

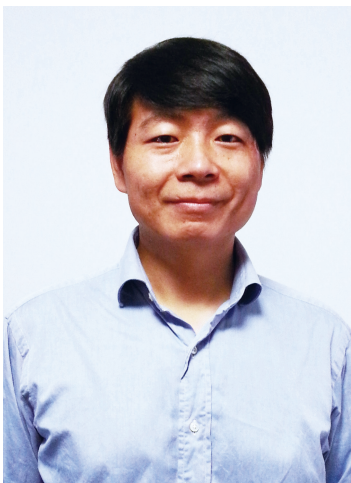
基于回转基准面的椭圆振动辅助 切削微织构过程仿真研究*

张 臣, 霍建强, 侯 磊, 王生才
(南京航空航天大学机电学院, 南京 210016)

[摘要] 仿生研究表明, 具有凹坑、沟槽等微结构的表面具有减阻、自清洁等优异性能, 微结构表面在航空航天、船舶、光学等领域有广泛的应用, 对于节省能源、减阻降噪、降低污染和提升产品性能等具有重要的意义。为了有效预测椭圆振动辅助切削加工微织构的效果, 依据椭圆振动装置的共振频率和回转类基准面的转动速率, 给出了一种椭圆振动辅助切削微织构的轨迹规划方法, 通过对周期振动载荷进行傅里叶级数的转化, 在刀具有限元模型上加载了椭圆振动载荷, 建立了基于回转面的椭圆振动辅助切削微织构的有限元仿真模型。基于建立的有限元仿真模型, 对不同振动参数下的椭圆振动辅助切削微织构加工过程中的瞬时 Mises 应力分布和切削力进行分析, 验证了微织构加工轨迹的正确性, 为进一步的微织构加工提供了参考。

关键词: 微织构; 回转类基准面; 椭圆振动辅助切削; 轨迹规划; 有限元仿真

DOI:10.16080/j.issn1671-833x.2019.13.045



张 臣

教授、博导, 主要研究方向为数字化设计与制造、数控加工过程仿真与监测、超声振动辅助加工技术、减阻微纳织构设计与制造技术等。申请国家发明专利 27 项, 授权国家发明专利 18 项。

自然界中的动植物身上存在着大量的微结构组织, 这些微结构赋予了动植物本身许多“特殊本领”, 如荷叶表面的乳突结构^[1], 使得荷叶具有了很强的疏水性而能“出淤泥而不染”; 鲨鱼皮肤表面上存在着大量顺流向分布的盾鳞结构^[2], 而这些盾鳞结构则是由更加微小的, 且大小不一的沟槽结构组成, 这些微小的沟槽结构极大地减小了鲨鱼游泳时的阻力, 使得鲨鱼成为最出色的“海洋猎手”之一; 壁虎足部由刚毛组成的微小复杂结构, 使得其足部和接触物体表面能够充分接触, 而具有了“飞檐走壁”的能力。这些乳突型、凹坑型和沟槽型微结构所展现出的自清洁、减阻和强粘附等许多优异性能在航

空航天和机械制造方面具有广泛的应用前景^[3-4]。

为了实现微织构制造, 相关研究人员提出了很多的微织构加工技术, 如激光表面造型技术、LIGA 技术和压印技术等, 极大地丰富了微织构的加工手段, 但是由于技术本身的特点, 带来了一些“副作用”, 如激光表面织构技术由于能量密度极高, 在加工微织构的同时, 不可避免地会对周围材料造成连带烧蚀, 改变材料的性质, 需要后期打磨或其他工艺处理^[5-6]; 另一方面, 微织构基准面的几何特性越来越复杂, 这两方面的因素一直制约着表面微织构的发展与应用。椭圆振动辅助切削(Elliptical Vibration-Assisted Cutting, EVAC)

* 基金项目: 国家自然科学基金面上项目(51675277); 江苏省“六大人才高峰”高层次人才项目(GDZB-011)。

作为一种新兴的加工技术,由于其刀具运动的椭圆特性,使得具有切削力小、散热快、加工质量高以及无需后期处理等优势,在表面微结构加工方面受到越来越大的关注^[7]。相关研究表明,微结构的加工质量和整个加工过程中的残余应力分布、切削力的大小及变化等相关。因此,若采用传统的研究方法,即:大量试验—结果测试分析—试验改进,不但需要耗费大量的人力物力,而且试验结果的参考价值也由于受到具体的试验条件和试验水平的限制而受到很大的影响。而近些年来随着计算机技术和数学理论的不断发展与完善,采用有限元仿真软件去模拟和分析机械加工过程中的应变、应力、切削力和温度等物理参数的变化已经越来越方便,有限元仿真技术得到的结果也真实可靠地反映了实际应用中各参数的大小,这对于降低研究成本,缩短研究周期等具有重要的意义。而对于椭圆振动切削过程的研究,目前大多数研究集中在椭圆振动辅助切削难加工材料方面,东北大学 He 等^[8]采用仿真和试验相结合的研究方法对普通切削和超声椭圆振动辅助切削难加工材料的过程进行了研究,对比发现,采用超声椭圆振动辅助切削难加工材料时,虽然最大切削力基本和普通切削过程中的最大切削力相等,但是在整个切削过程中波动变化较大,平均切削力降低了 36.4%,通过对椭圆振动一个周期的 4 个不同阶段的瞬时 Mises 应力进行分析,得到了最大瞬时 Mises 应力分布区域和出现阶段。沈阳航空航天大学王明海等^[9]对 GH4169 高温合金材料切削过程中的温度场进行了三维有限元仿真,并对仿真结果中的应力云图进行研究,发现在切削过程中刀具温度的最高点位于刀具前刀面刀尖上方而非刀尖点,证明了切削区温度场高于剪切变形区。东北大学的赵永亭^[10]通过对椭圆振动辅助切削过

