

doi: 10.11933/j.issn.1007-9289.2016.03.008

燃气热冲击对PS-PVD和APS热障涂层的微结构和隔热性能的影响*

张永^{1,2}, 刘敏², 张吉阜², 许晓嫦¹, 宋进兵²

(1. 中南大学材料科学与工程学院, 长沙 410083; 2. 广东省新材料研究所 a. 现代材料表面工程技术国家工程实验室, b. 广东省现代表面工程技术重点实验室, 广州 510651)

摘要: 采用等离子喷涂-物理气相沉积 (PS-PVD) 和大气等离子喷涂 (APS) 技术分别制备柱状和层状YSZ陶瓷层, 在 1 250 °C 的燃气热冲击下对比研究两种涂层体系的微结构演变和隔热性能变化。结果显示, 燃气热冲击后PS-PVD和APS制备的两种YSZ层主要由t'相和c相构成。APS制备的YSZ层微裂纹不断生长开裂并出现局部层状剥落, 而PS-PVD制备的YSZ层的“菜花头”间隙不断增大并出现局部“菜花头”剥落。同时表明, PS-PVD制备的热障涂层在长期燃气热冲击时抗氧化性及隔热效果均优于APS制备的热障涂层。

关键词: 等离子喷涂-物理气相沉积; 热障涂层; 燃气热冲击; 失效分析

中图分类号: TG174.44

文献标识码: A

文章编号: 1007-9289(2016)03-0057-08

Effects of Gas Thermal Shock on Microstructure and Heat Insulation Properties of Thermal Barrier Coatings by PS-PVD and APS

ZHANG Yong^{1,2}, LIU Min², ZHANG Ji-fu², XU Xiao-chang¹, SONG Jin-bing²

(1. School of Materials Science and Engineering, Central South University, Changsha 410083; 2a. National Engineering Laboratory for Modern Materials Surface Engineering Technology, 2b. Key Lab of Guangdong for Modern Surface Engineering Technology, Guangdong Institute of New Materials, Guangzhou 510651)

Abstract: Columnar YSZ ceramic layer and layered YSZ ceramic layer were respectively prepared by plasma spraying-physical vapor deposition (PS-PVD) and atmospheric plasma spraying (APS). The structures and heat insulation properties of PS-PVD coatings were compared with those of APS coatings under gas thermal shock test at 1 250 °C. The result show that after gas thermal shock, both coatings were mainly composed of t'-phase and c-phase. The micro-cracks of APS-YSZ were growing and local layer peeling occurred to the YSZ layer, while the gap of “cauliflower head” of PSPVD-YSZ were larger and larger and the “cauliflower head” appeared local peeling off after gas thermal shock for long time. The results also indicated that the resistance to oxidation and heat insulation effect of YSZ prepared by PS-PVD were superior to that of YSZ prepared by APS for long gas thermal shock testing.

Keywords: plasma spraying-physical vapor deposition (PS-PVD); thermal barrier coating (TBC); gas thermal shock; failure analysis

收稿日期: 2015-12-31; 修回日期: 2016-05-25; 基金项目: *国家重点基础研究发展计划(973计划)(2012CB625105); 广东省自然科学基金研究团队项目(2016A030312015)

通讯作者: 刘敏(1965—), 男(汉), 教授, 硕士; 研究方向: 表面技术; Tel: (020) 3723 8108; E-mail: liumin_gz@163.net

网络出版日期: 2016-06-20 09:33; 网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/11.3905.TG.20160620.0933.012.html>

引文格式: 张永, 刘敏, 张吉阜, 等. 燃气热冲击对PS-PVD和APS热障涂层的微结构和隔热性能的影响[J]. 中国表面工程, 2016, 29(3): 57-64. ZHANG Y, LIU M, ZHANG J F, et al. Effects of gas thermal shock on microstructure and heat insulation properties of thermal barrier coatings by PS-PVD and APS[J]. China Surface Engineering, 2016, 29(3): 57-64.

0 引言

航空发动机叶片作为核心热端部件, 承受着高温、高气流的燃气热冲击, 工况环境十分恶劣^[1]。高温合金技术和热障涂层技术的结合, 使得叶片具有良好的隔热性能和抗高温腐蚀性能^[2-3], 极大地提高了叶片的服役寿命与工作效率。热障涂层的传统制备技术包括热喷涂、PVD、EB-PVD等方法, 获得了很好的效果和应用。近年来PS-PVD技术兴起, 结合了PVD和传统喷涂技术的优点。其在制备热障涂层方面组织结构可调控, 沉积效率较高, 制备的柱状晶涂层抗热震性与抗高温氧化综合性能俱佳^[4-5], 这为制备结构和性能优异的热障涂层提供了新手段。

制备的涂层长期工作在热冲击下会发生相变, TGO生长产生应力, 涂层之间存在热不匹配应力, 以及微裂纹生长^[6-8], 都将导致涂层剥落和失效。为深入研究涂层抗热冲击性能, 国内采用感应加热或电炉加热, 然后水冷或压缩空气冷却^[9-10], 来探究涂层热疲劳性能, 这与涂层真正的工作环境相差较大。文中采用燃气热冲击的方法模拟涂层真实服役环境, 利用PS-PVD技术制备柱状结构YSZ涂层, 采用APS技术制备层状结构YSZ涂层, 对比分析两种热障涂层体系在模拟燃气热冲击下的微观结构与性能演变。

