

薄壁曲面后轴颈的工艺研究

Research on Thin-Walled Curved-Surface Backshaft Process

中航工业沈阳黎明航空发动机(集团)有限责任公司 郑琪然 文国军 邓昶

[摘要] 高温合金薄壁后轴颈是关键工件,在结构上突出特点为薄壁、刚性差、类鼓筒型面、型面圆弧半径大、圆弧转接多,加工过程中易变形。该工件材料为高温合金,属于难加工材料,可切削性差,在加工过程中极易累积较大机加应力,增大工件的变形量。同时各尺寸公差和技术条件要求严格,难以保证加工质量。经过制定合理的加工路线及加工方法,设计专用减小变形的车床、镗床夹具,选择恰当的刀具及加工参数,减少工件的变形,保证了工件的加工质量。该工件的合格交付不仅保证装配要求,还为今后同类型工件的加工积累了经验。

关键词: 加工 后轴颈 曲面 变形

[ABSTRACT] High-temperature alloy thin-walled backshaft is a key part. Characteristics in structure is thin-walled, poor rigidity, like the drum surface, big-radius of surface arc and easy deformation process. Parts material is high-temperature alloy, which belongs to the difficult-to-machine materials, having the poor cutting performance and easy to accumulate stress in the process, increasing the deformation of part. Strict to tolerance and technical requirements are strict. Qualified parts are manufactured by formulating rational technological route and processing method, designing special fixture to decrease the deformation using on lathe and boring machine, selecting the proper tool and the reasonable processing parameters to reduce the deformation. Qualified delivery of parts ensures the assembly requirement, accumulate the experience of manufacturing the similar parts.

Keywords: Process Backshaft Curved surface Information

DOI:10.16080/j.issn1671-833x.2015.S1.091

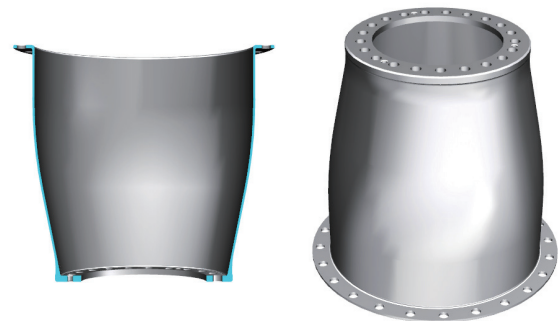
薄壁曲面后轴颈是关键工件,曲面结构,壁薄,工件各尺寸精度要求高,技术条件要求严,如大端外圆 ϕ **5mm,公差却仅0.032mm,小端外圆 ϕ **5mm,公差仅0.02mm;小端外圆对以大端和大端外圆为基准的跳动0.015mm,小端对以大端外圆、小端外圆的跳动仅0.015mm等,在工艺制造的过程中难以加工保证。而且

该工件属于薄壁件,整个型面厚度仅2mm,结构刚性差;工件材料为高温合金,该材料硬度高,可切削性差,这些都为保证该工件加工质量带来困难。该工件研制周期短,公司以前也未加工过该类型高温合金薄壁轴颈,无直接可借鉴经验。在实际加工中,制定了合理的加工路线,设计了2套车床夹具,1套镗床夹具以减少工件变形,并优化切削参数,采用低转速小进给加工,最终加工出合格工件,保证了该工件的装配要求,为以后同类型工件的加工积累了经验。

1 制定工艺前准备

1.1 工件图分析

高温合金薄壁后轴颈是某机中连接高压压气机和高压涡轮的关键工件。后轴颈为关键件,材料为高温合金,曲面壁薄,只有2mm,最大直径尺寸和技术条件多,精度要求高,很多公差都在0.01~0.02mm之间。小端径向基准面为5级要求,尺寸公差0.02mm,与大端径向基准、轴向基准跳动为0.015mm,还有小端**个 ϕ **mm的孔,对小端径向、轴向基准的位置度为0.03mm;大端**个 ϕ **mm的孔、对小端径向、轴向基准的位置度为0.05mm。还有高精度端面孔、静平衡、湿吹砂等多项技术要求,精度要求高,加工很难保证。工件三维模型图如图1所示。



