DOI:10.20038/j.cnki.mra.2025.000211

超音速火焰喷涂WC-10Co4Cr涂层及其耐微动磨损性能

杨雨晨1,吴静1*,袁福河2

(1. 沈阳理工大学材料科学与工程学院, 辽宁 沈阳 110159; 2. 中国航发沈阳黎明航空发动机有限责任公司, 辽宁 沈阳 110043)

摘要:航空、舰船用发动机零部件的喷涂耐磨涂层需具有抗摩擦磨损性能,其中碳化钨(WC-Co)涂层是 500℃以下最常使用的耐磨涂层之一。然而,目前使用的WC-12Co等常规碳化钨耐磨涂层在高温、高湿、 高盐等海洋环境下耐腐蚀性能较差,使用寿命较短,使长期在海洋腐蚀环境下服役的舰船用发动机的压气 机机匣等涂层零件存在过早失效的风险。超音速火焰(HVOF)喷涂,可使喷涂粉末颗粒的速率达 600-1000 m·s⁻¹, 对零件喷涂表面的冲击动能大, 制备出的涂层孔隙率小、组织致密、硬度高、拉伸结合强 度大且加工后表面光滑,具有显著的耐磨损性能。HVOF喷涂制备的WC-10Co4Cr涂层,由于粉末中细小 碳化钨(WC)颗粒和Co金属合金粘结剂中固溶的金属铬(Cr)可增强涂层的抗腐蚀性能,从而延长磨损零 件在海洋环境中的使用寿命。因此,以煤油和氧气为喷涂燃料,采用超音速火焰喷涂喷雾干燥烧结 WC-10Co4Cr粉末的方法,在GH907变形高温合金基体试样表面制备WC-10Co4Cr耐磨耐腐蚀涂层。结 果表明,WC-10Co4Cr涂层为高密度涂层,孔隙率为0.63%,表面颗粒细小且粗糙度(Ra)值在2.5 µm以 下。这是由于在喷涂过程中,喷雾烧结粉末中强化相WC颗粒棱角部位固溶在熔融Co合金中,且均匀、弥 散分布在涂层内。XRD分析结果表明,WC-10Co4Cr涂层主要由WC和Co非晶合金两相组成,另外还有 少量的W2C相。说明,喷涂WC-10Co4Cr耐磨耐腐蚀涂层具有较高的拉伸结合强度和表面洛氏硬度值。 与GH907变形高温合金相比,WC-10Co4Cr涂层的微动磨损摩擦系数减小了25%,微动磨损体积仅为 GH907 高温合金的15%。表明, HVOF喷涂WC-10Co4Cr涂层具有优异的耐微动磨损性能,促进了其在舰 船动力装备上的应用,从而使合金零部件免遭受微动磨损和腐蚀损伤失效。

关键词:超音速火焰喷涂;WC-10Co4Cr;耐磨涂层;显微组织;非晶相;洛氏硬度;拉伸结合强度;微动磨损
中图分类号:TG144.44;V263
文献标志码:A
文章编号:1673-9981(2025)02-0308-06

引文格式:杨雨晨,吴静,袁福河.超音速火焰喷涂WC-10Co4Cr涂层及其耐微动磨损性能[J].材料研究与应用,2025,19(2): 308-313.

YANG Yuchen, WU Jing, YUAN Fuhe. HVOF Sprayed WC-10Co4Cr Coating and Its Fretting Wear Resistant Properties[J]. Materials Research and Application, 2025, 19(2): 308-313.

