

WC 含量对定向结构 Ni60 涂层耐蚀性能的影响

杨效田^{1,2}, 李秀倩¹, 李霞³, 杨强斌⁴, 周俊¹, 李文生¹

(1. 兰州理工大学 省部共建有色金属先进加工与再利用国家重点实验室, 甘肃 兰州 730050)

(2. 兰州理工大学 温州泵阀工程研究院, 浙江 温州 325105)

(3. 兰州交通大学 化学与生物工程学院, 甘肃 兰州 730070)

(4. 重庆文理学院 环境材料与修复技术重庆市重点实验室, 重庆 402160)

摘要: 为了研究 WC 含量对 Ni60 合金涂层耐腐蚀性能的影响规律及相关机制, 向 Ni60 合金粉体中添加不同质量分数的 WC, 通过高频感应重熔和强制冷却技术, 在 45#钢表面制备 WC 添加的 Ni60/WC 复合定向结构涂层。采用 SEM、EDS、XRD、电化学性能测试和浸泡实验等检测手段分析了 WC 颗粒增强 Ni60 合金的定向结构复合涂层的耐腐蚀性能及其机制。结果表明: 随着 WC 添加量的增加, 极化电阻先增大后减小, WC 添加量为 10%时达到最大值 9710.8 Ω; 腐蚀电流密度先减小后增大, WC 添加量为 10%时最小, 为 1.34×10^{-6} A/cm²。WC 添加量对涂层显微形貌、元素分布、物相均有影响, 进而影响涂层耐蚀性能。

关键词: 镍基合金; WC 颗粒; 定向结构; 复合涂层; 耐腐蚀性能

中图分类号: TG174.4

文献标识码: A

文章编号: 1002-185X(2020)10-3604-08

腐蚀是金属机械部件最常见的失效方式之一, 每年都会造成巨大的经济损失甚至严重的安全事故^[1,2]。通常情况下, 腐蚀是从工件表面开始发生损坏的。通过表面工程技术在金属表面形成保护性覆盖层, 可避免金属与腐蚀介质直接接触, 或利用覆盖层对基体金属进行电化学保护进而起到缓蚀作用, 是防止或减少金属腐蚀的有效方法^[3]。因此, 表面涂层技术越来越被认为是延长零部件使用寿命, 提高产品耐用性和可靠性的一种有效且经济的手段。

目前, 在涂层材料中, 镍基自熔性合金粉末由于具有良好的润湿性能, 优异的耐磨性、耐腐蚀性以及价格适中等优点, 在许多特殊场合下, 无论是单独使用还是与其他增强相复合制备涂层, 都得到了广泛的关注^[4-7]。许多研究者已经开展了镍基合金涂层耐蚀性及其相关失效机制的研究^[8-12]。Lee 和 Min^[10]采用超音速火焰喷涂制备了 Ni-Cr-W-Mo-B 合金涂层, 通过浸泡实验和电化学腐蚀实验研究了涂层在 H₂SO₄ 溶液中的耐腐蚀性能。结果表明: 由于成分差异, 涂层的腐蚀形式表现为电偶腐蚀和局部腐蚀。随着成分差异的减小, 腐蚀由局部腐蚀转变为全面腐蚀。Cho 等人^[11]认为微裂纹和金属粘结剂的化学成分是影响超音速火

焰喷涂金属陶瓷涂层(WC-Co, WC-Co-Cr, WC-CrC-Ni 和 WC-Ni 涂层)在强酸性溶液中耐蚀性的重要因素。Farahmand 和 Kovacevic^[12]研究了激光熔覆 Ni-WC 涂层在 3.5% NaCl 溶液中的腐蚀行为, 在涂层中分别添加 nano-WC (5%, 质量分数, 下同), La₂O₃ (1%), 和 Mo (1%) 时, 均可细化 Ni 粘结剂的晶粒尺寸, 且提高了涂层在腐蚀过程中的钝化能力。

本课题组采用强制冷却方式制备 Ni60 定向结构涂层, 所制备的涂层显示出优良的耐磨性能^[13]。为全面改进所制备的定向结构 Ni60 涂层的综合性能, 使涂层在耐磨性进一步提高的同时具有良好的耐腐蚀性能, 从而具有全面的工业使用价值, 本工作通过添加 WC 制备定向结构的 Ni60/WC 复合涂层, 研究 WC 添加量对定向结构 Ni60 涂层的耐腐蚀性能的影响及机制, 从而优化制备综合性能优良的 Ni60 合金定向结构复合涂层的工艺。

1 实验

基体材料选用 45#钢, 其规格为: 100 mm×100 mm×13 mm, 喷涂粉末为 Ni60 自熔性合金粉末(粒度 50~104 μm)和碳化钨粉末(粒度 43~110 μm)分别以

收稿日期: 2019-11-11

基金项目: 国家自然科学基金(51365024); 浙江省自然科学基金(LGG19E010003)

作者简介: 杨效田, 男, 1971 年生, 博士, 副研究员, 兰州理工大学材料科学与工程学院, 甘肃 兰州 730050, 电话: 0931-2976378, E-mail: 398830990@qq.com