1 试验方法

1.1 样品制备

基体材料为K417高温合金, 加工成如图1所示的 $\Phi 25\text{ mm} \times 6\text{ mm}$ 小圆片, 对圆片涂层喷涂面进行边缘倒角, 以防边沿涂层剥落, 在圆片侧面加工一凹槽, 用以固定测试试样, 圆片背面中心打一小孔, 用以热冲击试验插放热电偶, 测量基材背面温度。对加工后的试样采用超声波丙酮除油后喷120号刚玉砂砾进行表面粗化, 再进行喷涂。

在喷砂后高温合金试样表面首先采用低压等

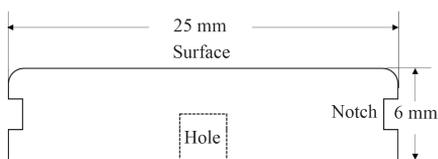
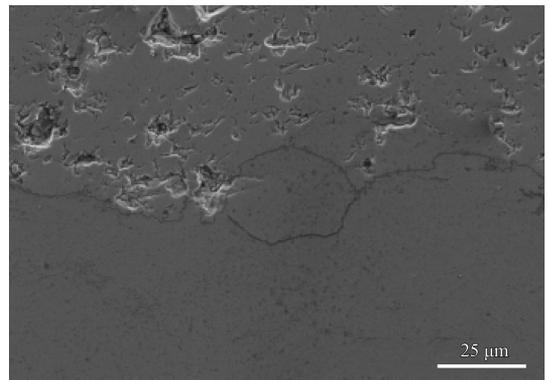


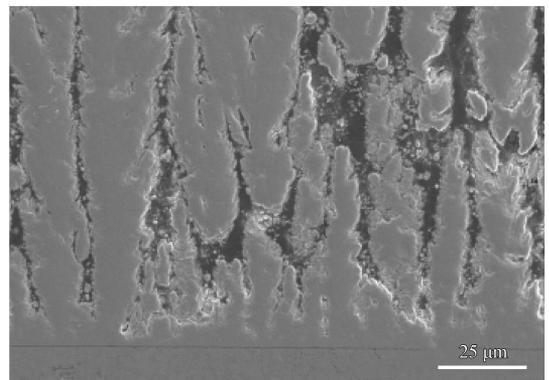
图1 用于燃气热冲击试验的高温合金基体试样

Fig. 1 Specimen shape of superalloy substrate for gas thermal shock

离子喷涂制备粘结层, 粘结层成分为NiCoCrAlYTa (Amdry 997, Sulzer-Metco), 厚度约 $200\ \mu\text{m}$ 。对粘结层进行抛光处理, 放入等离子喷涂-物理气相沉积(PS-PVD, Sulzer-Metco)真空罐内进行预氧化处理后喷涂陶瓷层面层, 成分为 $\text{ZrO}_2-7\%\text{Y}_2\text{O}_3$ (7YSZ, AMPERITTM827, H.C. Starck), 厚度约为 $300\ \mu\text{m}$ 。在未经抛光与氧化处理的粘结层表面采用大气等离子喷涂(APS, MF-P1000, GTV, Germany)直接喷涂相同成分的陶瓷层YSZ, 厚度也约为 $300\ \mu\text{m}$ 。两种工艺制备的YSZ涂层形貌见图2。其中APS制备的YSZ层(APS-YSZ)呈层状结构, 涂层中存在很多孔隙, 而PS-PVD制备的YSZ层(PSPVD-YSZ)呈柱状结构, 柱状晶之间也存在较大空隙。两种工艺方法的具体参数列于表1。



(a) APS



(b) PS-PVD

图2 不同工艺制备的YSZ层微观形貌

Fig. 2 Morphologies of YSZ layer prepared by APS and PS-PVD

1.2 热冲击试验

图3为热障涂层的燃气热冲击试验平台(RPT1402型热震仪, 北京润鹏科技有限公司)示意图。试验平台具有4工位, 可依次对4个试样进行循环加热, 加热燃气采用丙烷为燃料, 氧气为助燃气。

表1 APS及PS-PVD制备工艺参数

Table 1 Parameters of APS and PS-PVD process

| Parameters | APS | PS-PVD |
|---|------|--------|
| Power / kW | | 131.4 |
| Current / A | 680 | |
| Voltage / V | 67 | |
| Ar flow rate / (L·min ⁻¹) | 45 | 35 |
| H ₂ flow rate / (L·min ⁻¹) | 5 | |
| He flow rate / (L·min ⁻¹) | | 60 |
| Carrier gas Ar / (L·min ⁻¹) | 4 | 16 |
| Feed rate / (g·min ⁻¹) | 40 | 24 |
| Stand-off distance / mm | 110 | 950 |
| Chamber pressure / Pa | | 150 |
| Pre-heating temperature / °C | ~200 | 938 |

