

CO₂ 激光熔覆修复涡轮导向器工艺初探

姜伟, 胡芳友, 戴京涛

(海军航空工程学院青岛分院, 山东 青岛 266041)

[摘要] 为研究修复 K418 涡轮导向器的工艺, 以 CO₂ 连续激光器为热源, 在涡轮导向器试验叶片表面熔覆自配粉末, 获得了微观形貌和显微硬度均优于基体组织的熔覆层。结果表明: 在激光功率为 800W、扫描速度为 5mm/s、气流量为 1L/min 时, 熔覆层的组织晶粒更加致密细小, 与基体呈冶金结合且无微观缺陷。熔覆层最高硬度达 436.2HV, 是基体硬度的 1.2 倍。但采用 CO₂ 激光器容易造成热作用区增大, 后续将改用 YAG 脉冲激光器作热源, 并优化材料参数和工艺参数, 进一步研究修复 K418 涡轮导向器的新工艺。

[关键词] 激光熔覆; 镍基高温合金; 涡轮导向器; 微观形貌; 显微硬度

[中图分类号] TG174.44

[文献标识码] A

[文章编号] 1001-3660(2008)02-0056-03

Basic Research on the Repair of Turbine Nozzle by CO₂ Laser Cladding

JIANG Wei, HU Fang-you, DAI Jing-tao

(Qingdao Branch, Naval Aeronautical Engineering Academy, Qingdao 266041, China)

[Abstract] In order to research the technology for repairing the K418 turbine, the mixed powder by oneself was melted on the surface of turbine nozzle's blade with the CO₂ continual laser cladding. The laser cladding lays whose microstructure and micro-hardness superior than the substrate's can be obtained. The result indicated that: under the 800W laser power, 5mm/s scanning velocity and 1L/min argon current capacity, the laser cladding lays without flaw whose crystal grain is more thinner than the substrate's. The interface between substrate and cladding layer is metallurgic. The laser cladding lays whose highest degree of micro-hardness reaches 436.2HV, is 1.2 times in contrast of the substrate's. But the thermal areas are increased easily using CO₂ laser, so YAG laser pulse will be diverted as heat then, and the material parameters and process parameters will be optimized further, in order to research the new technology for repairing the K418 turbine.

[Key words] Laser cladding; Ni-based high-temperature alloy; Turbine nozzle; Microstructure; Micro-hardness

0 引言

高温合金, 尤其是镍基铸造合金广泛应用于航空发动机零部件的制造, 某型启动发动机涡轮导向器即由镍基合金 K418 整体铸造而成。涡轮导向器的常见失效形式为: 裂纹、缺损、过烧、变形。由于镍基合金价格昂贵, 损坏的涡轮导向器如果一次性报废, 势必造成极大的浪费, 因此, 用修复代替更换可以节约大量资金, 带来非常可观的经济效益和军事效益。由于采用喷涂技术, 涂层与工件是非冶金结合或只有部分冶金结合, 结合强度低, 涂层易剥落; 采用堆焊修复技术, 所获得的修复层热影响区大, 工件内应力和变形较大, 易产生裂纹, 均不适合在涡轮导向器修复中应用。激光熔覆技术具有组织快速凝固的典型特征, 热影响区较小, 涂层稀释率低且与基体呈冶金结合, 可在低熔点金属表面熔覆高熔点金属^[1]。近几年, 对于其它材质的涡轮导向器, 一些研究机构也将激光技术作为修复措施之一。本

文对损伤的 K418 涡轮导向器的激光熔覆修复工艺进行了有益的探索。由于 CO₂ 激光器功率大, 修复效率高, 因此拟定首先进行 CO₂ 连续激光熔覆修复试验, 以期与后续进行的 YAG 脉冲激光熔覆等其它修复试验加以比对。

1 试验设备及材料

1.1 试验设备

本试验采用横流、管板式、多模连续 CO₂ 激光器, 其波长为 10.6μm, 最大输出功率为 2kW。采用光电天平称取熔覆粉末各组分, 4XB-TV 金相显微镜观察试样的微观组织形貌, HXS-1000 数字式智能显微硬度计测定试样的显微硬度分布。