质量比 19:1, 9:1, 8:2, 7:3 机械混合 4 h。Ni60 合金粉末的化学成分见表 1。

Ni60 自熔性合金粉末和碳化钨粉末的 SEM 形貌如图 1 所示。可以看出, Ni60 合金粉末颗粒球形度较高, 粒径均匀, 颗粒表面没有凹坑和裂纹, 流动性好, 而碳化钨粉末表面形貌则为不规则多面体形貌。图 2 为 Ni60 自熔性合金粉末和碳化钨粉末的 XRD 图谱。Ni60 合金粉末的物相主要包括 Ni, Ni₃Fe, Cr₂₃C₆, Cr₂B, Ni₂Si, Ni₃B, 碳化钨粉末的物相为 WC 和 W₂C 相。

喷涂前, 用丙酮清洗基体表面, 进行除油、除锈处理, 然后对基体表面进行喷砂粗化处理。采用火焰喷涂在 45#钢上制备厚度约 0.7 mm 的 Ni60/WC 复合涂层, 喷涂完成后在室温条件下冷却, 线切割成 $\Phi 30$ mm \times 13 mm 的待处理试样。然后采用深圳市双平电源技术有限公司生产的型号为 SPG-30B 的高频感应加热设备和配套的定向冷却装置, 在冷却水流量为 1.886 mL/min \cdot mm² 时, 对试样进行感应重熔和强制冷却处理, 制备定向结构复合涂层。

电化学测试前, 采用防水型环氧树脂对试样非测

表 1 Ni60 合金粉末的主要化学成分
Table 1 Chemical composition of Ni60 self-fused alloy powder (wt%)

Cr	B	Si	Fe	C	Ni
15~20	2.5~3.5	3.5~5.5	0~5	0.5~1.1	Bal.

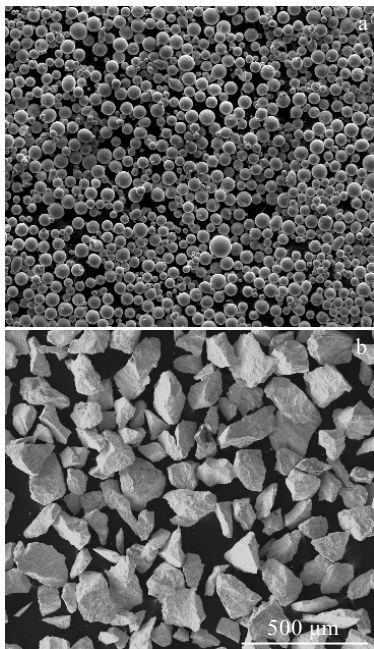


图 1 Ni60 自熔性合金粉末和 WC 粉末的 SEM 形貌
Fig.1 SEM morphologies of Ni60 alloy powder (a) and WC powder (b)

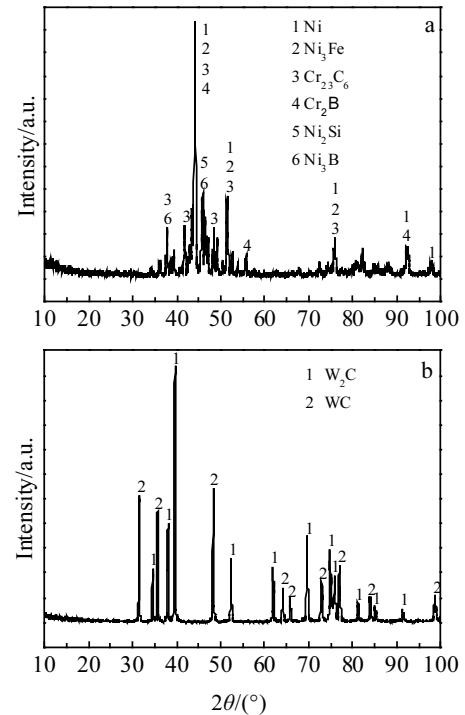


图 2 Ni60 自熔性合金粉末和 WC 粉末的 XRD 图谱
Fig.2 XRD patterns of Ni60 alloy powder (a) and WC powder (b)

试面积进行封闭处理, 裸露面积为 1 cm², 且在常温下固化至少 48 h。电化学测试采用上海辰华仪器有限公司生产的 CHI660D 型电化学工作站进行, 电解池为三电极体系, 辅助电极为 Pt 电极, 参比电极为 Hg/Hg₂SO₄ 电极, 自制涂层样品为工作电极, 置于 10% H₂SO₄ 溶液中。测试温度为室温, 环境为大气环境, 测量时试样电极先在溶液中稳定 10 min。塔菲尔曲线的电压扫描速度为 0.001 V/s, 扫描范围为 -1~1 V。交流阻抗谱测试在开路电位下进行, 频率范围为 10⁵~0.005 Hz, 振幅为 10 mV。为了保证试验结果的准确性, 测试时采用 3 个平行试样。

在室温条件下, 将复合涂层在配制好的 10% H₂SO₄ 溶液中浸泡 168 h。溶液使用蒸馏水配制。在浸泡腐蚀实验后, 将涂层样品用蒸馏水和无水乙醇清洗, 然后吹干。

采用 QuantaFEG450 场发射扫描电子显微镜 (SEM) 观察涂层腐蚀前后的显微组织及腐蚀形貌, 并用配套的能谱仪 (EDS) 检测涂层的元素分布及含量。采用 D/MAX2500PC 型 X 射线衍射仪对涂层表面进行物相分析, 扫描速度为 10(°)/min, 扫描范围为 10°~100°, 加速电压为 40 kV, 电流为 100 mA。