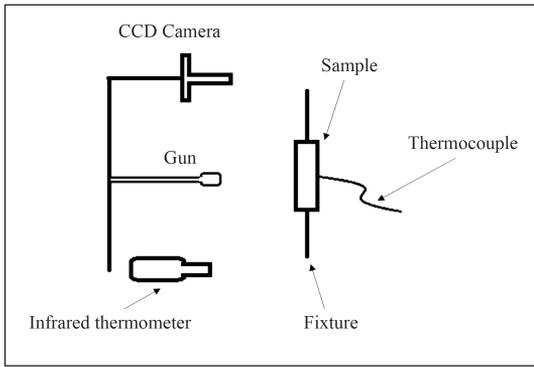


图3 热障涂层的燃气热冲击测试平台示意图

Fig. 3 Schematic diagram of gas thermal shock testing platform for TBC

试样正面(带涂层面)采用双色红外测温仪监测温度, 背面温度采用热电偶测量。燃气热冲击试验条件为: 在30 s内将试样正面加热至1 250 °C并同

时对背面采用压缩空气吹扫, 以模拟发动机涡轮叶片热障涂层的表面温度梯度场, 保温2 min后移除焰流并用压缩空气将试样温度在30 s内骤冷至80 °C以下, 完成一次热循环试验。前一工位试验完成一次热循环测试后, 燃气喷枪立马移至下一工位进行下一试样的试验。分别对APS-YSZ与PSPVD-YSZ的热障涂层体系进行燃气热冲击试验, 循环次数分别为100、300、600和1 000。

1.3 涂层测试与表征

采用X射线衍射(XRD, D8-Advance, Bruker)对热冲击前后陶瓷层表面进行物相分析, 步长为0.02° (Cu Kα, 20°~80°)。采用附带能谱仪(EDS)的场发射扫描电子显微镜(FE-SEM, Nova-Nano-430, FEI)对热冲击前后热障涂层的形貌及成分变化进行观察和分析。

2 结果与分析

2.1 YSZ层的物相结构变化

图4为PSPVD-YSZ与APS-YSZ两种涂层试样经不同燃气热冲击后的XRD衍射结果。可见两种结构的YSZ层, 其主要物相构成均为亚稳态四方相(t'相)和立方相(c相), 且经过不同燃气热冲击后这两个相的衍射峰强度变化不大。t'相是受到氧化钇稳定后的氧化锆相, 而c相是氧化锆在高温熔融后快速冷却后保留下来的相。仔细观察发现, 经过100次热循环后可明显观察到APS-YSZ层出现了m相的衍射峰, 随后随着热循环次数的增加, 衍

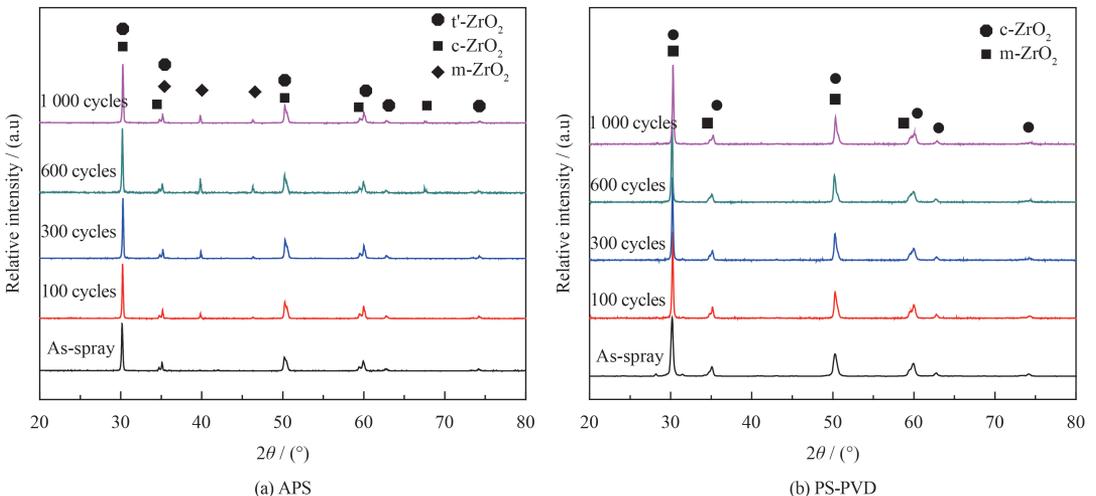


图4 不同次数燃气热冲击后YSZ层的XRD图谱

Fig. 4 XRD patterns of YSZ layer prepared by APS and PS-PVD after different thermal cycles

射峰强度更为明显,说明APS-YSZ层发生了一定程度的相结构演变。燃气热冲击过程实际上包括了高温加热与低温时效两个过程,而有研究^[11]表明APS-YSZ层在高温时效后 t' 将发生相转变 $t' \rightarrow t+c$ 相,而 t 相进一步发生相转变 $t \rightarrow m$ 相,这可能是图4(a)中观察到 m 相的来源。 m 相为贫钇相,从 t 相到 m 相的转变会发生3.5%左右的体积膨胀,这将诱发涂层产生裂纹,成为涂层失效的重要因素。相比之下,PSPVD-YSZ经过不同次数的燃气热冲击后均未观察到明显的 m 相出现,说明PSPVD-YSZ的相结构更为稳定,在经受长期的燃气热冲击后未发生明显的相结构演变。

