

Preparation and Thermal Shock Resistance Properties of the APS Sprayed NiCr/Cr₂C₃ Coatings

Yuxia Cao^{1,2*}, Jingwei Sun³, Bin Hao^{1,2}, Ruijun Chen¹, Wenwu Zhao^{1,2},
Jianyuan Yu¹, Jinqiang Liu¹, Huijuan Tian^{1,2}

¹Department of Environmental and Chemical Engineering, Tangshan College, Tangshan Hebei

²Key Laboratory of Micro-Nano-Material Preparation and Application of Tangshan, Tangshan Hebei

³Tangshan Construction Group Pre-Mixed Concrete Co. Ltd., Tangshan Hebei

Email: *caoyuxia_416@126.com

Received: Sep. 6th, 2018; accepted: Sep. 21st, 2018; published: Sep. 28th, 2018

Abstract

The NiCr/Cr₂C₃ coating was prepared by atmospheric plasma-spray technology. The microstructure, phase composition and thermal shock resistance property were studied by SEM, XRD and muffle furnace. The results show that the NiCr/Cr₂C₃ composite coating consisted of elongated lamellae. The main phase compositions of coating were NiCr and Cr₂C₃. The coating exhibited excellent thermal shock resistance property and fulfilled the requirement at 700°C, 800°C and 850°C.

Keywords

APS, NiCr/Cr₂C₃ Coating, Microstructure, Thermal Shock Resistance

空气等离子喷涂NiCr/Cr₂C₃涂层的制备及抗热震性能

曹玉霞^{1,2*}, 孙景卫³, 郝斌^{1,2}, 陈瑞军¹, 赵文武^{1,2}, 郁建元¹, 刘进强¹, 田会娟^{1,2}

¹唐山学院环境与化学工程系, 河北 唐山

²唐山市微纳米材料制备及应用重点实验室, 河北 唐山

³唐山建设集团预拌混凝土有限公司, 河北 唐山

Email: *caoyuxia_416@126.com

收稿日期: 2018年9月6日; 录用日期: 2018年9月21日; 发布日期: 2018年9月28日

*通讯作者。

文章引用: 曹玉霞, 孙景卫, 郝斌, 陈瑞军, 赵文武, 郁建元, 刘进强, 田会娟. 空气等离子喷涂 NiCr/Cr₂C₃ 涂层的制备及抗热震性能[J]. 化学工程与技术, 2018, 8(5): 336-341. DOI: 10.12677/hjct.2018.85044

摘要

采用等离子喷涂技术制备了NiCr/Cr₂C₃涂层, 并采用SEM、XRD、马弗炉和高温热膨胀仪对涂层的结构、物相和热震性能进行了表征。结果表明: 等离子喷涂NiCr/Cr₂C₃涂层呈层状结构, 涂层的主晶相为NiCr和Cr₂C₃相, 涂层在700℃、800℃和850℃时抗热震性能良好, 均满足使用要求。

关键词

等离子喷涂, NiCr/Cr₂C₃涂层, 显微结构, 抗热震

Copyright © 2018 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

目前, 航空发动机高温固体润滑耐磨涂层较多采用热喷涂技术制备[1] [2] [3] [4] [5]。与其它制备方法相比, 热喷涂技术具有以下优点[6] [7]: 可喷涂的材料范围广, 包括各种金属及合金、陶瓷及金属陶瓷、塑料、非金属矿物等几乎所有固态工程材料; 能够在多种金属粘结相上形成涂层, 包括金属基体、陶瓷基体、塑料基体、石膏、木材甚至纸板上都能喷涂; 不受被喷涂工件尺寸和施工场所的限制; 涂层沉积效率较高, 涂层厚度容易控制; 施工艺灵活, 方便, 迅速, 适应性强; 热喷涂施工对基体的热影响小; 成本低, 经济效益显著。因此, 在各工业领域, 热喷涂已发展成为一种不可缺少的热加工技术。等离子喷涂 NiCr/Cr₃C₂ 涂层材料具有较小的摩擦系数和优异的耐磨性能, 已作为功能涂层材料应用于先进航空发动机中, 以提高航空发动机的使用寿命[8] [9] [10] [11]。

本文采用包覆技术制备了 NiCr/Cr₃C₂ 复合粉体, 并采用空气等离子喷涂技术制备了 NiCr/Cr₃C₂ 复合涂层, 研究了涂层的抗热震性能, 为该涂层在高温下的应用提供理论依据。

