

金属切削刀具虚拟设计方法初探

来源:数控机床网 作者:数控车床 栏目:行业动态

0 引言

现代金属切削加工技术正朝着高速度、高效率、高精度、低成本、节约资源、绿色环保等方向发展。而传统的刀具开发过程需要经历材料研制→刀具设计→制造成型→切削试验→反馈修改→投入生产等多个环节,开发周期很长,已难以满足现代切削加工技术发展的要求。近年来,出现了一门基于现代数学、力学等多学科理论、借助于计算机技术及先进算法的新型技术——虚拟设计技术。应用该技术可对许多工程问题进行数值模拟,从而可加快产品的设计速度,提高设计精度及可靠性。

虚拟设计技术也可应用于金属切削刀具的研究开发中。通过将材料性能参数输入计算机、建立有限元模型、加载、计算等步骤,即可逼真地模拟出整个切削过程,并对刀具几何参数进行优化设计。应用该技术不仅可大大缩短刀具产品的设计开发周期,而且可提高设计的成功率和可靠性。

数值模拟技术是虚拟设计的核心技术,而数值模拟技术采用的主要分析方法为有限单元法。近年来,有限元分析技术在计算机技术发展的推动下也不断发展,开发出了许多优秀的有限元分析软件,有力促进了虚拟设计技术的推广应用。

本研究应用国际通用的大型有限元软件A/YS,成功模拟出了金属切削过程中刀具所受应力的变化及剪切角的形成过程,并以刀具前角为变量进行了一系列计算,验证了刀具前角与剪切角之间的变化关系。在切削过程中,影响上述变化过程的因素较多,不仅取决于刀具几何参数、切削用量等,而且与工件材料性能密切相关。在数值模拟过程中,不仅要考虑材料非线性、几何非线性和状态非线性,而且对解算器的选择及载荷步的控制也有严格要求。A/YS软件强大的非线性处理功能可为切削过程的数值模拟提供强有力的帮助。

1 建模与计算

有限元建模

建立正确的有限元模型是实现数值模拟的关键。结合金属切削的实际情况,建模时应重点考虑以下几个问题:

图1 两种屈服准则的屈服轨迹比较

建立合理的材料模型是模拟切削过程的首要条件。考虑到刀具材料硬度远大于工件材料硬度,建模时可将刀具视为弹性体,将工件建成为弹塑性模型。在整个切削过程中,材料的变化是非线性的,因此需要确定材料的屈服准则、流动准则及强化准则。在复杂应力状态下,连续体进入屈服状态的判断标准通常采用Tresca屈服准则和Von Mises屈服准则。Tresca屈服准则认为:变形体内的最大剪应力达到某一临界值时即进入屈服状态。而VonMises屈服准则认为:当变形体内单位体积的形状改变弹性能或单位体积的弹性形变能达到某一极限值时,变形体即进入屈服状态。由于Tresca屈服准则中未反映出中间主应力 s_2 对屈服准则的影响,因此它在数学上和几何上都是不连续的;而Von Mises屈服准则的几何图形在 s_1-s_2 应力平面中是一个外接于Tresca六角形的椭圆,这就消除了屈服轨迹上的角点,解决了数学上的不连续问题。两种屈服准则的屈服轨迹比较如图1所示。

对于大多数金属材料,Von Mises屈服准则与实验数据更为吻合,故本研究建模时选择Von Mises屈服准则作为材料是否进入屈服状态的判定标准。材料在热软化过程中将出现流动性,单个塑性应变分量 e_{px} 、 e_{py} 的发展方向可通过流动准则来描述,其表达式为

(1)式中: e_{pl} ——材料的塑性应变

l ——塑性增量系数

Q ——决定材料应变方向的应力函数

随着塑性应变的发展,屈服准则可用等向强化和随动强化两种强化准则来描述,本研究选用了多线性等向强化准则(MISO),它采用输入最多5个应力—应变数据点的方法来表示应力—应变曲线,适用于遵守Von Mises屈服准则、按比例加载的情况以及大应变分析。

