

航空发动机机匣数控加工参数研究*

张新运 王泽箫 曹岩 董建耿 楠
(西安工业大学机电工程学院, 陕西 西安 710021)

摘要: 航空发动机机匣作为发动机的主要零部件, 通常选用高温合金毛坯加工而成, 铣削力等评价指标将严重影响此类零件的加工效率以及加工质量。首先, 通过研究机匣的加工工艺, 应用 **DEFORM-3D** 软件对材料为镍基合金 **GH4169** 的机匣粗铣加工过程进行了铣削仿真分析, 以铣削力为评价指标, 通过仿真分析, 得到不同铣削参数下铣削力的变化规律。其次, 针对仿真结果进行方差分析, 得出不同指标对铣削力的影响大小, 根据仿真结果对参数进行拟合, 建立机匣铣削加工过程中铣削力预测模型。最后, 运用遗传算法进行算法寻优, 得到一组最优的铣削参数, 为机匣实际加工提供指导依据。

关键词: 机匣加工工艺; 有限元仿真; 预测模型; 算法寻优

中图分类号: TH164, TG506 **文献标识码:** A

DOI: [10.19287/j.mtmt.1005-2402.2024.08.001](https://doi.org/10.19287/j.mtmt.1005-2402.2024.08.001)

Research on numerical control machining parameters of aircraft engine casing

ZHANG Xinyun, WANG Zexiao, CAO Yan, DONG Jian, GENG Nan

(School of Electrical and Mechanical Engineering, Xi'an Technological University, Xi'an 710021, CHN)

Abstract: As the main parts of the engine, the aircraft engine casing is usually made of superalloy blanks. This paper focuses on the optimization of milling force and other evaluation indexes to improve the machining efficiency and machining quality. Firstly, we studied the machining technology of the casing, and applied DEFORM-3D software to conduct milling simulation analysis on the rough milling process of the casing made of nickel-based alloy GH4169. The milling force was taken as the evaluation index, and the changing rules of the milling force under different milling parameters were obtained. Secondly, the influence of different indexes on milling force is analyzed, and the parameters are fitted according to the simulation results, and the prediction model of milling force is established. Finally, a set of optimal milling parameters are captured by using genetic algorithm, which provides guidance for the actual machining of the casing.

Keywords: casing processing technology; finite element simulation; prediction model; algorithmic optimization

机匣类零件作为航空发动机重要的零部件, 主要用于承受发动机在工作中所产生的负载和质量惯性力, 存在结构较为复杂、刚性弱及外壁薄等加工难项, 同时由于该类零件的加工以切削居多, 在切削力作用下极易发生变形。高温合金具有优异的耐热与耐高温特性, 由于镍基合金在 650~1 000 °C 的温度下仍具有良好的物理特性, 故被广泛应用于机匣零件。针对镍基合金机匣的加工, 传统方法仅对工艺进行分析研究或单纯采用试验方案, 效率较低, 且切削过程产生中的三向切削

力、切削温度及切削残余应力等较难测得。利用有限元仿真技术研究数控铣削过程所获得的数据更全面、节约成本且实验的重复性高^[1]。本文通过对机匣加工工艺的探究, 在 DEFORM-3D 软件中, 根据情况建立三维动态铣削模型进行铣削加工, 将铣削力作为铣削质量的评价指标, 研究各项铣削参数(主轴转速 n , 每齿进给量 f_z , 轴向切削深度 a_p) 对评价指标的影响程度, 建立预测模型, 并进行算法寻优, 控制铣削力到理论最小值时求得所对应的一组铣削参数^[2]。

* 国家自然科学基金项目(52275508); 西安市科技计划项目(23GXFW0031)

