

高压冷却下切削高温合金刀具 应力分布研究*

吴明阳, 吴书杰, 褚维旭, 刘可可, 程耀楠

(哈尔滨理工大学高效切削及刀具国家地方联合工程重点实验室, 哈尔滨 150080)

[摘要] 高温合金广泛应用于航空航天等领域,是一种典型的难加工材料。PCBN 是一种超硬刀具材料,在加工高温合金时性能优异,但切削过程中存在刀具磨损和破损严重等现象。高压冷却是一种新的冷却方式,能够有效减小机械冲击,并影响刀具应力分布,因此研究高压冷却下的刀具应力分布具有重要意义。首先建立高压冷却下刀具应力模型,为高压冷却下刀具应力变化规律提供理论基础;其次采用有限元方法,对不同冷却条件、切削用量和冷却压力的刀具应力分布进行仿真结果分析,获得不同切削条件对刀具应力的影响规律;最后进行高压冷却试验,分析切削力、刀具应力分布及刀具破损变化规律,为高压冷却下高效加工高温合金和刀具优化等提供一定的技术基础。

关键词: 应力分布; PCBN 刀具; 有限元仿真; 高压冷却; 高温合金

DOI:10.16080/j.issn1671-833x.2019.23/24.026



吴明阳

博士,教授,研究方向为金属切削理论及装备、难加工材料高效切削技术。主持完成国家自然科学基金、国家科技重大专项、教育部科技研究重点项目、中国博士后基金等科研项目 10 余项,发表论文 20 余篇; 获得省自然科学基金、科技进步等奖项 10 余项,获得 2011 年度黑龙江省青年科技奖。

随着航空航天事业的快速发展,对高温合金材料,特别是镍基高温合金的需求与日俱增^[1]。镍基高温合金的镍含量在 50% 以上,在温度高达数百摄氏度下仍具有优良的机械性能和耐腐蚀性能^[2]。然而,高温合金材料具有屈服强度高、塑性变形大和导热性能差等特点,导致高切削温度和大切削力。

PCBN 刀具是典型的超硬刀具,在加工高温合金时热稳定性和化学稳定性好、抗粘结能力强^[3-4]。但高温合金在金属切削领域是典型的难加工材料,PCBN 刀具在切削高温合金过程中易产生刀具破损和应力集中等严重现象,影响已加工表面质量和降低加工效率^[5-6]。

高压冷却在切削加工中是种新型冷却技术,能够将冷却液升至一定压力,准确地喷射至切削过程中的接触区^[7-8],有效减小机械冲击,降低刀具应力,从而提高工件已加工表面质量和加工效率。因此有必要对高压冷却下切削高温合金进行刀具应力分析,为高压冷却下切削加工提供技术保障。

针对刀具应力,国内外学者进行了相关研究,但目前主要集中在常规切削的机械应力、热应力和应力-应变等方面。Younis 等^[9]基于有限元方法,建立了硬质合金刀具机械应力和热应力计算模型,研究发现剪应力在靠近刀具边缘处达到最大值,高的压缩应力会在刀具尖端产生切

*基金项目: 国家自然科学基金资助项目(51475128); 黑龙江省自然科学基金资助项目(E2016043)。

屑; Lasukov 等^[10]利用离子注入方法,对无涂层硬质合金刀具注入 Al、TiB₂ 和 Zr 等元素,结果表明离子注入显著改变了切屑形成机理和应力的分布,可广泛应用于刀具行业,以提高刀具效率; Alsamhan 等^[11]采用有限元方法对黏结刀具中产生的机械-热应力进行了影响评估,研究表明使用切削液时热应力显著降低,机械应力受切削液影响较小; Uhlmann 等^[12]分析了两种规格的碳化钨在沉积纳米晶 CVD 金刚石之前和之后的残余应力,试验结果表明 CVD 金刚石涂层刀具的残余应力能够更好地允许薄膜黏合,从而延长刀具的使用寿命; 吉春辉等^[13]从分子动力学角度对切屑中原子所处的运动速度进行了仿真模拟分析,结果表明应力分布随着原子的运动情况而变化; 杨蕊等^[14]从微观角度出发分析后刀面滑动过程中应力变化规律,通过研究发现在滑动距离较小时,滑动速度对刀具应力的影响也较小; 史祖衡等^[15]采用有限元方法分析了切削速度对界面应力的影响规律,结果表明刀具涂层的破损概率受切削速度的影响较大。

