

航空航天紧固件全自动温滚喷工艺研究

陈晓芳, 宫兆泉, 孙靖贻, 刘雪涛, 王忠凯, 武少华

(东方蓝天钛金科技有限公司, 山东 烟台 264003)

摘要: 为解决人工手动喷涂导致的航空航天紧固件铝涂层厚度超出标准要求限值, 且均一性、稳定性、可控性较差问题, 展开针对小规格(光杆直径4~6 mm)螺栓产品的全自动温滚喷工艺研究, 通过对喷距、喷幅、喷涂频率、温度、错珠配比、转速、出漆量、压强8个喷涂参数的验证优化, 得到最优喷涂参数组合, 使得产品外观、厚度、结合力均能满足标准要求, 显著提高了铝涂层厚度的均匀性。

关键词: 铝涂层; 厚度均匀性; 全自动温滚喷

中图分类号: TQ639

文献标志码: B

文章编号: 1007-9548(2024)11-0032-03

Research on Fully Automatic Warm Roller Spraying Process for Aerospace Fasteners

CHEN Xiao-fang, GONG Zhao-quan, SUN Jing-yi, LIU Xue-tao, WANG Zhong-kai, WU Shao-hua

(Oriental Blue Sky Titanium Technology Co., Ltd., Yantai 264003, Shandong, China)

Abstract: In order to solve the problem that the thickness of aluminum coating of aerospace fasteners caused by manual spraying exceeds the standard requirement limit, and the uniformity, stability and controllability are poor, a research on fully automatic warm roller spraying process for small-sized (rod diameter 4~6 mm) bolt products is carried out. By verifying and optimizing the eight spraying parameters, including spray distance, spray amplitude, spray frequency, temperature, zirconium bead ratio, rotational speed, paint output and pressure, the optimal combination of spraying parameters is obtained to make the product appearance, thickness and adhesion meet the standard requirements, which significantly improves the thickness uniformity of aluminum coating.

Key words: aluminum coating; thickness uniformity; fully automatic warm roller spraying process

0 引言

紧固件是航空航天产品中应用最广泛、使用量最大的基础产品,我国著名的ARJ21-700飞机、C919大飞机总设计师吴光辉先生也盛赞紧固件“数以万计,类以群分,连结构,接系统,小物大为”^[1],紧固件的质量稳定性直接关系到飞机、飞行器的可靠性能、工作性能以及安全性能。铝涂层作为紧固件的主要防护方式之一^[2],其主要作用为防接触腐蚀,而厚度均一性和稳定

性是评价紧固件铝涂层性能的重要指标,紧固件所有工作面涂层厚度均应满足标准要求(5.0~12.7 μm),否则很容易发生接触腐蚀^[3],引发质量安全事故,造成机毁人亡的严重后果。目前,行业内紧固件主要喷涂方式为人工手动涂覆,该涂覆方式受人为主观因素影响较大,例如手持喷枪的移动速率、喷枪与产品表面间的距离、手部翻动铜网的力度、翻动铜网的次数等,导致紧固件表面铝涂层厚度均一性、稳定性和可控性问题,成为行业难题。因此,亟需研究一种不仅能够满足外观、结合力相关要求,且有利于提高涂层厚度均一性、稳定性和可控性的喷涂工艺。

1 设备及材料

全自动温滚喷设备,涂铝液,除油剂,化学粗化剂,

收稿日期: 2024-01-09

作者简介: 陈晓芳(1994—),女,本科,工程师,主要从事航空航天高端紧固件和结构件的表面处理工艺研究工作。E-mail: chenxf106@163.com。

自来水,气动搅拌装置,光杆直径4 mm、5 mm、6 mm的钛合金螺栓,铅珠,180目铜网,精度0.1 g电子称,卷尺,红外线测温枪,网格纸(0.5 cm×0.5 cm),烘箱,金相显微镜,3M胶带。

2 影响分析

结合喷涂经验,对影响全自动温滚喷工艺的喷涂参数总结如下。

1)喷距:指出漆口到产品表面的垂直距离,可通过卷尺进行测量。喷距过大,导致漆雾被抽风系统抽走,造成涂料浪费,降低涂覆效率,且漆雾在到达产品表面过程中会出现固化,涂料无法在产品表面流平,产品出现起毛现象;喷距过小,会造成漆雾在产品表面分散不充分,过于集中,涂层表干慢,容易产生刮花、磕碰等外观问题。

2)喷幅:指喷枪一次性喷出的漆雾被雾化后的形状,决定了单次喷涂过程中,漆雾在产品表面的覆盖面积。喷幅越大,单次喷涂在产品表面形成的覆盖面积越大,涂层厚度均匀性越好,但容易起毛,影响产品外观;喷幅越小,单次喷涂在产品表面形成的覆盖面积越小,涂层厚度均匀性越差。

