

# 溶液等离子喷涂钪酸镧热障涂层的制备及表征

黄 威, 马 文, 杨 挺, 杨 曦, 刘 颖, 白 玉

(内蒙古工业大学 内蒙古自治区薄膜与涂层重点实验室, 内蒙古 呼和浩特 010051)

**摘 要:** 采用溶液先驱体等离子喷涂 (solution precursor plasma spray, SPPS) 方法制备了  $\text{La}_2\text{Ce}_2\text{O}_7$  涂层。通过 SEM、XRD、EDS、激光导热仪对制备的涂层进行了表征, 应用 STA-FTIR-QMS 联用技术对  $\text{La}_2\text{Ce}_2\text{O}_7$  干燥先驱体的分解过程进行了研究, 分析了先驱体的分解温度及分解过程, 从而确定了喷涂温度为 450 °C。通过正交实验确定了雾化压力 0.1 MPa、电流 700 A、送液速率 23 mL/min 为最佳喷涂工艺参数, 用此参数喷涂 20 遍制备的  $\text{La}_2\text{Ce}_2\text{O}_7$  涂层厚度达到 121  $\mu\text{m}$ , 相对密度为 92.4%, 硬度为 2.1 GPa。结果表明, 得到了热导率较低、元素分布均匀、具有萤石结构的  $\text{La}_2\text{Ce}_2\text{O}_7$  热障涂层。

**关键词:** 钪酸镧; 溶液先驱体等离子喷涂; 热障涂层; 正交实验

中图分类号: TQ174.75<sup>+</sup>8.16

文献标识码: A

文章编号: 1002-185X(2020)02-0561-06

热障涂层在燃气轮机和航空发动机上已经得到广泛应用。提高航空发动机以及燃气轮机的工作温度有利于提升其工作效率<sup>[1,2]</sup>。而更高的工作温度也对热障涂层材料提出了更高的要求。现在应用最广泛的热障涂层材料是 8YSZ(氧化钇部分稳定氧化锆)。8YSZ 长时间在 1200 °C 以上工作会发生相变, 从高温环境 (1170 °C) 降温时伴随着亚稳态四方相到单斜相的相变并引起体积膨胀, 体积膨胀带来的应力使涂层内部萌生裂纹, 最终导致涂层失效<sup>[3]</sup>。 $\text{La}_2\text{Ce}_2\text{O}_7$  是一种具有萤石结构, 较好的高温相稳定性和较低热导率的新型热障涂层材料<sup>[4,5]</sup>。 $\text{La}_2\text{Ce}_2\text{O}_7$  可以在 1400 °C 长时间不发生相变, 能提高热障涂层的工作温度<sup>[6]</sup>。1000 °C 时  $\text{La}_2\text{Ce}_2\text{O}_7$  块材热导率较 8YSZ 低 75%, 所以  $\text{La}_2\text{Ce}_2\text{O}_7$  是一种较有研究价值的热障涂层材料<sup>[7-9]</sup>。

溶液等离子喷涂 (SPPS) 是一种新型的等离子喷涂技术, 其采用金属盐溶液作为喷涂原料, 先驱体溶液经过二流雾化喷头雾化后送入等离子焰流, 雾化的先驱体液滴在喷涂过程中经过一系列化学、物理变化后沉积到基底材料上形成涂层<sup>[10,11]</sup>。采用溶液等离子喷涂方法制备的涂层具有独特的层间边界(inter pass boundary, IPB)结构, IPB 结构有利于降低涂层热导率, 同时也可以增加涂层韧性从而提高涂层使用寿命<sup>[12,13]</sup>。

本实验通过 STA-QMS-FTIR 联用技术对  $\text{La}_2\text{Ce}_2\text{O}_7$  先驱体分解过程进行了研究, 根据研究结果选取了两个喷涂温度进行喷涂实验, 对不同喷涂温度下制备的

涂层进行了热重测试, 从而验证 STA-QMS-FTIR 联用测试结果, 并确定合适的喷涂温度。并通过设计正交实验对雾化压力、电流、送液速率进行了优化, 并对制备的涂层进行了表征。

