

文章编号:1673-9981(2019)02-0119-03

HVOF 和 APS 喷涂 T800 涂层性能研究

陈雄伟, 牟治国, 陈利刚

上海宝钢工业技术服务有限公司表面工程事业部, 上海 201900



摘要:分别采用超音速火焰喷涂(HVOF)和大气等离子喷涂(APS)法,在 Inconel 718 基体上制备 T800 涂层,并对涂层的金相显微结构、孔隙率、硬度及结合强度进行测试.试验结果表明,两种涂层与基体间均形成良好的界面结合,涂层组织均匀良好;与 APS 制备的 T800 涂层相比,HVOF 制备的涂层孔隙率略低,表面硬度 HR15N 略高,结合强度较高.

关键词:T800 涂层;HVOF;APS

中图分类号:TQ63

文献标识码:A

T800 涂层是一种高 Co、高 Mo、高 Cr 的合金涂层,具有优异的耐腐蚀、抗氧化和耐磨损的高温性能. T800 涂层能在最高 800 °C 下长期稳定使用,在航空、航天飞行器中都到了广泛应用^[1-2]. 目前,制备 T800 涂层通常是采用超音速火焰喷涂(HVOF)和大气等离子喷涂(APS)法. 针对某些特定需求,对两种方法制备涂层的异同进行分析对比.

1 试样制作及测试

选用 Inconel 718 作基体材料. 喷涂时先用丙酮清洗、吹干、喷砂,然后在 1h 内完成喷涂. HVOF 喷涂是采用 Stellite 公司 JK III 氧气/氢气 HVOF 喷涂系统喷涂,APS 喷涂是采用 Oerlikon Metco 公司的 F4 喷涂系统喷涂. 喷涂粉末为 Stellite T800 粉末,粉末成分列于表 1,粉末形貌见图 1,粉末粒径为 10~45 μm. HVOF 和 APS 喷涂工艺参数分别列于表 2 和表 3.

表 1 T800 粉末的化学成分

Table 1 Chemical composition of T800 powder

成分	Mo	Cr	Ni	Si	Co
含量 w/%	28	18	0.26	3.4	余量

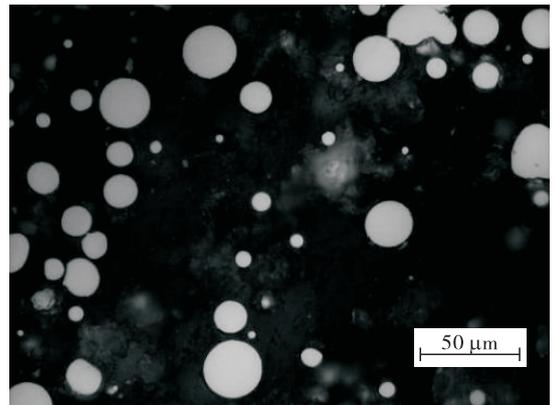


图 1 T800 粉末形貌

Fig. 1 The morphology of T800 powder

分别用 HVOF 和 APS 在 Inconel 718 基体表面制备 T800 涂层试样,然后截取喷涂样品的横截面,经金相冷镶嵌、研磨、抛光后,采用卡尔蔡司 Observer 倒置式金相显微镜及系统内置的 AxioVision 图像分析软件,观察涂层的微观形貌和涂层与基体界面的结合情况,并进行孔隙率测量.在涂层表面选取 10 个点,采用上海光学精密机械研究所生产的 HRRD-150P 数显双洛氏硬度计分别测量 HVOF 和 APS 制备的 T800 涂层的表面硬度 HR15N. 采用国产 Sans 的 CMT5305 万能试验机测试 HVOF 和 APS 制备的涂层的结合强度,按

收稿日期:2019-03-05

作者简介:陈雄伟(1984-),湖北咸宁人,工程师,硕士研究生,从事热喷涂涂层研究与应用.