2.2 YSZ层的表面形貌变化

图5为不同热冲击次数下PSPVD-YSZ与APS-YSZ两种涂层的表面形貌。从图5(a)~(c)中可以看出:喷涂态APS-YSZ涂层呈“堆积状”结构,表面存在较多的孔洞和微裂纹,因为在APS喷涂过程中,粉末颗粒经等离子焰流加热成液相后向基体沉积转变为固相,沉积过程易卷入空气及受热应力的影响,出现涂层内的孔洞和微裂纹^[12]。在燃气热冲击的作用下,这些微裂纹将逐步扩张,加上之前观察到的 m 相转变可能导致的涂层体积膨胀,使得YSZ层内微裂纹尺寸不断扩大,间隙

也变大,这将降低YSZ层对氧气的隔离效果,使得涂层体系的抗氧化性下降,甚至出现涂层的局部剥落。图5(d)~(f)显示,喷涂态PSPVD-YSZ层表面呈“菜花状”结构,从YSZ层截面(图2(b))看到的每一个柱状晶,实际上不是一个单晶结构,而是由众多沿垂直基体表面生长的更小柱状晶构成,即每一个大的柱状晶由许多小的柱状晶组成。PS-PVD喷涂在超低压下进行,形成的焰流长度较大气下明显加长,有别于APS的单一液相沉积或EB-PVD的单一气相沉积,PS-PVD同时存在液相和气相沉积过程,涂层形成机制复杂,是以岛状生长方式^[13]为主,最终形成了所谓的“菜花状”形貌。每个大的“菜花头”由众多小的柱状晶组成,“菜花头”之间存在间隙,燃气热冲击后受到循环热应力的影响,“菜花头”间的间隙不断变大,甚至会出现局部的“菜花头”剥落现象。

图6为1 000次热冲击后PSPVD-YSZ和APS-YSZ涂层表面剥落点的SEM形貌和能谱图。图6(a)显示APS-YSZ经过1 000次热冲击后表面出现局部块状剥落,剥落面积为直径大约150 μm 的区域;图6(b)显示PSPVD-YSZ经过1 000次热冲击后,在“菜花状”结构处剥落,剥落面积为直径大约50 μm 的区域。并且二者的剥落处都检测到Al和Cr的氧

