

doi: 10.7690/bgzdh.2015.06.023

某新型剃齿机主轴转速分析与研究

周晓华, 王 敏

(西南自动化研究所机械电气技术部, 四川 绵阳 621000)

摘要: 针对某新型剃齿机的主轴转速过快或者过慢会带来产品缺陷的问题, 提出一种剃齿机主轴转速分析方法。基于剃齿机工作原理, 得到主轴转速对剃齿效果的影响, 通过建立数学模型, 分别计算出主轴转速在过快和过慢这2种临界点的转速。计算结果表明: 当主轴转速满足 $376 \text{ r/min} \leq n \leq 1\,636 \text{ r/min}$ 条件时, 该剃齿机才能处于最好的工作状态。

关键词: 剃齿机; 主轴转速

中图分类号: TP273 **文献标志码:** A

The Analysis and Research for Spindle Speed of a Novel File Chopping Machine

Zhou Xiaohua, Wang Min

(Department of Mechanical & Electrical Technology, Southwest Automation Research Institute, Mianyang 621000, China)

Abstract: According to the problems causing the spindle speed of a new file chopping machine, being too fast or too slow, leading to product defects, put forward an analysis method of spindle speed of file cutting machine. Based on the principle of work, get the influence of spindle speed on the chopping effect. In building a mathematical model we have calculated the two critical speeds of the spindle speed. The calculation results indicates that when the spindle speed meets the $n=376\sim 1\,636\text{r/min}$, the file chopping machine is in the best working condition.

Keywords: file chopping machine; spindle speed

0 引言

锉刀是用高碳工具钢 T12、T12A、T13A 等制成, 经热处理淬硬, 硬度可达 62HRC 以上。现代的锉刀一般采用碳素钢经轧制、锻造、退火、磨削、剃齿和淬火等工序加工而成。剃齿机是制锉行业的专用设备, 用于加工锉刀的锉纹, 原理是在锉坯表面通过 2 次连续剃切而形成相互交叉的锉纹^[1-3]。

某新型剃齿机是锉刀锉纹数控加工成套设备, 可实现自动上下料和数控剃齿功能。该设备解决了国内制锉行业设备落后、人员短缺等问题, 提高了产品质量和产品一致性, 提升了产品档次。但其工作效率与传统设备相比没有明显的提升, 主轴转速是制约该剃齿机工作效率的最主要因素。因此, 笔者在确定设备物理参数的情况下, 主要研究主轴转速对该设备剃齿效率的影响。

1 某新型剃齿机工作原理

锉刀外形如图 1 所示, 剃齿工艺如图 2 所示。

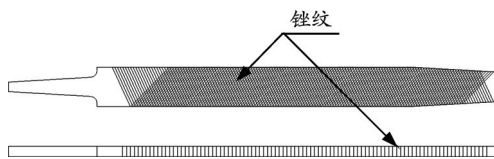


图 1 锉刀外形

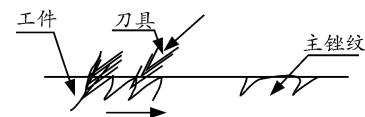


图 2 剃齿工艺

目前普遍使用的剃齿机是采用凸轮杠杆机构, 使剃刀产生往复运动, 在锉刀坯上剃出齿纹^[4]。某新型剃齿机在此基本剃齿原理基础上, 对整机结构及组成进行了优化改进。其剃齿部分主要由工作台、剃刀、剃刀滑枕、剃齿凸轮、滑枕滚轮、滑枕导向轴、剃齿弹簧以及调力手轮等组成^[5]。工作台主要负责将锉刀毛坯沿锉刀轴向从设备左端向靠近刀具方向(X方向)的进给; 剃刀及滑枕滚轮均安装在剃刀滑枕上, 剃刀滑枕经滑枕导轨导向可以做沿Z方向的往复运动; 剃齿凸轮与机床主轴相联, 其位置固定, 主要做沿S方向的逆时针旋转; 剃齿弹簧提供剃刀的冲击力, 在其弹力作用下, 滑枕滚轮与剃齿凸轮大部分时间紧密结合。

