



中华人民共和国国家标准

GB/T 38929—2020

民用飞机蒙皮镜像铣削工艺通用要求

General requirements of mirror milling process for civil aircraft skin parts

2020-06-02 发布

2020-12-01 实施

国家市场监督管理总局
国家标准化管理委员会 发布

目 次

前言 III

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 1

4 一般要求 2

 4.1 人员 2

 4.2 材料 2

 4.3 设备与工装 2

 4.4 安全防护 2

5 特征定义及分类 2

 5.1 特征定义 2

 5.2 下陷特征分类 4

 5.3 窗口特征分类 5

 5.4 孔特征分类 5

 5.5 凸台特征分类 5

 5.6 轮廓特征分类 6

6 编程方法 6

 6.1 通则 6

 6.2 面特征镜像铣削编程 7

 6.3 下陷特征镜像铣削编程 7

 6.4 窗口特征编程 7

 6.5 孔特征铣削编程 8

 6.6 轮廓特征铣削编程 9

7 工艺控制 10

 7.1 工艺流程 10

 7.2 工艺准备 10

 7.3 编制数控程序 10

 7.4 后置处理和加工过程仿真 11

 7.5 蒙皮铣削前准备 11

 7.6 实际型面获取和程序修正 11

 7.7 蒙皮加工铣切 11

 7.8 拆卸蒙皮 11

8 质量控制 11

附录 A (资料性附录) 蒙皮镜像铣削装备几何精度检测项允许误差参考值 13

附录 B (资料性附录) 蒙皮镜像结构精度检测方法 14

前 言

本标准按照 GB/T 1.1—2009 给出的规则起草。

本标准由全国航空器标准化技术委员会(SAC/TC 435)提出并归口。

本标准起草单位:江西洪都航空工业集团有限责任公司、南京航空航天大学、西安飞机工业(集团)有限责任公司、中国航空综合技术研究所。

本标准主要起草人:向兵飞、李迎光、关煜杰、徐明、魏敏真、寇洁、周造文、熊勇、郝小忠、熊旭、欧阳平、刘旭、许可。

民用飞机蒙皮镜像铣削工艺通用要求

1 范围

本标准规定了蒙皮类零件镜像铣削的一般要求、特征定义与分类、编程方法、工艺流程、质量控制。
本标准适用于民用飞机金属蒙皮零件的镜像铣削加工,其他产品可参照执行。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件,仅注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期的引用文件,其最新版本(包括所有的修改单)适用于本文件。

GB/T 4863 机械制造工艺基本术语

GB/T 6477 金属切削机床 术语

3 术语和定义

GB/T 4863 和 GB/T 6477 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

镜像铣削 mirror milling

铣削刀具的位置和姿态与背部顶撑装置的位置和姿态时刻成近似镜像关系,同步协同运动,完成蒙皮加工,如图 1 所示。

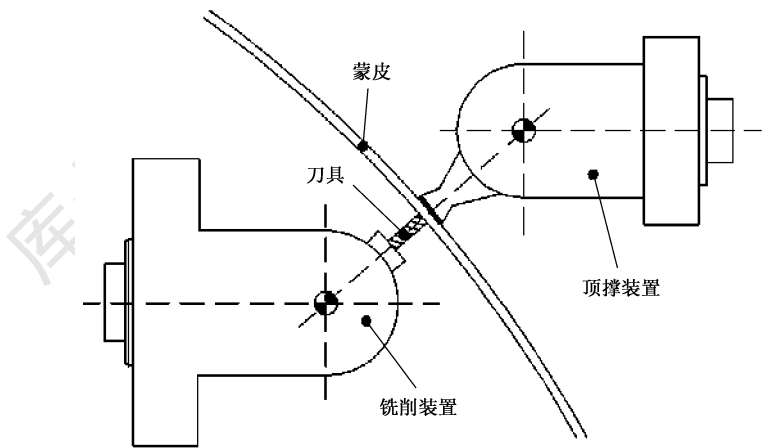


图 1 镜像铣削示意图

3.2

顶撑装置 holder system

跟随铣削主轴头镜像运动,并具有保持加工区域刚性的功能,并可在加工过程中实时监测蒙皮加工厚度的装置。

4 一般要求

4.1 人员

工艺人员及操作人员要求如下：

- a) 工艺人员应进行工艺方案设计和工艺编程培训,掌握蒙皮镜像铣削工艺知识和机床性能;
- b) 操作人员应进行上岗培训,掌握蒙皮镜像铣削机床结构和操作技能、安全常识、精度检验过程中涉及的操作和安装基本知识。

