

EB-PVD 制备 YSZ 涂层的热震性研究*

李国浩, 巴德纯, 王 栋, 陈红斌, 张洪琦, 杜广煜

(东北大学机械工程与自动化学院真空与流体工程研究所, 辽宁 沈阳 110819)

摘 要: 用电子束蒸发镀膜的技术制备一系列不同微观结构的 YSZ 涂层, 通过对涂层进行热震实验, 测试 50 次热循环, 通过 SEM、XRD 对涂层样品微观结构进行表征。通过实验和表征结果发现制备束流在 350mA 的情况下 YSZ 涂层样品的热震性能最好。对涂层失效机理进行讨论得出, 涂层表面过于致密阻碍热应力的缓解, 表面过于疏松加速氧气的渗入, 加速 TGO 的生长导致涂层剥落失效。

关 键 词: 电子束物理气相沉积; 热障涂层; 热震性能; 失效研究

中图分类号: TG174.4; TB43

文献标识码: A

文章编号: 1002-0322(2020)03-0001-04

doi: 10.13385/j.cnki.vacuum.2020.03.01

Research on Thermal Shock Performance of YSZ Coatings Deposited by EB-PVD

LI Guo-hao, BA De-chun, WANG Dong, CHEN Hong-bin, ZHANG Hong-qi, DU Guang-yu

(School of Mechanical Engineering and Automation, Northeastern University, Shenyang 110819, China)

Abstract: A series of YSZ coatings were deposited by electron beam evaporation coating. The thermal shock test of the coatings was used to test the peeling of different process coatings under the same thermal shock times. It was found that the thermal shock performance of the coating was best at 350 mA. Discussion on the failure mechanism of the coating shows that the dense coating structure hinders the alleviation of thermal stress, the loose coating structure accelerates the infiltration of oxygen, and accelerates the growth of TGO, which results in the failure of coating.

Key words: EB-PVD; TBC; thermal shock performance; failure investigation

航空发动机是航空飞机的核心, 现代航空发动机要求发动机热端部件以及叶片的服役温度极高, 服役温度超过叶片材料的初熔点。航空发动机叶片服役环境十分复杂, 常常承受着复杂多变的循环载荷作用。在高温服役环境下保障叶片的强度、安全性和可靠性给设计和制造提出了很大的挑战^[1]。热障涂层(TBCs)作为高温防护涂层, 是保护航空发动机热端部件的重要手段, 目前已经取得了广泛的研究和应用^[2-3]。目前, 国内外关于热障涂层的研究比较广, 从涂层选材、喷涂工艺到涂层各种性能的评价等等, 热障涂层的无损探伤寿命评估、寿命研究以及寿命预测是热障涂层应用研究的重要内容^[4-5]。

目前 TBC 有多种制备方法: 磁控溅射、电弧离子镀、超音速火焰喷涂、大气等离子喷涂、离子喷涂物理气相沉积、物理气相沉积等。工业实际

生产大部分使用高效稳定的电子束物理气相沉积(EB-PVD)和喷涂(PS)^[6]。

热障涂层材料主要有 8wt% 氧化钇稳定的氧化锆(8% $Y_2O_3-ZrO_2$)和稀土锆酸盐($Ln_2Zr_2O_7$)等。传统的氧化锆在掺杂稳定剂后具有高熔点、低热导率、优良的高温稳定性、抗烧结、基体材料接近的相对高的热膨胀系数等优点。YSZ 涂层凭借其优异的机械性能可以保证涂层在实际工况中的可靠性^[7-8]。

TBCs 涂层一般由双层或多层结构组成, 各层之间热力学性质不同, 所以在高温服役过程中不可避免的出现热应力不匹配的现象, 多次循环下热应力的积累会对涂层的稳定性带来隐患。在服役过程中叶片涂层失效开裂脱落会使得关键部件直接暴露在高温的恶劣环境, 其带来的危害是毁灭性的。对热障涂层的失效研究可以有助于改

收稿日期: 2019-07-01

作者简介: 李国浩(1992-), 男, 辽宁省沈阳市人, 博士生。

通讯作者: 巴德纯, 教授, 博导。

* 基金项目: 中央高校基本科研业务费专项资金资助项目(N180313007)。