0 引言

航空、舰船用发动机零部件需要喷涂耐磨涂层, 以提高其抗摩擦磨损性能。其中,WC-Co涂层是 500℃以下最常使用的耐磨涂层之一^[1]。通常WC-Co涂层中钻的质量分数为12%和17%,与12%钻 碳化钨涂层相比,钻含量为17%碳化钨涂层的硬度 低,但韧性好且不易开裂。喷涂金属基碳化钨涂层 的方法目前有大气等离子喷涂(APS)、超音速火焰 喷涂(HVOF)和爆炸喷涂(D-GUN)^[2]。APS喷涂 工艺成本低、应用广泛,但是APS喷涂的碳化钨涂 层孔隙率大,这使涂层的耐磨性能受到不利影响。 HVOF和D-GUN喷涂工艺,由于喷涂时焰流中粉 末速率达 600—1 000 m·s⁻¹,粉末颗粒冲击零件喷涂 表面的动能大,因此涂层孔隙率小、组织致密^[3],可 以使涂层耐磨性能得到显著提高。航空、舰船发动 机零部件需要喷涂耐磨涂层以提高其使用寿命,但 目前使用的 WC-12Co等常规碳化钨耐磨涂层在高 温、高湿、高盐等海洋环境下,耐腐蚀性能较差及寿 命短^[4]。例如,高压压气机后机匣零件使用 GH907 变形高温合金制造,其表面涂覆了耐腐蚀性能较差 的大气等离子喷涂 WC-12Co耐磨涂层,使长期在海 洋腐蚀环境下服役的舰船用发动机的压气机机匣等 涂层零件存在过早失效的风险。HVOF 喷涂的 WC-10Co4Cr涂层通过研磨和超精加工可以达到镀

收稿日期:2025-03-06

基金项目:辽宁省教育厅基本科研项目(LJKMZ20220589)

作者简介:杨雨晨,本科生,研究方向为金属材料。E-mail:applecabal@163.com。

通信作者:吴静,博士,副教授,研究方向为功能涂层设计与制备。E-mail:wujing_sylu@163.com。

铬层的光洁度,是硬镀铬的极好替代涂层材料,因此 在国内外被广泛用于飞机起落架零部件上。该涂层 主要使用HVOF喷涂工艺技术制备,以氧气和煤油 作为燃料,获得高结合强度的抗剥落涂层,且加工后 的涂层表面光滑、组织致密和硬度高。

HVOF 喷涂使用的 WC-10Co4Cr 粉末,其中细 小 WC 颗粒和 Co 金属合金粘结剂中固溶的铬可以 增强涂层的抗腐蚀性能^[5-6],以满足海洋腐蚀环境中 500 ℃以下工作零部件的耐腐蚀要求。大量研 究^[7-11]结果表明,WC-10Co4Cr涂层具有较优异的耐 滑动磨损性能。但是,目前还没有 HVOF 喷涂 WC-10Co4Cr涂层耐微动磨损性能的研究报道。为了保 证涂层具有耐微动磨损性能,需要在 HVOF 喷涂 WC-10Co4Cr涂层工艺研究的基础上,进一步探究 涂层的显微组织致密性,以及其优异的耐微动磨损 等力学性能。

1 实验部分

1.1 实验材料

涂层试样基体合金材料为不含Cr和Al抗氧化 元素的以铁-镍-钴为基的第二代低膨胀高温合金 GH907,试样加工前需进行固溶处理(1040℃下保 温1h)和时效强化热处理(800℃下保温16h、620℃ 下保温8h)。GH907合金的主元素成分列 于表1^[12]。

表 1 GH907合金成分 Table 1 Composition of GH907 alloy

成分	С	Ni	Со	Ti	Nb+Ta	Si	Fe
含量w/%	≪0.06	35.0-40.0	12.0—16.0	1.30-1.80	4.30-5.20	0.07-0.35	余量

HVOF 喷涂 WC-10Co4Cr 耐磨涂层所用粉末,采用喷雾干燥和烧结方法制备。粉末粒度值为45 µm以下,组成成分列于表2。该粉末中的Co-Cr合金对WC有良好的润湿能力,可作为WC颗粒粘结剂,其作用是提高涂层与合金基体的结合强度和陶瓷颗粒之间的粘聚强度。

表2 WC-10Co4Cr粉末的组成成分

Table 2	Composition of the WC-10Co4Cr powder				
成分	Со	Cr	Fe	С	W
含量w/%	9.99	3.68	0.01	4.15	余量