1 机匣加工工艺分析

1.1 机匣零件结构分析

1.1.1 机匣零件结构分析

机匣整体结构似圆台状，分为上下两段，大小两端各有一个法兰盘，各层有不同形状的岛型结构，具体如图1所示。壳体小端直径约为680 mm，壳体大端直径约为760 mm，高度约为215 mm，机匣壳体毛坯上下型面壁厚超过12 mm，切削完成后的理论型面壁厚约8 mm，整体材料去除量大于70%。在加工过程中，主要以切削加工为主，其中各切削参数对加工质量的影响程度不同。

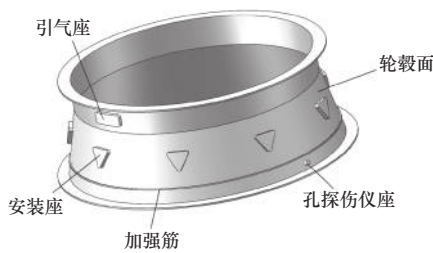


图1 机匣壳体模型

1.1.2 材料性能分析

该机匣零件毛坯材料选用型号为GH4169的镍基高温合金，采用模锻的加工方式对毛坯进行加工。高温合金GH4169具有强度高和硬度高等优点，同时在高温条件下，能保持其加工性能的稳定性。在650℃以下其屈服强度优良，在高温合金中居于首位。同时具有优良的抗氧化和抗腐蚀等性能，在温度750℃以上时，各性能才会趋于下降。但因其材料自身问题，存在材料黏性较大合硬度过高等问题，加工过程中切屑不易断裂分离、导热性能不佳等缺点，因此在切削加工过程中易产生切削抗力过大和切削过程产生的切削温度过高等问题，其材料相关的力学性能见表1。

表1 材料相关力学性能

材料种类	密度/(g/cm ³)	弹性模量/GPa	泊松比	熔点/℃	热导率/(W/(m·℃))	比热容/(J/(kg·℃))
GH4169	8.24	202	0.3	1280	14.7	435

1.2 工艺路线制定

1.2.1 加工过程分析

机匣制造工序可划分为“粗加工→半精加工→精加工”3个阶段，依次分开进行，分为内腔与外型面的加工。机匣内腔为整圆结构，因此可以进行

车削加工。机匣外型面结构复杂，不能构成整圆结构，分布有多边形和长方形凸台，因此针对外型面不能进行车削加工，采取铣削加工的方式对其加工过程进行研究，编纂其工艺路线，具体工艺流程如图2所示。

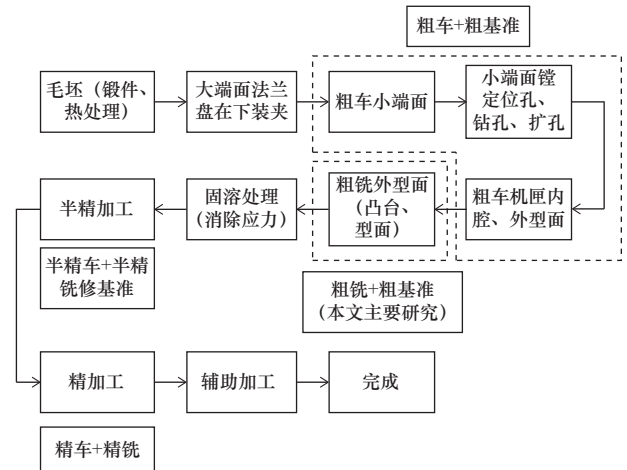


图2 工艺路线图

在机匣在加工过程中，由于大端刚性较强，因此在装夹过程中先将机匣大端进行装夹，对小端面进行粗车，随后对小端面镗定位孔、钻孔、扩孔，从而对机匣小端面内腔、外型面进行粗车^[3]。对粗车后的机匣进行下一步的粗铣操作，铣削过程中对机匣外型面进行分区域铣削，采用的刀具直径为25 mm，刀具齿数为4，同时采用UG NX11.0软件对走刀路径进行路径规划。

