

# 基于 Deform 的 PCBN 刀具断续切削淬硬钢有限元仿真分析

沈浩 师建文 李泓 李媛丽

兰州理工大学

**摘要:** 采用有限元分析软件 Deform 对 PCBN 刀具断续车削淬硬钢 (Cr12MoV) 进行了有限元仿真。通过仿真结果分析了切削力的大小、切削温度及刀具磨损量的分布情况,并得到了相应的变化曲线。此仿真结果对断续切削工艺效果的预测和优化及刀具使用寿命的评估和计算具有一定的指导意义。

**关键词:** Deform; 切削模型; 切削仿真; 仿真结果

中图分类号: TG506

文献标志码: A

## Analysis of PCBN Cutting Tool Intermittent Cutting Hardened Steel Finite Element Simulation Based on Deform

Shen Hao ,Shi Jianwen ,Li Hong ,Li Yuanli

**Abstract:** Based on finite element software deform of PCBN cutting tool intermittent cutting hardened steel (Cr12MoV) has carried on the finite element simulation. Through the results of simulation analysis of the size of the cutting force, cutting temperature and tool wear volume of distribution, and corresponding curves are obtained. The simulation results has a certain guiding significance to the effect of prediction and optimization of the intermittent cutting process and assessment and calculation of service life of cutting tools.

**Keywords:** Deform; cutting model; cutting simulation; simulation results

### 1 引言

尽管对 PCBN 刀具的研究进行了多年,但是以往对 PCBN 刀具切削技术的研究主要集中在连续切削上,在断续切削上的研究较少<sup>[1]</sup>。生产实践中许多加工过程都包括断续加工,比如齿轮面的加工、带花键轴的加工等。以前对 PCBN 刀具切削过程的研究主要依靠试验的方法,然而依靠试验来获取相关信息,需要大量的人力物力作为支持,而且单纯利用试验手段来分析切削过程,不仅需要综合考虑各种影响因素,还要依靠先进的检测分析仪器和测试手段作为支持。通过有限元软件对切削过程进行仿真,不但可以深入地了了解切削加工过程中影响加工质量的各种因素的变化规律,而且能进一步地了解金属切削机理<sup>[2]</sup>。

目前,有限元分析方法在发达国家得到了广泛的应用,国内有限元分析方法的应用领域也在不断的扩展。利用有限元原理来评估切削环境及切屑形成对切削力和切削温度影响规律的研究一直都在进行<sup>[3]</sup>。本文通过有限元分析软件 Deform-3D 对 PCBN 刀具断续车削淬硬钢 (Cr12MoV) 进行了有限元仿真。通过仿真模型的建立、材料参数的确定、仿

真结果的分析得到了 PCBN 刀具断续车削淬硬钢 (Cr12MoV) 的应力分布云图、温度分布云图及刀具磨损量分布云图等切削力、切削热、刀具磨损的变化曲线。通过分析仿真结果及这些变化曲线验证了金属切削的相关理论并可对实际切削过程提供指导。

### 2 切削模型的建立

#### 2.1 几何模型的建立

仿真模拟的结果受到几何形状的直接影响,为了获得更为准确的仿真结果,本文借助于三维建模软件 pro/E 完成了刀片、工件的几何建模,并将完善后的几何模型导入到 Deform-3D 中,图 1 为 Deform-3D 环境下切削加工仿真的示意图。

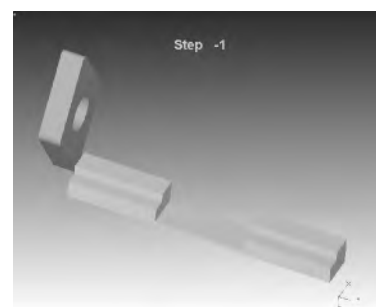


图 1 Deform-3D 环境下断续车削仿真示意图  
该切削模型分别用进给量 (Feed)、切削速度 (Cutting speed)、被吃刀量 (Depth of cut) 三个主要

收稿日期: 2014 年 7 月

参数来描述切削加工过程。根据经验,三个参数给出合适的匹配值,可以模拟出理想的变形加工效果。

### 2.2 材料模型的建立

材料模型通常表示为应力、应变以及相应的应变率、温度以及工件硬化作用函数。本研究中工件材料模型采用 Johnson-Cook 模型,其本构方程<sup>[4]</sup>为

$$\bar{\sigma} = \left[ 1 + c \ln \left( \frac{\dot{\varepsilon}}{\dot{\varepsilon}_0} \right) \right] \left[ 1 - \left( \frac{T - T_r}{T_m - T_r} \right)^m \right] \quad (1)$$

