

航空发动机涡轮工作叶片表面积碳去除工艺研究

曲洪业 王伟平

中国航发沈阳黎明航空发动机有限责任公司, 辽宁 沈阳 110043

[摘要] 文章首先分别就机械物理去除法、水剂溶液清洗法、综合分析三个方面分析航空发动机涡轮工作叶片表面积碳去除方法的可行性, 进而运用磨粒流抛光和振动光饰工艺试验验证, 旨在合理选择表面积碳去除工艺方法, 切实提高叶片使用寿命, 提高航空发动机应用质量, 降低安全隐患。

[关键词] 航空发动机; 涡轮工作叶片; 机械物理去除法

DOI: 10.33142/sca.v4i6.5081

中图分类号: V263

文献标识码: A

Study on Carbon Removal Process of Aeroengine Turbine Blade Surface Area

QU Hongye, WANG Weiping

AECC Shenyang Liming Aero Engine Co., Ltd., Shenyang, Liaoning, 110043, China

Abstract: Firstly, this paper analyzes the feasibility of carbon removal method on the surface area of aeroengine turbine blade from three aspects: mechanical and physical removal method, aqueous solution cleaning method and comprehensive analysis, and then uses abrasive flow polishing and vibration polishing process test to verify, in order to reasonably select the carbon removal process method on the surface area and effectively improve the service life of the blade, and improve the application quality of aeroengine and reduce potential safety hazards.

Keywords: aeroengine; turbine working blade; mechanical physical division

引言

对于航空发动机, 涡轮工作叶片可以直接进行能量转换, 促使原本状态为保温燃气的能量, 能够直接演变成成为转子机械能零件, 在工作期间, 不仅需要承受着较大振动负荷和气体力, 还有可能相应出现高温氧化、热腐蚀等诸多问题, 涡轮工作叶片是否保持稳定状态, 也会直接影响到航空发动机的使用寿命。在此情况下, 对航空发动机涡轮工作叶片表面积碳去除工艺展开研究十分必要。

1 涡轮工作叶片表面积碳去除方法的可行性

1.1 机械物理去除法

航空发动机涡轮工作叶片长期处于高温作业环节, 当燃料燃烧结束后, 便会直接将沉积物留存于叶片表面, 抑或在高温氧化腐蚀作用下, 促使基体材料在叶片表面形成热蚀层, 黏附在涡轮工作叶片表面的沉积物或热蚀层则被称之为“积碳”。并且, 随着涡轮工作叶片的不断运转, 航空发动机涡轮工作叶片自身积碳厚度将会随之增加, 积碳厚度越大、涡轮工作效率越低, 叶片检测也更加困难, 严重时甚至影响航空发动机的正常使用, 造成安全隐患。鉴于此, 则需要相应采取措施, 有效应对。如果直接更换新的配件进行维修, 整体费用投入高, 修理检测也较为复杂困难。这就需要探寻多种积碳去除方法, 旨在切实延长叶片使用寿命, 提高涡轮工作叶片使用效果。其中, 机械物理去除法作为应用较为广泛的一种积碳去除工艺, 不仅可以采用手工打磨、振动光饰等方式, 还可以采用干吹砂、湿吹砂以及磨粒流抛光, 每一种处理方式不一、处理效果也存在明显差异。

具体来讲, 对于手工打磨机械物理去除法, 整个物理去除工艺需要工作人员具备较高的专业技能、工作强度也很大, 人工操作的方式促使积碳去除效率也十分有限, 整体工作也不易把控抛修去除厚度。对于振动光饰, 不同于手工打磨方法, 无论是生产效率, 还是整体操作都有了显著提高, 充分利用磨料和零件, 将二者进行混合振动, 促使筒体中的磨料能够直接完成加工面的磨削情况, 不仅能够直接起到涡轮工作叶片表面抛光的效果, 还能够较为简单地起到去毛刺的作用, 适用于大批量的生产需求。对于干吹砂和湿吹砂方法, 干吹砂是湿吹砂的基础, 湿吹砂是干吹砂的继承, 通过干吹砂, 能够直接在压缩空气的作用下, 促使磨料能够完成高速喷射, 相应到达零件表面, 全面有效地将零件表面附着物清理干净, 从而促使零件表面更加干净, 还能够相应起到光饰作用, 还可以灵活把控吹砂时间、磨料规格等具体参数, 实现抛修去除的效果, 和手工打磨方式相比, 整体去除效率高, 多适用于去除锻铸件表面氧化层等半成品表面的附着物、毛坯物^[1]。但是需要注意的是, 如果采用干吹砂去除尺寸精度部位附着物, 往往会降低物体表面粗

糙度。湿吹砂则充分整合磨料、液体，促使混合料可以直接喷射到零件加工表面。通常而言，由于干吹砂和湿吹砂相比，自身去除量更大，促使部件表面加工后也就更加粗糙，与之相对的是则湿吹砂带来较为光滑的部件表面。对于磨粒流抛光，利用挤压方法，促使磨料能够反复研磨，实现工件表面去毛刺、抛光等多种作用效果。但是使用磨粒流抛光往往具备较高的作业环境，需要专门配备磨粒流抛光机床，整体成本费用投入高。