## 1 实 验

先驱体溶液采用  $\text{Ce}(\text{NO}_3)_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 、 $\text{La}(\text{NO}_3)_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  为溶质, 去离子水为溶剂, 配制成  $\text{La}^{3+}$  与  $\text{Ce}^{3+}$  摩尔比为 1:1.2, 硝酸盐总浓度为 3.08 mol/L 的溶液; 用氨水调节溶液 pH 值到 4。喷涂基底材料为 316L 不锈钢, 表面经 30 # 刚玉喷砂处理。采用 Medicoat MC60 等离子枪(Medicoat AG, Switzerland)进行涂层制备。

将先驱体溶液在干燥箱中 100 °C 保温 50 h, 对得到的干燥先驱体进行 STA-QMS-FTIR 联用测试。通过设计正交实验对雾化压力、电流、送液速率进行了优化。利用 TG-DSC 分析了先驱体的分解。采用 XRD 表征涂层相组成, 用 SEM 及 EDS 表征涂层形貌和元素分布, 用维氏硬度仪测试涂层硬度, 用 ImageJ 软件测量涂层相对密度, 用 Minitab 软件分析正交实验结果, 用激光导热仪测试涂层热扩散系数。

先驱体溶液的粘度和表面张力分别为 7.17 mPa·s 和 76.9 mN/m。喷涂过程中氢气流量为 7 L/min, 氩气流量为 40 L/min, 喷涂 20 遍。

通过设计三因素二水平正交实验来优化工艺参数。表 1 为三因素二水平正交实验的参数。3 个因素

收稿日期: 2019-02-17

基金项目: 国家自然科学基金 (51462026, 51672136); 内蒙古科技重大专项 (2018-810)

作者简介: 黄 威, 男, 1993 年生, 硕士, 内蒙古工业大学材料学院, 内蒙古 呼和浩特 010051, 电话: 0471-6575752, E-mail: 952221041@qq.com

表 1 正交实验参数

Table 1 Parameters of orthogonal experiments

Group number	Atomizing pressure/MPa	Torch current/A	Liquid feed rate/mL·min <sup>-1</sup>
A	0.1	700	23
B	0.12	680	23
C	0.1	680	26
D	0.12	700	26

分别为雾化压力、电流、送液速率，雾化压力、电流、送液速率对应的二水平分别为 0.1 和 0.12 MPa、680 和 700 A、23 和 26 mL/min。

## 2 结果与分析

### 2.1 前驱体的分解

图 1 是 La<sub>2</sub>Ce<sub>2</sub>O<sub>7</sub> 干燥前驱体的 TG-DSC 曲线。由图 1 可知，涂层前驱体分解过程主要是吸热反应，6 个主要吸热峰对应的温度分别为 104、194、339、419、479、594 °C。在这 6 个吸热峰出现的温度段内分别伴随着 7%、13%、6%、27%、2%、3% 的失重。从 TG 曲线来看，主要分解反应集中在 360~450 °C，失重为 27%，吸热量为 220 J/g。

图 2 为 La<sub>2</sub>Ce<sub>2</sub>O<sub>7</sub> 干燥前驱体分解气相产物的质谱离子流强度和 TG 曲线。从图 2 可以看出，气相分解产物中 *m/z* 为 17 和 18 的物质主要在 100~240 °C 释放，*m/z* 为 44 和 46 的产物主要在 240~450 °C 之间释放。

图 3 是 La<sub>2</sub>Ce<sub>2</sub>O<sub>7</sub> 干燥前驱体在不同温度下气态分解产物的红外光谱图。在 2345、1620、1386、1131 cm<sup>-1</sup> 处出现的峰为测试系统的背景峰；在 103 和 194 °C 红外光谱主要吸收峰位于 3650 和 1400 cm<sup>-1</sup>，这是 O-H 键的振动吸收峰。339 和 419 °C 主要振动吸收峰位于 1585 cm<sup>-1</sup> 左右，为 N-O 键的振动吸收峰，419 °C 还出现了微弱的 O-H 键吸收振动峰<sup>[14]</sup>。479 和 594 °C 有微弱的 N-O 键、O-H 键的振动吸收峰。

