

# 等离子喷涂 $ZrO_2$ 热障涂层隔热效果的实验研究

李宵娜 秦福麒 梁立红 魏悦广

(中国科学院力学研究所, 100190)

**摘要:** 本工作采用实验方法比较了由空气等离子喷涂工艺制备的纳米结构和微米结构的热障涂层在不同温度下的隔热效果, 研究发现: 对于纳米结构和微米结构涂层, 温度越高, 隔热温度越大; 相同厚度的纳米结构涂层隔热效果优于微米结构涂层。

**关键词:** 热障涂层, 隔热效果, 热导率

## 一、引言

热障涂层由于具有良好的隔热、抗氧化、防腐蚀性能, 近些年来越来越广泛地应用于航空发动机、汽轮机、柴油发电机等热端部件上。热障涂层由粘结层和陶瓷层两部分组成, 目前广泛采用的粘结层材料为抗高温氧化的  $MCrAlY$  合金, 陶瓷层材料为低热导率、良好高温化学稳定性的  $Y_2O_3$  部分稳定的  $ZrO_2$  (YSZ)。传统的陶瓷层材料为微米结构, 研究发现, 具有纳米结构陶瓷层的热障涂层表现出更好的热学及力学性能。隔热性能是其中一个重要指标, 为了比较具有纳米、微米结构的热障涂层在不同温度下的隔热效果, 本文对其进行了实验研究。

## 二、实验方法

实验样品尺寸为直径15mm, 厚度3mm, 共9个, 其中, 第一组1~3、第二组4~6和第三组7~9分别为无涂层、具有微米结构和纳米结构热障涂层的镍基超合金, 热障涂层厚度为0.2mm, 其中粘结层和陶瓷层材料分别为  $NiCrAlY$  和 YSZ, 均采用空气等离子喷涂工艺涂覆而成。

实验设备为电热炉, 热电偶等。将每组中的3个样品分别从室温(约20℃)加热到300、500以及900℃, 加热速率为15℃/min, 到达设置温度后保温20min, 在加热及保温过程中, 记录样品基底面和涂层面的温度。在20min的保温时间内, 温度趋于稳定, 即基底面和涂层面的温差达到恒定值, 之后迅速从炉内取出样品, 进行水淬, 10min后取出, 将样品吹干。

## 三、实验结果与讨论

图1为电热炉温度从室温到300、500以及900℃过程中无涂层、微米结构涂层和纳米结构涂层的样品基底面与涂层面的温度, 分别计算了最终的稳定温差值  $\Delta T_1$ 、 $\Delta T_2$  及  $\Delta T_3$ , 将  $\Delta T_2$  和  $\Delta T_3$  分别减去  $\Delta T_1$ , 得到纳米结构涂层和微米结构涂层样品相对于无涂层的隔热温度  $\Delta T$ , 如表1所示。由表中数据可以得到: 对于纳米结构和微米结构涂层, 温度越高, 隔热温度越大, 且纳米结构涂层隔热效果优于微米结构涂层。

影响热障涂层隔热性能的因素有涂层的厚度、涂层材料的导热系数和涂层的微观结构等<sup>[1]</sup>, 在本实验中涂层厚度是一致的(0.2mm), Jing Wu<sup>[2]</sup>等指出传统微米结构与纳米结构涂层的热导率分别为1.6~2 W/m·K和0.8~1.1 W/m·K, 可见纳米结构涂层的热导率低于微米结构, 也可以从其微观形貌得到解释: 微米结构涂层为片层状, 比较平整, 而纳米结构涂层为颗粒状, 孔隙率比较大, 由于气体的热导率远小于固体, 因此材料孔隙率越大, 其热导率越小, 另外, 纳米结构中的晶界数量远高于微米结构, 晶界阻碍了声子的传播, 降低了声子的平均自由程, 因此降低了热导率, 提高了隔热性能。

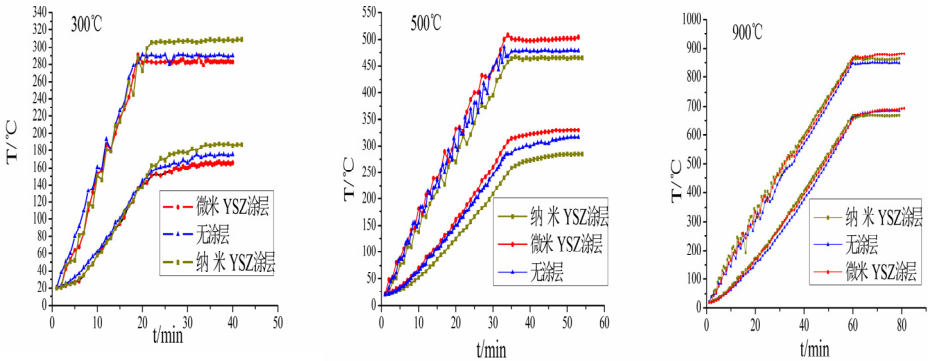


图1 加热和保温过程中样品基底面与涂层面的温度

表 1 纳米结构和微米结构涂层的隔热温度  $\Delta T/^\circ\text{C}$

	300	500	900
微米涂层	2	10	25
纳米涂层	7	21	32

## 四、结论

本工作采用实验方法比较了由空气等离子喷涂工艺制备的纳米结构和微米结构的热障涂层在300、500、900°C下的隔热效果, 可得出以下结论:

- (1) 对于纳米结构和微米结构涂层, 温度越高, 隔热温度越大;
- (2) 相同厚度的纳米结构涂层隔热效果优于微米结构涂层。

## 参 考 文 献

- 1 W.B. Gong, C.K. Sha b, D.Q. Sun, W.Q. Wang. Microstructures and thermal insulation capability of plasma-sprayed nanostructured ceria stabilized zirconia coatings. Surface & Coatings Technology 201 (2006) 3109–3115
- 2 Jing Wu, Hong-bo Guo, Le Zhou, Lu Wang, and Sheng-kai Gong, Microstructure and Thermal Properties of Plasma Sprayed Thermal Barrier Coatings from Nanostructured YSZ. Journal of Thermal Spray Technology.2010: 1186–1194