

ZK514 型卷筒制动盘表面切削参数优化研究

张南洋

(江苏安全技术职业学院 机械工程学院, 江苏 徐州 221000)

摘要:在双梁桥式起重机制动盘生产过程中,由于切削参数设置不合理,导致生产效率较低。围绕 ZK514 型制动盘零件加工,研究切削参数优化,运用现代切削理论、有限元仿真技术、数学建模与优化分析方法,寻求切削参数的最优组合,在保证加工质量的基础上,有效提高了加工效率。

关键词:起重机;制动盘;切削参数优化;响应曲面法;数学建模

中图分类号:TH215 **文献标志码:**B **文章编号:**1671-5276(2020)06-0150-03

Surface Cutting Parameters Optimization of ZK514 Reel Brake Disc

ZHANG Nanyang

(School of Mechanical Engineering, Jiangsu College of Safety Technology, Xuzhou 221000, China)

Abstract:In the production process of the brake disc, due to the unreasonable setting of its cutting parameters, the production efficiency is very low. To optimize the cutting parameters of ZK514 brake disc parts, the modern cutting theory and FEM simulation are applied to the mathematical modelling and optimization, which are used for the cutting parameters optimization, thus improving the production efficiency and product quality.

Keywords:crane; brake disc; cutting parameters optimization; response surface methodology; mathematical modeling

0 引言

图 1 是常州某公司 QE 型双梁桥式起重机上的 ZK514 型卷筒制动盘,作为安全制动器的制动盘使用,在同类型中属于中批量生产对象,直径为 910 mm,切削用时约 6 h,其中车削加工占 70%,磨削占 30%。车削参数的选用往往依据个人经验来选取,导致刀具过早磨损或不能充分发挥机床和刀具的生产潜力,从而生产效率较低^[1]。



图 1 ZK514 型卷筒制动盘

1 卷筒制动盘正交回归试验分析试验研究

无论是试制一种新产品还是改革一项旧工艺,都要通过实验来摸索。正交试验法是通过预先设计好的“正交表”来安排试验^[2]。结合单因素试验的结论,在刀具和材

料都固定的情况下,本试验选用 $L_9(3^4)$ 正交表进行正交多项式回归试验。 A 、 B 、 C 分别代表主轴转速、进给速度以及背吃刀量,因素水平表如表 1 所示。

表 1 试验各因子水平

因子水平	$A/(r/min)$	$B/(mm/r)$	C/mm
1	40	0.16	0.5
2	60	0.28	1.0
3	80	0.42	1.5

利用表 1 提供的数据源安排正交表 $L_9(3^4)$,得到试验数据如表 2 所示,其中 T_m 代表切削时间。为进一步分析各切削用量对制动盘表面粗糙度的影响关系,得出结果分析表,如表 3 所示。

表 2 试验各因子的水平

试验号	$A_1/(m/min)$	$B/(mm/r)$	C/mm	$R_a/\mu m$	T_m/min
1	1	1	1	18.5	30
2	1	2	2	21.2	25
3	1	3	3	24.8	20
4	2	1	3	17.2	28
5	2	2	1	18.6	26
6	2	3	2	20.4	21
7	3	1	2	15.2	26
8	3	2	3	17.8	17
9	3	3	1	21.2	30

作者简介:张南洋(1985—),男,江苏徐州人,讲师,硕士,研究方向为机械加工工艺。

表 3 正交试验数据结果分析

项目	$A_1/(m/min)$	$B/(mm/r)$	C/mm
均值 1	21.50	16.97	19.43
均值 2	18.73	19.20	18.93
均值 3	18.07	22.13	19.93
极差	3.43	5.16	1.00

由表 2、表 3 可知,切削用量彼此之间相互制约而又相互关联,不同切削用量组合,得到不同制动盘表面粗糙度值。当切削用量数值的范围确定后,制动盘表面粗糙度数值整体变化不大。另外通过对极差分析结果可知,背吃刀量对制动盘表面粗糙度影响最小,进给量的影响最大。增大进给量,制动盘表面粗糙度增大,表面质量降低,切削时间减少;降低切削速度,切削时间增多,制动盘表面粗糙度增大,表面质量降低。这也是制动盘生产中,生产效率

表 4 回归参数

	Coefficients			P-value		
Intercept	18.464 14	2.297 884	8.035 279	0.000 483	12.557 237 34	24.371 03
XVariable1	-0.858 3	0.026 473	-3.242 25	0.022 892	-0.153 885 434	-0.017 78
XVariable2	24.082 28	5.158 901	4.668 103	0.005 492	10.820 901 7	37.343 66
XVariable3	0.5	1.058 937	0.472 172	0.656 693	-2.222 0840 08	3.222 084