程进行有限元分析,对椭圆振动频率、切削方向振幅和切深方向振幅 3 个因素对切削力的影响进行仿真研究,发现振动频率和振幅越大,加工过程中的平均切削力越小,工件的加工质量也越好。

综上所述,目前关于超声椭圆振动辅助加工有限元仿真结果已经和真实情况十分接近,但是其主要聚集在难加工材料的宏观加工方面,而有关椭圆振动辅助切削微结构的有限元仿真的研究还较少。为了研究椭圆振动辅助切削加工的微观过程,本文以凹坑型微结构为研究对象,利用超声椭圆振动辅助加工技术,在边界层通过傅里叶级数来加载周期振动载荷,建立了基于回转面的微结构加工有限元模型,实现了基于回转基准面的微结构加工有限元仿真,为微结构的切削加工应用提供参考。

微结构加工轨迹设计

对于回转基准面,基准面以一个恒定的转速 n 转动,而对于共振式的椭圆振动辅助切削加工,其振动频率保持不变,为了确保基准曲面上微结构的位置有序,不出现紊乱,机床 C 轴转速 n 和微结构每圈加工数目 N 、相邻切削点的圆心角 $\Delta\theta$ 、椭圆振动周期 T 之间相匹配,须满足:

$$\begin{cases} n = \frac{60}{T \times N} \\ N = \frac{2\pi}{\Delta\theta} \end{cases} \quad (1)$$

椭圆振动辅助切削为二维共振式,其运动方程为:

$$\begin{cases} y(t) = A \cos(2\pi ft) \\ z(t) = B \sin(2\pi ft + \varphi) \end{cases} \quad (2)$$

式中, A 为 y 方向的振幅, B 为 z 方向的振幅, f 为共振频率, φ 为相位差。

根据式(1)便能确定基准面上的微结构分布,将椭圆振动添加到基准面的转动中,便得到了基于基准面的微结构加工轨迹,如图 1 所示。

材料的本构模型和断裂准则

金属切削的过程中伴随着大量的热和应力变化,且由于应力-应变的非线性特性,使得应力场和热的变化也是非线性的,工件材料在短时间内处于高应力-高应变-高温状态,发生弹塑性变形,且各处的状态均不相同,变化梯度很大。因此,在工件和刀具相互作用的过程中,作为直接反映这种变化特性的本构方程,显得十分关键。

1 金属材料的本构关系模型

由于金属的切削是高温、高应力和高应变的过程,在此过程中同时发

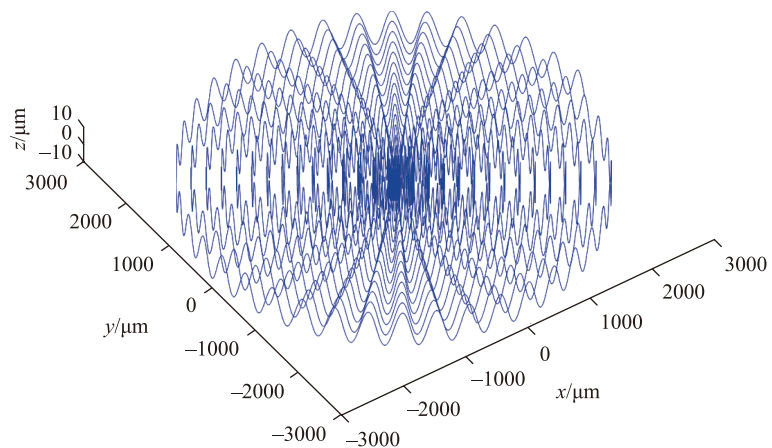


图1 回转面上微结构加工轨迹图
Fig.1 Schematic of micro-texture cutting path on rotary surface

生着3种效应,即应变硬化效应、应变率强化效应和软化热化效应,其对应3种模型。

金属的硬化模型:

$$\sigma = P + Q\varepsilon^n \quad (3)$$

应变率的硬化模型:

$$\sigma \propto \lg \varepsilon \quad (4)$$

温度对材料流动应力的影响模型:

$$\sigma = \sigma_0 \left[1 - \left(\frac{T - T_r}{T_m - T_r} \right)^m \right] \quad (5)$$

在综合考虑以上3种效应的基础上,Johnson G.R.和Cook W.H.在1983年提出了Johnson-Cook本构关系模型,该模型将以上3种效应所产生的变化特性结合在一起,使得能够准确反映金属切削过程中各种特效,因此应用十分广泛,其公式为:

$$\sigma = (P + Q\varepsilon^n) \left[1 + C \ln \left(\frac{\dot{\varepsilon}}{\dot{\varepsilon}_0} \right) \right] \left[1 - \left(\frac{T - T_r}{T_m - T_r} \right)^m \right] \quad (6)$$

