

喷丸强化工艺的喷丸强度测试与分析

辛立正

航空工业成都飞机工业(集团)有限责任公司

摘要: 对喷丸强化工艺设计时涉及的关键技术指标喷丸强度进行研究。根据喷丸强度测量所需的硬件条件及技术参数,详细阐述了饱和度曲线的绘制方法,对喷丸强度的概念、弧高度值的提取以及影响喷丸强度的因素进行分析,并且对喷丸强化处理时涉及的喷丸强度问题提出了解决方案。

关键词: 喷丸强度;饱和度曲线;弧高度;阿尔门试片

中图分类号: TG115;TG61;TH161.3

文献标志码: A

Shot Peening Process Design Intensity

Xin Lizheng

Abstract: The purpose of this paper is to study the key technical parameter in the design of shot peening process. The hardware facilities and technical parameters for peening intensity measurement are analyzed. The method of drawing saturation curve is described in detail. The meaning of peening intensity, the extraction of arc height value and the factors influencing the intensity are analyzed. And some solutions of the problems related to peening intensity are put forward.

Keywords: peening intensity; saturation curve; arc height; Almen strip

1 引言

喷丸强化是一种机械类的表面处理方法,其目的是提高金属零件在应力状态下抗周期载荷、磨损和腐蚀的抵抗力。弹性残余压应力的益处也应用于各类焊接的工程零件上。喷丸强化工艺改变金属基底的三种表面和亚表面因素为:表面结构或者表面形态、表面硬度或者亚表面位错和微结构改变、残余弹性应力状态。喷丸强化产生的能量对不同种类基底的显微结构会产生特有的内部反应,如果喷丸强化工艺不正确,可能对被加工零件的机械性能产生较大的影响。

喷丸强化处理生产过程非常复杂,由于加工参数的不同,需要做系统处理,包括设备、介质和被处理零件的状态。在设定的环境条件下,对具体零件的喷丸强化过程的可变因素做相应制定,以提高零件的疲劳性能,无论是消除疲劳裂纹的产生或者控制疲劳裂纹扩展。为此,需要采用相应设备以避免产生重复性不好的情况,确保喷丸强化处理工艺的可重复性。如阿尔门试片作为最重要和可靠的工具,可以复制准确的喷丸强化处理。目的是考虑所有复杂的过程参数以保证加工稳定性和个体处理的重复能力,一旦确切的参数被锁定,各技术参数应当不断完善,并制定文件和实施。应当尽可能考虑所

有参数偏差的最小化,因为随着具体变化参数的完全改变,对喷丸强化加工的完成和可靠性具有极大影响。

喷丸强化处理几乎应用于整个金属制造业的很多方面,作为疲劳和失效预防的重要工艺,喷丸强化处理在航空、航天工业的轻量化结构方面已经得到成功实施。

2 测试装置

为完成喷丸强度测量,需要配备阿尔门测试试片、阿尔门测试仪以及测试试片固定架。

在 SAE J 442《喷丸测试试片、夹具和测量仪》、SAE AMS - S - 13165《金属部件的喷丸强化》和 AMS2432《计算机控制喷丸加工》中对强度测试所需硬件提出了明确要求,三个标准的侧重点有所不同,技术参数也有一些差异。

(1) 阿尔门测试试片

标准测试试片 A、N、C 三个字母代表试片的不同厚度,对应不同的强度水平(见表 1 和图 1)。N 试片为低强度水平,低于 0.10mm 推荐使用;A 试片应用最普遍,并且用于 0.10 - 0.60mm 范围;C 试片仅用于非常高强度,大于 0.6mm 时推荐使用。三种试片类型的宽度和长度相同。A、C、N 试片强度关联见图 2。

