

涡轮叶片子午面加工工艺研究

刘清影¹, 吴彬², 陈捷¹, 程烜梵¹, 周立俊¹

(1. 上海齐耀发动机有限公司, 上海 201108; 2. 上海齐耀动力有限公司, 上海 201108)

摘要: 针对涡轮子午面加工过程中加工刀具选型、零件受力变形等问题开展工艺分析。分析表明: 原加工工艺存在断续切削、弹刀、刀片磨损快, 加工质量不稳定, 效率低等问题。通过采用填充工艺和 CAM 仿真制造技术解决了涡轮子午面上述加工难题, 并已形成小批量生产能力。

关键词: 涡轮; 叶片子午面; 加工工艺; 仿真制造

中图分类号: TK421+.8 文献标识码: A 文章编号: 1001-4357(2020)04-0049-03

Study on the Processing Technology of the Meridian Surface of Turbine Blades

Liu Qingying¹, Wu Bin², Chen Jie¹, Cheng Xuanfan¹, Zhou Lijun¹

(1. Shanghai Qiyao Engine Co., Ltd., Shanghai 201108; 2. Shanghai Qiyao Power Co., Ltd., Shanghai 201108)

Abstract: Processing study was carried out on the issues of machining cutters selection, components deformation caused by force during the processing of the meridian surface of turbine blades. The study results show that the original processing technology has the problems of intermittent cutting, cutter springing, fast wearing of cutter, bad stability of processing quality and low efficiency. The filling technology and CAM simulation manufacturing technology were used to solve the above-mentioned difficulties during the processing of the meridian surface of turbine blades. And the new processing technology has been applied, and has realized small batch manufacturing.

Key words: turbine; blade meridian surface; processing technology; simulation manufacturing

0 引言

涡轮是涡轮增压器的关键零部件, 其叶片子午面形状直接影响气流的流量及方向。因此, 叶片子午面的加工精度至关重要。

1 结构特点分析

NR 系列增压器叶片子午面由 13 个叶片组成, 叶片厚度为 1.8 mm, 如图 1 所示。叶片材料采用高温合金钢 K18, 其工作温度为 600 ℃ 左右。该材料既耐磨, 又有非常好的韧性, 但属于难加工材料。子午面主要加工难点是直径 $\Phi D2a$ (0-0.1) 及 R-0.1 的圆弧, 该尺寸的精度直接影响涡轮的振动幅度, 从而影响涡轮的工作性能。

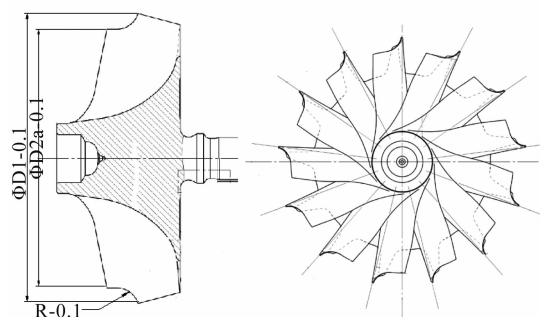


图 1 涡轮子午面结构

2 加工难点分析

该涡轮子午面加工中存在以下问题: (1) 因叶片呈间断性薄壁, 加工中发生断续切削, 出现弹刀现象, 有振纹; (2) 采用焊接手磨车刀, 磨损快,

收稿日期: 2019-03-27; 修回日期: 2019-05-31

作者简介: 刘清影(1989—), 助理工程师, 主要研究方向为柴油机和增压器零件加工及数控编程, liuqingying@csic711.com。

须经常修磨；(3) 实际加工操作时对工人的技能水平依赖程度较高，加工质量不稳定且加工效率低。

2.1 加工刀具分析

传统加工方式是选择硬质合金焊手磨车刀，车刀的刀片经高温焊接，其强度和硬度降低，切削性能下降，导致刀片材料产生内应力，容易出现裂纹等缺陷。图 2 所示，完成一个零件加工须多把刀具；同时由于手磨刀具磨损快，稳定性极差。加工中最重要的刀具为圆弧刀（图 3），而圆弧刀手磨对操作人员的技能要求极高，完成子午面的加工需 5 h 以上。



图 2 所需刀具

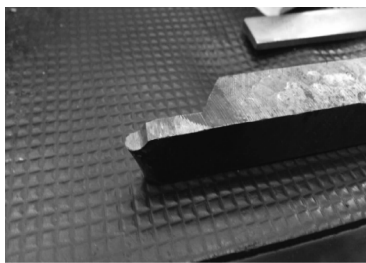


图 3 圆弧刀

2.2 加工方式分析

图 4 所示，传统工艺是在机床对面装上专业的工装液压仿形架后，由操作人员靠手动同时拨动机床的大、中托板缓慢匀速切削，这种方式完全依赖操作人员的经验，加工质量不稳定。子午面一般采用断削式切削方式。这种切削方式容易造成零件吃刀量不均匀，出现弹刀现象，导致表面有明显的振纹及零件变形，如图 5 所示。零件变形将导致叶片间的间距发生不规则变化。