4.2 材料

镜像铣削前半成品零件材料要求如下：

- a) 加工前的状态(成形精度、定位、工艺余量)应满足镜像铣削要求;
- b) 应无划伤、凹坑等缺陷。

4.3 设备与工装

4.3.1 加工设备

加工设备要求如下：

- a) 机床应具备镜像铣削、支撑、防震颤和检测数据采集功能;
- b) 机床铣削装置定位精度、重复定位精度、功率和扭矩应满足零件加工要求;
- c) 镜像顶撑装置定位精度、重复定位精度应满足零件加工要求。

4.3.2 柔性装夹系统

柔性装夹系统要求如下：

- a) 应满足蒙皮防震颤要求,保证加工过程稳定性和加工刚性;
- b) 应考虑其承重情况,能有效支撑零件加工;
- c) 应进行定检,保证其功能完善性。

4.4 安全防护

安全防护要求如下：

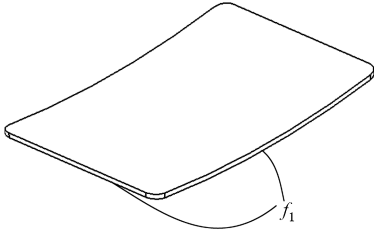
- a) 铣头和顶撑装置应有防护装置,防止污物(切屑)的进入;
- b) 机床精度检测时,操作人员应正确穿戴符合国家标准要求的安全帽、劳保鞋和其他防护用品;
- c) 操作人员应严格按照机床操作规程进行操作;
- d) 机床在运行时,非操作人员不应触碰机床操作面板控制机床;
- e) 吊装人员应持证上岗,吊装过程保持蒙皮平稳移动。

5 特征定义及分类

5.1 特征定义

为满足镜像铣削编程和加工需要,表 1 给出了加工特征定义。

表 1 加工特征定义

特征	特征示意图	特征几何元素(f_1 、 f_2 ……表示特征的几何元素)
面特征		面特征包含:面顶面 面顶面: f_1
下陷特征		下陷特征包含:下陷底面、下陷底角面及下陷顶面 下陷顶面: f_1 下陷底角面: f_2 下陷底面: f_3
窗口特征		窗口特征包含:窗口顶面、窗口侧面、窗口底面 窗口顶面: f_1 窗口侧面: f_2 窗口底面: f_3
孔特征		孔特征包含:孔顶面、孔侧面、孔底面 孔顶面: f_1 孔侧面: f_2 孔底面: f_3
凸台特征		凸台特征包含:凸台上表面、凸台下表面、过渡圆角 凸台上表面: f_1 凸台过渡圆角: f_2 凸台下表面: f_3
轮廓特征		轮廓特征包含:轮廓 轮廓: f_1

