

数控铣削参数优化的研究与开发

Research on Optimization of NC Machining Cutting Parameter

中航工业庆安集团有限公司 邓清伟 唐 竞 王文力
西安建筑科技大学机电工程学院 蔡安江 豆卫涛

[摘要] 以 DMC60H 数控机床为试验平台,以壳体类铝合金零件加工为研究对象,提取数控铣削加工试验数据,采用 BP 神经网络建立数控加工铣削参数优化模型。生产验证表明,提出的数控加工铣削参数优化方法具有较强的实用性和一定的先进性,能有效提高加工效率,对实现数控机床综合应用效率最优化具有重要意义。

关键词: BP神经网络 铣削加工 样本 参数优化

[ABSTRACT] By taking DMC60H Horizontal machining center as a test platform, processing of the shell to aluminum alloy parts as study object, NC milling test data is extracted, and BP neural network is used to build optimization model for NC milling parameters. Production proves that NC milling parameter optimization method presented is practical and advanced. It can improve the processing efficiency and is also greatly significant for realizing efficiency optimization.

Keywords: BP neural network Milling Sample Parameter optimization

传统的数控加工系统一般需要工艺编程人员先选取主轴转速、进给速度等切削参数,然后自动生成加工程序,加工程序的质量较大地依赖于工艺编程人员的技术水平和经验。对复杂零件加工,仅凭经验和查阅资料很难给出合理的切削参数,因此切削参数的合理选取与优化,对生产率、加工质量的提高以及降低成本有着至关重要的作用,是实现整个切削过程优化的关键^[1-2]。

数控加工切削参数的选取是复杂的多输入、多输出非线性问题,难以用常规数学方法进行处理。目前,在数控加工切削参数优化选取中,应用基于专家系统、模糊技术及人工神经网络等智能技术已成为研究热点^[3-4]。其中,人工神经网络技术的自学习功能为解决这一问题提供了新思路,它避免了面向加工过程的定量描述和计

算,只要事先通过样本训练确定网络内部各单元之间的连接权值,即可准确地预测出所需加工参数,从而解决了数控加工切削参数不易选取这一技术难题。

本课题以 DMC60H 数控机床为试验平台,以壳体类铝合金零件加工为研究对象,提取数控铣削试验数据,采用 BP 神经网络技术建立数控加工铣削参数优化模型,通过研究提出了数控加工铣削参数试验数据的清洗与处理原则。

1 试验数据的处理

1.1 试验数据的处理

根据现场生产实际,应对表面粗糙度与尺寸精度的试验数据进行处理,以便全面地描述数控加工过程。

(1) 表面粗糙度的处理原则是根据现场测量及加工实际要求,采用表面粗糙度第一系列进行处理,如表 1 所示。

(2) 尺寸精度的处理原则是以标准公差数值表为基础,将尺寸公差转换为标准公差 IT。以标准公差 IT 值作为尺寸精度样本的输入数据。

1.2 样本数据的选取原则

表1 表面粗糙度处理原则

第一系列	0.4	0.8	1.6	3.2	6.3
测量值	$R_a \leq 0.4$	$0.4 < R_a \leq 0.8$	$0.8 < R_a \leq 1.6$	$1.6 < R_a \leq 3.2$	$3.2 < R_a \leq 6.3$
处理值	0.4	0.8	1.6	3.2	6.3

样本数据的选取质量直接影响神经网络模型的收敛速度和预测精度。本课题通过对试验数据处理的研究与分析,结合数控加工铣削的特点,制定了以下样本数据的选取原则:

(1) 其他加工条件相同的条件下,以表面质量较高者为样本数据;

(2) 以接近中间公差尺寸^[5]的试验数据选为样本数据;

(3) 以加工效率最高即加工时间最短作为样本数据;