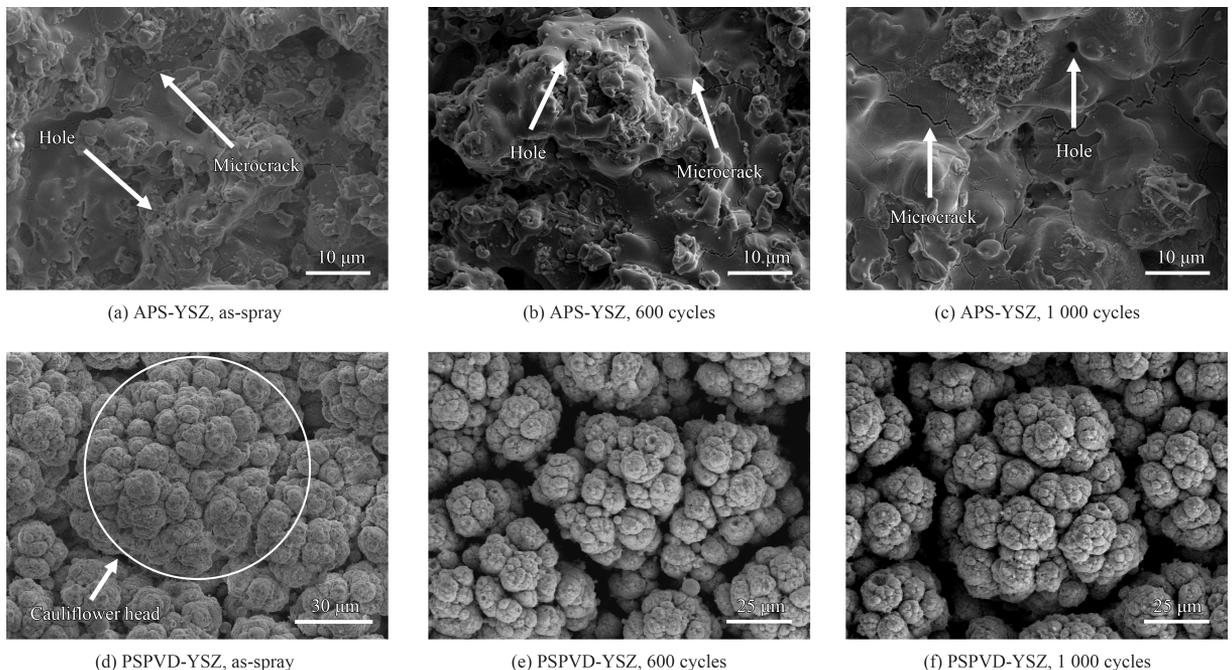


图5 不同次数燃气热冲击后YSZ层的表面形貌

Fig. 5 Surface morphologies of YSZ layer after different thermal shock cycles

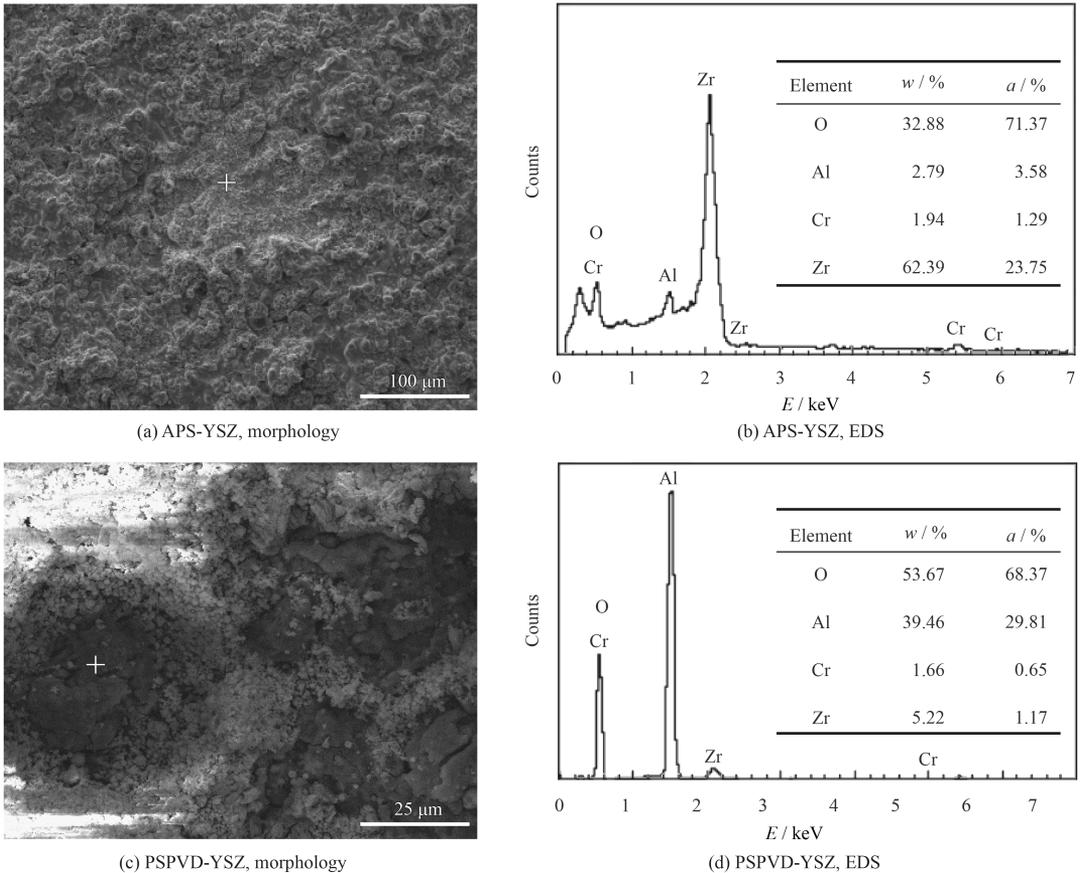


图6 经过1 000次热冲击后YSZ层表面剥落点微观形貌与元素成分分析

Fig. 6 Surface morphologies and EDS analysis of peeling points of YSZ layer after 1 000 cycles of thermal shock test

化物。热冲击试验中涂层温度高, 粘结层中合金元素扩散速率提高, 在化学势驱动下沿着涂层中微裂纹通道与氧气反应。APS-TBC的粘结层中金属元素通过层状结构中的孔洞以及微裂纹扩散到YSZ层表面, 而PSPVD-TBC的粘结层中的金属元素则通过柱状晶之间的空隙向YSZ层表面发生了扩散。

2.3 TGO形貌演变

图7为不同热冲击次数下APS与PS-PVD两种工艺制备的热障涂层的TGO形貌变化。图7(a)显示, 喷涂态的APS-TBC涂层在粘结层/陶瓷层界面形成了明显的TGO层, 这是由于喷涂过程处于大气环境, 熔融后的YSZ颗粒沉积在粘结层表面后在粘结层/陶瓷层界面直接形成了TGO层。由于粘结层表面较为粗糙, 陶瓷层/粘结层界面起伏波动, 形成的TGO层呈“山峦”状。燃气热冲击后, TGO厚度明显增加了(图7(a)(b)), 说明燃气热冲击过程中外部氧气透过YSZ层与粘结层发生氧化反应, 增加了粘结层的厚度。图7(d)显示, 由于

对粘结层进行了抛光与氧化预处理, 喷涂态的PSPVD-TBC的粘结层/陶瓷层界面也形成了明显的TGO层, 且TGO平整连续。燃气热冲击后TGO厚度有所增加, 但相比之下较APS-TBC的厚度小一些, 说明PSPVD-TBC经过预氧化处理后抗氧化性能有所提升。

图8进一步证实了PSPVD-TBC涂层的长期抗氧化性能优于APS-TBC涂层。由于对PSPVD-TBC进行了预氧化处理, 喷涂态的PSPVD-TBC的TGO层厚度大于APS-TBC形成的厚度。但经过100次热冲击后, APS-TBC的TGO层生长速率增加, 生长厚度明显大于PSPVD-TBC的TGO层, 最终经过1 000次热冲击后, 二者接近。通常认为APS喷涂制备的YSZ层为层状结构, 相对致密, 抗氧化性能较好; 而PS-PVD制备的YSZ层为柱状结构, 孔隙较多, 抗氧化性较差。但通过预氧化处理后, 在PSPVD-TBC中形成了完整连续的TGO层, 相比APS-TBC在大气环境下形成的TGO层, 预氧化TGO层结构更为致密, 成分接近纯的氧化铝, 能够有效地隔绝氧向粘结层内部的扩散, 故PSPVD-