1.2.2 UG 数控加工路径规划

对机匣数控加工中几个关键步骤运用UG软件进行路径规划，具体如下。

首先进行外径粗车的刀轨路径规划，设置机床坐标轴和安全平面，然后在此基础之上设置适宜的车刀，车刀与XC轴夹角为180°，车削过程中以层优先来进行加工，刀具的位置与规划好的车削路径如图3所示。将规划好的路径进行动态仿真，机匣毛坯如图4所示，按照规划好的走刀路径进行车削加工后，所得到的效果如图5所示，为车削外径后的机匣模型图，车削过程旨在去除大量的加工量。

在进行外径粗车后进行外型面分区域铣削，相关铣削参数设置如图6所示，选用多重深度，以1.5 mm的增量方法进行外型面凸台的分区域铣削，长方形凸台走刀路径如图7所示，三角形凸台走刀路径如图8和图9所示。

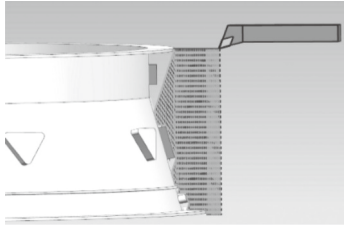


图3 外径粗车路径规划

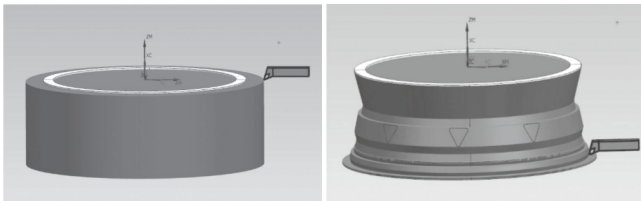


图4 车削前毛坯

图5 车削外径后效果图



图6 粗铣相关参数设置

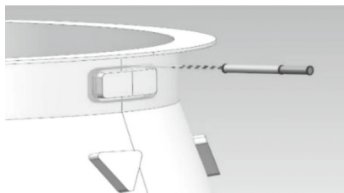


图7 长方形凸台铣削

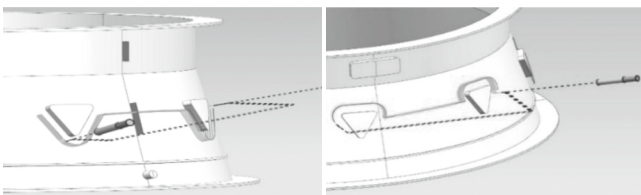


图8 三角形凸台下端铣削

图9 三角形凸台上端铣削

将机匣加工过程中的关键工序的走刀路径设计作为机匣数控加工工艺的补充,其后处理文件也可直接运用于仿真分析软件的导入,简化了仿真分析流程,为后文的仿真实验提供了简化方法。

2 基于 DEFORM-3D 的有限元数值模拟

基于对机匣加工路径的分析,采用 DEFORM-3D 软件对其中的粗铣工序进行有限元仿真,根据

具体铣削情况进行模型简化。将铣削力作为铣削质量的评价指标,从而研究各项铣削参数 (n 、 a_p 、 f_z) 对评价指标的影响。

2.1 仿真模型的简化和网格划分

为了简化仿真计算过程、提升计算效率,同时最大程度上进行粗铣工序的仿真模拟,建立铣削动力学仿真模型,具体如图10所示,其中包括立铣刀与工件的三维模型。铣刀的主要几何参数见表2,材料选用 WC 硬质合金 YG8,由于本文不研究刀具的磨损、断裂等相关情况,为了简化计算,故设刀具为刚体。网格数和元素数均为 40 000,网格最小单元尺寸为工件进给的 1/3,控制网格最大最小尺寸为 7。

