

基于 MATLAB 的铣削加工工艺参数优化

吴海江,葛茂杰,徐朋,潘晶,王雪峰

烟台龙源电力技术股份有限公司

摘要: 以钛合金件的铣削加工试验为前提,基于 MATLAB 开发平台,考虑表面粗糙度、金属去除率和铣削力,建立三种钛合金铣削优化模型。

关键词: 钛合金;MATLAB;铣削;多目标优化

中图分类号: TG115;TG61;TH161.3

文献标志码: A

Optimization of Milling Process Parameters Based on MATLAB

Wu Haijiang, Ge Maojie, Xu Peng, Pan Jing, Wang Xuefeng

Abstract: Based on the milling experiment of titanium alloy, the three optimization models of titanium alloy milling are built based on MATLAB by considering surface roughness, metal removal rate and milling force.

Keywords: titanium alloy; MATLAB; milling; multi-objective optimization

1 引言

加工厂对于钛合金的加工一般都是凭借经验或者自定义的切削参数来进行,这些经验公式往往需要大量的试验来获得。对于不同的工况(如钛合金薄壁件等),加工工艺不同,这对工艺编程人员以及机床操作人员等的水平要求非常高。而不合理的切削参数会造成数控机床利用率不高,限制加工效率^[1]。国内外研究人员相继提出各种加工参数优化的方法。张赟等^[2]利用粒子群算法在 MATLAB 上编程并优化切削用量;卢泽生等^[3]提出遗传算法更适用于粗糙度预测和切削用量的最优化;陈志同等^[4]提出一种基于工件特征的、可进化式、优化型切削参数数据库的概念和基本结构。

本文以钛合金件的铣削加工多目标优化为研究背景,利用 MATLAB 的强大功能,借助试验研究,为选择合理的铣削参数提供了可靠的理论依据,从而实现铣削用量的优化技术,进而保证加工质量。

2 钛合金铣削试验设计

轴向切深 a_p 、切削速率 v_c 、每齿进给量 f_z 、径向切深 a_e 作为 4 个试验因素,采用宁江 THMC6350 加工中心,钛合金加工刀具的切削力测量系统由 YDCB-III05 高频响三维动态铣削力压电式测力仪、YE5850 动态应变放大器、PCI-9118 数据采集装置、GDFMS 数据分析系统及计算机组成,工件为钛合金件。

钛合金铣削加工刀具测试选用 15 种整体式硬

质合金铣刀,刀具型号见表 1。

表 1 测试用整体式硬质合金铣刀刀具类型

序号	刀具/刀柄型号	备注	接口类型
1	DXTIZY4GWT/12 * 18 * 35R3	整体式	圆柱 12
2	DXTIZY4GWT/12 * 36 * 60R3	整体式	圆柱 12
3	JDXTIZY4GNT/12 * 24 * 36R3	整体式	圆柱 12
4	JDXTIZY4GNT/12 * 36 * 60R3	整体式	圆柱 12
5	DXTIZY4GWT/16 * 24 * 50R3	整体式	圆柱 16
6	JDXTIZY4GNT/16 * 24 * 50R3	整体式	圆柱 16
7	DXTIZY5GWT/20 * 40 * 60R3	整体式	圆柱 20
8	DXTIZY5GWT/20 * 40 * 50R0	整体式	圆柱 20
9	DXTIZY5GNT/20 * 40 * 80R1	整体式	圆柱 20
10	JDXTIZY4GWT/20 * 40 * 70R0	整体式	圆柱 20
11	JDXTIZY5GNT/20 * 40 * 60R3	整体式	圆柱 20
12	JDXTIZY5GNT/20 * 40 * 50R0	整体式	圆柱 20
13	JDXTIZY5GNT/20 * 40 * 80R1	整体式	圆柱 20
14	DXTIZY5GNT/25 * 50 * 65R3	整体式	圆柱 25
15	JDXTIZY5GNT/25 * 50 * 65R3.1	整体式	圆柱 25

3 基于 MATLAB 的铣削用量优化数学模型

多目标优化需同时考虑表面粗糙度、金属去除率和铣削力,由于表面粗糙度和铣削力要求在工艺参数范围内达到最小值,而金属去除率则要求在工艺参数范围内达到最大值。所以不可能有一组工艺参数值能同时满足三个目标达到最优值,在此只能通过优化手段取最佳的工艺参数值。利用 MATLAB 中的 fgoalattain 函数,其优化算法如图 1 所示。