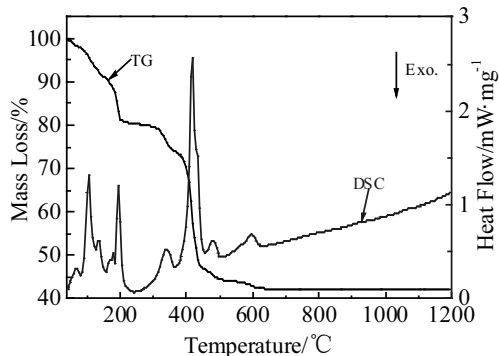


图 1 La<sub>2</sub>Ce<sub>2</sub>O<sub>7</sub> 干燥前驱体的 TG-DSC 曲线

Fig.1 TG-DSC curves of the dried La<sub>2</sub>Ce<sub>2</sub>O<sub>7</sub> precursor

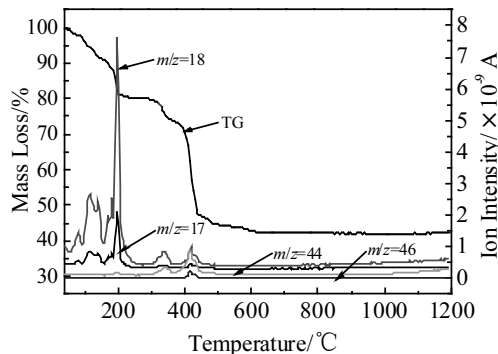


图 2 La<sub>2</sub>Ce<sub>2</sub>O<sub>7</sub> 干燥前驱体 TG 曲线和分解气相产物的质谱离子流强度

Fig.2 TG curve of the dried La<sub>2</sub>Ce<sub>2</sub>O<sub>7</sub> precursor and ion current curves of its gas products

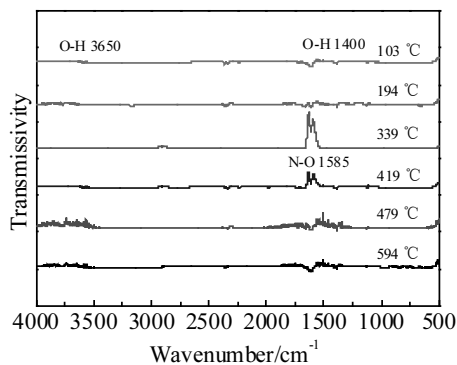


图 3 La<sub>2</sub>Ce<sub>2</sub>O<sub>7</sub> 干燥前驱体不同温度的红外光谱

Fig.3 IR spectra of the dried La<sub>2</sub>Ce<sub>2</sub>O<sub>7</sub> precursor at different temperatures

表 2 为干燥前驱体分解气相产物的质谱与红外光谱对比。表 2 给出了不同温度段下气相分解产物的质荷比和所含化学键。通过对同一温度段内气相产物的质谱和红外光谱对比分析可以确定分解产物。

如表 2 所示，在 100~150 °C 之间，气态分解产物的 *m/z* 为 17、18，产物中主要含有 O-H 键，所以主要

表 2 质谱和红外检测结果对照

Table 2 Comparison between mass spectra and IR spectra

Temperature range/°C	Results of mass spectrometry, <i>m/z</i>	Results of Fourier transform infrared spectroscopy
100~150	17, 18	O-H
150~240	17, 18, 44	O-H, N-O
240~360	17, 18, 44	O-H, N-O
360~450	17, 18, 44, 46	N-O
450~510	44, 18	O-H, N-O
510~630	44, 18	O-H, N-O

气态产物为 H<sub>2</sub>O (或水分子碎片), 在这一温度范围内主要反应为硝酸盐结晶水分解。在 150~360 °C 之间, 气态产物的 *m/z* 为 17、18、44, 产物中含有 O-H 键和 N-O 键, 表明在 150~360 °C 之间未完全分解的结晶水进一步分解, 而硝酸根也在这一温度段内开始分解生成 N<sub>2</sub>O。在 360~450 °C 之间, 气态产物的 *m/z* 为 17、18、44、46, 产物中含有 N-O 键, 这表明分解产物中除了含有 N<sub>2</sub>O 还出现了 NO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub> 和 N<sub>2</sub>O 是硝酸根继续分解的产物, 而产生 H<sub>2</sub>O 的量较少, 所以其 O-H 键没有在红外光谱中被检测到。在 450~630 °C, 主要气态分解产物 *m/z* 为 44 和 18, 产物中含有 N-O 键和 O-H 键, 表明主要产物为 N<sub>2</sub>O 和 H<sub>2</sub>O, 这是前驱体分解产生微量的中间产物 LaOH(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> 和 LaO(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> 在这一温度段内分解产生的<sup>[15]</sup>。

