

# 钟形壳沟道硬铣刀具寿命分析

崔小毅

慈溪宏康汽车零部件有限公司, 浙江 慈溪 315300

**[摘要]** 文章从影响钟形壳硬车硬铣刀具寿命的多个角度出发, 分析了多种要素对刀具寿命的影响, 特别是对球头硬铣刀寿命的影响, 通过生产实践, 针对各要素提出了提高钟形壳硬铣刀具寿命的方法。

**[关键词]** 钟形壳; 硬铣; 刀具寿命

DOI: 10.33142/ec.v3i7.2315

中图分类号: TG71

文献标识码: A

## Analysis of Tool Life of Hard Milling Bell-shaped Shell Channel

CUI Xiaoyi

Cixi Hongkang Auto Parts Co., Ltd., Cixi, Zhejiang, 315300, China

**Abstract:** From several aspects that affect the tool life of hard turning and hard milling of bell shaped shell, this paper analyzes the influence of many factors on the tool life, specially on the ball end hard milling cutter life. Through the production practice, it puts forward the methods to improve the tool life of the bell shell hard milling tool.

**Keywords:** bell shell; hard milling; tool life

### 引言

等速万向节总成的两个主要零件—钟形壳和星形套, 其球面和沟道的传统加工工艺均为专用磨床加工。传统磨加工工艺, 两道工序分两次装夹, 加工效率低且形位公差难以保证, 同时对环境不友好。当今以车代磨、以铣代磨已成为当前机械加工工艺的主要研究对象。而硬车硬铣设备更是等速万向节行业的翘楚。单位产出高、加工精度高、自动化程度高、环境友好等诸多优点已夯实了硬车硬铣在等速万向节行业的基础。然而, 刀具成本高依然是硬车硬铣工艺光鲜背后挥之不去的隐痛。

本文从影响硬车硬铣刀具寿命的多个角度出发, 分析了各种要素对刀具寿命的影响, 特别是对球头硬铣刀寿命的影响, 并提出了提高钟形壳硬铣刀具寿命的方法。

### 1 设备方面

#### 1.1 系统刚性

地基、机床、夹具、工件、刀具等所有一切, 构成一个系统, 整个系统的刚性对刀具寿命影响非常大。因为微小的震动使刀具和工件产生非正常微距位移, 而使刀具无谓的增加了无效摩擦, 最后导致刀具磨损, 刀具寿命迅速下降。提高系统刚性是提高刀具寿命的重要措施和手段。钟形壳硬车硬铣设备可采用欧美验证设备刚性的方法, 用不同的进给速度, 加工工件, 通过听设备加工时是否有异响, 触感设备加工时是否超幅震动, 观察设备加工后工件表面纹路是否均匀, 测量不同进给速度下沟道关键工艺尺寸的偏差值是否超过 0.01mm, 必要时还需重新调整设备的水平。

#### 1.2 主轴同轴度

钟形壳硬车硬铣设备属专业机床, 与普通设备有所不同, 主轴同轴度对加工时刀具的吃刀深度及其均匀性有较大影响。当主轴同轴度较差时, 球头铣刀上的两片刀片会受到不对称的切削力作用, 此时, 对系统刚性会提出更高的要求, 同时刀具崩刃风险增大, 降低刀具寿命。钟形壳硬车硬铣设备可采用磁性表座加千分表进行打表检测, 以主轴为主动轴, 圆周检测铣刀轴, 二者同轴度一般不超过 0.003mm。同轴度测试简图如图 1。

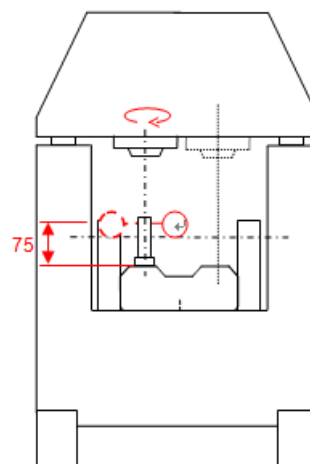


图 1 同轴度测试简图

### 1.3 刀头刀柄安装方法

正确的刀头刀柄安装方法是保证系统刚性的前提，钟形壳硬车硬铣设备要求装刀前必须用 HSK 清洁棒对刀头和刀柄接触面进行清洁，刀头用 15N·m 扭矩锁紧，刀柄用 25N·m 扭矩锁紧，过紧易造成细牙螺纹难以拆下，过松又同样降低了系统刚性。