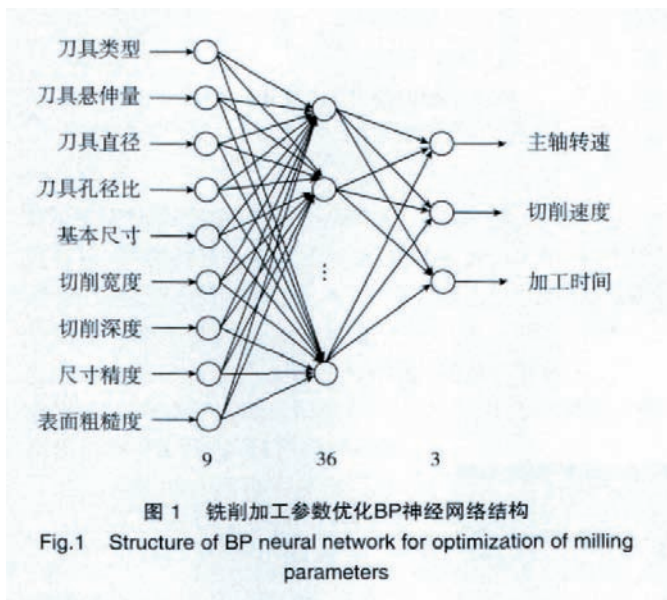
(4)以表面粗糙度、中间公差尺寸、加工效率为相互作用的多目标选取样本数据。

2 人工神经网络模型建立

2.1 BP神经网络模型的建立

在给定加工要求(尺寸精度、表面粗糙度等)和工况(机床、刀具、夹具等)的情况下,采用BP神经网络建模方法建立数控加工铣削工艺模型,通过试验数据、样本数据的优化选取和网络训练求解相关模型,可以有效解决数控加工铣削参数优选的问题,使其能很好地指导生产实践^[6]。

DMC60H 数控机床的操作系统为 Siemens840D power line,可以选取的铣削参数有主轴转速 n 和进给速度 V_f ,考虑对铣削加工效率的评价加入了加工时间,所以输出层神经元为主轴转速、进给速度和加工时间。输入层由刀具类型、刀具悬伸量、刀具直径、刀具孔径比、基本尺寸、切削宽度、切削深度、尺寸精度和表面粗糙度 9 个神经元组成,如图 1 所示。

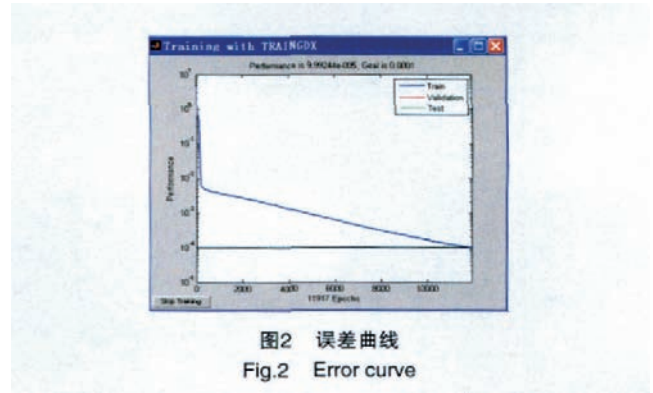


2.2 BP神经网络程序训练结果分析

(1)BP神经网络训练误差曲线。

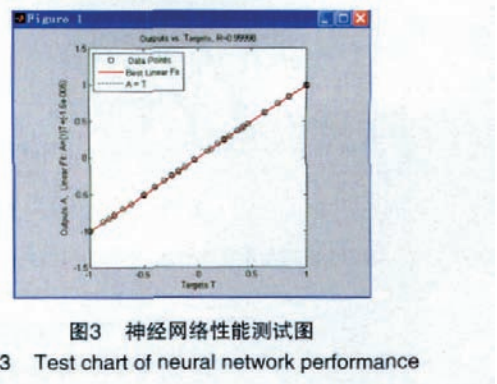
为了训练BP神经网络,需要计算BP神经网络加权输入矢量以及BP神经网络输出和误差矢量,然后求得误差平方和。当所训练矢量的误差平方和小于训练精度 10^{-4} 时,训练则停止,否则在输出层计算误差变化,且采用反向传播学习规则来调整权值,并重复此过程。当BP网络完成训练后,输入1个不是训练集中的矢量,BP神经网络将以泛化方式给出输出结果。BP神经网络的误差收敛曲线如图2所示。

