

方坯修磨机倒角功能与磨头控制的研究

祖文君¹ 张仕龙¹ 汪聚勇¹ 刘德文² 李 磊²

1. 首钢贵阳特殊钢有限责任公司 贵州 贵阳 550201

2. 贵州贵钢设备工程有限责任公司 贵州 贵阳 550201

摘要: 随着工业的发展, 客户对产品的要求越来越高, 贵钢作为特殊钢企业, 多种特殊钢坯都要经过表面修磨, 才能进入轧制工序。方坯修磨机作为连铸坯修磨的重要设备, 磨头是修磨机的核心部件, 其控制性能影响铸坯的修磨质量。

本文以贵钢MG20-H6-6方坯修磨机为研究对象, 对磨头倒角功能、磨头控制进行相关研究, 通过理论分析、数据计算和试验验证, 实现方坯修磨机在倒角时的功能优化, 确保倒角质量。数据研究采用软件Minitab分析, 得出模拟方程及最优解。

关键词: 方坯修磨机; 倒角; 磨头控制; Minitab

前言

在钢材生产过程中, 为了保证其成材率, 在轧制或锻造之前需对坯料表面的氧化皮、脱碳层和缺陷(夹渣、裂纹、折叠、角部裂纹等)进行清理, 方坯修磨机就是为这一工艺过程设计的设备。根据缺陷的情况, 修磨方式可分为全磨、倒角和局部修磨, 本文主要研究倒角功能。

1 方坯修磨机倒角功能介绍

方坯修磨机的基本工作原理为: 主电机带动砂轮旋转, 砂轮在加载液压缸的作用下上下摆动。修磨时使砂轮压下, 而整个加载机构在平移液压缸的作用下沿横梁左右运动实现横向进给, 使坯料在整个宽度上均能得到修磨。此外, 坯料由台车带动沿坯料长度方向前后往复运动实现纵向进给, 完成纵向长度的修磨^[1]。

倒角功能中, 磨头的工作原理不变, 只是台车在夹持钢坯时, 钢坯棱角在正上方, 只需要对钢坯的四个棱边进行修磨, 去除棱边, 形成倒角面(45°), 倒角面的修磨宽度在10mm-15mm。

2 磨头倒角缺陷介绍

2.1 倒角面宽度不达标

在倒角过程中, 由于砂轮进给量或修磨道次不合适, 造成倒角面过窄或过宽, 未在宽度标准10mm-15mm范围内。常见的修磨缺陷为倒角面过窄, 主要因为进给量小、修磨道次少造成。

2.2 产生毛刺

倒完角后, 倒角面与铸坯面的棱边处出现参差不齐的飞边, 如图2-1所示, 毛刺的存在会导致铸坯在轧制过程中出现结疤缺陷。由于使用的砂轮片粒度、铸坯材料硬度等原因, 在倒角过程中, 棱边处常常会出现毛刺。

本文主要的研究方向就是如何在现有条件下(不改变砂轮片粒度)解决倒角缺陷问题。本文以12L14易切钢, 160*160方坯为研究对象。

3 方案研究

3.1 影响倒角的主要因子

a. 比例减压阀的压力设定值

磨头升降控制是通过比例减压阀来实现的, 压下力为0.75kN~12kN, 使磨头在钢坯起伏不平的表面上保持恒定的压下力。因此, 可通过调整比例减压阀的压力设定值来调节磨头的压下力, 即可调整每次的修磨量。通常, 考虑到安全因素, 比例减压阀的压力设定值不能过大; 考虑到修磨效率, 比例减压阀的压力设定值也不宜过小。根据以上要求, 一般在修磨时每道次的修磨量不宜超过2mm(设计的修磨量为0.5mm-3mm), 倒角的道次在每个角3-5次^[2]。

b. 砂轮的线速度

MG20-H6-6方坯修磨机的磨头砂轮由160KW的变频电机驱动, 通过变频器中频率的调整实现砂轮线速度的变化。一般线速度越大, 每次的修磨量越大, 但不宜超过80m/s。通过调整频设定值, 可以改变砂轮的线速度。

c. 台车沿钢坯长度方向的运动速度

台车沿钢坯长度方向的运动即钢坯的运动速度, 是通过台车上3台15KW变频电机来实现, 电机可以调速及正反转, 实现台车的往复运动, 台车的移动速度在10~40m/min可调。一般情况下, 台车的移动速度越快, 每次的修磨量越大。

