

高速火焰电弧复合喷涂枪制备 3Cr13 涂层的性能^{*}

陈永雄^a, 胡尧强^{a,b}, 梁秀兵^a, 徐滨士^b, 商俊超^{a,b}, 张秦梁^a

(装甲兵工程学院 a. 机械产品再制造国家工程研究中心, b. 再制造技术重点实验室, 北京 100072)

摘 要: 高速火焰电弧(HVAF-ARC)复合喷涂枪是高速火焰喷涂枪和电弧喷涂枪的结合体,利用产生的高速燃气来雾化加速电弧喷涂过程中产生的熔融粒子,提高了喷涂粒子的飞行速度,降低了粒子的氧化,可高效制备优质的涂层。文中利用自主开发的新型高速火焰电弧复合喷涂枪和普通高速电弧喷涂枪,分别在钢基体上制备了 3Cr13 涂层,通过对涂层的性能检测发现,复合喷涂枪所制备涂层的氧元素含量和孔隙率都比普通高速电弧喷涂枪制备的涂层低,分别降低了 33%和 49%,硬度提高了 12%,复合喷涂枪制备涂层的性能得到较大的提高。

关键词: 热喷涂; 高速燃气电弧喷涂; 喷涂枪

中图分类号: TG174.442

文献标志码: A

文章编号: 1007-9289(2016)02-0098-04

Properties of 3Cr13 Coating Prepared by High Velocity Air Fuel-Arc Hybrid Spray Gun

CHEN Yong-xiong^a, HU Yao-qiang^{a,b}, LIANG Xiu-bing^a, XU Bin-shi^b, SHANG Jun-chao^{a,b}, ZHANG Qin-liang^a
(a. National Engineering Research Center for Mechanical Products Remanufacturing, b. Science and Technology on Remanufacturing Laboratory, Academy of Armored Forces Engineering, Beijing 100072)

Abstract: High velocity air arc fuel (HVAF-ARC) hybrid spray gun is an combination of high velocity air flame spray gun and arc spray gun. It uses high velocity combustion gas generated by its high velocity flame spraying part to atomize and accelerate the material molted by its arc spraying part, therefore the velocity of the arc spraying particles is increased, the oxidation of the coating splat is reduced, and the efficiency of the coating deposition efficiency through this compound spraying way is improved. High quality coating can be efficiently obtained by this gun. Using a newly developed HVAF-ARC hybrid spray gun, a type of 3Cr13 coating deposited on a steel substrate was obtained in this study, and the coating was also prepared by a traditional air atomized arc spray gun as a comparison. The property test of the coatings shows that the oxide content and porosity of the coating prepared by the hybrid spray gun are lower than that of the traditional gun, and the hardness value of the former is 12% higher than that of the latter.

Keywords: thermal spraying; high velocity air fuel-arc spray (HVAF-ARC); spray gun

0 引 言

热喷涂技术种类繁多,在表面防护和再制造工程中应用广泛^[1-2]。其中电弧喷涂技术效率最高、成本较低,但涂层质量相对较低,氧化物含量和孔隙率较高^[3];高速火焰喷涂技术涂层质量优异,涂层组织致密,氧化现象较轻微^[4-7]。为了结合两者的优势,有人提出了复合喷枪的概念,即高

速火焰电弧(HVOF/AF-ARC)复合喷涂枪,且这种枪在国外已经开发成功^[8-10],国内还未见自主研发成功此类喷枪的公开报道。复合喷枪利用高速燃气作为雾化气,气流速度可达 2 000 ~ 3 000 m/s,气流中氧气被燃料消耗,所以不仅雾化效果良好,可使喷涂粒子速度达到 300~500 m/s,且粒子的氧化大大减少,可得到高质量的涂层。为

收稿日期: 2015-11-15; 修回日期: 2016-03-22; 基金项目: * 国家自然科学基金(51575527; 51375492)

通讯作者: 陈永雄(1978—),男(汉),助理研究员,博士;研究方向:热喷涂; Tel: (010) 6671 7351; E-mail: famon1599@163.com

网络出版日期: 2016-04-13 11:26; 网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/11.3905.tg.20160413.1126.002.html>

引文格式: 陈永雄, 胡尧强, 梁秀兵, 等. 高速火焰电弧复合喷涂枪制备 3Cr13 涂层的性能[J]. 中国表面工程, 2016, 29(2): 98-101.