式中, P 为材料的屈服应力; Q 为应变硬化常数; C 、 n 、 m 均为材料的自身的参数,通过霍普金森试验便可获得; ε 为材料的等效塑性应变; $\dot{\varepsilon}$ 为塑性应变率; $\dot{\varepsilon}_0$ 为材料的参考塑性应变率; T 为切削区域温度; T_r 为环境温度; T_m 为材料的熔点温度。

本次仿真工件材料为铜,其Johnson-Cook本构关系模型的参数如表1所示。

2 材料的断裂分离准则

对于金属材料切削的过程而言,材料的断裂失效十分关键,材料的断裂准则直接决定着材料在什么条件下和工件材料分离变为切屑。Johnson-Cook破裂失效准则综合考虑了切削过程中应变、应变率和温度

等主要参数,且这些参数可以在拉伸、扭转试验得到,十分方便,其表达式为:

$$D = \frac{\overline{\varepsilon^0} + \sum \overline{\Delta \varepsilon^p}}{\overline{\varepsilon^p}^f} \quad (7)$$

式中, $\overline{\varepsilon^0}$ 为等效塑性应变的任意初始值; $\overline{\Delta \varepsilon^p}$ 为等效塑性应变中每个增量步中的增量; $\overline{\varepsilon^p}^f$ 为在当前情况下材料断裂的等效塑性应变值。当失效参数 $D=1$ 时,材料发生失效断裂,此时删除当前单元,如图2所示。

材料的断裂失效应变 $\overline{\varepsilon^p}^f$ 可以用式(8)来表示:

$$\overline{\varepsilon^p}^f = (D_1 + D_2 \exp D_3 \sigma^*) \left[1 + D_4 \ln \left(\frac{\dot{\varepsilon}^p}{\dot{\varepsilon}_0} \right) \right] \cdot [1 + D_5 \hat{T}^m] \quad (8)$$

式中, $\overline{\varepsilon^p}^f$ 的大小取决于 σ^* 、 $\dot{\varepsilon}_0$ 和 \hat{T} 这些参数;应力比 $\sigma^* = \sigma_m / \bar{\sigma}$,其中 σ_m 为3个主应力的平均值,为等效应力; D_1 、 D_2 、 D_3 、 D_4 和 D_5 均为材料的失效参数,见表2。

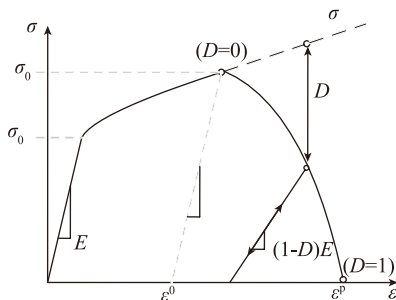


图2 材料累积损伤退化应力应变
Fig.2 Degraded stress and strain of material cumulative damage

表1 铜的Johnson-Cook参数

Table 1 Johnson-Cook parameters of copper

P/MPa	Q/MPa	C	n	m	T_r	T_m
112	505	0.009	0.42	1.08	293	1466

\hat{T} 的值由以下公式确定:

$$\hat{T} = \begin{cases} 0 & (T < T_{\text{transition}}) \\ \frac{(T - T_{\text{transition}})}{(T_{\text{melt}} - T_{\text{transition}})} & (T_{\text{transition}} \leq T \leq T_{\text{melt}}) \\ 1 & (T > T_{\text{melt}}) \end{cases} \quad (9)$$

式中, T 为当前温度; $T_{\text{transition}}$ 为室温; T_{melt} 为材料的熔点温度。

有限元模型的建立

1 几何模型及网格划分

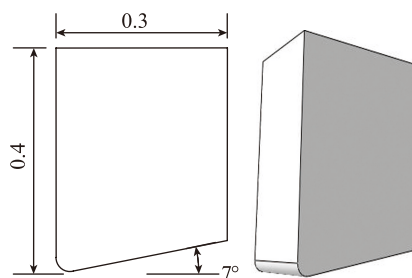
如图3(a)所示为切削刀具模型的截面示意图,刀具的厚度为0.2mm,前角为0°,后角为7°,由于微织构尺寸较小,不能忽略刀具刀尖圆弧的存在,刀具刀尖圆弧半径为20 μm ,在CATIA中建立刀具的三维模型,如图3(b)所示,并以stp格式导入ABAQUS软件中。而对于回转基准面,本文以圆端面为例,并为了简化有限元的仿真过程,提高计算效率,本次工件的基准面取为1/4平面圆环,且微织构在端面上总共加工仿真2圈。圆环面的外半径为5mm,内半径为4mm,工件厚度为0.2mm,其尺寸如图4所示。