(a)模型图

(b)剖面图

图1 工件三维模型图

Fig.1 3D model of machine part

1.2 材料切削加工性

材料为高温合金,属难加工材料,切削加工性差,加工效率低,刀具磨损大。高温合金切削加工中的注意事项如下:

(1) 对所有加工方法,要求机床有足够的功率、刚性大的工艺系统,加工过程平稳,保持良好的工作状态。

(2) 对所有的切削加工工序,都要求均匀的机械进给,避免手动进给。在切削过程中,不允许刀具中途停顿,不进不退。切削过程结束,立即退刀,以免加剧刀具磨损。

(3) 要求刀具锋利,一般情况下宜选取较小前角,较大后角,较大工作主偏角。高速钢或硬质合金刀具,都必须经过仔细刃磨,保持刀具较好的表面粗糙度,不允许刃口有任何崩刃、缺口、裂纹和毛刺。

(4) 选用硬质合金刀具材料时,应注意合金颗粒的大小,颗粒越小,刀具寿命越高,抗边界磨损的能力越大^[1]。对于粗加工,断续切削或容易产生振动的加工工序,宜采用中等颗粒或含量较高的超细颗粒硬质合金;重切削加工,宜选用含钽的硬质合金。

连续切削时,应采用硬质合金刀具,只有在切削断续表面和复杂型面时,才选用高速钢刀具^[1]。

(5) 对于重要的工件,特别是最终形成表面的工序,必须考虑切削过程对表面完整性的影响,如限制后刀面磨损带,及时刃磨等^[2]。

(6) 内外圆纵磨,特别是最终磨削加工,宜采用较软而自砺性较好的砂轮;适当降低砂轮速度;减小径向进给;采用高活性的切削液喷注以减轻砂轮堵塞。有条件时,可采用低应力磨削^[2]。

(7) 切削用量选择十分重要,一般选用较低的切削速度,较大的切削深度和中等偏小的走刀量,尽可能在加工硬化层下切削。

(8) 应选择适当的冷却液,镍基高温合金不宜采用含硫的切削液,以避免造成刃口腐蚀,加冷却液时应考虑充分冷却并不间断。

(9) 车削时刀具的几何参数:前角 $\gamma_0 = 5 \sim 10^\circ$,后角 $\alpha_0 = 10 \sim 15^\circ$,刀尖圆弧半径 $R = 0.4 \sim 0.8 \text{mm}$,刀头前刀面应作断屑槽或采用可转位刀片^[1]。

(10) 铣削高温合金时,铣刀的几何参数通常为前角 $\gamma_0 = 5 \sim 12^\circ$,对于圆柱铣刀可采用 $\beta = 45^\circ$ 的大螺旋角,并尽可能采用刃倾角铣刀。要求刀齿强度高,有足够的容屑空间,刀齿光滑易于排屑,顺铣比逆铣能提高表面质量和刀具寿命。

(11) 钻削高温合金时可选用超硬高速钢或硬质合金,钻头应增加刚性。加大钻芯厚度 $d = (0.25 \sim 0.4)$ 钻头直径,钻头顶角 $2\psi_0 = 135 \sim 140^\circ$ 并修磨横刃适当增加倒锥度以减少与孔壁摩擦, $\phi 3 \sim 6 \text{mm}$ 时倒锥度为 $0.06 \sim 0.12/100 \text{mm}$, $\phi 6 \sim 18 \text{mm}$ 时倒锥度为 $0.1 \sim 0.15/100 \text{mm}$,螺旋角 $\beta = 30 \sim 35^\circ$ 。并抛光螺旋槽以利排屑,钻削用量切削速度 $V = 2 \sim 12 \text{m/min}$,进给量