以上国内外学者对刀具应力进行了研究,但绝大多数为常规切削条件下的涂层刀具应力分析,对高压冷却下的 PCBN 刀具应力研究较少,因此研究高压冷却下切削高温合金刀具应力分布对改善切削性能和刀具磨损等具有重要意义。本文通过建立高压冷却下刀具应力模型,进行刀具应力仿真,探讨不同切削形式、切削参数和冷却压力下的刀具应力分布变化规律,并且采用试验的方式对仿真结果进行验证,为高压冷却下加工高温合金提供技术支撑。

高压冷却下刀具应力模型建立

采用 Younis 等^[9]的前、后刀面最大应力公式,如下所示:

$$\sigma_{mr} = \frac{2F_z}{a_w L} \quad (1)$$

$$\tau_{mr} = \frac{2F_x}{\cos\theta \left(1 + \frac{l_1}{L}\right) \cdot a_w L} \quad (2)$$

$$\sigma_{mt} = 2F_y/H \quad (3)$$

$$\tau_{mt} = 2\mu F_y/H \quad (4)$$

由作者团队前期已获得的理论研究可知,高压冷却下切削力经验公式^[16]如下所示:

$$F_x = 1258.93 v_c^{-0.0754} f^{0.385} a_p^{1.08} \quad (5)$$

$$F_y = 1862.09 v_c^{-0.121} f^{0.534} a_p^{0.562} \quad (6)$$

$$F_z = 2089.30 v_c^{-0.165} f^{0.645} a_p^{0.841} \quad (7)$$

将上式的切削力经验公式分别代入式(1)~(4)中,得到高压冷却下刀具应力模型如下所示:

$$\sigma_{mr} = \frac{4178.6 v_c^{-0.165} f^{0.645} a_p^{0.841}}{a_w L} \quad (8)$$

$$\tau_{mr} = \frac{2517.86 v_c^{-0.0754} f^{0.385} a_p^{1.08}}{\cos\theta \left(1 + \frac{l_1}{L}\right) \cdot a_w L} \quad (9)$$

$$\sigma_{mt} = 3724.18 v_c^{-0.121} f^{0.534} a_p^{0.562} / H \quad (10)$$

$$\tau_{mt} = 3724.18 \mu v_c^{-0.121} f^{0.534} a_p^{0.562} / H \quad (11)$$

式中, σ_{mr} 和 τ_{mr} 分别为刀具前刀面最大正应力、最大剪应力; σ_{mt} 和 τ_{mt} 分别为刀具后刀面最大正应力、最大剪应力; F_x 、 F_y 和 F_z 分别是进给阻力、切深抗力和主切削力; a_w 为切削宽度; L 为刀-屑接触长度; l_1 为刀-屑紧密接触区长度; θ 为切屑流出方向; μ 为后刀面上的摩擦系数; A 为后刀面的磨损面积; v_c 、 a_p 、 f 分别为切削速度、切削深度、进给量。

高压冷却下有限元仿真研究

1 工件材料本构模型建立

$$\sigma(\varepsilon^p, \dot{\varepsilon}, T) = g(\varepsilon^p) * \Gamma(\dot{\varepsilon}) * \Theta(T) \quad (12)$$

式中, ε^p 是塑性应变; $\dot{\varepsilon}$ 是应变率; T 为温度; $\sigma(\varepsilon^p, \dot{\varepsilon}, T)$ 为流动应力函数; $g(\varepsilon^p)$ 是应变强化函数; $\Gamma(\dot{\varepsilon})$ 为应

力率效应函数; $\Theta(T)$ 是热软化函数。应变强化函数,如果 $\varepsilon^p \geq \varepsilon_{cut}^p$, 则:

$$g(\varepsilon^p) = \sigma_0 \left(1 + \frac{\varepsilon_{cut}^p}{\varepsilon_0^p}\right)^{\frac{1}{n}} \quad (13)$$

式中, σ_0 、 n 、 ε_0^p 和 ε_{cut}^p 分别为初始屈服应力、变形系数、参考塑性变形和截止应变值。

热软化函数,如果 $T < T_{cut}$, 则:

$$\Theta(T) = c_0 + c_1 T + c_2 T^2 + c_3 T^3 + c_4 T^4 + c_5 T^5 \quad (14)$$

如果 $T \geq T_{cut}$, 则:

$$\Theta(T) = \Theta(T_{cut}) \left(1 - \frac{T - T_{cut}}{T_{melt} - T_{cut}}\right) \quad (15)$$