主轴带动剃齿凸轮逆时针旋转时, 剃刀及剃刀滑枕在滑枕滚轮的带动下平缓提升, 在剃齿弹簧达到某一极值压缩量之后, 剃齿弹簧弹力释放, 剃刀及剃刀滑枕急速下落, 最终剃刀冲压至锉坯上, 达到剃齿目的。主轴连续旋转, 再配合工作台的进给, 即可实现整个锉坯的锉齿加工, 如图 3 所示。

收稿日期: 2015-03-12; 修回日期: 2015-04-29

作者简介: 周晓华(1982—), 男, 河北人, 本科, 工程师, 从事专用机床的设计与研究。

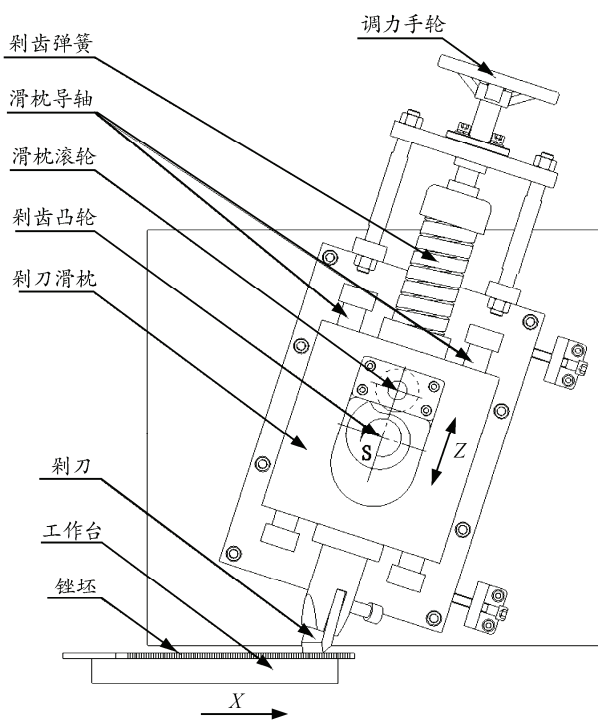


图 3 某新型刹铼机工作原理

该新型刹铼机刹齿凸轮外形采用匀升角匀升距的类渐开线设计，凸轮最高点对应 R50 的圆。将凸轮外形最大落差距离按圆周 360°均分成 20 等份，凸轮外形线每 18°提升 1 mm(即每 1°提升 0.055 56 mm 的距离)，如图 4 所示。