5.2 下陷特征分类

5.2.1 按封闭情况分类

5.2.1.1 开口下陷:下陷所包含的底角面没有形成一个封闭的整体,如图 2 所示。

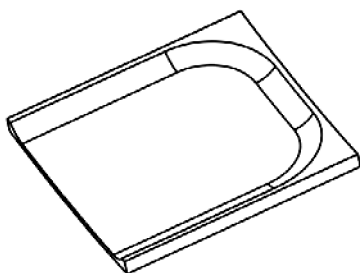


图 2 开口下陷

5.2.1.2 封闭下陷:下陷所包含的底角面形成了一个封闭的整体,如图 3 所示。

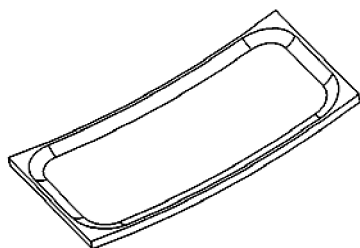


图 3 封闭下陷

5.2.2 按形状分类

5.2.2.1 规则下陷:下陷特征底面边界单调性一致,均为凹连接或凸连接,如图 4 所示。

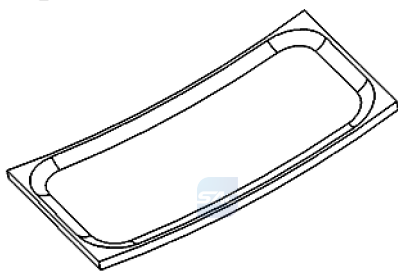


图 4 规则下陷

5.2.2.2 非规则下陷:下陷特征底面边界单调性不一致,存在凹凸变换,如图 5 所示。

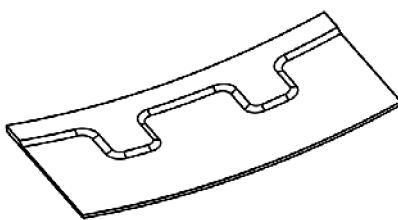


图 5 非规则下陷

5.3 窗口特征分类

5.3.1 椭圆形窗口:窗口整体呈椭圆形状,且窗口侧面与顶面的相交边按逆时针遍历形成椭圆状封闭环,如图 6 所示。

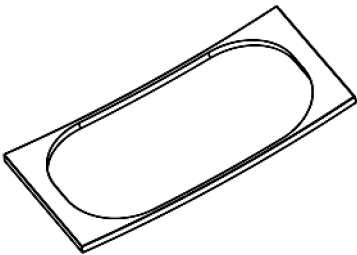


图 6 椭圆形窗口

5.3.2 异形窗口:除椭圆形窗口外的其余窗口,窗口侧面与顶面的相交边按逆时针遍历不为椭圆状封闭环,如图 7 所示。

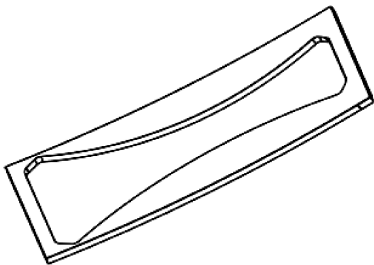


图 7 异形窗口

5.4 孔特征分类

整体呈圆形状,且侧面与顶面的相交边按逆时针遍历形成圆形状封闭环,如图 8 所示。

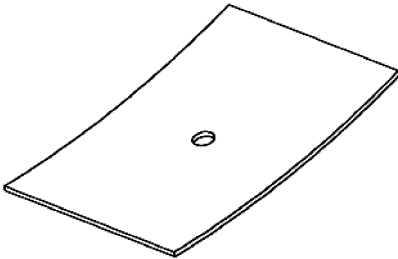


图 8 圆形孔

5.5 凸台特征分类

5.5.1 面凸台:凸台存在于待加工的面特征上,如图 9 所示。

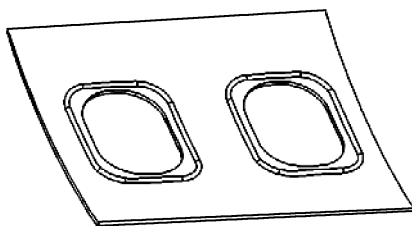


图 9 面凸台

5.5.2 下陷凸台:凸台存在于待加工的下陷特征上,如图 10 所示。

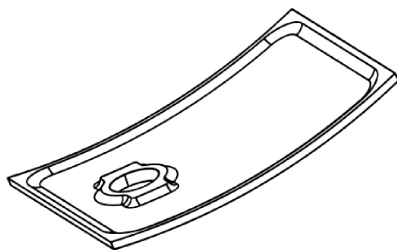


图 10 下陷凸台

5.6 轮廓特征分类

5.6.1 零件轮廓:轮廓无工艺耳片,如图 11 所示。

5.6.2 工艺轮廓:轮廓有工艺耳片或工艺余量,如图 11 所示。

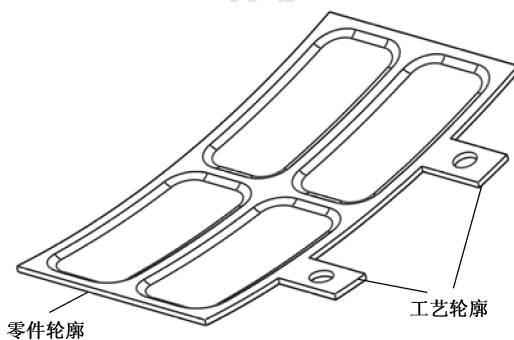


图 11 零件轮廓和工艺轮廓

6 编程方法

6.1 通则

编程方法通用要求如下:

- a) 铣削步距:应满足加工效率和零件阶差要求;
- b) 刀轴方向:编程时,应为刀具铣削位置法矢方向;
- c) 加工避让:在面特征、下陷特征、窗口特征、孔特征和凸台特征的加工过程中,应考虑蒙皮曲率对加工的影响,合理设置加工轨迹进行加工避让。

6.2 面特征镜像铣削编程

面特征镜像铣削编程方法如下：

- a) 采用多轴曲线铣削方式往复运动刀轨加工；
- b) 加工初始阶段,从最下端开放区域采用折线进刀；
- c) 铣削步距、刀轴方向和多个面特征铣削避让时按 6.1 执行。

6.3 下陷特征镜像铣削编程

下陷镜像铣削编程方法如下：

- a) 飞机蒙皮镜像铣削下陷加工遵循先厚后薄铣削原则；
- b) 采用多轴曲线铣削方式先铣削下陷底角,然后按往复运动刀轨加工;或采用多轴曲线铣削方式先按往复运动刀轨铣削,然后沿下陷底角铣削；
- c) 采用折线进刀,进刀位置在直线刀轨上；
- d) 铣削步距、刀轴方向和多个下陷特征铣削避让时按 6.1 执行。