在切屑形成过程中,切屑中单元位移的改变和单元取向的改变会影响模型的总体刚度,这是一个包括大应变和大挠度的几何非线性问题,对于此类问题,可以通过激活大应变效应方程迭代出一个正确的解。

刀具前刀面与切屑之间以及刀具后刀面与已加工表面之间均存在摩擦。为了正确描述摩擦模型,必须考虑整个过程的状态非线性接触问题,本研究选用了刚性体对柔性体的接触模式。由于前刀面上存在粘结区和滑动区,且两区域的位置因切削条件不同而异,故可通过设置一个最大许可剪应力 t_{max} 来加以控制,即界面剪应力低于 t_{max} 的区域为粘结区,界面剪应力高于 t_{max} 的区域为滑动区。

为使数值模拟实验更具代表性,本研究选取硬质合金WC-TiC-TaC-Co作为刀具材料,其弹性模量 $E=550GPa$,泊松比 $\mu=0.3$;选取A3钢作为工件材料,其弹性模量 $E=210GPa$,泊松比 $\mu=0.3$,极限应力 $s_b=520MPa$,屈服应力 $s_s=320MPa$,极限变形为20%。

图2 直角自由切削有限元模型

图3 剪切角形成图

图4 刀具体有效应力分布图

图5 刀具前刀面上各点的有效应力与其距刀尖距离的关系

图6 Lee & Shaffer剪切角理论

表 对应不同刀具前角的剪切角 刀具前角-15° -10° -5° 5° 10° 15° 剪切角38° 41° 44° 48° 52° 56°

建立如图2所示的直角自由切削二维有限元模型。在此模型中,将工件划分为1750个单元,将刀具划分为100个单元;在工件底部约束X、Y向两个自由度,在工件左侧约束X向自由度;刀具则约束Y向自由度。

加载与计算
在刀具右端施加水平向右的位移,刀具在给定速度和不同的位移边界条件下向右移动,形成切削过程。然后通过计算软件的解算器进行综合计算。

通过A/YS后处理器可观察到切削过程中剪切角的形成(如图3所示)和刀具所受有效应力的变化情况(如图4所示)。由此,可借助于AutoCAD软件测出剪切角的大小。同时,可得到刀具在任意时刻所受的瞬时有应力。

刀具前刀面的有效应力分析

由图4的刀具等应力线分布情况可知,刀尖处的有效应力最大,沿前刀面向上则逐渐减小。刀具前刀面上各点的有效应力与其距刀尖距离的关系如图5所示。这一结果与B.A.奥斯塔费耶夫所著的《刀具动态强度计算》(机械工业出版社1982出版)中的结论一致。

2 Lee & Shaffer剪切角理论的验证

Lee & Shaffer剪切角理论

材料进入屈服状态后，塑性区中各点沿其相互正交的最大剪应力方向发生塑性剪切，将各点的最大剪应力方向连接起来形成一个正交的网络，即为塑性剪切的滑移线场。由此，可构造出刀具前刀面前方切削层中的滑移线场如图6所示。切屑层中AB为塑性区与刚性区的分界线，即剪切面，剪切面与刀具位移方向的夹角即为剪切角。由图6几何关系可得

$f + b - \gamma_0 = 45^\circ$ (2)式中 f ——剪切角

b ——摩擦角

γ_0 ——刀具前角

由式(2)可知，当刀具前角 γ_0 增大时，剪切角 f 随之增大，形成的切屑越薄，变形越小，反之亦然，这就是Lee & Shaffer剪切角理论。如果已知剪切角和被剪切材料的屈服剪应力，就可计算出切削力，因此，研究剪切角是研究切削机理的重要途径。

用虚拟设计方法验证Lee & Shaffer剪切角理论

虚拟设计方法为剪切角的研究提供了一种更为简洁的方法。基于上述研究，我们保持切削过程中的其它因素不变，在 $-15^\circ \sim 15^\circ$ 范围内改变刀具前角，建立不同的切削仿真模型进行计算，测得剪切角的变化范围为 $38^\circ \sim 56^\circ$ 。对应不同刀具前角的剪切角计算结果见表。

