

# 高速切削深度对镍基合金切削参数的影响分析

张 恒

(驻马店技师学院机械工程系, 河南省驻马店市, 463000)

**摘要** 镍基合金作为难加工的材料之一,传统切削难以满足机加工的要求。高速切削方式可以有效缓解切削过程中工件内部的残余应力,但会影响到表面加工质量。因此开展高速切削深度对镍基合金切削参数的影响分析。研究表明:随着切削深度的增加,被挤出原子数量增多,材料内部原子点阵会出现更大畸变,进而减小沟痕宽度,增大切削力和温度,降低摩擦系数和系统势能。该研究有助于提高对镍基合金的切削机理的认知,为后续的实验开展奠定一定的理论基础。

**关键词** 高速切削;镍基合金;切削参数;仿真分析

中图分类号:TG506.1 文献标识码:B

文章编号:1008-0899(2026)06-0024-02

在现有材料加工技术中,对各类难加工材料零件进行加工时,最常用的加工方式为切削法<sup>[1]</sup>。该加工方法是以高速切削的方式,在保证零件质量的前提下,实现更高精度的尺寸控制效果,这是保障零件加工质量的有效手段,可有效地提升零件去除率。因此,高速切削成为了当前一种非常重要的材料加工技术<sup>[2]</sup>。

国内外学者对镍基合金加工进行了大量研究,并取得了一定的成果。例如,高铭昌等<sup>[3]</sup>对GH4169镍基合金进行了三种硬质合金刀具的切削实验,结果表明,采用高硬度、优异韧性刀具进行加工时,其后刀面可以实现更低磨损程度,形成的磨损面更加均匀。杨文龙等<sup>[4]</sup>设计了一种基于超声振动的切削加工技术,显著地减少切削力,提升整体生产效率,获得更好的表面质量。

随着切削领域对工件的精度提出了更高要求,许多高精度加工参数得到了大量推广,有效提高了零件尺寸控制精度,甚至可以精确到纳米级的材料操控水平<sup>[5]</sup>。利用高速切削方法能有效降低工件在加工时的残余应力,但会受到切削深度的显著影响。为此,本文针对镍基合金高速切削用量与切削工艺进行综合分析,以此提升合金加工性能。

作者简介:张恒(1986~),男,河南驻马店人,本科,高级实习指导教师,研究方向:数控加工教学。

## 1 物理模型

根据切削过程中合金与刀具微结构的变化过程可知,各粒子均具有相对独立的运动特性,动力学演化过程可以采用微分方程进行准确表达<sup>[6]</sup>。从更深入的层面分析,牛顿运动定律是一个根据给定时间间隔方程进行一系列积分计算的过程,每个过程都取决于对应的时间段。

在确定工件类型及加工工具的情况下,依据样品内晶体结构类型并结合基体点阵布置特征,对样品进行三维空间有序排序。按照图1给出的加工参数,对镍基合金组织和几何结构实施切削加工。

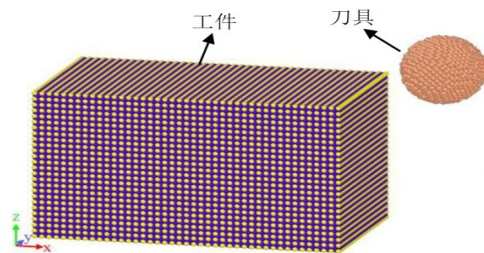


图1 切削模型

为了建立更加贴近真实切割过程的加工模型,可以按照零件的组织构造建立零件模型,通常可将其分为三种基本形态,包括边缘层、牛顿层与恒温层。本研究选择粒度尺寸4nm左右的球状金刚石组成刀具。

在试验过程中,设定了4个不同深度条件,通过模拟测试,设定加工参数见表1所示,开展不同参数的性能分析。

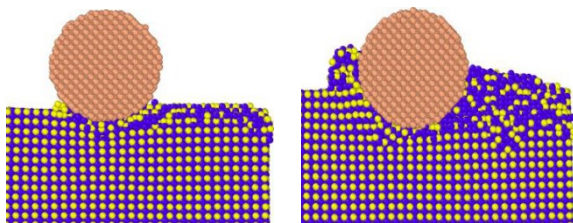
表1 不同切削深度下的切削参数

项目	工件
几何尺寸	20nm×10nm×10nm
系统温度初始值	293K
切削速度	100m/s
切削深度	0.6~1.5nm
切削距离	10nm
切削方向	(001)晶面[100]方向
刀具	半径2nm金刚石