1.2 涂层制备工艺

采用 HVOF 喷涂设备喷涂 WC-10Co4Cr 金属 陶瓷耐磨涂层,为确保涂层致密并具有更好的抗氧

化、抗腐蚀性能,以煤油和氧气为喷涂燃料,其中煤 油成分为碳水化合物,分子的碳、氢原子比为 1.953,每分子的碳原子数量为10—16。假设碳原 子数量为13,则与氧的反应式如下。

$C_{13}H_{25.39}$ +19.35 O_2 -13 CO_2 +12.7 H_2O

根据该反应式计算出氧/煤油的质量比为3.4, 由于氧的密度为1.429 kg·m⁻³、煤油密度为 0.775 kg·L⁻¹,可推算出燃烧产生中性火焰的氧/煤 油的计量比(体积比)为2054:1。调节控制HVOF 喷涂的工艺参数,在喷涂过程保证粉末的钴合金相 组元熔化及碳化钨陶瓷颗粒部分熔化,以实现粉末 撞击基体表面时发挥出高速动能产生的效果,从而 获得高密度WC-10Co4Cr耐磨涂层。表3为HVOF 工艺的主要参数。

表 3 HVOF 喷涂制备 WC-10Co4Cr 涂层的工艺参数 Table 3 HVOF spray parameters for the WC-10Co4Cr wear resistant coating

工艺参数	喷涂距离/mm	送粉量/(g·min ⁻¹)	氧气		煤油	
			流量/(L•min ⁻¹)	压强/MPa	流量/(L•h ⁻¹)	压强/MPa
参数值	370	80	850	1.4	15	1.2

1.3 性能测试

使用接触式的 Surtronic 25 粗糙度仪测量喷涂 态涂层表面的 Ra值,其中触针尖端直径为 10 μm, 测试的取样长度为 0.8 mm、扫描长度 4.0 mm、量程 为 10 μm。

采用 TH320 全洛氏硬度仪测量 WC-10Co4Cr 耐磨涂层表面的洛氏硬度 HR(15 N),其中圆锥为 顶角 120°、曲率半径 0.2 mm 的金刚石压头,初载荷 和主载荷分别为 3 和 12 kg,加载时间 5 s,载荷保持

和卸载时间分别为13和4s。

使用 50 kN 电子拉力试验机,对直径为 25.4 mm、厚度为6 mm的圆片涂层试样进行轴向 拉伸(正拉法),以测得结合强度。其中,拉伸速率为 1 mm·min⁻¹,粘结涂层圆片试样的胶粘剂为 FM1000薄膜胶。

使用摩擦磨损试验机进行 HVOF 喷涂 WC-10Co4Cr涂层和GH907合金的微动磨损试验,其中 载荷 50 N、行程 0.1 mm、磨损频率 100 Hz、实验时 间 1 h、室温。上试样为直径 9.525 mm 的氮化硅 (Si₃N₄)陶瓷球,下试样为测试合金与 WC-10Co4Cr 耐磨涂层样品。在完成微动磨损实验后,采用 KEYENCE VR-3200型号的 3D轮廓测量仪测量磨 损下试样的磨损体积。

采用光学显微镜和扫描电子显微镜观察涂层表 面和截面形貌,其中界面污染和孔隙率为喷涂耐磨 涂层的重要指标。界面污染是指涂层与基体之间嵌 入的砂粒或其他外来物质,通过计算界面上的砂粒 和其他污染物总长度占整个视场总长度的百分比作 为涂层的界面污染率。采用面积法测量涂层的孔隙 率,即计算测量的光学显微镜视场内或者拍照图片 内涂层的孔隙面积所占整个涂层总面积的百分比。 用 Rigaku X 射线衍射(XRD)设备分析涂层中的相组成,检测使用的靶材为Cu靶,测试速率为5 (°)•min⁻¹,衍射角(2θ)值在10°—80°范围内,步长为 0.02°,波长1.5418Å,电压和电流分别为40 kV和 30 mA。