CHEN Y X, HU Y Q, LIANG X B, et al. Properties of 3Cr13 coating prepared by high velocity air fuel-arc hybrid spray gun[J]. China Surface Engineering, 2016, 29(2): 98-101.

测试课题组开发的新型复合喷枪的性能,利用该新型喷枪在 45 钢基体上制备了喷涂层,通过对涂层性能的测试,检验喷枪的喷涂效果。

1 试验材料和方法

所用设备为自行开发的 COM ARC S350 型高速燃气-电弧复合喷枪和传统的空气雾化 HAS-2 型高速电弧喷涂枪,喷涂工艺参数如表 1 所示。喷涂丝材为 Φ 2 mm 的 3Cr13 马氏体不锈钢丝,基体为 45 钢。喷涂所用的复合喷枪实物和结构如图 1 和图 2 所示。

表 1 涂层制备工艺参数		
Table 1 Parameters of spraying process		
Parameter	COM ARC S350	HAS-2
Spray voltage /V	34	34
Spray current /A	180	180
Air supply pressure /(10 ⁵ Pa)	4.5	4.5
Kerosene flow rate /(L·h ⁻¹)	4.0	

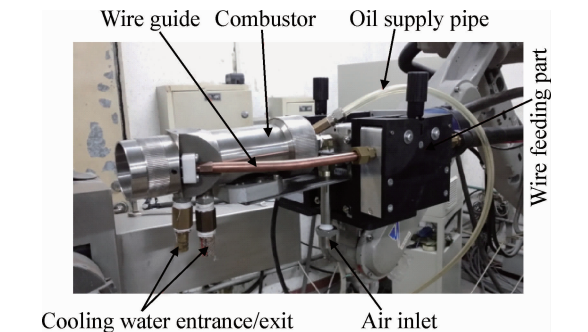


图 1 复合喷枪实物图
Fig. 1 Photo of the hybrid spray gun

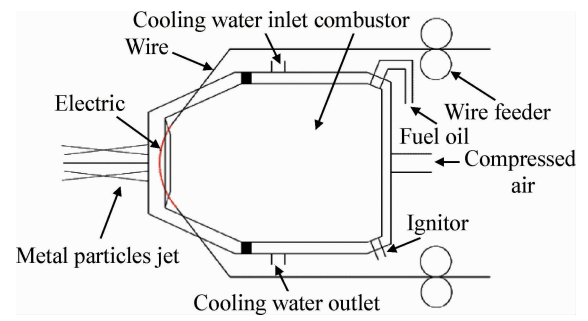


图 2 复合喷枪结构示意图
Fig. 2 Schematic diagram of the hybrid spray gun

2 HVAF-ARC 涂层的组织与性能

2.1 涂层相组成

图 3 为两种喷枪制备的涂层的 XRD 图谱。

由图可知,两涂层相组成并无明显差异,合金相主要为 Fe-Cr,也有部分的 α -Fe 相和 Cr 相存在,氧化物相皆为 FeO。但 HVAF-ARC 涂层中 FeO 相除主峰外,其它峰都较弱,说明 HVAF-ARC 涂层中氧化物含量较少。