1.2 基体材料

基体材料为镍基高温合金 K418, 其化学成分(质量分数)为: 0.08% ~ 0.16% C, 11.5% ~ 13.5% Cr, 0.5% ~ 1.0% Ti, 1.0% Fe, 0.5% Mn, 5.5% ~ 6.4% Al, 0.5% Si, 1.8% ~ 2.5% Nb, 0.06% ~ 0.15% Zr, 3.8% ~ 4.8% Mo, 0.008% ~ 0.02% B, 其余为 Ni。试样经线切割从涡轮导向器上切下, 尺寸为 15mm × 10mm × 3mm, 再进行打磨、清洗和脱脂等预处理。

[收稿日期] 2007-12-17

[作者简介] 姜伟(1970-), 女, 山东烟台人, 讲师, 硕士, 主要从事表面改性方面的研究。

1.3 熔覆材料

熔覆材料设计的一般原则是:熔覆材料与基材的线膨胀系数、热导率和熔点等物理性质应该接近^[2]。根据此原则,参考物理性质与 K418 相近的镍基抗氧化合金 GH3044 配制熔覆粉末,其化学成分(质量分数)为:0.10% C、25% Cr、0.50% Ti、4.00% Fe、0.50% Mn、0.50% Al、0.80% Si、1.50% Mo、15% W,其余为 Ni。

2 试验方法

以功率、扫描速度、气流流量作为 3 个因素,进行正交试验。激光工艺参数为:功率取 800、900、1 000 W,扫描速度取 3、4、5 mm/s,保护气体(氩气)流量取 0.5、1、1.5 L/min。采用预置粉末法,将熔覆粉末均匀涂覆在试验叶片预定位置上,厚度为 1~2 mm,并用粘结剂浸润后晾干。光斑直径 2 mm。

3 试验结果与分析

3.1 熔覆层微观组织特征及分析

熔覆层组织一般为树枝晶,熔覆层中的枝晶沿温度梯度最大的方向呈现出明显的方向性,在靠近冶金结合带处常出现垂直结合界面的柱状晶,如图 1 所示。熔覆层中各区域晶粒粗细有不规则差别,靠近冶金结合带的晶粒较粗大,长短不一,向上逐渐过渡到无明显方向性的细小枝晶和等轴晶,如图 2 所示。在熔覆层与基体连接的地方,由于基体元素的渗入,熔覆层材料和基体材料形成牢固的冶金结合带,在金相图中显示为极薄的一层白亮带。

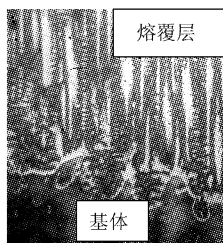


图 1 结合界面处的柱状晶 400 ×
Figure 1 Columnar crystals of contact surface place 400 ×



图 2 粗细不规则晶粒 400 ×
Figure 2 Thick and thin irregular crystal grain 400 ×

主要原因是:激光熔覆过程中,粉末吸收能量快速熔化,同时冷的基体也吸收了一部分热量,因此基体表层微熔。由于基体快速传热的急冷作用,当激光束离开熔池后,底层熔合金即发生快速凝固生成枝晶。在涂层的上部,固液界面前沿温度梯度减小,但流动的保护气体引起的对流散热作用显著,这样,涂层在对流散热及熔覆层已凝固合金和基体热传导的双重作用下,结晶为无明显方向的细小枝晶^[3]。

总体来讲,熔覆层组织(图 1、图 2)比基体组织(图 3)细小致密,本试验条件下,在激光功率为 800 W、扫描速度为 5 mm/s、气流流量为 1 L/min 时,可以获得晶粒更加细小致密且无微观缺陷的熔覆层,如图 4 所示。

工艺参数如选取不当(功率 800 W、扫描速度 3 mm/s),熔覆层中出现气孔(图 5)、夹杂物(图 6),枝晶间夹杂物分布不均

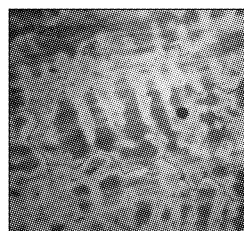


图 3 基体微观形貌 400 ×
Figure 3 Microstructure of substrate 400 ×

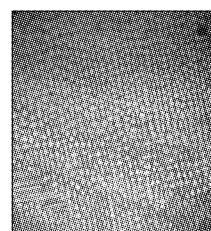


图 4 熔覆层微观形貌 400 ×
Figure 4 Microstructure of laser cladding 400 ×

匀,在某些区域(如晶界处)有一定聚集。夹杂物形状、大小亦有所差别,可呈块状、板条状、蝴蝶状、链条状等多种。熔覆层中的气孔和夹杂,可通过调整工艺参数,适当增加激光能量密度,改善液体流动性等方法加以消除。