综上所述, 硝酸盐干燥前驱体结晶水分解主要在 100~450 °C 之间进行, 而硝酸根的分解从 240 °C 开始, 到 630 °C 左右完全分解, 硝酸根在 150~630 °C 分解, 分解时均会产生 N<sub>2</sub>O, 而在 360~450 °C 气态分解产物中还出现了 NO<sub>2</sub>; 在 450~630 °C 前驱体热分解中间产物 LaOH(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> 和 LaO(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> 进行分解, 其热分解的气态产物有 H<sub>2</sub>O 和 N<sub>2</sub>O。

图 4 为不同喷涂温度制备态涂层的 TG 曲线。通过对比喷涂温度为 350 和 450 °C 制备态涂层的 TG 曲线可以发现, 喷涂温度为 350 °C 的制备态涂层随着温度升高质量下降了 8%, 表明当喷涂温度为 350 °C 时, 制备态涂层中含有未完全分解的前驱体。当喷涂温度升高到 450 °C 时, 制备态涂层在升温过程中涂层失重仅为 0.5% 左右, 说明当喷涂温度升高到 450 °C 时, 涂层中未分解的前驱体大幅较少。

### 2.2 正交实验结果及分析

表 3 为三因素二水平正交实验结果。正交实验的

评价指标分别为涂层厚度、涂层硬度和涂层相对密度。并且使用了 Minitab 软件对正交实验进行了分析。

由于溶液等离子喷涂方法制备的涂层有较多的孔隙, 降低了涂层的硬度, 而较高的相对密度和硬度有利于提升涂层力学性能, 所以使用 Minitab 软件分析正交实验时, 选用望大值来优化工艺参数。优化结果如图 5。从优化结果来看, 雾化压力 0.1 MPa, 电流为 700 A, 送液速率为 23 mL/min 为最佳工艺参数, 即 A 组参数最佳。在此参数下制备的 La<sub>2</sub>Ce<sub>2</sub>O<sub>4</sub> 涂层厚度达

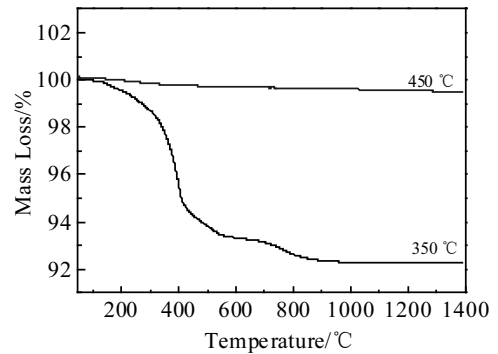


图 4 不同喷涂温度制备态涂层的 TG 曲线

Fig.4 TG curves of the as-sprayed coatings prepared at different preheating temperatures

表 3 正交实验结果  
Table 3 Results of orthogonal experiments

Group number	Thickness/ μm	Microhardness/ GPa	Relative density/%
A	121	2.1	92.4
B	93	1.6	92.3
C	198	1.1	89
D	148	1.0	86.9