计算结果表明，当刀具前角增大时，剪切角随之增大，变形减小。由此验证了结论的正确性。

3 结论

通过对金属切削过程的有限元模拟及结果分析，可得出如下结论：

应用有限元方法成功模拟出了金属切削过程中切削层的形成过程和整个剪切变形区的应力—应变变化过程。对于切削中三个变形区形成过程的模拟证明利用该方法模拟大应变塑性变形具有可行性。

研究刀具强度时必须首先了解刀具所受载荷情况，而切削过程中刀具受力的边界条件非常复杂。有限元法可以通过仿真实验过程给刀具施加瞬时边界条件，可获取切削过程中任一时刻刀具任意部位的各种应力、应变值，从而为刀具的优化设计提供一系列数值解。因此，数值模拟方法作为计算机辅助工程系统的重要组成部分，必将成为刀具理论研究和产品开发中一种更有效、更可靠的研究方法。

本文仅是将数值模拟方法应用于刀具研究的初步尝试。在此基础上，可进一步研究切削过程中温度场的分布及其对刀具切削性能的影响；还可借助于断裂力学理论进行刀具破损、磨损分析；在综合各项数值分析结果的基础上，可对刀具结构和几何参数进行优化等。此外，还可应用3D有限元模型对一些复杂刀具进行较全面的结构及性能分析。

网页查看：[金属切削刀具虚拟设计方法初探](#) 发表评论

相关资讯：

金属

- 1 金属加工液的功能和选用
- 2 一种高精度便携式重金属测量仪在日本问世
- 3 超声波金属焊接基础知识
- 4 金属切削机床常见研伤的原因与排除
- 5 金属切削技术及刀具发展现状

切削

- 1 切削刀具多层涂层的力学特性和耐磨性
- 2 硬质合金刀片断续切削时的破损分析
- 3 干式切削刀具及其在加工轧辊中的应用
- 4 PCBN刀具的磨损机理和干切削GCr15时的磨损与寿命
- 5 钛合金可切削性的研究及加工刀具设计

刀具

- 1 切削刀具多层涂层的力学特性和耐磨性
- 2 先进刀具设计技术：刀具结构、刀具材料与涂层技术
- 3 PCBN刀具在Inconel 718加工中的应用
- 4 模块化刀具系统
- 5 干式切削刀具及其在加工轧辊中的应用

虚拟

- 1 ARM7—VxWorks的网络化实时彩色分析虚拟仪器
- 2 浅谈虚拟检测——虚拟检测的分类
- 3 基于工控机的虚拟仪器软件设计方案
- 4 虚拟制造技术及其在制造业中的应用
- 5 虚拟轴数控机床的仿三轴控制方法

设计

- 1 先进刀具设计技术：刀具结构、刀具材料与涂层技术
- 2 基于数据库的刀具管理系统的设计与实现
- 3 加工大模数、大变位齿轮用双头滚刀的设计与应用
- 4 内镀法金刚石铰刀的设计与制造
- 5 夹具的优化设计及经济性分析研究

方法

- 1 数控加工中传统的与专用的工具测量、对刀方法的区别
- 2 数控加工传统测量、对刀方法与专用工具测量、对刀方法的区别
- 3 二维半零件的简易造型方法和数控加工刀具轨迹生成
- 4 数控机床各种故障维修的方法列举
- 5 数控机床电气设备维修的方法与实践

数控机床网提供机床产品列表：[数控机床](#) | [苏州宝玛](#) | [数控车床](#) | [线切割机床](#) | [数控切割机](#) | [电火花数控快走丝线切割机床](#) | [电火花数控慢走丝线切割机床](#) | [电火花机](#) | [电火花成型机](#) | [电火花高速小孔加工机](#) | [数控铣床](#) | [加工中心](#)，欢迎咨询订购!