

枞树型轮槽精铣刀后刀面几何造型的研究

陈惠贤¹, 楚功¹, 陈明², 周志苗¹, 刘文泽³

¹兰州理工大学; ²上海交通大学; ³东方汽轮机厂

摘要: 针对轮槽精铣刀后刀面造型难精度低的问题,对刀具的三维建模中后刀面的几何造型进行了研究。应用成型铣刀设计的基础理论推导出了轮槽精铣刀齿背曲线的数学模型,依据该数学模型和选定的刀具参数,利用 SolidWorks 建立了枞树型轮槽精铣刀后刀面的精确三维实体模型,并生成了二维工程图。这为对轮槽精铣刀进行有限元分析、几何参数的优化以及数控加工自动编程提供了一种新的实用建模方法。

关键词: 轮槽精铣刀; 数学模型; SolidWorks; 三维建模

中图分类号: TG714

文献标志码: A

Study on Clearance Flank Geometry Modeling of Finishing Milling Cutter with Fir – slot

Chen Huixian, Chu Gong, Chen Ming, Zhou Zhimiao, Liu Wenze

Abstract: Since clearance flank modeling of the finishing milling cutters with fir – slot is difficult and poor accuracy, clearance flank geometry modeling of the cutter 3D modeling is studied. The mathematical model of tooth back curve of the finishing milling cutter with fir – slot is deduced on the basis of formed milling cutter design theory. The 3D model of the cutter is established by SolidWorks according to the mathematical model and selected tool parameters, and two – dimensional engineering drawing is supplied. This provides a new practical modeling method for the finite element analysis and optimization of geometrical parameters and NC automatic programming of the finishing milling cutters with fir – slot.

Keywords: finishing milling cutter with fir – slot; mathematical model; SolidWorks; 3D modeling

1 引言

枞树型轮槽精铣刀作为加工汽轮机转子轮槽的最终刀具,其精度直接影响着轮槽表面轮廓的加工质量。由于切削时刀具轮廓型线不同部位受到刀体结构的影响,工艺参数各不相同^[1],导致不同部位切削刃受力、受热以及磨损的不均匀,从而引起轮槽精铣刀廓形精度下降,甚至是刀具的早期失效。刀具的后刀面对刃型的形成、刀具的切削性能的发挥以及刀具的耐用度都有重要影响,因此,研究轮槽精铣刀后刀面,并建立其精确的三维实体模型,对应用有限元软件对轮槽铣刀切削过程中的受力以及磨损状况进行准确的分析具有重要意义。陈泳^[2]介绍了非标螺旋槽刀具采用 PRO/E 软件进行三维简化设计的基本原理及方法。刘剑等^[3]利用 UG 的二次开发功能完成了轮槽铣刀波形刃的建模。邹小慧^[4]介绍了 CAXA 实体设计的特点,叙述了其在数控刀具中的应用方法。以上研究详细地介绍了三维 CAD 软件在刀具设计中的应用,但对刀具设计中遇到的计算问题研究较少,因此,存在几何造型精度不高的问题。基于此,本研究以成型铣刀设计理论为

基础,运用理论推导的方法建立了轮槽精铣刀齿背曲线的数学模型。在此基础上,利用 SolidWorks 完成了刀具后刀面以及整个刀体结构的建模。本研究工作为对轮槽精铣刀进行有限元分析,以及实现刀具的数字化制造奠定了基础。

2 轮槽精铣刀的参数与齿背曲线的数学模型

确定轮槽精铣刀的参数是建立该刀具三维实体模型的基本前提,建立其齿背曲线的数学模型是实现后刀面几何造型的关键。轮槽精铣刀的参数包括结构参数和几何参数。

2.1 刀具结构参数的确定

轮槽精铣刀采用整体结构^[5],其结构参数包括刀柄参数、直径、长度、刀齿数目、刃形、槽形角和齿槽形状。刀柄采用 HSK 刀柄(A型),锥度 1:10,可自动换刀^[6]。该刀柄具有结合刚度、重复定位精度高和高速锁紧性能良好的特点,这为切削加工时刀具廓形精度的发挥提供了可靠的支撑。轮槽精铣刀切削部分的直径、长度等具体尺寸由待加工轮槽的尺寸决定,其刃型由待加工轮槽的廓形决定。鉴于刀齿强度和容屑空间的要求,将轮槽精铣刀设计成四齿直槽结构。槽形为三角形,槽底圆弧半径为 1mm,槽形角 60°。图 1 为某超临界汽轮机转子轮槽

