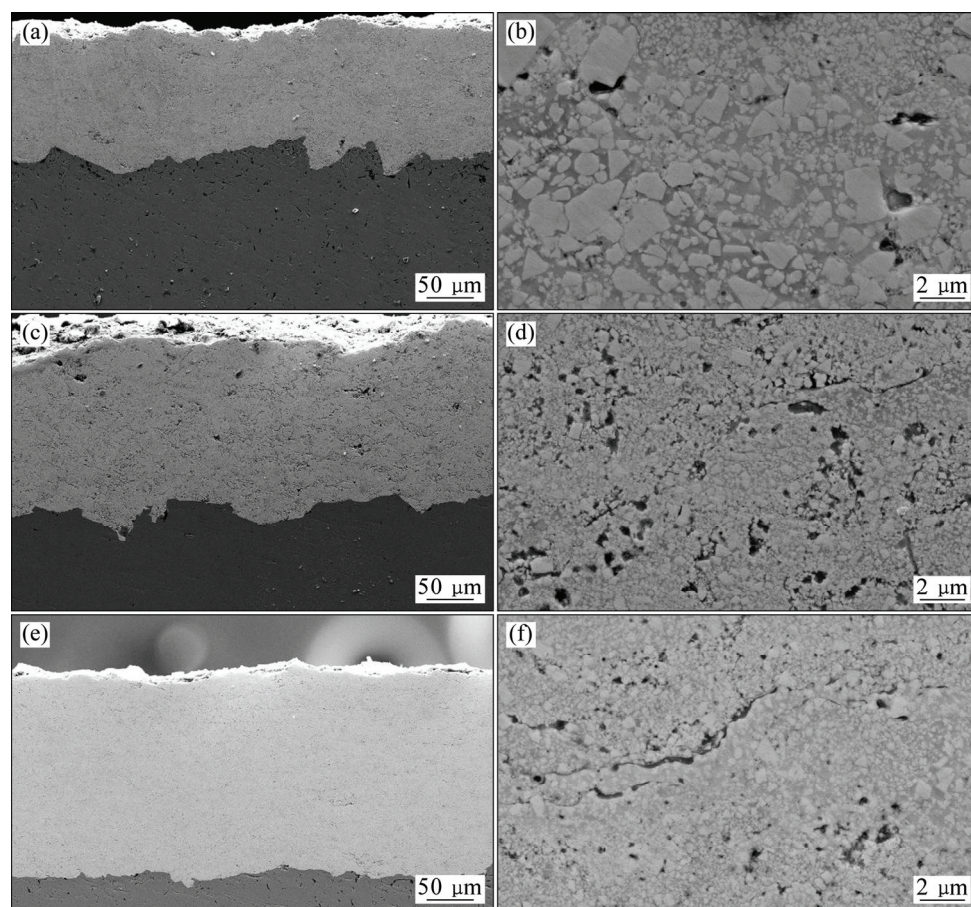


图 1 涂层的 SEM 像

Fig. 1 SEM images of coatings: (a), (b) Untreated, matrix; (c), (d) 600 $^{\circ}\text{C}$, in air, coating; (e), (f) 600 $^{\circ}\text{C}$, in Ar, coating

600 °C 的高温作用后, WC 颗粒更加均匀的分布在 Co 相中(见图 1(d)和(f))。并且在高温及氧化的共同作用下, 涂层的孔隙率明显增大, 同时部分孔隙发生了扩散, 与临近的孔隙连接在一起形成微裂纹(如图 1(d)所示)。而只受到高温作用时, 涂层仍保持较好的致密性(见图 1(f))^[10-12]。

涂层与基体的结合强度测试结果如图 2 所示。由图 2 中可以看出, 未经热处理时涂层的结合强度为 75 MPa; 经过空气中的 600 °C 热处理后, 涂层的结合强度下降到 65 MPa; 经过 Ar 保护下的 600 °C 热处理后, 涂层的结合强度也有所下降(为 70 MPa)。这是由于涂层的热膨胀系数与基体有较大的差别, 经过热处理产生的热应力不同, 涂层原本的压应力会向拉应力转变, 影响涂层的结合强度, 同时高温氧化会导致涂层的脆性提高, 进一步影响涂层的结合强度^[13-14]。