6.4 窗口特征编程

6.4.1 无凸台铣削编程方法

无凸台铣削编程方法如下：

- a) 径向留余量精加工；
- b) 取极限公差的平均值进行编程；
- c) 采用多轴曲线铣削方式粗加工或精加工；
- d) 采用折线或圆弧进退刀；
- e) 粗加工时采用往复运动刀轨或回纹刀轨加工；
- f) 采用往复运动刀轨加工时,进刀位置在直线刀轨上；
- g) 采用回纹刀轨加工时,在中间位置进刀；
- h) 精加工时绕窗口侧面轮廓铣削,根据轴向切深进行轴向分层；
- i) 刀轴方向和多个窗口特征铣削避让时按 6.1 执行。

刀轨示意图如图 12 所示。

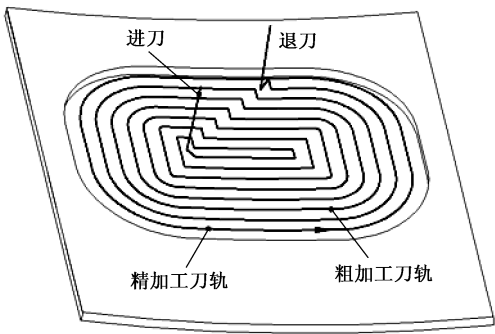


图 12 通框粉末型铣削刀轨

6.4.2 工艺凸台铣削编程方法

窗口侧面轮廓根据工艺要求设置工艺凸台,精加工到位,带工艺凸台窗口精加工铣削编程方法如下：

- a) 采用多轴曲线铣削方式沿窗口侧面和工艺凸台侧面合并而成的轮廓分段铣削；
- b) 径向分两层铣削；
- c) 采用折线或圆弧进退刀；
- d) 根据轴向切深进行轴向分层；
- e) 刀轴方向和多个窗口特征铣削避让时按 6.1 执行。

刀轨示意图如图 13 所示。

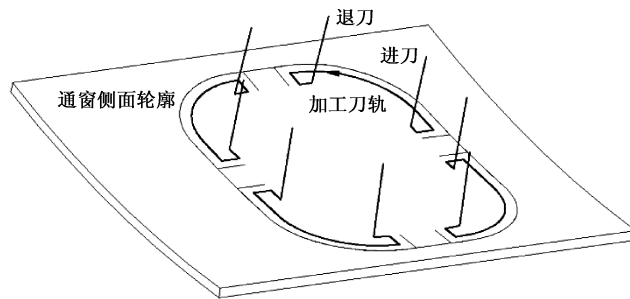


图 13 铣削刀轨

6.4.3 防震颤装置编程方法

对采用防震颤装置进行窗口铣削时,采用防震颤装置编程方法进行窗口精加工,见图 14,精加工编程方法如下:

- a) 按 $a \rightarrow b \rightarrow c \rightarrow d \rightarrow e$ 轨迹进刀；
- b) 采用多轴曲线铣削方式绕窗口侧面轮廓铣削,根据轴向切深进行轴向分层；
- c) 按 $f \rightarrow g \rightarrow h \rightarrow i \rightarrow j$ 轨迹退刀；
- d) 防震颤装置矢量方向始终沿窗口侧面法矢方向；
- e) 刀轴方向和多个窗口特征铣削避让时按 6.1 执行。

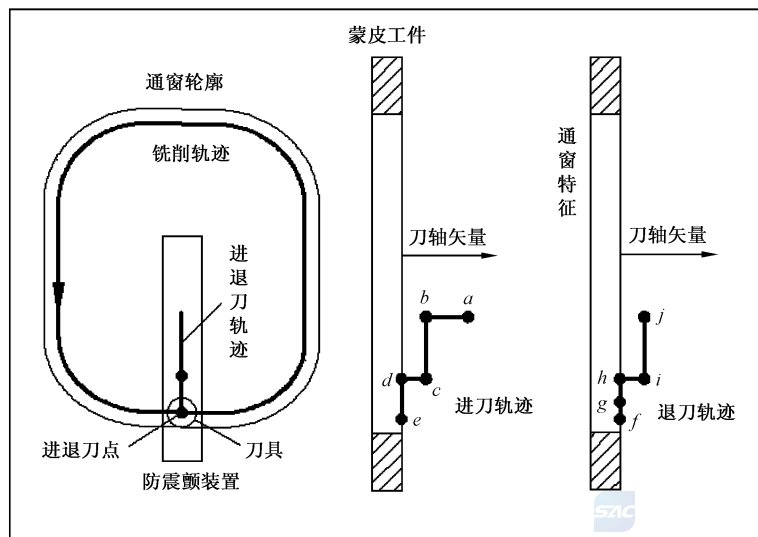


图 14 防震颤装置铣削刀轨

6.5 孔特征铣削编程

6.5.1 铣孔编程方法

铣孔编程方法要求如下:

- a) 应采用螺旋下刀顺铣方式加工；
- b) 应径向留 1 mm~2 mm 余量精加工；
- c) 应取极限公差的平均值进行编程；
- d) 应根据轴向切深进行轴向分层；
- e) 应通过设置转移点满足避让要求。

刀轨示意图如图 15 所示。

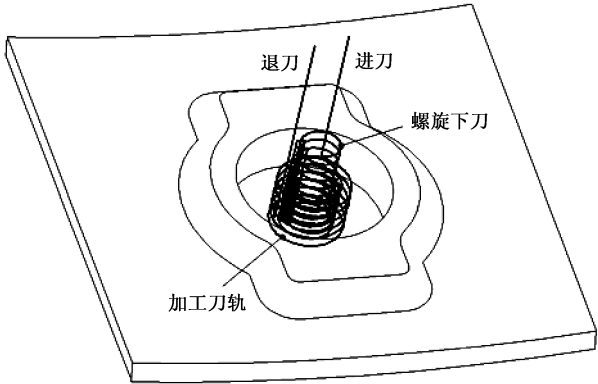


图 15 铣孔走刀方式

6.5.2 铣孔编程方法

钻孔编程方法如图 16 所示,具体要求为:

- a) 应采用钻孔方式编制钻孔程序；
- b) 为了防止碰撞蒙皮零件,应通过设置转移点满足避让要求。

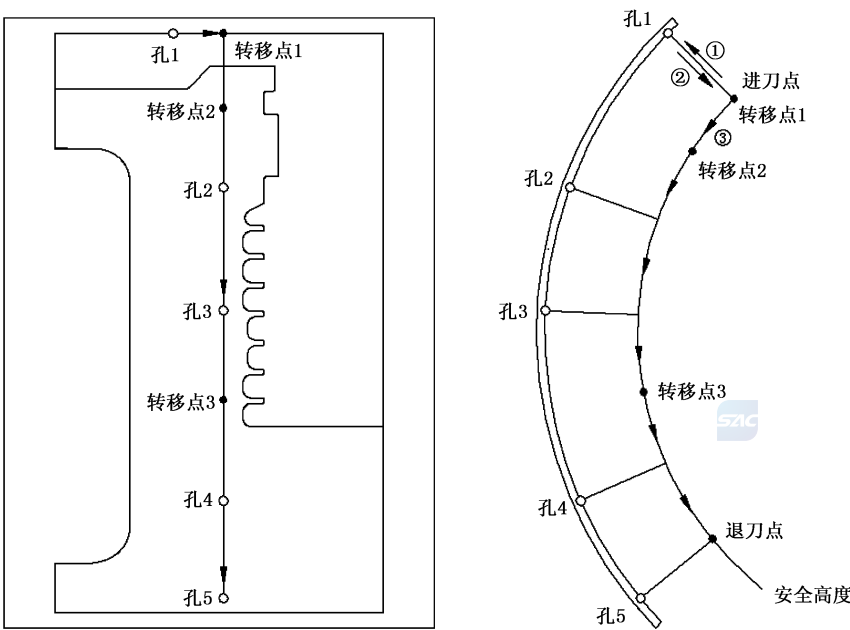


图 16 钻孔走刀方式

6.6 轮廓特征铣削编程

蒙皮零件轮廓根据工艺要求设置工艺凸台形成工艺轮廓,具体要求为:

- a) 若精加工到位,应按 6.4.1 执行;
- b) 若采用防震颤装置加工,应按 6.4.3 执行。

7 工艺控制

7.1 工艺流程

蒙皮镜像铣削加工工艺流程如图 17 所示。

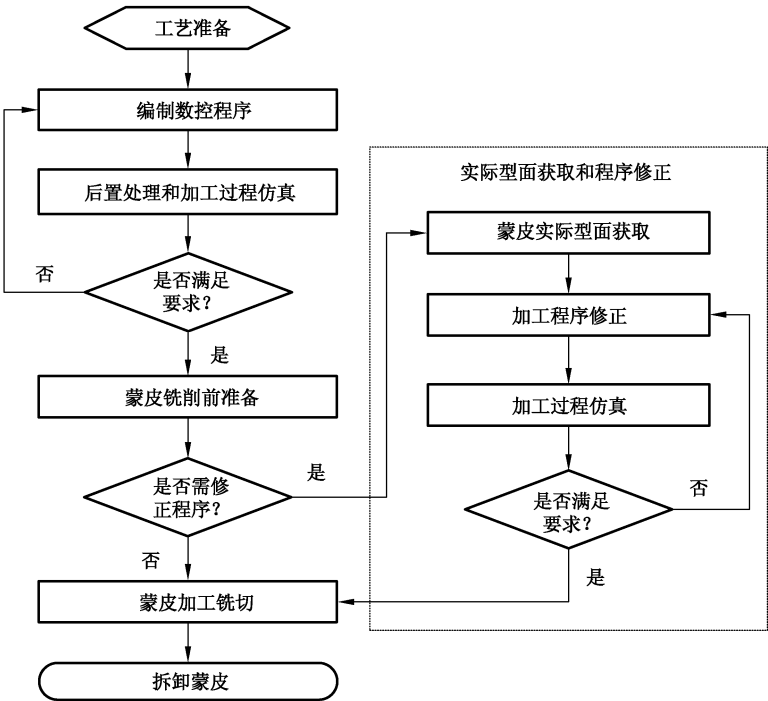


图 17 工艺流程

7.2 工艺准备

蒙皮半成品工艺应做如下准备：

- a) 蒙皮成形时在蒙皮四周预留毛坯余量,满足蒙皮装夹和加工要求;
- b) 加工前,在蒙皮定位两端的工艺凸台上制定位孔和标志孔,定位孔用于蒙皮装夹定位,标志孔确定蒙皮装夹方向;
- c) 根据零件尺寸、结构以及装夹稳定性等制定加工方案,编制工艺文件。

7.3 编制数控程序

编制数控程序时要求如下：

- a) 刀具选用原则为:刀具底角应与蒙皮设计数模底角保持一致,刀具直径选用在满足设计接刀差要求的前提下应尽量选用较大刀具直径;
- b) 下陷特征加工刀具刀长应考虑零件曲率变化,避免刀柄、铣头等与零件干涉;
- c) 铣削参数的选择应考虑机床性能、加工特征和刀具参数等因素;
- d) 应按照工艺方案中的分区按照区域进行编程;
- e) 铣面和铣下陷加工方式应采用分层加工,即首先通过依次切削保证所有下陷加工至零件同一

厚度层,然后逐层铣削,直至所有下陷加工至理论位置;

- f) 基于特征的蒙皮编程应按第 6 章执行。

7.4 后置处理和加工过程仿真

程序编制完成经后置处理后,采用蒙皮镜像铣削设备仿真环境进行加工过程仿真,仿真要求及处理要求如下:

- a) 仿真过程中机床铣削装置、顶撑装置、柔性装夹系统的运动应满足工艺方案要求;
- b) 仿真后检查内容主要包括过切、残余、撞刀等;
- c) 仿真结果不满足要求时,应优化加工程序后进行后置和仿真,直至满足要求;
- d) 仿真结果满足要求后进入 7.5 流程。

7.5 蒙皮铣削前准备

蒙皮铣削前应做以下准备:

- a) 工艺文件:审核工艺文件及数控程序的有效性;
- b) 材料:检查表面质量是否存在凹坑或划痕;
- c) 刀具:备齐和检查所需刀具,确认刀具完好;
- d) 设备:确认所用设备的完好;
- e) 装夹:完成蒙皮定位和装夹,检查蒙皮装夹情况;
- f) 程序修正判断:程序需修正进入 7.6 流程,程序无需修正进入 7.7 流程。

7.6 实际型面获取和程序修正

需进行程序修正时应遵循以下原则:

- a) 通过探测或扫描获取蒙皮实际型面点云,经拟合后形成实际型面;
- b) 根据实际型面和编制的理论程序经处理后生成修正程序;
- c) 修正程序仿真要求按 7.4 执行,仿真结果满足要求后进入 7.7 流程。

7.7 蒙皮加工铣切

蒙皮加工过程遵循以下原则:

- a) 蒙皮加工时应保证机床门关闭;
- b) 蒙皮加工过程中应保证装夹稳定;
- c) 加工区域应严格依照程序编制顺序执行,不可跳段执行加工程序;
- d) 蒙皮加工下陷时,应关注在线测量厚度,根据工艺需要选择精加工到位或者先半精加工后精加工到位;
- e) 加工过程中应注意加工异常,若存在异常,应对异常进行判断、处理后方可进行加工;
- f) 加工完成后应检查刀具是否完好,若有缺陷应及时更换。