2 结果与讨论

2.1 涂层组织

图 1 为不同放大倍数下 HVOF 喷涂的 WC-10Co4Cr耐磨涂层的表面形貌。从图 1 可见,涂层 比较致密,表面颜色均匀一致,无裂纹、剥落、分层和 边缘翘起等缺陷,并且涂层表面颗粒细小且相对平 滑,Ra值在2.5 μm以下。



图 1 不同放大倍数观察 HVOF 喷涂的 WC-10Co4Cr 涂层表面形貌 Figure 1 Surface morphologies of the HVOF sprayed WC-10Co4Cr coating at different magnifications

图 2 为 WC-10Co4Cr 耐磨涂层的截面形貌。从 图 2 可见, HVOF 喷涂的 WC-10Co4Cr 耐磨涂层与 基体界面应结合良好,无分层现象。经实测界面污 染率为 5.2%,孔隙率为 0.63%。由于 HVOF 喷涂 的 WC-10Co4Cr 粉末颗粒细小, 有利于涂层中 WC 相弥散分布。



图 2 光学显微镜观察 WC-10Co4Cr耐磨涂层的截面形貌 Figure 2 OM cross section morphology of the WC-10Co4Cr wear resitant coating

图 3 为 WC-10Co4Cr 涂层截面扫描电镜照片。 从图 3 可以看出,碳化钨颗粒的棱角在喷涂过程中 被消除。这是由于喷涂焰流的温度高,较大比表面 积碳化钨颗粒的棱角部位更容易熔解于钴合金熔体 中,从而产生形状的变化^[13-14]。陈小明^[10]和李松 林^[11]等对超音速火焰喷涂 WC-10Co4Cr 涂层组织 进行研究,证实了上述的碳化钨截面形貌特征和结



图 3 WC-10Co4Cr耐磨涂层的 SEM 截面形貌 Figure 3 SEM cross section morphology of the WC-10Co4Cr wear resistant coating

论。微细的硬质 WC 颗粒均匀分布在涂层中,有利 于涂层具有很好的耐磨损性能^[15]。

为了解涂层的相结构,对WC-10Co4Cr涂层进 行X射线衍射相结构定性分析,结果如图4所示。 从图4可以看出,HVOF喷涂的WC-10Co4Cr涂层 主要由WC相和W₂C相组成,在40°—45°范围内的 衍射峰为Co合金的漫散峰。该漫散峰的出现,主要 是钴合金喷涂到涂层表面后快速冷却而生成的非晶 态合金所产生的^[16]。李松林等^[11]在超音速火焰喷 涂WC-10Co4Cr涂层的耐滑动磨损性能研究工作中 也得到了类似结果。

从图4还可见,W₂C衍射峰的强度值较小。说明,HVOF喷涂的涂层内W₂C等相含量极少,可以认为HVOF喷涂过程中WC和Co-Cr合金粉末在焰流内氧化程度均不严重^[17-18]。





元素 W 和 C 溶解到钴合金内,大大增强了钴合 金的非晶形成能力。李长久^[19]等则认为非晶相为 Co-W-C 三元合金,且该非晶相在 600 ℃时容易晶化 生成 Co₆W₆C 晶体合金。在热喷涂碳化钨/钴涂层 时,粉末中碳化钨、钴合金两个组元都可以被氧化。 尤其是碳化钨相,更容易被氧化和分解,其氧化分解 反应^[20]如下。

 $2WC = W_2C + C$

 $C + O_2 \rightarrow CO_2$

由于经喷雾烧结后处理的WC-10Co4Cr粉末, 其中碳化钨相组元在500—800℃空气中容易遭受 严重氧化而分解为W₂C和C(碳),因此需要根据 HVOF喷涂焰流的氧化还原性质控制喷涂气体流 速、焰流温度及粉末在焰流中的飞行时间,同时要求 送粉速率不能太低。已有研究^[21]结果表明,分解程 度及涂层的致密度、硬度等主要受氧气、燃油的压强 及流动速率等工艺参数的影响。随着氧燃气压强的 提高,WC分解程度减少,涂层气孔率降低,显微硬 度提高;随着氧气流动速率的增加,WC分解程度减 少,涂层气孔率增加,显微硬度呈现先增加随后下降 的趋势;随着燃气流动速率增加,WC分解程度增 加,涂层的气孔率降低,硬度也同样呈现先增加随后 下降的趋势;随着喷涂距离的增加,WC分解程度变 化不大,但涂层气孔率增加,硬度减小。