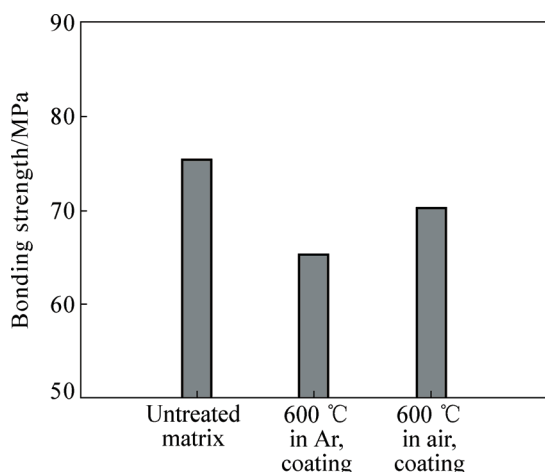


图 2 涂层与基体的结合强度

Fig. 2 Bonding strength of coatings and matrix

2.2 涂层相组织结构分析

图 3 所示为涂层的 XRD 谱。由图 3 可看出, 在常规大气环境中经过 600 °C 热处理后, 涂层的相组织结构发生了明显的改变, WC、Co 及 Cr 经过氧化转变为 CoWO₄、CrWO₄、Cr₂O₅、C₂CoO₄、WO₃、C₆WO₆ 等新组织。通过物相分析 K 值法可知衍射峰强度与物相含量的关系为

$$\frac{I_X}{I_S} = K_X \cdot \frac{w_X}{w_S} \quad (1)$$

式中: w_X 为 X 相的质量分数; I_X 为 X 相的衍射峰强度; w_S 为标准参比相的质量分数; I_S 为参比相的衍射峰强度; K_X 为 X 相的 K 值常数。

涂层中各物相的含量与其衍射峰的强度成正比,

与其 K 值成反比:

$$\frac{w_{X1}}{w_{X2}} = \frac{I_{X1}}{I_{X2}} \cdot \frac{K_{X2}}{K_{X1}} \quad (2)$$

根据 Jade 中的 PDF 卡片可以得到 WC 的 K 值为 14.94, CoWO₄ 的 K 值为 5.6, 并根据 XRD 测试结果(如图 3(a)所示)可知 WC 的衍射峰强度为 717, CoWO₄ 的衍射峰强度为 3013。通过式(2)可以计算出涂层中 CoWO₄ 相与 WC 相含量的质量比为 11.2:1。说明经过高温氧化后涂层中 WC 含量大幅下降, 其主要成分转变为 CoWO₄ 等氧化物; 而在 Ar 保护下, 涂层经过高温热处理后, 相组织结构未发生明显改变。这说明高温对涂层的相组织结构基本不产生影响, 而氧化使得涂层的相组织结构发生明显改变。涂层中 WC、Co 及 Cr 被氧化形成氧化物会导致涂层的脆性提高影响涂层性能^[15-20]。

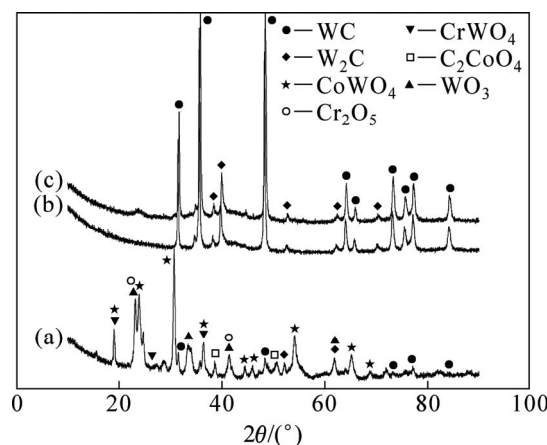


图 3 涂层的 XRD 谱

Fig. 3 XRD patterns of coatings: (a) 600 °C, in air, coating; (b) Untreated, matrix; (c) 600 °C, in Ar, coating

