

温度对 WC-WB-CoCr 涂层高温摩擦磨损性能的影响

沈成龙^{1,2}, 刘 侠¹, 任 奕^{1,2}, 张世宏^{1,2}, 薛召露¹, 杨 康¹, 杨 阳¹

(1. 安徽工业大学 先进金属材料绿色制备与表面技术教育部重点实验室, 安徽 马鞍山 243002)

(2. 安徽工业大学 材料科学与工程学院, 安徽 马鞍山 243002)

摘 要: 采用超音速火焰喷涂 (HVOF) 制备了 WC-WB-CoCr 涂层, 研究了温度对 WC-WB-CoCr 涂层高温摩擦磨损性能的影响。通过 SEM、XRD 和显微硬度仪对涂层的微观组织、相结构和力学性能进行表征。通过摩擦磨损试验机和拉曼光谱仪研究了 WC-WB-CoCr 涂层的高温摩擦学性能和氧化产物, 采用台阶仪扫描磨痕形貌并计算 WC-WB-CoCr 涂层的磨损率。结果表明: WC-WB-CoCr 涂层主要由 WC 和 CoW_2B_2 组成, 涂层结构致密, 与基体结合紧密; 随着磨损试验温度升高, 涂层的摩擦系数从 0.66 降低到 0.57, 涂层的磨损率随着温度的升高而升高, 但是其磨损率增长程度随着温度的升高而降低。在高温磨损过程中, 磨痕表面的氧化膜主要由 WO_3 和 CoWO_4 组成, 且 CoWO_4 比 WO_3 表现出更好的耐高温磨损性能。涂层的主要磨损机制为氧化磨损、疲劳磨损和粘着磨损。

关键词: 超音速火焰喷涂; WC-WB-CoCr; 温度; 高温磨损

中图分类号: TG174.442+.4

文献标识码: A

文章编号: 1002-185X(2023)03-1055-07

热浸镀 Al-Si 合金涂层具有成本低、耐腐蚀性强等优点, 被广泛应用于冶金、汽车、电力、建筑、交通等国民经济各个领域^[1-4]。沉没辊装置是带钢冷轧热浸镀机组的核心装置, 沉没辊的质量将直接决定整个生产线的质量与效率。然而, 长期浸泡在熔融铝硅液中的轴承、沉降辊、稳定辊和支撑辊臂等部件遭受着熔融液态合金的腐蚀、高温磨损和热疲劳等恶劣工况^[5-6]。每次更换维护沉没辊都会使整个热浸镀生产线停产, 这会极大地浪费生产成本与能源。因此, 研发出耐熔融铝合金腐蚀-磨损的材料与制备工艺将大大提高热浸镀领域的生产效益和产品的可靠性。

目前, 对沉没辊表面防护的研究主要集中在碳化物金属陶瓷涂层和氧化物陶瓷涂层方面, 如: WC-Co、 Cr_3C_2 -NiCr、 Al_2O_3 、YSZ 等涂层^[7-11]。但热浸镀铝硅液的温度范围一般在 670~720 °C, 温度更高、腐蚀性更强的熔融铝硅液对涂层材料的性能提出了更为苛刻的要求。高温下碳化物金属陶瓷涂层容易分解, 氧化物涂层容易开裂剥落^[12-13]。而硼化物金属陶瓷材料有着复杂的化学键键型, 包含 B-B、B-M 和少量 M-M 金属键。这些复杂的键型使得硼化物金属陶瓷材料具有高熔点, 耐磨损和耐腐蚀等特点。由于二元硼化物的烧结性较差, 在烧结过程中会发生团聚并与粘接金属反应生成三元硼化物^[14]。因此, 研究人员利用液相烧结技术成功制

备了 MoNiB、MoFeB、MoCoB 和 WCoB 等体系的三元硼化物金属陶瓷^[15-16]。其中 WCoB 基三元硼化物金属陶瓷具有与铝液润湿性差、耐腐蚀、耐磨损等优点, 在热浸镀沉没辊表面防护方面具有广阔的应用前景。近年来不断有学者尝试研究 WCoB 的复相陶瓷涂层, 较为成功的有 WC-WCoB 复相陶瓷涂层。谢丽杰^[17]等人制备了不同 WB 添加量的 WC-WB-Co 涂层, 结果发现 WC-WB-Co 涂层中生成了三元硼化物 WCoB 相和 W_2CoB_2 相, 可以阻碍裂纹扩展, 添加 30%WB (质量分数) 的涂层断裂韧性提高了近 67%。Wang^[18]等人研究发现 WCoB 化合物作为粘结相在热喷涂过程中具有很高的稳定性, WC-WCoB 涂层的硬度和断裂韧性比传统的 WC-Co 涂层更高, 其磨损率下降了近 40%。Ke^[19]等人发现添加 Cr_3C_2 和 Sm_2O_3 可以有效抑制 WCoB-TiC 金属陶瓷晶粒的长大, 明显改善涂层的硬度和常温耐磨性能。综上所述, 目前的研究多数集中在不同成分 WC-WB-CoCr 涂层的力学性能和常温耐磨性能, 其高温磨损性能鲜有研究, 然而 WC-WB-CoCr 涂层材料的失效与其工作温度密切相关。因此, 研究 WC-WB-CoCr 涂层在不同温度下的高温摩擦磨损性能具有重要的现实意义。