对于每种刀具而言,四项工艺参数可以随意组合优化。因此,针对每种优化类型利用 MATLAB 开发出简单的优化程序,该程序有 GUI 界面,输入约束参数,便可以得到相应的优化参数。

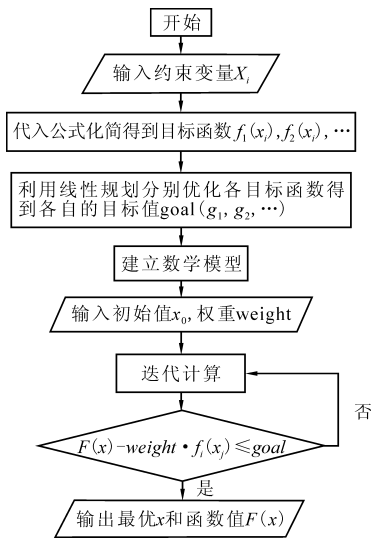


图1 多目标优化算法流程

3.1 铣削用量优化模型1

按照图1流程所表达的优化算法,通过约束参数 a_p 和 a_e 以优化参数 f_z 和 V_c 。

优化数学模型采用表面粗糙度的经验公式、金属去除率的计算公式和切削力的经验公式表示为

$$\mu_A = a_1 V_c^{b_1} f_z^{c_1} a_p^{d_1} a_e^{e_1} \quad (1)$$

$$Q = \frac{1000z}{\pi D} f_z a_p a_e V_c \quad (2)$$

$$F = a_2 V_c^{b_2} f_z^{c_2} a_p^{d_2} a_e^{e_2} \quad (3)$$

式中, $a_1, b_1, c_1, d_1, e_1, z, D, a_2, b_2, c_2, d_2, e_2, a_p, a_e$ 已知, V_c 和 f_z 未知。

对式(1)变形并取对数可得

$$\ln \mu_A = mm1 + b_1 \ln V_c + c_1 \ln f_z \quad (4)$$

式中, $mm1 = \ln a_1 + d_1 \ln a_p + e_1 \ln a_e$ 。

令 $\ln V_c = x_1, \ln f_z = x_2$, 则式(4)可化简为

$$\ln \mu_A = mm1 + f_1(x_1, x_2) \quad (5)$$

式中, $f_1(x_1, x_2) = b_1 x_1 + c_1 x_2$ 。

欲使 μ_A 有最小值, 即 $\ln \mu_A$ 有最小值, 则 $f_1(x_1, x_2)$ 有最小值。

对式(2)变形取对数得

$$\ln Q = mm2 + \ln V_c + \ln f_z \quad (6)$$

式中, $mm2 = \ln[(1000z)/(\pi D)] + \ln a_p + \ln a_e$ 。

式(6)可以化简为

$$\ln Q = mm2 - f_2(x_1, x_2) \quad (7)$$

式中, $f_2(x_1, x_2) = -x_1 - x_2$ 。

欲使 Q 有最大值, 即 $\ln Q$ 有最大值, 则 $f_2(x_1, x_2)$ 有最小值。对式(3)变形取对数得

$$\ln F = mm3 + b_2 \ln V_c + c_2 \ln f_z \quad (8)$$

式中, $mm3 = \ln a_2 + d_2 \ln a_p + e_2 \ln a_e$ 。

式(8)可以化简为

$$\ln F = mm3 + f_3(x_1, x_2) \quad (9)$$

式中, $f_3(x_1, x_2) = b_2 x_1 + c_2 x_2$ 。

使 F 有最小值, 即 $\ln F$ 有最小值, 则 $f_3(x_1, x_2)$ 有最小值。

通过计算式(5)、式(7)和式(9), 可得优化模型1中设计变量为 $x_1[\ln(V_c)]$ 和 $x_2[\ln(f_z)]$, 采用目标函数 $\text{Min}f_1(x_1, x_2) = b_1 x_1 + c_1 x_2$ 、 $\text{Min}f_2(x_1, x_2) = -x_1 - x_2$ 和 $\text{Min}f_3(x_1, x_2) = b_2 x_1 + c_2 x_2$, 其约束函数为 $m \leq x_1 \leq n$ 和 $l \leq x_2 \leq r$ 。