基金项目: 国家科技重大专项(2012ZX04003-051)
收稿日期: 2012 年 10 月

的廓形与尺寸。

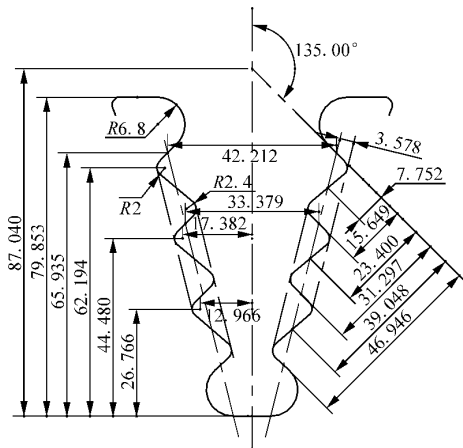


图1 转子轮槽廓形与尺寸

2.2 刀具几何参数的确定

轮槽精铣刀的几何参数主要包括前刀面的形状、前角、后刀面的形状、后角和螺旋角。为了制造和重磨方便,轮槽精铣刀的前刀面做成平面。为了保证转子轮槽型线的准确性和完整性,轮槽精铣刀的前角和螺旋角均选择为 0° ^[7]。成型铣刀后刀面的设计要满足以下两个要求:即切削刃上的所有点都具有合适的后角,重磨的旧铣刀与没有重磨过的新铣刀都能加工出形状和尺寸相同的工件^[8]。理论上满足此要求的曲面只有对数螺面,但对数螺面制造困难,生产上常采用阿基米德螺面代替。将轮槽精铣刀的后刀面设计成阿基米德螺面能够保证刀具重磨后的刃型精度,且后角的变化在允许的范围内。后角取为 8° 。

2.3 齿背曲线的数学模型

轮槽精铣刀的后刀面是由刃型线沿齿背曲线绕刀具轴线旋转而形成的。刃型线已知,因此,建立刀具齿背曲线的数学模型是实现刀具后刀面三维建模的关键。基于成型铣刀设计的基本理论,其推导过程如下。

在极坐标系中,阿基米德螺旋线(见图2)方程为

$$\rho = b\theta \quad (1)$$

式中 ρ ——螺旋线上各点相应的向量半径
 θ ——螺旋线上各点相应的极角(弧度)
 b ——确定螺旋线尺寸大小的常数

当角 $\theta = 2\pi$ 、向量半径 $\rho = a$ 时 $b = \frac{a}{2\pi}$

此时螺旋线方程式可写成下列形式

$$\rho = \frac{a}{2\pi}\theta \quad (2)$$

用于轮槽精铣刀刀齿齿顶的阿基米德螺旋线方

程可以写成

$$\rho = R - \frac{a}{2\pi}\theta \quad (3)$$

式中 R ——铣刀的外径

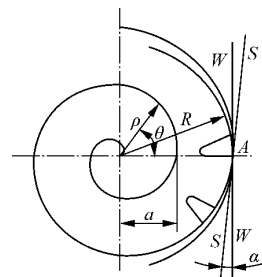


图2 阿基米德螺旋线

A点处的后角 α ,是由该点做出的切于螺旋线的切线 $S-S$ 和切于圆周的直线 $W-W$ 之间的夹角。利用微分几何学中的公式,可以写成

$$\tan \alpha = \frac{d\rho}{\rho d\theta} \cdot \frac{d\rho}{d\theta} = \frac{a}{2\pi}$$

$$\tan \alpha = \frac{a}{2\pi\rho} = \frac{1}{\theta} \quad (4)$$

或

$$\cot \alpha = \theta \quad (5)$$

由以上公式可以得出:后角 α 的大小与螺旋线上各点向量半径 ρ 、极角 θ 以及螺距 a 有密切关系。

已知:轮槽精铣刀齿顶后角 $\alpha = 8^\circ$,等效齿顶向量半径 $\rho = 34.764\text{mm}$,代入式(5)可得

$$a = 30.673\text{mm}$$

即可得到齿背曲线的数学模型

$$\rho = R - \frac{30.673}{2\pi}\theta \quad (6)$$

3 轮槽精铣刀的后刀面的三维建模

依据以上刀具参数与齿背曲线的数学模型,利用SolidWorks来建立轮槽精铣刀的三维实体模型。其具体步骤如下。

3.1 刀具切削部分的建模

轮槽精铣刀切削部分的建模主要包括:枞树型轮廓的建模、前刀面、后刀面的建模和容屑槽的建模。首先,按照待加工转子轮槽的廓形绘制草图,只需绘制廓形图的一半,使用“旋转”命令生成刀具的枞树型实体;然后,绘制出容屑槽的径向截形和引导线,利用“扫描切除”命令生成容屑槽实体,同时也生成了前刀面;根据式(7),以等效铣刀半径为准,应用“涡状线”命令就可建立满足要求的阿基米德齿背曲线,应用“扫描切除”命令即可生成后刀面的三维模型。注意:由于轮槽精铣刀为四齿结构,槽形角是 60° ,为防止过切或切不到,螺旋线的起始角取为 75.6° ,圈数为0.21。