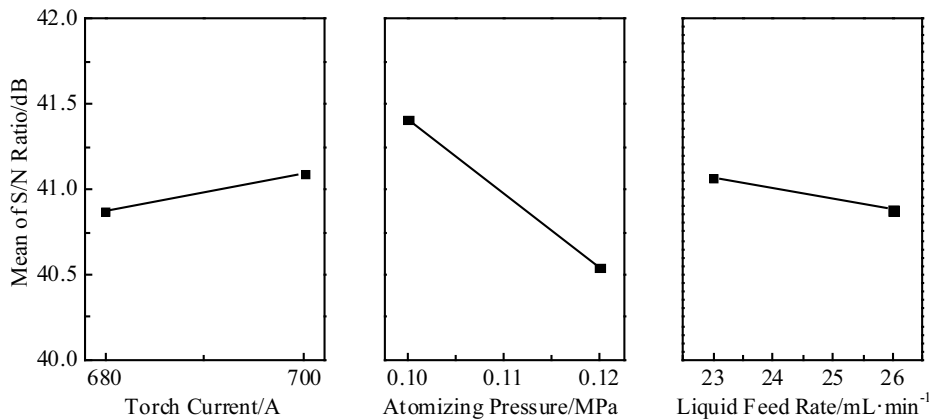


图 5 Minitab 软件分析结果

Fig.5 Results analyzed by Minitab software

到 121 μm，硬度为 2.1 GPa，相对密度为 92.4%。各参数对涂层的影响显著性依次为：雾化压力 > 电流 > 送液速率。

图 6 为正交实验制备态涂层截面的扫描电镜照片。在 A、B、C、D 4 组样品中局部存在 IPB 结构。IPB 结构是由于前驱体有不同融化状态导致的，融化状态较好的沉积物完全铺展到基体上形成致密区，而半熔融状态的沉积物沉积到基体上形成了多孔区。4 组样品中均存在较多裂纹和孔洞，涂层中的孔洞主要是由于前驱体未完全分解、融化造成的，B 组样品融化效果最好，涂层孔洞少且相对密度较其它 3 组高。涂层中裂纹形成的原因可能是由于热应力以及 La<sub>2</sub>Ce<sub>2</sub>O<sub>7</sub> 材料在 200~400 °C 之间热膨胀系数突变导致的。C 组样品涂层厚度值最大，达到 198 μm。

### 2.3 涂层 XRD 分析

制备态 La<sub>2</sub>Ce<sub>2</sub>O<sub>7</sub> 涂层的 XRD 图谱如图 7 所示。涂层的主相衍射峰较 CeO<sub>2</sub> 衍射峰向小角度偏移，衍射峰的偏移是由于 Ce 离子半径小于 La 离子半径，当 La<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 固溶到 CeO<sub>2</sub> 中时，CeO<sub>2</sub> 的晶面间距增大，导致其 XRD 图谱向小角度偏移<sup>[16,17]</sup>，这说明获得的 La<sub>2</sub>Ce<sub>2</sub>O<sub>7</sub> 涂层主相为与 CeO<sub>2</sub> 相同的萤石结构。A、B、C、D 4 组样品中含有少量 La<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 相，这是由于 La<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 的饱和蒸气压远小于 CeO<sub>2</sub> 的饱和蒸气压，导致 La<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 在等离子焰流中的蒸发量小于 CeO<sub>2</sub>，最终导致 La<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 的析出<sup>[18]</sup>。

### 2.4 涂层热扩散系数和热导率

测试了表 1 中 A 组工艺参数制备的 La<sub>2</sub>Ce<sub>2</sub>O<sub>7</sub> 涂层在 100~1200 °C 下的热扩散系数。通过阿基米德排水法测得涂层密度（公式 1）。用激光导热仪测试得到热扩散系数 α，通过热容、密度、热扩散系数计算得到热导率（公式 2）。

$$\rho = \frac{A}{(A-B)}(\rho_0 - \rho_L) + \rho_L \quad (1)$$

$$\lambda = \alpha C_p \rho \quad (2)$$

其中，ρ 为待测样品的密度(g/cm<sup>3</sup>)；ρ<sub>L</sub> 为空气密度(g/cm<sup>3</sup>)；ρ<sub>0</sub> 为辅助液的密度(g/cm<sup>3</sup>)；A 为待测样品在空气中的质量(g)；B 为待测样品在辅助液（蒸馏水）中的质量(g)；λ 为样品的热导率(W·m<sup>-1</sup>·K<sup>-1</sup>)；α 为样品的热扩散系数(mm<sup>2</sup>·s<sup>-1</sup>)；C<sub>p</sub> 为样品的比热容(J·g<sup>-1</sup>·K<sup>-1</sup>)；ρ 为样品的密度(g/cm<sup>3</sup>)。

图 8 为用表 1 中 A 组工艺参数制备的 La<sub>2</sub>Ce<sub>2</sub>O<sub>7</sub> 涂层的热扩散系数及热导率测试结果。从测试结果可以看出：La<sub>2</sub>Ce<sub>2</sub>O<sub>7</sub> 涂层热扩散系数在 100~800 °C 之间随温度的上升而减小，这是由于随着温度的上升，声子振动平均自由程减小导致的；La<sub>2</sub>Ce<sub>2</sub>O<sub>7</sub> 涂层在 800 °C 以上时热扩散系数随温度的上升而增大，这是由于涂层结构变化导致的。一方面随着温度的升高，涂层中的孔隙减少，涂层致密化使得涂层热扩散系数升高；另一方面随着温度的升高，涂层中的垂直裂纹扩展使得涂层热扩散系数升高。涂层热导率会受到热容、密