2 结果与讨论

2.1 涂层的腐蚀行为

2.1.1 电化学腐蚀行为

图 3 为不同 WC 含量的试样及基体在 10% H₂SO₄ 溶液中的电化学测试结果。从塔菲尔曲线中得到的相应的电化学腐蚀参数 (E_{corr} 、 i_{corr} 、 R_p) 见表 2。由结果可知, 各 WC 含量添加涂层均较 45#钢基体材料具有更小的腐蚀电流密度和更大的腐蚀电位。腐蚀电位的高低决定耐腐蚀性能的好坏, 说明涂层较基体具有更小的热力学腐蚀倾向和更慢的动力学反应, 对基体起到有效的保护作用。从图 3b 中可以得知, 任何一种 WC 含量的涂层阻抗半圆的半径均远远大于 45#钢基体, 意味着涂层耐腐蚀性能远远优于基体, 对基体起到了很好的保护作用。

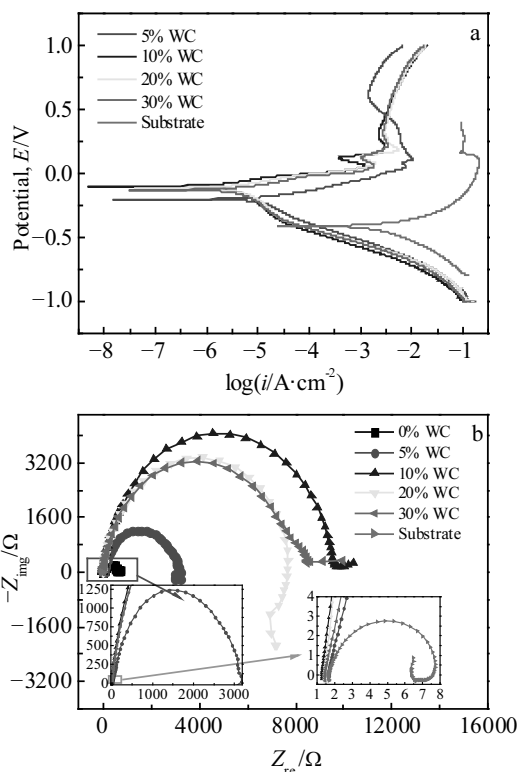


图 3 基体和不同 WC 含量定向结构涂层电化学测试结果
Fig.3 Electrochemical test results of substrate and the directional structure coatings with different contents of WC: (a) Tafel polarization curves and (b) Nyquist plots

表 2 图 3 中动电位极化曲线拟合结果

Table 2 Fitting results of potentiodynamic polarization curves shown in Fig.3

Sample	E_{corr}/V	$i_{corr}/A \cdot cm^{-2}$	R_p/Ω
5%WC	-0.2	1.512×10^{-5}	1819.5
10%WC	-0.098	1.34×10^{-6}	9710.8
20%WC	-0.112	3.002×10^{-6}	6330.9
30%WC	-0.127	4.172×10^{-6}	5729.4
Substrate	-0.412	2.471×10^{-3}	12

在相同腐蚀条件下, 随着 WC 添加量的增加, 涂层的耐腐蚀性能呈现先增强后减小的趋势, 当 WC 添加 10% 时, 涂层显示最优的耐腐蚀性能。含 10%、20%、30%WC 的 Ni60/WC 复合涂层的自腐蚀电位均明显高于含 5%WC 涂层的腐蚀电位, 但含 10%WC 的涂层显示出具有更高的腐蚀电位, 为 -0.098 V, 较含 5%WC 的 Ni60/WC 涂层的 -0.2 V 高出 1 倍; 含 10%WC 的涂层也具有明显更低的电流密度, 为 $1.34 \times 10^{-6} A/cm^2$, 而含 5%、20%、30%WC 涂层的电流密度分别比其高 11、2、3 倍; 极化电阻达到最大值 9710.8 Ω , 也较含 5%、20%、30%WC 的涂层分别高出了 5、1.5、1.7 倍。这说明 WC 添加含量对涂层耐腐蚀性能影响明显。综合来看, 随着 WC 添加量的增加, 自腐蚀电位先升高后降低, 腐蚀电流密度先减小后增大, 含 10%WC 的涂层拥有最好的耐蚀性能。同时, 从图 3b 奈奎斯特图可以看出, 含 5%WC 的复合涂层阻抗半圆的半径最小; 含 30%、20%WC 的涂层阻抗半圆的半径接近, 但含 20%WC 涂层阻抗半圆的半径要比含 30%WC 的稍大一点; 含 10%WC 涂层阻抗半圆的半径最大, 其耐蚀性能最好, 这与极化曲线得到的结论一致。过量 WC 的加入, 由于 WC 熔点高, 在熔覆过程中有较多的未熔 WC 颗粒存在, 就相对增加了涂层中界面密度和原电池的数目, 使腐蚀速率增大。