(2)BP神经网络性能测试曲线。



如图3所示,函数 postreg 返回了 3 个值, m 和 b 分别表示最优化回归直线的斜率和 y 轴截距,当 $m=1, b=0$ 时, BP神经网络输出与目标输出完全相同,此时的BP神经网络具有最优的性能。 r 表示BP神经网络输出与目标输出的相关系数,它越接近于 1,表示BP神经网络输出与目标输出越接近, BP神经网络性能越好。最优回归直线与理想回归直线(网络输出等于目标输出时的直线)几乎完全重合,说明BP神经网络具有非常好的性能^[7]。

(3)BP神经网络预测与验证数据对比分析。



将验证样本数据表中的验证数据代入已经训练好的数控铣削BP神经网络进行验证。主轴转速样本数据和预测数据对比分析、进给速度样本数据和预测数据对比分析分别如图4、5所示。

通过图4、图5可知,试验验证样本数据和BP神经网络预测数据基本吻合,人工神经网络属于一个全局优化的过程,有个别预测值大于或者小于验证样本数据值,这属于正常情况。

(4)BP网络预测精度。

表2给出了验证数据对主轴转速、进给速度和加工时间的预测值与绝对误差值。由表2可以看出,主轴转速最大绝对误差为 13.3%,主轴转速最小绝对误差为 0.19%,平均绝对误差为 5.51%;进给速度最大绝对误差为 28.21%,进给速度最小绝对误差为 0.39%,进给速度平均绝对误差为 3.64%;加工时间最大绝对误差为

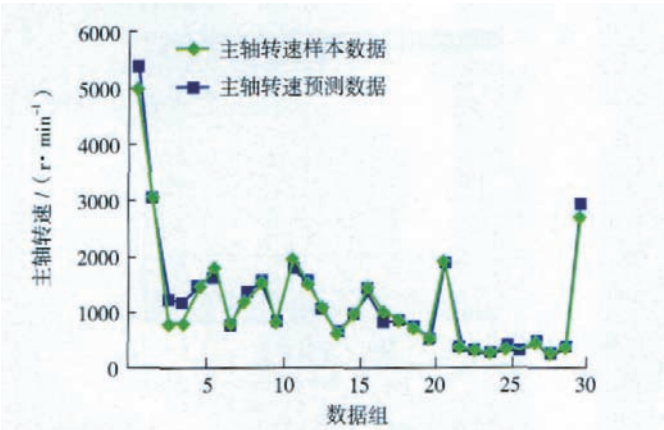


图4 主轴转速样本数据和预测数据对比分析
Fig.4 Analysis chart of contrasting spindle speed sample data with prediction data

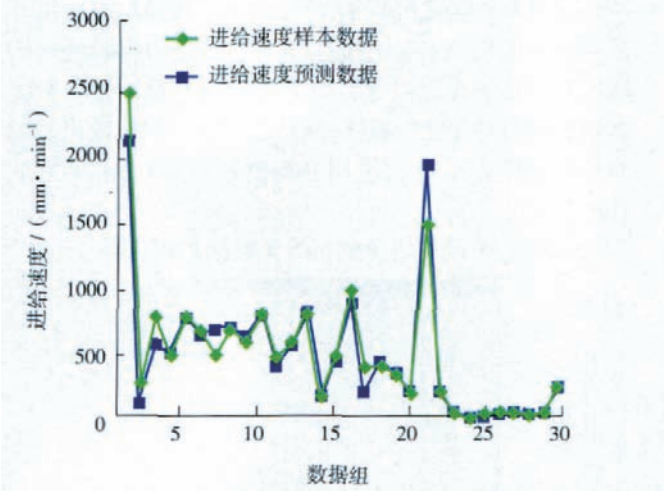


图5 进给速度样本数据和预测数据对比分析
Fig.5 Analysis chart of contrasting feed rate sample data with prediction data