7.8 拆卸蒙皮

拆卸蒙皮应防止碰撞和划伤,拆卸完成后应将蒙皮置放于专用托架上。

8 质量控制

蒙皮加工工艺流程中质量控制要求如下:

- a) 程序应经过加工过程仿真合格后才能进行加工;

- b) 蒙皮加工过程中应保证在线测厚功能完好；
- c) 应对蒙皮表面质量、厚度、型面和轮廓进行检测,确保满足设计要求；
- d) 零件应存放在干燥、无阳光直射、无坚硬杂物处,防止零件划伤腐蚀；
- e) 零件应放在专用托架上,转运过程中应避免表面碰伤；
- f) 镜像铣削装备和顶撑装置几何精度及镜像运动精度应满足要求,几何精度检测项允许误差参考值参见附录 A,镜像结构精度检测方法参见附录 B。



附 录 A

(资料性附录)

蒙皮镜像铣削装备几何精度检测项允许误差参考值

蒙皮镜像铣削装备几何精度检测项允许误差参考值见表 A.1。

表 A.1 蒙皮镜像铣削装备几何精度检测项允许误差参考值

单位为毫米

序号	检验项目		全程最大偏差	局部最大偏差
1	铣削装置系统龙门几何精度	垂直面上 Y 方向的 X 轴运动直线度	0.15	每 1 000 为 0.04
2		水平面上 Z 方向的 X 轴运动直线度	0.15	每 1 000 为 0.04
3		垂直面上 Z 方向的 Y 轴运动直线度	0.08	每 1 000 为 0.03
4		水平面上 X 方向的 Y 轴运动直线度	0.08	每 1 000 为 0.03
5		水平面上 X 方向的 Z 轴运动直线度	0.04	每 500 为 0.03
6		垂直面上 Y 方向的 Z 轴运动直线度	0.03	每 500 为 0.03
7		X 轴运动和 Z 轴运动的垂直度	0.03	每 500 为 0.03
8		Y 轴运动和 Z 轴运动的垂直度	0.03	每 500 为 0.03
9		X 轴运动和 Y 轴运动的垂直度	0.03	每 500 为 0.03
10	铣削装置系统主轴头几何精度	C 轴到 X-Y 平面的垂直度	0.04	0.04
11		A 轴到 XY 平面的平行度	0.04	0.04
12		主轴的轴与 XY 平面的垂直度	0.03	0.03
13		主轴鼻端的转动径向精度	0.015	0.015
14		主轴内锥面转动径向精度	0.015/0.03	0.015/0.03
15		主轴鼻端前端面转动轴向精度	0.015	0.015
16		主轴的轴和 C 轴的同轴度	0.015	0.015
17		A 轴和主轴的轴的同轴度	0.02	0.02
18	顶撑装置系统龙门几何精度	垂直面上 Y 方向的 X 轴运动的直线度	0.15	每 1 000 为 0.04
19		水平面上 Z 方向的 X 轴运动的直线度	0.15	每 1 000 为 0.04
20		水平面上 Z 方向的 Y 轴运动的直线度	0.08	每 1 000 为 0.03
21		水平面上 X 方向的 Y 轴运动的直线度	0.08	每 1 000 为 0.03
22		水平面上 X 方向的 Z 轴运动直线度	0.04	每 500 为 0.03
23		垂直面上 Y 方向的 Z 轴运动的直线度	0.04	每 500 为 0.03
24		X 轴运动与 Z 轴运动的垂直度	0.02	每 500 为 0.02
25		Y 轴运动和 Z 轴运动的垂直度	0.02	每 500 为 0.02
26		X 轴运动与 Y 轴运动的垂直度	0.02	每 500 为 0.02
27	顶撑装置系统顶撑头几何精度	A 轴针对 Y-Z 平面的平行度	0.02	0.02
28		B 轴针对 X-Z 平面的平行度	0.15	0.15

附 录 B
(资料性附录)
蒙皮镜像结构精度检测方法

B.1 概述

蒙皮镜像结构精度检测包含单旋转轴镜像精度检测和双五轴联动镜像精度检测。

注：本附录给定的方法中主轴为 AC 双摆头结构、顶撑装置为 AB 双摆头结构，其中顶撑装置 A 轴定义为 AA 轴，顶撑装置 B 轴定义为 BA 轴。其他镜像结构参照本方法执行。