对微织构的有限元切削模型,由于主要是刀具刀尖部分和工件表面

表2 铜的失效无量纲参数

Table 2 Failure nondimensional parameters of copper

D_1	D_2	D_3	D_4	D_5
0.112	0.123	-1.5	0.007	0



(a)截面尺寸 (b)刀具三维模型

图3 刀具模型

Fig.3 Tool model

相接触,且刀具表面为主面,工件表面为从面,因此,刀具模型的网格密度相比工件表面可以略低。在刀具模型的网格划分中,为了节约计算资源,提高仿真计算效率,采用单向的密度偏离布种方式,使得刀尖部分的网格密度较大一些,其他区域的密度相对较小一些,这样可以防止刀具在切削过程中出现刀具模型侵入工件模型的现象发生。刀具模型的网格划分采用扫掠技术,网格类型为八节点线性六面体单元(C3D8R),网格尺寸平均为0.021mm,单元数目为208350,并利用ABAQUS软件自带的Verify mesh功能,确保网格划分没有警告和错误信息。另外由于切削的实质是热-位移耦合的过程,因此将工件模型的网格单元类型设置为八节点热耦合六面体单元(C3D8RT),该单元可以确保较高的计算精度,工件模型的网格平均密度为0.015mm,网格单元数目为98000,如图5所示。

网格划分完毕后,将工件网格模型和刀具模型转换为孤立网格文件。

2 材料定义

由于本次切削仿真研究的是金属材料铜,为各向同性材料,其力学、热等性能与材料方向均无关,即材料内任何一点沿任意方向的性能均相同,其应变分量和应力分量均满足广义胡克定律。刀具材料为聚晶金刚石刀具,其刚度和硬度等远大于工件材料。刀具和工件材料的参数分别如表3和表4所示。

3 分析步、接触和约束设置

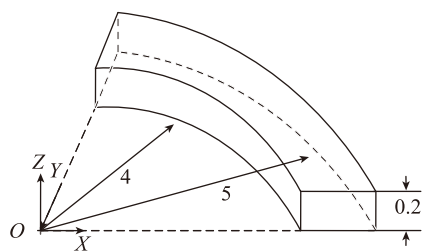
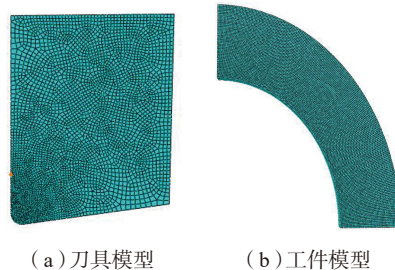


图4 工件尺寸示意图

Fig.4 Schematic diagram of workpiece size

由于工件只有1/4圆端面,因此,在模拟工件整个一周的转动过程中,刀具在整个3/4的时间内是没有切削的,该部分可以通过加快转速和减少输出来达到提高计算效率的目的;将第1圈的前1/4圈转动设置为Step-1,第1圈剩下的3/4圈转动设置为Step-2,工件旋转第2圈的前1/4圈设置为Step-3,如图6所示,可以发现,刀具切削工件只是发生在Step-1和Step-3。

本次仿真中刀具和工件的接触通过ABAQUS软件的通用算法设置,接触类型设为面-面接触,刀具模型为主面,工件模型为从面,聚晶金刚石刀具的摩擦系数一般仅为0.1~0.3,根据前期试验经验,接触的摩擦系数 μ 设置为0.25,微织构的椭圆振动加工为周期性的断续加工,切削过程中只有刀具的前刀面和工件表面以及切屑之间发生接触,接触的约束函数为罚函数(Penalty),且接触的摩擦类型为外摩擦,符合库伦摩



(a) 刀具模型

(b) 工件模型

图5 网格模型

Fig.5 Mesh model

擦定律,其公式为:

$$\tau_n = \mu \sigma_n \quad (10)$$

式中, τ_n 为摩擦应力; μ 为摩擦系数; σ_n 为法向应力。

从表3可知刀具的杨氏模量为850GPa,远大于黄铜材料90GPa的杨氏模量,如表4所示,刀具的刚度和硬度相比工件材料要大很多,在加工过程中的变形和磨损基本忽略不计,因此为了提高计算时间,将刀具设置为刚体,并在刀具上选择一个参考节点 R_p-1 ,在随后的切削过程中,刚体区域内节点和单元的相对位置均保持不变,且该区域跟随指定的参考节点进行刚体位移,因此后续的刀具运动边界条件只需对参考节点 R_p-1 加载即可。工件围绕中心的旋转运动通过耦合约束(Coupling)来实现,在刀具和工件的装配坐标系中,

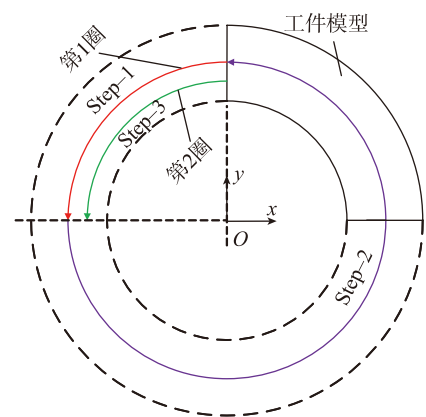


图6 分析步规划示意图

Fig.6 Planning schematic diagram of analytical step

表3 聚晶金刚石刀具材料参数

Table 3 Parameters of PCD tool

密度 / ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$)	杨氏模量 /GPa	泊松比	传导率 / ($\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$)	比热容 / ($\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$)
3520	850	0.1	1200	400