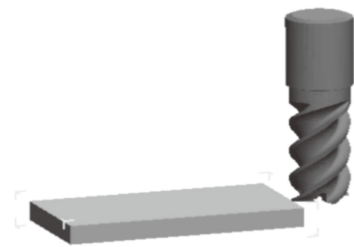


图10 简化后的机匣粗铣动力学仿真模型

表2 刀具主要几何参数

直径 d/mm	径向前角 / ($^\circ$)	径向后角 / ($^\circ$)	螺旋角 / ($^\circ$)	齿数 z
25	9	12	45	4

2.2 边界条件与材料本构模型的建立

(1) 建立边界条件

①工件定位:在 DEFORM-3D 软件中,对工件施加约束,使其固定静止不动,而刀具相对于静止的工件运动。即对工件的三坐标进行定位,将工件质心节点速度设置为 0。

②热转换:将环境温度设置为 $20\text{ }^\circ\text{C}$,传热系数为 $0.02\text{ m}^2\cdot\text{s}\cdot\text{K}$,摩擦因数和热传导系数分别设置为 0.6 和 $45\text{ m}^2\cdot\text{s}\cdot\text{K}$ 。

(2) 设置材料模型

金属切削加工实质上就是工件受外部载荷发生弹性变形、塑性变形,从而断裂的一个过程。因此,切削过程中的问题就可归结为热-弹塑性的一个非线性问题来分析。材料的本构方程则具体描述了材料的物理性能在相应条件下的变化关系,反映出物质在不同情况下的变化方式,因此材料本构方程对有限元仿真的结果存在决定性意义。其中, J-C 本构模型以其形式简明、适用于各种晶体结构而得到了大量应用。

J-C 本构方程为

$$\bar{\sigma} = [A + B(\epsilon)^n] \left[1 + C \ln \left(\frac{\dot{\epsilon}}{\dot{\epsilon}_0} \right) \right] \left[1 - \left(\frac{T - T_0}{T_{melt} - T_0} \right)^m \right] \quad (1)$$

式中：A为材料的屈服应力；B为应变硬化常数；C为材料应变速率强化项系数；ε为等效塑性应变；ε̇为等效塑性应变率；ε̇₀为参考应变率；n反映应变硬化效应；m反映热软化效应；T为变形温度；T₀为室温，一般取 20 °C；T_{melt}为材料熔点温度^[4]，相关参数见表3。

表3 J-C 本构模型参数

A	B	n	C	m
880	331	0.8	0.012	0.34

式(1)从形式上划分为应变效应、应变率效应和温度效应3个模块。其中应变、应变率和温度对应力的影响相互耦合，对于众多金属材料的变形方式均一致，可运用于各种晶体结构。

2.3 正交实验的设计

传统的实验方法冗杂，实验效率低。正交实验是利用多因素实验的一种设计方法，挑出部分具有代表性的水平组合进行实验，通过部分了解全面实验的情况^[5]。因此选择合适的正交实验方法研究铣削实验是解决铣削问题的主要方法之一，选取主轴转速n、每齿进给量f_z、轴向切削深度a_p作为实验的三个因素，采用四水平来安排实验。主要参数及水平见表4（三因素四水平）。

表4 铣削参数

n/ (r/min)	f _z / (mm/z)	a _p /mm
600	0.15	1.2
700	0.18	1.4
800	0.21	1.6
900	0.24	1.8

根据三因素四水平的正交实验表，将表4中数据代入，得到的正交实验表见表5，根据表5中的数据进行仿真分析，研究各影响参数对评价指标的影响。

3 三维动力学铣削仿真分析

根据上述研究方法进行铣削仿真建模，并进行铣削仿真分析，探索不同参数对评价指标的影响。在铣削过程中，铣削力的大小直接影响到加工的质量以及效率，因此将铣削力作为最重要的评价指标，研究各参数对其的影响。将三维铣削模型在

DEFORM-3D 软件中进行仿真，可以得到铣刀在铣削过程中的三向切削力，其中主轴的铣削力最能代表整个铣削过程中力的变化，因此选择在铣削过程中主轴的铣削力研究，将仿真过程中的铣削力导出，见表6。