式中  $\bar{\sigma}$  为等效塑性应力;  $\bar{\varepsilon}$  为等效塑性应变;  $\dot{\varepsilon}$  为塑性应变率;  $\dot{\varepsilon}_0$  为初始塑性应变率;  $T_m$  为材料熔点;  $T_r$  为室温;  $A$  为初始屈服应力;  $B$  为硬化系数;  $C$  为应变率系数;  $n$  为加工硬化指数;  $m$  为温度软化系数。这里  $A$ 、 $B$ 、 $C$ 、 $m$ 、 $n$  都是材料的参数。工件材料选择 Cr12MoV, 刀具选择 DBA80 的 PCBN (CBN 含量 80%), 工件材料的性能参数如表 1 所示, 刀具材料的物理属性如表 2 所示。

表 1 工件材料 Cr12MoV 性能参数

弹性模量 (Pa)	密度 (kg/m <sup>3</sup> )	泊松比 (v)	热膨胀系数 (m/k)	热传导率 (w/m·k)	比热容 (J/kg·k)
2.18 × 10 <sup>11</sup>	7.85 × 10 <sup>3</sup>	0.28	1.04 × 10 <sup>-5</sup>	44	460
$A$ (pa)	$B$ (Pa)	$C$	$m$	$n$	
7.50 × 10 <sup>8</sup>	4.50 × 10 <sup>8</sup>	0.02	0.64	0.2	

表 2 PCBN 刀具性能参数

弹性模量 (Pa)	密度 (kg/m <sup>3</sup> )	泊松比 (v)	硬度 (HV)	热膨胀系数 (m/k)	热传导率 (w/m·k)
5.87 - 6.80 × 10 <sup>11</sup>	3.12 - 4.28	0.15 - 0.22	80000 - 90000	2.1 - 4.8 × 10 <sup>-6</sup>	40 - 60

## 3 模拟仿真

仿真过程中设置切削速度为 140m/min, 背吃刀量为 0.2 mm, 进给量为 0.1mm/r, 然后定义刀具、工件及环境温度等参数, 进行仿真运算。

### 3.1 应力分析

金属切削时, 切削力的主要来源有两个方面, 一方面是切屑形成过程中弹性变形及塑性变形产生的抗力, 另一方面是刀具与切屑及工件表面之间的摩擦阻力, 克服这两方面的力就构成了切削合力。图 2 为仿真后得到的应力分布云图。从图 2 可以看出, 在刀尖和工件接触的地方应力最大, 然后应力向外延伸并逐渐减小。这与实际切削加工中刀具易崩刃是相符的。

断续切削是个复杂的过程, 其中包括连续切削、刀具切入切出和空切三个阶段。图 3 分别为主切削力  $F_c$ 、进给力  $F_f$  及切深抗力  $F_p$ 。随时间的变化, 从这三幅图可以看出在刀具切入切出时切削力(包括切

削力  $F_c$ 、进给力  $F_f$  及切深抗力  $F_p$ ) 明显增大, 形成断续冲击力。在连续切削时, 切削力在一定范围内波动, 在空切过程中刀具切削力逐步减小到零。

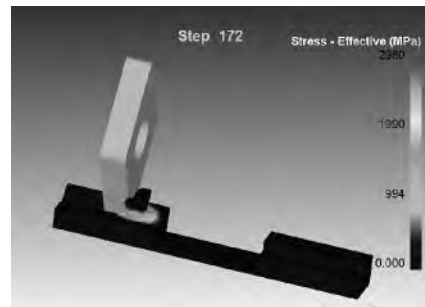
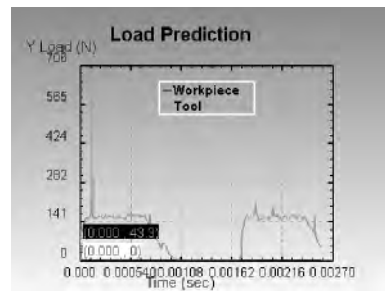
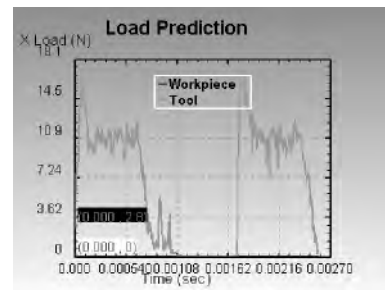