3.2 铣削用量优化模型2

通过约束参数 a_p 来优化参数 f_z, V_c 和 a_e 。对式(1)变形并取对数可得

$$\ln \mu_A = mm1 + b_1 \ln V_c + c_1 \ln f_z + e_1 \ln a_e \quad (10)$$

式中, $mm1 = \ln a_1 + d_1 \ln a_p$ 。

令 $\ln V_c = x_1, \ln f_z = x_2, \ln a_e = x_4$, 则式(10)可化简为

$$\ln \mu_A = mm1 + f_1(x_1, x_2, x_4) \quad (11)$$

式中, $f_1(x_1, x_2, x_4) = b_1 x_1 + c_1 x_2 + e_1 x_4$ 。

使 μ_A 有最小值, 即 $\ln \mu_A$ 有最小值, 则 $f_1(x_1, x_2, x_4)$ 有最小值。

对式(2)变形取对数得

$$\ln Q = mm2 + \ln V_c + \ln f_z + \ln a_e \quad (12)$$

式中, $mm2 = \ln[(1000z)/(\pi D)] + \ln a_p$ 。

式(12)可以化简为

$$\ln Q = mm2 - f_2(x_1, x_2, x_4) \quad (13)$$

式中, $f_2(x_1, x_2, x_4) = -x_1 - x_2 - x_4$ 。

使 Q 有最大值, 即 $\ln Q$ 有最大值, 则 $f_2(x_1, x_2, x_4)$ 有最小值。

对式(3)变形取对数得到

$$\ln F = mm3 + b_2 \ln V_c + c_2 \ln f_z + e_2 \ln a_e \quad (14)$$

式中, $mm3 = \ln a_2 + d_2 \ln a_p$ 。

式(14)可以化简为

$$\ln F = mm3 + f_3(x_1, x_2, x_4) \quad (15)$$

式中, $f_3(x_1, x_2, x_4) = b_2 x_1 + c_2 x_2 + e_2 x_4$ 。

使 F 有最小值, 即 $\ln F$ 有最小值, 则 $f_3(x_1, x_2, x_4)$ 有最小值。

通过式(11)、式(13)和式(15)可得: 优化模型2中设计变量为 $x_1[\ln(f_z)]$ 、 $x_2[\ln(V_c)]$ 和 $x_4[\ln(a_e)]$, 采用目标函数 $\text{Min}f_1(x_1, x_2, x_4) = b_1 x_1 + c_1 x_2 + e_1 x_4$ 、 $\text{Min}f_2(x_1, x_2, x_4) = -x_1 - x_2 - x_4$ 和 $\text{Min}f_3(x_1, x_2, x_4) = b_2 x_1 + c_2 x_2 + e_2 x_4$, 其约束函数为 $m \leq x_1 \leq n$ 、 $l \leq x_2 \leq r$ 和 $s \leq x_4 \leq z$ 。