$f = 0.12 \sim 0.15 \text{mm/r}$ 。

(12) 高温合金的铰削可采用硬质合金铰刀,刀具材料 YG6X, YW1,前角 $\gamma_0 = 0 \sim 5^\circ$,后角 $\alpha_0 = 10 \sim 12^\circ$,上偏角 $\psi = 3 \sim 15^\circ$,前者用于手铰,后者用于机铰,刀倾角 $\lambda = 15^\circ$,切削速度 $V_{\text{合金}} = 4 \sim 10 \text{m/min}$, $V_{\text{高速钢}} = 1 \sim 4 \text{m/min}$,走刀量 $f = 0.2 \sim 0.4 \text{mm/r}$;铰削余量 $a_p = 0.1 \sim 0.15 \text{mm}$,加工时充分冷却。

高温合金材料难加工,而高温合金制作的薄壁曲面工件,更难以保证其高精度的要求。

2 主要表面的加工方法

2.1 内外型面的加工

内外型面为曲面,壁薄,壁厚仅为 2mm ,尺寸多,大端、小端外圆和端面均为基准。小端径向基准面 C 为 5 级要求,尺寸公差 0.02mm ,对基准 B 、 A 跳动为 0.015mm ;小端轴向基准 D 与小端径向基准面 C 的垂直度 0.01mm ,对大端和小端径向基准的跳动为 0.015mm ;大端轴向基准 B 与大端径向基准面 A 的垂直度 0.01mm 。内外曲面对大小端径向基准的跳动均为 0.05mm 。内外曲面各截面在同一半径上周向壁厚差不大于 0.05mm ,在 $**0$ 全长上测量 $6 \sim 8$ 个截面,每个截面测 5 点,且为重要特性。工件薄壁曲面精度比较高,多项技术条件要求比较严,壁厚易变形,加工很难保证。另外,还有端面平行度等技术条件要求。以前从未加工过类似结构的工件,研制精度又很紧急,更加大了研制此工件的难度。因为工件壁薄,必须考虑控制变形。经研究,从工艺路线上安排 2 次稳定处理,减小机加应力对工件变形的影响;研究装夹方案,尽可能减少半精车和精车内外型面时装夹引起的变形。同时选择合适的切削刀具、优化切削参数,控制工件变形^[3]。

2.1.1 工艺路线对工件变形的控制

因为工件属于薄壁件,在开始制定工艺路线时就必须考虑控制变形。

工件材料为高温合金,加工时候切削力大,容易累积较大的机加应力,为了最大限度减小机加应力对工件变形的影响,工艺路线安排了两次稳定处理:经过车超声波面、粗车后,工件每边剩余 $2 \sim 3 \text{mm}$ 余量,工件去除材料多,累积机加应力大,此时进行第 1 次稳定处理,消除前几道工序累积的应力;当半精车后,各边余量严格控制 1mm ,再进行一次稳定处理,释放工件中所累积的机加应力,控制精车时机加应力对工件变形的影响。

因为工件壁厚仅 2mm ,为保证该尺寸的加工精度,将内外圆型面在同一工序中加工,减少重复装夹对各尺寸精度的影响。同时由于是一次加工完成内外型面,相关的技术条件也得到了保证^[3]。

2.1.2 半精车内型面时防止工件和刀具振动的改进

在半精车内型面时,以小端为基准,夹紧小端外圆加工,如图2。由于工件前端悬空无支撑,同时刀杆探出长,加工过程中刀具和工件都有明显振动,致使工件内表面产生振纹,不符合下工序腐蚀对工件表面的要求。