表 1

A 试片	1.27 - 1.32mm 厚
N 试片	0.76 - 0.81mm 厚
C 试片	2.36 - 2.41mm 厚

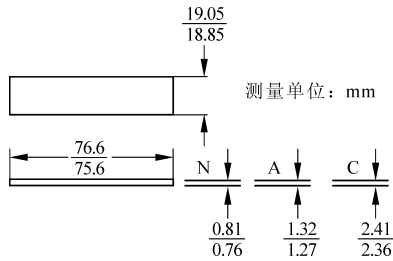


图 1 标准测试试片厚度

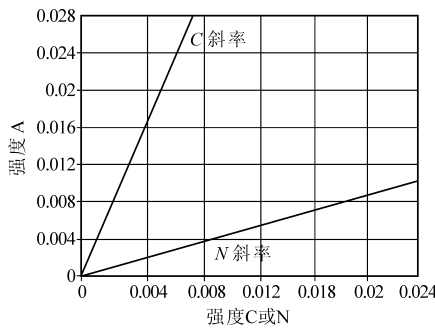


图 2 A、C 及 N 试片强度关联

按照 SAE J 442 标准要求,用于试片制造的材料符合 SAE J 403 的 SAE 1070 CRS (冷卷弹簧钢), A 试片和 C 试片具有标准硬度 44 - 50HRC,而 N 试片的标准硬度为 72.5 - 76.0HRA。为达到预期硬度范围,所有试片必须统一进行硬化和回火。用于孔、槽等位置的强度测量的小尺寸试片,仅有 A 试片和 N 试片。

测试试片的平面和硬度是非常重要的质量判断标准,可以直接影响喷丸强化试片的弧高度。为满足这两个特性而选择测试试片的规格的要求列表在表 2 和表 3。

表 2

AMS - S - 13165	±0.038mm 平面
SAE J 442	±0.025mm 平面
SAE AMS 2432	±0.013mm 平面

表 3

AMS - S - 13165	44 - 50HRC
SAE J 442	44 - 50HRC
SAE AMS 2432	45 - 48HRC

每种试片允许的最大预弯尺寸不同, A 试片 ± 0.025mm, N 试片 ± 0.025mm, C 试片 ± 0.038mm; A 型、N 型小试片的最大预弯尺寸均为 ± 0.025mm。不允许采用后续回火处理的方式来达到预弯平面度。

(2) 阿尔门测试仪

测试仪分辨率为 0.001mm,精度 ± 0.005mm。球和指针端头如果大于 1.0mm 平点,应替换。如果沟槽会干涉试片放置在测试仪上,应该替换或者旋转位置杆。测试仪按照 ISO10012 或者等同的规范校验。

测量小尺寸试片的测试仪分辨率为 0.001mm,精度 ± 0.02mm。测试仪按照 ISO10012 或者等同的规范校验。只要结果可重复、可再现,允许在小试片喷丸面测量。除非另有规定,尺寸公差为 ± 0.5mm。数显分辨率最小为 ± 0.001mm。

使用表面认证平面度在 0.005mm 的对零块来设置测量仪的零基准,对零块应该有合适的形状,设置支持四个支持球的表面。每天喷丸前最少进行一次测试仪对零。

(3) 夹持工装

阿尔门试片夹具需要夹持试片并暴露于喷射流处,需要采用硬度 ≥ 57HRC 钢材。夹具与试片相接触区域的平面度要求 ≤ 0.025mm,并且保持光洁。当夹具的磨损和变形不影响试片的测试时,允许改变材料(硬度)和外部尺寸。

试片固定采用四个螺钉固定,试片侧面移动允许 ≤ 0.5mm。可以增加 1 - 2 个 ≤ 18mm 的孔,方便底座固定夹具,可以是螺纹孔也可以是平孔,可延伸到试片接触夹具表面。如果试片安装在假件上,允许不使用专用夹具,假件硬度 ≥ 57HRC。小试片应该使用粘附材料固定,比如粘附剂或者双面胶带。或者在小试片一长端使用螺钉固定。使用 M5 盘头(或者小头直径)螺钉,不允许使用垫圈。

3 喷丸强度

确定弹丸流碰撞能量水平是确保喷丸强化过程重复能力的一种重要方法,以一种标准过程用于测量弹丸流运动能量的转移,即“饱和强度”。喷丸强度是通过测量喷丸在标准测试试片上的结果来完成,用于测量试片弯曲的测试试片(阿尔门试片)和测试仪(阿尔门测试仪)已经被标准化和指定用于喷丸工艺。

