

软线喷涂陶瓷涂层的研究

洪瑞江 王德政

摘要：介绍了采用火焰软线喷涂制备陶瓷涂层的工艺.通过对几种典型的陶瓷涂层(氧化铝、蓝刚玉、黑刚玉)的结构和部分性能的研究，并与等离子陶瓷涂层比较，结果表明，火焰软线喷涂涂层具有与等离子涂层相当的硬度和结合强度，但涂层相对较疏松.

关键词：软线喷涂；陶瓷涂层；结构；性能

中图分类号：TG174.453

文献标识码：A

Study on ceramic coatings by flexible-cord spraying

HONG Ruijiang, WANG Dezheng

(Research & Development Center for Materials & Surface Engineering Technique and Guangzhou Research Institute of Non-Ferrous Metals, Guangzhou 510651, China)

Abstract: Several typical coatings including alumina, blue corundum, black corundum coatings deposited by flame flexible-cord spray technique are described in this paper. The microstructure of the coatings and their mechanical properties have been analyzed and compared with those of the plasma sprayed coatings. Results indicate the flexible-cord sprayed coatings have high hardness and binding strength equivalent to those of the plasma sprayed coatings. However, they are rather porous.

Key words: flexible-cord spray; ceramic coatings; structure; properties

陶瓷涂层由于具有硬度高、耐磨、耐腐蚀、隔热、绝缘等许多特性，正日益广泛地应用于零部件的表面防护及强化^[1].涂层的结构与应用性能与其所采用的制备工艺密切相关.目前，用于制备陶瓷涂层的方法主要有等离子喷涂、爆炸喷涂(D-Gun)、高速火焰喷涂(HOVF)、超音速等离子喷涂等^[2].这些技术的特点是，热源能量高，粒子速度大，因而得到的涂层致密，与基体的结合强度也高.

软线喷涂法是先将原始粉末或粉末混合物与有机增塑剂混合，然后成型为软线，利用专用的氧-乙炔丝材喷枪进行喷涂的一种新型火焰喷涂方法.在喷涂过程中，有机增塑剂的挥发不改变喷涂物质的化学成分.该方法的主要优点有：可以采用多种材料(如陶瓷、自熔合金、金属陶瓷等)及任意形状的粉末制成软线，这实际上是可将任何方法制得的粉末制成软线进行喷涂；同时，可以保证喷涂材料在雾化区域稳定地供给，以及在很宽的范围内调节线材的速度，因此材料的利用率高(可达96%)，生产率也高；还有容易实现喷涂过程的全部自动化等优点.因而是一种具有应用前景的喷涂方法，特别是用于陶瓷涂层的喷涂.

本文对软线喷涂氧化铝(Al_2O_3)、蓝刚玉(AT3)、黑刚玉(AT13)等陶瓷涂层的工艺进行了试验，制取了质量较高的陶瓷涂层，并与等离子喷涂 Al_2O_3 ，AT3，AT13涂层在组织、结构、性能等方面进行了对比.这些涂层被应用于搪瓷质贮液罐(贮酸或碱)的修复，制备酸碱的容器的预保护，以及化工

上易被腐蚀的管道等，性能良好.

1 试验方法

试验用的陶瓷软线是由俄法合资企业TECHNICORD公司生产的，其成分、熔点分别列于表1.等离子喷涂粉末选用国内产品，其成分与软线中的粉末成分相当.

表1 陶瓷软线的成分和熔点
Table 1 Compositions and fusion points of the flexible-cord used

陶瓷软线	粉末成分含量/%	线径/mm	熔点/
氧化铝	Al ₂ O ₃ 99.7	4.75	2050
蓝刚玉	Al ₂ O ₃ 94.5 , TiO ₂ 3.3	4.75	2000
黑刚玉	Al ₂ O ₃ 85.8 , TiO ₂ 13.0	4.75	1840

基体材料选用低碳钢，分别采用软线喷涂和等离子喷涂方法制取金相样品和进行拉伸试验，涂层厚度为0.1 ~ 0.2mm，工艺参数见表2和表3.

