

# 铣削加工每齿进给量的决定因素研究及验证

寇植达

陕西法士特汽车传动集团有限公司

**摘要:** 研究了面铣刀的主偏角对切屑厚度和每齿进给量的影响,铣削中每齿进给量的决定因素,切削宽度与刀具直径的比值对切屑厚度的影响等问题进行理论分析,同时结合变速箱壳体铣削加工过程进行验证,解决了合理选择铣刀及切削参数以提升加工效率的问题。

**关键词:** 铣削每齿进给量;切削参数;加工效率

**中图分类号:** TG714;TH161

**文献标志码:** A

**DOI:**10.3969/j.issn.1000-7008.2020.02.014

## Research and Verification of Determinants of Feed Rate Per Tooth in Milling

Kou Zhida

**Abstract:** The influence of the main deviation angle of face milling cutter on chip thickness and feed per tooth, the decisive factors of feed per tooth in milling, the influence of the ratio of cutting width to tool diameter on chip thickness are carried out. At the same time, the milling process of a certain type of gearbox shell is combined. The problem of how to reasonably select milling cutter and cutting parameters to improve processing efficiency is solved.

**Keywords:** milling feed per tooth; cutting parameters; machining efficiency

## 1 引言

铣削是变速箱壳体类零件的重要加工方式之一,铣削刀具及其切削参数的选择直接决定了变速箱壳体零件加工效率的高低,特别是大批量生产中对加工成本和经济效益有显著影响。

## 2 铣刀主偏角对切屑厚度的影响

常用的面铣刀主偏角有  $90^\circ$ 、 $75^\circ$ 、 $45^\circ$  及圆形刀

片等形式,在不同工况选用不同形式的主偏角各有利弊。 $90^\circ$  主偏角面铣刀常用于薄壁、装夹刚性差的零件以及需要  $90^\circ$  成形的应用工况; $45^\circ$  主偏角面铣刀是常规用途首选,降低了长悬伸上的振动,其薄切屑效应使生产率提高,圆刀片铣刀的切削刃强度最好。不同形式主偏角面铣刀的切屑厚度见图 1,较小主偏角的面铣刀在加工过程中能产生更薄的切屑,可以对其进给量进行补偿,以保证加工产生的切屑厚度值相近。

铣削加工时的刀具直径  $D$ 、每齿进给量  $f_z$ 、有效切削宽度  $a_e$ 、平均切屑厚度  $h_m$  之间的关系如图 2 所示,平均切屑厚度  $h_m$  能有效地表达实际加工中的切

**基金项目:** 国家重大科技专项:“高档数控机床与基础制造装备”(2015ZX04003006);高端重型载货车变速器轴齿高效加工生产线与成套刀具的应用验证与示范(2018ZX04028001)

**收稿日期:** 2019年8月

写数控宏程序,进行模拟仿真。调整交错角度,利用 UG 软件中的截面偏差检查得出了交错角不相同时 ZC1 蜗杆截形的变化趋势。仿真过程还原了磨削工艺的完整流程,其结果具有真实性和精密性。

## 参考文献

- [1] 魏静,张光辉. ZC1 蜗杆齿形磨削误差及其控制方法[J]. 南京航空航天大学学报, 2008, 40(2): 239-244.
- [2] 王煜,吉卫喜. ZC1 蜗杆凹形齿的砂轮成形磨削工艺探讨[J]. 工具技术, 2016, 50(1): 78-82.
- [3] 赵甲宝,周斌,李志峰,等. ZC1 蜗杆磨削用 CNC 砂轮修整器设计[J]. 机械工程师, 2012(9): 49-51.
- [4] 张彦坤,李志峰. ZC1 蜗杆精密磨削加工[J]. 机械工程

师, 2013(8): 16-18.

- [5] 陶晔,董剑锋,杨兰春. ZC1 蜗杆滚刀的刃廓曲线[J]. 太原理工大学学报, 1992(2): 100-105.

第一作者:牟鑫宇,硕士研究生,西安工业大学机电工程学院,710021 西安市

First Author: Mu Xinyu, Postgraduate, School of Electrical and Mechanical Engineering, Xi'an Technological University, Xi'an 710021, China

通信作者:陈晓东,副教授,西安工业大学机电工程学院,710021 西安市

Corresponding Author: Chen Xiaodong, Associate Professor, School of Electrical and Mechanical Engineering, Xi'an Technological University, Xi'an 710021, China