本研究采用超音速火焰喷涂技术喷涂制备了 WC-WB-CoCr 防护涂层, 研究了涂层的微观组织、物相

收稿日期: 2022-03-20

基金项目: 安徽省高校自然科学基金项目 (KJ2020A0243)

作者简介: 沈成龙, 男, 1997 年生, 硕士生, 安徽工业大学材料科学与工程学院, 安徽 马鞍山 243002, E-mail: 1140160019@qq.com

结构和力学性能,分析了温度对 WC-WB-CoCr 涂层高温摩擦磨损性能的影响,为 WC-WB-CoCr 涂层在热浸镀铝硅涂层生产线上的工程化应用提供理论支撑。

1 实验

采用超音速火焰喷涂技术在尺寸为 20 mm×20 mm×5 mm 的 316L 奥氏体不锈钢基体上制备 WC-WB-CoCr 涂层。喷涂前,使用丙酮超声清洗不锈钢基体,去除表面污渍和油脂,然后将处理后的样品用喷砂机进行喷砂处理,以改善基材表面的粗糙度,喷砂压力 0.6 MPa,最后再用丙酮将基体超声清洗并烘干。超音速火焰喷涂系统为 Oerlikon Metco SPR-3000,喷枪型号为 JP5000。喷涂参数如表 1 所示。

采用 Bruker UMT TRIBOLAB 型球-盘摩擦试验机进行高温摩擦磨损试验。由于镀液温度一般在 680~720 °C,因此磨损试验温度设定为 680、710 和 740 °C。对偶球选用直径为 6.35 mm 氧化铝磨球,载荷 10 N,旋转半径 6 mm,旋转速度 345 r/min,旋转时间 60 min。采用公式 (1) 计算涂层的磨损率:

$$K = \frac{V}{FS} \quad (1)$$

其中, K 为磨损率 ($\text{m}^3/\text{N} \cdot \text{m}$), V 为磨损体积 (m^3), F 为载荷 (N), S 为磨损距离 (m)。

通过附带能谱仪 (EDS) 的 Phenom XL 型扫描电子显微镜观察粉末的形貌和粒径分布及制备态涂层的表面、截面和断面形貌,同时利用其配备的 EDS 对高温摩擦磨损试验后的磨痕和磨球表面成分进行分析;采用 X 射线衍射仪 (Bruker-D8Advance, Cu 靶, $\text{K}\alpha 1$ 射线, $\lambda=0.154\ 178\ \text{nm}$,扫描角度为 $20^\circ\sim 80^\circ$,扫描速度为 $10^\circ/\text{min}$) 对粉末和涂层的物相结构进行分析;拍摄十张不同部位的 1000 倍 SEM 截面照片,并利用 Image J 软件测定涂层截面孔隙率,取其平均值作为该涂层的孔

表 1 超音速火焰喷涂 WC-WB-CoCr 涂层的工艺参数

Table 1 Process parameters for high velocity oxy-fuel spraying of WC-WB-CoCr coatings

Process parameter	Value
Oxygen flow/L h ⁻¹	53
Kerosene flow/L h ⁻¹	32
Powder feed rate/g min ⁻¹	80
Spraying distance/mm	320
Gun barrel length/×0.0254 m	6
Step distance/mm	4
Gun traverse speed/mm s ⁻¹	800

隙率值;利用 HV-1000 显微硬度计测量涂层的维氏硬度,载荷为 300 g,加载时间为 10 s,每个样品在不同部位测量 10 次,取其平均值作为该涂层的硬度。涂层的结合强度采用 GB/T 228.1-2010 拉伸试验法进行测试,粘接剂为 E-7 胶 (上海华谊树脂有限公司),试验设备为 WDW-5E 万能试验机;通过 PLATencorP-7 型台阶仪测定磨痕二维形貌;利用 Origin 软件计算涂层的磨损体积;采用 Invia 型激光共聚焦拉曼光谱仪检测摩擦磨损产物。