图 4 为不同 WC 含量定向结构涂层电化学测试后的表面腐蚀形貌。含 5%WC 的涂层表面发生了明显的腐蚀, 黑色区域为其被腐蚀区域, 其腐蚀面积最大、腐蚀坑明显, 主要发生晶界腐蚀现象和部分微区域的晶内腐蚀。含 30%WC 的涂层表面腐蚀也较明显, 但相对 5%WC 涂层较轻。而含 10%、20%WC 的涂层表面仅发生轻微点状腐蚀。对耐蚀性能最好的含 10%WC 涂层电化学腐蚀形貌进行了 EDS 点扫描分析, 如图 5 所示。在 SEM 背散射模式下观察到的白色区域为 W 元素聚集区, 但是经电化学腐蚀后, WC 颗粒上明显出现了 2 个不同的色差区域。一种为白色区域, 由图 5b 中显示的原子分数可知, 其主要成分为 WC; 另一种为浅灰色区域, 由图 5c 可知其主要为 WO₃, 而 WO₃ 不溶于酸, 这更有利于提高涂层耐蚀性能。含 W 相界面边缘处有微量 Ni、Cr、Fe 元素存在, 且随着深度增加到 B 区域时 Ni、Cr 元素含量降低, Fe 元素含量为 0, 表明在 W 相晶界处有元素扩散现象发生, 形成了结构致密的界面。

2.1.2 浸泡腐蚀

图 6 为不同 WC 含量定向结构复合涂层表面在 10% H₂SO₄ 溶液中浸泡腐蚀 7 d 后的 SEM 背散射电子形貌。可以看出, 含 5%WC 涂层表面有较多的腐蚀孔, 具有典型的孔蚀特征; 含 10%WC 涂层表面几乎未被

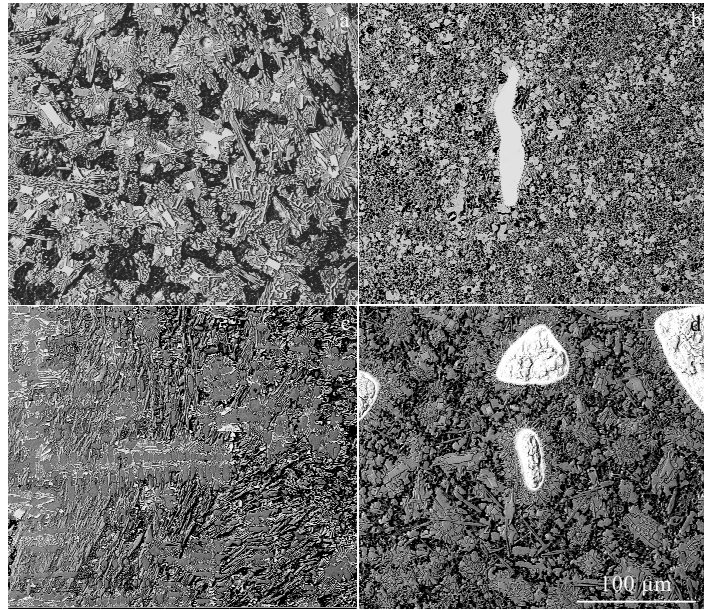


图 4 电化学测试后试样表面腐蚀形貌

Fig.4 Surface corrosion morphologies of samples with different WC contents after electrochemical test: (a) 5%WC, (b) 10%WC, (c) 20%WC, and (d) 30%WC

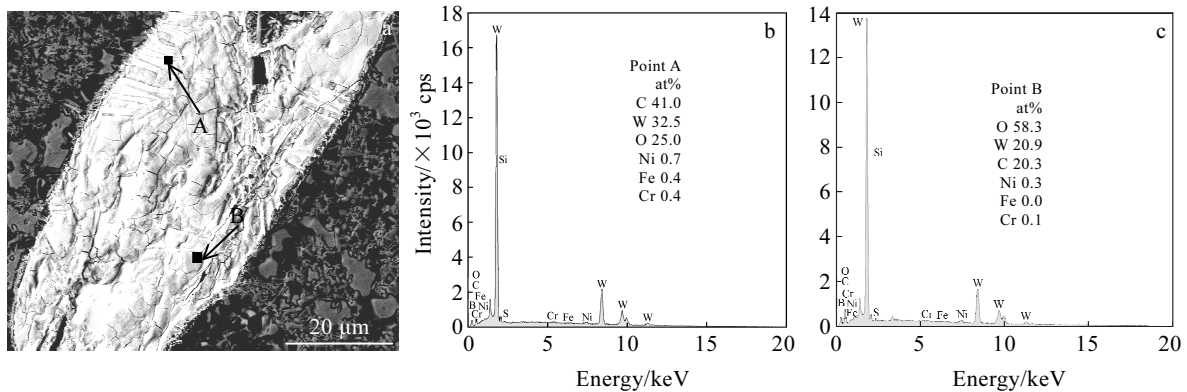


图 5 含 10%WC 定向结构涂层 SEM 形貌及 EDS 分析结果

Fig.5 SEM image (a) and EDS results (b, c) of directional structure coating with 10%WC

腐蚀, 其在 10% H₂SO₄ 溶液中腐蚀轻微; 含 20%WC 涂层有微量的晶内晶间腐蚀; 含 30%WC 涂层表面也表现为腐蚀孔形式, 但是数量少于 5%WC 涂层表面。综上所述, 随着 WC 添加量的增加, 涂层的耐蚀性能先增强后减弱。从 4 种涂层腐蚀表面可知, WC 均未被腐蚀, 即 WC 的加入会阻塞腐蚀通道, 减小腐蚀面积。