(1) 饱和状态曲线

试片经过喷丸之后从夹持工装取下,测试仪的测试杆紧靠未喷丸面,被测试片的偏移值代表在给定喷丸时间内的对应的弧高度或者在图表上的一个数据点,可以在饱和度曲线上获得对应的弧高度值(见图 3)。

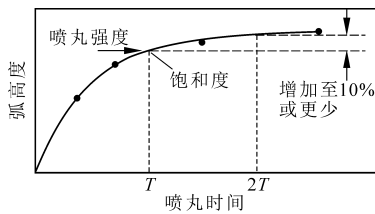


图3 饱和状态曲线

通过在饱和度曲线上测量饱和度来取得喷丸强度,喷丸强度被表达为测试试片在饱和度上的弧高度值。饱和度被定义为饱和度曲线上最早的点,如果后续点的喷丸时间是该点所花时间的双倍,但是弧高度增加仅10%或者更少。强度值对应的喷丸时间定义为 T ,弧高增加10%的时间定义为 $2T$ 。波音标准BAC5730《喷丸》还规定,当给出有效的强度值时,喷丸的阿尔门试片应为100%覆盖率和饱和度(或超过)。

通过喷一系列阿尔门试片完成一个饱和度曲线的建立,使用不同喷丸时间,得到完整参数数据以使曲线保持连续。除了零点,曲线应该由至少4个点组成。测绘时弧高度数据在立轴、喷丸时间在水平轴,连接数据点,点与点之间连接不用直线而是圆滑的曲线。工件上每个有技术要求的位置都应生成一个饱和度曲线,对于相应的强度进行核实,阿尔门试片装夹的安装到位是关键。

测量弧高可以进行修正,应该仅反映弧高净增量。即在喷丸前测量并且记录阿尔门试片的弧高,用喷丸后的弧高值减去喷丸前的弧高值。

(2) 喷丸强度的验证

生产中需要进行喷丸强度的验证,确认读数符合技术要求,验证周期通常不超过8个小时。对使用单个夹具的喷丸,使用最接近 T 的时间,得到的弧高须在饱和曲线 $\pm 0.038\text{mm}$ 范围内重现或选择可接受的其他值。对使用多个夹具的喷丸,可以选择一个喷丸时间,应该是这一组夹具中最长的饱和时间或可接受的其他值。在该选择时间,相应的原始饱和曲线的弧高值被称为“目标弧高”,得到的弧高需在目标弧高的 $\pm 0.038\text{mm}$ 范围内重现,但是不必一定在强度范围内。验证的目的是确认特定位置的弧高是稳定的,对于相似的喷丸时间得到的相似曲线可以认为是稳定的依据。

(3) 影响喷丸强度的因素

介质尺寸、介质硬度、喷射流速、喷射速率、反跳角度和压力是直接影响强度的参数。

增加介质尺寸将产生较高强度并且需要较长的

喷丸时间。为达到饱和度,需要延长喷丸时间,因为当增加介质尺寸,在给定的喷丸流速下,弹丸颗粒数量将减少。

当增加介质硬度,将产生较高弧高度值。在一个气动系统中增加喷丸速度将减少达到饱和度需要的时间,速度越快,强度越高。弹丸流反跳角度越大,喷丸强度越高。压力越大,介质尺寸越大,能达到的喷丸强度值越高。

4 技术要求

(1) 补充条件

当技术要求上仅给出喷丸强度数值而没有给定范围时,建议喷丸强度的容差仅限正容差,且最高范围为30%或容差0.08,取大值。如给定的喷丸强度为 $0.2A$ 时,则允许偏差范围为 $0.2A - 0.28A$ 。当喷丸成形与强化同时进行,图纸上要求的喷丸强度值应看作是喷丸成形表面上的最大强度值。

(2) 二次喷丸操作

喷丸强化的强度值低于图纸要求时,应考虑进行第二次喷丸加工。只有经检验证实所有图纸要求的喷丸强化都已满足时,才能进行第二次喷丸加工。

使用喷丸成形以外的方法成形或校正的零件,应进行再次喷丸,以满足图纸的要求。

(3) 喷丸后零件表面加工

喷丸后的零件表面不允许进行表面去层加工,当因配合装配或表面处理工序等要求而进行表面切削加工时,只允许采用珩磨或研磨去层。去层深度不应超过规定最小喷丸强度的10%(从弹坑底部到喷丸表面测量),例如,要求喷丸强度 $0.15 - 0.25A$,最大去层深度为 0.015mm 。材料去除时超过了规定量的极限,应采用与原喷丸时相同的弹丸重新喷丸至要求的强度和覆盖率。