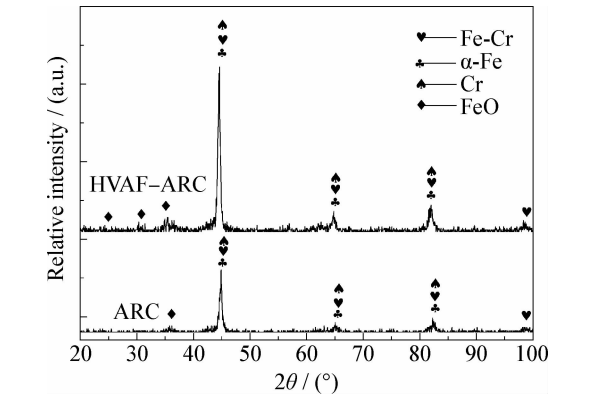


图 3 不同喷枪制备涂层的 XRD 图谱
Fig. 3 XRD patterns of the coatings prepared by different spray guns

2.2 涂层截面显微形貌和能谱分析

从涂层/基体截面显微形貌(图 4(a)(b))可知,ARC 涂层与基体的界面结合部较 HVAF-ARC 涂层更为明显,且有更多空隙,表明 HVAF-ARC 涂层与基体的结合较 ARC 涂层紧密。从侧面说明复合喷枪的喷涂粒子对基体的冲击作用要比普通电弧喷枪的强烈,粒子在基体表面的铺展要比普通电弧喷枪的好。从纯涂层截面显微形貌(图 4(c)(d))可知,两涂层均有孔隙,但 ARC 涂层的孔隙要比 HVAF-ARC 涂层的多,利用 Image j 软件对涂层的显微形貌照片进行处理,测试涂层的孔隙率,发现 ARC 涂层孔隙率为 5.3%,HVAF-ARC 涂层孔隙率为 2.7%,后者比前者降低了 49%。总的来说,HVAF-ARC 涂层较 ARC 涂层要均匀致密。

涂层截面能谱的点扫描位置如图 4(c)(d)中 A、B、C 所示。其中 ARC 涂层的两个扫描点一个位于暗色区域,为氧化物区,一个位于亮色区域,为合金相区。除了对两种涂层进行能谱的点扫描对比分析之外,还在两涂层上随机选取了 3 个区域进行了能谱面扫描。表 2 为两涂层截面能谱分析得到的各元素的质量分数,其中面区域的各元素含量为 3 次的平均值。由表可知,两涂层氧化物区内扫描点位置处的氧元素的质量分数均比 ARC 涂层亮色区域内扫描点处和面区域内