2.3 涂层显微硬度分析

经过显微硬度测试发现, 在经过 600 °C 高温热处理后涂层的平均显微硬度值有了一定的提高, 并且 Ar 保护下涂层获得更高的显微硬度值, 如图 4 所示。从图 4 中还可以看出, 经过空气中的高温热处理后, 涂层局部的显微硬度值有了明显的提高, 达到 1510HV_{0.2}, 但硬度分布仍不均匀, 平均显微硬度为 1368HV_{0.2} 与未热处理涂层显微硬度(1319HV_{0.2})相当; 而经过 Ar 保护下的高温热处理后, 涂层的显微硬度分布变得均匀, 并且有了显著的提高, 平均显微硬度为 1508HV_{0.2}。

说明涂层在空气环境热处理过程中生成的 CoWO₄、Cr₂O₅、C₆WO₆ 等氧化物相会提高涂层的局

部硬度,但这些氧化相脆性较高,并且涂层的孔隙率变大,使得显微硬度测试时压头压入涂层会造成局部塌陷(如图5(a)所示),得到较低的显微硬度值;而经过Ar保护下的热处理后,涂层中WC颗粒分布的更加均匀,因此涂层的显微硬度测试时压头基本作用在WC硬质相上(见图5(b)),并且WC本身的显微硬度高达1620HV_{0.2},使得涂层获得较高的平均显微硬度^[21]。

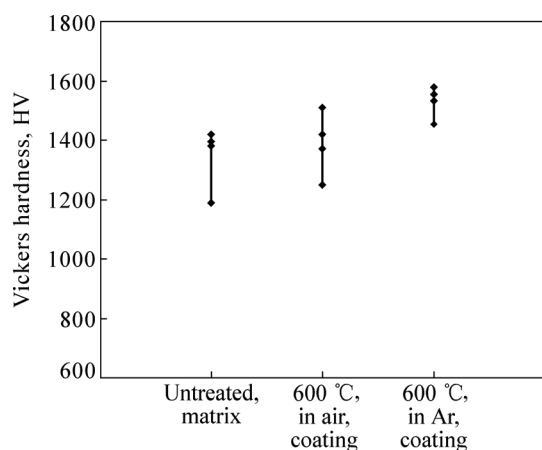


图4 涂层显微硬度值测试分布

Fig. 4 Micro-hardness distribution of coatings and matrix

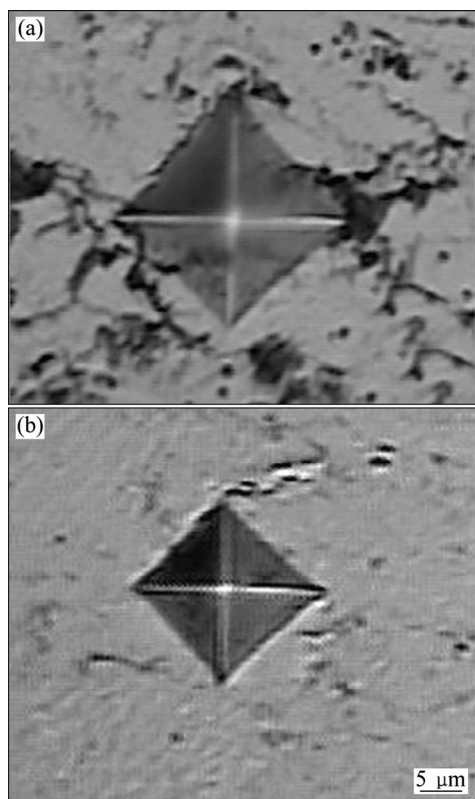


图5 涂层的显微硬度测试图

Fig. 5 Micro-hardness test graphs of coatings: (a) 600 °C, in air; (b) 600 °C, in Ar