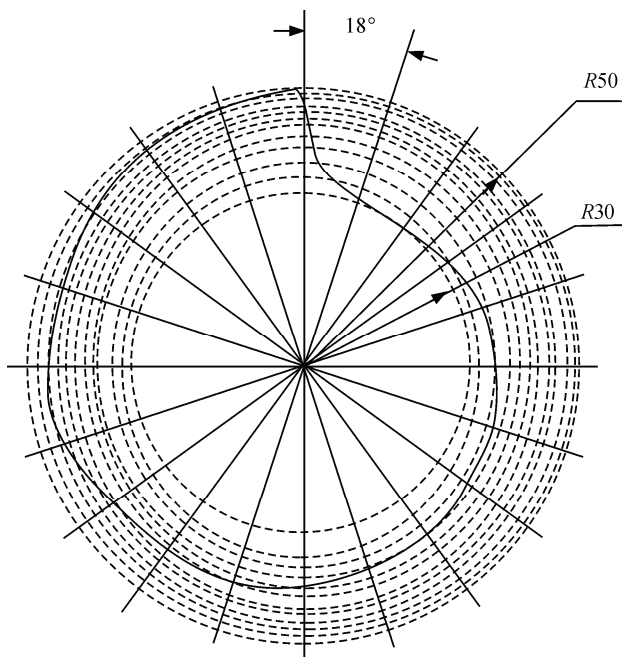


图 4 刹齿凸轮外形

2 主轴转速对刹齿效果的影响

通过该刹铼机工作原理可知：其主要是依靠凸

轮旋转，带动刹刀滑枕将刹齿弹簧压缩至最大弹力时，将弹力猛然释放，使得刹刀滑枕带动刹刀达到一定速度，冲击至铼坯上，进行刹齿。

该刹齿原理决定了主轴转速是刹齿过程中的一个重要因素，主轴转速应该与刹刀滑枕在弹力作用下的下落速度相匹配。主轴转速过快，会导致刹刀还未与铼坯接触便被又提起，无法在铼坯上形成有效齿痕；主轴转速过慢，会导致刹齿弹簧弹力释放时，弹力被凸轮进行部分抵消，刹刀滑枕达不到足够的运行速度，刹刀达不到足够的冲击力，铼齿齿痕变浅，铼刀成为非合格品。

某新型刹铼机在正常工作情况下刹齿凸轮组运动轨迹如表 1 所示。

表 1 刹齿凸轮组运动轨迹关系

主轴转速 $n=500$ r/min						
t/s	0.000	0.001	0.002	0.003	0.004	0.005
$\beta_t/(\circ)$	0	3	6	9	12	15
S_t/mm	0	0.13	0.5	1.14	2.02	3.16
主轴转速 $n=500$ r/min						
t/s	0.006	0.007	0.008	0.009	0.010	0.011
$\beta_t/(\circ)$	18	21	24	27	30	33
S_t/mm	4.54	6.18	8.08	10.22	12.62	13.7

其中： t 表示刹刀滑枕(包含刹齿滚轮)在弹力作用下的下落时间； β_t 表示刹齿凸轮旋转角度； S_t 表示刹刀滑枕(包含刹齿滚轮)在弹力作用下下落距离。

综上所述，笔者建立刹铼机的数学模型如下：

刹齿滑枕及其联接部件结合为一运动单元，其总质量 m 。运动单元在刹齿弹簧弹力作用下，作匀变加速度直线运动，其运动行程 L 距离后，刹刀冲击在毛坯表面上。考虑设备工作时弹簧弹力为 9 651.5 N，远大于运动单元所受重力 372.4 N 及摩擦阻力 3.5 N，可以近似忽略重力及摩擦阻力的影响。刹齿弹簧起始位置压缩量为 λ_0 ，此时弹簧弹力为 F_0 ；刹刀冲击在毛坯表面时刹齿弹簧压缩量为 λ_L ，此时弹簧弹力为 F_L ；弹簧刚性系数为 K ；运动单元初速度为 v_0 。

首先计算在不考虑主轴转速的影响下，运动单元运动行程 L 距离所用的时间 t_L 。由于该过程为短距离、短时间，可以将该运动近似为匀加速度直线运动，其加速度为 \bar{a} ，建立方程式如下：

$$\bar{a} = \bar{F} / m \tag{1}$$

$$\bar{F} = (F_0 + F_L) / 2 \tag{2}$$

$$L = v_0 t_L + 1/2 \bar{a} t_L^2 \tag{3}$$

$$F_0 = \lambda_0 K \tag{4}$$

$$F_L = \lambda_L K \tag{5}$$

$$\lambda_0 = \lambda_L + L \tag{6}$$

$$v_0 = 0 \tag{7}$$

综合上述 (1)~(6) 式, 得出:

$$t_L = 2 \sqrt{\frac{m(\lambda_0 - \lambda_L)}{K(\lambda_0 + \lambda_L)}} \tag{8}$$

已知“DK350-100 锉刀数控剃齿机”设备参数:

$$K = 196\ 970\ \text{N/m}$$

$$\lambda_0 = 0.049\ \text{m}$$

$$\lambda_L = 0.035\ \text{m}$$

$$m = 38\ \text{kg}$$

代入 (7), 则 $t_L = 0.011\ \text{s}$ 。

其次开始计算主轴转速的 2 种临界条件。

1) 主轴转速过快临界。

当主轴转速过快时, 寻找剃刀与锉刀毛坯接触瞬间, 剃齿凸轮刚好与滑枕滚轮再次开始接触的临界点。由公式 (6) 计算得出, 此时运动单元运动行程 L 为 14 mm。由文前面对剃齿凸轮的形状特性描述可知, 凸轮最高点对应 $R50$ 的圆, 凸轮外形线每 1° 提升 0.055 56 mm 的距离。逆向分析, 剃齿凸轮沿顺时针方向转动, 凸轮外形线下降 14 mm, 剃齿凸轮旋转角度为 252° 。由此可以得出, 主轴转速过快临界点时剃齿凸轮旋转 108° , 如图 5 所示。