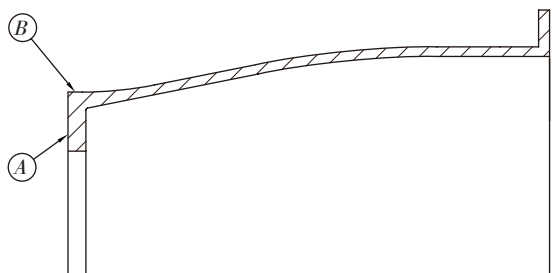


图2 半精车内型面原工艺装夹示意图
Fig.2 Diagram of old install way of semi-finish turning inner surface

先按原工艺规程加工大端面,再通过设计组合夹具,以小端端面为基准,小端外圆为止口,大端内端面辅助支撑,压紧大端面加工,如图3所示。该夹具结构复杂,现场操作性差,同时,由于小端外圆为止口定位,而非夹紧,工件通过长螺栓和压板压紧大端面来实现定位,受力效果不理想,在加工小端内端面时候,工件小端仍有明显振动印迹。

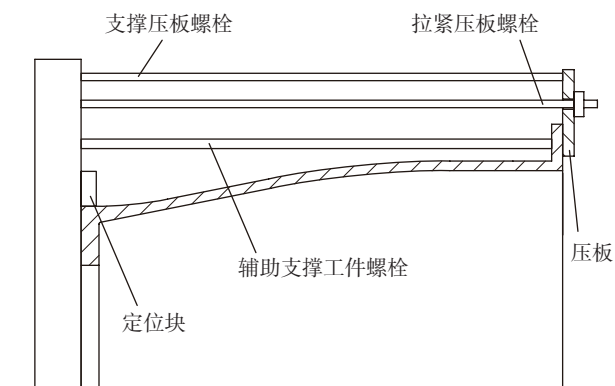


图3 半精车内型面组合夹具装夹示意图
Fig.3 Diagram of modular fixture of semi-finish turning inner surface

通过综合以上2种装夹经验,在实际加工中,采用以小端为基准,夹紧小端外圆(卡爪和工件间垫厚铜皮,防止工件被夹伤),利用中心架在大端型面处辅助定位,如图4所示。采用TLA34数控车床加工,由于其刀杆利用刀塔夹紧,稳定性好,刀杆本身粗,刚性强。加工过程中刀具和工件都无振动,加工效果好,尺寸精度得到了保证,加工表面质量也满足腐蚀对工件表面的要求。

2.1.3 磨小端面

在第2次稳定处理后精车前修复小端基准,以大端面为基准,压紧大安装边,如图5所示。装夹工件时轻压大安装边至工件固定即可,因为夹紧力大会引起变形。磨小端面后表面着色检查,着色面积不大于80%且沿圆周不间断。

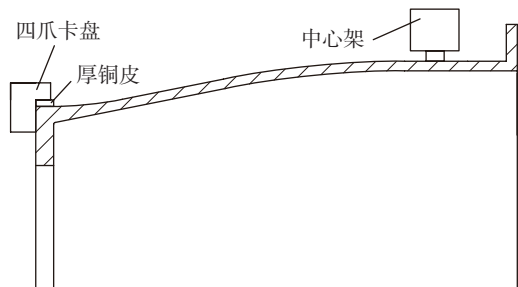


图4 半精车内型面实际装夹示意图
Fig.4 Diagram of practical fixture of semi-finish turning inner surface

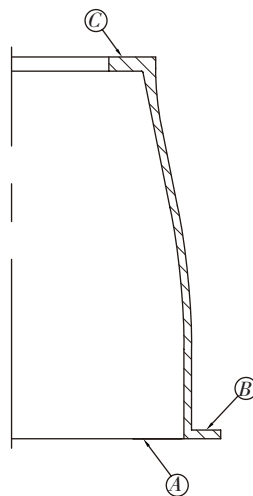


图5 磨小端面工序图
Fig.5 Diagram of small end face grinding

2.1.4 精车内外型面

为了控制工件壁厚差,同时保证各技术条件的要求,在精车内外型面工序一次加工内外型面和端面。工件在该工序实际加工部位如图6所示,除表面C、D外其他表面均为加工面。

为了达到一次装夹加工内外型面及端面,且减少机加力对工件变形的影响,因此设计了专用的精车夹具,如图7^[4]。

图中,夹紧装置采用4处弧面夹紧,夹紧弧面上有锯齿状突起,以保证夹紧质量,外圆辅助支撑、内圆辅助支撑和底端压紧装置均为可拆卸装置。装夹工件时,先利用压紧装置压紧H面,找正工件大端外圆跳动不大于0.03mm,然后夹紧小端外圆C,安装并调整内圆辅助