由表 4 可得,估算的回归方程即制动盘表面粗糙度与切削用量的函数关系式,如公式(1)所示。

$$R_a = 10^{18.45} v_c^{-0.858} f_n^{24.082} a_p^{0.5} \quad (1)$$

其中: v_c 、 f_n 、 a_p 分别代表切削速度、进给速度和背吃刀量。

3 制动盘切削参数优化分析

最优化技术需要数学模型和优化方法,采用响应曲面法(也称回归设计)可对通过多元回归法建立的制动盘表面粗糙度模型和金属去除率模型进行响应分析,从而确定最优区域,该方法可直观地获取到最佳响应值进而获取到切削用量的最优值^[4]。

通过对公式(1)表面粗糙度回归模型的分析,在 MATLAB 软件中,得出各自变量和因变量之间的响应曲面以及相应等值线图。进一步分析各切削用量与制动盘表面粗糙度的关系,该模型的适应条件如表 5 所示。

表 5 独立变量的范围

切削速度/ (m/min)	进给量/ (mm/r)	背吃刀量/ mm
50~200	0.05~0.40	0.5~30

采用 $\text{surf}(x_1, x_2, y)$ 函数,得到 3 个独立变量彼此之间与制动盘表面粗糙度之间的响应关系,如图 2 所示。

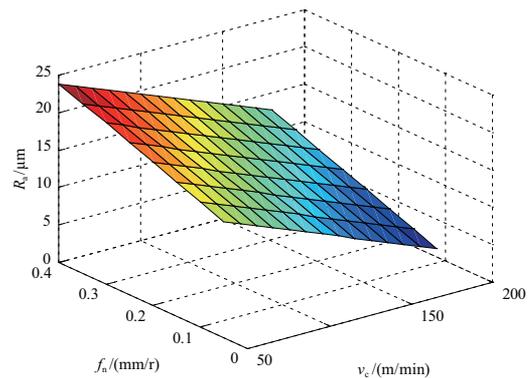
在本文中,目标函数就是由制动盘表面表面粗糙度和制动盘生产率两个函数组成,材料去除率表示单位时间内材料的去除量,单位为 cm^3/min 。因此,对于制动盘加工与车削加工中切削用量的关系式,如公式(2)所示。

$$Q = v_c \times f_n \times a_p \quad (2)$$

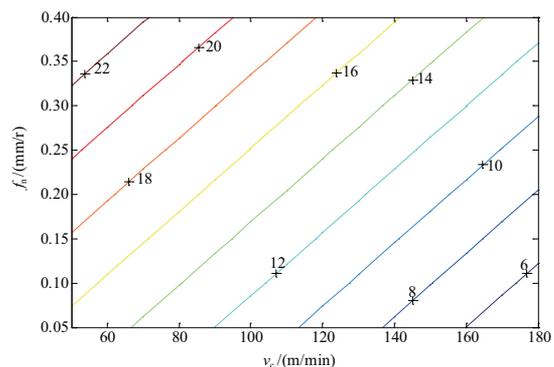
与加工质量之间存在矛盾的原因之一。

2 制动盘表面粗糙度回归模型的建立

在制动盘加工中,影响制动盘表面粗糙度的因素很多。各因素对制动盘表面粗糙度影响各不相同,彼此间还相互影响,很难构建解析计算模型。回归分析方法的引入,不仅可以揭示切削用量对制动盘表面粗糙度的影响规律,也可以在零件切削加工前,通过回归方程对制动盘表面粗糙度进行预测和控制。根据文献研究,制动盘表面粗糙度与切削用量存在指数关系^[3],参照表 2 回归试验的数据,借助 Microsoft Office Excel 2007 回归分析功能进行求解。参数加载完毕后,系统会自动生成 3 张表,其中,第 3 张表是“回归参数”,如表 4 所示。



(a) 切削用量与表面粗糙度的响应曲面图



(b) 切削用量与表面粗糙度的等值线图

图 2 切削用量(v_c 、 f_n)与制动盘表面粗糙度 R_a 之间的关系 ($a_p = 1 \text{ mm}$)

依据切削用量粗加工中选择原则以及切削用量的选

取范围,把背吃刀量作为已知量,利用 MATLAB 软件结合公式(1)和公式(2)编制优化程序,得出制动盘表面粗糙度和制动盘材料去除率的等值线,如图3所示。

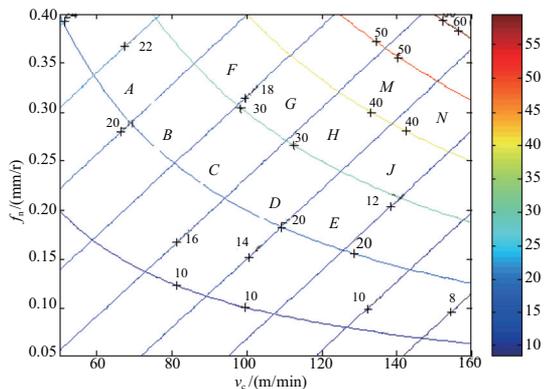


图3 制动盘表面粗糙度 R_a 与材料去除率 Q 的等高线图

D 、 H 点是 $R_a = 14 \mu\text{m}$ 时分别与等高线 $Q = 20 \text{ cm}^3/\text{min}$ 和 $Q = 30 \text{ cm}^3/\text{min}$ 相交点,这表明使用两组参数在制动盘加工中都能获得相同的 R_a ,但明显 H 点的材料去除率要比 D 点的材料去除率高,即剪效率高,即 H 点的切削参数优于 D 点的切削参数组合。