表2 软线喷涂工艺参数
Table 2 Technological parameters of the flexible-cord spray

陶瓷软线	气压/10 ⁴ Pa			流量/(m ³ ·h ⁻¹)			喷距/mm	送丝速率/(mm·min ⁻¹)
	C ₂ H ₂	O ₂	空气	C ₂ H ₂	O ₂	空气		
氧化铝	12	32	41	1.5	3.5	35	80	500
蓝刚玉	12	32	41	1.5	3.5	35	100	550
黑刚玉	12	32	41	1.5	3.5	35	100	550

表3 等离子喷涂工艺参数
Table 3 Technological parameters of the plasma spray

材料	电流 /A	电压 /V	主气流量 (Ar) /(L·min ⁻¹)	次气流量 (H ₂) /(L·min ⁻¹)	送粉量 /(g·min ⁻¹)	载气流量 (Ar) /(L·min ⁻¹)	喷距 /mm
Al ₂ O ₃	500	60	28	1.5	13	2	100
AT3	460	60	28	1.5	15	2	100

AT13	400	60	28	1.5	15	2	100
------	-----	----	----	-----	----	---	-----

应用扫描电镜、电子探针(型号JEOL-733)分析涂层的显微结构及成分；用X射线衍射仪(型号D/Max-)测定涂层的相结构；按ASTM C-633标准测试涂层的结合强度；用维氏硬度计测量涂层的显微硬度(载荷为100g).

2 试验结果与讨论

2.1 软线喷涂工艺

软线的沉积效率是评定喷涂工艺优劣的重要指标之一.影响沉积效率的因素较多，图1给出了喷涂距离对沉积效率的影响情况，其中氧化铝的送丝速率为500mm/min，蓝刚玉、黑刚玉的送丝速率为550mm/min.从图1看出，当喷涂距离减少时，沉积效率是增加的，这是由于此时粉末熔滴温度较高，动能也大，有利于熔滴在基体表面上粘结，形成涂层.但如果喷涂距离过小，氧-乙炔焰对基体的加热相对强烈，这不仅可能会使基体产生热变形，而且也会使涂层产生大的热应力，影响涂层的综合性能，因此应选择合适的喷涂距离.图2是送丝速率与沉积效率的关系曲线，氧化铝的喷涂距离为80mm，蓝刚玉、黑刚玉的喷涂距离为100mm，从图2看出，在喷涂距离一定的情况下，随送丝速率的增大，沉积效率呈下降的趋势，这是由于送丝速率过高时，粉末熔化不良，甚至夹杂未熔颗粒，影响粉末粘合的缘故.因此，只有当喷涂距离与送丝速率的配合处在最佳状态时，才可以保证软线熔化充分、熔化颗粒动能大，熔化颗粒与沉积基体形成良好的结合，从而提高沉积效率.本试验推荐的合理喷涂参数为：氧化铝的送丝速率500mm/min，喷涂距离80mm；蓝刚玉、黑刚玉的送丝速率550mm/min，喷涂距离100mm.