3.2 改进思路

根据以上影响因子, 收集相关数据, 利用Minitab软

件,分析修磨量与因子之间的关系,建立方程,通过方程寻找最优解^[3]。

因本文研究的台车往复运动频繁,台车的故障率高,频繁调整台车速度设定值可能更容易导致台车电机故障,因此本次对钢坯倒角的改进暂不考虑台车沿钢坯长度方向的运动速度,速度设定值还是原来的22m/min。

3.3 建立模型

a. 因变量(输出)、自变量(输入)及其数据类型的确定

因变量:每道次的修磨量—y,为连续型数据

自变量:比例减压阀的压力设定值—x1,为连续型数据

磨头电机频率设定值—x2,为连续型数据

根据六西格玛管理,结合因变量、自变量的数据类型,应该建立二元回归分析模型。

b. 数学模型

二元回归分析模型的一般表达式为:

$$y = a + bx_1 + cx_1^2 + dx_1^3 + ex_2 + fx_2^2 + gx_2^3 + hx_1x_2 + ix_1^2x_2 + jx_1x_2^2 \dots$$

为简化计算,通常不考虑三次以上的关系,模型可简化为:

$$y = a + bx_1 + cx_1^2 + dx_2 + ex_2^2 + fx_1x_2 \quad (1)$$

式中,a、b、c、d、e、f均为常数

4 实验设计

4.1 实验的基本方法

分别调整比例减压阀的压力设定值、电机的频率设定值,进行倒角修磨,用游标卡尺测量修磨量。为保证磨头运行安全,防止砂轮爆片,压力设定值和频率设定值不宜调整过大(压力设定值:2-4.5MPa;频率设定值:45-55Hz)。测量出多组实验数据,部分数据见表1。注:本次实验以12L14易切钢,断面规格为160*160为实验对象^[4]。

4.2 数据分析

由于比例减压阀的压力设定值与输出值是线性关系,因此不必考虑x1的二次项,(1)式可化为:

$$y = a + bx_1 + cx_2 + dx_2^2 + ex_1x_2 \quad (2)$$

只要通过Minitab的回归分析,即可建立关系式,即得到常数a、b、c、d、e的数值。

表1 修磨量实验测量数值表(部分)

修磨量mm	压力设定值MPa	磨头电机速度给定值Hz	修磨量mm	压力设定值MPa	磨头电机速度给定值Hz	修磨量mm	压力设定值MPa	磨头电机速度给定值Hz
2.62	4.3	55	0.62	2.3	53	1.06	3.3	48
2.18	3.8	55	2.00	4.3	50	0.72	2.8	48
1.74	3.3	55	1.66	3.8	50	0.36	2.3	48
1.30	2.8	55	1.22	3.3	50	1.48	4.3	45
0.84	2.3	55	0.74	2.8	50	1.16	3.8	45
2.36	4.3	53	0.40	2.3	50	0.84	3.3	45
1.92	3.8	53	1.74	4.3	48	0.52	2.8	45
1.48	3.3	53	1.40	3.8	48	0.22	2.3	45
1.04	2.8	53						

用Minitab建模的基本思路:根据式(2),建立拟合回归模型,删除P值>0.05的项后,再次建立拟合回归模型,继续删除P值>0.05的项,重复以上操作直到所有项的P值<0.05。

经过两次优化后,最终的模型表达式为:

$$y = a + bx_1 + cx_2 \quad (3)$$

可见影响修磨量的两个因子均与修磨量呈线性关系。最后得出的拟合模型如图1左,而残差图(图1右)无异常。

回归分析:修磨量mm与压力设定值MPa,速度给定值Hz

方差分析					
来源	自由度	Adj SS	Adj MS	F 值	P 值
回归	2	10.0600	5.02999	648.46	0.000
压力设定值MPa	1	7.6206	7.62061	982.44	0.000
速度给定值Hz	1	2.4394	2.43937	314.48	0.000
误差	22	0.1706	0.00776		
合计	24	10.2306			

模型汇总			
S	R-sq	R-sq(调整)	R-sq(预测)
0.0880728	98.33%	98.18%	97.64%

回归方程

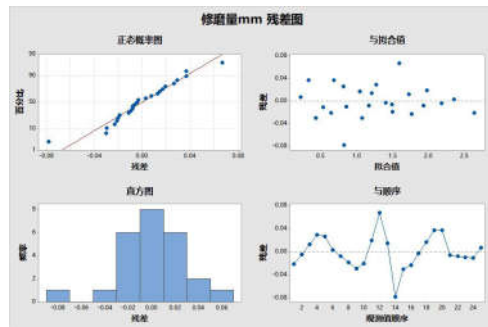
$$\text{修磨量mm} = -5.736 + 0.7808\text{压力设定值MPa} + 0.08814\text{速度给定值Hz}$$