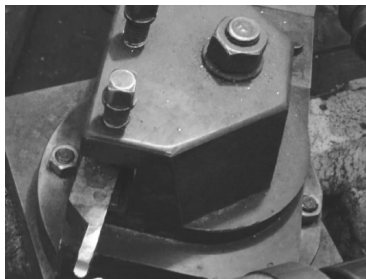


图 4 工装液压仿形架

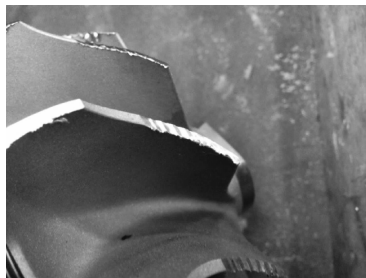


图 5 弹刀后果

3 填充与 CAM 仿真制造技术

为了解决上述问题，本文采用填充与 CAM 仿真技术。

3.1 石膏填充技术

通过数次试验验证，最终采用细度为 1 000 目的工艺石膏粉做填充剂，其硬度大、流动性好、无气泡。粉和水调配比例为 10 : 3，搅拌均匀，缓慢注入固定好涡轮转子的模具内，初凝 6 ~ 8 min；终凝 30 min 左右，如图 6、图 7 所示。浇筑石膏的作用是在加工中起到缓冲作用，避免涡轮转子在加工中发生断削式切削，从而避免弹刀及由于振刀导致零件变形，提高零件的加工质量。



图 6 浇筑石膏

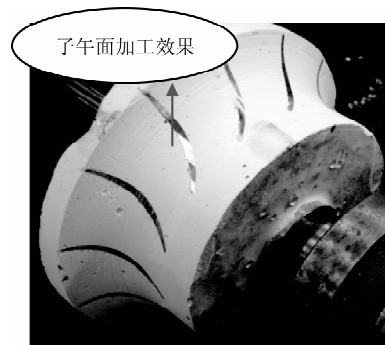


图 7 石膏成型

3.2 加工刀具改进

针对涡轮转子的材料和特殊形状（叶片式），利用车间现有的数控车刀进行刀具选型。根据对涡轮转子的图纸及子午面叶片形状的分析：刀片形状

须在 80°以上，刀片后角要小于 3°，切削刃长大于 10 mm，刀片厚度大于 4 mm，刀尖圆角半径 R 为 0.4 mm。这种刀片用途范围应确定为中等加工，主要应用于难加工的材料，刀具手册定义为 S，耐磨性确定在 20 左右。耐磨性不应选取太高，否则韧性就会变得非常低，刀具在使用中容易崩刀，这两项数据是成反比的，如图 8。经选取，图 9 所示刀片符合上述要求，加工过程中仅须更换刀片即可。

切削参数可通过式 (1) 计算得到：

$$N = \frac{1\,000\,V_c}{\pi d}$$

(1)

式中： N 为转速， V_c 为切削速度， d 为零件直径。

计算得到：转速 N 为 56 r/min。另根据刀具使用手册可得到进给量 F 为 0.15 mm/r；根据经验，切深为单边 0.5 mm。

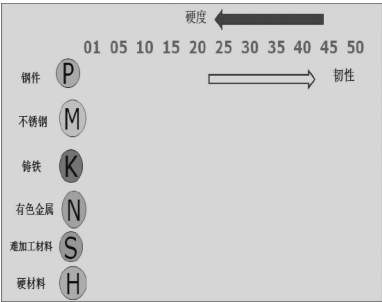


图 8 刀片参数



图 9 数控车刀

3.3 CAM 仿真制造技术

利用 MASTERCAM 软件，根据涡轮转子的图纸，绘制子午面加工图，模拟子午面处的粗、精加工刀具轨迹（图 10）；建立子午面圆弧处刀具半径补偿、切削参数并分层车削，生成光滑刀具轨迹（图 11）。该种技术可直观、精确地对加工过程进行模拟，对代码进行反复校验。在仿真过程中，可以随意放大、缩小、旋转，便于观察细节，检查刀柄干涉、快速移动过程干涉，及刀具无切削刃部位的干涉等情况。

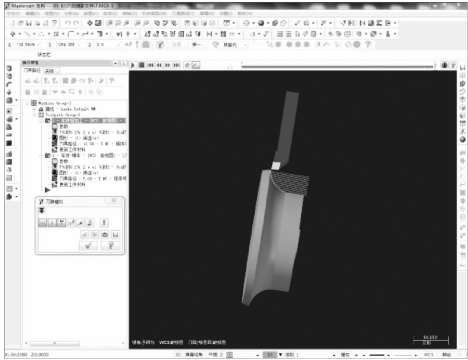


图 10 刀具模拟仿真轨迹

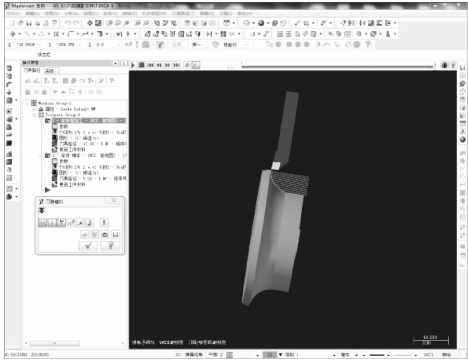


图 11 仿真模拟效果

4 工艺验证

利用填充技术与 CAM 仿真制造技术，解决了子午面加工质量不稳定、零件变形等加工难题。目前加工一个完整的零件仅需一把刀具，更换刀片即可。从现场加工情况看，一把刀片至少能保证 10 个以上零件的正常加工。现加工一个零件所需的时间为 2 h，加工时间缩短了一半以上。产品加工质量稳定性提高的同时，生产效率提高，劳动强度降低，生产安全性也得到提高。目前已形成小批量生产能力。

5 结论

综上，结合填充技术及 CAM 仿真制造技术可解决传统加工中的弊端，零件加工的质量和精度得到保证。并提高了生产效率，减轻了劳动强度。也为其它薄壁叶片式零件的加工提供了一种新的工艺方法。

目前该涡轮转子子午面加工工艺已经实现了批量生产，完全符合零件的图纸技术要求，并且确保了产品的可靠性和技术性能。实践证明：采用上述工艺方法加工 NR15 系列涡轮转子子午面是可行的，下一步将在其它机型上推广应用。