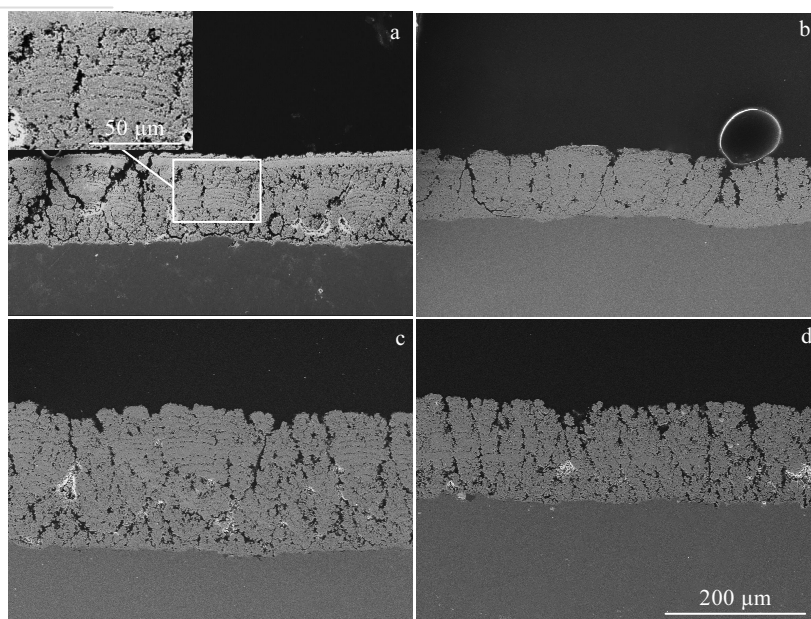


图 6 正交实验制备态涂层的截面的扫描电镜照片

Fig.6 Cross-sectional SEM images of the as-sprayed coatings in different orthogonal experiments: (a) group A, (b) group B, (c) group C, and (d) group D

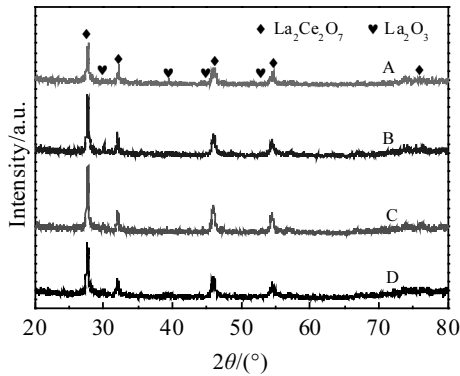


图 7 正交实验制备态 La<sub>2</sub>Ce<sub>2</sub>O<sub>7</sub> 涂层的 XRD 图谱

Fig.7 XRD patterns of the as-sprayed La<sub>2</sub>Ce<sub>2</sub>O<sub>7</sub> coatings in different orthogonal experiments

