

Study on the Critical Technology of Finite Element Simulation of Serrated Chip

Yuqiang Shen^{1,2}, Qingguo Meng¹, Guohe Li¹

¹Tianjin University of Technology & Education, Tianjin

²Qingdao Technicians College, Qingdao Shandong

Email: 275988227@qq.com

Received: Mar. 10th, 2017; accepted: Mar. 28th, 2017; published: Mar. 31st, 2017

Abstract

The finite element simulation is one of the important methods for the study of serrated chip in high speed cutting. It is significant for revealing the mechanism of high speed machining and optimizing the cutting parameters. In this paper, based on the general finite element software ABAQUS and the finite element model of serrated chip of 45 steel in high speed cutting, the critical technologies, such as the geometry model, material model, friction model and mass scaling are investigated. The results show that: In the process of building the finite element geometry model of serrated chip, using the work-piece geometry model with 45° angle can better overcome the influence of grid distortion and obtain a better simulation result. The parameters of material model have great influence on the simulation results. The simulation results using different constitutive relationship obtained from different experiment method and conditions have great difference. The friction coefficient also has great influence on the simulation results. For the 45 steel, when the friction coefficient is taken as 0.3, the simulation result is better. The mass scaling is valid for the finite element simulation of serrated chip. An appropriate mass scaling coefficient can be guaranteed to save the time cost in the condition of obtaining the accuracy simulation results.

Keywords

45 Steel, Serrated Chip, Finite Element Simulation, Critical Technology

45钢高速切削锯齿形切屑关键技术的有限元模拟

申玉强^{1,2}, 孟庆国¹, 李国和¹

¹天津职业技术师范大学, 天津

²青岛市技师学院, 山东 青岛

Email: 275988227@qq.com

收稿日期: 2017年3月10日; 录用日期: 2017年3月28日; 发布日期: 2017年3月31日

摘要

有限元模拟是当前高速切削锯齿形切屑研究的一个重要手段,对揭示高速切削加工机理,优化切削参数具有重要意义。本文基于ABAQUS通用有限元软件,在45钢高速切削锯齿形切屑有限元模型基础上,开展几何模型、材料模型、摩擦模型和质量放大等有限元模拟关键技术的研究。研究表明:在进行锯齿形切屑有限元模拟几何建模时,采用45°锐角平行四边形的工件几何模型能够较好地克服网格畸变的影响,获得更好的模拟结果;材料模型参数对模拟结果影响很大,采用不同实验方法和实验条件获得的本构关系时模拟结果差别很大;摩擦系数变化对模拟结果也有很大影响,对45钢来说,摩擦系数取0.3时模拟结果较好;质量放大对锯齿形切屑有限元模拟有效,合适的质量放大系数可以在确保模拟结果准确的条件下大量节省时间成本。

关键词

45钢, 锯齿形切屑, 有限元模拟, 关键技术

Copyright © 2017 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

锯齿形切屑是高速切削加工的典型特征,也是高速切削加工机理研究的一个主要方向。随着有限元和计算机技术的发展,有限元仿真已经成为高速切削锯齿形切屑研究的主要手段之一。近年来,国内外学者在高速切削锯齿形切屑的有限元模拟方面做了大量的研究工作。在国外,德国的 Martin bähler [1]采用 ABAQUS 结合 c++开发的具有网格划分功能的前处理程序来进行锯齿形切屑的有限元模拟,并讨论了弹性特性和切削速度对锯齿形切屑的影响。后来又进一步讨论了材料参数(应变硬化、应变率硬化和热软化)对切削力和切屑变形的影响,结果表明锯齿形切屑的锯齿化程度可以用绝热应力曲线来定量解释[2]。Madalina 等人[3]通过加入应变软化对流动应力的影响建立了 Ti6Al4V 新的本构方程,进而建立有限元模型分析了锯齿形切屑的形成和剪切局部化的过程。Lorentzona 等人[4]考察了不同断裂准则对锯齿形切屑模拟的影响,认为不论热软化准则还是材料破坏准则,都能引起材料从连续带状切屑向锯齿形切屑的转化,并且采用静水压力相关的断裂准则能够更精确的对锯齿形切屑进行模拟。Yigit 等人[5]将温度相关流动软化行为集成到材料本构模型中来模拟绝热剪切带和锯齿形切屑,考察了流动软化条件对模拟结果的影响。在国内,赵军等人[6]分析了锯齿状切屑形成过程中应力、应变及温度场的分布规律,探讨了锯齿状切屑的形成机理及影响因素。鲁世红等人[7]应用有限元软件 ABAQUS 建立了 Ti6Al4V 钛合金高速正交切削有限元模型,模拟了锯齿形切屑的产生及其随切削条件的变化。陈涛等人[8]采用热力耦合有限元研究了淬硬轴承钢 GCr15 锯齿形切屑的形成过程中,分析了倒棱角度对切削力和切削温度分布的影响规律。