## 2 切削深度对切削过程的影响

### 2.1 晶格变形分析

对图2测试结果进行分析可以看出,本实验设定的各个切割深度下获得的瞬态图像。其中,切割深度为0.6nm时,产生了非常细小的切屑。随着切割深度的增加,被挤出的原子数量不断增多,在加工过程中产生的碎片变多,材料内部原子点阵会出现更大畸变。随着切割深度的增大,刀具和工件形成了更大接触范围,从而加剧了被加工材料内部原子变形的程度。与此同时,在刀片推动作用下,有更多的原子发生位置改变,生成了许多压缩原子。这些原子发生了点阵重建,由此产生了大量碎片组织。



(a) 切削深度0.6nm (b) 切削深度1.5nm

图2 切削过程瞬时图像

### 2.2 性能分析

通过对实验沟痕组织进行比较,可得沟痕宽度与切削深度的对应关系,见表2。在不同切削深度下,沟痕前缘宽度均为正值,表明前缘宽度普遍大于后缘。同时,沟痕尺寸随切削深度增大而缩小,说明移除原子数目增加。擦痕末端与内部原子间交互作用较弱,回弹力减弱,导致后缘宽度较大。

研究表明,随切削深度增加,平均切削载荷提高,摩擦因数降低。原因在于切削深度增大带来负载增加,较大的切削强度使加工中碎片增多,碎片在刀缘堆积,需施加更大切削力才能推动其运动,从而引起平均切削力增加。

分析各个深度条件下的试样表面温升变化规律可以发现,随切削深度的增大形成了更缓慢的温

度变化,达到了更大的温度变化速率。由此造成温度的快速升高。根据以上温度变化趋势可知,增大切削深度对加热面的温度会产生明显影响,且加热面总平均温度越高。

表2给出了试验过程在各切削深度下的系统位能改变结果,随切削深度的增大,体系势能随之提高,变化速率显著增大,这是由于随着切削深度的增大,与工具表面接触的原子越多,彼此间的作用力越大,积累的摩擦热越多,由此造成体系总势能的升高。

表2 不同切削深度下加工参数变化

参数	切削深度/nm			
	0.6	0.9	1.2	1.5
沟痕宽度/nm	0.53	0.46	0.39	0.31
平均切削力/N	57.3	69.2	81.5	93.0
平均摩擦系数	2.74	1.85	1.454	1.12
平均温度/K	198.5	311.6	339.5	356.2
系统势能/KeV	-540.6	-539.6	-534.2	-533.2

## 3 结论

本文开展高速切削深度对镍基合金切削参数的影响分析,取得如下有益结果:随着切削深度的增加,被挤出原子数量增多,材料内部原子点阵会出现更大畸变,进而减小沟痕宽度,增大切削力和温度,降低摩擦系数和系统势能。该研究有助于提高对切削动态过程的认识,为后续的实验优化起到一定的支撑作用。

### 参考文献

- [1] 段春争,吕启东,韩世凯.镍基高温合金GH4169端铣加工表面形貌研究[J].航空制造技术,2024,67(14):102-108.
- [2] 汪东明,单以才.718镍基合金切削加工过程刀具磨损影响研究[J].组合机床与自动化加工技术,2024,(04):159-163.
- [3] 高铭昌,蒋永翔,孙宏昌,等.不同硬质合金刀具车削GH4169时刀具性能的对比试验研究[J].工具技术,2024,58(10):31-37.
- [4] 杨文龙,谭延林,罗剑锋.超声振动辅助铣削镍基高温合金GH4169的切削性能研究[J].机械设计与研究,2024,40(06):34-41.
- [5] 张唤,巩亚东,梁春游,等.镍基单晶高温合金DD5铣削表面完整性及亚表面微观组织[J].稀有金属,2024,48(08):1063-1072.
- [6] 于贵华,朱涛,蔡明,等.镍基单晶高温合金DD5磨削成屑机理研究[J].金刚石与磨料磨具工程,2023,43(06):760-771.