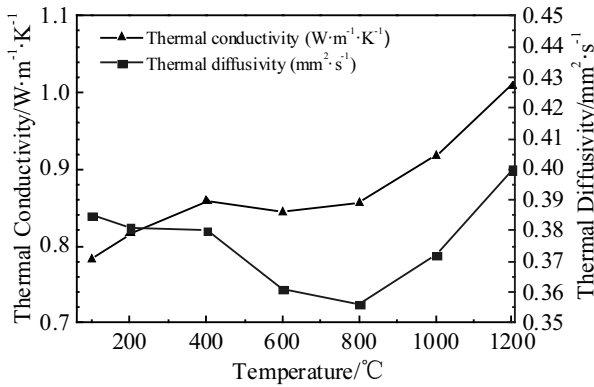


图 8 A 组涂层的热扩散系数和热导率

Fig.8 Thermal diffusivities and thermal conductivities of samples of group A

度、热扩散系数的影响，其中涂层的密度采用制备态 La<sub>2</sub>Ce<sub>2</sub>O<sub>7</sub> 涂层的密度，所以 La<sub>2</sub>Ce<sub>2</sub>O<sub>7</sub> 涂层的热导率主要受到涂层热容和热扩散系数的影响。在 400 °C 以下 La<sub>2</sub>Ce<sub>2</sub>O<sub>7</sub> 涂层热导率受热容影响较大，涂层热导率随着温度的升高而增大。而在 400 °C 以上时 La<sub>2</sub>Ce<sub>2</sub>O<sub>7</sub> 涂层热导率受热扩散系数影响较大，与热扩散系数变化趋势基本一致<sup>[19]</sup>。SPPS 方法制备的 La<sub>2</sub>Ce<sub>2</sub>O<sub>7</sub> 涂层 1200 °C 时热导率为 1 W·m<sup>-1</sup>·K<sup>-1</sup>，比同种方法制备的 8YSZ 涂层低 30% 左右<sup>[20]</sup>。

### 2.5 涂层 EDS 分析

图 9 为 A 组涂层的截面显微形貌及其 EDS 元素面扫描分析结果。从图 9a 可以看出，La<sub>2</sub>Ce<sub>2</sub>O<sub>7</sub> 涂层截面出现了典型的 IPB 结构和垂直裂纹，从图 9b、9c 中可以看出，La<sub>2</sub>Ce<sub>2</sub>O<sub>7</sub> 涂层中 La 和 Ce 元素分布均匀，没有元素偏聚现象。

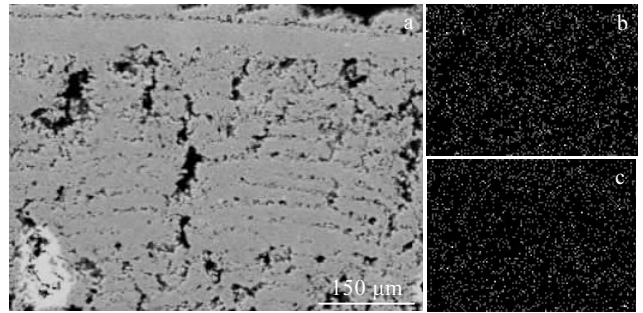


图 9 A 组涂层的截面显微形貌及其 EDS 元素面扫描

Fig.9 Cross-sectional microstructure (a) of the sample of group A and its EDS elements mapping: (b) La and (c) Ce

## 3 结 论

1) La<sub>2</sub>Ce<sub>2</sub>O<sub>7</sub> 干燥前驱体主要分解反应在 360~450 °C 进行，反应过程失重为 27%，吸热量为 220 J/g，主要产物为 NO<sub>2</sub>、N<sub>2</sub>O 和 H<sub>2</sub>O。通过喷涂温度为 350 和 450 °C 制备态涂层的 TG 对比确定 450 °C 为较合适的喷涂温度。

2) 进行变量因素为送液速率、电流、雾化压力的正交实验，并以涂层厚度、硬度、相对密度为参考指标，用 Minitab 软件对正交实验进行了分析。分析结果表明，表 1 A 组工艺参数为最佳工艺参数，即雾化压力 0.1 MPa，电流 700 A，送液速率 23 mL/min。各参数对涂层的影响显著性依次为：雾化压力 > 电流 > 送液速率。

3) 采用溶液前驱体等离子喷涂方法的 A 组工艺获得了热导率较低 (1 W·m<sup>-1</sup>·K<sup>-1</sup>@1200 °C)、元素分布均匀、具有萤石结构的 La<sub>2</sub>Ce<sub>2</sub>O<sub>7</sub> 热障涂层。

### 参考文献 References

[1] Padture N P, Gell M, Jordan E H. *Science*[J], 2002, 296(5566): 280  
 [2] Shen Zaoyu(申造宇), Huang Guanghong (黄光宏), He Limin (何利民) *et al. Rare Metal Materials and Engineering*(稀有金属材料与工程)[J], 2016, 45(3): 776  
 [3] Clarke D R, Phillpot S R. *Materials Today*[J], 2005, 8(6): 22  
 [4] Guo Hongbo(郭洪波), Gong Shenkai(宫声凯), Xu Huibin(徐惠彬). *Acta Aeronautica et Astronautica Sinica*(航空学报)[J], 2014, 35(10): 2722  
 [5] Liu X Y, Yi H, Che J W *et al. Ceramics International*[J], 2019, 45(4): 5030  
 [6] Kang Y X, Bai Y, Fan W *et al. Journal of the European*