1.2 水剂溶液清洗法

水剂溶液清洗法是一种去除效率较高的技术工艺，如果将水剂溶液清洗法和超声波处理技术相结合，则能够显著提高清洗效果，更好地应对当前社会的生产需要。近年来，我国也一直在着力研究清洗液和清洗工艺，旨在探求更加高效率、高质量的清洁效果。需要注意的是，一旦清洗液使用不当，极易对生态环境造成破坏和污染，不仅难以起到清洁作用，反而可能会相应产品性能，这就要求清洁液必须是无毒无害的，在性能安全稳定的基础上，有效除积碳。

1.3 综合分析

无论是机械物理去除法，还是水剂溶液清洗法，不同除积碳方法的适用范围、作用效果都不同。需要注意的是，航空发动机在长时间高温作用下，促使沉淀附着物粘合力也在相应提高，成分也较为复杂，目前还没有探寻出能够彻底清除且无害的清洗液，这也就促使水剂溶液清洗法还有很大的使用局限性，多采用机械物理去除方法。

2 涡轮工作叶片表面积碳去除工艺试验分析

2.1 试验方法

为了探寻最佳涡轮工作叶片表面积碳去除方法，则以同一台航空发动机涡轮工作叶片修理件出发，相应进行试件编号1#~8#，其中试件编号为1#~4#则表示采用磨粒流抛光进行积碳去除，5#~8#则采用振动光饰进行表面积碳去除，并确保试件本身没有任何缺陷，如脱层脱落等问题。基于磨粒流抛光、振动光饰的工艺处理方法，将航空发动机涡轮工作叶片结构特点进行综合考量，分别采用 $\phi 5\sim\phi 10\mu\text{m}$ 圆形碳化硅软质磨料、 $\phi 25\times 25\text{mm}$ 圆锥形树脂磨料进行具体试验。其中，试验所用航空发动机涡轮工作叶片则将土层厚度控制在50到80 μm 范围内。需要注意的是，由于涡轮工作叶片本身采用电弧喷涂工艺，促使无涂层厚度虽然在一定范围内，但是涂层自身不够均匀稳定，涂层也有薄有厚，如果是进气边、排气边，涂层一侧则保持较薄的情况，如果是叶盆和叶背位置，涂层中间部位则保持较厚的状态^[2]。与此同时，不同的叶型结构也会造成诸多不同影响，磨料和表面各个部位的实际接触情况往往会受到叶型结构的限制，促使涂层难以保持相对一致且均匀的去量。在进行具体试验时，还相应评估去除涂层量，试样编号为1#、3#、5#、7#的试件用于评估对比，作为涂层去除量评估件，并相应贴好胶带，在试验后，则可以沿着胶带边，则可以对比分析剖口两侧涂层去除量。积碳去除能力则可以从以下四个方面进行评判，分别是外观检查、剖切试件检查、投影检查以及荧光检查。

2.2 试验结果

基于试验发现，无论是磨粒流抛光，还是振动光饰，试件涂层表面积碳都能够完全清除干净，而且涂层表面本身并没有任何损伤问题、保持光滑状态。其中，采用磨粒流抛光后的试件从外观来看，自身光亮度更好。对于涂层量，磨粒流抛光积碳去除量大，当循环次数不断增加时，去除涂层量也会相应增加，但是去除量均匀性较差。在投影检查中，应用叶型投影仪发现，只有6#和8#本身轮廓尺寸合格。在荧光检查中，每个试件表面都没有出现荧光液吸附现象，则也就表明试件加工效果较好，不仅彻底清除干净表面积碳，而且附件涂层也并未出现开裂问题。由此可见，两种方法均能够起到理想的积碳去除效果，但是磨粒流抛光加工极易造成涂层量不均匀的情况，而振动光饰不仅去除涂层量较为均匀，而且成本投入低、能够实现批量修理。

3 结论

综上所述，对航空发动机涡轮工作叶片表面积碳去除工艺展开分析具有至关重要的意义。通过对积碳去除工艺的可行性分析，分别就磨粒流抛光、振动光饰进行试验发现，每种方法的应用原理和应用效果都存在明显差异。在具体应用时，则可以结合不同发动机的应用要求，秉持着发动机分批加工的操作原则，灵活调整操作方式，加强振动光饰加工检查。

[参考文献]

[1]江伟.某型发动机飞行试验喘振故障分析——兼论其对商用大涵道比涡扇发动机研制过程的启示[J].内燃机与配件,2021(19):117-120.

[2]徐林.航空发动机叶片表层除碳技术的研究[J].科技创新与应用,2020(36):83-84.

作者简介:曲洪业(1986.11-)男,毕业院校:沈阳航空工业学院;现就职单位:中国航发沈阳黎明航空发动机有限责任公司。