

超声速喷涂 Al_2O_3 陶瓷涂层工艺研究

The Process Research of HVOF Spraying Al_2O_3 Ceramics Coating

张宏芳¹ 丁志伟² 李二娃²

1 沈阳黎明航空发动机(集团)有限责任公司 2 沈阳黎明国际动力工业公司

摘 要:通过对超声速热喷涂工艺过程的论述,介绍了在某型航空发动机的零件封严齿上喷涂 Al_2O_3 陶瓷涂层的工艺方法,以及涂层金相试样的制备和涂层评定方法。

Abstract: This article introduces the thermal spraying Al_2O_3 ceramics coating process methods on the seal teeth of the certain aircraft engine parts using HVOF. As well as introduce the preparation methods of metallographic coating specimen and the coating evaluation.

关键词: 超声速热喷涂; 陶瓷涂层; 金相评定

Keywords: HVOF thermal spraying; ceramic coating; metallographic evaluation

0 引言

某型航空发动机低压涡轮封严环组件安装在发动机空心长轴大端,是发动机上高速旋转的敏感零件,工作转速在10000r/min以上。空心长轴的小端与压气机转子连接,封严环与涡轮盘、轴承座、衬套等多个零件构成涡轮转子。设计要求在封严环的六个封严齿尖和齿侧面超声速热喷涂 Al_2O_3 陶瓷涂层。

Al_2O_3 陶瓷涂层是一种硬度在HV1040~1300的硬质耐磨涂层,待喷涂表面属于封严齿结构,在齿尖宽度仅为0.19mm的封严齿上要使涂层具有良好的结合力和致密性,是常规热喷涂工艺中的一个技术难题。该零件需喷涂涂层的径向封严齿到外部安装边轴间距离小于2mm,受外部安装边的遮挡,齿侧的喷涂角度几乎达不到 20° ,这对于确保涂层与金属基体的结合力来说有较大困难。同时,超声速喷涂还存在零件的防护和冷却问题。超声速喷涂粒子撞击工件的速度达980m/s,高温高温的粒子将大量的热量带到工件和防护工装上,在等

离子喷涂中使用的防护效果较好的橡胶等一般的防护材料难以抵御这样的高温冲击力,热量如果不能及时散掉,将在涂层表面积聚而使零件局部过热,造成涂层结合力降低甚至脱落。为解决上述难题,进行了专题试验研究,对 Al_2O_3 陶瓷涂层超声速喷涂参数进行优化组合,获得了良好效果。

1 超声速喷涂的原理及特点

1.1 超声速火焰喷涂的原理

因喷涂的火焰和粉末到达工件表面的速度超过声速,超声速喷涂(HVOF)具有涂层与基体结合力高的突出优点,其基本原理是利用高能燃料与氧气在燃烧室内混合、点燃,形成高压、高温燃气流,通过收扩喷嘴加速至超音速,引射并携带高温熔融金属粉末冲击工件表面,沉积形成一种致密的优质涂层。所用燃料一般有煤油、氢气、丙烯、丙烷、乙炔、甲基乙炔、天然气等。本工艺使用的燃料为氢气,所用设备保持在一定压力下点燃氢氧混合气体实现

连续燃烧膨胀加速,产生高达2800℃以上温度的超声速高能气流。

1.2 超声速喷涂的特点

与常规的火焰喷涂、电弧喷涂、等离子喷涂等相比,超声速喷涂具有以下特点:

1) 由于火焰流速及喷涂粒子速度非常高,使制备的涂层很致密,涂层与基体有很强的结合力。

2) 喷涂粉末颗粒与周围大气接触时间短,粉末粒子飞行速度高,元素烧损少。

3) 涂层表面光滑。由于超声速喷涂的粉末属于细粉度粉末,喷涂粒子速度高,熔融充分,形成涂层时变形充分,使得涂层表面粗糙度小。

2 工艺过程

2.1 喷涂要求

零件的喷涂区域位置如图1所示,在接近安装边的六个封严齿表面喷涂厚度0.05~0.10mm的氧化铝涂层,没有过喷区域;要求喷涂后得到的涂层在齿尖的孔隙率小于1%,齿尖的微观硬度达到HV_{0.05}1040~1300,宏观硬度不小于HR15N 90。

