

# 喷丸强化工艺设计与过程控制研究

辛立正

航空工业成都飞机工业(集团)有限责任公司

**摘要:** 以喷丸强化工艺设计和过程控制为研究对象,研究了喷丸强度和覆盖率两项关键技术指标的验证方法,分析了保持喷丸强化过程稳定性的控制方法,有针对性地总结提炼工艺准备、过程验证、工艺流程、工艺文件等喷丸强化工艺控制过程的应用实现。

**关键词:** 喷丸强化;过程验证;工艺流程

**中图分类号:** TG115;TG61;TH161.3

**文献标志码:** A

## Shot Peening Process Preparation Research

Xin Lizheng

**Abstract:** Taking shot peening process design and process control as the research object, the verification method of two key technical indexes of intensity and coverage is studied, the process control method for maintaining the stability of shot peening is analyzed, and the application realization of shot peening process control such as technique preparation and process substantiation and process flow and documentation for peening is summarized.

**Keywords:** shot peening; process substantiation; process flow

### 1 引言

喷丸强度和覆盖率指标是喷丸强化的两个关键技术指标。由于喷丸强度与残余应力有对应关系,可以通过测试残余应力来验证喷丸强度,但其检查测试通常具有破坏性,一般适用于简单零件,而不适用于产品部件。零件覆盖率小于100%能够测量,但是检查并不能区别覆盖率在100%、200%、300%等情况。这使得喷丸后的验证检查不同于其他处理方式(如喷涂等),因为在零件完成喷涂处理后,喷涂厚度和连续性是可以测量和验证的。如何进行合理的喷丸强化工艺设计,确保在喷丸处理后的产品零件上有效验证喷丸强度和覆盖率以维持喷丸的稳定性涉及到喷丸强化过程控制。

### 2 工艺准备

在进行喷丸工艺准备时,零件加工规范应当标

明设计要求的喷丸区域、喷丸介质、喷丸强度和覆盖率值。

零件的装夹以及喷嘴设置非常重要。首先要注意零件对喷嘴/滚轮的方向,因为弹丸的反跳方向必须 $\geq 45^\circ$ ,在 $90^\circ$ 时产生最高的喷丸强度,在 $45^\circ$ 喷丸强度降低约45%。如要求喷丸强度0.15 - 0.25 Amm,具有足够的允许变化宽度,但是当反射角低于 $45^\circ$ 时强度范围收窄为低于0.075 - 0.125 Amm,将使验证非常困难。

同时可以增加确认要求,如残余应力测量、尺寸测量以及表面粗糙度测量等。

#### (1) 设置喷丸区域

一些部件可以要求喷丸强化覆盖全部的区域,但是通常有一些区域不要求进行喷丸。设计图纸应当准确地标明需要喷丸的位置,通常是在需要喷丸的表面用交叉平行线画出阴影进行标明。同样,图纸应标明禁止进行喷丸的区域以及可以选择是否进行喷丸的区域,在喷丸被阻止的区域应进行保护以阻止过喷或被跳弹击中产生事故性的覆盖率。图纸

收稿日期: 2018年9月

[3] Li D, Piao G H, Wu Z, et al. Response surface design for nickel recovery from laterite by sulfation - roasting - leaching process[J]. Transactions of Nonferrous Metals Society, 2010, 20(s1): 92 - 96

[4] 徐颖, 李明利, 赵选民, 等. 响应曲面回归法——一种新的回归分析法在材料研究中的应用[J]. 稀有金属材料与工程, 2001, 30(6): 428 - 432.

第一作者: 徐永新, 高级工程师, 高级实验师, 河南工学院机电工程系, 453003 河南省新乡市

First Author: Xu Yongxin, Senior Engineer, Senior Laboratory Technician, Mechanical and Electrical Engineering Department, Henan Institute of Technology, Xinxiang, Henan 453003, China

也应标明喷丸可以选择的一定区域,尽管一些区域有利的喷丸残余应力是不必要的,但是不会不利于许可的喷丸覆盖率;了解这些是有用的,因为通过设定这些非必须保护的区域,能节约时间和成本。

图纸应当标明允许反弹的喷丸区域。对于不会被喷丸直接击中的区域来说,反弹喷丸方式非常有用。通过反弹击中被阻挡的表面而产生覆盖率,这将仅用于反弹喷丸被特别允许的区域,因为反弹强度低于直接喷丸冲击产生的强度。