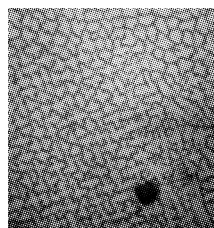


图 5 气孔 500 ×
Figure 5 Pore 500 ×

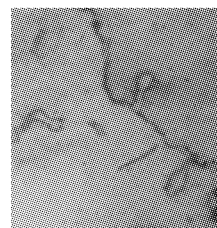


图 6 夹杂物 1200 ×
Figure 6 Inclusion 1200 ×

3.2 熔覆层显微硬度及分析

加载 500 g,保荷 20 s,在宏观和微观熔覆效果均良好的熔覆层(对应工艺参数:激光功率为 800 W,扫描速度为 5 mm/s,气流流量为 1 L/min)高度方向上,每间隔 0.15 mm 打点,分别测试熔化区、热影响区及基体的显微硬度,并绘制显微硬度沿层深的分布曲线,如图 7 所示。由图 7 可见,显微硬度呈三阶梯状分布。这是由于温度场和冷却场的共同作用,导致激光熔覆层的组织呈梯度变化,所以硬度也呈梯度变化。硬度最大值不在试样表面,而在表层以下某个位置。熔覆区硬度最高达 436.2 HV,约为基体硬度(357.5 HV)的 1.2 倍。

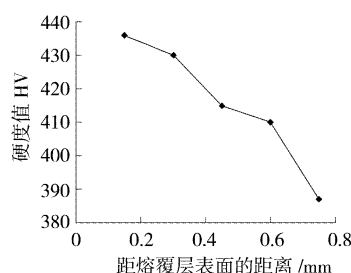


图 7 沿层深的显微硬度
Figure 7 Micro-hardness along level deep

4 结论

- 1) 熔覆层中各区域晶粒粗细有不规则差别,组织不太均匀。
- 2) 激光功率 800 W、扫描速度 5 mm/s、气流流量 1 L/min 时,可以获得晶粒更加细小致密、与基体呈冶金结合且无微观缺陷的熔覆层。

3) 熔覆层最高硬度达 436.2HV, 是基体硬度的 1.2 倍。

4) 由于 CO₂ 连续激光器相比 YAG 脉冲激光器, 功率较大, 输入基体的能量过多, 使热作用区增大, 进而导致基体稀释过多。后续将改用 YAG 脉冲激光器作为热源, 进行熔覆效果对比, 同时尝试调整粉末成分, 加入铈等稀土元素, 进一步优化材料参数和工艺参数, 进行多道、多层熔覆试验, 并测试熔覆层的耐疲劳性能、耐摩擦磨损性能、耐腐蚀和高温性能等, 形成比较完善的有应用价值的修复 K418 涡轮导向器的新工艺。

(上接第 41 页)

3) 随着碳化硅(SiC)抗氧化涂层厚度的增加, 泡沫炭的抗氧化性能也不断增强。

[参 考 文 献]

- [1] Klett J W, Hardy R, Romine E, et al. High-thermal-conductivity, mesophase pitch-derived carbon foams: effect of precursor on structure and properties[J]. Carbon, 2000, 38(7): 953-973
- [2] Chen Ya, Chen Baizhen, Shi Xichang, et al. Preparation of pitch-based carbon foam using polyurethane foam template [J]. Carbon, 2007, 45(10): 2 032-2 034
- [3] Yu Qijun, Anthony G Straatman, Brian E Thompson. Carbon-foam finned tubes in air-water heat exchangers[J]. Applied Thermal Engineering, 2006, 26(2/3): 131-143

(上接第 44 页)

