

# A-100 钢材料起落架关键结构件车铣加工工艺研究

## Process study of Milling for Landing Gear's Key Structures Made of A-100 Steel

中国人民解放军驻陕飞公司军代表室 胡愈刚 王晓平 周亮 郭初阳

**[摘要]** 通过对 A-100 钢材料的某型飞机起落架关键结构件开展车铣工艺研究,成功摸索出了可转位刀具加工 A-100 钢材料的切削参数,掌握了某型飞机起落架关键结构件的车铣加工技术,显著提高了加工效率,大大降低了生产成本。

**关键词:** A-100 钢 起落架 车铣 工艺研究

**[ABSTRACT]** By studying of the milling process for the key structures of a certain type aircraft's landing gear which are made of A-100 Steel, cutting parameters for A-100 steel with indexable tools have been worked out successfully, the milling technology of the landing gear's key structures has been mastered at the same time, which improves the processing efficiently and reduced the cost significantly.

**Keywords:** A-100 steel Landing gear Milling Process study

23Co13Ni11Cr3MoE (A-100) 钢是 C、Cr 和 Mo 强化的 Fe-Ni-Co 高合金钢,合金含量高达 30%,具有高强度、高硬度、高断裂韧性和延展性以及优良的抗疲劳和抗应力腐蚀开裂性能。与常规的超高强度钢相比, A-100 钢具有拉伸和疲劳强度、韧性和应力腐蚀开裂抗力的最佳配合。这些优点使 A-100 钢自然而然成为飞机起落架的首选材料。美国已将其成熟广泛应用于 F/A-18、F-22、F-35 等先进战斗机起落架上。近年来,随着我国 A-100 钢材料技术及其配套加工工艺技术的不断进步完善,国内新研飞机起落架关键结构件(如图 1 所示的前、主起落架外筒和活塞杆等)上也开始大量采用 A-100 钢。经研究攻关,形成了技术成熟、配套完整的 A-100 钢起落架零件制造技术体系,大大提高了新研飞机起落架的性能,有力地推动了我国起落架制造技术的发展进步。

### 1 加工工艺难点分析

经分析, A-100 钢材料起落架关键结构件车铣加工中存在如下工艺难点。

(1) 如何选择合理的切削参数,设法提高刀具的使

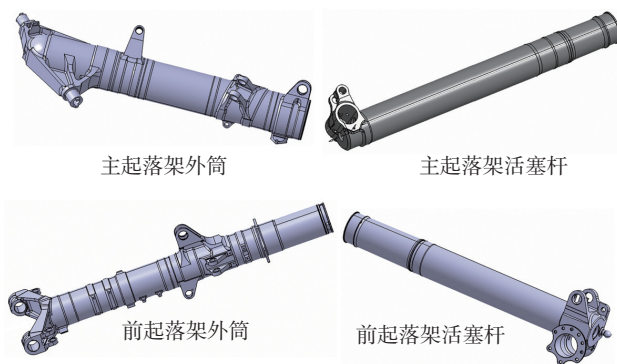


图1 某型飞机起落架典型关键结构件

Fig.1 Key structures of a certain type aircraft's landing gear

使用寿命是 A-100 钢零件车铣加工中面临的首要工艺难点。某型飞机起落架关键结构件均采用 A-100 材料,来料状态为正火 + 高温回火,热前表面硬化层硬度为 HRC55-60,材料的延伸率  $\delta \geq 10\%$ 。材料的切削加工性差,在车铣加工过程中类似于不锈钢,粘刀现象严重,易产生积屑瘤,不易断屑,致使刀具磨损严重,其平均使用寿命在 0.5~1h 之间。