2 结果与分析

2.1 涂层结构分析

图 1 为 WC-WB-CoCr 粉末和涂层的表面、截面和断面形貌。从图 1a 可以看出粉末粒径在 15~40 μm ,呈规则的球状或近球状结构,保证了喷涂过程中送粉的均匀性和涂层结构的稳定性。图 1b 中涂层表面较为平整,无明显的起伏,熔融粉末铺展均匀,有少量的未熔颗粒和孔洞存在。图 1c 中涂层与基体的界面咬合紧密,没有观察到气孔和裂纹,涂层内部结构致密,仅存在少量孔隙。从图 1d 可以发现,WC-WB-CoCr 涂层的断面形貌为层状结构,这是由于超音速火焰喷涂过程中熔融的粉末粒子对基体表面不断轰击并相互啮合会形成层状堆叠结构^[20]。涂层内部熔化效果较好,没有层间裂纹出现,粉末结合紧密。WC-WB-CoCr 涂层的孔隙率、硬度和结合强度如表 2 所示。可见,涂层具有较少的孔隙率和优良的力学性能,涂层孔隙率为 $(0.41\pm 0.07)\%$,维氏硬度为 $(11524.8\pm 610.54)\ \text{MPa}$,涂层拉伸试验后在粘接胶处断裂,结合强度为 $(85.3\pm 5.7)\ \text{MPa}$ 。

图 2 为 WC-WB-Co-Cr 粉末和涂层的 XRD 图谱。从图 2 可以发现粉末物相主要为 WC 和 CoW_2B_2 和少量的 CoWB 、 $\text{Co}_6\text{W}_6\text{C}$ 。喷涂后没有明显的氧化物产生,涂层主要由 WC 和 CoW_2B_2 组成,此外还存在少量的 $\text{Co}_6\text{W}_6\text{C}$ 、 W_2C 和 W_2B ,这主要是由于喷涂过程中 WC 和 CoWB 发生了分解。

图 3 为 WC-WB-CoCr 涂层元素分布图,涂层内部分布着浅灰色和深灰色 2 种区域,浅灰色区域主要为 W 和 C 元素,对应着 WC 相,深灰色区域主要为 W、Co、Cr、B 元素,对应着三元硼化物 CoW_2B_2 相。

2.2 WC-WB-CoCr 涂层在不同温度下的摩擦磨损行为

2.2.1 摩擦曲线和磨痕二维形貌

图 4 为 WC-WB-CoCr 涂层的摩擦系数与时间的关系和磨痕轨迹曲线。表 3 为不同温度下涂层的磨痕宽度、磨痕深度和磨损率。可以发现,涂层摩擦系数在 0.5~0.7 之间,随着摩擦试验温度升高,涂层的摩擦系数逐渐降低,涂层的摩擦系数从 0.66 降低到 0.57。由图 4 和表 3 可知,随着试验温度的上升,涂层的磨痕宽度和

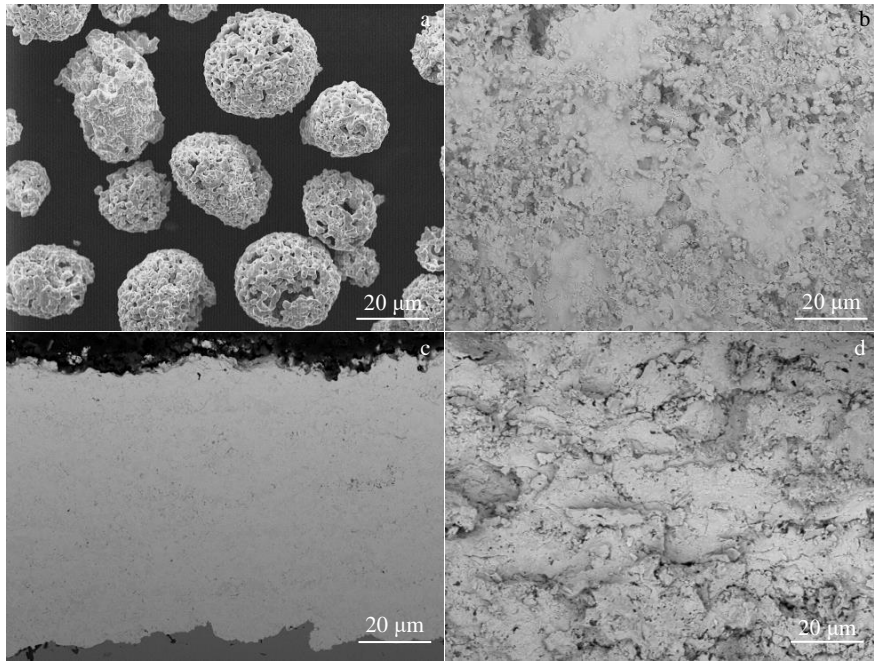


图 1 WC-WB-CoCr 粉末和涂层形貌

Fig.1 Morphologies of WC-WB-CoCr powder (a) and coating: (b) surface, (c) cross section, (d) fracture section