## 2 工艺方面

### 2.1 切削参数

切削速度对刀具的磨损有相当大的影响，一般来说，线速度越快，刀具寿命越短，但是线速度太低的话，一方面影响加工效率，同时也不一定对刀具寿命有利，所以切削速度的选择，必须参考刀具制造厂提供的切削参数，再结合现场情况确定一个最合理的速度。钟形壳硬铣刀具一般认为转速以 3000rpm 为宜，根据公式  $V_c = \pi Dn/1000$  (D 为刀具直径，n 为转速)，得出线速度，一般在 180-200m/min。

### 2.2 工件加工余量

加工余量的大小直接影响零件的加工质量和刀具寿命。加工余量过大，不仅增加机械加工的劳动量，降低生产效率，而且增加材料和电力等的消耗，增加成本。但是加工余量过小，又不能保证消除前工序的各种误差和表面缺陷，甚至产生废品。而对于钟形壳沟道硬铣工艺来讲，沟道余量过大，会增加铣刀吃刀量，易造成崩刃，同时使沟道有效层深变浅，影响使用性能。沟道余量过小，会使铣刀片局部与氧化皮摩擦，磨损加快，粗糙度下降，同时使沟道易出现黑皮等缺陷。钟形壳沟道硬铣时加工余量一般设置单边 0.2-0.3mm 为宜。测试余量既快捷又准确的方法是将产品正常装夹后，沟道 PCD 尺寸直接减小 0.6mm，进行加工后，若沟道底部有大面积黑皮，减小 0.4mm 进行加工后，沟道底部黑皮被基本去除，可视为余量满足要求。

### 2.3 工件材质及状态

被加工工件的材料，对刀具寿命也有相当大的影响。看似相同的材料，内部所含材料成分比例略有不同，可能切削性能就有很大的区别。即使完全相同的材料，如工件结构不同、成型方法不同、热处理设备或工艺不同、前道工序加工刀具不同，都会造成刀具寿命有显著差别。钟形壳材质以 55#居多，中频淬火后表面硬度 58-62HRC，硬铣要求更为苛刻，一般要求硬度波动在 2HRC 范围内。另外中频淬火时，为降低沟道口部淬火裂纹风险，沟道口部和尾部允许留 0-4mm 过渡区，此过渡区内硬度较低，在硬铣加工时，在沟道口部会有粘刀情况，影响硬铣刀寿命。口部过渡区硬铣后的状态如图 2 和图 3。



图 2 口部留过渡区硬铣图



图 3 口部无过渡区硬铣图

### 2.4 工件表面状态

工件的表面状态包括工件的表面强化工艺、工件表面清洁干燥等。表面强化工艺主要表现在星形套上，表面抛丸后，去除飞边毛刺以及氧化皮的同时，也增大了工件表面压应力，提高了工件强度，但硬铣时，由于表面的加固作用，增加了刀头的切削难度。工件表面干燥程度和清洁度也大大影响硬铣刀具的寿命，未清洗的产品，抛丸后的表面存在细小颗粒残留，在加工时起到磨粒磨损的作用，同时防锈剂的残留对铣刀片有一定的烧灼作用。生产实践表明，工件表面干燥程度越高，清洁度越高，刀具寿命越长，尺寸越稳定。刀具寿命与表面状态关系如表 1。

表 2 刀具寿命与表面状态关系

表面状态	未清洗已返潮	清洗烘干后返潮	清洗烘干后不返潮
刀具寿命/只	500-700	1000-1300	1700-1900

### 3 刀具方面

#### 3.1 刀具材质

刀具材质决定了刀具的加工质量、加工效率，使用寿命及加工成本，因此科学选择刀具直接影响产品的性价比。金属材料的性能主要包括耐磨、高温硬度、抗弯强度、冲击韧性等，一般材料的硬度与耐磨性成正比，抗弯强度与冲击韧性成正比，但材料硬度越高，其抗弯强度和冲击韧性就越低。因此，要求刀具材料具有足够高的硬度确保耐磨性（现有刀具材料硬度基本都高于 60HRC，当然耐磨性还取决于化学成分和金相组织的稳定性）的同时也要综合考虑其他因素。当前的硬铣实践中，CBN（聚晶立方氮化硼）刀具被广泛使用，适用于切削高硬度淬硬钢，市场也基本被欧美刀具生产商所占据。其中钟形壳硬铣加工采用刀具多由德国玛帕提供，CBN 材质一般有 FU810，FU720，FU430 等，生产实践中，可根据工件实际情况，更换不同材质 CBN 刀头进行试加工，从而得出最优解。