表2 预测值与试验值误差比较

主轴转速			进给速度			加工时间		
预测值 / (r·min ⁻¹)	试验值 / (r·min ⁻¹)	绝对误差	预测值 / (mm·min ⁻¹)	试验值 / (mm·min ⁻¹)	绝对误差	预测值 / min	试验值 / min	绝对误差
5416.91	5000	0.0833	2148.55	2500	0.1635	98.85	84	0.1768
3047.27	3000	0.0157	234.05	260	0.1108	39.14	39	0.0037
816.18	800	0.0202	887.61	800	0.0987	4.70	4.8	0.0197
...								
210.90	200	0.0545	39.81	40	0.0047	137.36	130.8	0.0501
336.51	350	0.0385	59.33	60	0.0112	106.52	110.4	0.0351
2934.74	2700	0.0869	258.97	260	0.0039	39.31	39	0.0079
平均绝对误差		0.0551	平均绝对误差		0.0364	平均绝对误差		0.0389

20.10%, 加工时间最小绝对误差为 0.27%, 加工时间平均绝对误差为 3.89%

3 数控加工铣削参数优化系统的软件开发

以上述研究为基础构建了 DMC60H 数控机床铣削参数优选系统,其主要功能实现了 DMC60H 数控机床加工铝合金壳体类零件的切削参数优化选取,即输入刀具类型、刀具悬伸量、刀具直径、刀具孔径比、基本尺寸、切削宽度、切削深度、尺寸精度和表面粗糙度等工艺参数的期望值,应用加工参数优选模块,便可实现数控加工铣削参数优化选取,得到主轴转速和进给速度的优选值。数控加工铣削参数优化系统的主界面如图 6 所示。



图 6 数控加工铣削优化系统软件的主界面
Fig.6 Main interface of optimization system software for NC milling

界面左侧为加工要求输入区域,用户通过 3 个下拉式列表和 5 个文本框输入加工要求: 刀具类型、刀具直径、刀具悬伸量、基本尺寸、尺寸精度、表面粗糙度、切削宽度和切削深度。每个文本框的工具提示框显示出输入数据的有效范围,供用户参考。点击开始预测按钮之后,系统后台启动神经网络预测模块,从 MySQL 数据库中读取网络信息,进行 BP 神经网络计算后,结果在界面右侧显示。

4 结束语

经生产验证: 采用 BP 神经网络对数控加工铣削参数进行优化选择,可以有效提高 DMC60 数控机床的加工效率,实现数控铣削参数选取的科学化、合理化、规范化。在数控加工过程中用优化后的切削参数来代替经验切削参数,达到了提高加工效率、降低加工成本及获得高质量产品的目的,为完善企业的 CAM 系统中的参数优化部分做出了一份贡献,为企业创造了良好的经济效益。

(下转第 85 页)

切向切削力 F_x 受进给速度的影响较小。

另外,从图中可以发现,切深对切削力的影响最大。对于 F_x ,受转速和进给速度的影响极小,其变化主要来源于切深的变化。对于 F_y ,不仅切削力随着切深的增加而增加,同时当转速相同,切深 $A_p=6\text{mm}$ 时切削力与进给速度关系曲线要比切深 $A_p=2\text{mm}$ 时切削力与进给速度关系曲线更陡峭,也就是说切深的加大加大了切削力对进给速度的敏感性,进一步证明切深是影响切削力的主要因素。

2.3 刀具螺旋方向对棱边毛刺的影响

通过观察试验件发现刀具螺旋方向对表面毛刺有极大的影响。从图 8 可以看出,在左螺旋刃未加入切削时,切槽上棱边产生了大量毛刺,而当左螺旋刃加入切削时,切削出的槽上表棱边未产生毛刺,加工表面质量良好。其原因在于铣刀右螺旋刃切削时,铣刀对槽上棱边产生的力是向上的,从而导致了材料最表层纤维未能完全切断而产生毛刺;当左螺旋刃切削时,对槽上棱边产生的力是向下的力,能够完全切断表层纤维,如图 9 所示。因此推荐在碳纤维复合材料