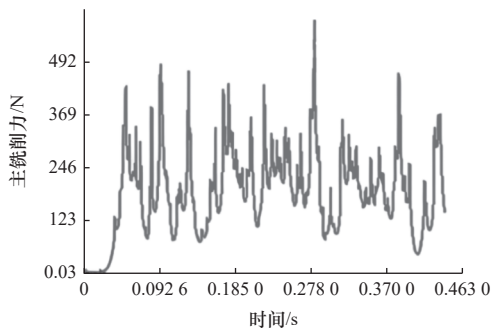
表5 正交实验表

序号	n/ (r/min)	f _z / (mm/z)	a _p /mm
1	600	0.15	1.2
2	600	0.18	1.4
3	600	0.21	1.6
4	600	0.24	1.8
5	700	0.15	1.4
6	700	0.18	1.2
7	700	0.24	1.8
8	700	0.21	1.6
9	800	0.24	1.6
10	800	0.15	1.8
11	800	0.18	1.2
12	800	0.21	1.4
13	900	0.15	1.8
14	900	0.18	1.6
15	900	0.21	1.4
16	900	0.24	1.2

表6 主铣削力数据

序号	n/ (r/min)	f _z / (mm/z)	a _p /mm	F _x /N
1	600	0.15	1.2	428
2	600	0.18	1.4	417
3	600	0.21	1.6	496
4	600	0.24	1.8	401
5	700	0.15	1.4	413
6	700	0.18	1.2	431
7	700	0.24	1.8	452
8	700	0.21	1.6	421
9	800	0.24	1.6	443
10	800	0.15	1.8	462
11	800	0.18	1.2	430
12	800	0.21	1.4	436
13	900	0.15	1.8	471
14	900	0.18	1.6	420
15	900	0.21	1.4	421
16	900	0.24	1.2	476

$n=800$ r/min、 $f_z=0.15$ mm/z、 $a_p=1.8$ mm 时的主轴铣削力仿真曲线如图 11 所示。可以看出，在铣削加工开始的过程中，主铣削力增长速度较快，在极短的时间快速增长后渐趋平缓，最终在一个比较稳定的区间内上下波动。这是因为在铣削过程中，刀具与工件的表面接触的瞬间会发生强烈的挤压和摩擦，从而导致铣削力的增加，然而当铣削加工的过程不断进行，工件表面形成切屑，切屑会随之不断产生和流动，铣削力趋于平稳。其中图 11 中的铣削力波动较为尖锐，则是由于仿真模拟过程中网格畸变造成的，在计算平均数值过程中可以不被纳入考量范围之内。



($n = 800$ r/min, $f_z = 0.15$ mm/z, $a_p = 1.8$ mm)

图 11 主铣削力随时间变化图

3.1 切削参数对铣削力影响分析

研究各铣削参数对仿真分析得到的主铣削力的影响程度，利用 Matlab 软件调用相关函数对主铣削力进行方差分析，方差分析如图 12 所示。由于方差分析图不能直观地表现出各个参数对铣削力的影响程度，因此利用 Matlab 软件调用相关数据处理、绘图函数后，以饼状图的形式将各铣削参数对评价指标-铣削力的影响表现出来，各切削力对主切削力影响饼状图分析如图 13 所示。

方差分析					
Source	Sum Sq.	d. f.	Mean Sq.	F	Prob>F
X1	739.3	3	246.42	0.21	0.8886
X2	750.3	3	250.08	0.21	0.8866
X3	1577.3	3	525.75	0.44	0.733
Error	7175	6	1195.83		
Total	10241.8	15			

图 12 方差分析图

由图 13 可以看出，每齿进给量对主铣削力的影响比重为 24%，主轴转速对主铣削力的影响比重为 24%，轴向切削深度对铣削力的影响比重为 51%，轴向切削深度是影响最大的因素。通过研究各切削