图1 典型加工流程

(2) 禁止喷丸区域

零件上可能有明确禁止喷丸的区域,通常保护要持续到最后阶段。保护的类型可以采用以下一种或几种方式:永久保护(模具成形、金属板);共形保护(胶带纸);保护涂层(紫外光固化树脂、人造橡胶);保护夹具同时可以作为零件装夹工具使用。

(3) 阿尔门试片夹持位置

为准确测量喷丸强度,阿尔门试片应固定在夹具上并尽可能模拟工件相关的区域。喷丸时工件状态模拟可以采用一个或多个阿尔门试片夹具,位置的选择基于如下因素:不同强度的区域;关键零件的寿命周期期望;关键的并且难于喷丸的区域;可以全喷的区域;可以变形的区域;以特殊矛枪喷丸的区域;自动化水平和控制设备。

经常采用将报废的同图号零件作为阿尔门试片的夹持工装方式。为真实模拟工件,在进行夹具设计时,应关注实际工件的完整几何形状,这可能影响喷丸效果,也可能没有反映工件的真实喷丸状况。

对于强度和覆盖率要求、喷丸设备、零件保护测

试工具和阿尔门试片装夹定位等应纳入相应工序;在每一个阿尔门试片位置产生全饱和度曲线,测量喷丸强度、要求区域测量覆盖率的过程应可验证。

为测量覆盖率速度,零件可以进行短周期加工,并以最小×10放大进行覆盖率检查。通过重复这个程序,以逐渐达到100%覆盖率作为验证依据。建立覆盖率曲线是有用的验证工具,如要求复合覆盖率如200%,则加工时间成为相应的因素。

(4) 喷丸参数设置

为产生一个稳定的、可重复的喷丸强化工艺流程,需要进行一些改进(见图2和图3)。首先,需要通过阿尔门试片进行强度测试;其次,考虑到覆盖率速度<100%能够被视觉上评估(因为100%完全喷丸表面看起来和120%或150%或者更多喷丸的表面一样),覆盖率测试应在零件本体上进行,直到达到要求的覆盖率值为止。

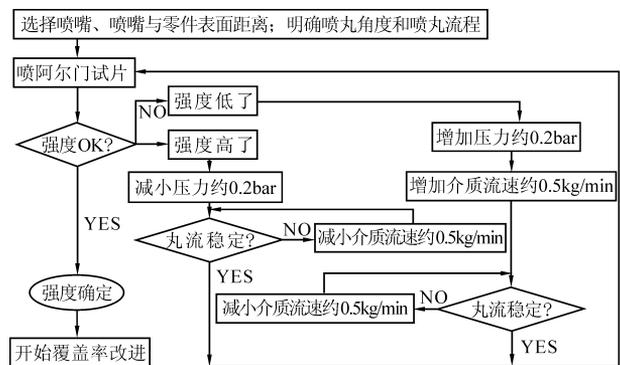


图2 喷丸强度测试改进

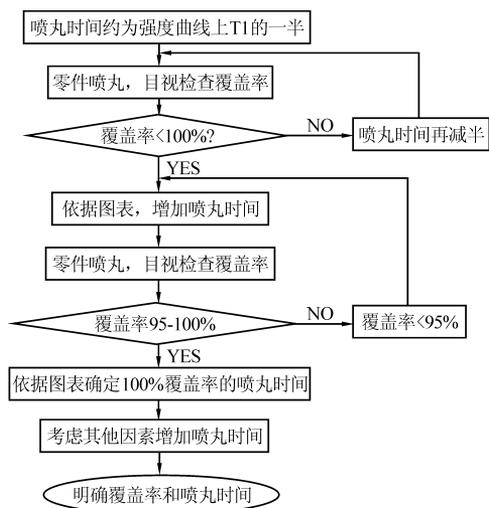


图3 覆盖率改进

(5) 冻结程序

完成强度和覆盖率的过程验证后,技术表单具有所有必须的数据。如果其他加工参数(如空气压力、轮速)有容差要求,验证数据必须显示满足容差限

度。技术表单须经过批准。技术表单一旦被批准,工艺过程被锁定,且不允许超出批准的技术参数。

### 3 过程检查与工艺流程

喷丸前要明确所有必须的技术要求,工艺资料上应标明喷丸区域和相关技术要求。

#### (1) 预检查

预检查包括发现喷丸前须处理的缺陷。

**尖角和毛刺:**喷丸可能使材料移位并在锐边上引起翻卷,可能使毛刺产生折叠而不能去除。这些缺陷可能破坏压力层或者通过滞留水分和污物产生初始腐蚀。如果覆盖率一直延伸到边缘,则锐边应轻微磨圆,典型半径为0.5mm。有些技术文件要求覆盖率向边上逐渐过渡,或者通过遮盖进行锐边保护,喷丸前应通过一定工序去除毛刺。