2.2 涂层的微观结构特征及对涂层耐腐蚀性的影响

图 7 为制备的不同 WC 含量定向结构涂层截面和表面的 SEM 背散射电子形貌, 其中图 7a、7c、7e、7g 分别为各截面组织, 图 7b、7d、7f、7h 为各表面

组织。可见采用不同质量分数 WC 制备定向结构复合涂层组织差异较大。从截面组织形貌还可以看出, 涂层与基体界面处均形成了一条明显的、平整的冶金结合带, 表明涂层与基体结合牢靠, 除 Ni60-30%WC 涂层外, 其他 3 种涂层结构均形成定向凝固组织结构, 这可能是由于过量的 WC 以未熔固态存在, 这阻碍了定向结构形成过程中晶粒取向的生长。

涂层在熔覆过程中, 尽管 WC 熔点要高于 Ni60 合金, 但感应熔覆的高温会使 WC 发生溶解^[14], 当 WC 含量较低时, 添加的 WC 基本完全溶解, 溶解的

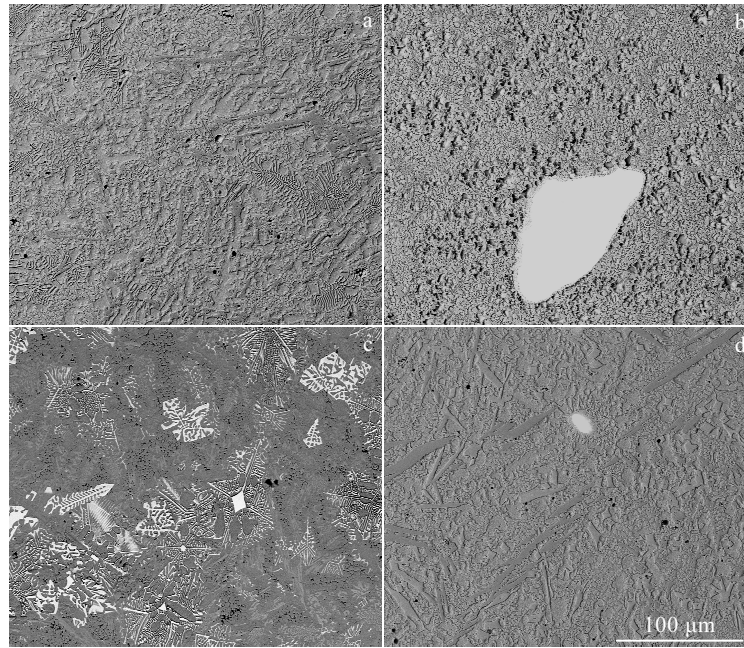


图 6 不同 WC 含量定向结构涂层表面浸泡腐蚀后背散射 SEM 形貌

Fig.6 SEM back-scattered electron images of directional structure coating surface with different contents of WC after immersion corrosion test: (a) 5%WC, (b) 10%WC, (c) 20%WC, and (d) 30%WC

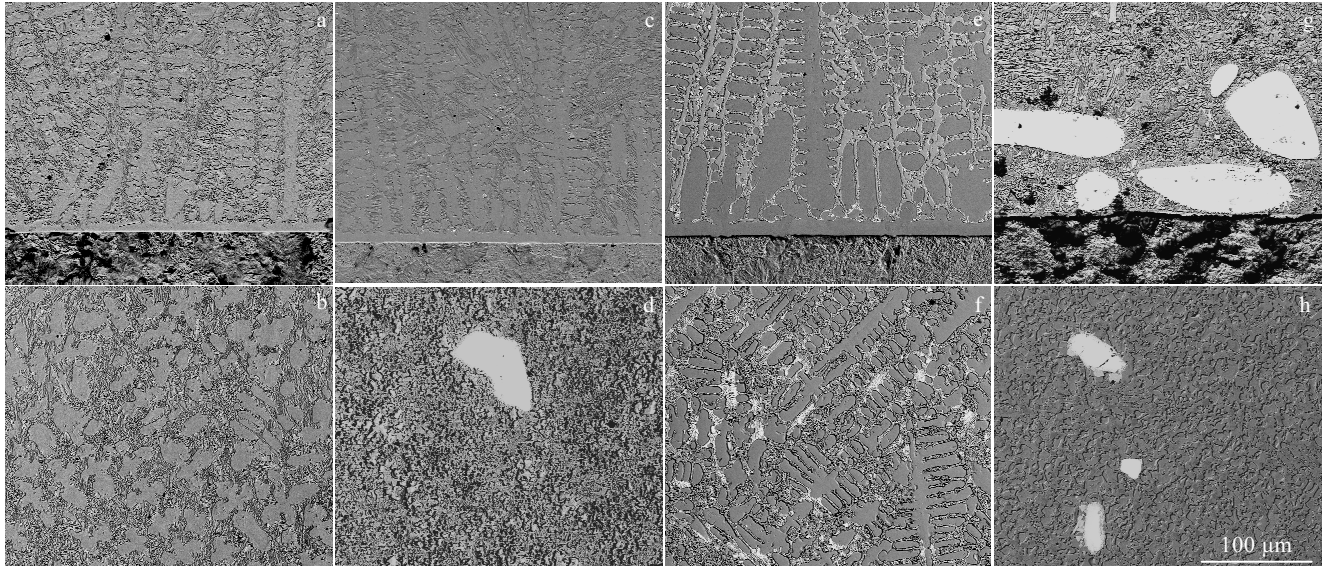


图 7 不同 WC 含量涂层截面和表面背散射 SEM 形貌

Fig.7 SEM back-scattered electron images of directional structure coating cross-section (a, c, e, g) and surface (b, d, f, h) with different contents of WC: (a, b) 5%WC, (c, d) 10%WC, (e, f) 20%WC, and (g, h) 30%WC