从现有的研究可以看出,目前虽然采用 ABAQUS 软件对高速切削锯齿形切屑进行了较多的仿真分析,但主要集中在切屑形态及其应力、应变和温度分布等切屑形成机理方面,而缺乏对有限元建模关键技术的研究,这在一定程度上限制了锯齿形切屑有限元模拟技术的进一步发展和应用。本文基于 ABAQUS 通用有限元软件,以 45 钢高速切削锯齿形切屑有限元模拟为例,开展几何模型、材料模型、摩擦模型和质量放大四个有限元模拟关键技术的研究,为锯齿形切屑有限元模拟技术的研究提供参考。

2. 有限元建模

针对二维直角切削过程(如图 1 所示)建立高速切削有限元模型,忽略刀尖圆弧半径的影响,建立的几何模型如图 2 所示。为了避免在模拟过程中工件网格畸变导致计算终止,工件设计成向左倾斜的平行四边形。工件材料设为弹塑性体。为实现切屑分离,在切屑层和基本层之间加入了分离层。刀具设为刚体。采用热力耦合单元 CPE4RT 划分四边形网格。

采用当前应用最为广泛的 Johnson-Cook 模型表征材料在切削条件下的动态力学性能,表达式为:

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

式中, σ 为流动应力; ε 为塑性应变; $\dot{\varepsilon}$ 为塑性应变速率; $\dot{\varepsilon}_0$ 为参考应变速率, 取为 10^{-3}s^{-1} ; T_r 为室温, T_m 为材料的熔点, A, B, C, n 和 m 为本构参数, 具体数值列于表 1 中[9]。材料密度为 $\rho = 7800 \text{ Kg/m}^3$, 弹性模量 $E = 200 \text{ Gpa}$, 泊松比为 0.3, 比热为 474 J/Kg.K , 热传导率为 146 W/m.K , 熔点为 $T_m = 1450^\circ \text{C}$, 室温取为 $T_r = 23^\circ \text{C}$ 。刀具材料的密度 $\rho = 14,400 \text{ Kg/m}^3$, 弹性模量为 $E = 800 \text{ Gpa}$, 泊松比为 0.3。

将刀具前刀面和切屑之间的摩擦简化为经典库伦摩擦, 用等效摩擦系数来表征其摩擦行为。采用失效应变准则实现切屑与工件的分离, 根据文献[6]取失效应变为 0.95。采用绝热分析来考虑切削温度的影响。

完成参数设置和网格划分后, 对刀具/工件进行约束和加载。工件采用位移/旋转边界条件, 约束住工件的左侧面(包括未变形切屑、分离线、工件基体三部分)、右侧工件基体的侧面以及工件的底面。刀具则采用速度/角速度边界条件, 给定刀具沿 x 负方向的速度, 并约束住刀具的其余 5 个自由度, 防止刀具在切削中出现偏移和旋转, 从而影响正常切削。边界条件及加载结果如图 3 所示。采用 dynamic-temp-disp Explicit