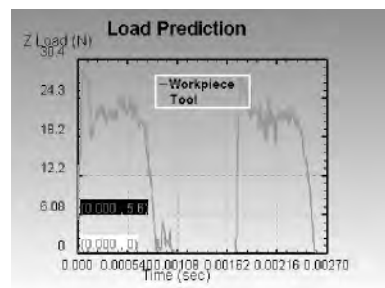
图 2 应力分布云图



(a) 主切削力  $F_c$  随时间的变化曲线



(b) 进给力  $F_f$  随时间变化的曲线



(c) 切深抗力  $F_p$  随时间变化的曲线

图 3

### 3.2 温度分析

切削热是金属切削过程中产生的重要现象之一。它直接影响刀具磨损和寿命, 限制了切削速度的提高。图 4 为切削仿真过程中工件的温度分布云图。图 5a 在工件剖面上所取了 4 个点 P1、P2、P3、P4 进行点追踪。其 4 个点的追踪结果, 如图 5b 所示。从工件的温度场点跟踪对比可以看出: 切屑的

最高温度出现在 P2 的位置上,而不是切屑与刀具接触点正下方。

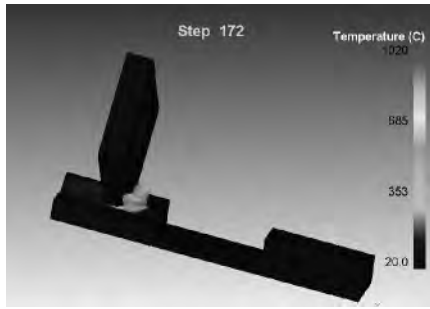
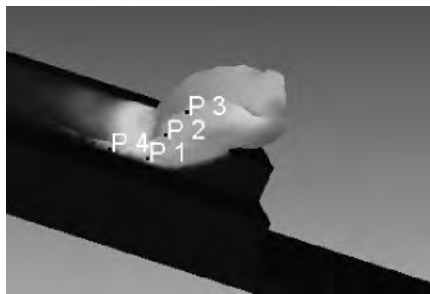
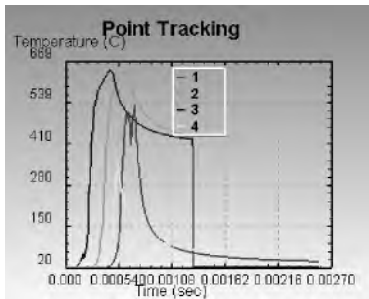


图 4 工件温度分布云图



(a) 工件温度场剖面点追踪



(b) 工件温度场剖面点追踪

图 5

### 3.3 刀具磨损分析

刀具的磨损是切削加工中极为重要的问题之一。当刀具磨损量达到一定程度时,对加工尺寸及加工表面都有很大的影响。图 6 为刀具磨损量分布图,从图可以看出,刀具磨损量是刀尖切削工件处由里向外依次不规则的递减,等量磨损值连成的曲线呈现出一圈圈不规则的闭合曲线。其中闭合曲线的形状由刀具形状、刀具划分网格数、工件形状、硬度、背吃刀量等多种因素共同决定。

图 7a 在刀具的刀尖上选取 P1、P2、P3、P4、P5、P6、P7 共 7 个点进行点追踪。其 7 个点磨损量的追踪结果如图 7b 所示。从磨损量点追踪的结果看,最大磨损量出现在 P4 点,最小磨损量出现在 P2 点,符合图 6 得出的刀具磨损量是刀尖切削工件处由里向外依次不规则递减的结论。同时从图 7b 可知,各

点的磨损量在切削时随切削时间的增加而增加,在空切时磨损量保持不变。如果已知刀具的磨钝标准,通过磨损量的变化曲线图也可对刀具的寿命进行评估和计算。

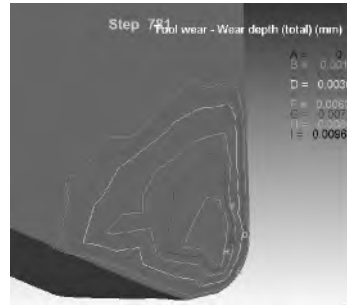
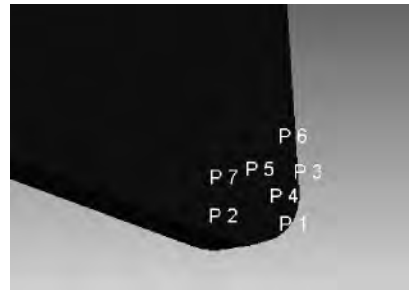
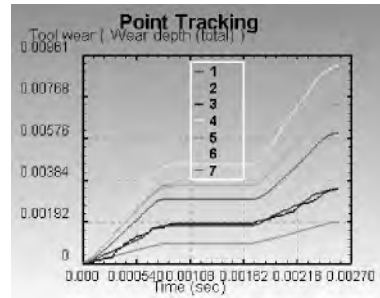