3)喷涂频率:指喷涂-烘干时间。主要作用是保证产品表面充分表干,同时保证有充足时间排出滚筒内多余悬浮漆雾。喷涂频率越快,产品表干时间越短,越容易出现涂层刮花,厚度增加困难等问题;喷涂频率越慢,产品出现磕碰伤的可能性越大。

4)温度:指产品表面实际温度。可使用红外线测温枪辅助测量。温度越低,产品表干越慢,越容易出现刮花问题;温度过高,会使喷枪出口处的涂铝液固化,出现堵枪现象,同时增加产品起毛概率。

5)铅珠配比:指一次喷涂中铅珠和产品的质量比。铅珠主要起缓冲作用,防止产品在转动过程中出现磕碰,影响螺纹通止。铅珠添加量少,导致缓冲效果不明显,产品出现磕碰伤;铅珠添加量多,导致生产效率降低。

6)转速:指滚筒在喷涂过程中的转动速率。转速越快,涂层均匀性越好,但容易产生磕碰伤;转速越慢,涂层厚度均匀性越差。

7)出漆量:指一次喷涂过程中,涂料喷出的量。出漆量过小,会导致喷枪堵塞问题;出漆量过大,会导致涂层表干慢,影响涂层外观。

8)压强:指压缩空气作用于喷枪的压力,主要作用是顶开顶针、喷出漆雾。压强过小,漆雾无法到达产品表面;压强过大,会造成漆雾在滚筒内部反弹,产品表面出现起毛现象,且对喷涂室环境造成不良影响。

由上可知,影响温滚喷涂层质量的因素众多,且不同因素之间相互影响、相互制约,通过一系列工艺验

证,寻求最优喷涂参数组合,是解决涂层厚度均匀性的关键。

3 试验过程

3.1 螺栓前处理

试验螺栓在全自动温滚喷前,按表1所列工序及参数进行前处理。

表1 前处理工序及参数

工序	工艺参数	作用
除油	55~70 °C, 5~15 min	去除产品表面因机加工而产生的油污
水洗	室温, 0.5~1.0 min	去除产品表面残留的除油剂
化学粗化	室温, 0.5~2.0 min	粗化产品表面, 提高铝涂层结合力
水洗	室温, 0.5~1.0 min	去除产品表面残留的粗化剂
干燥	80~100 °C, 20~30 min	去除产品表面水分

3.2 温滚喷涂覆

前处理完成后,按表2所列验证方案开展验证试验。

表2 全自动温滚喷验证方案

方案	喷距/cm	喷幅/圈	喷涂频率 X-Y ^①	温度/°C	铅珠:产品(质量比)	转速/(r·min ⁻¹)	出漆量/cm ²	压强/MPa
1	15	1	2-1	85	1:1	23	10×8	0.20
2	15	1	2-1	85	1:1	23	13×11	0.20
3	15	1	2-1	85	1:1	23	9×7	0.20
4	15	0.5	2-1	85	1:1	23	10×8	0.20
5	15	2	2-1	85	1:1	23	10×8	0.20
6	14	1	3-1	80	1:1	21	10×10	0.20
7	14	1	3-1	70	1:1	21	10×10	0.20
8	14	1	3-1	90	1:1	21	10×10	0.20
9	14	1	1-1	80	1:1	21	10×10	0.20
10	14	1	4-1	80	1:1	21	10×10	0.20
11	13	1	3-1	75	1:2	20	12×10	0.15
12	13	1	3-1	75	1:2	20	12×10	0.10
13	13	1	3-1	75	1:2	20	12×10	0.25
14	13	1	3-1	75	2:1	20	12×10	0.15
15	13	1	3-1	75	1:3	20	12×10	0.15
16	15	1	2-1	85	1:1	22	10×8	0.20
17	15	1	2-1	85	1:1	19	10×8	0.20
18	15	1	2-1	85	1:1	24	10×8	0.20
19	15	1	2-1	85	1:1	21	10×8	0.20
20	12	1	2-1	85	1:1	21	10×8	0.20
21	16	1	2-1	85	1:1	21	10×8	0.20

注:①X-Y表示喷涂X s,停Y s。

3.2.1 铈珠的选择

铈珠的选择原则:1)氧化铈的含量为 10%~20%;
2)直径为 2~4 mm,在确保不被产品夹带的前提下,应尽量选用小规格。

3.2.2 出漆量测定

出漆量测定方式:取一张网格纸,网格尺寸为 0.5 cm×0.5 cm,喷涂间歇时,迅速将网格纸放置于喷枪所指区域的产品表面,并保持不动,接收 1~4 s 的完整喷漆量于网格纸上。