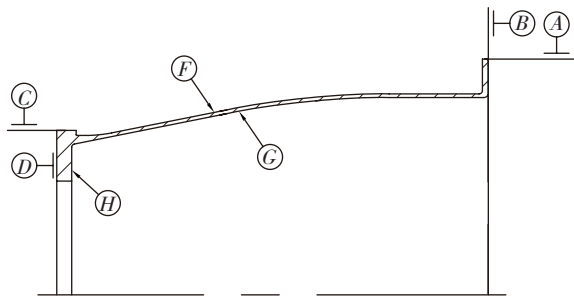


图6 精车内外型面所加工表面示意图
Fig.6 Diagram of finish turning internal and external surface

支撑装置至工件内型面接触,固定辅助支撑,涨紧工件内型面G,此时开始加工工件外型面和大端面。当加工完毕后,卸掉内圆辅助支撑和压紧装置,安装调整外圆辅助支撑装置至与工件外型面接触,抱紧工件外圆F,加工内型面。

采用该套夹具加工工件,工件做到充分支撑,变形得到了有效控制。加工后的工件表面基本无震纹,满足设计图纸对工件尺寸精度和技术条件的要求。

2.1.5 切削刀具、加工参数的选择

因为工件材料为高温合金,适合加工的刀具的材料为CP200、KC5010、IC20、IC907等;刀具半径过小,切削深度对应也很小,切削效率不高,并且因为材料很硬的原因还很废刀片,刀具半径过大,切削接触面大,切削力也很大,容易引起薄壁件的变形。根据工件状态,结合工厂实际情况,最终选用VBMT 160408 CF KC5010 R0.4方型刀片加工外圆,CNMG 120412 MP KC5010 R0.4菱形刀片加工内型面。

转速高,进给量大,虽然可以提高切削效率,但是在单位时间内切除的材料多,工件热传导不充分,累积的机加应力也大,很容易导致薄壁件变形。切削深度受刀具半径制约,并且切削深度将直接影响工件受到的切削力,因为选用的刀具半径仅为0.4mm,且为了减少切削力对薄壁件的影响,切削深度也不宜过大。经过多次试验,在满足加工精度的前提下,转速为40r/min,进给量为0.1mm/r,切削深度不超过0.25mm。

2.2 镗孔

在加工大端面孔时,为防止刀具钻削力使工件大端变形,因此设计了专用工装,减少工件变形,如图8所示^[4]。夹具以大端内端面为支撑,小端外圆为止口,

压紧大端端面。支撑座内侧小孔用于钻镗大端面孔工序,防止钻孔时钻伤夹具,外侧有2个缺口,用于铣缺口工序。夹具满足多工序使用要求,减少专用工装的数量,保证工装制造节点的同时,也节约了研制成本。采用快换装置可使夹具在不拆卸压板螺母的情况下快速更换工件,方便现场加工。

在加工大端和小端的端面孔(包括顶丝孔)时,为了进一步控制钻削力对工件变形的影响,因此采用多次扩孔加工。以加工大端端面 ϕ^{**} mm孔为例:先采用中心钻打点,然后用钻头钻孔,铣刀第1次扩孔,另一把铣刀第2次扩孔,接着用镗刀片镗孔,最后用圆柱柄铰刀铰孔至合格。每次钻削量都很小,工件受到的钻削力不大,最大限度控制工件在镗孔时的变形。