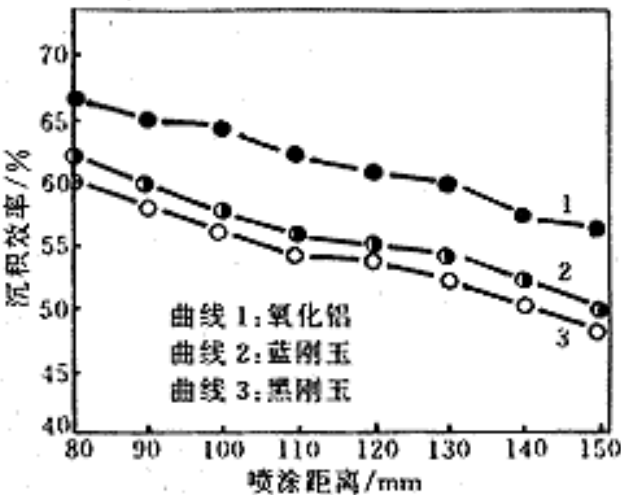


图1 喷涂距离对涂层沉积效率的影响

Fig.1 Influence of spray distance on the coating deposition efficiency

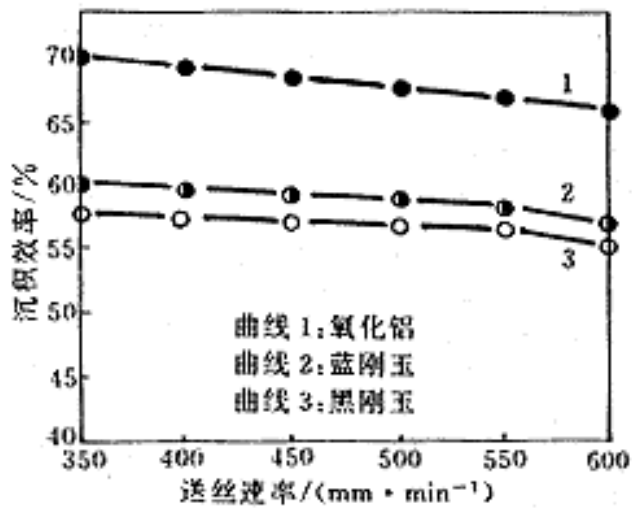


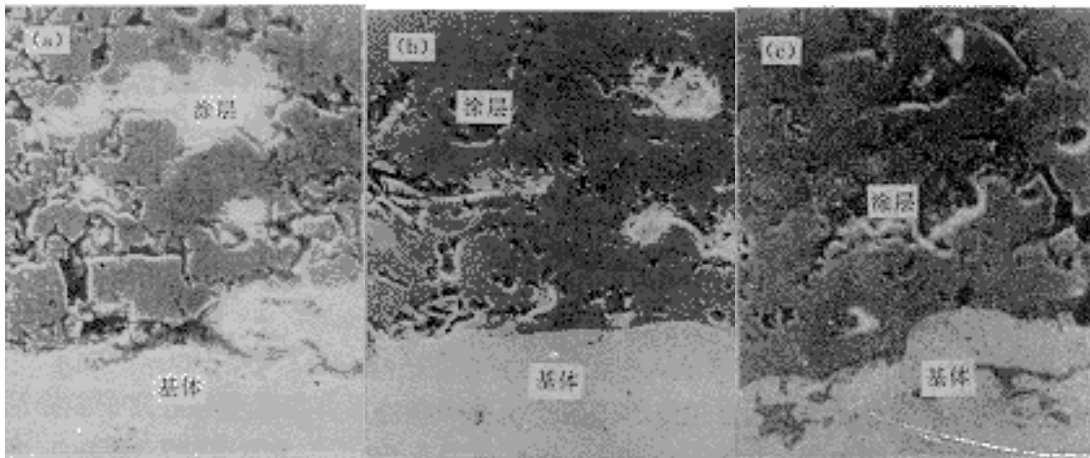
图2 送丝速率对涂层沉积效率的影响

Fig.2 Influence of spray feed rate on the coating deposition efficiency

2.2 软线喷涂涂层与等离子喷涂涂层的比较

2.2.1 涂层的微观结构

图3是3种涂层的扫描电镜(SEM)形貌.其中图3a,图3b,图3c分别为软线喷涂氧化铝、蓝刚玉、黑刚玉涂层的显微结构;图3d,图3e,图3f分别为等离子喷涂 Al_2O_3 , AT3, AT13涂层的显微结构.从图中可以看出,涂层为层状结构,而且多孔.涂层的多孔性实际是由于颗粒撞击基体时变形不充分造成孔隙和由于复杂的应力引起的微裂纹.比较来说,等离子喷涂涂层的孔隙率和夹生粉含量比软线喷涂涂层的低,同时组织也更为细小.两种涂层还有共同的特点,那就是黑刚玉涂层比氧化铝涂层的层状结构更明显一些,孔隙率也更低,这可能是由于黑刚玉的熔点比氧化铝的低,其颗粒撞击基体时变形较充分的缘故.这在图4的性能比较中得到了反映.



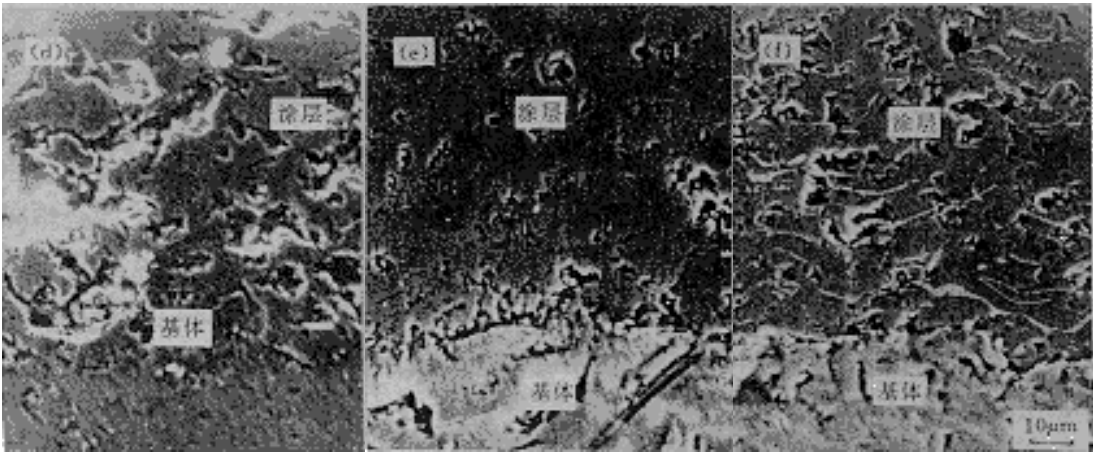


图3 涂层的扫描电镜形貌

Fig.3 SEMmicrography of the coatings

2.2.2 性能

试验得到的涂层部分性能如表4所列.可见这几种陶瓷涂层都具有很高的硬度和较好的结合强度.比较而言，等离子喷涂涂层较软线喷涂涂层具有较低的孔隙率，这是由于等离子喷涂具有较高的热焓和较大的粒子撞击速度所致.但对于氧化铝涂层却相差不多，两种工艺的涂层都具有较高的孔隙率，因此，在硬度方面表现出反而比蓝刚玉、黑刚玉低.