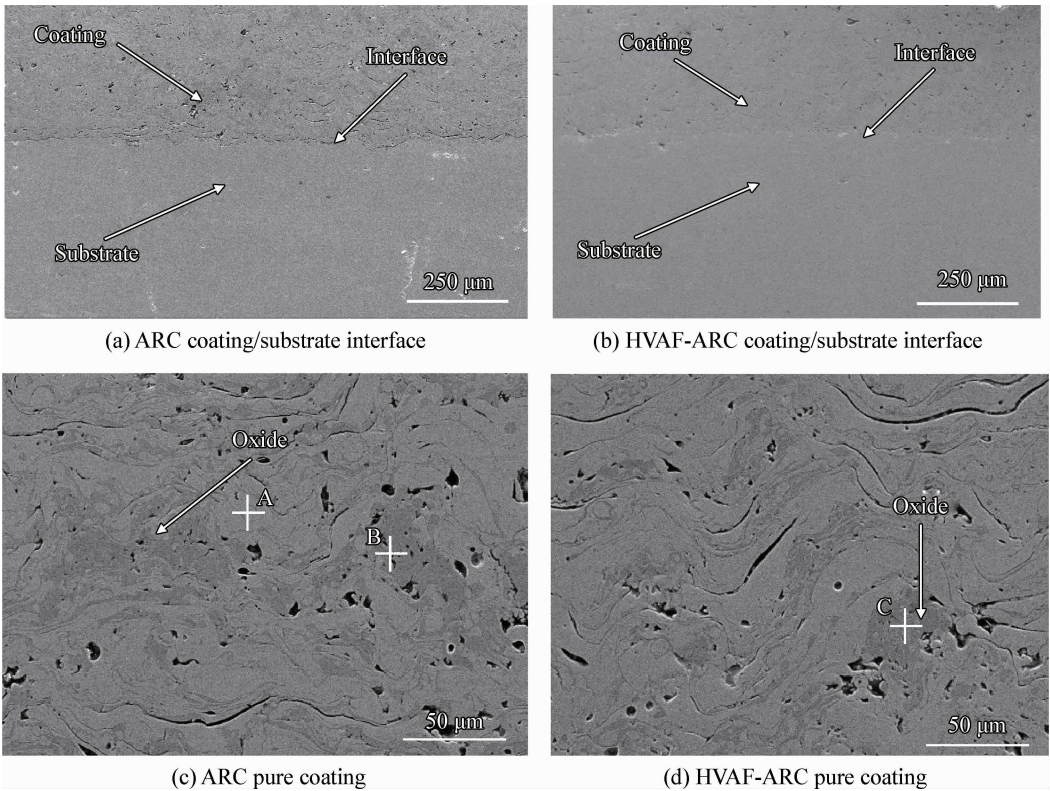


图 4 两种涂层的截面显微形貌

Fig. 4 Cross section morphologies of the coatings prepared by different spray gun

表 2 涂层截面 EDS 扫描结果

Table 2 EDS result of coating cross section				
Section		O	Fe	Cr
Point A	ARC	8.51	12.44	79.06
Point B	ARC	21.8	11.61	66.59
Point C	HVOF-ARC	9.62	14.42	75.96
Area region	ARC	8.13	12.88	78.98
	HVOF-ARC	5.45	13.36	81.20

的高,进一步说明暗色区域为氧化物。而且 ARC 涂层氧化物区内扫描点位置处的氧元素的质量含量高于 HVOF-ARC 涂层。结合 XRD 结果,进一步说明 ARC 涂层的氧化比 HVOF-ARC 涂层严重,表明 HVOF-ARC 高速燃气中的活性氧含量要比 ARC 喷涂中少很多,而且燃气速度快,使粒子飞行时间短,与环境空气的接触时间短。

2.3 涂层显微硬度

测得 HVOF-ARC 涂层的平均显微硬度为 437 HV_{0.1},ARC 涂层的为 390 HV_{0.1},前者比后者提高了 12%。图 5 为涂层显微硬度沿截面分布图,由图可知:

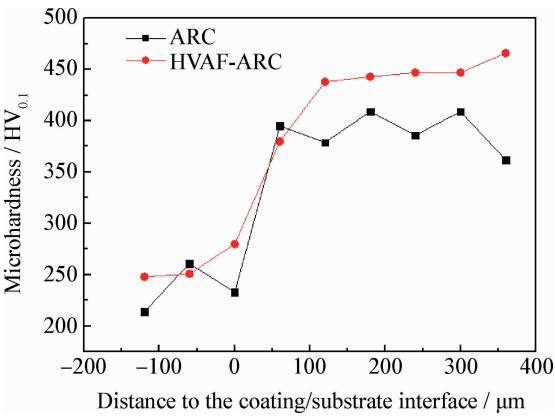


图 5 涂层显微硬度沿截面的分布

Fig. 5 Microhardness distribution along the coating cross section

(1) HVOF-ARC 涂层的硬度较 ARC 涂层高且分布均匀。HVOF-ARC 涂层的硬度值大多在 ARC 涂层的上方,虽然距涂层/基体截面的距离为 60 μm 处的硬度较 ARC 涂层的略低,但相差很小,在 20 HV_{0.1} 以内,而其它 5 个点的硬度值高于 ARC 涂层,差值均在 40 HV_{0.1} 以上, HVOF-ARC 涂层的硬度大多分布在 450 HV_{0.1} 左右,波动较小,虽然在到基体表面距离为 60 μm