2. 实验

2.1. 材料制备

按一定比例在分别在 Cr₃C₂ 细粉表面高压氢还原包覆镍层, 然后采用固态合金化技术对 Cr₃C₂ 粉体表面包覆的镍层渗 Cr, 工艺条件为 950℃, 保温时间为 8 h, 烧结气氛为氢气, 然后将粉体离心喷雾造粒, 将造粒后的粉体在氢气气氛下低温除胶, 温度为 900℃, 保温时间为 2 h, 最后将粉体进行筛分, 得到可用于等离子喷涂的 NiCr/Cr₃C₂ 粉体。制备的 NiCr/Cr₃C₂ 复合粉体中 NiCr 占 25% (wt.%), Cr₃C₂ 占 75% (wt.%), 其中 Ni:Cr = 80:20(wt.%).

本实验采用镍基高温合金作为基体材料, 喷涂之前需要对基体进行预处理。首先, 把基体放在洗衣粉水中超声 10 min, 以除去基体表面的油渍和其它脏东西。清洗并干燥后, 采用 GS-943 型吸入式干喷砂机对基体的喷涂表面进行喷砂预处理, 以提高涂层与基体的结合强度。

采用 APS-2000K 型等离子喷涂设备制备涂层。为了提高涂层与基体的结合强度, 喷涂之前先在基体上喷涂 NiCrAl 粘结层, 其厚度一般为 0.1~0.15 mm。经优化的涂层喷涂参数如表 1 所示。

2.2. 材料表征

粉体和涂层的组织结构采用 FEI Quanta 200 FEG 电子扫描显微镜进行观察;涂层的物相表征在 Philips X' PERT X 射线衍射仪上测试。采用德国 Linseis Messgeraete GmbH.L75/1550 高温热膨胀仪测试涂层热膨胀系数。测试前将涂层线切割为 20 mm × 4 mm × 0.5 mm 的长条,测试介质为空气,测试温度从室温到 900℃,升温速度为 5℃/min。

涂层抗热震性能测试:采用 SX-5-12 型马弗炉对粉体进行抗热震性试验。将试样分别置于 700℃、800℃和 850℃的电阻炉内保温 5 min,然后取出迅速投入室温下的水中,观察涂层出现裂纹及脱落的次数,一般要求经过 7 次抗热震实验,涂层仍不开裂、不剥落为合格。

3. 结果与分析

3.1. 粉体和涂层的显微结构分析

图 1 是等离子喷涂 NiCr/Cr₂C₃ 粉体的 SEM 图。从图中可以看出, NiCr/Cr₂C₃ 粉体呈球形,颗粒分布较均匀,颗粒尺寸在 20~80 μm 之间。

图 2 是等离子喷涂 NiCr/Cr₂C₃ 涂层的 SEM 图。从图中 2(a)中可以看出,等离子喷涂 NiCr/Cr₂C₃ 涂层呈层状结构,涂层与结合层以及结合层与基体之间结合良好,涂层厚度约为 100 μm。从图 2(b)中可以看出,涂层中白色区域为 NiCr,灰色区域为 Cr₂C₃,黑色区域为气孔。

3.2. 涂层的物相结构分析

图 3 是等离子喷涂 NiCr/Cr₃C₂ 复合涂层的 XRD 分析。从图中可以看出,涂层的主晶相为 NiCr 和 Cr₃C₂ 相,同时还有少量的 Cr₂O₃ 和 NiO 相存在,说明粉体在热喷涂过程中有少量的氧化。

Table 1. Parameters of the APS thermal sprayed coatings

表 1. 等离子喷涂涂层热喷涂参数

Voltage (V)	Current (A)	Powder feed rate(g/min)	Spray distance (mm)	Ar		H ₂	
				Flow rate(L/min)	Pressure (MPa)	Flow rate(L/min)	Pressure (MPa)
65	500	30	120	40	0.6	2.5	0.6