ASTM C633 标准进行测试,加载速度 1 mm/min, E-7 胶 100 °C 下加热 3 h. 试样直径 25.4 mm,涂层厚度 0.2~0.3 mm,采用

表 2 HVOF 的工艺参数

Table 2 The parameters of HVOF sprayed coating

H ₂ 流量/(m ³ ·h ⁻¹)	Ar 流量/(m ³ ·h ⁻¹)	电流/A	电压/V	喷距/mm	送粉量/(g·min ⁻¹)
0.72	3.6	650	65	120	40

表 3 APS 的工艺参数

Table 3 The parameters of APS sprayed coating

氧气流量/(m ³ ·h ⁻¹)	氢气流量/(m ³ ·h ⁻¹)	送粉量/(g·min ⁻¹)	喷距/mm
13.6	39.6	20	160

2 试验结果及讨论

2.1 涂层微观分析

用 HVOF 和 APS 制备的 T800 涂层的微观形貌如图 2 所示.从图 2 可见,用两种喷涂工艺制备的 T800 涂层与基体之间均形成了良好的界面结合,呈典型的热喷涂涂层机械咬合形貌;涂层均无分层、横

向裂纹、团聚氧化物和界面分离;涂层均未见明显的未熔颗粒;涂层呈明显的层状结构,组织均匀,涂层中的孔隙和氧化物分布均匀.同时,还可看出,用 HVOF 制备的 T800 涂层的孔隙率较低,平均孔隙率约为 1%~2%;用 APS 制备的 T800 涂层的孔隙率相对略高,平均孔隙率约为 3%~5%.从图 2 可明显看出,用 APS 制备的 T800 涂层的层状氧化物比用 HVOF 制备的多.

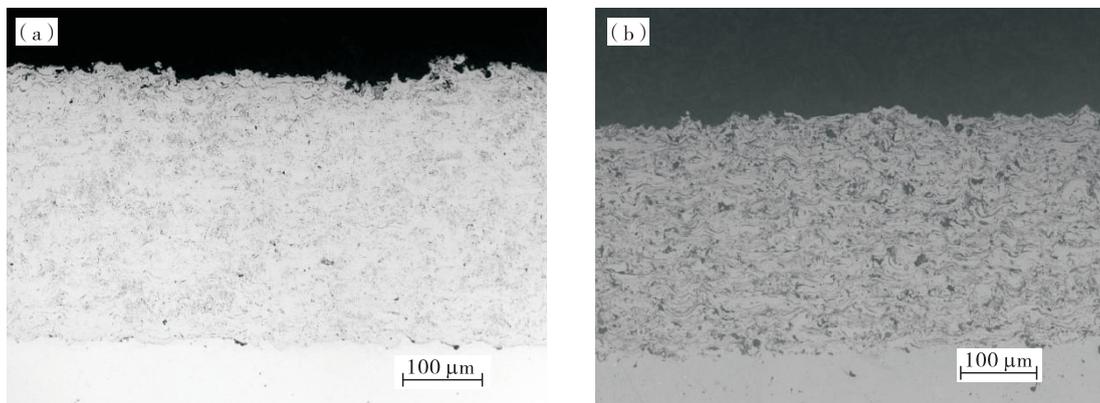


图 2 T800 涂层微观形貌

(a)HVOF;(b)APS

Fig. 2 The microstructure of T800 coating

2.2 涂层的维氏显微硬度

用 HVOF 和 APS 制备的涂层的表面硬度列于表 4.由表 4 可知,这两种方法制备的涂层的表面硬度 HR15N 相差不大,只是 HVOF 制备的涂层硬度略高.影响涂层硬度的因素很多,其中涂层的微观组织和相结构对涂层硬度有重要影响.涂层越致密、微

裂纹越少及平整光滑,涂层硬质相越多,涂层的硬度就越高.

从两种方法制备的涂层来看,APS 制备的涂层孔隙率略高,涂层氧化物也较高.一般 APS 制备的涂层氧化物为 Laves 相 CoMoSi 和 Co₃Mo₂Si,由于占比小,因而硬度变化不大^[3].