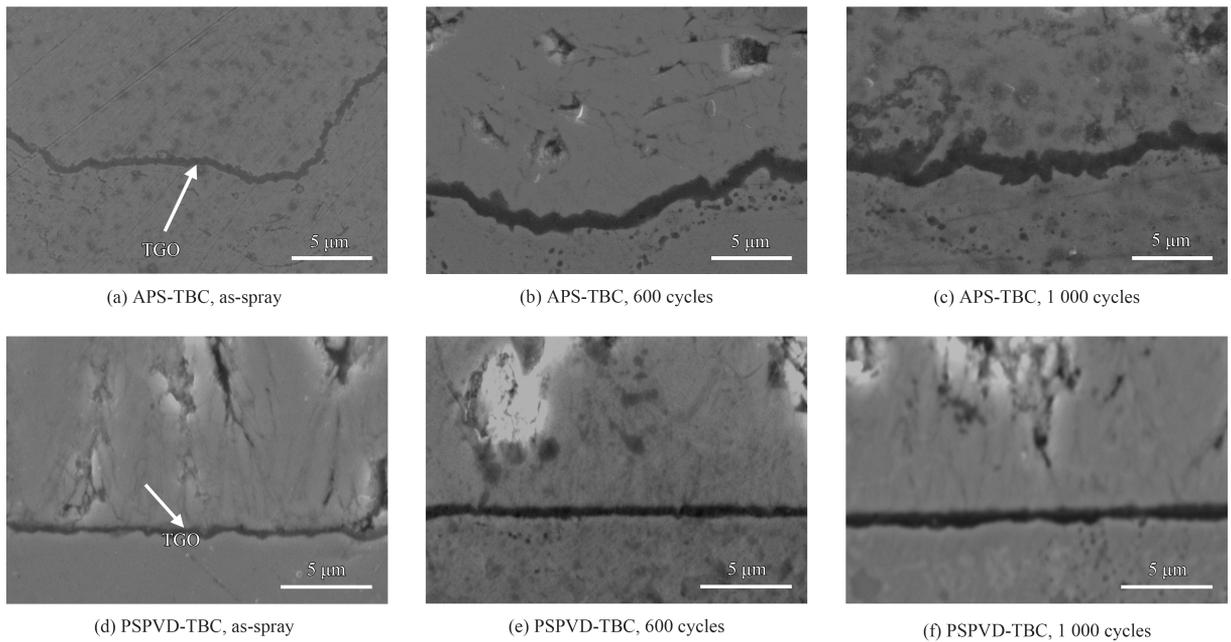


图7 不同次数燃气热冲击后粘结层/陶瓷层界面TGO形貌

Fig. 7 TGO morphologies of bond coat/ceramic layer interface after different thermal shock cycles

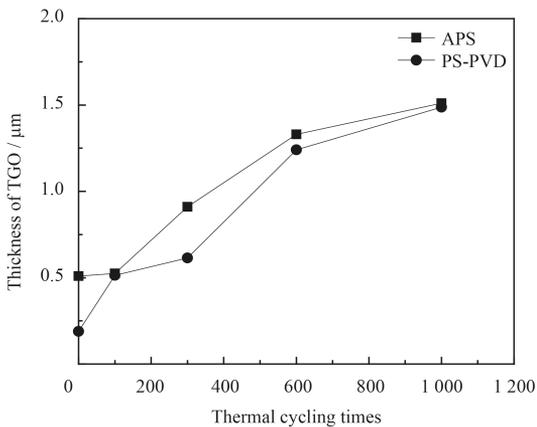


图8 燃气热冲击后PSPVD-TBC及APS-TBC中TGO层的厚度生长曲线

Fig. 8 Growth curves of TGO in PSPVD-TBC and APS-TBC after different thermal shock cycles

TBC的YSZ层虽然呈柱状结构,但表现出了更佳的抗氧化效果。PSPVD-TBC进行预氧化的另一目的是由于PS-PVD包含气相沉积过程,预氧化处理能减小物性差异,有利于在金属粘结层表面制备结合性能优良的陶瓷层,增强涂层体系的抗氧化性和抗热冲击性能。

2.4 隔热性能

在热冲击试验过程中,由于热障涂层正面温度保持在1 250 ℃,在同一工位监测涂层背面温度,可以比较APS-TBC和PSPVD-TBC两种涂层体系的隔热效果与变化情况,监测数据列于图9。

可以看出在100次及300次试验是,PSPVD-TBC试样的背面温度显著低于APS-TBC试样,但在600次热冲击时,PSPVD-TBC试样背面温度上升了近70 ℃,即隔热温度下降了70 ℃,PSPVD-TBC出现了隔热性能的下降。在整个热冲击试验过程中,PSPVD-TBC试样的背面温度是一直低于APS-TBC试样的,说明PS-PVD制备的YSZ层隔热效果优于APS制备的YSZ涂层。有文献表明,YSZ陶瓷层的隔热效果由声子和光子两种载流子在陶瓷层中的传播决定^[14],低温下以声子传热为主,而高温时光子传热比重增加。从图2可见PSPVD-YSZ层的孔隙率是明显大于APS-YSZ层的,在热量传