参数对铣削力的影响程度、探索其中规律，为机匣铣削加工提供了理论上的指导依据，也为后续的预测模型建立奠定了基础。

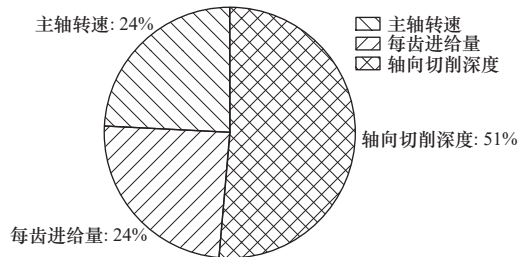


图 13 各切削参数对主铣削力的影响程度

3.2 铣削力预测模型建立

为了有效控制与预测机匣加工过程中所受刀具的铣削力大小，利用 Matlab 软件中的非线性回归函数来进行参数拟合，从而搭建出铣削力的数学预测模型，通过查找金属切削手册，对铣削力 F_z 的计算公式进行定义，如下：

$$F_z = \frac{9.81 C_F f_z^{X_{FZ}} \cdot a_p^{Y_{FZ}} \cdot d_e^{\mu_{FZ}} \cdot Z}{d^{q_F} \cdot n^{W_F} \cdot 60^{W_F}} \cdot K_{FZ} \quad (2)$$

式中： C_F 为铣削力系数； K_{FZ} 为工况系数； X_{FZ} 、 Y_{FZ} 、 μ_{FZ} 、 W_F 为各项切削参数指数。根据式（2）可知，铣削力与选取的 3 个工艺参数直接相关，因此需求出各工艺参数的指数，在本试验中针对机匣的加工材料以及选取的硬质合金立铣刀，将式（2）进行简化，结果如下：

$$F_z = C_F \cdot n^{W_F} \cdot f_z^{X_F} \cdot a_p^{Y_F} \quad (3)$$

将式（3）的左右同时转化为其对数形式，此时非线性函数就转化为线性函数，容易进行求解，结果如下：

$$\lg F_z = \lg C_F + W_F \lg n + X_F \lg f_z + Y_F \lg a_p + \mu_F \lg a_e \quad (4)$$

令 $\lg a_p = x_3$ ， $\lg C_F = u_1$ ， $W_F = u_2$ ， $X_F = u_3$ ， $Y_F = u_4$ ， $\mu_F = u_5$ ， $\lg n = x_1$ ， $\lg f_z = x_2$ ，则式（4）可以转化为

$$F = u_1 + u_2 x_1 + u_3 x_2 + u_4 x_3 \quad (5)$$

利用 Matlab 软件将 16 组主铣削力以及主轴转速 n 、每齿进给量 f_z 、轴向切削深度 a_p 等铣削参数代入后，使用非线性回归函数对其进行计算，构建了关于主铣削力的预测模型，拟合后的曲线如图 14 所示，其中 Y 表示数据的分布情况， $Y1$ 表示函数的拟合情况。

由图 14 的拟合曲线可以观察到，拟合后的曲

线与相关数据中的点基本吻合，误差较小，符合拟合参数曲线规律。经过调用 Matlab 软件中的相关函数程序拟合式 (3) 和式 (4) 后，所得到的相关的系数值如图 15 所示。将系数代入式 (5)，可以得到主切削力预测方程，具体见式 (6)。将相关实验参数代入验证后，得到的误差验证见表 7，该预测模型误差在一定范围之内，模型真实可靠，可以作为机匣铣削实验的指导经验公式，也可以进一步为参数优化研究提供帮助。

$$F = 256.47a_p^{0.553} f_z^{0.025} n^{0.07} \quad (6)$$

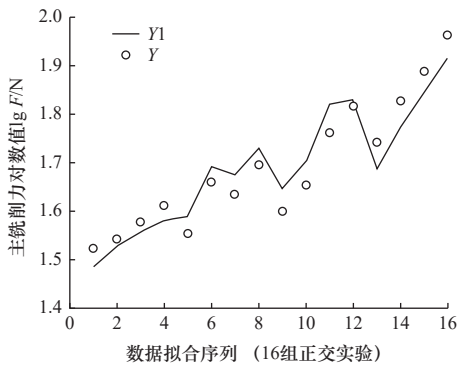


图 14 主切削力拟合曲线

A	1x32 doub...
a_1	0.0553
a_2	0.0126
a_3	0.0252
F_c	424.0626
func	@(u,X)(u(1...
J	16x4 doub...
K_x	256.4716