表 4 T800 涂层的 HR15N 硬度

Table 4 The surface hardness of T800 coatings

工 艺	硬度值 HR15N	平均值
HVOF	89.4,92.4,92.0,92.8,89.8,93.6,92.8,94.0,93.2,92.8	92.3
APS	86.8,88.2,90.0,91.4,87.8,89.2,87.3,88.2,88.0,90.7	88.8

2.3 涂层结合强度

HVOF 和 APS 制备的涂层结合强度的测试结果列于表 5。从表 5 可知,HVOF 制备的 T800 涂层结合强度平均值为 47.2 MPa,APS 制备的 T800 涂层结合强度平均值为 28.7 MPa。APS 制备的 T800 涂层结合强度明显较低,一方面超音速火焰喷涂(HVOF)时火焰流速率大,粉末沉积速率快,与基体碰撞扁平化变形充分,颗粒与颗粒之间结合更为紧密,因而结合强度更高;另一方面,粉末原料中的 Co,Mo,Cr,以及 ϵ -Co 相、Co-Mo 相和 Co-Cr 相熔点范围为 1495~2623 °C,不仅低于 HVOF 的焰流温度 3000~4000 °C,更远远低于等离子焰流中心高达 15000 °C 以上的温度。在 T800 涂层喷涂时,喷涂粒子在飞行过程中均极易与空气中的氧发生反应生成氧化物为 Laves 相 CoMoSi 和 $\text{Co}_3\text{Mo}_2\text{Si}$ ^[4]。因 APS 的焰流温度高,焰流速度慢,导致粒子高温停留时间长,与空气中氧接触时间也更长,产生氧化物的概率较 HVOF 制备的 T800 涂层多,所以 APS 制备的涂层氧化物更多,特别是层间氧化物。这些氧化物的存在,降低了涂层间的结合强度。因此 APS 制备的 T800 涂层结合强度低于 HVOF 制备的 T800 涂层。

表 5 T800 涂层的结合强度

Table 5 The bonding strength of T800 coatings

工 艺	结合强度/MPa	平均值/MPa
HVOF	46.2,47.6,47.8	47.2
APS	28.7,28.9,28.5	28.7

3 结 论

采用 HVOF 和 APS 两种工艺制备的 T800 涂层均与基体间形成良好的以机械咬合为主的界面结合,涂层组织均匀;与 APS 制备的 T800 涂层相比,HVOF 制备的 T800 涂层孔隙率略低,表面硬度 HR15N 略高,结合强度较高。

参考文献:

- [1] 段绪海. 热喷涂技术在航空发动机上的应用[J]. 航空工程与维修,1994(4):9-11.
- [2] 赵金福,徐红军,罗川,等. 钴基耐磨合金 Tribaloy T-800 的组织与性能[J]. 功能材料,1998(10):873-874.
- [3] 朱朝刚,张建新,燕翔江,等. 等离子喷涂 T800 钴基合金涂层的研究[J]. 河北工业大学学报,2017(2):77-82.
- [4] CHO J Y,ZHANG S H,CHO T Y, et al. The processing optimization and property evaluations of HVOF Co-base alloy T800 coating [J]. J Mater Sci, 2009 (44): 6348-6355.

Investigation on the properties of HVOF and APS spraying T800 coatings

CHEN Xiongwei, MU Zhiguo, CHEN Ligang

Department of Surface Engineering, Shanghai Baosteel Industry Technological Services Co., Ltd., Shanghai 201900, China

Abstract: The T800 coating was prepared on Inconel 718 substrate by high velocity oxygen flame (HVOF) and atmospheric plasma spraying (APS) method respectively. Metallographic structure, porosity rate, surface hardness and bonding strength of the coating were tested. The results show that there is a good interface combination between two coatings and the substrate. Compared with the T800 coating prepared by APS, there is lower porosity, higher surface hardness, higher bonding strength of the coating prepared by HVOF.

Key words: 粉末冶金 coating; HVOF; APS