2.3 静平衡

静平衡采用立式平衡机,制作专用夹具。平衡工件前先对夹具进行静平衡,找正夹具的配合表面及端面的跳动不大于0.01mm,夹具的

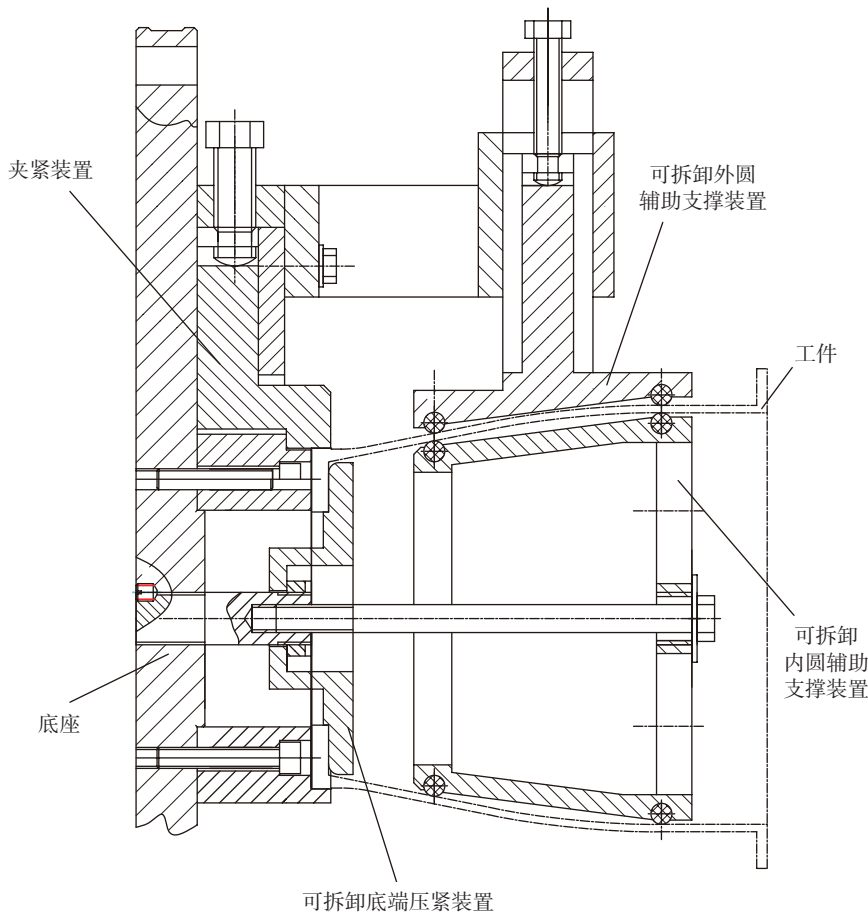


图7 精车内外型面专用夹具示意图

Fig.7 Diagram of special fixture turning excircle inner bore internal and external surface

不平衡量 $\leq 2g \cdot cm$ 。然后再对工件进行静平衡,如图9所示,找正工件内孔 D 跳动不大于 $0.01mm$,测量记录静不平衡量的大小和方位,并在工件 Q 面用记号笔标记轻点 Q 。