2.4 涂层耐磨损性能测试分析

图6所示为涂层在180 min摩擦磨损试验后的磨损质量损失。从图6中可以看出,经过空气中600 °C热处理后,涂层的磨损量较未热处理时明显升高;而经过Ar保护下600 °C热处理后,涂层的磨损量较未热处理时大幅降低。这说明600 °C条件下涂层的局部显微硬度有了一定的提高,但高温氧化对涂层的耐干磨损性能带来了不利的影响,涂层中新产生的氧化物组织具有较高的脆性,在与对磨球摩擦时发生破碎并产生微裂纹。图7所示为涂层的摩擦因数曲线。从图7可以看出,摩擦磨损过程中涂层的氧化物不断破碎与对磨球发生磨粒磨损,摩擦界面较为粗糙,摩擦因数较高,且波动较大;未经过热处理的涂层在与对磨球发生摩擦时,初期由于涂层表面较为粗糙,主要发生磨粒磨损,磨损量较大,摩擦因数较高^[22]。经过一段时间的摩擦后,涂层表面凸起的部分被磨平,摩擦面趋向同一平面并变得光滑,摩擦因数降低,此时主要起到耐磨作用的是WC硬质颗粒,但是在摩擦的过程中WC硬质颗粒会被摩擦剥落形成凹坑(见图8(a)),不利于涂层的耐磨性能;由于涂层的平均显微硬度在经过Ar保护下热处理后有了显著的提高,促使涂层的耐磨性能有了相应的提高,并且由于涂层中WC颗粒更加均匀地分布在Co、Cr相中,使得WC颗粒在摩擦磨损过程中基本不发生剥落,形成平整光滑的摩擦界面(见图8(b)),有利于提高涂层的耐磨性能。