WC 在晶界处和基质材料发生互扩散反应，起到填充和强化晶界作用（图 7a、7c 所示）；这有利于强化晶界。由于晶界一般是腐蚀的薄弱区域，这种晶界的强化有利于阻塞腐蚀通道，提高涂层耐腐蚀性能。但随

着 WC 含量增加，晶界 WC 含量也相应增加，过量的 WC 不能和基质材料形成完全互扩散，导致晶界 WC 过剩，如图 7e、7f 所示，添加 20%WC 的涂层，这相应增加了异质相形成腐蚀原电池数量，反而使涂层耐

腐蚀性有所降低。当 WC 含量增加到 30% 时,再熔的基质不能完全使 WC 溶解,导致在涂层熔覆过程中有相当一部分的 WC 颗粒以固体状态存在,大颗粒存在的 WC 不仅阻碍了定向晶生长,使涂层不能形成定向结构,而且显著增加异质相形成腐蚀原电池数量,使涂层耐腐蚀性能进一步降低,如图 7g 所示。

综上所述,添加 10%WC 的涂层,晶界处 WC 基本扩散完全,达到了明显的晶界强化效果,并在该含量下使涂层表面组织细化并出现熔结现象,熔结的组织具有优良的耐腐蚀性能^[15]。正是这种晶界强化、组织细化和结构的熔结使该含量下涂层显示出最优的耐腐蚀性能。

为了进一步验证和分析图 7 中 SEM 照片显示的现象,选取含 10%WC 的涂层对其元素分布进行分析,结果如图 8 所示。由元素分布可以看出,晶界处熔化的 W 元素和涂层元素发生扩散,微量 W 元素有向晶内扩散现象,形成紧密的晶界面,和主要分布在晶界处的 Cr、C、B 等元素共同起到了晶界强化的作用。WC 的添加对 Si 元素的分布有很大的影响,在 W 元素聚集区 Si 元素也发生了聚集,表明生成了 Si 和 W 的金属间化合物。和上述 SEM 照片反映的现象一致。

为了确定定向结构复合涂层中的物相组成,对含 10%WC 定向结构涂层试样进行了 XRD 分析,结果如图 9a 所示。涂层中的物相有铬的化合物,包括 CrB、Cr₂₃C₆,结合图 8,它们主要位于晶界处,其作用类似于硬质相,会增加涂层的耐磨耐腐蚀性能。主峰上检测到 Ni_{2.9}Cr_{0.7}Fe_{0.36}、FeNi₃相,其均为韧性较好的奥氏体

相,能有效保护 WC 颗粒,防止脱落。此外,还检测到了 Ni₂B、Fe₂B、Ni₃Si、WC、W₂C、WSi₂相。由于涂层中原有微量的 Si 存在,位于基质材料晶界,高温熔覆过程中部分 W 与 Si 反应生成了微量的 WSi₂,而硅化物 WSi₂具有熔点高、优良的高温抗氧化性和耐腐蚀性,并可提高材料表面强度^[16]。图 9b 为含 10%WC 涂层在 10% H₂SO₄ 溶液中浸泡腐蚀 168 h 后的 XRD 图谱。浸泡腐蚀 168 h 后,涂层中的物相为 γ -Ni、 γ -(Fe,Ni)、Cr_{0.19}Fe_{0.7}Ni_{0.11}、CrB、Cr₂₃C₆、Ni₂B、FeB、Ni₂Si、WC、W₂C、WSi₂相,与未腐蚀时涂层物相相比无明显变化。但是在腐蚀后涂层中检测到了微量 WO₃相,这与图 5 测试结果一致。说明 H₂SO₄ 腐蚀过程中促进了晶界 WO₃ 的形成,适量 WC 添加使晶界形成致密的结构能起到有效的耐腐蚀晶界强化效果。

结合图 3 电化学测试结果和图 6 浸泡腐蚀形貌,当 WC 含量为 5% 时,Ni60-5%WC 涂层腐蚀较为严重,这是由于加入的 WC 含量过少,虽有少许 WC 位于晶界处,但是晶界阻塞效应不明显。随 WC 含量增加,涂层耐蚀性能先增加而后下降,添加 10%WC 的涂层耐蚀性最好,这和前述其组织结构分析和电化学测试结果一致。当 WC 含量为 30% 时,WC 的过量,导致大量未熔颗粒的存在,且其熔点要高于 Ni 基基体材料,在镍基合金再熔时,对流的不充分,使密度较大的 WC 颗粒向界面沉积,位于涂层底部^[17]。WC 在涂层底部的沉积,不仅阻挡晶粒取向生长,使涂层难于形成定向结构组织,但使组织细化,晶界密度升高,对耐腐蚀性产生不利影响^[18],而且过量未熔的 WC 大