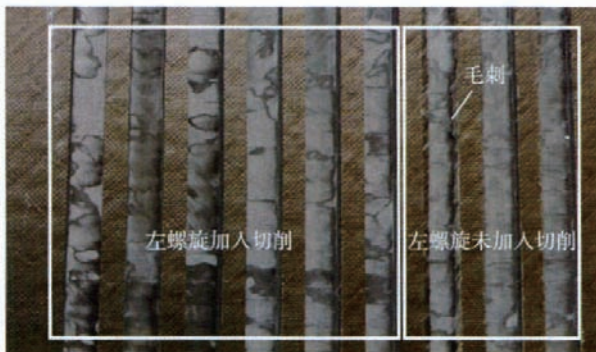


图 8 刀具不同螺旋方向切削刃切削毛刺对比

Fig.8 Comparison of burrs generated by different helix direction of cutting tool

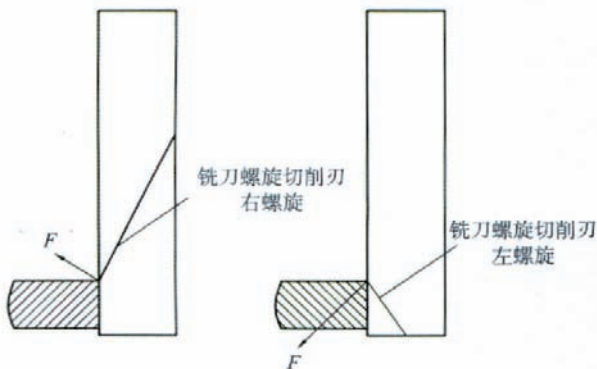


图 9 不同螺旋方向切削刃切削时工件受力图

Fig.9 Force on workpiece generated by different helix direction of cutting tool

铣削时,零件上表面以左螺旋刃切削,下表面以右螺旋刃切削。

3 结论

通过切削试验及回归分析,得出了该刀具切削碳纤维复合材料的经验公式:

$$F_x=29.798N^{-0.117} A_e^{0.687} f^{0.155},$$

$$F_y=113.234N^{-0.426} A_e^{0.616} f^{0.588}.$$

经验公式回归效果显著,可以作为该刀具进行碳纤维复合材料开槽加工的切削力预测公式。

经过对数据进行研究及分析,得到以下 5 点结论:

(1) 开槽铣削过程中铣削力随着切削参数的变化呈规律性变化,且以切深影响最大。

(2) 铣削力随着转速的增加而减小,但进给切向铣削力受转速变化影响极小。

(3) 铣削力随着进给速度的增加而增加,但进给切向铣削力受进给速度变化影响极小。

(4) 铣削力随着切深的增加而增加。切深的增加会提高切削力对进给速度的灵敏性。

(5) 铣削碳纤维复合材料时,工件上表面位置适用左螺旋加工,下表面位置适用右螺旋加工。

参考文献

- [1] 黄领才,刘秀芝.现代大飞机复合材料应用与制造技术浅析.航空制造技术,2008(10):46-48.
- [2] 杨乃宾,梁伟.大型民机机体结构用复合材料分析.航空制造技术,2009(5):68-70.
- [3] 陈绍杰.浅谈空客 A380 的复合材料应用.高科技纤维与应用,2008,4(33):1-3,24.

(责编 小城)

(上接第 58 页)

参考文献

- [1] 张慧萍.数控切削加工工艺参数及刀具运动轨迹的研究[D].哈尔滨:哈尔滨理工大学工学,2003.
- [2] 张立涛.基于神经网络的金属车削参数智能优化系统的研究与开发[D].太原:太原理工大学,2008.
- [3] 蔡安江,席洪波,郭师虹.电火花线切割加工参数智能自选系统研究.模具工业,2008,34(3):69-72.
- [4] 孟令锋,罗红波,邹云,等.基于 RGA 的铣削加工切削参数智能优化.工具技术,2006,40(5):39-41.
- [5] 赵小明.中间公差加工法的工艺研究.太原重型机械学院学报,2004(6):158-160.
- [6] Chmad A W,Bo-suk Y,Han T. Combination of independent component analysis and support vector machines for intelligent faults diagnosis of induction motors.Expert Systems with Applications, 2007(32):299-312.
- [7] 朱喜林,吴博达,武星星,等.BP 网络在优化机械加工参数中的应用.计算机集成制造系统,2004(6):1139-1143. (责编 良辰)