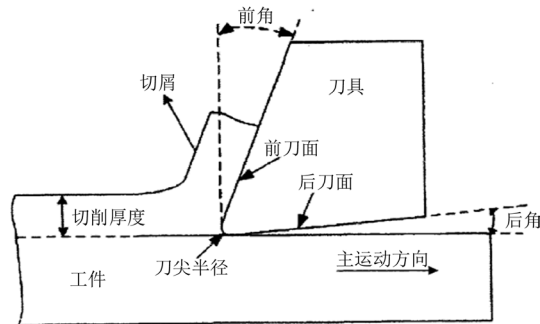


Figure 1. Sketch of orthogonal cutting

图 1. 直角切削示意图

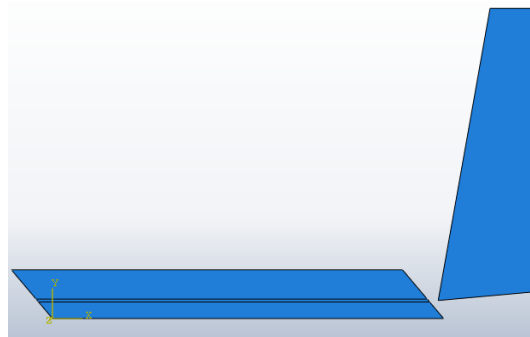


Figure 2. Geometric model

图 2. 几何模型

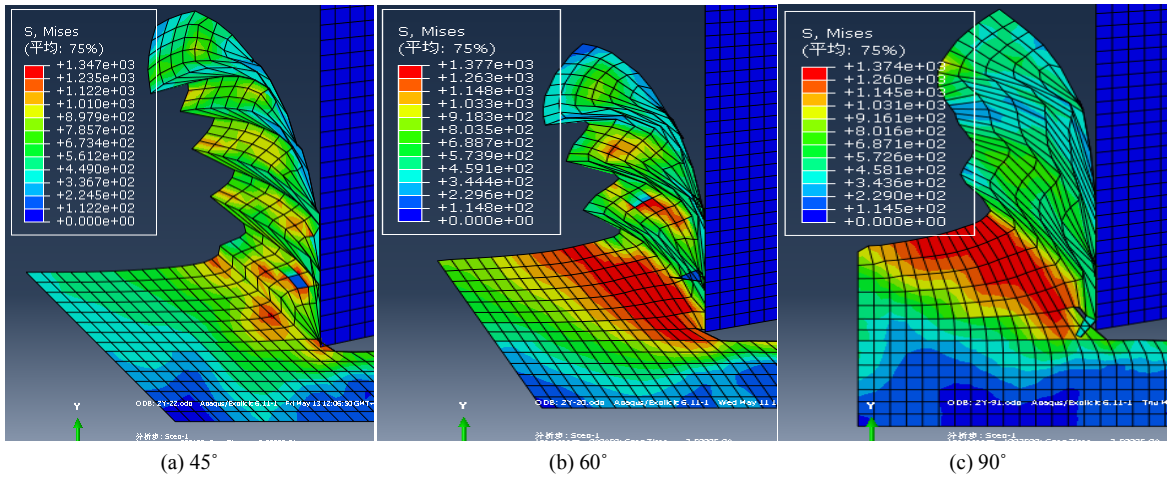


Figure 4. Simulation results of effective stress under different angle of workpiece
 图 4. 不同工件几何模型角度时等效应力的模拟结果