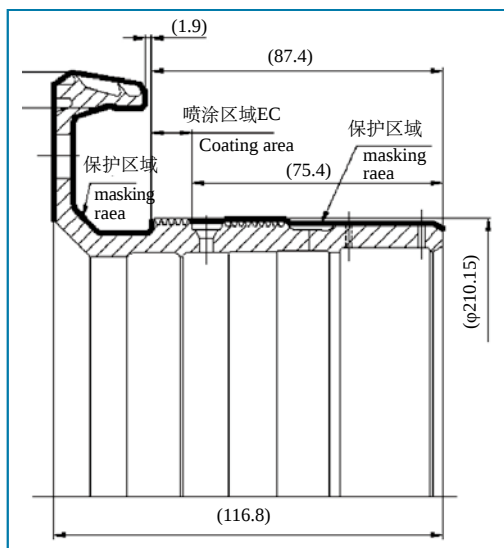


图1 零件喷涂位置图

2.2 喷涂设备及工艺参数

喷涂设备为4100型超声速喷涂设备,包括喷枪、机械手、送粉器等。在正式喷涂工件前的一定时间内,按照固化的工艺参数喷涂试件并按验收标准检验各项性能,合格后才能正式开始喷涂工件。验收试样包括结合强度试样、宏观及微观硬度试样和金相试样,通过结合强度拉伸试验、宏观及微观硬度检查和高倍金相照片检查对涂层进行评估,确定最终喷涂的工艺参数。具体喷涂设备和优化的工艺参数见表1。

零件实施喷涂前必须对喷涂表面进行清理和粗化,采用80目的白刚玉砂在三轴机械手自动吹砂机中吹砂,吹砂压力为0.29~0.35MPa,吹砂距离为90~110mm,吹砂后零件表面的粗糙度可以达到Ra1.9 μ m。

为防止零件过热,在零件外部采用两组单独的压缩空气喷嘴进行冷却,在零件内部使用一组冷却喷嘴进行内腔冷却,过程温度可以控制在290℃以下。

2.3 金相试样的制备

涂层验收用金相试样是在微观状态下检查喷涂涂层内部质量的重要试验件,其制备参数很重要。

首先对喷涂完的金相试验进行切割,暴露涂层断面。采用0.76mm厚的SiC砂轮片对试样进行切割,尽量少地去除涂层材料。再用专业设备依

表1 喷涂设备及工艺参数

参数名称	参数值	参数名称	参数值
设备	4100 超声速喷涂设备	载气类型	氩气
机械手	IRB2400	载气压力	48~58 psi
喷枪	HV2000(见图2)	载气流量	40~50 SCFH
喷嘴	Φ23~25 mm	送粉速率	6.5~8.5 g/min
送粉器型号	1264i	沉积效率	0.01~0.02 mm/pass
氧气压力	126~146 psi	表面速度	860~900 mm/s
氧气流量	650~710 SCFH	喷涂距离	150~170 mm
氢气压力	95~115 psi	转盘转速	80±1 r/min
氢气流量	1790±50 SCFH	喷枪移动速度	10.0~15.0 mm/s
送粉计数	4.0±0.4 Rpm		

表2 涂层研磨参数表

砂纸号 #	每个试样 压力(N)	研磨时间 (min/每张)	砂轮盘转 速(r/min)	试样转速 (r/min)	研磨 次数	底盘与试样 旋转方向	冷却 介质
120	40	0.5~1	300	60	3~8	同向	水
240					2		
320							
600							
800							
1200							
2500							

表3 涂层抛光参数表

抛光布	每个试样 压力(N)	研磨时间 (min/每张)	砂轮盘转速 (r/min)	试样转速 (r/min)	底盘与试样 旋转方向	抛光剂
无毛 稠布	40	0.5~1	300	60	同向	3μm金刚石
	80					1μm金刚石
						0.06μm SiO ₂

表4 涂层的宏观检查结果

技术要求	试验结果(实测)
试样表面涂层覆盖完整,均匀,无裂纹、起泡、分层、散裂、剥落,无明显色差或其他黏结不牢现象。	符合要求

表5 涂层的显微结构检查

试验项目	涂层厚度	厚度实测值	技术要求	试验结果(实测)
显微结构	0.15~0.25 mm	0.16mm	涂层基体界面污染:不允许分层。以200倍金相显微镜至少观察5个视场。整体界面污染小于20%,单独视场内界面污染小于40%。	无分层,整体界面污染10%,单独视场界面污染20%
			裂纹:不可接受	没有裂纹
			孔隙率*:典型齿尖区域孔隙率小于1%;非典型的齿侧区域孔隙率小于10%。	齿尖<1%,齿侧<1%
			未成形或未结合相:小于1%	<1%