处硬度值较低,与 $450\text{ HV}_{0.1}$ 的偏差较大,但这是因为此处有孔隙,造成了压痕的塌陷和扩大。而 ARC 涂层的硬度值则呈现连续的差值较大的波动。综上,可以认为 HVAF-ARC 涂层的硬度较 ARC 涂层的高且分布均匀,HVAF-ARC 涂层较 ARC 涂层更加致密、均匀。

(2) HVAF-ARC 涂层与基体结合部位的硬度较 ARC 涂层与基体结合部位的要高。这一方面是因为 HVAF-ARC 涂层自身的硬度较 ARC 涂层的高,另一方面是因为 HVAF-ARC 涂层与基体的结合更紧密,孔隙较少。

3 结 论

(1) 两涂层的相组成基本相同,但 HVAF-ARC 涂层中氧化物含量要明显低于 ARC 涂层,有利于涂层总体质量的提高。

(2) HVAF-ARC 涂层孔隙率与 ARC 涂层相比有大幅降低,涂层均匀致密,界面结合良好。HVAF-ARC 涂层硬度较 ARC 涂层提高了 12%,平均可达 $437\text{ HV}_{0.1}$,且分布均匀。

参考文献

- [1] 徐滨士. 绿色再制造工程及其关键技术[J]. 再生资源与循环经济, 2009, 2(11): 5-8.
XU B S. Green remanufacturing engineering and its key technologies[J]. Journal of Renewable Resources and Recycling Economy, 2009, 2(11): 5-8 (in Chinese).
- [2] 邓世均. 再识热喷涂[J]. 材料保护, 2010, 43(4): 72-74.
DENG S J. To know thermal spraying again[J]. Materials Protection, 2010, 43(4): 72-74 (in Chinese).

- [3] 陈永雄, 徐滨士, 许一, 等. 高速电弧喷涂技术在装备维修与再制造工程领域的研究应用现状[J]. 中国表面工程, 2006, 19(5): 169-173.
CHEN Y X, XU B S, XU Y, et al. Status of the research and application of the high-speed arc spraying technology in the field of equipment repair and remanufacturing engineering[J]. China Surface Engineering, 2006, 19(5): 169-173 (in Chinese).
- [4] 路阳, 丁明辉, 王智平, 等. 超音速火焰喷涂研究与应用[J]. 材料导报, 2011, 25(10): 127-129.
LU Y, DING H, WANG Z P, et al. Research and application of supersonic flame spraying[J]. Materials Review, 2011, 25(10): 127-129 (in Chinese).
- [5] GORLACH I A. A new method for thermal spraying of Zn-Al coatings[J]. Thin Solid Films, 2009, 517(17): 5270-5273.
- [6] VERSTAK A, BARANOVSKI V. AC-HVAF sprayed tungsten carbide: properties and applications[C]//Proc. Intr. Conf. Thermal Spray, 2006: 643-648.
- [7] GORLACH I A. The application of high velocity air fuel process for the deposition coatings[J]. R&D Journal of the South African Institution of Mechanical Engineering, 2008, 24(3): 9-13.
- [8] STANISIC J, KOSIKOWSKI D, MOHANTY P S. High-velocity visualization and plume characterization of the hybrid spray process[J]. Journal of Thermal Spray Technology, 2006, 15(4): 750-758.
- [9] MOHANTY P S, ROCHE A D, GUDURU R K, et al. Ultrafine particulate dispersed high-temperature coatings by hybrid spray process[J]. Journal of Thermal Spray Technology, 2010, 19(1/2): 484-494.
- [10] BELOTSEKOVSKY M, YELISTRATOV A, BYELI A, et al. Steel thermal sprayed coatings: superficial hardening by nitrogen ion implantation[J]. Welding Journal, 2009, 88(12): 243S-248S.

(责任编辑:王文字)