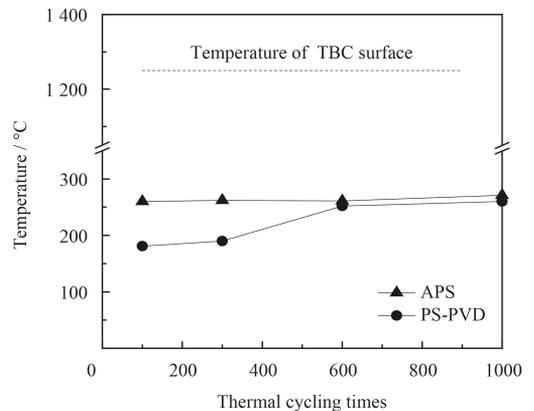


图9 不同次数燃气热冲击时热障涂层试样的背面温度变化

Fig. 9 Temperatures on the back of TBC samples after different thermal shock cycles

递过程中孔隙率能有效增加“声子”的散射^[15], 阻碍热量传递, 增强涂层的隔热效果。

图10显示, PS-PVD制备的柱状结构YSZ层实际上包含大量的微纳米晶粒, 微纳米晶粒之间存在着大量的界面, 这些界面对“声子”的热传递

有阻碍作用^[16], 具有很好的热阻效应; 另外对于热辐射传热过程, 这些界面对“光子”具有反射效果, 也有利于阻碍热量的传递。长期热冲击后, 柱状结构的微纳米晶粒在高温下不断烧结长大, 热阻效果变差, 陶瓷层的隔热效果下降。

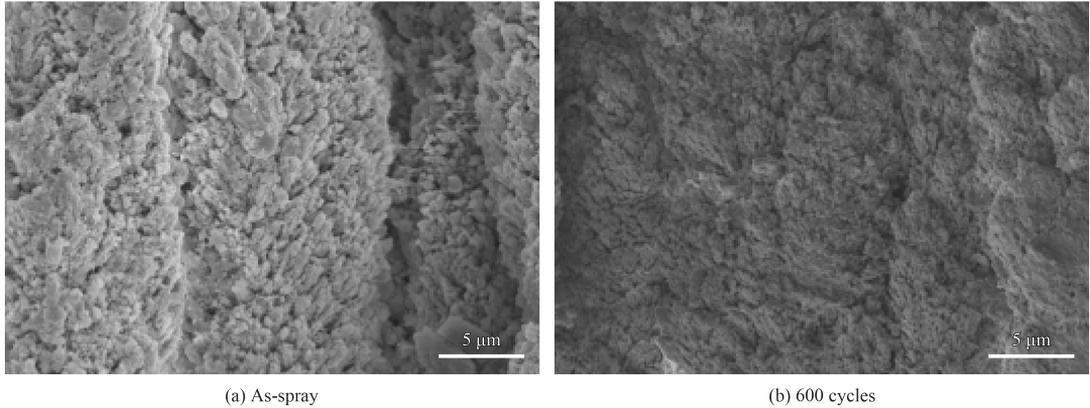


图10 PSPVD-YSZ柱状晶结构的表面微/纳米结构

Fig. 10 Micro/nano structure of PSPVD-YSZ after different thermal shock cycles

3 结论

燃气热冲击对APS-TBC及PSPVD-TBC两种涂层体系的微结构及性能存在影响, 其中APS制备的YSZ层出现了相变与微裂纹扩展, 涂层的抗氧化性能下降。PS-PVD制备的YSZ层相结构较稳定, 且通过预氧化处理后具有良好的抗氧化性能, 但长期热冲击后表面微纳米晶粒烧结长大造成隔热效果下降。