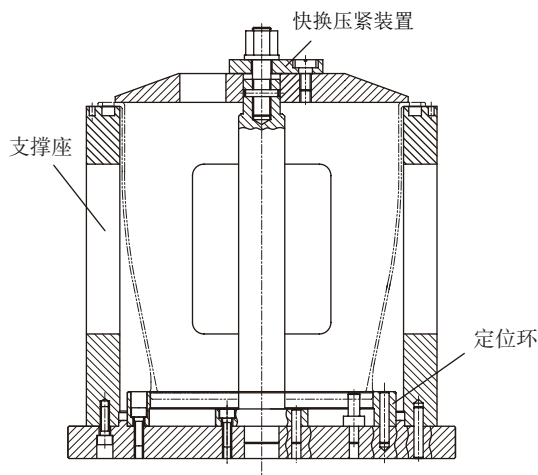


图8 镗大端面孔夹具示意图

Fig.8 Diagram of special fixture for boring big end face

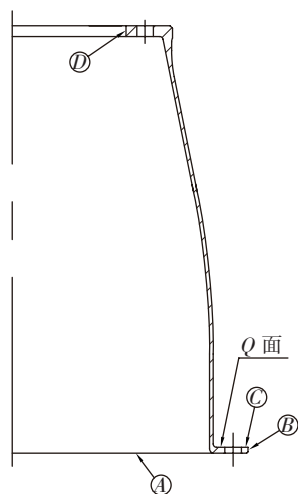


图9 静平衡工序图

Fig.9 Diagram of static balance process

3 结论

经过进行后轴颈工艺的分析研究,制定合理的工艺路线、加工方法,加工出的工件符合设计要求,结果表明工艺路线、加工方法可行。高温合金薄壁鼓筒型后轴颈工件研制的成功,为其他类似结构薄壁轴颈类工件的机械加工制造提供了宝贵的经验。

参考文献

- [1] 陈日曜. 金属切削原理. 第2版. 北京: 机械工业出版社, 2000.
- [2] 张幼楨. 金属切削原理及刀具. 北京: 国防工业出版社, 1990.

[3] 柯明扬. 机械制造工艺学. 北京: 北京航空航天大学出版社, 1996.

[4] 汤湘中. 机床夹具设计. 北京: 机械工业出版社, 1988.

(责编 一帆 古京)

(上接第83页)

同一组技术人员分别采用UG原有装配功能和本系统进行装配设计测试,结果表明:在建立组合夹具元件库的前提下,采用UG原有装配功能设计此套夹具的时间约为4h,而采用本系统装配设计时间仅为1h左右,设计效率大大提高。

5 结束语

本文根据组合夹具的结构和装配特点,提出了一种基于特征的组合夹具快速装配设计方法,给出了装配特征的定义和表示方法,研究了组合夹具元件装配特征的存储方式,并在此基础上实现了特征级别的快速装配,与传统的几何约束装配方式相比,装配操作的复杂度和工作强度都大大降低。最后开发了组合夹具快速装配设计系统,并以某叶片的组合夹具装配设计为例,验证了本方法的有效性和实用性。现该系统已成功应用在某航空发动机组合夹具设计过程中。

参考文献

[1] Wang H, Rong Y M, Li H, et al. Computer aided fixture design: Recent research and trends. *Computer-Aided Design*, 2010, 42: 1085-1094.

[2] 朱耀祥, 融亦鸣. 柔性夹具与计算机辅助夹具设计技术的进展. *制作技术与机床*, 2008(8):5-8.

[3] Wang H, Rong Y M. Case based reasoning method for computer aided welding fixture design. *Computer-Aided Design*, 2008, 40: 1121-1132.

[4] Peng G L, Chen G F, Wu C, et al. Applying RBR and CBR to develop a VR based integrated system for machining fixture design. *Expert Systems with Applications*, 2011, 38:26-38.

[5] 邵晓东, 殷磊, 陆源, 等. 一种基于特征的快速装配方法. *计算机集成制造系统*, 2007, 13(11):2217-2223.

[6] Li G D, Zhou L S, An L L, et al. A system for supporting rapid assembly modeling of mechanical products via components with typical assembly features. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 2010, 46:785-800.

(责编 谷雨)

(上接第86页)

[2] 辛彦秋, 吴斌, 苏丹, 等. 民用航空发动机脉动装配浅析. *航空制造技术*, 2013(20): 118-120.

[3] 张忠将, 李敏. *Solidworks2010机械设计从入门到精通*. 北京: 机械工业出版社, 2012.

(责编 谷雨)