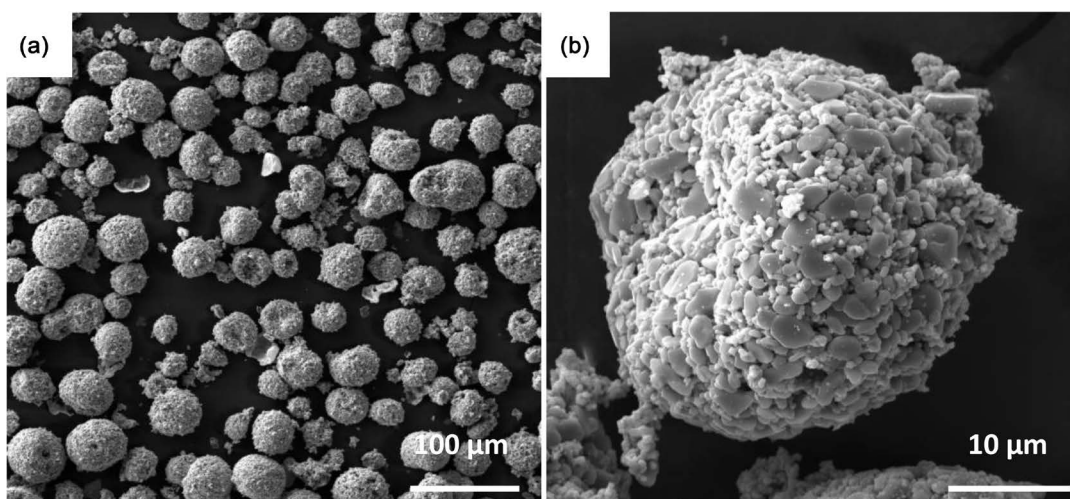


Figure 1. SEM morphologies of the APS sprayed NiCr/Cr₂C₃ powder

图 1. 等离子喷涂 NiCr/Cr₂C₃ 粉体的 SEM 图

3.3. 涂层的抗热震性能分析

表 2 是等离子喷涂 NiCr/Cr₃C₂ 复合涂层的抗热震性能。从表中可以看出, NiCr/Cr₃C₂ 复合涂层在 700℃、800℃ 和 850℃ 时, 冷热循环 10 次均未出现开裂或脱落的现象, 说明该涂层在 700℃、800℃ 和 850℃ 时抗热震性能良好, 均满足使用要求。

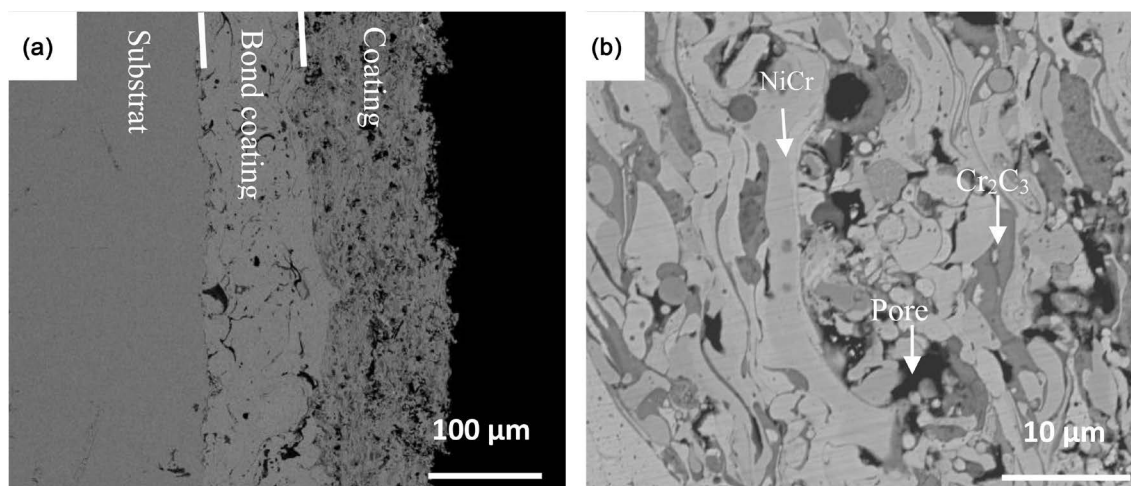


Figure 2. SEM morphologies of the APS sprayed NiCr/Cr₃C₂ coating
图 2. 等离子喷涂 NiCr/Cr₃C₂ 涂层的 SEM 图