- Ceramic Society*[J], 2018, 38(7): 2851
- [7] Ma Wen(马文), Guo Hongbo(郭洪波), Gong Shenkai(宫声凯) *et al. Journal of Inorganic Materials*(无机材料学报)[J], 2009, 24(5): 983
- [8] Ma W, Gong S, Xu H *et al. Scripta Materialia*[J], 2006, 54(8): 1505
- [9] Ma W, Gong S, Xu H *et al. Surface & Coatings Technology*[J], 2006, 200(16): 5113
- [10] Wang Shixing(王世兴), Wang Ruijun(汪瑞军), Wu Tiejun(武铁军) *et al. Thermal Spray Technology*(热喷涂技术)[J], 2010, 2(3): 54
- [11] Fan W, Bai Y. *Ceramics International*[J], 2016, 42(13): 14 299
- [12] Xie L, Ma X, Ozturk A *et al. Surface & Coatings Technology* [J], 2004, 183(1): 51
- [13] Ma W, Meng X, Li X *et al. Journal of Thermal Spray Technology*[J], 2019, 28(1): 189
- [14] Wang Defa(王德发), Zhou Zeyi(周泽义), Liu Yiling(刘沂玲) *et al. Chemical Analysis Meterage*(化学分析计量)[J], 2008, 17(6): 18
- [15] Mekhmer G A H, Balboul B A A. *Colloids & Surfaces A Physicochemical & Engineering Aspects*[J], 2001, 181(1): 19
- [16] Zhu Z W, Liu B T, Shen J X *et al. Journal of Alloys and Compounds*[J], 2016, 659: 232
- [17] Li Jiansheng(李剑生), Liu Yanli(刘艳丽). *Rare Metal Materials and Engineering*(稀有金属材料与工程)[J], 2017, 46(3): 802
- [18] Wang L S, Zhang S L, Liu T *et al. Journal of the European Ceramic Society*[J], 2017, 37(4): 1577
- [19] Cao Xueqiang(曹学强). *New Materials and Structures for Thermal Barrier Coatings*(热障涂层新材料和新结构)[M]. Beijing: Science Press, 2016: 296
- [20] Yin Yichuan(尹轶川). *Thesis for Master*(硕士论文)[D]. Hohhot: Inner Mongolia University of Technology, 2017: 43

## Preparation and Characterization of $\text{La}_2\text{Ce}_2\text{O}_7$ Thermal Barrier Coating by Solution Precursor Plasma Spray

Huang Wei, Ma Wen, Yang Ting, Yang Xi, Liu Ying, Bai Yu  
(Inner Mongolia Key Laboratory of Thin Film and Coatings Technology,  
Inner Mongolia University of Technology, Hohhot 010051, China)

**Abstract:** The  $\text{La}_2\text{Ce}_2\text{O}_7$  coating was prepared by the solution precursor plasma spray (SPPS) method. The prepared coatings were characterized by SEM, XRD, EDS and laser flash method. The decomposition process of the  $\text{La}_2\text{Ce}_2\text{O}_7$  dried precursor was characterized by STA-FTIR-QMS. The decomposition temperature and decomposition process of the precursor were evaluated, and the preheating temperature of substrate was determined to be 450 °C. The optimized spray parameters were atomization pressure of 0.1 MPa, current of 700 A, and the liquid feed rate of 23 mL/min, determined by the Orthogonal experiments. The results show that the  $\text{La}_2\text{Ce}_2\text{O}_7$  coating prepared by the optimized spray parameter has a thickness of 121  $\mu\text{m}$  after 20 times spraying, with a relative density of 92.4%, and a hardness of 2.1 GPa. The  $\text{La}_2\text{Ce}_2\text{O}_7$  thermal barrier coating possesses low thermal conductivity, uniform element distribution and fluorite structure.

**Key words:**  $\text{La}_2\text{Ce}_2\text{O}_7$ ; solution precursor plasma spray; thermal barrier coatings; orthogonal experiments

Corresponding author: Ma Wen, Ph. D., Professor, School of Materials Science and Engineering, Inner Mongolia University of Technology, Hohhot 010051, P. R. China, Tel: 0086-471-6575752, E-mail: wma@imut.edu.cn