#### 3.2 刀具参数

钟形壳沟道硬铣刀具属成形刀，沟道的椭圆结构靠刀头尺寸来保证。实际生产中，除了关注 PCD 尺寸及中心高等重要项目外，压力角也是必须关注的项目，而压力角角度大小可通过微调刀具偏角数值来实现。在保证刀柄与工件不干涉（即撞机）的情况下，当刀具偏角调小时，压力角会同样减小，而刀具偏角调大时，压力角也会同样增大，但调整范围有限，一般可根据刀头设置的偏角进行 $\pm 3^\circ$ 的微调。实际生产过程中发现，压力角位置是铣刀最早磨损失效的位置，而且压力角位置是钢球接触点，粗糙度要求比沟底要高，通过改变压力角大小，可使铣刀片不同位置陆续参与切削。利用这一原理，在调整刀具偏角使工件压力角在公差范围内变动，从而使刀片充分参与切削，提高刀具寿命。一般情况下，可先调小刀具偏角，加工 1000 个工件后调大 $2-3^\circ$ ，再加工 500 个工件后再调大 $2-3^\circ$ ，此为参考，具体要根据产品不同要求结合实际情况去调整。另外，硬铣刀头上气孔的大小及角度，会影响排屑性能和冷却性能，对工件粗糙度影响较大，从而影响刀具寿命。硬铣刀头的刀具偏角设置如图 4，硬铣加工开始点位置如图 5。

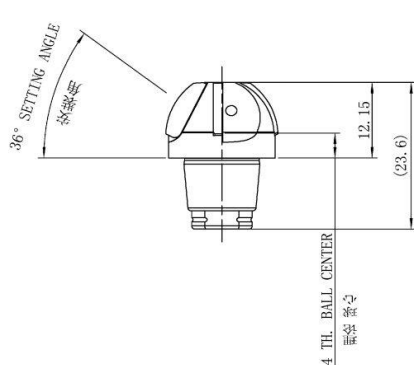


图 4 硬铣刀头的刀具偏角

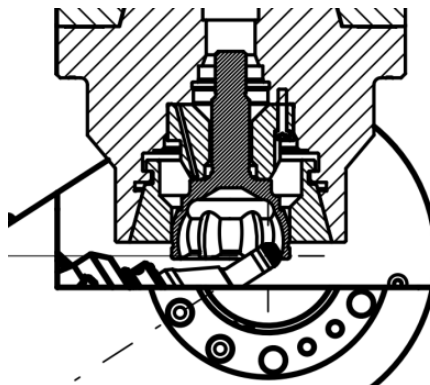


图 5 硬铣加工开始点位置

### 结论

影响钟形壳硬铣刀具寿命的因素有很多，本文所阐述的影响因素均为实践得出的结果。主要结论有：（1）检查调整系统刚性，微调主轴同轴度，使之不超过 0.003mm；（2）刀柄刀头安装严格按照操作规程进行；（3）切削线速度一般控制在 180-200m/min 为宜；（4）工件余量以单边 0.2-0.3mm 为宜；（5）减小工件口部过渡区，避免硬度不均匀；（6）工件表面干燥程度越高，清洁度越高，刀具寿命越长；（7）可通过微调刀具偏角，使刀片充分参与切削，调高刀具寿命。

#### [参考文献]

- [1]李慎旺. 铣-铣复合加工方法的刀具寿命分析研究[J]. 现代制造工程, 2018(2): 102-106.
  - [2]薛庆华. 铣削淬硬 45 钢和 40Cr 钢的刀具寿命可靠性研究[D]. 济南: 山东大学, 2013.
  - [3]全永昕, 施高义. 摩擦磨损原理[M]. 杭州: 浙江大学出版社, 1988.
  - [4]李兆前. 金属切削刀具可靠性的研究[D]. 济南: 山东工业大学, 1992.
  - [5]杨俊茹, 于涛. 刀具几何参数对刀具可靠性影响的研究[J]. 煤矿机械, 2003(7): 17-19.
  - [6]杨俊茹, 范云霄, 于涛等. 提高硬质合金刀具可靠性的理论分析与试验研究[J]. 机床与液压, 2002(6): 74-75.
- 作者简介: 崔小毅 (1986-), 男, 汉, 中级工程师, 研究方向: 精益生产。