B.2 单旋转轴镜像精度检测

蒙皮镜像结构单旋转轴镜像精度检测方法见表 B.1。

表 B.1 单旋转轴镜像精度检测方法

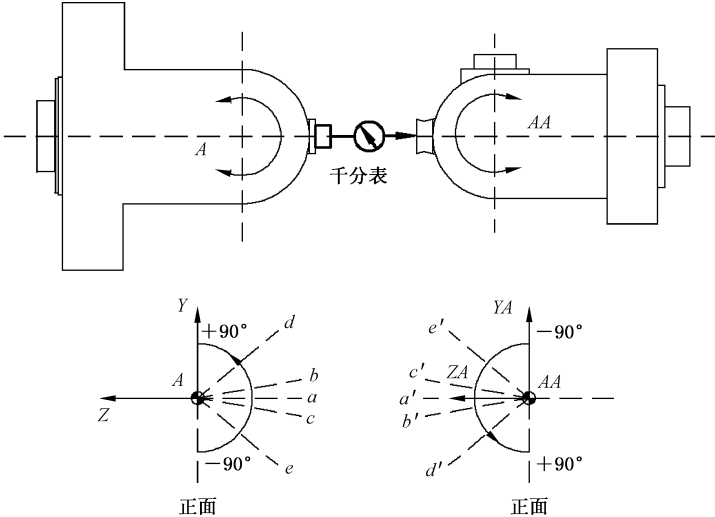
检测项目：
单旋转轴镜像精度检测：主轴 A 轴和顶撑装置 AA 轴联动进行检测，为同一平面内的旋转运动检测，A 轴和 AA 轴镜像联动至 5 个检测位置并记录数值，其中包含 A 轴和 AA 轴的旋转运动极限位置点。
<div></div>
检测工具：
千分表，标准块
检测方法：
<div><div>1. 检测仪器安装：将千分表的支撑杆放置在铣头主轴前端，在顶撑装置前端安装标准块作为接触点，将铣头与顶撑装置缓慢靠近，使千分表表头触碰到顶撑装置前端标准块。</div><div>2. 检测仪器调零：微量调整铣头与顶撑装置，使千分表表针指向零位；缓慢转动主轴超过 1 圈，并调整千分表，使得主轴旋转 1 圈过程中千分表表针均指向零位，图中 a 对应 a' 点为零位点。</div><div>3. 检测并记录数值：A 轴和 AA 轴分别旋转至 bb' 点、dd' 点、cc' 点、ee' 点进行检测并读取数据值，其中 dd' 点、ee' 点为 A 轴和 AA 轴的旋转运动极限位置点。五组检测点位可参考如下：</div></div>

表 B.1 (续)

序号	位置	记录
<i>aa'</i>	$A0\ C0\ AA=0\ BA=0$	零点对中
	M0	停止,记录数值
<i>bb'</i>	$A10\ AA=10$	旋转 10° 检测
	M0	停止,记录数值
<i>dd'</i>	$A40\ AA=40$	旋转 40° (极限位置)检测
	M0	停止,记录数值
<i>cc'</i>	$A-10\ AA=-10$	旋转 -10° 检测
	M0	停止,记录数值
<i>ee'</i>	$A-40\ AA=-40$	旋转 -40° (极限位置)检测
	M0	停止,记录数值

B.3 双五轴联动镜像精度检测

蒙皮镜像结构双五轴联动镜像精度检测方法见表 B.2。

表 B.2 双五轴联动镜像精度检测方法

检测项目： 双五轴联动镜像精度检测：主轴 A 轴、C 轴和顶撑装置 AA 轴、BA 轴同时镜像联动进行检测。
检测工具： 千分表,标准块

表 B.2（续）

检测方法：		
1. 检测仪器安装：将千分表的支撑杆放置在铣头主轴前端，在顶撑装置前端安装标准块作为接触点，将铣头与顶撑装置缓慢靠近，使千分表表头触碰到顶撑装置前端标准块。		
2. 检测仪器调零：微量调整铣头与顶撑装置，使千分表表针指向零位；缓慢转动主轴超过 1 圈，并调整千分表，使得主轴旋转 1 圈过程中千分表表针均指向零位。		
3. 检测并记录数值：确定五组双五轴镜像检测点位，依次进行检测并读取数据值。五组检测点位可参考如下：		
序号	位置	记录
1	A7.067 C-135.109 AA=-5 BA=-5	位置 1 联动检测
	M0	停止，记录数值
2	A11.169 C-153.968 AA=-10 BA=-5	位置 2 联动检测
	M0	停止，记录数值
3	A20.591 C-166.534 AA=-20 BA=-5	位置 3 联动检测
	M0	停止，记录数值
4	A22.269 C-154.494 AA=-20 BA=-10	位置 4 联动检测
	M0	停止，记录数值
5	A31.475 C-163.260 AA=-30 BA=-10	位置 5 联动检测
	M0	停止，记录数值