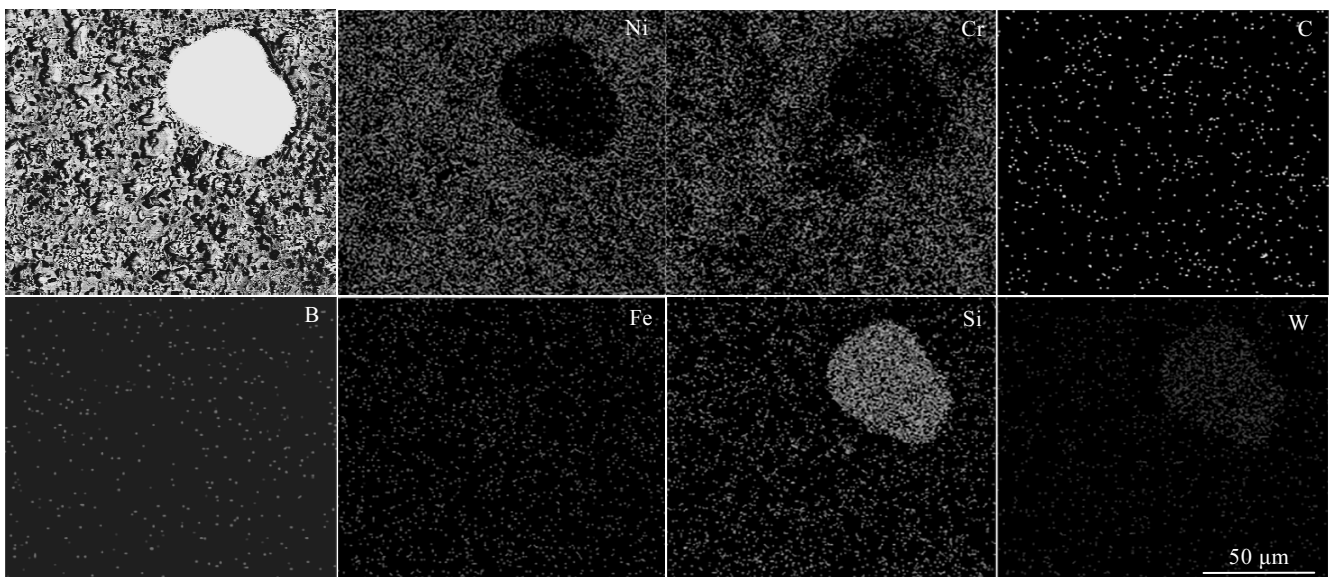


图 8 含 10%WC 定向结构涂层 SEM 形貌及元素面分布

Fig.8 SEM image and element maps of directional structure coating surface with 10%WC

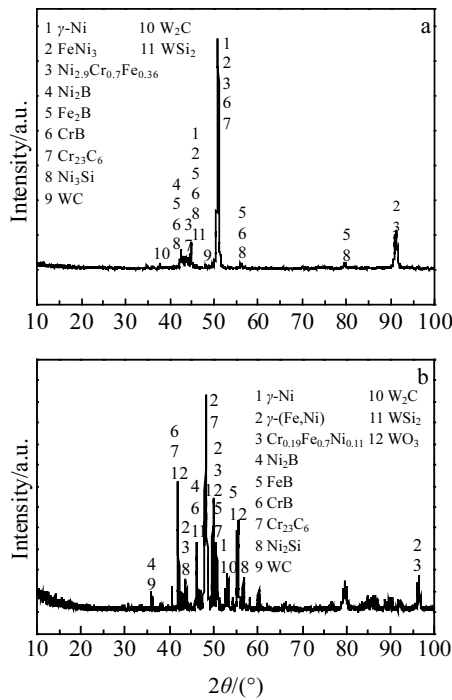


图 9 含 10%WC 定向结构涂层试样的 XRD 图谱
Fig.9 XRD patterns of directional structure coatings with 10%WC (a) and the coatings after immersion corrosion for 168 h (b)

颗粒不能和晶粒形成有效结合,反而会增加腐蚀通道,综合结果导致 WC 过量时耐腐蚀性下降。从含 30%WC 图中发现,涂层内部存在孔缺陷,这是由于内部呈固态 WC 接触区在涂层凝固过程中得不到有效补缩,从而形成孔隙,降低了涂层的耐腐蚀性能^[19,20]。

3 结 论

1) 电化学极化曲线拟合结果表明,添加 10%WC 定向结构 Ni60/WC 复合涂层具有明显更低的电流密度,耐蚀性能优于含 5%、20%、30%WC 的涂层。

2) 不同 WC 含量的定向结构涂层在 10% H₂SO₄ 中静态浸泡腐蚀 7 d 后,含 5%、30%WC 的涂层以点蚀为主,含 20%WC 涂层则为晶内晶间腐蚀,而含 10%WC 涂层表面未见明显腐蚀。

3) WC 的添加影响了涂层的组织结构和物相,WC 在晶界处的反应和对晶界的强化有效阻挡了腐蚀通道,提高了涂层耐蚀性能。

参考文献 References

[1] Yang Dan(杨丹), Ning Yuheng(宁玉恒), Zhao Yuguang(赵曙光) et al. *Materials Reports(材料导报)*[J], 2017, 31(24): 133