3.2.3 涂覆过程

1)配制涂铝液:将涂铝液 A、B 两种组分混合,并使用稀释剂调节黏度,用气动搅拌装置搅拌 5~10 min,遮盖静置 15~20 min 后用 120 目以上铜网过滤备用,并在烧杯上标识涂料成分、配制完成时间和活化截止时间。

2)全自动温滚喷:按表 2 所列进行喷涂参数设定。喷涂过程中,应每隔 10 min 取样检查产品涂层厚度,当使用千分尺测量光杆涂层厚度达到 7~8 μm 时,按下喷涂开关,结束喷涂。立即将产品及铈珠取出,使用塑料筛分离产品与铈珠,将产品装入不锈钢托盘内,并放入提前预热好的烘箱进行固化。

3.3 鉴定试验

3.3.1 外观

1)技术要求:涂铝完成后,产品外观应光亮、颜色均匀,不应有孔洞、气泡、堆积、划痕、碰伤或其他有害缺陷。

2)试验方法:采用目视法对产品外观进行检验。

3.3.2 结合力

1)技术要求:涂铝层应连续、紧密的黏附在基体金属表面,按照相关试验方法试验后,还需在 4~6 倍放大镜下对结合力进行进一步检查,涂层不应出现与基体金属接触面分离的情况。

2)试验方法:采用胶带法对铝涂层结合力进行检测。将 3M 公司的 250 号胶带贴于紧固件表面(头部或光杆均可),按压胶带使之与紧固件表面连续紧贴,在与螺栓表面垂直的方向上迅速将胶带去除。

3.3.3 厚度

1)技术要求:螺栓所有工作面涂层厚度应为 5.0~12.7 μm,工作面指螺纹、光杆、支撑面。

2)试验方法:使用显微镜金相法对涂层厚度进行检测,金相法是涂层厚度测量的仲裁方法。将紧固件进行剖切、镶样、打磨后,在显微视野内选取 5 个点测量涂层厚度,取 5 点平均值作为该部位涂层厚度。

3.4 数据记录

相关试验数据记录如表 3 所列。

表 3 涂层性能测试数据

方案	外观	平均厚度/μm			结合力	备注
		支撑面	光杆	螺纹		
1	光滑、均匀	7.7	7.1	7.9	涂层未与基体分离	
2	表面黏结	6.5	11.4	7.3	涂层未与基体分离	
3	产品磕碰、起皮	9.1	10.6	8.5	涂层未与基体分离	喷涂过程中堵枪
4	光滑、均匀	5.7	10.1	4.9	涂层未与基体分离	喷涂时间较长
5	产品起毛	7.3	10.1	8.9	涂层未与基体分离	
6	光滑、均匀	8.8	9.5	7.8	涂层未与基体分离	
7	表面刮花	6.3	8.5	6.8	涂层未与基体分离	
8	产品起毛	10.3	8.9	10.8	涂层未与基体分离	喷涂过程中堵枪
9	产品起毛	9.0	9.2	7.8	涂层未与基体分离	
10	产品黏结	5.0	15.2	13.3	涂层未与基体分离	
11	光滑、均匀	8.6	7.2	7.5	涂层未与基体分离	
12	表面粗糙	8.9	9.0	8.9	涂层未与基体分离	
13	产品起毛	6.6	13.0	7.4	涂层未与基体分离	喷涂室环境较差
14	光滑、均匀	9.4	7.5	10.3	涂层未与基体分离	喷涂时间较长
15	产品磕碰	7.7	8.1	6.8	涂层与基体分离	
16	光滑、均匀	6.9	8.2	7.4	涂层未与基体分离	
17	光滑、均匀	3.9	9.5	10.4	涂层未与基体分离	
18	产品磕碰	8.3	9.7	7.8	涂层与基体分离	
19	光滑、均匀	6.4	6.2	6.6	涂层未与基体分离	
20	产品刮花	4.2	13.5	7.7	涂层未与基体分离	
21	产品起毛	11.5	10.5	10.7	涂层未与基体分离	

3.5 数据分析

通过对上述试验数据分析可知,在方案 1、6、11、16、19 喷涂参数下加工的产品,其外观、结合力、厚度均能满足标准要求,故得到最优喷涂参数组合,具体如下表 4 所列。

表 4 全自动温滚喷喷涂参数

喷涂参数	参数设定
喷距	13~15 cm
喷幅	1 圈
喷涂频率	喷涂 2~3 s,烘干 1 s
温度	75~85 °C
铈珠配比	铈珠:产品(质量比)=1:(1~2)
转速	20~23 r/min
出漆量	(10~12) cm×(8~10) cm。
压强	0.15~0.20 MPa

(下转第 37 页)