3.2 刀柄部分的建模

刀柄的建模主要包括锥面、法兰端面、周向键槽和换刀夹持沟槽的建模。运用 SolidWorks 中的“放样、拉伸、旋转、包覆”等命令就能够完成其特征建模，具体步骤不再详述。

所建模型是否达标应以选定的刀具结构和几何参数做判定准则。最终得到刀具的三维实体模型如图 3 所示，主要几何参数见表 1。

表 1 轮槽精铣刀的主要几何参数

| 参数 | 总长 | 刃长 | 齿数 | 前角 | 后角 | D_{max} |
|----|--------|-------|----|----|----|-----------|
| 取值 | 147.86 | 79.86 | 4 | 0° | 8° | 70mm |

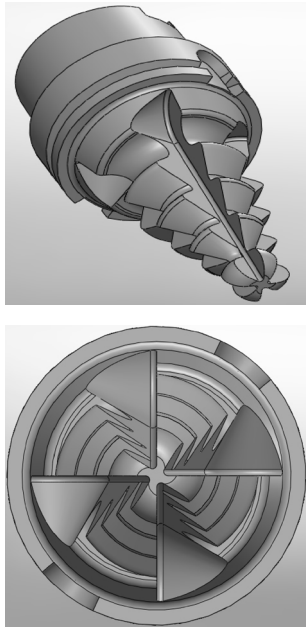


图 3 枞树形轮槽精铣刀三维实体模型

3.3 生成工程图

完成刀具实体建模后，利用 SolidWorks “工程图”功能模块生成工程图，并标注尺寸。以图 1 中转子轮槽的廓形与尺寸为准，检查刀具的刃型和尺寸是否达到设计要求；以选定的刀具参数为准，检查刀具的前角、后角、螺旋角以及刀柄是否达到设计要求。若没达到设计要求则返回实体设计，进行修改。初次转换发现后角不达标，经分析是由于生成齿背曲线的基准面位置选择不合适引起的。利用 SolidWorks 的尺寸驱动功能对刀具实体进行修改，如此反复几次最终得到合格的工程图，如图 4 所示。

4 结语

根据轮槽精铣刀的几何参数和成型铣刀设计理论，结合 SolidWorks 环境下曲面造型的方法，探索出一种新的轮槽精铣刀后刀面数学建模方法，该方法简单适用并能准确表达出轮槽精铣刀的几何参数，此法亦给出了 SolidWorks 环境下建立轮槽精铣刀三维模型的建模方法，这为对轮槽精铣刀进行有限元分析、几何参数的优化以及数控磨削加工自动编程提供了一种新的实用建模方法。同时，也为轮槽精铣刀的切削性能的仿真分析以及刀具几何参数的优化奠定了基础。这种通过虚拟技术，在 CAD 软件中建立三维参数化模型，再在 CAE 软件中进行仿真分析和计算的方法，可以降低设计开发成本，减少试验次数，缩短设计开发周期，提高产品质量，具有实际意义。