表4 工件材料参数

Table 4 Parameters of workpiece material

参数	数值	参数	数值
密度 / ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$)	8400	热膨胀系数 / (10^{-6}K^{-1})	11.6
泊松比	0.324	比热容 / ($\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$)	385
传导率 / ($\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$)	108.9	杨氏模量 /GPa	90

将坐标原点设为参考点 R_{p-2} , 并将工件的底面和参考点 R_{p-2} 耦合约束在一起, 约束类型为运动 (Kinematic) 耦合约束, 如图 7 所示。

4 施加边界条件

在本文的仿真试验研究中, 首先刀具作周期性的椭圆振动和径向的进给运动, 刀具的椭圆振动方程如式 (2) 所示, 由于是按照速度载荷方式加载, 因此将式 (2) 对 t 求导, 并按照傅里叶级数展开如式 (11) 所示。

$$\begin{cases} v_y(t) = \frac{dy}{dt} = 0 + 0 \cdot \cos(2\pi ft) - (2\pi fA) \cdot \sin(2\pi ft) \\ v_z(t) = \frac{dz}{dt} = 0 + (2\pi fB + \cos\varphi) \cdot \cos(2\pi ft) - (\sin\varphi) \cdot \sin(2\pi ft) \end{cases} \quad (11)$$

在 ABAQUS 软件中通过式 (10) 的傅里叶级数将椭圆振动周期载荷施加到刀具上, 选择类型为 Periodic 的 Amplitude 模块, 分别

定义 y 方向 (切削方向) 和 z 方向 (切深方向) 的速度载荷; 刀具的径向进给运动通过类型为 Velocity/Angular velocity 的边界条件设置, 工件围绕参考点 R_{p-2} 匀速旋转的运动也通过该类型的边界条件来设置。

本次仿真为了探究不同振幅下的微织构加工过程中的瞬时 Mises 应力及分布、切削力大小等因素的变化情况, 微织构的仿真参数如表 5 所示。

仿真结果与分析

1 瞬态 Mises 应力对比

图 8~11 所示为不同的振幅下切削加工凹坑型微织构 (进给速度 $v_f=350\mu\text{m}/\text{Rev}$) 的瞬时 Mises 应力云图。对比不同振幅下的同一加工位置处的瞬时 Mises 应力云图发现, 当切深方向的振幅 B 增大时, 微织构区域的 Max.Mises 应力也随之增

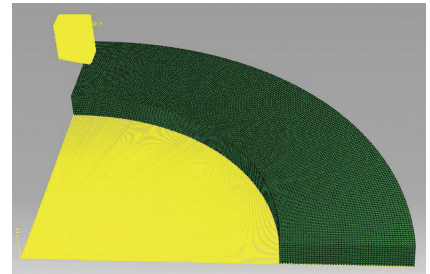


图7 刀尖及工件的约束
Fig.7 Constraint of tool and workpiece

表5 微织构加工仿真参数

Table 5 Simulation parameters of micro-texture cutting

参数	值
频率 f / kHz	14.4
相位差 φ / ($^\circ$)	0
织构个数 N / (个 \cdot 圈 $^{-1}$)	40
振幅 $A/B/\mu\text{m}$	5/10
	5/15
	10/20
进给速度 v_f / ($\mu\text{m} \cdot \text{Rev}^{-1}$)	350

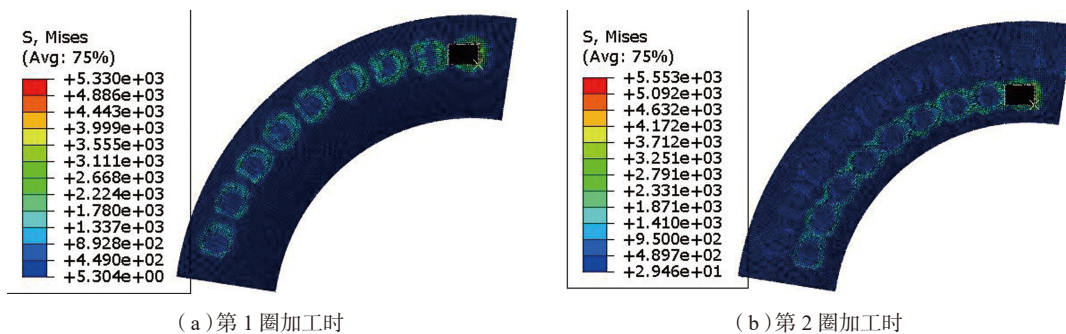


图8 凹坑型织构应力云图 ($A=5\mu\text{m}$, $B=10\mu\text{m}$)

Fig.8 Stress cloud schematic of the dimple ($A=5\mu\text{m}$, $B=10\mu\text{m}$)