屑厚度。

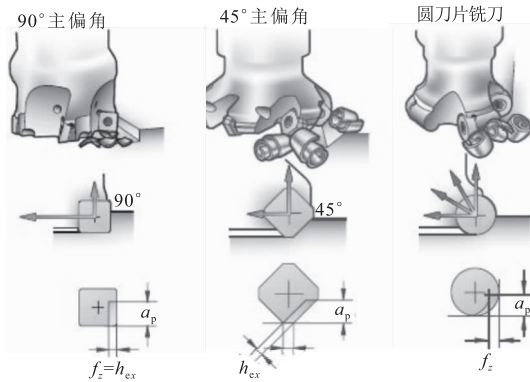


图1 铣刀主偏角

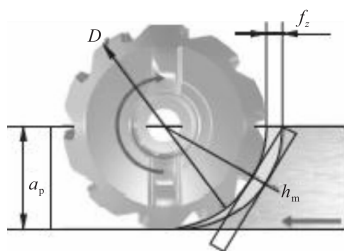


图2 切屑厚度

### 3 铣削中切屑厚度的决定因素

在目前的正前角铣刀设计中,为增加刀片强度,通常会对刃口进行倒棱处理(见图3)。在切削过程中,如果切屑厚度  $h_{ex}$  或对应的每齿进给量  $f_z$  过大,远超过刃口倒棱宽度值,则会引起较大的切削抗力,使切削刃崩刃;反之,如果切屑厚度  $h_{ex}$  或对应的每齿进给量  $f_z$  过小,则会形成明显的摩擦和挤压切削,使工件加工表面硬化,引起刀片后刀面急剧磨损降低刀具寿命。合适的切屑厚度  $h_{ex}$  应等于或略大于主切削刃的刃口倒棱宽度,以保证切削平稳,使刀具拥有合理的寿命<sup>[1]</sup>。

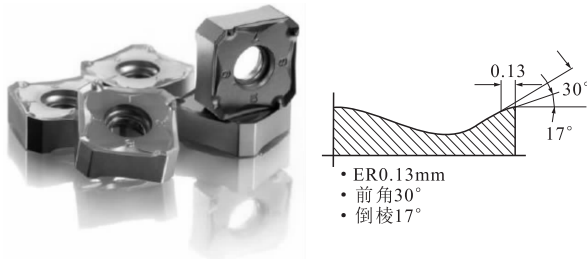


图3 铣刀主切削刃设计

### 4 切削宽度与刀具直径比及切削压力角对平均切屑厚度的影响

不同的切削宽度与刀具直径比( $a_c/D_c$ )所对应的平均切屑厚度值  $h_m$  不同,比值越大,对应的切屑

厚度值越大;切屑厚度值与铣刀中心相对于铣削区域的位置关系有关,具体表现为铣刀切削压力角  $\varphi_s$  (见图4和图5)<sup>[2]</sup>。

铣刀处于中心位置时,铣削压力角可表示为

$$\varphi_s = 2x \arcsin\left(\frac{a_c}{D_c}\right)$$

铣刀处于偏心位置时,铣削压力角可表示为

$$\varphi_s = 90^\circ + \arcsin\left(\frac{a_e - \left(\frac{D_c}{2}\right)}{\left(\frac{D_c}{2}\right)}\right)$$

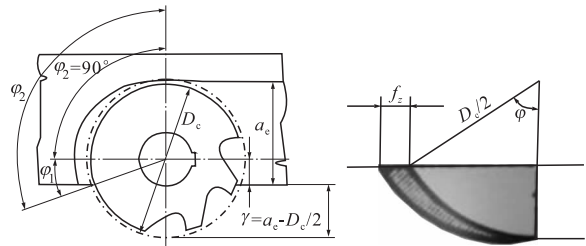


图4 铣刀在偏心位置时的  $\varphi_s$

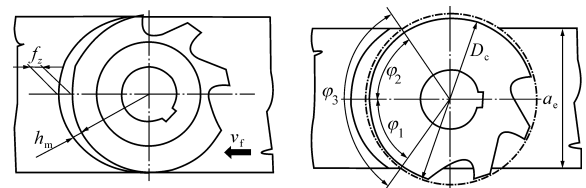


图5 铣刀在中心位置时的  $\varphi_s$

综合考虑铣刀主偏角  $\kappa_r$ 、平均切屑厚度  $h_m$ 、每齿进给量  $f_z$ 、切削宽度与刀具直径比  $a_c/D_c$ 、切削压力角  $\varphi_s$  等因素<sup>[3]</sup>,各参数之间的相互关系可表示为

$$h_m = \frac{\left(114.7 \times f_z \sin \kappa \frac{a_c}{D_c}\right)}{\varphi_s}$$

$$f_z = \frac{h_m \varphi_s}{114.7 \times \sin \kappa \left(\frac{a_c}{D_c}\right)}$$

当  $a_c/D_c < 30\%$  时,近似公式为

$$h_m = f_z \sqrt{\frac{a_c}{D_c}}$$

$$f_z = \frac{h_m}{\sqrt{\frac{a_c}{D_c}}}$$

### 5 铣削切削参数优化在变速箱壳体加工效率提升中的实践与应用

在变速器壳体的端面铣削加工中,原先选用主偏角为  $90^\circ$  的  $\Phi 125$  可转位面铣刀,齿数为8,型号 ZNP90-5125R-40,刀片型号为 SPMN150412-ET,加工切削参数为: $S = 594\text{r/min}$ , $f = 711\text{mm/min}$ ,对应