表 2 WC-WB-CoCr 涂层的孔隙率、硬度和结合强度

Table 2 Porosity, hardness and bonding strength of WC-WB-CoCr coatings

Property	Value
Porosity/%	0.41±0.07
Hardness, HV _{0.3} /MPa	11524.8±610.54
Bonding strength/MPa	85.3±5.7

磨痕深度逐渐增大,涂层的磨损率也逐渐增加。从 680 °C 到 710 °C,涂层的磨损增加较为严重,增加了近 103%,当温度升高到 740 °C时,涂层磨损率仅增加了近 10%。以上结果表明,涂层的磨损率随着温度的升高而升

高,但是其磨损率增长程度随着温度的升高而降低。

2.2.2 磨损表面形貌及成分分析

为探究 WC-WB-CoCr 涂层的高温磨损机制,分析了涂层和对偶球的磨痕表面形貌及其对应的成分。图 5 为 WC-WB-Co-Cr 涂层的磨痕 SEM 形貌,表 4 为图 5 标记区域的 EDS 分析结果。图 4a、4b 分别为涂层 680 °C 高温磨损后的磨痕形貌,磨痕表面存在深灰色和浅灰色区域以及大量的凹坑。由 EDS 结果可知,深灰色区域主要元素为 W、Co、Cr 和 O,其中氧元素含量在 30% 以上,说明涂层在高温和摩擦热的作用下形成了氧化产物,浅灰色区域的主要元素也为 W、Co、Cr 和 O,但氧元素含量只有 11.5%。可以发现,深灰色区域为高温磨损过程中产生的氧化膜,浅灰色区域主要分布在凹坑处,此

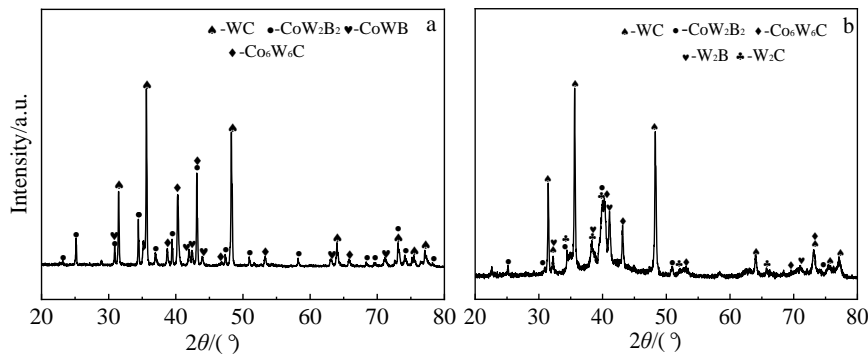


图 2 WC-WB-CoCr 粉末和涂层的 XRD 图谱

Fig.2 XRD patterns of WC-WB-Co-Cr powder (a) and coating (b)

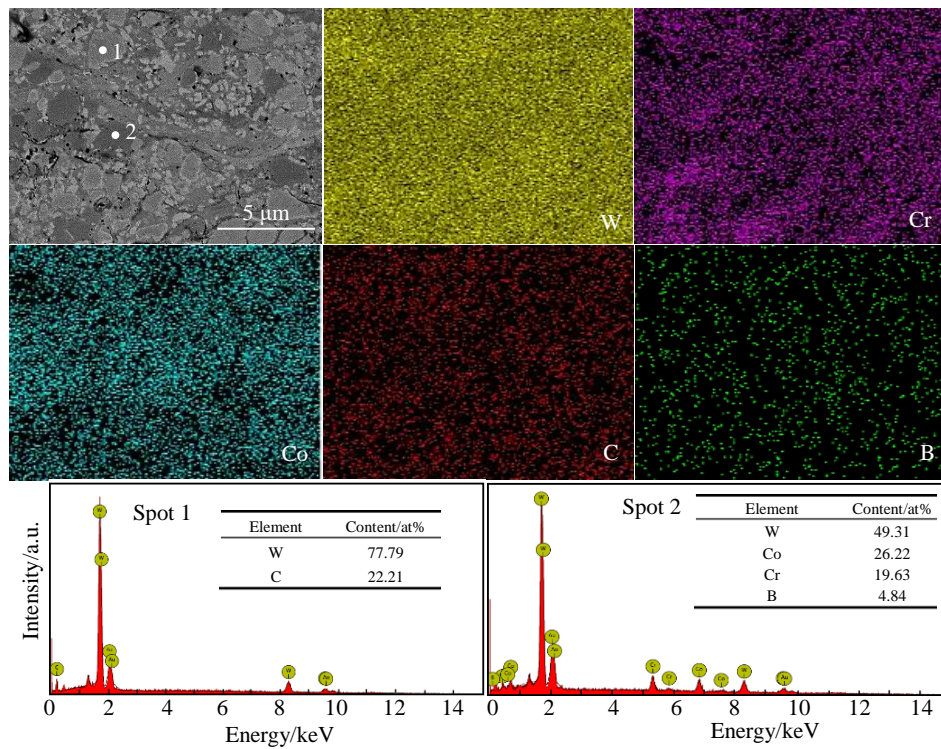


图 3 WC-WB-Co-Cr 涂层 SEM 形貌及 EDS 元素面分布

Fig.3 SEM morphology and EDS element mappings; EDS analysis results of marked spot 1 and spot 2 for WC-WB-Co-Cr coating