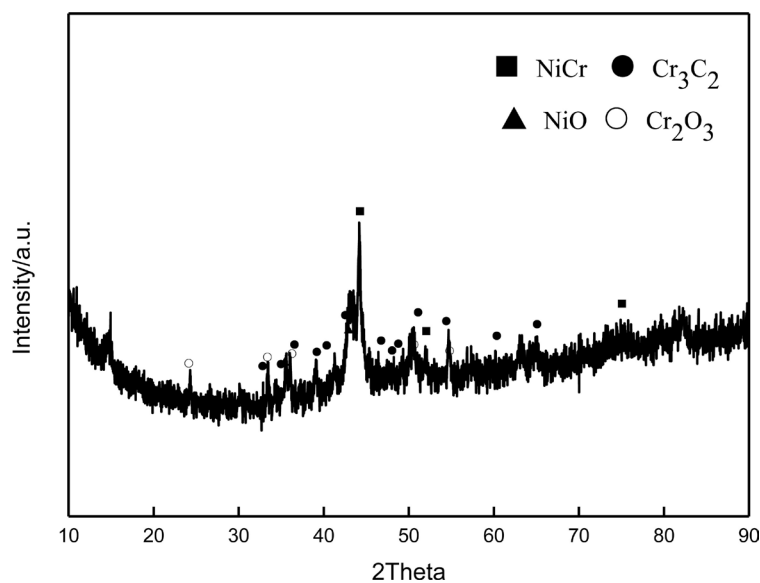


Figure 3. XRD pattern of the APS sprayed NiCr/Cr₃C₂ coating
图 3. 等离子喷涂 NiCr/Cr₃C₂ 涂层的 XRD 分析

Table 2. Thermal shock tests of the APS sprayed NiCr/Cr₃C₂ composite coating
表 2. 等离子喷涂 NiCr/Cr₃C₂ 复合涂层的抗热震性能

	Times of thermal shock tests		
	700℃	800℃	850℃
NiCr/Cr ₃ C ₂	≥10	≥10	≥10

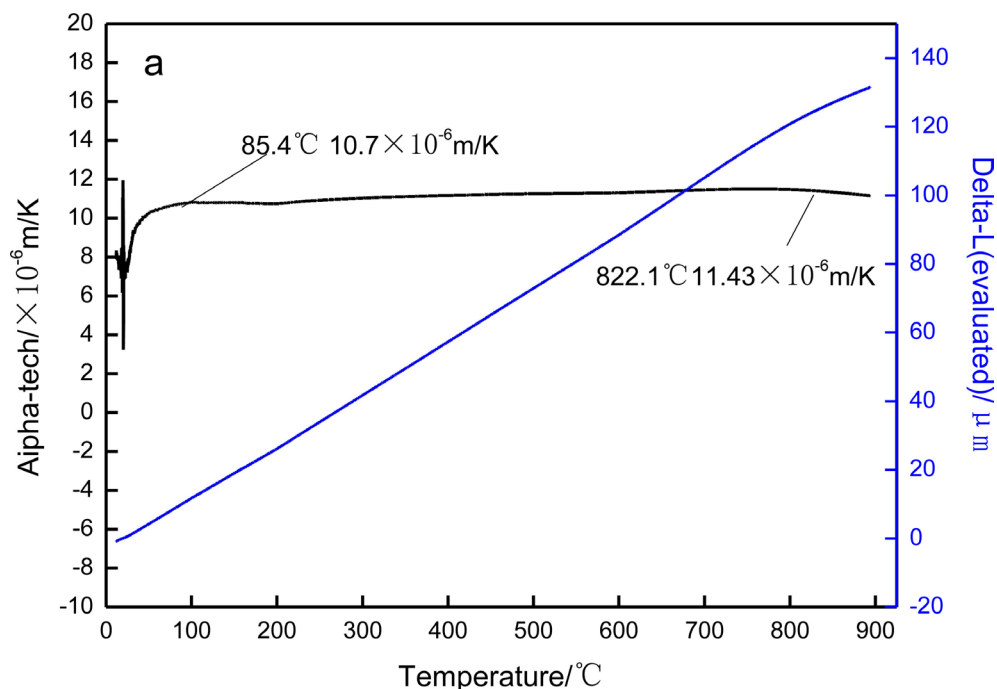


Figure 4. Coefficients of thermal expansion of the APS sprayed NiCr/Cr₃C₂ coating
图 4. 等离子喷涂 NiCr/Cr₃C₂ 涂层的热膨胀系数

为了进一步研究涂层和结合层以及结合层和基体之间的热膨胀系数的匹配性，测试了等离子喷涂 NiCr/Cr₃C₂ 复合涂层的热膨胀系数，如图 4 所示。从图中可以看出，等离子喷涂 NiCr/Cr₃C₂ 复合涂层从室温到 900℃ 热膨胀系数较平稳，因此温度对等离子喷涂 NiCr/Cr₃C₂ 复合涂层的热膨胀系数的影响并不明显，在高温下等离子喷涂 NiCr/Cr₃C₂ 复合涂层的热膨胀系数大约为 $11.43 \times 10^{-6} \text{ m/K}$ ，由于 Ni 基高温合金的热膨胀系数在 $14 \sim 15 \times 10^{-6} \text{ m/K}$ 之间，碳钢的热膨胀系数在 $14.7 \sim 15 \times 10^{-6} \text{ m/K}$ 之间，因此等离子喷涂 NiCr/Cr₃C₂ 复合涂层与 Ni 基高温合金和碳钢的热膨胀系数均匹配性较好。