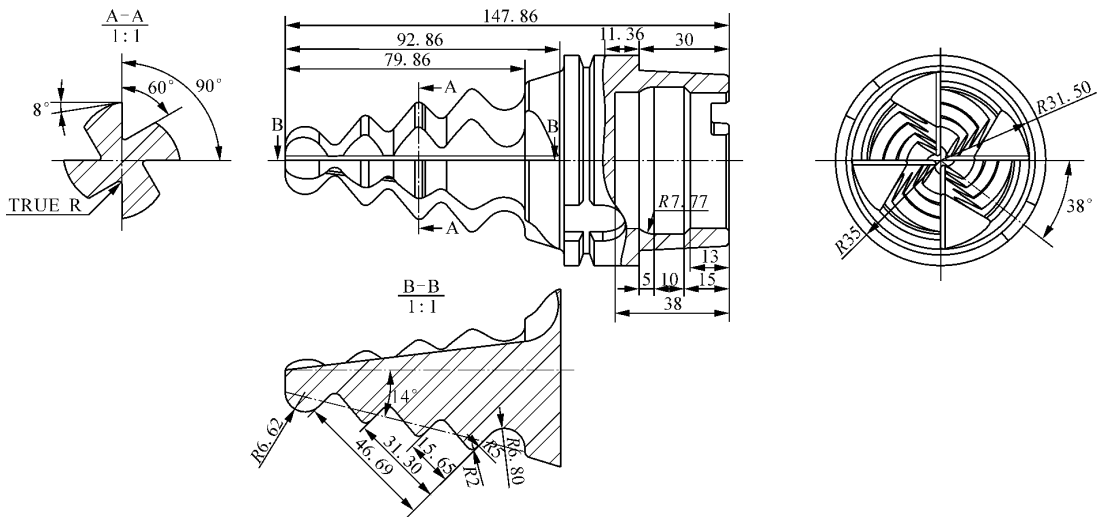


图 4 轮槽精铣刀工程图

高速切削 Inconel 718 刀具磨损形态和机理分析

黄雪红¹, 赵军²

¹滨州职业学院; ²山东大学

摘要: 利用涂层硬质合金刀具对 Inconel 718 进行了高速干切削试验, 采用扫描电子显微镜 SEM 和能量分散光谱 EDS 扫描, 对不同切削参数下刀具的损坏形态和损坏机理进行了研究。分析结果表明刀具损坏形式主要有前刀面磨损、后刀面磨损、剥落和崩刃。刀具损坏机理主要是粘结磨损、磨粒磨损、氧化磨损和扩散磨损等。

关键词: Inconel 718; 涂层硬质合金刀具; 磨损形态; 磨损机理

中图分类号: TG506.7

文献标志码: A

Wear Patterns and Wear Mechanisms of Tool in High Speed Cutting of Inconel 718

Huang Xuehong, Zhao Jun

Abstract: The dry-cutting tests of high speed turning Inconel 718 using coated carbide tool is presented. The worn surface morphology of tool and its abrasion mechanism are studied by scanning electronic microscope (SEM) and energy disperse spectrum (EDS). The results show that the failure modes are rake wear, flake wear, flaking and chipping and the main failure mechanisms of tool are adhesive wear, abrasion wear, oxidation wear, diffusive wear and so on.

Keywords: Inconel718; coated cemented carbide tool; wear pattern; wear mechanism

1 引言

镍基合金是高温合金中应用最广、牌号最多的一类合金。以美国的 Inconel 718 最为典型, 它是目前生产量最大的镍基高温合金之一。Inconel718 的镍含量为 50% - 55%, 属于典型的难加工材料, 相对切削加工性仅为 0.08 - 0.2, 切削加工具有切削力大、切削温度高、加工硬化和刀具磨损严重等特点^[1~3]。近年来, 高速切削技术蓬勃发展, 已成为切削加工的主流和先进制造技术的一个重要发展方向。20 世纪 80 年代以来, 高速切削技术是国内外的研究热点之一, 各工业发达国家相继投入大量人

力、财力, 研究开发高速切削技术及相关技术。作为先进实用的先进制造技术有着强大的生命力^[4]。大量的试验结果表明, 刀具的快速磨损是制约高速切削镍基合金的主要因素^[5]。

近 10 年来, 应用硬质合金刀具加工钛基、镍基和钴基高温合金得到广泛普及。本文利用涂层硬质合金刀具 KC5510 对 Inconel 718 进行了高速干切削试验, 分析了不同切削参数下刀具磨损的形态和主要磨损机理。

2 切削试验

美国 Kennametal 公司的 PVD 涂层硬质合金刀具 KC5510, 型号为 SNGG120408FS。KC5510 材质结构为晶粒细化的硬质合金, 配以先进的 TiAlN 涂

基金项目: 国家自然科学基金(50575126)

收稿日期: 2013 年 2 月

参考文献

- [1] 邹斌. 大型汽轮机转子复杂形状枞树型轮槽及高温密封环加工工艺优化和表面质量控制研究[D]. 上海: 上海交通大学博士后论文, 2008.
- [2] 陈泳. PRO/E 在非标螺旋槽刀具设计中的应用[J]. 工具技术, 2007, 41(3): 53 - 54.
- [3] 刘剑, 汪津泽, 缪佳兴, 等. UG 二次开发在轮槽铣刀波刃型设计中的应用[J]. 工具技术, 2009, 43(3): 78 - 79.
- [4] 邹小慧. CAXA 实体设计在数控刀具设计中的应用[J]. 模具制造, 2006(11): 68 - 72.
- [5] 刘万新. 超临界轮槽铣刀的设计与应用[J]. 汽轮机技术, 2005, 47(4): 317 - 318.
- [6] 赵鸿, 于世超. 现代刀具与数控磨削技术[M]. 北京: 机械工业出版社, 2009.
- [7] 李芸. 高效铣削刀具的研究与生产[J]. 航空制造技术, 2006(7): 51 - 53.
- [8] 李儒荀. 刀具设计原理与计算[M]. 南京: 江苏科学技术出版社, 1985.

第一作者: 陈惠贤, 教授, 兰州理工大学机电工程学院, 730050 兰州市

First Author: Chen Huixian, Professor, School of Mechanical & Electrical Engineering, Lanzhou University of Technology, Lanzhou 730050, China