(4) 工艺卡片应包括的信息

在零件检验工装上,确定阿尔门试片的安放位置(草图或照片)时,应将阿尔门试片放置在要求的区域以满足此处强度的要求。如果没有遮蔽,相同方向($\pm 10^\circ$)的表面可以由一个位置的阿尔门试片来表示。工艺卡片应包括每个位置的阿尔门试片的饱和曲线,并标示所要求的喷丸强度和实际测试的喷丸强度。

5 结语

正如前面的定义,强度是对一个独立的喷射流的能量的技术测量,在具有不同的金属学和机械特

面向增材制造的直齿面齿轮模具结构设计方法

杨峰林,白瑀,黄亮,王永明,张浩,周源

西安工业大学

摘要: 针对复杂异型曲面零件加工难的问题,提出了利用增材制造直齿面齿轮母模的方法,该方法的创新性在于解决了传统加工周期长和精度低的问题。与传统方法相比,该方法具有加工快精度高、周期短等优点,通过试验验证其能达到精度要求。

关键词: 直齿面齿轮;齿面模型;熔模铸造;增材制造

中图分类号: TG61;TH132.41

文献标志码: A

Design Method of Spur Face Gear Mold Structure by Additive Manufacturing

Yang Fenglin, Bai Yu, Huang Liang, Wang Yongming, Zhang Hao, Zhou Yuan

Abstract: Aiming at the difficulties of processing complicated surface parts, this paper proposes using additional material manufacturing method of spur face gear mold base master pattern. The innovation of this method is to solve the problem of traditional long processing cycle and low accuracy. Compared with the traditional method, the new method has the fast processing, high precision, short period and other advantage. It meets the requirement of accuracy can be verified by experiments.

Keywords: spur face gear; tooth surface model; additional material manufacturing; investment casting

1 引言

熔模铸造是一种近净成形^[1]的增材制造^[2]技术,是通过对模具的尺寸精度、表面粗糙度进行拷贝从而实现了对制件的精密铸造,该技术可以实现对复杂模具的快速化精密生产。对于熔模铸造直齿面齿轮来说需要采用相应的铸造模具,而如何得到复杂模具是熔模铸造的关键问题。近年来随着快速成型技术的不断发展,出现了将快速成型技术应用于模具制造领域的新技术,即快速制造模具的方法技术^[3](简称 RT 技术)。该技术采用 FDM 快速成型技术,只需传统加工的 1/3 加工周期及加工成本即可快速制造出具有各向异性表面的复杂曲面。FDM

快速成型技术又称熔融沉积技术,是一种用工业热塑性原料按照一定厚度进行分层加工,层层叠加最终成型出三维实体的快速成型技术,产品的制造时间最大可缩短为原来的 1/5,该技术具有成本低、力学性能强、使用材料广泛、材料利用率高、可制作大型复杂件等优点。目前可利用 FDM 快速成型技术直接制造出铸造用的复杂蜡模、型壳及各种零部件和生产工具。

本文采用针对复杂空间型面的直齿面齿轮的熔模精铸面齿轮,设计了一种适用于 3D 打印技术的直齿面齿轮母模结构,为复杂异型模具的快速制造奠定了基础。

2 建模方法流程

为了建立直齿面齿轮齿的母模模型,提出了一种易于工业生产来构建直齿面齿轮的母模的方法,

基金项目: 陕西省特种加工重点实验室项目(15JS041);陕西省工业科技攻关项目(2016GY-024)

收稿日期: 2017 年 8 月

性的独立工件上,强度可能有不同的影响。因此,采用阿尔门试片以建立饱和度曲线,确认零件的饱和状态,使喷丸强化过程可重复监控,以得到零件所要求的结果非常重要。

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, Procedures 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,610092 成都市

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