(2) 如何提高起落架关键结构件毛坯余量的去除效率,缩短零件热前数控加工周期,是工艺研究中面临的重大难点。某型飞机起落架关键结构件毛坯余量去除中面临两大困难。一是毛坯余量去除率大。从表 1 中可以看出,某型飞机起落架关键结构件的余量去除率高达 55.7%,扒毛料工作量大,数控外形加工周期长,一般占整个零件加工周期的 35% 以上。二是这些关键结构件毛坯构造为模压件,由于零件表面凸台和耳片的存在,毛坯锻压过程中余量分布不均匀,锻件重量大,在车

表1 某型飞机起落架关键结构件毛坯余量去除率

关键结构件名称	毛坯重量 /kg	零件重量 /kg	余量去除率 /%
主起落架外筒	1150	510	55.7
主起落架活塞杆	460	310	32.6
前起落架外筒	450	230	48.9
前起落架活塞杆	170	105	38.2

铣加工过程中步距起伏变化不定,甚至断续切削,容易造成刀具刃口崩碎。

(3) 如何突破起落架关键结构件的结构特点以及现有车铣数控机床结构和功能限制,提高零件加工效率,是某型飞机起落架关键结构件车铣加工要解决的核心问题(表2)。由于受零件结构、机床结构及功能影响,某型飞机起落架关键结构件加工中程序调用次数多、装夹变换频繁、停机等待和手动换刀所浪费的时间长,严重影响着零件加工效率的提高。

表2 某型飞机起落架关键结构件车铣数控加工情况

零件名称	装夹变换次数	程序调用次数	手动换刀次数	加工线速度 / (m·min <sup>-1</sup> )	进给速度 / (mm·z <sup>-1</sup> )	刀具寿命 / (h·转位 <sup>-1</sup> )	制造周期 / 天
主起外筒	38	183	74	130~150	0.3~0.5	0.5~1	22
主起活塞杆	10	140	48	130~150	0.3~0.5	0.5~1	12
前起外筒	8	42	21	130~150	0.3~0.5	0.5~1	4
前起活塞杆	6	32	24	130~150	0.3~0.5	0.5~1	2.5

## 2 解决措施

### 2.1 A-100 钢材料切削参数优化

A-100 钢材料的切削加工性能是制约某型飞机起落架关键结构件加工效率的共性问题。提高刀具在加工过程中的使用寿命是有效减少停机等待的有效手段,关键在于刀具材质的选用和结构的组合。

根据有关研究结果,A-100 钢的切向铣削力系数为 2175.32N/mm<sup>2</sup>、径向铣削力系数为 -789.26N/mm<sup>2</sup>、轴向铣削力系数 -302.31N/mm<sup>2</sup>。在此基础上优化计算出主要粗加工用刀具的加工参数。经进一步分析可知,A-100 材料适宜于中低速切削,宜选用瓦尔特 WSP45 和 KC725M 材质刀具,在不大规模改变现有刀具库存的条件下,现场试验验证表明刀具的线速度控制在 80~120m/min,可以有效提高转位刀具的使用寿命。

刀具结构的健壮化组合,可以确保切削状态的稳定性,有效提高加工效率。在前起外筒花盘加工过程中,采用  $\phi 63R8$  的瓦尔特铣刀(F2334.B27.063.Z05.08),山特刀柄 HSK-C5-390.410-100 100A(接柄直径  $\phi 50\text{mm}$ ,长 100mm),加工的稳定性差,刀片的使用寿命为 1~1.5h。将山特刀柄 HSK-C6-390.410-100 110A(接柄直径  $\phi 63\text{mm}$ ,长 110mm)接柄车削至  $\phi 61\text{mm}$  后用于加工时,刀具寿命延长了 0.5h。因此在 A-100 钢材料加工时刀具结构的健壮化组合对切削的改善是显著有效的。