4. 结论

- 1) 等离子喷涂 NiCr/Cr₃C₂ 涂层呈层状结构，涂层与结合层以及结合层与基体之间结合良好。
- 2) 热喷涂以后，涂层的主晶相为 NiCr 和 Cr₃C₂ 相，同时还有少量的 Cr₂O₃ 和 NiO 相存在。
- 3) 涂层在 700℃、800℃ 和 850℃ 时抗热震性能良好，均满足使用要求。

致 谢

本实验是在中国科学院过程工程研究所多相复杂系统重点实验室完成，非常感谢在实验过程中给予帮助的老们。

基金项目

河北省自然科学基金项目(E2015105068)；河北省科技计划项目(17211028)；河北省高等学校教育科学研究项目(Z2017054)；唐山市科技计划项目(17110216a)。

参考文献

- [1] 金云学, 岳佳琦, 王昌华, 等. 球扁钢用铸铁轧辊表面等离子喷涂 Cr₃C₂-25NiCr 涂层工艺优化[J]. 金属热处理,

- 2013, 38(3): 86-90.
- [2] Cao, Y.X., Huang, C.B., Liu, W., *et al.* (2014) Effects of Boron Carbide Content on the Microstructure and Properties of Atmospheric Plasma-Sprayed NiCoCrAlY/Al₂O₃-B₄C Composite Coatings. *Journal of Thermal Spray Technology*, **23**, 716-724. <https://doi.org/10.1007/s11666-014-0061-x>
- [3] Kim, G., Choi, H., Han, C., Uhm, S. and Lee, C. (2005) Characterization of Atmospheric Plasma Spray NiCr-Cr₂O₃-Ag-CaF₂/BaF₂ Coatings. *Surface and Coating Technology*, **195**, 107-115. <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2004.11.041>
- [4] Rafei, M., Salehi, M., Shamanian, M., *et al.* (2014) Preparation and Oxidation Behavior of B₄C-Ni and B₄C-TiB₂-TiC-Ni Composite Coatings Produced by an HVOF Process. *Ceramics International*, **40**, 13599-13609. <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2014.05.081>
- [5] Sarikaya, O., Anik, S., Celik, E., Okumus, S.C. and Aslanlar, S. (2007) Wear Behaviour of Plasma-Sprayed AlSi/B₄C Composite Coatings. *Materials and Design*, **28**, 2177-2183. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2006.07.004>
- [6] Jones, M., Horlock, A.J., Shipway, P.H., McCartney, D.G. and Wood, J.V. (2001) A Comparison of the Abrasive Wear Behaviour of HVOF Sprayed Titanium Carbide and Titanium Boride-Based Cermet Coatings. *Wear*, **251**, 1009-1016. [https://doi.org/10.1016/S0043-1648\(01\)00702-5](https://doi.org/10.1016/S0043-1648(01)00702-5)
- [7] Guo, D.Z., Li, F.L., Wang, J.Y., *et al.* (1995) Effects of Post-Coating Processing on Structure and Erosive Wear Characteristics of Flame and Plasma Spray Coatings. *Surface and Coating Technology*, **73**, 73-76, 78.
- [8] Sidhu, T.S., Prakash, S. and Agrawal, R.D. (2006) Hot Corrosion Studies of HVOF Sprayed Cr₃C₂-NiCr and Ni-20Cr Coatings on Nickel-Based Superalloy at 900°C. *Surface and Coating Technology*, **201**, 792-800. <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2005.12.030>
- [9] Huang, C.B., Du, L.Z. and Zhang, W.G. (2009) Effects of Solid Lubricant Content on the Microstructure and Properties of NiCr/Cr₃C₂-BaF₂·CaF₂ Composite Coatings. *Journal of Alloys and Compounds*, **479**, 777-784. <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2009.01.062>
- [10] 曹玉霞. 航空发动机高温固体润滑耐磨涂层的制备与性能研究[D]: [博士学位论文]. 北京: 中国科学院过程工程研究所, 2012.
- [11] 曹玉霞, 黄传兵, 杜令忠, 等. 等离子喷涂 NiCr/Cr₃C₂-hBN 复合涂层的制备及摩擦性能研究[J]. 表面技术, 2015, 44(6): 27-31.

知网检索的两种方式:

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>
下拉列表框选择: [ISSN], 输入期刊 ISSN: 2161-8844, 即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>
左侧“国际文献总库”进入, 输入文章标题, 即可查询

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>
期刊邮箱: hjctet@hanspub.org