2.5 涂层耐泥沙冲蚀性能测试分析

经过12 h泥沙冲蚀后涂层的质量损失如图9所示。从图9中可以看出,经过空气中600 °C热处理涂层的冲蚀质量损失明显高于未热处理涂层的(升高了

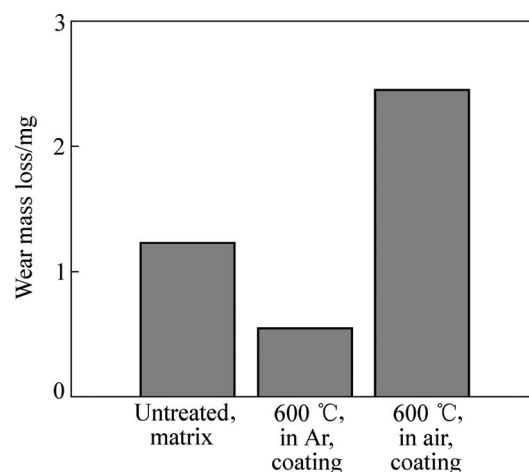


图6 涂层摩擦磨损试验的磨损质量损失

Fig. 6 Wear mass loss of coatings and matrix

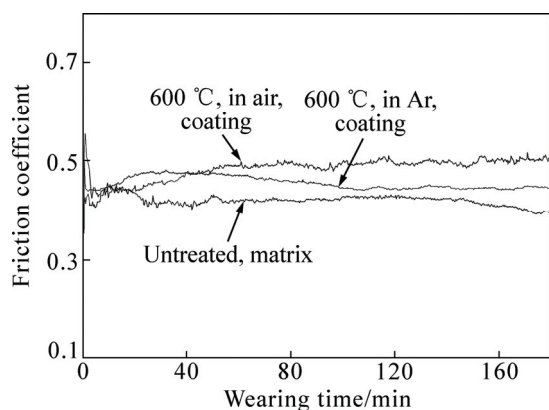


图 7 涂层的摩擦因数曲线

Fig. 7 Friction coefficient curves of coatings and matrix

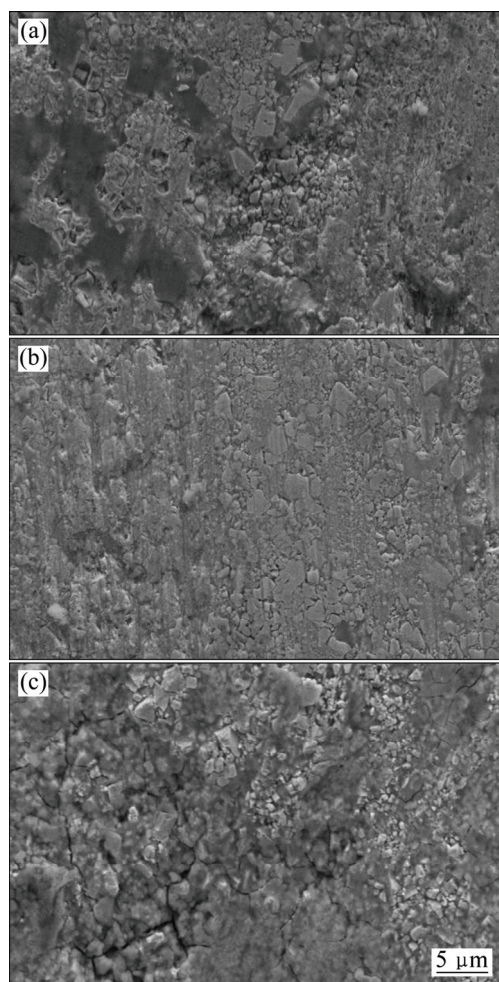


图 8 涂层摩擦磨损形貌

Fig. 8 Worn morphologies of coatings and matrix: (a) Untreated, matrix; (b) 600 °C, in Ar, coating; (c) 600 °C, in air, coating

86%), 而经过 Ar 保护 600 °C 热处理涂层的冲蚀质量损失较未热处理涂层有所降低。这说明高温氧化虽然

使涂层的显微硬度有所提高, 但由此带来的涂层脆性的升高以及大量氧化相的生成使得涂层的耐冲蚀性能大幅降低, 表现为涂层表面脆性较高的氧化物在受到泥沙冲击时氧化物容易破碎形成较大的凹坑, 以及高温氧化形成的大孔隙、微裂纹也容易被冲击破坏形成大的凹坑(见图 10(a)); 在 Ar 保护下, 涂层仅受到高温作用而未发生氧化, 使得涂层的显微硬度大幅提高, 并且 WC 相与 Co、Cr 相更加紧密的结合在一起, 使涂层的耐冲蚀性能获得一定幅度的提高, 被泥沙冲蚀出的凹坑也较小, 并且经过泥沙冲刷, 涂层表面变