3.3 铣削用量优化模型3

通过约束参数 a_e 来优化参数 f_z 、 V_c 和 a_p 。

对式(1)变形并取对数可得

$$\ln\mu_A = mm1 + b_1 \ln V_c + c_1 \ln f_z + d_1 \ln a_p \quad (16)$$

式中, $mm1 = \ln a_1 + e_1 \ln a_e$ 。

令 $\ln V_c = x_1$, $\ln f_z = x_2$, $\ln a_p = x_3$, 则式(15)可化简为

$$\ln\mu_A = mm1 + f_1(x_1, x_2, x_3) \quad (17)$$

式中, $f_1(x_1, x_2, x_3) = b_1 x_1 + c_1 x_2 + d_1 x_3$ 。

使 μ_A 有最小值, 即 $\ln\mu_A$ 有最小值, 则 $f_1(x_1, x_2, x_3)$ 有最小值。

对式(2)变形取对数得到

$$\ln Q = mm2 + \ln V_c + \ln f_z + \ln a_p \quad (18)$$

式中, $mm2 = \ln[(1000z)/(\pi D)] + \ln a_e$ 。

式(18)可以化简为

$$\ln Q = mm2 - f_2(x_1, x_2, x_3) \quad (19)$$

式中, $f_2(x_1, x_2, x_3) = -x_1 - x_2 - x_3$ 。

使 Q 有最大值, 即 $\ln Q$ 有最大值, 则 $f_2(x_1, x_2, x_3)$ 有最小值。

对式(3)变形取对数得

$$\ln F = mm3 + b_2 \ln V_c + c_2 \ln f_z + d_2 \ln a_p \quad (20)$$

式中, $mm3 = \ln a_2 + e_2 \ln a_e$ 。

式(20)可以简化为

$$\ln F = mm3 + f_3(x_1, x_2, x_3) \quad (21)$$

式中, $f_3(x_1, x_2, x_3) = b_2 x_1 + c_2 x_2 + d_2 x_3$ 。

欲使 F 有最小值, 即 $\ln F$ 有最小值, 则 $f_3(x_1, x_2, x_3)$ 有最小值。通过式(17)、式(19)和式(21)可得优化模型3中, 设计变量为 $x_1[\ln(f_z)]$ 、 $x_2[\ln(V_c)]$ 和 $x_3[\ln(a_p)]$, 采用目标函数 $\text{Min}f_1(x_1, x_2, x_3) = b_1 x_1 + c_1 x_2 + d_1 x_3$ 、 $\text{Min}f_2(x_1, x_2, x_3) = -x_1 - x_2 - x_3$ 和 $\text{Min}f_3(x_1, x_2, x_3) = b_2 x_1 + c_2 x_2 + d_2 x_3$, 其约束函数为 $m \leq x_1 \leq n$ 、 $l \leq x_2 \leq r$ 、 $q \leq x_3 \leq p$ 。

4 优化程序的编制

利用 MATLAB 软件, 建立铣削刀具工艺参数优化程序, 设计三种优化模型选择项: 优化模型1、优化模型2和优化模型3。

模型中, a_p 为轴向切深, a_e 为径向切深, V_c 为铣削速度, f_z 为每齿进给量, Q 为优化后的金属去除率, μ_A 为优化后的表面粗糙度, F 为优化后的铣

削力。

模型的操作说明如下:

①打开界面, 将会出现 GUI 界面;

②以优化模型2为例, 在界面左上角选择优化模型2, 弹出 optimize2 界面。每选好一把刀具, 中间下方会显示该刀具的型号, 该 GUI 集成 23 把铣刀的工艺参数优化模型, 每把刀对应有三种优化类型, 如后期需要, 还可继续添加刀具;

③可根据具体加工工艺的需要, 选择一种优化类型, 本优化程序中有三种优化类型, 如后期需要, 还可以继续添加或改变优化类型;

④每种优化类型需要输入已确定好的工艺参数, 点击“输出”, 就可以立即得到优化后的工艺参数及优化目标值;

⑤每次要重新优化时, 单击右下角的“重置”, 则可进行新的优化。

5 结语

本文通过钛合金工件的铣削试验, 利用 MATLAB 中的 fgoalattain 函数, 考虑表面粗糙度和铣削力要求在工艺参数范围内达到最小值, 而金属去除率则要求在工艺参数范围内达到最大值的基础上, 建立三种优化模型, 实际生产中可根据具体加工工艺的需要选择不同的优化模型。

参考文献

- [1] 刺朝阳, 魏娟, 王广通. 基于 MATLAB 遗传算法的数控铣床切削参数优化[J]. 组合机床与自动化加工技术, 2016(1): 39-41.
- [2] 张赞, 董长双. 基于 MATLAB 粒子群算法的切削用量优化[J]. 机械工程与自动化, 2011(2): 119-121.
- [3] 卢泽生, 王明海. 基于遗传算法的超精密切削表面粗糙度预测模型参数辨识及切削用量优化[J]. 机械工程学报, 2005, 41(11): 158-162.
- [4] 陈志同, 陈五一, 林东. 优化型切削参数数据库的数据结构[J]. 计算机集成制造系统, 2007, 13(11): 2184-2188.

第一作者: 吴海江, 工程师, 烟台龙源电力技术股份有限公司, 264006 山东省烟台市

First Author: Wu Haijiang, Engineer, Yantai Longyuan Power Technology Co., Ltd., Yantai, Shandong 264006, China