针对该企业目前对卷筒制动盘粗加工后零件表面粗糙度控制在 $12 \mu\text{m}$ 内、尽可能提高零件生产效率这一要求,结合图3可得出最优的一组切削参数组合是 N 点,所对应的切削用量分别为切削速度 $v_c = 156 \text{ m/min}$,进给量 $f_n = 0.26 \text{ mm/r}$,背吃刀量 $a_p = 1 \text{ mm}$ 。

4 结语

对制动盘进行验证加工,采用优化后的切削参数组合与经验切削参数比较,在保证最低制动盘表面粗糙度的情况下,均能不同程度提高材料去除率,缩短切削时间。这也验证了本文在制动盘切削加工中对切削参数的优化是可行的,能在保证最低制动盘表面粗糙度质量的同时,降低切削时间,提高生产效率。

参考文献:

- [1] 袁琳. 高速重载制动盘挤压切削表面质量试验研究[D]. 大连:大连交通大学,2019.
- [2] 王永鑫,张昌明. 300M 超高强度钢车削加工试验与工艺参数优化研究[J]. 陕西理工大学学报,2019(4):15-21.
- [3] 闫存富,刘超,刘军. 45#调质钢数控车削工艺参数优化研究[J]. 组合机床与自动化加工技术,2018(2):128-130.
- [4] 蔡霏,何强,冯丰,等. 响应曲面法优化球墨铸铁切削参数的研究[J]. 机械制造与自动化,2019,48(6):75-77,81.

收稿日期:2020-08-07

(上接第149页)

1) 在一个大气压和室温条件下,喷雾流量在 $8 \text{ L/h} \sim 17 \text{ L/h}$ 范围内,换热系数随着流量的增加而增大,表面温度随着流量的增加而减小。当热流密度为 200 W/cm^2 时,流量为 17 L/h 的换热系数比 8 L/h 提高了 60% ,表面温度降低了 35% 。

2) 在加热功率和喷雾流量一定的条件下,喷雾水温在 $15^\circ\text{C} \sim 45^\circ\text{C}$ 范围内,表面温度和换热系数都随着入口水温的升高而升高,但是在 25°C 时表面温度并没有随着入口温度的升高而升高,反而出现一个最低点,即在 25°C 时换热系数增大,表面温度却降低,是需要的最佳入口温度。

3) 喷雾腔内压力在 $40 \sim 100 \text{ kPa}$ 范围内时,换热系数随着腔内压力逐渐减小而增大,表面温度随着腔内压力逐渐减小而降低,当热流密度为 200 W/cm^2 时,系统压力为 40 kPa 的换热系数比 100 kPa 下的换热系数提高了 50% ,表面温度降低了 23% 。这是因为系统压力的减小,使得喷雾冷却在更低的表面温度下进入两相区,从而利用工质水的潜热来吸走大量的热量。

4) 常压下,在热流密度 $< 200 \text{ W/cm}^2$ 时,脉冲喷雾的换热系数小于连续喷雾,当热流密度 $> 200 \text{ W/cm}^2$ 时,脉冲喷雾的换热系数大于连续喷雾。

参考文献:

- [1] 刘妮,李丽荣,黄千卫,等. 喷雾参数对喷雾冷却换热特性影响的实验研究[J]. 制冷学报,2016(5):93-99.
- [2] 娄佳亮. 低压环境中的喷雾冷却实验测量与理论研究[D]. 哈尔滨:哈尔滨工业大学,2014.
- [3] PAVLOVA A A, OTANI K, AMITAY M. Active performance enhancement of spray cooling[J]. International Journal of Heat and Fluid Flow, 2008, 29(4): 985-1000.
- [4] 缪佳,马万太. 不同结构的喷射成形雾化器雾化效果研究[J]. 机械制造与自动化,2018,47(1):114-117.
- [5] 钱春潮,徐洪波,邵双全,等. R134a 喷雾冷却系统换热性能研究[J]. 制冷学报,2015(4):1-6.
- [6] 黄龙,王瑜,蒋彦龙,等. 微槽道表面喷雾冷却的实验研究[J]. 制冷学报,2018(4):81-88.
- [7] 陈东芳,唐大伟,胡学功. 流量、换热表面方向对光滑表面喷雾冷却的影响[J]. 工程热物理学报,2010, V31(7):1167-1170.
- [8] MARCOS A, CHOW L C, DU J H, et al. Spray cooling at low system pressure[J]. Annual IEEE Semiconductor Thermal Measurement and Management Symposium, 2002(1):169-175.

收稿日期:2019-11-15