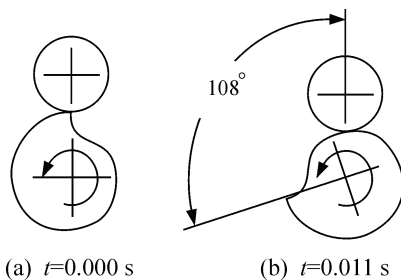


图 5 主轴转速过快临界点示意图

根据以上数据可以得出主轴转速过快临界点的转速: $n_1 = 1\ 636\ \text{r/min}$ 。

2) 主轴转速过慢临界。

当主轴转速过慢时, 认为运动单元受剃齿弹簧力正常运动, 但凸轮最高点始终与滑枕滚轮外圆曲线重合, 直至剃刀与锉刀毛坯接触, 即运动单元运动行程 L 为 14 mm。

已知“DK350-100 锉刀数控剃齿机”剃齿凸轮

最高点对应圆半径 $d_1 = 50$, 滑枕滚轮半径 $d_2 = 28$, 剃刀与锉刀毛坯接触时滑枕滚轮与剃齿凸轮的轴心间距 $H = 64$, 得到边长分别为 50、64、28 的三角形。

由公式

$$\cos(c) = \frac{a^2 + b^2 - c^2}{2ab} \tag{9}$$

计算得出, 此时剃齿凸轮旋转 24.8° , 如图 6 所示。

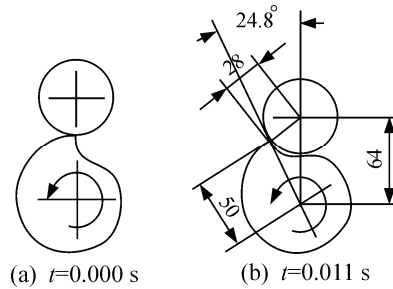


图 6 主轴转速过慢临界点示意图

根据以上数据可以得出主轴转速过慢临界点的转速: $n_2 = 376\ \text{r/min}$ 。

由以上 2 个计算所得数据可知, 当主轴转速满足 $376\ \text{r/min} \leq n \leq 1\ 636\ \text{r/min}$ 条件时, 该剃齿机才可以进行有效剃齿^[6]。

3 结束语

通过以上论述及计算可知: 在设备参数确定的情况下, 该新型剃齿机主轴转速被限定在某一确定值的范围内, 即设备工作效率被限定在了一定范围。

为了提高工作效率, 只有将设备相应参数进行修改, 如选用更大刚性系数的剃齿弹簧或改变剃齿凸轮形状以减小运动单元的运动行程 L 等, 才能达到更高的剃齿效率。

参考文献:

- [1] 赵健. 平面铣削的铣刀选择和铣削技巧[J]. 新校园: 理论版, 2012(5): 62-63.
- [2] 郑三中. 应用残余谱法识别剃齿机的主要噪声源[J]. 兰州铁道学院学报, 1991(1): 77-85.
- [3] 葛喜山, 沈美珍, 王耀杰. 钢锉剃齿的噪声和制齿新工艺[J]. 现代制造工程, 1987(4): 13-15.
- [4] 丁凡. 电液振动冲击系统在剃齿机上的应用[J]. 中国机械工程, 1999, 10(8): 866-868.
- [5] 周晓华. 一种数控剃齿机: 中国, 201410329752.2[P]. 2014-10-15.
- [6] 李志忠, 赵振宇. 齿轮箱螺栓结合面的有限元建模研究[J]. 机电工程, 2014, 31(6): 734-739.