次对其进行研磨、抛光,Al₂O₃属于硬而脆的陶瓷涂层,其抛光参数与其他类型涂层使用的有所不同。表2为涂层试样研磨的具体参数,研磨用砂纸从120号

到2500号依次提高,以便提升研磨表面的光洁度。表3为涂层试样抛光参数。

2.4 涂层评定结果

按照涂层的技术要求,对涂层

《航空科学技术》征稿通知

《航空科学技术》创刊于1989年,是由中国航空工业集团公司主管、中国航空研究院主办、中航出版传媒有限责任公司《航空科学技术》编辑部编辑出版的科技类中文期刊(双月刊,逢双月15日出版),国内外公开发行。国内统一连续出版物号:CN11-3089/V;国际标准刊号:ISSN1007-5453。

为了丰富刊物内容,全面展示航空科学技术的进步与发展,现面向广大航空科研人员。

征稿内容

来稿应反映航空科学技术的新动向、新进步、新成果,支持和推动航空科学技术发展创新。文章涉及:科技管理、飞行器、航空动力、机载设备、先进制造、新材料、新工艺、试验与测试等领域。作者可就所开展的科研工作论述其学术价值和工程实用价值,展示有创新价值或实用价值的科研成果等。

来稿要求

1. 遵守国家保密规定和《著作权法》有关规定,来稿时需提供科技论文/科技信息外投不涉密审查证明,如发生侵权或泄密问题,责任由作者承担。

2. 稿件要求论点明确、内容充实、数据可靠、条理清楚、文字简洁。

3. 文章一般限制在5000字以内(包括公式、图表所占版面),并提供中文标题(不超过18字)、英文标题、中/英文关键词、作者信息(姓名/工作单位)、参考文献、作者简介(学历、技术职务、主要研究方向等),基金文章请标注基金编号,并请随文附上联系电话、电子邮箱、通信地址等。

4. 投稿邮箱:ast@aviationnow.com.cn,联系电话:010-58354702。请勿一稿多投,来稿无论录用与否一律不退稿,请谅解。

5. 本刊为全国科技论文统计用刊,并已被万方数据—数字化期刊群、《中国学术期刊网络出版总库》及CNKI系列数据库收录,其作者文章著作权使用费与本刊稿酬一次性给付。如作者不同意文章被合作媒体收录,请在来稿时向本刊声明,本刊将做适当处理。

《航空科学技术》编辑部

表6 涂层的其他性能分析

试验项目	涂层厚度	厚度实测值	技术要求	试验结果(实测)
宏观硬度	0.25mm	0.25mm	HR15N 90MIN.	HR15N: 92.2,91.1, 92.8,91.0, 92.0, 平均: 91.8
显微硬度	0.05~0.10 mm	0.10mm	HV _{0.3} 1040~1300 在齿尖典型位置检查	HV _{0.3} : 1064, 1067, 1068, 1066, 1062, 平均: 1065.4



a. 平板试样涂层100倍金相照片



b. 平板试样涂层200倍金相照片



c. 封严齿涂层试样50倍金相照片



d. 封严齿涂层试样500倍金相照片

图2 涂层的显微结构

进行了宏观和微观结构分析,评定结果分别如表4~6所示。表4为涂层的宏观检查结果,表5为涂层的微观检查结果,表6为涂层的宏观及微观硬度检查结果。图2为平板涂层试样制成的100倍、200倍以及封严齿涂层试样制成的50倍、500倍金相试样照片。以上试样均符合喷涂验收标准文件CME5033/2/E1和E3的技术要求。

3 结论

针对要求喷涂特种功能涂层的特殊结构航空封严齿喷涂工艺难题,通过对超声速喷涂设备和工艺参数的试验研究,满足了此部件 Al_2O_3 涂层验收技术要求。

AST

参考文献(略)

作者简介

张宏芳,高级工程师,主要从事热处理及金属材料冶金等特种工艺方面的技术工作。