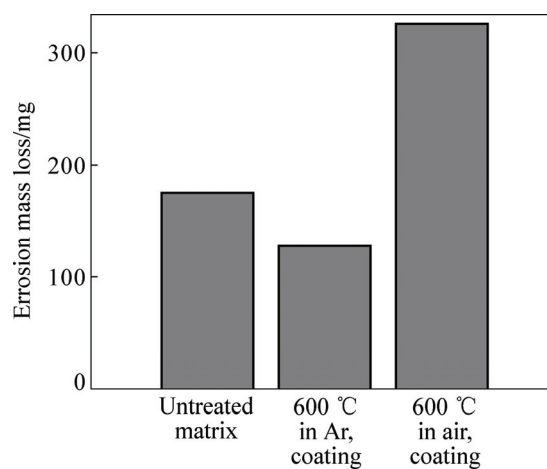


图 9 涂层的冲蚀质量损失

Fig. 9 Erosion wear mass loss of coatings and matrix

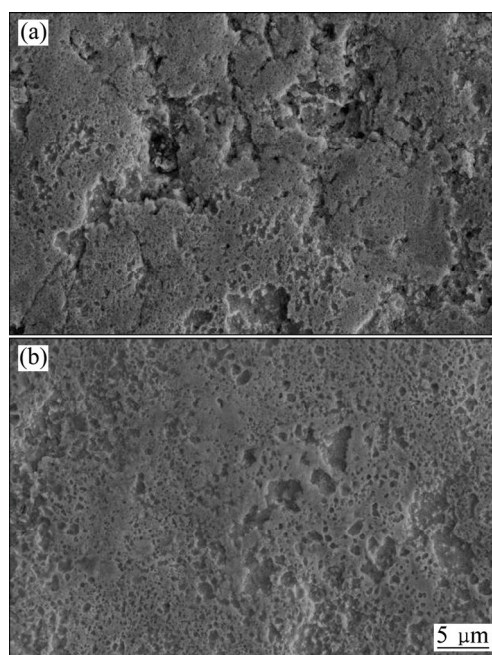


图 10 涂层的冲蚀形貌

Fig. 10 Erosion morphologies of coatings: (a) 600 °C, in air; (b) 600 °C, in Ar

得光滑(见图 10(b)), 涂层的耐冲蚀性能得到进一步强化。

3 结论

1) WC-10Co4Cr 涂层在空气中进行 600 °C 热处理后发生了氧化, 涂层中 WC、Co、Cr 相的含量逐渐降低, 转化为 CoWO_4 、 Cr_2O_3 、 C_6WO_6 等氧化物相, 涂层孔隙率明显升高并出现微裂纹, 涂层的结合强度有所降低。

2) 通过 Ar 保护后, 涂层在热处理过程中只受到高温的作用, 涂层未发生明显氧化, 仍保持良好的结合强度。

3) 在高温及氧化的双重作用下, 涂层局部的显微硬度明显提高, 但平均显微硬度未明显改变, 并且涂层的耐干磨损性能及耐泥沙冲蚀性能大幅下降。

4) 在单一的高温作用下, 涂层中的 WC 相更加均匀地分布在 Co、Cr 相中, 涂层表面获得更加均匀的显微硬度分布, 显微硬度值显著提高, 并且涂层的耐干磨损性能及耐泥沙冲蚀性能大幅提高。

REFERENCES

- [1] 王海军, 蔡江, 韩志海. 超音速等离子与 HVOF 喷涂 WC-Co 涂层的冲蚀磨损性能研究[J]. 材料工程, 2005(4): 50-54.
WANG Hai-jun, CAI Jiang, HAN Zhi-hai. Study on erosion wear of WC-Co coatings prepared by supersonic plasma spray and HVOF spray[J]. Journal of Materials Engineering, 2005(4): 50-54.
- [2] 周夏凉, 陈小明, 赵坚, 王莉容, 程文韬, 伏利, 毛鹏展. HVOF 喷涂 WC-12Co 涂层性能及磨损机理[J]. 腐蚀与防护, 2014, 35(10): 994-996.
ZHOU Xia-liang, CHEN Xiao-ming, ZHAO Jian, WANG Li-rong, CHEN Wen-tao, FU Li, MAO Peng-zhan. Properties and abrasion mechanism of WC-12Co coating prepared by HVOF[J]. Corrosion & Protection, 2014, 35(10): 994-996.
- [3] 王瑞雪, 刘阳, 李曙. 爆炸喷涂 WC-12%Co 涂层的滑动磨损性能[J]. 中国有色金属学报, 2015, 15(11): 1687-1691.
WANG Rui-xue, LIU Yang, LI Shu. Sliding wear resistance of detonation-gun sprayed WC-12%Co coatings[J]. The Chinese Journal of Nonferrous Metals, 2015, 15(11): 1687-1691.
- [4] 吴燕明, 赵坚, 陈小明, 杨潇, 毛鹏展, 赵鹏. 超音速喷涂纳米 WC 复合涂层与电镀铬层的组织及性能[J]. 材料热处理学报, 2015, 36(S1): 171-176.
WU Yan-ming, ZHAO Jian, CHEN Xiao-ming, YANG Xiao, MAO Peng-zhan, ZHAO Peng. Microstructure and properties of high velocity sprayed nano WC composite coatings and chromium platings[J]. Transactions of Materials and Heat Treatment, 2015, 36(S1): 171-176.
- [5] 伍超群, 周克崧, 刘敏, 邓畅光, 邓春明. 热处理对 NiCrWB-WC 复合涂层组织和性能的影响[J]. 金属热处理, 2007, 32(7): 47-50.
WU Chao-qun, ZHOU Ke-song, LIU Min, DENG Chang-guang, DENG Chun-ming. Effects of heat treatment on microstructure and properties of NiCrWB-WC composite coating[J]. Heat Treatment of Metals, 2007, 32(7): 47-50.
- [6] 王群, 屈帮荣, 唐墨聆, 熊浩奇. 超音速火焰喷涂 WC-10Co4Cr 涂层的耐滑动磨损行为[J]. 中国有色金属学报, 2015, 25(7): 1920-1927.
WANG Qun, QU Bang-rong, TANG Zhao-xi, XIONG Hao-qi. Abrasive wear behavior of WC-Co coating deposited by high velocity oxygen flame process[J]. The Chinese Journal of Nonferrous Metals, 2015, 25(7): 1920-1927.
- [7] 李松林, 向锦涛, 周伍喜, 李玉玺, 陈文. 超音速火焰喷涂 WC-10Co4Cr 涂层的耐滑动磨损行为[J]. 中国有色金属学报, 2012, 22(5): 1371-1376.
LI Song-lin, XIANG Jing-tao, ZHOU Wu-xi, LI Yu-xi, CHEN Wen. Sliding wear behavior of high-velocity oxy-fuel sprayed WC-10Co4Cr coatings[J]. The Chinese Journal of Nonferrous Metals, 2012, 22(5): 1371-1376.
- [8] 张光华, 李曙, 刘阳, 王华仁. HVOF 喷涂 WC-10Co-4Cr 涂层的砂浆冲蚀行为[J]. 中国表面工程, 2007, 20(4): 16-28.
ZHANG Guang-hua, LI Shu, LIU Yan, WANG Hua-ren. Slurry erosion behavior of HVOF sprayed WC-10Co-4Cr coatings[J]. China Surface Engineering, 2007, 20(4): 16-28.
- [9] 赵坚, 陈小明, 吴燕明, 王莉容, 伏利, 马红海. 启闭机活塞杆表面超音速火焰喷涂 WC-10Co-4Cr 涂层的性能[J]. 中国表面工程, 2014, 27(3): 71-75.
ZHAO Jian, CHEN Xiao-ming, WU Yan-ming, WANG Li-rong, FU Li, MA Hong-hai. Properties of WC-10Co-4Cr coatings sprayed by HVOF on hoist piston rod surface[J]. China Surface Engineering, 2014, 27(3): 71-75.
- [10] DING Z X, CHEN W, WANG Q. Resistance of cavitation erosion of multimodal WC-12Co coatings sprayed by HVOF[J]. Transactions of Nonferrous Metals Society of China, 2011, 21(10): 2231-2236.
- [11] WANG Q, CHEN Z Z, LI L X, YANG G B. The parameters optimization and abrasion wear mechanism of liquid fuel HVOF sprayed bimodal WC-12Co coating[J]. Surface and Coatings Technology, 2012, 206(8/9): 2233-2241.