- [2] 张立德, 牟季美. 纳米材料和纳米结构[M]. 北京: 科学出版社, 2001. 112-138
- [3] Mench M M, Yeh C L, Kuo K K. Propellant burning rate enhancement and thermal behavior of ultra-fine aluminum powders (alex) [A]. 29th Int. Annual Conference of ICT[C]. Germany: Karlsruhe, 1998. 1-15
- [4] 张小塔, 宋武林, 胡木林, 等. 核壳结构纳米复合材料的研究进展[J]. 材料导报, 2006, 20(11): 209-211
- [5] Kaito C. Coalescence growth mechanism of smoke particles[J]. Jpn J Appl Phys, 1985, 24(3): 261-264
- [6] Vladimir A Arkhipov, Sergey S Bondarchuk, Alexander B Vorozhtsov, et al. Productions of ultra-fine powders and their use in high energetic compositions [J]. Propellants, Explosives, Pyrotechnics, 2003, 28(6): 319-333
- [7] Jones D E G, Brousseau P, Fouchard R C, et al. Thermal characterization of passivated nanometer size aluminium powders[J]. Journal of Thermal Analysis and Calorimetry, 2000, 61: 805-818
- [8] Young-Soon Kwon, Alexander A Gromov, Alexander P Ilyin, et al. Passivation process for superfine aluminum powders obtained by electrical explosion of wires[J]. Applied Surface Science, 2003, 211: 57-67
- [9] Li Ying, Song Wulin, Xie Changsheng, et al. Influence of humidity on the thermal behavior of aluminum nanopowders[J]. Materials Chemistry and Physics, 2006, 97: 127-131
- [10] Phung X, Groza J, Stach E A, et al. Surface characterization of metal nanoparticles[J]. Mater. Sci. Eng. A, 2003, 359: 261-268

[参 考 文 献]

- [1] 刘文长, 薛玉芳, 宋广生, 等. 激光熔覆技术的研究现状[J]. 粉末冶金技术, 1998, 16(3): 209-212
- [2] 汪刘应, 王汉功, 苏勋家, 等. 铝合金表面激光熔覆 NiCrBSi 涂层工艺参数对显微组织的影响[J]. 金属热处理, 1999, 24(7): 12-14
- [3] 董世运, 韩杰才, 王茂才, 等. 激光熔覆铜合金涂层的组织特征及结晶过程分析[J]. 金属热处理, 2000, 28(3): 1-3
- [4] Wang M X, Wang C Y, Zhang X L, et al. Effects of the stabilization conditions on the structural properties of mesophase-pitch-based carbon foams[J]. Carbon, 2006, 44(15): 3 371-3 372
- [5] Klett J W, Trammell M. Parametric investigation of a graphite foam evaporator in a thermosyphon with fluorinert and a silicon CMOS chip [J]. IEEE T Dev Mater Reliabi, 2004, 4(4): 626-637
- [6] Dhami T L, Bahl O P, Awasthy B R. Oxidation-resistant carbon-carbon composites up to 1 700℃[J]. Carbon, 1995, 33(4): 479-490
- [7] Lu W M, Chung D D L. Oxidation protection of Carbon materials by acid phosphate impregnation[J]. Carbon, 2002, 40(8): 1 249-1 254
- [8] 王海军, 王齐华, 顾秀娟. 炭/炭复合材料抗氧化研究进展[J]. 材料科学与工程学报, 2003, 21(1): 117-121
- [11] Timothy Campbell, Rajiv Kalai, Aiichiro Nakano, et al. Oxidation of aluminum nanoclusters[J]. Physical Review B, 2005, 71: 205413
- [12] Tillotson T M, Gash A E, Simpson R L, et al. Nanostructured energetic materials using Sol-Gel methodologies[J]. Journal of Non-Crystalline Solids, 2001, 285: 338-345
- [13] Guo Liangui, Song Wulin, Xie Changsheng, et al. Characterization and thermal properties of carbon-coated aluminum nanopowders prepared by laser-induction complex heating in methane[J]. Materials Letters, 2007, 61(14/15): 3 211-3 214

专利名称: 镀膜设备

专利申请号: 03109599.2 公开号: CN1536099

申请日: 2003-04-11 公开日: 2004-10-13

申请人: 台湾省精碟科技股份有限公司

一种镀膜设备, 包括一动力单元、一传动机构、一监控机构、一基板承载机构及一镀膜源。其中, 动力单元具有一旋转轴心; 传动机构包括一第一齿轮及一第二齿轮, 且第一齿轮轴设于旋转轴心, 第二齿轮与第一齿轮相啮合, 第二齿轮的中央具有一第一开口; 监控机构具有至少两个测试组件; 基板承载机构连设于第二齿轮且具有一第二开口, 第二开口与第一开口相对而设, 监控机构穿设于第一开口及第二开口中; 镀膜源与基板承载机构及测试组件相对而设。