2.2 涂层常规性能

图 5 为涂层试样断口形貌。从图 5 可见,在涂层 试样拉伸过程中主要在 FM1000 胶内断裂。经实 测,WC-10Co4Cr耐磨涂层拉伸结合强度值比较大, 分别为 72.54、70.89 和 73.82 MPa(FM1000 胶的空 白胶拉伸结合强度值为 69.7 MPa)。说明,WC-10Co4Cr耐磨涂层的实际结合强度要大于上述检 测值。



图 5 WC-10Co4Cr涂层结合强度试样的拉伸断口形貌 Figure 5 Tensile fracture morphologies of WC-10Co4Cr coating bond strength specimens

HVOF 喷涂的 WC-10Co4Cr 涂层硬度 HR (15 N)值较高,测量5个位置的表面洛氏硬度值分 别为91.8、92.6、91.7、93.1和92.5,其平均硬度值 为92.3。在热喷涂涂层形成过程中存在热能和动 能(即温度和速率)两大关键因素,HVOF射流带动 粉末颗粒高速撞击基体喷涂表面,其具有的动能与 颗粒速率的平方成正比,高速动能转变成热能和变 形能。热能起到促进火焰焰流加热的作用而使基体 表面薄层熔化,从而大大提高喷射颗粒与基体的结 合强度;而变形能则使颗粒变形和扁平化,从而填充 满颗粒之间的空隙,获得低孔隙率的高硬度 WC-10Co4Cr涂层。

2.3 耐微动磨损性能

表4为氮化硅与HVOF喷涂WC-10Co4Cr耐磨 涂层和GH907合金试样的微动磨损稳定阶段的摩 擦系数。由表4可以看出,与GH907合金相比, WC-10Co4C涂层与陶瓷球对磨的摩擦系数减小了 约25%。

Table 4	Table 4 $$ Friction coefficients between the Si $_3N_4$ ball and GH907, the WC-10Co4Cr coating				
试样	摩擦系数	摩擦系数平均值			
GH907	0.7155,0.7175,0.7130	0.7153			
WC-10Co4Cr	0. 552 7,0. 530 7,0. 533 5	0. 539 0			

表4 氮化硅球与GH907及WC-10Co4Cr耐磨涂层之间的摩擦系数

表 5 为 GH907 合 金 及 其 WC-10Co4Cr 耐 磨 涂 层的磨损体积。由表5可以看出,HVOF喷涂的 WC-10Co4Cr涂层微动磨损体积只有GH907合金 基体的15%左右。说明,WC-10Co4Cr耐磨涂层可

以极大地降低GH907与陶瓷球微动磨损体积,有利 于显著延长类似服役工况条件下的GH907合金机 匣等零件的服役寿命。

表5 GH907合金及其WC-10Co4Cr耐磨涂层的磨损体积 Table 5 Wear volumes of GH907 superalloy and its WC-10Co4Cr coating

试样	磨损体积/(×10 ⁶ µm ³)	磨损体积平均值/(×10 ⁶ μm ³)
GH907	16.5,16.6,16.9	16.7
WC-10Co4Cr	2.1,3.2,2.4	2.5

HVOF喷涂的低孔隙率WC-10Co4Cr涂层具 有良好耐磨性能,这与其组织致密、近球形WC颗粒 在钴合金内的弥散强化,以及HVOF涂层的韧性 好、残余应力低、自结合强度高等因素有关。

3 结论

(1)采用 HVOF 喷涂工艺喷雾团聚烧结 WC-10Co4Cr粉末的方法,制备了孔隙率为0.63%的高 密度WC-10Co4Cr耐磨涂层。

(2)在HVOF喷涂过程中,喷雾烧结粉末中碳 化钨颗粒的棱角部位固溶在熔融Co合金中,且碳化 钨强化相均匀、弥散分布在涂层Co合金基体内。除 了少量的W₂C相以外,涂层主要相为WC强化相和 非晶Co合金基体相。