- [12] KARIMI A, VERDON C, BARBEZAT G. Microstructure and hydroabrasive wear behaviour of high velocity oxy-fuel thermally sprayed WC-Co(Cr)coatings[J]. *Surface & Coatings Technology*, 1993, 57(1): 81–89.
- [13] ZHAO X Q, ZHOU H D, CHEN J M. Comparative study of the friction and wear behavior of plasma sprayed conventional and nanostructured WC-12%Co coatings on stainless steel[J]. *Materials Science and Engineering A*, 2006, 431(1/2): 290–297.
- [14] CHEN H, GOU G, TU M, LIU Y. Research on the friction and wear behavior at elevated temperature of plasma-sprayed nanostructured WC-Co coatings[J]. *Journal of Materials Engineering and Performance*, 2010, 19(1): 1–6.
- [15] 廖立兵. X 射线衍射方法与应用[M]. 北京: 地质出版社, 2008. LIAO Li-bing. X-ray diffraction method and application[M]. Beijing: Geological Publishing House, 2008.
- [16] STEWART D A, SHIPWAY P H, MCCARTNEY D G. Influence of heat treatment on the abrasive wear behaviour of HVOF sprayed WC-Co coatings[J]. *Surface and Coatings Technology*, 1998, 105(1/2): 13–24.
- [17] KHAMENEH S A, HEYDARZADEH M S, HOKAMOTOA K, et al. Effect of heat treatment on wear behavior of HOVF thermally sprayed WC-Co coatings[J]. *Wear*, 2006, 260(11/12): 1203–1208.
- [18] 王引真, 孙永兴, 曹文军. 超音速火焰喷涂工艺参数对镍基涂层结构和性能的影响[J]. *机械工程材料*, 2005, 26(3): 70–72.
- [19] WANG Yin-zhen, SUN Yong-xing, CAO Wen-jun. Effect of technical parameters of high velocity oxygen fuel spraying on the structure and properties of nickel alloy coatings[J]. *Materials for Mechanical Engineering*, 2005, 26(3): 70–72.
- [20] NERZ J, KUSHNER B, ROTOLICO A. Microstructural evaluation of tungsten carbide-cobalt coatings[J]. *Journal Thermal Spray Technology*, 1992, 1(2): 147–152.
- [21] 潘荣伟, 李 晃, 佟月宇, 陈益兰. 用 K 值法对硫酸铝钙含量进行定量分析研究[J]. *无机盐工业*, 2013, 45(6): 43–45.
- [22] PAN Rong-wei, LI Huang, TONG Yue-yu, CHEN Yi-lan. Quantitative analysis of calcium sulphoaluminate content with K value method[J]. *Inorganic Chemicals Industry*, 2013, 45(6): 43–45.
- [23] 肖逸锋, 贺跃辉, 丰 平, 谢 宏, 马自省, 张丽娟, 黄自谦, 黄伯云. 渗碳工艺对 WC-Co 梯度硬质合金的梯度结构和硬度的影响[J]. *中国有色金属学报*, 2008, 18(3): 465–470.
- [24] XIAO Yi-feng, HE Yue-hui, FENG Ping, XIE Hong, MA Zi-xing, ZHANG Li-juan, HUANG Zi-qian, HUANG Bai-yun. Effects of carburizing process on gradient structure and hardness of WC-Co gradient cemented carbides[J]. *The Chinese Journal of Nonferrous Metals*, 2008, 18(3): 465–470.
- [25] GAHR K H Z. Microstructure and wear of materials[M]. Amsterdam: Elsevier Science Publishers, 1987: 340–345.