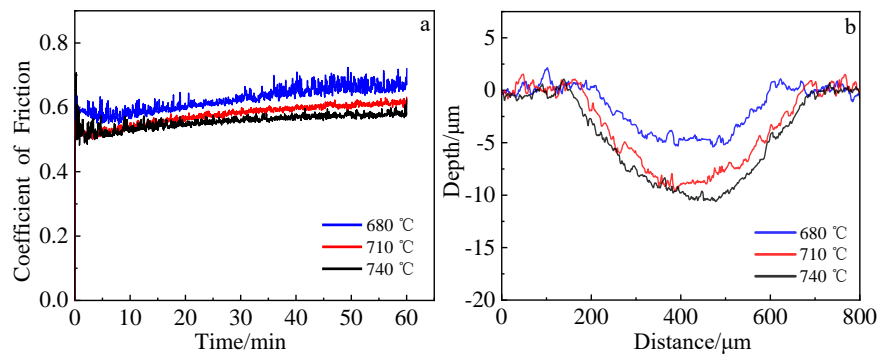


图 4 不同温度的涂层摩擦系数和磨痕轨迹曲线图

Fig.4 Friction coefficient vs time (a) and trajectory of wear tracks (b) of the coating at different temperatures

表 3 不同温度的涂层的磨痕宽度、磨痕深度和磨损率

Table 3 Wear track width, wear track depth and wear rate of the coating at different temperatures

Temperature/°C	Width/μm	Depth/μm	Wear rate/m ³ (N m) ⁻¹
680	409.2	5.1	6.94×10 ⁻¹⁶
710	506.9	8.9	1.41×10 ⁻¹⁵
740	512.3	10.1	1.56×10 ⁻¹⁵

处为氧化膜剥落后的涂层基体，此时涂层的氧化程度小于氧化膜的破坏速度，磨痕表面存在 WC 硬质颗粒，这也是涂层在 680 °C 下磨损时摩擦系数不稳定的原因。

随着温度的进一步升高，图 5c、5d 和图 5e、5f 中涂层中几乎都为深灰色区域，EDS 结果表明此时涂层表

面全部被氧化，说明此时涂层的氧化程度大于氧化膜的破坏速度，磨痕表面被氧化膜覆盖。由文献[21-23]可知，WC 在高温下易分解为 W₂C 相并与空气中的 O₂ 发生化学反应。由于反应中有 CO₂ 气体形成，最终涂层表面会形成多孔的氧化区域，这种多孔的氧化区域为氧原子提