图 15 预测方程各项拟合参数

表 7 预测模型误差验证

序号	$n / (\text{r/min})$	$f_z / (\text{mm/z})$	a_p / mm	F_z / N	误差
1	600	0.15	1.2	421.8	0.014
2	700	0.18	1.2	428.3	0.006
3	800	0.21	1.4	438.2	0.002
4	900	0.21	1.4	427.1	0.005

4 基于遗传算法的参数优化

遗传算法是在自然选择的基础上，对同类物种的遗传机理进行优化，其迭代过程就是在选择与遗传机理的基础上，将优良基因进行随机组合，从而使得新产生的子代群体具有优于父代的优势。数学优化的思想已被广泛应用于现代机械加工领域中，随着现代计算机辅助设计制造技术的日趋完善，优

化思想与优化算法也得到了飞速进步。数学优化，就是一种经过精密的计算和比较，最终获得最优化的设计方案。在使用这种方法时，需要把选择的切削用量转化为数学模型，建立目标约束函数，找出加工时的各项约束条件，再利用计算机计算出最优方案^[6-7]。

通常，数学模型进行优化的步骤主要分为 3 个部分：设计变量 X 、目标函数 $f(X)$ 和约束函数 $g(X)$ ^[8]。机匣在数控铣削加工中，对评价指标影响较大的主要工艺参数： n 、 f_z 、 a_p 。因此优化数学模型的设计变量定为 $X = [n, f_z, a_p]$ 。

建立优化目标函数，即为拟合出的切削力预测模型 $F = 254.48a_p^{0.551} f_z^{0.026} n^{0.08}$ 。

相关参数约束条件范围为

- (1) $n_{\min} \leq n \leq n_{\max}$, $600 \leq n \leq 900$
- (2) $f_{z\min} \leq f_z \leq f_{z\max}$, $0.15 \leq f_z \leq 0.24$
- (3) $a_{p\min} \leq a_p \leq a_{p\max}$, $1.2 \leq a_p \leq 1.8$

利用 Matlab 软件进行遗传算法优化，针对主轴转速 n 、每齿进给量 f_z 、轴向切削深度 a_p 这 3 个参数对主切削力进行优化，进行遗传算法选择、交叉和变异等操作，求出最小主切削力的同时，得出一组切削参数，即该参数为最优的 1 组参数。

最终优化结果如图 16 所示，所求得的最优切削力为 452.82 N，在此基础上的相关参数： $a_p = 1.2 \text{ mm}$ ， $f_z = 0.17 \text{ mm}$ ， $n = 669.5 \text{ r/min}$ 。

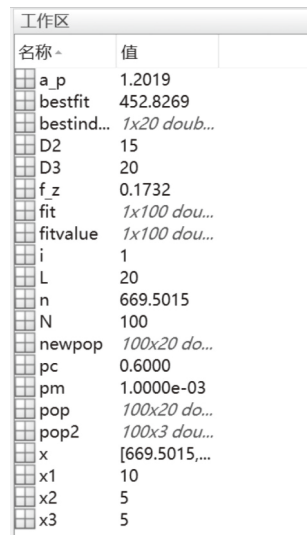


图 16 遗传算法优化结果图

5 结语

本文通过对机匣的加工工艺研究，根据实际加

工情况编写加工工艺,利用UG软件对加工过程的走刀进行路径规划,同时结合DEFORM-3D软件对其材料为镍基合金GH4169的机匣粗铣工序进行了正交实验设计和动力学仿真分析,将铣削力作为工件加工质量和刀具磨损的评价指标,利用方差分析判断各影响参数对铣削力的影响,最终建立了铣削力预测方程,经过算法寻优得到了铣削力最小情况下的一组加工参数,具体结论如下:

(1)对机匣加工工艺进行研究,通过UG软件对关键工序走刀路径进行规划,便于进一步展示加工方式,同时确定刀具轨迹有助于简化仿真分析流程,计算铣削力。

(2)搭建铣削动力学仿真模型,设计三因素四水平正交实验进行仿真模拟,同时运用Matlab软件处理数据,分析各项加工参数对铣削力的影响程度,最终拟合数据,建立铣削力预测方程,指导实际加工。

(3)运用遗传算法,搭建遗传算法模型,在输出的数据中进行算法寻优,寻找评价指标即铣削力达到最小时的1组参数,当 $a_p=1.2\text{ mm}$, $f_z=0.17\text{ mm}$, $n=669.5\text{ r/min}$ 时,所求得的铣削力最小,即这组参数为加工过程中的一组最优参数。

参 考 文 献

[1] Tian C L, Zhou G H, Zhan J J, et al. Optimization of cutting parameters

considering tool wear conditions in low-carbon manufacturing environment[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2019, 226: 706-719.

[2] 尉渊,刘维伟,李晓燕,等.高速铣削GH4169切削力及表面粗糙度研究[J]. *航空制造技术*, 2014(14): 68-71, 76.

[3] 李畅. PCBN刀具高速车削镍基高温合金试验及仿真研究[D].湘潭:湘潭大学, 2014.

[4] 景旭文,王楚辉,周宏根,等.基于Deform-3D的42CrMo钢铣削仿真分析[J]. *工具技术*, 2018, 52(2): 71-75.

[5] 张颖琳,陈五一.镍基高温合金铣削加工的残余应力研究[J]. *航空制造技术*, 2016(3): 42-47.

[6] 唐超兰,谢义.6061铝合金铣削工艺参数多目标优化[J]. *广东工业大学学报*, 2020, 37(5): 87-93.

[7] 楚满福.铁基高温合金高速铣削加工表面完整性研究[D].淄博:山东理工大学, 2019.

[8] 高筱彤.基于遗传算法的小叶轮数控加工工艺参数优化[D].西安:西安工业大学, 2022.

第一作者:张新运,男,1972年生,硕士,副教授,研究方向为高性能材料和特殊结构加工工艺分析与切削机理研究。E-mail: zhangxinyun@xatu.edu.cn

通信作者:曹岩,男,1970年生,博士,二级教授,俄罗斯自然科学院院士,研究方向为复杂装备集成化、智能化、快速响应制造关键技术研究。E-mail: jantonyz@163.com

(编辑 高扬)

(收修改稿日期:2024-03-18)

文章编号:20240802

如果您想发表对本文的看法,请将文章编号填入读者意见调查表中的相应位置。

论文推荐

罗小峰,胡莹,余翔.基于多目标多约束条件下排产算法设计与应用[J]. *制造技术与机床*, 2022(4): 159-164.



扫码获取全文

基于多目标多约束条件下排产算法设计与应用

罗小峰^① 胡莹^① 余翔^②

^①南昌大学机电工程学院

^②中国联合网络通信有限公司江西省分公司

摘要 针对机加企业实际生产中面临的双工位、相邻设备和委外工序等多约束条件下的多目标生产排程问题,分析排程所需满足的各生产要素,建立最优化生产排程数学模型,提出动态交叉变异算子改进遗传算法,在以三段式编码为基础的传统排程算法中引入分子和裂变分子,利用染色体偏移,提高排程紧凑性的同时加快算法收敛速度,得出加权系数优化后的排产结果,最后通过算例求解并运用于实际生产中,大大提高生产排程效率。

关键词 多约束;多目标;遗传算法;染色体偏移