刀具的规范合理利用,可显著提高加工效率。在某型飞机主起活塞杆的花盘端面加工时(图2),选取了

大进给刀具进行平面铣削。在加工时参数选取主轴转速  $S=500\text{r/min}$ ,切宽  $a_e=35\sim 45\text{mm}$ ,切深  $a_p=1.5\text{mm}$ ,进给速度控制在  $800\text{mm/min}$ 。经加工验证,刀具的寿命在 2~2.5h。在前起外筒的斜撑杆安装耳片槽加工时,采用了两种不同规格的刀具(图3),左侧为立式机床  $\phi 25R5$  刀具,右侧为  $\phi 20R5$  刀具。在相同的切削深度下,左侧零件在加工过程中,刀具有振颤,加工槽面需要 3~4 个刀片,而使用  $\phi 20R5$  的小刀具时,仅需安装 1 次刀片。

### 2.2 车铣数控加工程序优化

某型飞机起落架关键结构件结构复杂,型面有交错的加强筋和减轻腔,且零件毛坯在锻造过程中欠压或错模,分模面飞边去除不彻底,导致车铣加工中切削余量不均匀。控制加工过程的余量均匀去除,合理选用刀具及其加工参数,优化进退刀方式及内部刀轨的光

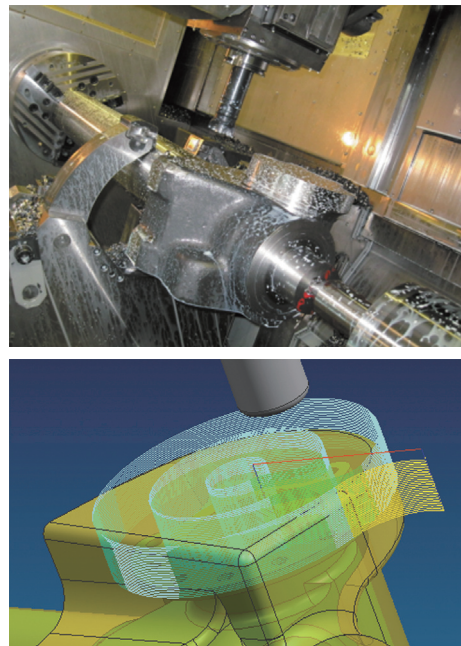


图2 主起活塞杆花盘端面铣削

Fig.2 Milling of the end face of the main landing gear's piston rod

滑处理,是提高加工效率的主要手段。

(1) 实现分类加工,控制零件余量均匀去除。某型飞机关键结构件外型面车铣加工时,尽可能选择短而粗壮的大直径刀具,在零件与机床不干涉的条件下,通过摆头和转台协同配合,确保刀具系统切削状态稳定,铁屑能及时远离刀具刃口和零件表面,从而实现大余量切

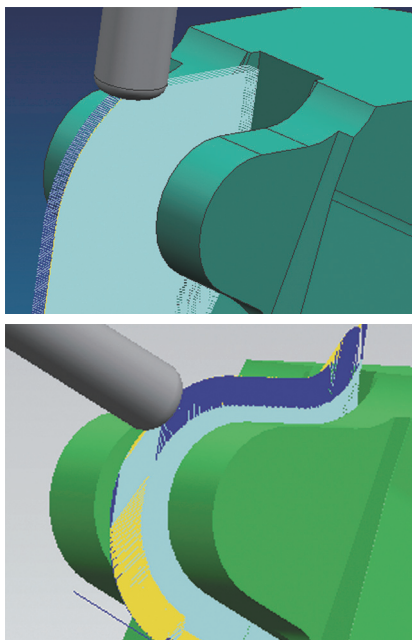


图4 耳片槽面铣削

Fig.4 Milling of the lug's groove surface

削。而对于内腔和槽面加工,采用小而短的刀具,刀轨在拐角处光滑转接,并保持切宽适当恒定,槽面加工时应控制切削深度。平面加工则可大量采用大进给铣刀,并适当加大进给量,避免刀具快速运动中与分模面残留的飞边强烈冲击。

