

# 前 言

振动切削加工是一种复杂的非线性变形过程，利用传统的研究方法对振动切削机理进行相关分析还是有比较大的难度。随着计算机技术的发展，利用计算机进行有限元仿真分析的优势日益突出，它具有继承性好、系统性好，不受时间和空间限制等优点。而且切削加工中的切削温度、切削力、应力等变化都是以切屑形成过程为基础的，这无疑都与切削变形区有着密切联系。所以，利用有限元方法分析变形区内相关变化，并配合理论与实验进行研究，正是抓住问题本质，对研究振动切削机理有深远意义。

本书根据现有的金属切削理论和应力波理论，对振动切削中变形区内应力波的传播进行理论分析，给出了振动切削中刀具的撞击速度与变形区内应力关系的变化规律，以及振动切削中工件材料发生超前微观损伤破坏的原因，阐明振动切削微观机理。

运用 ABAQUS 有限元分析软件建立振动切削塑性材料和脆性材料有限元宏观模型，对整个切削过程进行了仿真与分析，并和普通切削仿真结果进行比较，简要分析出变形区温度与应变的变化规律，重点分析出切削力以及变形区内应力的变化规律，说明振动切削可以实现工件材料的超前微观损伤。

同时，设计建立超声振动车削实验系统，进行超声振动车削塑性材料和脆性材料实验，对比普通车削实验结果，分析研究切削力变化规律。最

后,搭建振动切削动态冲击试验平台,模拟进行动态冲击试验,通过对试件的微观观察,证实了振动切削确实可以使工件材料发生超前微观损伤,在一定程度上验证了前面仿真分析的准确性。

颗粒增强金属基复合材料具有良好的力学性能,但由于存在增强颗粒,其加工起来比较困难。超声振动切削技术在切削难加工材料方面显示出优势,但关于颗粒增强金属基复合材料的振动切削加工研究,更多的偏向于宏观实验研究。本研究的目标是,从细观层面上明确颗粒增强金属基复合材料的振动切削机理,这对于进一步优化加工工艺具有重要的指导意义。

通过分析颗粒强化理论及颗粒增强复合材料的复合制备原则,确定了颗粒增强相的几何参数。基于颗粒增强复合材料有限元模拟理论,分析了各相材料的特性尤其是界面的特征和性能,对几何和网格模型进行了合理简化。讨论了颗粒的分布方式对模型的影响,确定了颗粒增强复合材料正交切削几何模型。此外,基于切削仿真实论,确定了工件的材料模型以及损伤失效模型等。

基于 Python 语言,对 ABAQUS 前处理过程进行了二次开发,实现了参数化地快速建模。研究了能使颗粒具有体分比可变、尺寸可变,颗粒分布随机且无交叉等特点的算法。建立了能合理地反映材料的应力应变分布情况,及多种加工工况(颗粒在切削路径的上、中、下位置)的有限元模型。通过给颗粒定义与基体相同的材料属性,降低了模型验证成本,并实现了基于同一几何模型,观察增强颗粒加入后的切削机理变化情况的目的。

通过设计振动切削实验,验证了建模方法的合理性,并基于其研究了

颗粒增强金属基复合材料的振动切削机理。分别研究了增强颗粒及振动冲击作用的加入，对工件材料的切削力、已加工表面质量、应力的传递和起始裂纹的产生的影响。揭示了“应力倾向于在‘颗粒对’之间传递”这一应力传递机制，及“振动切削能使颗粒周围基体瞬间产生起始裂纹，进而切断部分应力在‘颗粒对’之间传递的‘通道’，造成裂纹尖端应力集中而加速裂纹扩展”的振动切削机理。充分利用这一特性，结合颗粒的参数(体积分、颗粒大小)优化加工工艺参数，是未来重要的研究方向之一。

在开展上述研究工作的过程中，获得了辽宁省科技厅的辽宁省自然科学基金项目(2015020131)的资助，同时得到了大连交通大学机械工程学院(辽宁省高等学校一流重点学科)的众多老师的支持，感谢大连市政协秘书长兼大连交通大学教授许立老师、施志辉教授、阎长罡教授、朱乾敏副教授、朱建宁副教授对本工作开展过程中的大力支持。感谢滕涛、孙雷、戴江鹏、张明召、付博华、徐春光、孙明杰、刘小铭等硕士研究生为本书所做的辛苦工作。同时，感谢大连机床集团有限公司、上海确吉电子科技有限公司对于本项目研究过程中提供的技术支持。最后，作者还要向本书中所有参考文献的作者表示感谢，他们的智慧结晶是本书前进的基础和源泉。

限于时间和水平，本书内容难免存在不足之处，诚挚邀请广大读者批评指正！

杨亮

2022.12.于大连