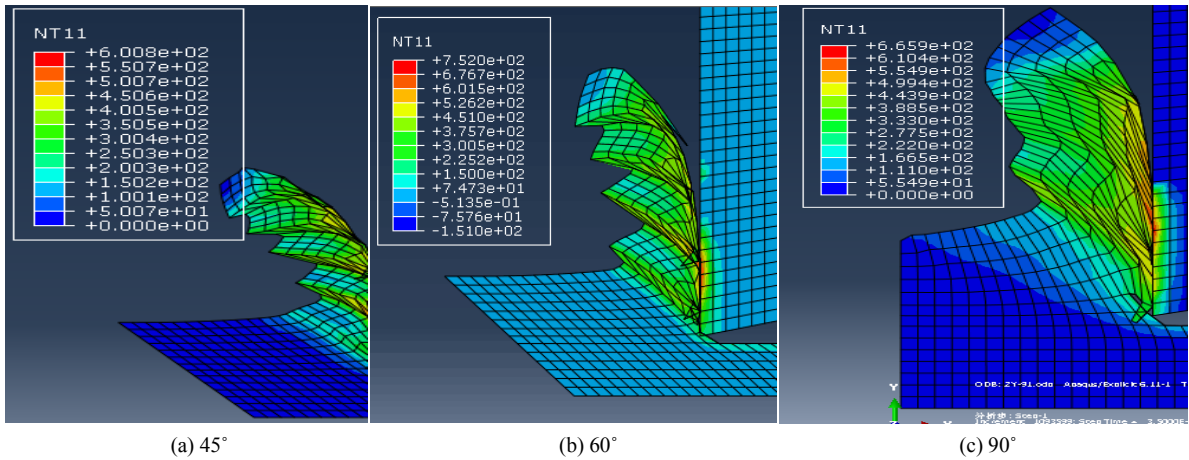


Figure 5. Simulation results of cutting temperature under different angle of workpiece
 图 5. 不同工件几何模型角度时温度的模拟结果

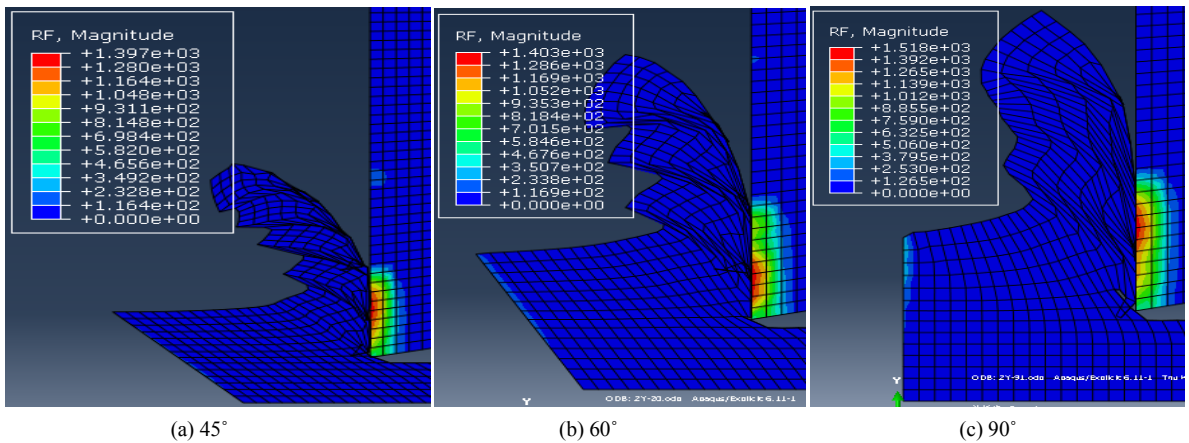


Figure 6. Simulation results of cutting force under different angle of workpiece
 图 6. 不同工件几何模型角度时切削力的模拟结果

况，因此这里采用不同的摩擦系数来分析摩擦系数对模拟结果的影响，结果如表 4 所示。可以看出当摩

Table 2. Second group Johnson-Cook constitutive parameters of 45 steel
表 2. 45 钢的第二组 Johnson-Cook 本构参数

A (MPa)	B (MPa)	n	C	m
496	434	0.307	0.0084	0.804

Table 3. Effective stress and cutting forces when using different constitutive parameter

表 3. 采用不同本构参数时的等效应力和切削力

本构参数	等效应力/MPa	切削力/N
1	1258	906
2	1267	679

Table 4. Cutting force and cutting temperature when using different friction coefficient

表 4. 不同摩擦系数切削力与切削温度模拟结果

摩擦系数	切削力/N	温度/°C
0.15	771	537
0.3	945	683
0.45	1208	892

Table 5. Simulation results under different mass scaling coefficient

表 5. 不同质量放大系数的模拟结果

质量放大系数	切削力/N	计算时间/min
无	751	88
4	739	32
100	722	12
1000	715	4

摩擦系数从 0.15 增大到 0.45 时, 切削力从 771 N 增大到 1208 N, 相应的切削温度从 537°C 升高到 892°C, 表明摩擦系数对模拟结果影响很大。另外从实验结果相符的程度来看[11], 摩擦系数为 0.3 时的模拟结果相对较好。