参考文献

- [1] KEYVANI A, SAREMI M, SOHI M H, et al. A comparison on thermomechanical properties of plasma-sprayed conventional and nanostructured YSZ TBC coatings in thermal cycling[J]. *Journal of Alloys and Compounds*, 2012, 541: 488-494.
- [2] 郑蕾, 郭洪波, 郭磊, 等. 新一代超高温热障涂层研究[J]. *航空材料学报*, 2012, 32(6): 14-24.
ZHENG L, GUO H B, GUO L, et al. New generation thermal barrier coatings for ultrahigh temperature applications[J]. *Journal of Aeronautical Materials*, 2012, 32(6): 14-24 (in Chinese).
- [3] 姚青文, 徐佰明. 涡轮叶片热障涂层热腐蚀性能研究[J]. *汽轮机技术*, 2014, 56(3): 237-240.
YAO Q W, XU B M. Researches on hot corrosion resistance of thermal barrier coating for turbine blade[J]. *Turbine Technology*, 2014, 56(3): 237-240 (in Chinese).
- [4] 尹志坚, 王树保, 傅卫, 等. 热喷涂技术的演化与展望[J]. *无机材料学报*, 2011, 26(3): 225-232.
YIN Z J, WANG S B, FU W, et al. Evolution and prospect of thermal spraying technique[J]. *Journal of Inorganic Materials*, 2011, 26(3): 225-232 (in Chinese).
- [5] GEORG M, ANDREAS H, ROBERT V. Process development and coating characteristics of plasma spray-PVD[J]. *Surface & Coatings Technology*, 2013, 220: 219-224.
- [6] REZANKA S, MAUER G, VABEN R. Improved thermal cycling durability of thermal barrier coatings manufactured by PS-PVD[J]. *Journal of Thermal Spray Technology*, 2014, 23 (1/2): 182-189.
- [7] DAROONPARVAR M, YAJID M A M, YUSOF N M, et al. Improvement of thermally grown oxide layer in thermal barrier coating systems with nano alumina as third layer[J]. *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*, 2013, 23(5): 1322-1333.
- [8] LI F X, KANG K J. Deformation and cracking near a hole in an oxide-forming alloy foil subjected to thermal cycling[J]. *Acta Materialia*, 2013, 61(1): 385-398.
- [9] 王恺, 龚江宏, 潘伟. YSZ热障涂层材料抗热震性能研究[J]. *稀有金属材料与工程*, 2013, 42(1): 466-469.
WANG K, GONG J H, PAN W. Thermal shock resistance for YSZ thermal barrier coating materials[J]. *Rare Metal Materials and Engineering*, 2013, 42(1): 466-469 (in Chinese).
- [10] 王娇, 邓畅光, 邓妹皓, 等. CeO₂-Y₂O₃-ZrO₂热障涂层的组织结构及隔热性能[J]. *中国表面工程*, 2015, 28(1): 29-35.
WANG J, DENG C G, DENG S H, et al. Microstructures

- and thermal insulation capability of $\text{CeO}_2\text{-Y}_2\text{O}_3\text{-ZrO}_2$ thermal barrier coatings[J]. *China Surface Engineering*, 2015, 28(1): 29-35 (in Chinese).
- [11] 冯健. 大气等离子喷涂YSZ热障涂层微观组织、相组成及电容特性的研究[D]. 大连: 大连海事大学, 2013.
FENG J. Study on microstructure, phase composition and the capacitance characteristics of YSZ thermal barrier coatings prepared by APS[D]. Dalian: Dalian Maritime University, 2013 (in Chinese).
- [12] ZHU C, WANG Y G, AN L N, et al. Microstructure and oxidation behavior of conventional and pseudo graded NiCrAlY/YSZ thermal barrier coatings produced by supersonic air plasma spraying process[J]. *Surface & Coatings Technology*, 2015, 272: 121-128.
- [13] 张小锋, 周克崧, 宋进兵, 等. 等离子喷涂-物理气相沉积7YSZ热障涂层沉积机理及其CMAS腐蚀失效机制[J]. *无机材料学报*, 2015, 30(3): 287-293.
ZHANG X F, ZHOU K S, SONG J B, et al. Deposition and CMAS corrosion mechanism of 7YSZ thermal barrier coatings prepared by plasma spray-physical vapor deposition[J]. *Journal of Inorganic Materials*, 2015, 30(3): 287-293 (in Chinese).
- [14] KEYVANI A, SAREMI M, SOHI M H. Oxidation resistance of YSZ-alumina composites compared to normal YSZ TBC coatings at 1100 °C[J]. *Journal of Alloys and Compounds*, 2011, 509: 8370-8377.
- [15] WINTER M R, CLARKE D R. Oxide materials with low thermal conductivity[J]. *Journal of the American Ceramic Society*, 2007, 90(2): 533-540.
- [16] 刘静. 微米/纳米尺度传热学[M]. 北京: 科学出版社, 2001.
LIU J. Micro/nanoscale heat transfer[M]. Beijing: Science Press, 2001 (in Chinese).

(责任编辑: 王文宇)

• 本刊讯 •

版权转让声明

根据《中华人民共和国著作权法》等法规要求和国内有影响的期刊对著作权保护的做法, 自2007年起, 凡向本刊所投稿件应为原创作品, 无一稿多投且不涉及保密问题及其他与著作权有关的侵权问题。全体作者需在投稿时签署《论文著作权转让书》, 将该论文的复制权、发行权、翻译权、汇编权、信息网络传播权(包含优先数字出版权)等权利在全世界范围内转让给本刊; 且授权中国科技期刊开放获取平台(COAJ)进行开放获取全文。本刊入编《中文核心期刊要目总览》, 系中国期刊方阵“双效”期刊, 并被中国知网、中国学术期刊综合评价数据库、中国科学引文数据库收录, 被EI Compendex、美国《化学文摘》、俄罗斯《文摘杂志》等国外数据库收录; 凡被本刊录用的稿件将视为同意通过网络进行出版或提供信息服务。稿件一经刊用, 将一次性支付作者著作权使用报酬(即稿费)。

著作权许可声明

本刊已许可中国学术期刊(光盘版)电子杂志社在中国知网及其系列数据库产品中以数字化方式复制、汇编、发行和信息网络传播本刊全文。作者向本刊所投文章即视为同意在中国学术期刊(光盘版)电子杂志社出版。所付稿酬包括该社著作权使用费。

《中国表面工程》编辑部

2016年1月