(3)以GH907变形合金作为基体,HVOF喷涂 的WC-10Co4Cr耐磨耐腐蚀涂层结合强度不低于 70 MPa,表面洛氏硬度HR(15 N)值不小于90。

(4) 与 GH907 变 形 高 温 合 金 相 比, WC-10Co4Cr耐磨耐腐蚀涂层与氮化硅陶瓷球的微动磨 损摩擦系数减小了25%,其微动磨损体积只有合金 的15%。

参考文献:

- [1] BERGER L M. Hardmetals as thermal spray coatings [J]. Powder Metallurgy, 2007, 50(3): 205-214.
- [2] GENG Z, HOU S, SHI G, et al. Tribological ehavior at various temperatures of WC-Co coatings prepared using different thermal spraying techniques [J]. Tribology International, 2016, 104: 36-44.
- [3] SOBOLEV V V, GUILEMANY J M, NUTTING J. High velocity oxy-fuel spraying theory, structureproperty relationships and applications [M]. London: Maney Publishing, 2004: 5.
- [4] BABU P S, MADHAVI Y, KRISHNA L R, et al.

Thermally-sprayed WC-based cermet coatings for corrosion resistance applications [J]. JOM, 2018, 70 (11): 2636-2649.

- [5] TOMA D, BRANDL W, MARGINEAN G. Wear and corrosion ehavior of thermally sprayed cermet coatings [J]. Surface and Coatings Technology, 2001, 138(2-3): 149-158.
- [6] XU F, ZOU Y, WANG J, et al. Study on the interaction between corrosion and sliding wear of thermal spraying WC-10Co4Cr coating [J]. Journal of Thermal Spray Technology [2025-08-19]. https://link. springer.com/article/10.1007/s11666-025-01960-2.
- [7] KARAOGLANLI A C, OGE M, DOLEKER K M, et al. Comparison of tribological properties of HVOF sprayed coatings with different composition [J]. Surface and Coatings Technology, 2017, 318: 299-308.
- [8] MISHRA T K, KUMAR A, SINHA S K. Experimental investigation and study of HVOF sprayed WC-12Co, WC-10Co-4Cr and $\mathrm{Cr_3C_2\text{-}25NiCr}$ coating on its sliding wear behaviour [J]. International Journal of Refractory Metals and Hard Materials, 2021, 94: 105404.
- [9] PULSFORD J, VENTURI F, PALA Z, et al. Application of HVOF WC-Co-Cr coatings on the internal surface of small cylinders: Effect of internal diameter on the wear resistance [J]. Wear, 2019, 432: 202965.
- [10] 陈小明,周夏凉,吴燕明,等. HVOF喷涂 WC-10Co4Cr涂层的性能及滑动磨损机理[J]. 表面技术, 2017, 46(3): 119-123.
- [11] 李松林, 向锦涛, 周伍喜, 等. 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.
- 「12]《中国航空材料手册》编辑委员会.中国航空材料手 册:第2卷.变形高温合金铸造高温合金[M].北京: 中国标准出版社, 2007: 175-185.

- [13] BABU P S, MADHAVI Y, KRISHNA L R, et al. Thermally-sprayed WC-based cermet coatings for corrosion resistance applications [J]. JOM, 2018, 70: 2636-2649.
- [14] KOMAROV P, JECH D, TKACHENKO S, et al. Wetting behavior of wear-resistant WC-Co-Cr cermet coatings produced by HVOF: The role of chemical composition and surface roughness [J]. Journal of Thermal Spray Technology, 2021, 30: 285-303.
- [15] 邓世均.高性能陶瓷涂层[M].北京:化学工业出版 社,2004:189.
- [16] SOBOLEV V V, GUILEMANY J M, NUTTING J. High velocity oxy-fuel spraying theory, structureproperty relationships and applications [M]. London: Maney Publishing, 2004: 246.
- [17] AZIZPOUR M J, RAD M T. The effect of spraying temperature on the corrosion and wear behavior of

HVOF thermal sprayed WC-Co coatings[J]. Ceramics International, 2019, 45(11): 13934-13941.