Effect of high temperature and oxidation on microstructure and properties of WC-10Co4Cr coatings

WU Yan-ming^{1,2}, ZHAO Jian^{1,2}, CHEN Xiao-ming^{1,2}, FU Li^{3,4}, MAO Peng-zhan^{2,3}, ZHOU Xia-liang^{2,3}

(1. Standard and Quality Control Research Institute, Hangzhou 310012, China;

2. Zhejiang Key Laboratory of Surface Engineering Technology for Water Conservancy and Hydropower Equipment, Hangzhou 310012, China;

3. Hydraulic Machinery and Remanufacturing Technology Engineering Laboratory of Zhejiang Province, Hangzhou 310012, China;

4. Hangzhou Mechanical Research Institute, Hangzhou 310012, China)

Abstract: The effects of temperature and oxidation on the microstructure, microhardness, binding strength, wear resistance, corrosion wear resistance of high velocity sprayed WC-10Co4Cr coatings were investigated by using X-ray diffraction (XRD), scanning electron microscopy (SEM), microhardness measurement, wear testing machine and wear corrosion testing machine. The results show that the coatings are high temperature oxidized obviously after heat treatment at 600 °C in air. WC, Co, Cr content are reduced and converted into CoWO₄, Cr₂O₅, C₆WO₆, and so on, the porosity of coatings increases significantly, the bonding strength reduces. Although the microhardness value of the coatings increases, but the wear resistance and corrosion wear resistance reduce significantly. The coatings is only subjected at high temperature of 600 °C in Ar, the microstructures of the coatings do not change obviously, the microhardness is improved by large margin and distributes more uniformly, the wear resistance and corrosion wear resistance are improved by large margin.

Key words: WC-10Co4Cr coatings; high temperature; oxidation; microstructure; properties

Foundation item: Project (2014C31156, 2016C3791) supported by Science and Technology Plan of Zhejiang Province, China; Project(2015132-4) supported by Bureau of Comprehensive Ministry of Water Resource Top-notch Talent, China

Received date: 2016-05-26; **Accepted date:** 2016-10-28

Corresponding author: WU Yan-ming; Tel: +86-571-88082887; E-mail: wuyanming2193@126.com

(编辑 李艳红)