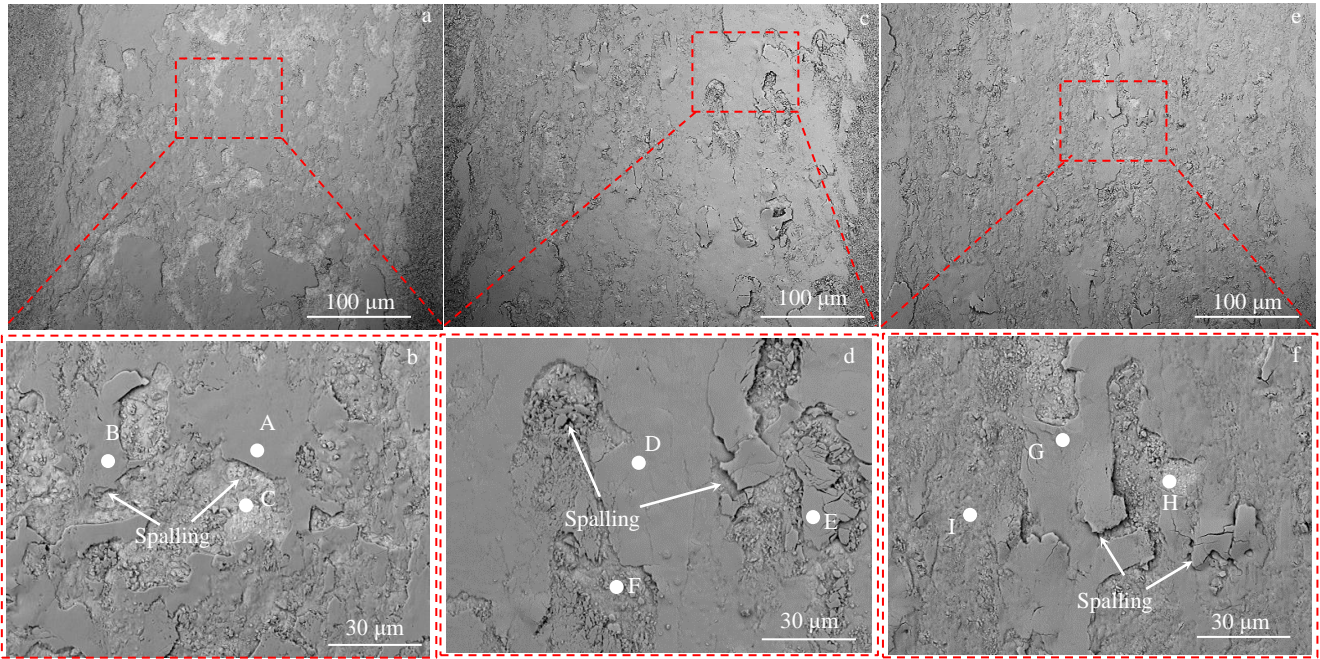


图 5 不同温度的 WC-WB-Co-Cr 涂层的磨痕 SEM 形貌

Fig.5 SEM morphologies of the wear tracks of WC-WB-Co-Cr coatings at different temperatures: (a, b) 680 °C, (c, d) 710 °C, and (e, f) 740 °C

表 4 图 5 标记区域的 EDS 成分分析结果

Table 4 EDS analysis results of marked regions in Fig.5 (wt%)

Region	W	O	Co	Cr
A	61.3	30.5	4.7	3.5
B	60.0	30.4	4.2	3.4
C	75.9	11.5	7.2	5.4
D	58.7	33.6	4.3	3.4
E	59.9	32.6	4.2	3.3
F	65.3	26.4	4.7	3.6
G	58.3	31.4	6.4	3.9
H	54.2	33.4	9.1	3.3
I	56.0	30.7	10.3	3.0

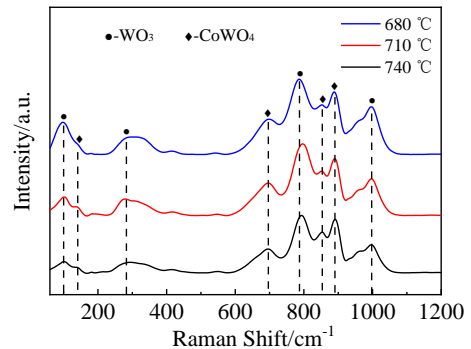


图 6 不同温度的磨痕表面的拉曼光谱

Fig.6 Raman spectra of the wear tracks surface of coatings at different temperatures

供了扩散通道, 氧原子由外向内不断扩散, 加速了涂层的氧化。此外, 从图 5 还可以发现, 磨痕内部存在许多垂直于磨痕的裂纹, 这是疲劳磨损的特征^[24]。由于氧化膜本身结构疏松, 在磨损过程中容易产生疲劳, 微裂纹不断萌生和扩展, 最终在剪切力的作用下剥落。通过 Raman 光谱 (见图 6) 进一步分析可知, 在位移 102、276、794 和 993 cm^{-1} 附近出现了属于 WO_3 的拉曼特征峰^[25], 在 477、698、853 和 890 cm^{-1} 附近出现了属于 CoWO_4 的拉曼特征峰^[26], 说明高温磨损过程中, 涂层中 WC 相和 CoW_2B_2 相与空气发生氧化生成 WO_3 和 CoWO_4 。并且, 随着温度的升高, WO_3 的含量降低, 而 CoWO_4 的相对含量升高。由表 4 的 EDS 结果也表明

740 °C 磨损后的磨痕表面具有更高的 Co 含量, 证明在 740 °C 下, 磨痕表面生成了更多的 CoWO_4 。结合表 3 涂层磨损率的增长结果可以发现, 生成的 CoWO_4 有利于降低涂层的摩擦系数, 提高涂层的耐磨性能, 从而降低涂层磨损率的增长程度。以上结果说明, CoWO_4 比 WO_3 表现出更好的耐高温磨损性能。

图 7 为对磨球的宏观和微观形貌。表 5 为图 7 标记区域的 EDS 成分分析结果。图 8 为对磨球表面的拉曼光谱。从图中可以看出, 随着摩擦温度的升高, 磨球磨斑面积逐渐增大, 并且磨球表面存在明显的粘附区域。且磨球表面主要分为黑色区域和白色区域, 由 EDS 成分分