(2) 优化进退刀方式,保持加工状态稳定。通过反复调整摸索,在某型飞机起落架关键结构件的加工过程中采用如下进退刀方式:台阶高差小于1/3圆刀片的,则为直线进退刀,其它则采用圆弧过渡,以减少刀具在加工过程的冲击。外型面和槽面加工选用在零件外进刀,而型腔的加工则选用螺旋进刀或斜线进刀方式,切削过程中一直保持顺铣状态,以保证零件在加工过程中受力均衡稳定。

(3) 合理划分阶段,保持系统夹持刚性。由于零件回转半径大,加上偏心的存在,在加工过程中可能会由于刀具承受急剧变化的外部载荷,致使大余量切削过程中机床中心架夹紧力控制失效。为此必须对零件的加工阶段适当控制,分为粗加工、半精加工和精加工阶段,通过合理划分加工阶段和加工区域,延长刀具使用寿命。在某型飞机前起外筒试加工阶段,先加工中部接头,然后加工花盘及收放接头,最后加工支臂余量,如图4所示。由于收放接头耳片余量未去除,在使用 $\phi 52R8$ 的短刀加工中部接头时,机床主

轴箱与收放接头耳片毛坯干涉。因此在首件加工时,流程优化为:第一步加工支臂端面,用于偏转校零,第二步采用平面铣去除收放接头耳片凸台顶面余量,粗、精加工收放接头,第三步粗、精加工中部接头,第四步加工支臂。通过优化改进流程,有效地缩短了刀具的悬伸,确保了刀具的刚性。

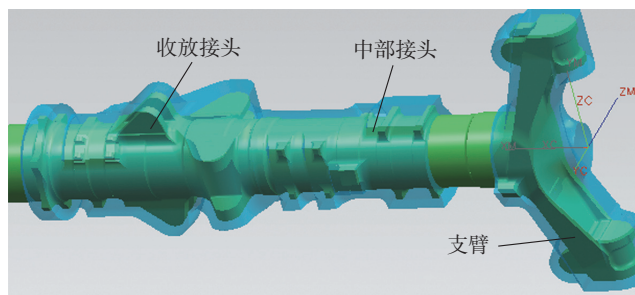


图4 前起外筒的加工区域图

Fig.4 Schematic diagram of the nose gear outer barrel's processing area

### 3 工艺研究效果

7件主起外筒、6件前起外筒、2件主起活塞杆、4件前起活塞杆的加工验证表明,A-100钢材料起落架关键结构件的车铣数控加工研究取得了显著的成效(表3),加工过程中零件的装夹变换次数大大减少,实现了零件一次装夹完成全部热前数控加工任务,完全消除了加工过程中手动换刀造成的停机等待,显著延长了刀具使用寿命,大大提高了A-100钢材料起落架关键结构件的车铣加工效率,降低了生产成本。

表3 某型飞机起落架关键结构件车铣数控加工情况

零件名称	装夹变换次数	程序调用次数	手动换刀次数	加工线速度 / ( $m \cdot min^{-1}$ )	进给速度 / ( $mm \cdot z^{-1}$ )	刀具寿命 / ( $h \cdot 转位^{-1}$ )	制造周期 / 天
主起外筒	2	1	0	80~120	0.3~0.5	1.5~2	12
主起活塞杆	1	1	0	80~120	0.3~0.5	1.5~2	8
前起外筒	1	1	0	80~120	0.3~0.5	1.5~2	3
前起活塞杆	1	1	0	80~120	0.3~0.5	1.5~2	2

### 4 结束语

通过开展车铣数控加工工艺研究,得出可转位刀具车铣加工A-100钢材料起落架关键结构件的刀具类型及其切削加工参数,通过分类、分区域和分阶段加工,优化改进了起落架关键结构件数控车铣加工程序,大大提高了车铣加工效率,明显延长了刀具使用寿命,显著降低了生产成本,对类似材料的车铣加工具有很好的借鉴意义。

(责编 良辰)