每齿进给量  $f_z = 0.149\text{mm}$ , 工时为 293s。

为提升加工效率, 优化刀具方案, 选用主偏角为  $45^\circ$  的  $\Phi 125$  可转位面铣刀, 齿数为 12, 型号 F45NM D125-12.40-R08, 刀片型号为 ONMU080608-TN IC5100; 由于加工前、后端面时对应的切削宽度与刀具直径比  $a_e/D_c$ 、切削压力角  $\varphi_s$  两个平均切屑厚度  $h_m$  的决定因素不同, 故选择的切削参数也不同; 加工前端面时,  $a_e/D_c$  平均为 0.88,  $\varphi_s = 127^\circ$ ; 加工后端面时,  $a_e/D_c$  平均为 0.23,  $\varphi_s = 32^\circ$ 。

优化前的每齿进给量为

$$f_z = \frac{h_m \varphi_s}{114.7 \times \sin \kappa \left( \frac{a_e}{D_c} \right)} = \frac{h_m \times 127}{114.7 \times \sin 45^\circ \times 0.88} = 1.78 h_m$$

优化后的每齿进给量为

$$f_z = \frac{h_m}{\sqrt{\frac{a_e}{D_c}}} = 2.08 h_m$$

前端面选取切削参数为:  $S = 560\text{r/min}$ ,  $f = 1185\text{mm/min}$ ,  $f_z = 0.176\text{mm}$ , 对应  $h_m = 0.1\text{mm}$ ; 后端面选取切削参数为:  $S = 560\text{r/min}$ ,  $f = 1375\text{mm/min}$ ,  $f_z = 0.205\text{mm}$ , 对应  $h_m = 0.1\text{mm}$ 。前后两种可转位硬质合金面铣刀见图 6。

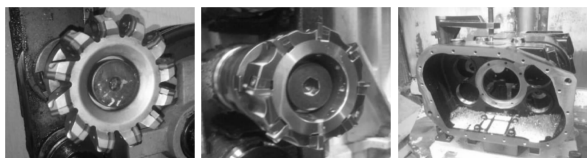


图 6 可转位面铣刀和对应工件

考虑到切削参数提升后对应功率需求和扭矩也会增加, 需核算其是否满足机床额定功率需求(针对前端面), 改进前功率  $P_1$  的公式<sup>[4]</sup>可表示为

$$P_1 = \frac{a_p a_e v_t k_c}{60 \times 10^6} = 0.67\text{kW}$$

式中,  $k_c$  为特定切削力值材料常数 ( $\text{N/mm}^2$ ), 查表得灰口铸铁 HT200 的单位切削力为  $1100\text{N/mm}^2$ 。

改进后功率  $P_2$  的公式<sup>[4]</sup>可表示为

$$P_2 = \frac{a_p a_e v_t k_c}{60 \times 10^6} = 1.08\text{kW}$$

可知目前的功率需求为 1.08kW, 较原加工功率约提高 1.6 倍。但在机床主轴转速为  $560\text{r/min}$  时, 由该型机床功率扭矩图可得对应机床可输出的功率为 17kW, 仅占 7.4%, 满足机床主轴负载需求。尽管前后端面选用的切削参数不同, 但是核算的平均切屑厚度基本一致,  $h_m = 0.1\text{mm}$  符合 ONMU080608-TN IC5100 铣刀片几何物理特性所允许的切屑厚度范围; 工时为 162s, 较原工时 293s 降低 45%, 提效显著。

## 6 结语

铣削加工中切削参数的选择直接决定了加工方案的经济效益。切削三要素中, 切削线速度基本由工件材料、刀具材料等要素确定, 切削深度基本由工艺规划确定, 此外, 在刀具齿数、机床载荷等重要因素确定的情况下, 如何选取合理的每齿进给量尤为重要。

本文通过研究微观的铣削过程、铣刀片几何结构、刀具角度等方面, 分析并验证了几项影响铣削每齿进给量选择的要素, 对合理确定切削用量、指导生产和提升加工效率具有重要意义。

## 参考文献

- [1] 王玮. 基于平均断屑厚度原理对铣削每齿进给量进行优化[J]. 工具技术, 2017, 51(6): 97-99.
- [2] 奥立普·博尔克纳. 杨祖群, 译. 机械切削加工技术[M]. 长沙: 湖南科学技术出版社, 2014.
- [3] 山特维克可乐满公司. 金属切削技术培训手册[K].
- [4] 唐银春, 李志勇. 金属切削功率研究[J]. 制造技术与机床, 2014(10): 111-114.

作者: 寇植达, 硕士, 高级工程师, 陕西法士特汽车传动集团有限公司, 710119 西安市

Author: Kou Zhida, Master, Senior Engineer, Shaanxi Fast Auto Drive Group Co., Ltd., Xi'an 710119, China