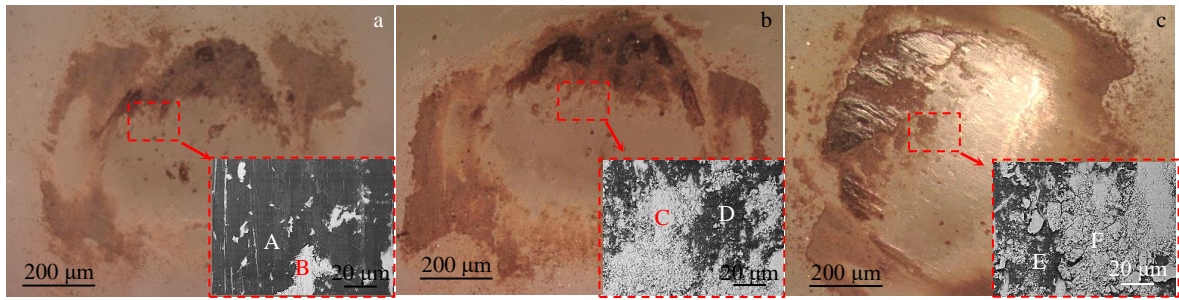


图 7 Al₂O₃ 对偶球在不同温度的 OM 和 SEM 形貌

Fig.7 OM and SEM morphologies of the Al₂O₃ dual ball at different temperatures: (a) 680 °C, (b) 710 °C, and (c) 740 °C

表 5 图 7 标记区域的 EDS 分析结果

Table 5 EDS analysis results of marked regions in Fig.7 (ω/%)

Region	W	O	Co	Cr	Al
A	4.6	42.7	-	-	52.7
B	67.7	21.5	4.5	4.0	2.3
C	64.6	27.4	4.2	3.8	-
D	4.5	45.9	-	-	49.6
E	5.7	42.7	-	-	51.6
F	62.5	29.6	4.2	3.7	-

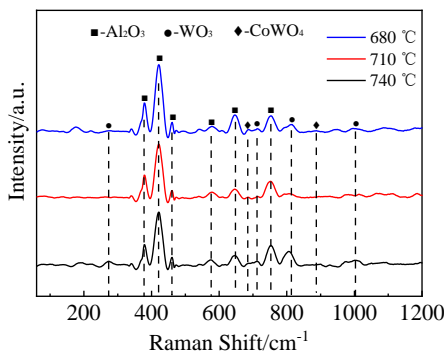


图 8 对磨球表面在不同温度的拉曼光谱

Fig.8 Raman spectra of the wear tracks surface of the dual ball at different temperatures

析结果可知黑色区域主要元素为 Al 和 O, 白色区域主要元素为 W、O、Co 和 Cr。结合拉曼光谱 (图 8) 可知黑色区域为 Al₂O₃ 磨球, 白色区域为粘附的涂层氧化物 WO₃ 和 CoWO₄, 说明磨损过程中存在氧化膜的转移, 这是粘着磨损的显著特征。且从图 7 中可以看出, 随着温度的升高, 表面的转移膜含量越来越高, 所以其摩擦系数越来越低, 越来越稳定。但是, 由于磨球表面粘附的氧化物粘结并不紧密, 结构较为疏松, 减磨效果较差, 因此其摩擦系数没有出现明显的降低。

3 结论

1) WC-WB-Co-Cr 涂层主要由 WC 和 CoW₂B₂ 组成,

此外还存在少量的 Co₆W₆C、W₂C 和 W₂B。涂层与基体的界面结合紧密, 内部结构致密, 仅存在少量孔隙。孔隙率为(0.41±0.07)%, 维氏硬度为(11524.8±610.54) MPa, 结合强度为 (85.3±5.7) MPa。

2) 随着磨损试验温度的提高, 涂层的摩擦系数从 0.66 降低到 0.57, 但涂层的磨痕宽度和磨痕深度逐渐增大, 涂层的磨损率随着温度的升高而升高, 但是其磨损率增长程度随着温度的升高而降低。

3) 涂层的磨损机制是氧化磨损、疲劳磨损和粘着磨损。高温磨损过程中, 磨痕表面的氧化膜主要由 WO₃ 和 CoWO₄ 组成, 且 CoWO₄ 比 WO₃ 表现出更好的耐高温磨损性能。

参考文献 References

[1] Zhang Z G, Peng Y P, Mao Y L *et al.* *Corrosion Science*[J], 2012, 55: 187
 [2] Marder A R. *Progress in Materials Science*[J], 2000, 45(3): 191
 [3] Hiroshi Y, Yoshihiro H. *Journal of the Iron and Steel Institute of Japan*[J], 1977, 63(7): 1160
 [4] LeBozec N, Thierry D, Persson D *et al.* *Surface and Coatings Technology*[J], 2019, 374: 897
 [5] Zhang K, Battiston L. *Materials Science and Technology*[J], 2002, 18: 1551
 [6] Zhang X M, Chen W P. *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*[J], 2015, 25(6): 1715