图 6 刀具磨损量分布图



(a) 刀具磨损量点追踪



(b) 刀具上各点磨损量的变化曲线

图 7

## 4 结语

通过有限元软件对切削过程进行仿真不仅能够满足研究切削的目的,而且可以有效减少甚至消除反复试验的过程,还可以从仿真结果中得出许多试验难以得到的材料力学特性和物理特性。但是由于车削加工尤其是车削断续加工过程极其复杂,在对切削过程仿真时还有许多问题有待解决:(1)由于仿真结果的精度受到几何模型、材料模型、分析步长、网格划分等多种因素的影响,如何设定这些因素使其更合理、更精确<sup>[5]</sup>;(2)在断续切削仿真时刀具切入和切出时刀具的冲击和震动等问题;(3)表面粗糙度的仿真与分析等。

# 二维复杂型面数字化比较技术的应用

高中亚 李振平 方海滨 顾梦龙

航天科工海鹰集团有限公司

**摘要:** 以动压空气轴承弹性箔片为代表的具有二维复杂异性结构的精密零部件对型面具有很高的精度要求,加工此类产品的质量控制在批量生产的一个难题。传统的比较方法费时、费力,并且不便于交流。本文针对该类型产品的型面比较提出了一套完整的解决方案,详细论述了实现方法和关键技术,并采用 C#编写了程序,实现了对检测结果的快速比较,目前,该方案已经在产品的首件鉴定和批量检测中得到验证。

**关键词:** 二维型面;数字化比较;批量检测

中图分类号: TG659

文献标志码: A

## Application of Digital Compare Technology on Two-dimensional Complex Profiles

Gao Zhongya , Li Zhenping , Fang Haibin , Gu Menglong

**Abstract:** Requiring high profile precision , the quality control has become a problem for mass production of precious parts with a complex two-dimensional structure such as spring foil bearing. The traditional method of comparison is time consuming , laborious and difficult to communicate. This paper puts forward a whole set of technology for complex profile comparison and the implementation was described in details. Then , a program designed in C# is applied to achieve a quick comparison of the test data. Now the program has been successfully used for the first part inspection and batch inspection.

**Keywords:** two-dimensional profile; digital comparison; batch inspection

## 1 引言

弹性箔片是动压空气轴承的关键零件,而动压空气轴承又是微型燃气轮机等免维护发动机的核心产品。其几何形状复杂,在二维平面内由上百个异型镂空(U型)构成,精度要求高,因此对弹性箔片加工质量的控制已成为批量生产的难题。为了在生产中有效地控制弹性箔片的制造精度与质量,弹性箔片的检测和型面比较就显得十分重要。本文以弹性箔片为例,针对该类型产品提出了完整的型面检测解决方案,详细论述该方案的解决方法和关键技术,并编写实现程序,最终实现型面检测结果的快速

比较。

## 2 型面检测方法与传统比较方法

图1中复杂型面产品最小镂空宽度仅0.1mm,传统的接触式测量方法无法进行检测,只能采用光学测量等方法检测,主要的光学测量方法有光学投影测量法和光学影像测量法。其中光学投影方法用于定性观察放大后的产品型线与标准产品型面之间的符合程度,虽然检测设备简单、操作方便,但是由于每一个型面都需要比较,检测效果非常低。光学影像测量法一般采用影像测量仪(也称影像测头坐标测量机)对产品进行检测,它利用光学显微镜对待测物体进行自由倍率的放大成像,经过CCD摄像系统,将放大后的被测物体影像传输到与仪器相连

基金项目:北京市科技计划项目(D13110400330000)

收稿日期:2014年6月

## 参考文献

- [1]李玉标. PCBN 刀具断续切削性能的试验研究[D]. 大连:大连理工大学硕士论文, 2009.
- [2]邓文君,夏伟等. 有限元法在切削加工过程分析中的应用[J]. 工具技术, 2004(11):20-26.
- [3]Courant R. Variational method for solutions of problems of equilibrium and vibrations [J]. Bull. Am. Math. Soc., 1956, 23: 1-23.

- [4]Johnson G R ,Cook W H. Fracture characteristics of three metals subjected to various strains ,strain rates ,temperatures and pressures [J]. Engineering Fracture Mechanics ,1985 21
- [5]黄美霞,武文革. 基于 Deform 3D 的高速车削加工仿真研究[J]. 工具技术, 2008(10):70-73.

第一作者:沈浩,副教授,兰州理工大学机电工程学院,730050 兰州市

First Author: Shen Hao ,Associate Professor ,School of Mechanical and Electrical Engineering ,Lanzhou University of Technology ,Lanzhou 730050 ,China