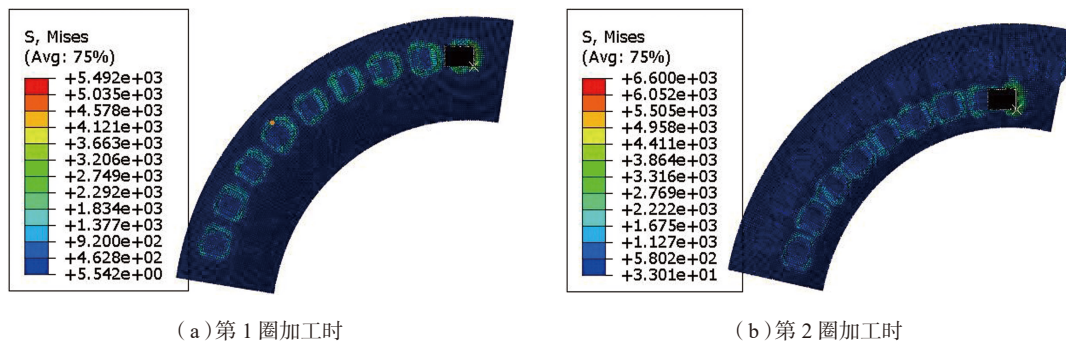


图9 凹坑型织构应力云图 ($A=5\mu\text{m}$, $B=15\mu\text{m}$)

Fig.9 Stress cloud schematic of the dimple ($A=5\mu\text{m}$, $B=15\mu\text{m}$)

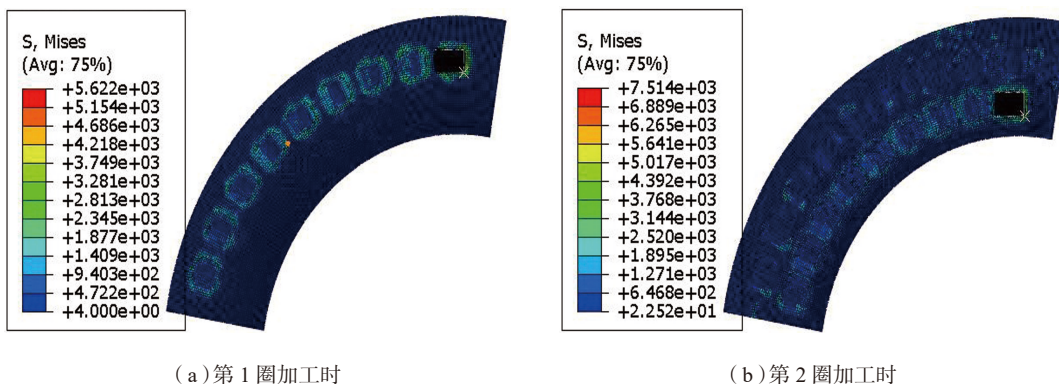


图10 凹坑型结构应力云图($A=10\mu\text{m}$, $B=20\mu\text{m}$)
Fig.10 Stress cloud schematic of the dimple ($A=10\mu\text{m}$, $B=20\mu\text{m}$)

大,且在相同的位置,第2圈的瞬态 Max.Mises 应力大于第1圈。当振幅为 $A=10\mu\text{m}$, $B=20\mu\text{m}$ 时, Mises 应力达到最大值,为 751.4Pa ,远远小于铜的断裂强度 300MPa ,证明工件表面微结构的布置对工件强度的影响很小。另外,观察凹坑结构的应力云图发现,最大应力主要集中在凹坑结构的出口边缘区域,这反映出凹坑微结构的边缘处的形貌粗糙度会较大。

2 刀具受力分析

图12为不同振幅下切削加工微结构时刀具所受到的切削抗力图,可知,切削抗力呈现周期性变

化,其最小切削力均为零,即刀具和工件之间出现周期性的分离现象,这表示刀具在切削微结构的过程中,其周向的最大振动速度始终大于工件的转动线速度;另外,从图12(d)中可知,随着振幅 A 和振幅 B 的增大,切削力的最大值也随之增大,这是由于切削微结构的过程和一般的切削不同,刀具的“初始切深”为零,对于工件的切削深度主要由椭圆振动的切深振幅 B 决定的,但无论是振幅 A 或振幅 B 增大时,都会使得刀具在相同时间内的切削量增加,因此单个周期内其最大切削力有所增加。

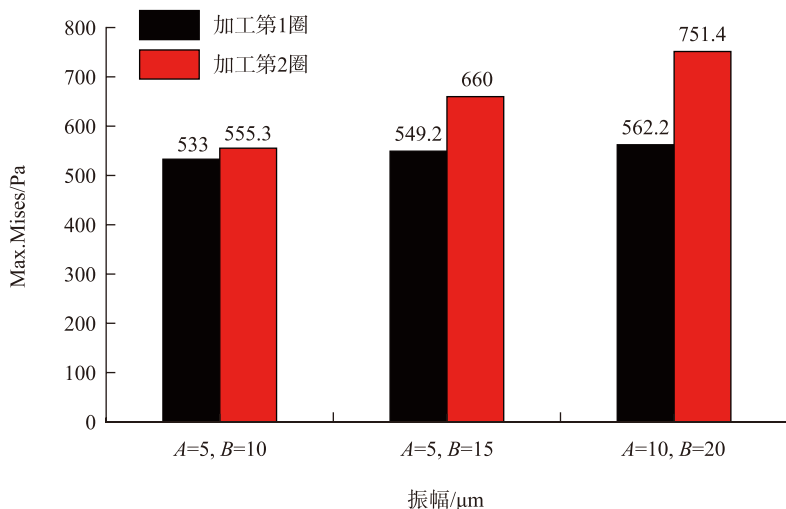


图11 凹坑结构加工瞬时Mises应力对比图
Fig.11 Transient Mises stress schematic of the dimple

结论

本文以凹坑型微结构为研究对象,设计了回转基准面上的椭圆振动辅助微结构加工轨迹规划方法,为了对微结构加工过程进行探究,利用有限元仿真软件对回转基准面上的椭圆振动辅助切削微结构过程进行了仿真研究,取得的主要成果为:

(1) 依据椭圆振动辅助切削装置的共振频率和回转基准面的转动速度,设计了基于回转面的椭圆振动辅助切削微结构加工轨迹方法;

(2) 通过对周期振动载荷进行傅里叶级数的转化,在刀具模型上实现了周椭圆振动运动载荷的加载,建立了椭圆振动辅助切削微结构的有限元模型;

(3) 通过对凹坑型微结构加工过程的有限元仿真分析可知,随着切削振幅的增大,微凹坑结构区域的瞬时 Mises 应力随之增大,且最大 Mises 应力主要集中在凹坑结构的出口边缘处,并且由于残余应力的存在,在加工第2圈相同位置处的 Mises 应力要大于第1圈;

(4) 通过对凹坑型微结构切削过程的刀具受力对比发现,随着切削振幅的增大,刀具所受的最大切削力随之增大。

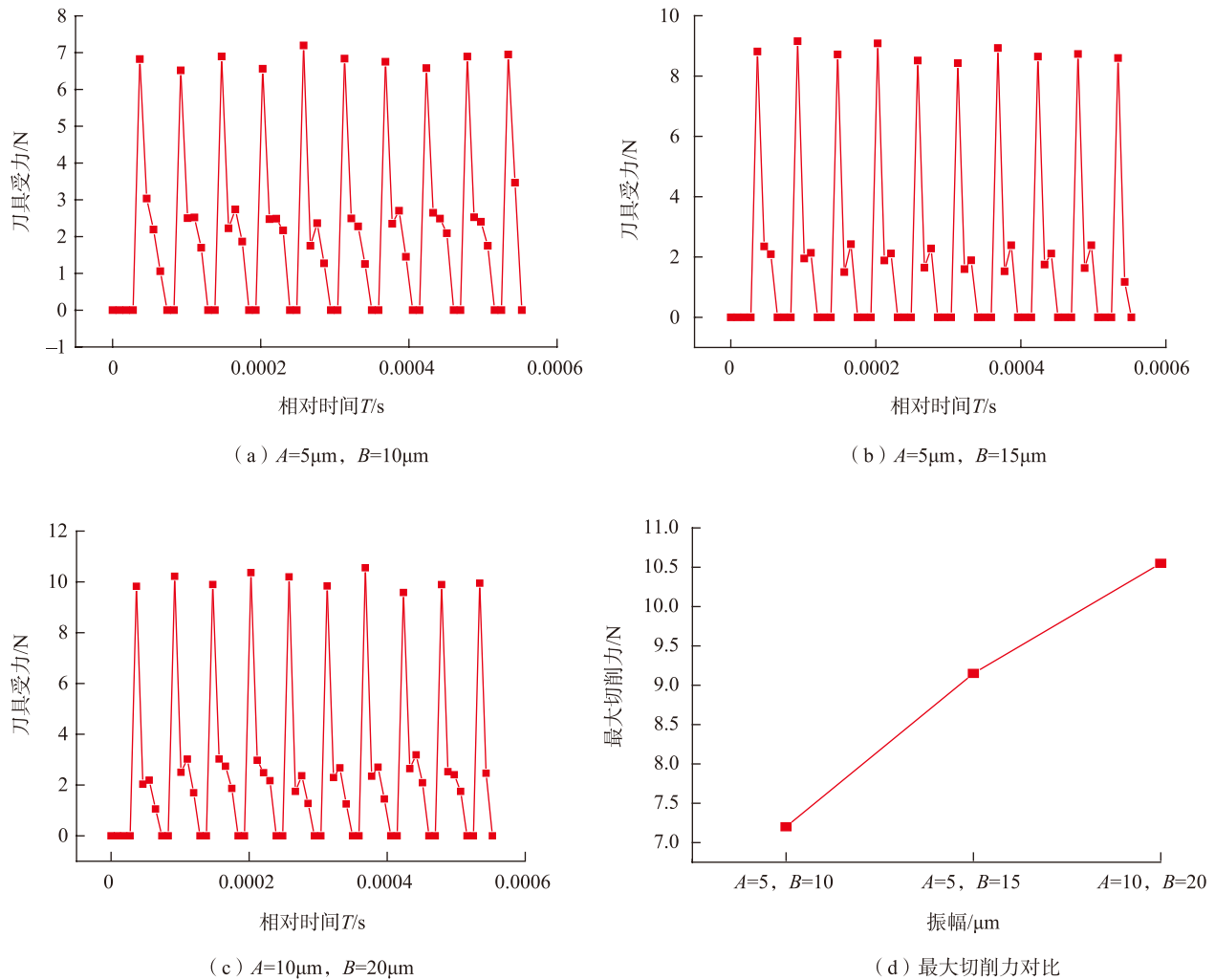


图12 不同振幅下的刀具受力对比

Fig.12 Cutting force comparison under different amplitudes

参考文献

[1] 王亮. 表面微结构刀具切削钛合金的实验研究[D]. 南京: 南京航空航天大学, 2012.