**深擦:**深擦可能破坏压力层或产生污染,喷丸前应当进行打磨。

**油或湿的表面:**油或水在零件表面上将污染喷丸,产生腐蚀或模糊覆盖率,喷丸前应当清洗除污。

**残余物:**喷丸前需去除标签、胶带纸或黏合剂残余物。标签和胶带纸的残渣可能阻止和妨碍系统、阀门的开合功能,黏合剂残余物和喷漆残余物可能成为隔离层,而使喷丸受限,影响覆盖率。

**腐蚀:**表面有腐蚀时不能形成完整的压力层,同时喷丸可能使腐蚀进入材料基体,导致腐蚀不能完全去除,喷丸前首先应当去除腐蚀。

#### (2) 快速喷丸检查

喷丸后零件应进行如下快速检查:要求喷丸区域都有至少100%的覆盖率;禁止喷丸区域没有覆盖率;锐边无翻卷;高喷丸强度没有引起零件表面弯折。

#### (3) 工艺流程

喷丸工艺流程分别见表1和图4。

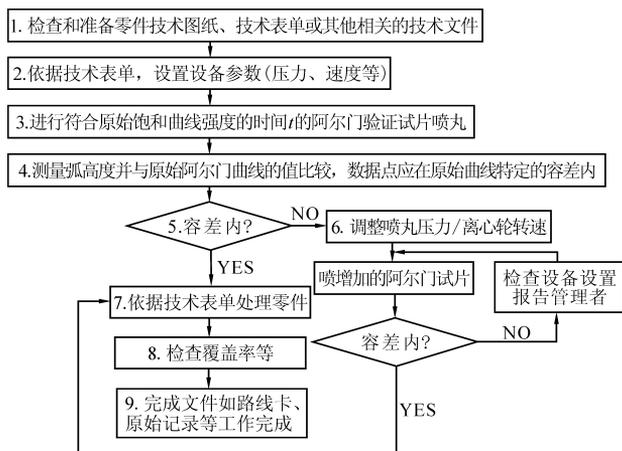


图4 喷丸典型工艺流程

表1 工艺流程说明

1	检查零件,作相应准备
2	按照技术表单要求检查设备,进行参数设置;如果强度不在要求的公差带内,仅可调整喷丸压力/离心轮旋转速度,否则会改变整个喷丸处理过程
3	根据客户要求对每个零件/每批零件验证强度;一个阿尔门试片处理时间为 $T$ ,持续或周期设置应接近强度点;有些技术资料要求另一个试片为 $2T$ ,并检查 $\leq 10\%$ 弧高增加
4	比较验证试片值与要求,可以是所有强度范围或者基于原始曲线上的复合点值;验证值在原始曲线上可以不准确,但对于最初的过程应该足够接近,以验证没有明显变化,“重要性”的判定可以依据顾客技术资料;几个主要的飞机制造公司给出了从原始值增加或减少的10%公差,例如:若在原始曲线上A弧高试片在3周期读取0.30mm,然后验证A试片,处理3周期,可以在0.27mm-0.33mm
5	如果验证试片在要求公差带内,零件加工可以继续
6	如果验证试片不在要求公差带内,仅允许调整喷丸压力/轮转速
7	设备设定强度值应在规定要求内,与技术表单一致时零件可以喷丸
8	应当进行快速喷丸检查
9	必须完成记录,并检查确认所有相关信息;由于喷丸工艺难以通过后期的检查验证进行过程保存,试验好的记录保持是基本要求

### 4 工艺文件及技术标准

#### (1) 技术表单

技术人员应按照表2内容进行技术表单设计,以指导操作者建立工作流程并进行操作。

表2 技术表单信息

零件类型或者加工参考	
强度要求	
覆盖率要求	
零件保护和装夹(类型,筛选机)	
喷丸参数	压力、喷丸选择(S230等)、弹丸流速、喷嘴选择、喷嘴角度(反跳角度)、喷嘴与零件表面距离
喷嘴	直线速度、旋转速度、程序选择(PLC,CNC)
零件	传送速度、转盘速度、程序选择(PLC,CNC)
喷丸时间	
特殊说明	检查、操作、清洗

#### (2) 路线卡和日志页

路线卡或日志页用于记录具体零件的加工,两者都需要如下信息:

①统一的零件标识符(系列编码,工作编码等);②用于加工的技术表单;③阅读验证试片;④检查全覆盖率;⑤日期;⑥操作者/检验标识(印章,签名);⑦其他任何必要的程序;路线卡与零件流程相关,日志页与原始数据及设备相关。此外,日志页可以记录过程中的喷丸抽样、喷丸取消/增加、设备日常维护等。

#### (3) SAE 标准应用

很多著名公司如波音、空客、普惠等都有企业自

# NOMEX 薄壁蜂窝芯型面加工技术

徐龙,梅颖,刘元,郭纯武

中航工业成都飞机工业(集团)有限责任公司

**摘要:** NOMEX 蜂窝芯薄壁、铺层的复杂结构使其切削性能差和易撕裂,而现有顺铣方法不能解决切割后纸基蜂窝芯的边缘分层、起毛、薄边铣缺等问题。本文分析了纸蜂窝的破坏模式、纸蜂窝芯的压缩破坏过程及破坏机理,提出了非常规的逆向旋转加工薄壁纸基蜂窝芯型面的方法,并通过试验验证了该方法的可行性。

**关键词:** 蜂窝芯;复合材料;高速铣削;铣削力

**中图分类号:** TG54; TG506.1; V262.4+15

**文献标志码:** A

## Processing Technology for Shaped Profile of NOMEX Thin-walled Honeycomb Core

Xu Long, Mei Ying, Liu Yuan, Guo Chunwu

**Abstract:** The structural complexity of the thin wall and laminate of the NOMEX honeycomb core makes it difficult to cut and easy to tear. The existing milling technology can not solve the problems of edge delamination, fuzziness and thin end notching of paper honeycomb cores after cutting. The failure mode and related mechanism of the paper honeycomb and the core are analyzed, an unconventional method of reverse rotation machining of the shaped profile of the thin-walled paper honeycomb core is also proposed and verified by experiment.

**Keywords:** honeycomb core; composite material; high speed milling; milling force

## 1 引言

随着航空工业的发展以及对飞机性能提高的需要,在军、民机结构设计中,越来越多地采用了新材料和新技术,复合材料就是其中一种。NOMEX 蜂窝芯作为一种多孔结构材料,具有质量小、比强度

高、比刚度高、耐腐蚀和抗冲击等优良性能,在民用飞机的襟翼、前缘、后缘、方向舵、尾翼以及卫星的整流罩等部位有着大量应用。由于蜂窝零件材料为纸质,横向比较柔软,针对蜂窝零件的加工通常采用锯齿刀具切削的方法,该方法在加工过程中经常会出现蜂窝薄边起毛和铣缺现象<sup>[1]</sup>。为此,本文从蜂窝切削的力学角度出发,提出了非常规的刀轴逆时针

收稿日期: 2017 年 12 月

己的喷丸技术标准,有些订单会援引 SAE 系列等技术标准。原则上,应确保实施技术标准的最新版本,应以客户订单所要求的技术标准为依据。

SAE 发行了综合性范围的标准系列,涵盖内容齐全,在喷丸工艺不采用 SAE 技术标准的情况极少。喷丸强化的两个系列在进行喷丸强化工艺设计时都会涉及:SAEAMS 技术标准,主要适用于为航空航天工业(AMS = Aerospace Material Specification); SAEJ 技术标准,主要为机车和普通应用,但“J”技术标准又经常被航空航天引用,而且一些内容在 AMS 技术标准里并未提及。

## 5 结语

喷丸强化应该首先满足设计所给出的强度和覆盖率指标,由于在处理后的产品零件上验证检查强度和覆盖率有一定困难,因此只有在生产运行期间借助阿尔门试片等工具验证并记录加工参数。当准

确执行这些加工参数时,加工过程的变化超出可接受限度的风险就会减少到可忽略的程度。综上所述,工艺准备、过程验证、过程检查、工艺流程、工艺文件等构成了喷丸强化工艺质量控制过程的基本要素。

## 参考文献

- [1] SAE AMS 2432D-2013, Shot Peening, Computermonitored [S]. 2013.
- [2] SAE AMS-S-13165, Shot Peening of Metal Parts[S]. 1997.
- [3] SAE J442, Test Strip, Holder, and Gage for Shot Peening [S]. 2001.
- [4] SAE AMS J443, Procedure for Using Standard Shot Peening Test Strip[S]. 2003.

作者:辛立正,高级工程师,航空工业成都飞机工业(集团)有限责任公司质量安全部,610092 成都市

Author: Xin Lizheng, Senior Engineer, AVIC Chengdu Aircraft Industrial(Group) Co., Ltd., Chengdu 610092, China