图1 拟合回归结果(左)和残差图(右)

由Minitab得到的回归方程为：

修磨量 = -5.736+0.7808压力设定值+0.08814电机速度
给定值

$$\text{即: } y = -5.736 + 0.781x_1 + 0.088x_2$$

4.3 确定合理的修磨量

为确保倒角面大于10mm，倒角深度需大于5mm（见图2）。为了保证磨头、砂轮的安全运行，同时提高修磨量，将每道次的修磨量定为2mm，通过Minitab响应优化器分析可以得到最优解，见图3。

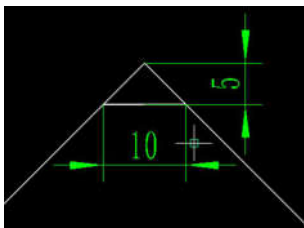


图2 倒角深度图

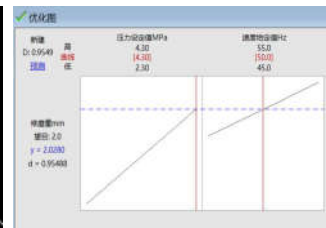


图3 响应优化器优化图

由此确定了x1、x2的调整值，x1 = 4.3MPa，x2 = 50Hz，每个角的修磨道次为3次。

4.4 消除毛刺的方法

如图4所示，在倒角结束后，将有毛刺的面再修磨一道次。该道次的修磨量经过验证，在0.5mm左右为最佳。同样利用Minitab响应优化器，可以得到最佳的调整值为x1 = 2.9MPa，x2 = 45Hz。为了简化操作，将x2 = 50Hz固定不再调整，只对x1进行调整。

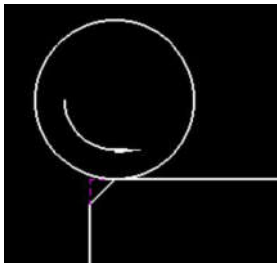


图4 磨毛刺示意图



图5 磨毛刺的操作画面

经过响应优化器的优化，修磨毛刺时，x1调整在2.3-2.5MPa时，修磨量在0.46-0.62mm之间，比较适合修磨毛刺。因此，磨毛刺时，将比例减压阀的压力设定值调整到2.3-2.5MPa即可。

为了能够操作方便，将修磨毛刺的工序做入磨头控

制的程序中，在电脑操作画面上设置操作按钮（见图5），当需要磨毛刺时，点击“磨毛刺”即可实现，避免频繁调整比例减压阀的压力设定值的繁琐流程，同时为了能够将磨毛刺的效果达到最佳，在“磨毛刺”按钮旁设置了磨毛刺时的压力设定值，该值可以在2.3-2.5MPa间调整，实现不同硬度的钢坯的毛刺修磨。

5 效果验证

Minitab的多元回归分析为本次研究提供了理论计算依据，并根据计算结果对磨头的控制及修磨方式做了优化。优化后彻底解决了之前存在的倒角面宽度不达标、产生毛刺的问题，效果显著。图6为本次研究开展前后钢坯倒角的图片，可以很看出倒角的改善很明显。



图6 倒角改进前（左）和改进后（右）对比图

结束语

本次研究通过理论分析倒角时存在的缺陷，利用实验收集测量数据，采用Minitab软件建立数学模型、得出优化结果，最后通过修改磨头控制程序达到实验效果。本次研究投入的成本很少，特别是在机械设备上并未进行改造，但投入使用后效果明显，不仅解决了以前倒角时出现的缺陷问题，更重要的是利用科学、合理的方法，为企业降低成本、创造效益。

参考文献

- [1] 宁振雷. 钢坯修磨机磨头运行轨迹及压下力控制技术[D]. 太原: 太原理工大学, 2009.
- [2] 曹远刚. 钢坯修磨机改造设计[J]. 特钢技术期刊, 2017(2): 59-63.
- [3] 何桢. 六西格玛管理(第三版)[M]. 北京: 中国人民大学出版社, 2014.
- [4] 马逢时, 周峰, 刘传沐. 六西格玛管理统计指南(第三版)[M]. 北京: 中国人民大学出版社, 2015.