- [18] SHIPWAY P H, MCCARTNEY D G, SUDAPRASERT T. Sliding wear behaviour of conventional and nanostructured HVOF sprayed WC-Co coatings[J]. Wear, 2005, 259(7-12): 820-827.
- [19] LI C J, OHMORI A, HARADA Y. Formation of an amorphous phase in thermally sprayed WC-Co [J]. Journal of Thermal Spray Technology, 1996, 5 (1): 69.
- [20 邓世均.高性能陶瓷涂层[M].北京:化学工业出版 社,2004:52.
- [21] SOBOLEV V V, GUILEMANY J M, NUTTING J. High velocity oxy-fuel spraying theory, structureproperty relationships and applications [M]. London: Maney Publishing, 2004: 101-111.

HVOF Sprayed WC-10Co4Cr Coating and Its Fretting Wear Resistant Properties

YANG Yuchen¹, WU Jing^{1*}, YUAN Fuhe²

(1. School of Materials Science and Engineering, Shenyang Ligong University, Shenyang 110159, China; 2. AECC Shenyang Liming Aero-Engine Co. Ltd., Shenyang 110043, China)

Abstract: Wear resistant coatings are required to improve the wear resistant properties of many aero-engine components. WC-Co coatings are widely used for applications below 500 °C as the wear resistant coatings. Nonetheless, conventional WC-12Co coatings exhibit insufficient corrosion resistance in high-temperature, salt-rich marine environments, leading to premature failures in marine propulsion engines. the corrosion resistance of conventional tungsten carbide coatings, such as WC-12Co, exhibit insufficient corrosion resistance in heavy-wet, salt-rich and high temperature marine environments, leading to premature failures in marine propulsion engines. As the particles in spray flame can achieve flying rates of $600-1000 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ during HVOF spray process, powder particles gain a great impetus as they strike the sprayed surface of a component, resulting in highly densified and spallation resistant coatings prepared with small porosity, high hardness and tensile bond strength. Moreover, the surfaces of machined coatings are smooth, which further increase the coating wear resistance. The fine WC particles and Cr contained in the Co binder amorphous alloy can enhance corrosion resistance of the coatings and increase the service lives of worn coating components in marine environments. In this study, a high density WC-10Co4Cr wear and corrosion resistant coating with 0.63% porosity was applied upon GH907 wrought superalloy substrates, using the high velocity oxygen-fuel spraying process with oxygen and kerosene as spray fuel. Particles deposited onto the coating surface are fine, with a surface roughness (Ra) value below 2.5 μ m. The coating of tungsten carbide-cobalt-chromium powders was prepared by a spray drying and sintering method. The sharp corners of angular tungsten carbide particles in the powder were locally solubilized into the melted cobalt alloy during the HVOF spray process, so that the carbide strengthening phase achieved uniformly dispersion throughout the coating. XRD analysis revealed that the coating primarily consisted of WC and amorphous cobalt solid solution alloy phases with minor W2C. The sprayed WC-10Co4Cr wear and corrosion resistant coating possesses high tensile bond strength and surface Rockwell hardness values. The friction coefficient of the coating was decreased by 25% in comparison with GH907 wrought superalloy under the present fretting wear conditions. The averaged volume loss value of the worn coating specimens was only 15% of that of the GH907 superalloy, measured by contour measuring instruments. These results indicate that HVOF sprayed WC-10Co4Cr coatings possess excellent fretting wear resistance, promoting the application of the HVOF sprayed WC-10Co4Cr coating technology into metal components of marine vessel propulsion engines that suffer from failures due to fretting wear and corrosion damages.

Keywords: high velocity oxygen fuel spray; WC-10Co4Cr; wear resistant coating; microstructure; amorphous phase; Rockwell hardness; tensile bond strength; fretting wear