表 4 涂层性能的比较

Table4 Comparision of the properties of different coatings

	软线喷涂			等离子喷涂		
	Al ₂ O ₃	AT3	AT13	Al ₂ O ₃	AT3	AT13
孔隙率/%	8	7	6.5	7	4	3.5
显微硬度 (HV ₁₀₀)	910	1019	1011	960	1073	1051
粘结强度/ MPa8	22	23	25	24	25	28

2.2.3 相结构

采用两种工艺方法喷涂Al₂O₃涂层的X射线衍射图见图4.等离子喷涂涂层主要是稳定的六方晶型α-Al₂O₃；软线喷涂涂层主要是亚稳态的面心立方型γ-Al₂O₃.

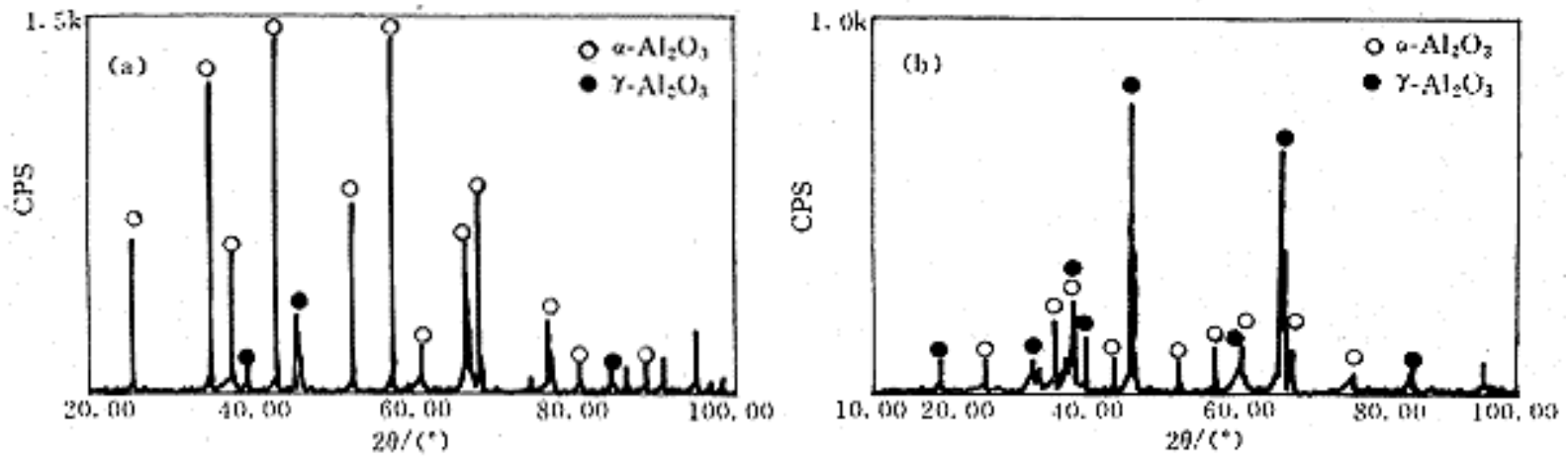


图4 氧化铝涂层的X射线衍射图

(a) 等离子喷涂; (b) 软线喷涂

Fig.4 XRD patterns of Al_2O_3 coatings

(a) plasma spray coating; (b) flexible spray coating

3 结论

(1)采用软线喷涂技术,可以快速、高效地沉积陶瓷涂层,其硬度与等离子喷涂涂层相当,只是孔隙率较高.

(2)选择合适的送丝速率和喷涂距离,是提高软线喷涂效率的关键.

(3)等离子喷涂氧化铝涂层与软线喷涂氧化铝涂层具有不同的相结构,等离子喷涂涂层主要是稳定的六方晶型 α - Al_2O_3 ,软线喷涂涂层主要是亚稳态的面心立方型 γ - Al_2O_3 .

作者简介:洪瑞江(1966-),男,广东揭阳人,硕士,高级工程师.文章编号:1003-7837(1999)02-0136-05

作者单位:广州有色金属研究院材料表面工程技术研究开发中心,广东 广州510651

参考文献

- [1] Yamada K, Nakajima H, Morimoto J, et al. In: Proc. 13th ITSC, Orlando, Florida, USA, 1992.5.
- [2] 朱胜, 徐滨士. In: 全国热喷涂协作组ed., 第十一届全国热喷涂技术经验交流会文集, 北京: 全国热喷涂协作组, 1992.32.

收稿日期: 1999-02-26