3.4. 质量放大的影响

在有限元模拟中, 为了缩短模拟过程, 降低时间成本, 通常会采用质量放大技术。但随着质量放大而产生的惯性力效应有时会影响模拟结果, 甚至使模型无法收敛。因此本文通过对几组不同质量缩放因子的模拟结果来分析采用质量放大的可行性。表 5 给出了采用不同质量放大系数时切削力和计算时间的对比。可以看出, 随着质量放大系数的增大, 计算时间大大缩短, 但切削力的变化不大, 说明质量放大对锯齿形切屑的有限元模拟是有效的, 合适的质量放大系数可以在保证模拟结果准确性的条件下大量节省时间成本。

4. 结论

本文在基于 ABAQUS 通用有限元软件建立的 45 钢高速切削锯齿形切屑有限元模型基础上, 开展几

何模型等锯齿形切屑有限元模拟关键技术的研究, 主要结论如下:

(1) 在进行锯齿形切屑有限元模拟几何建模时, 具有 45° 锐角的平行四边形工件几何模型能够较好的克服网格畸变的影响, 获得更好的模拟结果。

(2) 材料模型参数对模拟结果的影响很大, 采用不同实验方法和实验条件获得的本构关系时模拟结果的差别很大。

(3) 摩擦系数对模拟结果有很大影响, 对 45 钢来说, 摩擦系数取 0.3 时模拟结果较好。

(4) 质量放大对锯齿形切屑的有限元模拟是有效的, 合适的质量放大系数可以在确保模拟结果准确的条件下大量节省时间成本。

基金项目

感谢天津高等学校创新团队培养计划 (TD12-5043) 和天津职业技术师范大学科技发展基金 (KJY11-02) 的资助。

参考文献 (References)

- [1] Bäker, M., Rösler, J. and Siemers, C. (2002) A Finite Element Model of High Speed Metal Cutting with Adiabatic Shearing. *Computers and Structures*, **80**, 495-513.
- [2] Bäker, M. (2005) Finite Element Investigation of the Flow Stress Dependence of Chip Formation. *Journal of Materials Processing Technology*, **167**, 1-3.
- [3] Madalina, C., Dominique, C. and Franck, G. (2008) A New Material Model for Numerical Simulation of Serrated Chip Formation When Machining Titanium Alloy Ti-6Al-4V. *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, **48**, 275-288.
- [4] Lorentzsona, J., Järvtstråt, N. and Josefsonb, B.L. (2009) Modelling Chip Formation of Alloy 718. *Journal of Materials Processing Technology*, **209**, 4645-4653.
- [5] Karpat, Y. (2011) Temperature Dependent Flow Softening of Titanium Alloy Ti6Al4V: An Investigation Using Finite Element Simulation of Machining. *Journal of Materials Processing Technology*, **211**, 737-749.
- [6] 赵军, 孟辉, 王素玉. 高速切削锯齿状切屑的有限元模拟[J]. 工具技术, 2005, 39(1): 29-31.
- [7] 鲁世红, 何宁. TC4 钛合金动态本构模型与高速切削有限元模拟[J]. 兵器材料科学与工程, 2009, 32(1): 5-9
- [8] 陈涛, 刘献礼, 罗国涛. PCBN 刀具硬态切削淬硬轴承钢的数值模拟与实验研究[J]. 系统仿真学报, 2009, 21(17): 5586-5593
- [9] 陈刚, 陈忠富, 陶俊林, 等. 45 钢动态塑性本构参量及验证[J]. 爆炸与冲击, 2005, 25(5): 451-456.
- [10] 胡昌明, 贺红亮, 胡时胜. 45 号钢的动态力学性能研究[J]. 爆炸与冲击, 2003, 23(2): 188-192.
- [11] Li, G., Yan, B. and Cai, Y. (2012) Experiment Study of Chip Formation and Cutting Force of Hardened AISI 1045 Steel in High Speed Machining. *Advanced Materials Research*, **383-390**, 1915-1920.

期刊投稿者将享受如下服务：

1. 投稿前咨询服务 (QQ、微信、邮箱皆可)
2. 为您匹配最合适的期刊
3. 24 小时以内解答您的所有疑问
4. 友好的在线投稿界面
5. 专业的同行评审
6. 知网检索
7. 全网络覆盖式推广您的研究

投稿请点击：<http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱：met@hanspub.org