WANG Liang. Experimental study on titanium alloy cutting process using surface micro-textured cutting tool[D]. Nanjing: Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, 2012.

[2] 杨弘伟, 高歌. 一种新型边界层控制技术应用于湍流减阻的实验研究[J]. 航空学报, 1997, 18(4): 455-457.

YANG Hongwei, GAO Ge. Experimental study for turbulent drag reduction using a novel boundary control technique[J]. Acta Aeronautica et Astronautica Sinica, 1997, 18(4): 455-457.

[3] JIANG Y, SHEN H, PU T, et al. High efficiency multi-crystalline silicon solar cell with inverted pyramid nanostructure[J]. Solar Energy, 2017, 142: 91-96.

[4] BECHERT D W, BRUSE M, HAGE W, et al. Fluid mechanics of biological surfaces and their technological application[J]. Naturwissenschaften, 2000, 87(4): 157-171.

[5] WANG X, KATO K, ADACHI K, et al. The effect of laser texturing of SiC surface on the critical load for the transition of water lubrication mode from hydrodynamic to mixed[J]. Tribology International, 2001, 34(10): 703-711.

[6] SÁNCHEZAMAYA J M, BOUKHA Z, GONZÁLEZROVIRA L, et al. Laser texturization to improve absorption and weld penetration of aluminum alloys[J].

Journal of Laser Applications, 2012, 24(1): 680-685.

[7] KURNIAWAN R, KISWANTO G, KO T J. Surface roughness of two-frequency elliptical vibration texturing (TFEVT) method for micro-dimple pattern process[J]. International Journal of Machine Tools & Manufacture, 2017, 116: 77-95.

[8] HE Y, ZOU P, ZHU W L, et al. Ultrasonic elliptical vibration cutting of hard materials: simulation and experimental study[J]. International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2017, 91(1-4): 363-374.

[9] 王明海, 王江涛, 郑耀辉, 等. GH4169 三维车削与温度有限元仿真[J]. 现代制造工程, 2016(8): 106-111.

WANG Minghai, WANG Jiangtao,

ZHENG Yaohui, et al. The finite element simulation of GH4169 three-dimension turning cutting force and temperature[J]. Modern Manufacturing Engineering, 2016(8): 106-111.

[10] 赵永亭. 超声椭圆振动切削工作头的研究[D]. 沈阳: 东北大学, 2014.

ZHAO Yongting. Research on ultrasonic ellipse vibration cutting working head[D].

Shenyang: Northeastern University, 2014.

通讯作者: 张臣, E-mail: meeczhang@nuaa.edu.cn.

Investigation on Simulation of Elliptical Vibration-Assisted Cutting Micro-Texture Based on Rotary Surface

ZHANG Chen, HUO Jianqiang, HOU Lei, WANG Shengcai

(College of Mechanical and Electrical Engineering, Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, Nanjing 210016, China)

[ABSTRACT] Bionic studies have shown that micro-structures such as pits and trenches have excellent performances such as drag reduction and self-cleaning. The processing of micro-texture is of great significance for saving energy, reducing pollution and improving product life. In order to effectively predict the effect of elliptical vibration-assisted cutting micro-texture, this paper proposes a trajectory planning of elliptical vibration cutting micro-texture based on the characteristics of the resonant frequency of the elliptical vibration-assisted cutting mechanism and the rotation rate of the rotary reference surface. The loads of elliptical vibration are exerted on finite element tool model by transforming periodic vibration loads into the Fourier series. Thus, the finite element model of elliptical vibration-assisted cutting micro-texture is established. Based on the established finite element simulation model, the instantaneous Mises stress distribution and cutting force is analyzed by selecting different vibration parameters in micro-texture generation. The results of the finite element simulation verifies the correctness of elliptical vibration-assisted cutting micro-texture, and provides a reference for actual elliptical vibration-assisted cutting micro-texture.

Keywords: Micro-texture; Rotary surface; Elliptical vibration-assisted cutting; Trajectory planning; Finite element simulation
(责编 大漠)

(上接第44页)

Exploration on Technological System of Aero-Engine Manufacturing Process Simulation

CUI Yihui¹, ZHAO Heng², ZHANG Sentang²

(1. Aero Engine Corporation of China, Beijing 100097, China;

2. AECC Shenyang Liming Aero-Engine Co., Ltd., Shenyang 110043, China)

[ABSTRACT] Based on the aero-engine simulation work development planning, this paper analyzed the requirement of aero-engine manufacturing process simulation technology from manufacturing dimensions. It proposed to establish the technological system of aero-engine manufacturing process simulation following some principles. It provided a preliminary framework of the technological system based on demands corresponding to five kinds of difficult stages. Furthermore, it analyzed the key technologies should be broken through recently. The research is useful to implementing the development planning and directing the development of aero-engine manufacturing process simulation technology.

Keywords: Technological system frame; Simulation; Manufacturing process; Aero-engine; Production line

(责编 大漠)