[2] Liu Yudong(刘玉栋), Zhou Yong(周勇), Ma Xiaolin(马晓琳). *Surface Technology(表面技术)*[J], 2016, 45(9): 71

[3] Zhang Baohong(张宝宏), Cong Wenbo(丛文博), Yang Ping(杨萍). *Electrochemical Corrosion and Protection of Metals(金属电化学腐蚀与防护)*[M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2005: 13

[4] Zhang Qiang, Tang Rui, Yin Kaiju et al. *Corrosion Science*[J], 2009, 51(9): 2092

[5] Chang J H, Chang C P, Chou J M et al. *Surface and Coatings Technology*[J], 2010, 204(20): 3173

[6] Baldrige T, Poling G, Foroozmehr E et al. *Optics and Lasers in Engineering*[J], 2013, 51(2): 180

[7] Xu Jinsha, Zhang Xiancheng, Xuan Fuzhen et al. *Materials Science and Engineering A*[J], 2013, 560: 744

[8] Meng Lingdong(孟令东), Tan Jun(谭俊), Zang Yan(臧艳) et al. *China Surface Engineering(中国表面工程)*[J], 2017, 30(2): 143

[9] Chen Maojun(陈茂军), Li Guoming(李国明). *Surface Technology(表面技术)*[J], 2008, 37(2): 50

[10] Lee C H, Min K O. *Surface and Coatings Technology*[J], 2000, 132(1): 49

[11] Cho J E, Hwang S Y, Kim K Y. *Surface and Coatings Technology*[J], 2006, 200(8): 2653

[12] Farahmand P, Kovacevic R. *Surface and Coatings Technology* [J], 2015, 276: 121

[13] Yang Xiaotian(杨效田), Wang Pengchun(王鹏春), Li Xia(李霞) et al. *Rare Metal Materials and Engineering(稀有金属材料与工程)*[J], 2017, 46(3): 693

[14] Yuan Youlu(袁有录), Li Zhuguo(李铸国). *Journal of Materials Engineering(材料工程)*[J], 2013(11): 12

[15] Zhao Qing(赵晴), Zhang Zhiyou(章志友), Chen Ning(陈宁). *Surface Technology(表面技术)*[J], 2007, 36(4): 4

[16] Meng Xianxian(孟宪娴), Liu Yingkai(刘迎凯), Bi Fangzhi(毕方智). *Bulletin of the Chinese Ceramic Society(硅酸盐学报)*[J], 2007, 26(3): 615

[17] Wu P, Du H M, Chen, X L et al. *Wear*[J], 2004, 257(1-2): 142

[18] Wang Xiaomei(王晓梅). *Corrosion and Protection(腐蚀与防护)*[J], 2015, 36(8): 695

[19] Guan Shaokang(关绍康), Sun Yufu(孙玉福), Sun Fujun(孙富巨) et al. *Fundamentals of Materials Forming(材料成形基础)*[M]. Changsha: Central South University Press, 2009: 183

[20] Wang Xiaoming(王晓明), Zhu Sheng(朱胜), Yang Baijun(杨柏俊) et al. *Rare Metal Materials and Engineering(稀有金属材料与工程)*[J], 2017, 46(12): 3779

Effect of WC Content on Corrosion Resistance of Directional Structure Ni60 Coating

Yang Xiaotian^{1,2}, Li Xiuqian¹, Li Xia³, Yang Qiangbin⁴, Zhou Jun¹, Li Wensheng¹

(1. State Key Laboratory of Advanced Processing and Recycling of Nonferrous Metals,
Lanzhou University of Technology, Lanzhou 730050, China)

(2. Wenzhou Engineering Institute of Pump & Valve, Lanzhou University of Technology, Wenzhou 325105, China)

(3. School of Chemical and Biological Engineering, Lanzhou Jiaotong University, Lanzhou 730070, China)

(4. Chongqing Key Laboratory of Environmental Materials & Remediation Technologies,
Chongqing University of Arts and Sciences, Chongqing 402160, China)

Abstract: In order to study the influence of WC content on the corrosion resistance of Ni60 alloy coating and the related mechanism, WC of different contents was added to Ni60 self-fused alloy powder, and Ni60/WC directional structure composite coatings were prepared on 45# steel by induction remelting and forced cooling technology. The corrosion resistance and mechanism of WC particles reinforced Ni60 alloy directional structure composite coatings were investigated by SEM, EDS, XRD, electrochemical test and immersion corrosion. Results show that the polarization resistance of the composite coatings increases first and then decreases with the increase of WC, and the maximum polarization resistance reaches 9710.8 Ω when the WC addition amount is 10%. The corrosion current density of the composite coatings decreases first and then increases, and the minimum current density reaches 1.34×10^{-6} A/cm² with 10% WC content. The WC content has an important effect on microstructures, element distribution, phases of composite coatings, and further affects the corrosion resistance.

Key words: nickel-based alloy; WC particles; directional structure; composite coatings; corrosion resistance

Corresponding author: Yang Xiaotian, Ph. D., Associate Professor, College of Materials Science and Engineering, Lanzhou University of Technology, Lanzhou 730050, P. R. China, Tel: 0086-931-2976378, E-mail: 398830990@qq.com