- [7] Zhang J, Hosemann P, Maloy S. *Journal of Nuclear Materials*[J], 2010, 404(1): 82
- [8] Ren X J, Mei X Z, She J *et al. Journal of Iron and Steel Research, International*[J], 2007, 14(5): 130
- [9] Hiroaki M, Junya K. *Journal of Thermal Spray Technology*[J], 2007, 16(3): 404
- [10] Zhang J F, Deng C M, Song J B *et al. Surface and Coatings Technology*[J], 2013, 235: 811
- [11] Wang Xin(王鑫), Xue Zhaolu(薛召露), Ni Zhenhang(倪振航) *et al. Rare Metal Materials and Engineering*(稀有金属材料与工程)[J], 2021, 50(1): 291
- [12] Guo H J, Bo L, Cheng L *et al. Journal of Alloys and Compounds*[J], 2019, 789: 966
- [13] Zamani P, Valefi Z, Jafarzadeh K. *Ceramics International*[J], 2022, 48(2): 1574
- [14] González R, Barandika M G, Oña D *et al. Materials Science and Engineering A*[J], 1996, 216(1): 185
- [15] Wu H, Zheng Y, Zhang J J *et al. Ceramics International*[J], 2019, 45(17): 22 371
- [16] Sáez A, Arenas F, Vidal E. *International Journal of Refractory Metals & Hard Materials*[J], 2003, 21(1-2): 13
- [17] Xie Lijie(谢丽杰), Liu Xuemei(刘雪梅), Wang Haibin(王海滨) *et al. Chinese Journal of Stereology and Image Analysis*(中国体视学与图像分析)[J], 2017, 22(2): 166
- [18] Wang H B, Yan X F, Liu X M *et al. Journal of the European Ceramic Society*[J], 2018, 38(15): 4874
- [19] Ke D Q, Pan Y J, Lu X F *et al. Ceramics International*[J], 2015, 41(10): 15 235
- [20] Sun Fuzhen(孙福臻), Li Yan(李岩), Zhang Xiaohan(张啸寒) *et al. Rare Metal Materials and Engineering*(稀有金属材料与工程)[J], 2021, 50(5): 1685
- [21] Luo X T, Gregory M S, Wang Y *et al. Ceramics International*[J], 2018, 45(4): 4718
- [22] Bhosale D G, Rathod W S. *Ceramics International*[J], 2020, 46(8): 12 373
- [23] Erfanmanesh M, Shoja-Razavi R, Abdollah-Pour H *et al. International Journal of Refractory Metals and Hard Materials*[J], 2019, 81: 137
- [24] Łatka L, Michalak M, Szala M *et al. Surface and Coatings Technology*[J], 2021, 410: 126 979
- [25] Lv Gang(吕刚), Wu Yonggang(吴永刚), Wu Heyun(伍和云) *et al. Spectroscopy and Spectral Analysis* (光谱学与光谱分析)[J], 2012, 11: 3028
- [26] Somchai T, Surangkana W, Titipun T. *Ceramics International*[J], 2008, 35(5): 2087

Effect of Temperature on High-Temperature Friction and Wear Properties of WC-WB-CoCr Coating

Shen Chenglong^{1,2}, Liu Xia¹, Ren Yi^{1,2}, Zhang Shihong^{1,2}, Xue Zhaolu¹, Yang Kang¹, Yang Yang¹

(1. Key Laboratory of Green Fabrication and Surface Technology of Advanced Metal Materials, Ministry of Education, Anhui University of Technology, Ma'anshan 243002, China)

(2. School of Materials Science and Engineering, Anhui University of Technology, Ma'anshan 243002, China)

Abstract: WC-WB-CoCr coatings were prepared by high velocity oxy-fuel spraying (HVOF), and the effect of temperature on the frictional wear properties of WC-WB-CoCr coatings was investigated. The microstructure and mechanical properties of the coatings were characterized by SEM, XRD and microhardness tester. The high-temperature tribological properties and oxidation products of WC-WB-CoCr coatings were investigated by friction and wear testing machine and Raman spectroscopy, and the abrasion scar morphology was scanned and the wear rate of WC-WB-CoCr coatings was calculated by a surface profiler. The results show that the WC-WB-Co-Cr coating mainly consists of WC and CoW₂B₂, and the coating structure is dense and tightly bonded to the substrate. The friction coefficient of the coating decreases from 0.66 to 0.57 as the temperature of the wear test increases, and the wear rate of the coating increases with the increase of temperature, but the growth rate of its wear rate decreases with the increase of temperature. During high temperature wear, the oxide film on the surface of the wear marks mainly consists of WO₃ and CoWO₄, and CoWO₄ shows better high temperature wear resistance than WO₃. The main wear mechanisms of the coating are oxidation wear, fatigue wear and adhesive wear.

Key words: high velocity oxy-fuel spraying; WC-WB-CoCr; temperature; high temperature wear