式中, c_0 到 c_5 为多项式拟合系数, T_{cut} 和 T_{melt} 分别为线性截止温度和熔化温度。

应变率函数,如果 $\dot{\varepsilon} \leq \dot{\varepsilon}_t$, 则:

$$\Gamma(\dot{\varepsilon}) = \left(1 + \frac{\dot{\varepsilon}}{\dot{\varepsilon}_0}\right)^{\frac{1}{m_1}} \quad (16)$$

如果 $\dot{\varepsilon} > \dot{\varepsilon}_t$, 则:

$$\Gamma(\dot{\varepsilon}) = \left(1 + \frac{\dot{\varepsilon}}{\dot{\varepsilon}_0}\right)^{\frac{1}{m_2}} \left(1 + \frac{\dot{\varepsilon}_t}{\dot{\varepsilon}_0}\right)^{\frac{1}{m_1} - \frac{1}{m_2}} \quad (17)$$

式中, $\dot{\varepsilon}_0$ 和 $\dot{\varepsilon}_t$ 分别为参考塑性应变率和高应变率之间发生转变的临界应变值, m_2 、 m_1 分别为高、低应变率系数。

2 切削加工仿真模型建立

利用 Third Wave AdvantEdge 软件建立 PCBN 刀具切削高温合金有限元模型,所选刀具的型号为 CNGA120408T,刀具材料选择 PCBN 专用材料,工件材料牌号为 Inconel718。有限元模型如图 1 所示,采用固定工件两侧和底部位置的方法,在 x 方向和 y 方向设置位移约束,设定初始工件温度和环境温度为 20°C。

高压冷却切削与常规切削加工仿真模型在建立的过程中,只有冷却液模块参数选择不同,其余参数和建模过程均相同。

图2为常规冷却模型示意图,其中 q 为热流,设置喷射半径 R ,喷射中心 (X, Y, Z) 。

高压冷却是将足够压力的冷却液喷射至前刀面与切屑之间,达到冷却润滑的目的,图3所示为高压冷却模型喷射示意图,其中要设置的参数为喷射半径 R 、喷射角度 A 、喷射位置 (X, Y) ,仿真模型中冷却液流速 V 的计算公式如下所示:

$$V = \frac{Q}{S} \quad (18)$$

$$S = \frac{\pi d^2}{4} \quad (19)$$

式中, Q 、 S 、 d 分别为冷却液流量、喷嘴面积、喷嘴直径。

3 高压冷却下刀具应力仿真结果分析

图4为 $v_c=160\text{m/min}$ 、 $a_p=0.4\text{mm}$ 和 $f=0.15\text{mm/r}$ 时常规切削和高压切

削应力分布图,图4(a)、(c)、(e)分别为常规切削下刀具的Mises应力、最大剪应力、正应力,图4(b)、(d)和(f)分别为高压切削下的Mises应力、最大剪应力、正应力。可知以上3种应力在沿倒棱处应力值最大,并且向刀具内部扩散逐渐减小,其中Mises应力扩散区域面积最大,最大正应力扩散面积最小。高压冷却切削条件下的刀具应力小于常规切削条件下的刀具应力。

图5(a)为高压冷却下刀具前刀面各应力分布规律,可知,Mises应力值最大,变化不稳定,随着前刀面距刀尖距离的增加呈逐渐减小趋势;最大正应力值最小且为负值,由此得出刀具主要承受压应力,整体呈减小趋势,在距离刀尖0.06mm时由于在刀-屑临界接触区域,压应力急剧减小;最大剪应力折线位于上

述两个应力之间,变化相对稳定,总体趋势先增加后减小。在距离刀尖0.16mm以后3种应力都趋向于平稳状态,最大压应力值在零处逐渐趋于平稳。

图5(b)为高压冷却下刀具后刀面各应力分布规律,可知,与前刀面应力折线变化图相比,后刀面变化相对平稳。Mises应力呈逐渐减小趋势,距离刀尖最远位置值最小,为1602.38MPa;最大压应力在距离刀尖0.04mm之内减小幅度大,由4473.63MPa减小至17.89MPa,距离刀尖0.04mm之外的位置刀具应力几乎为零。最大剪应力在距离刀尖0.02mm处有所上升,之后随着距离的延长逐渐减小。

图6为在切削速度 $v_c=125\text{m/min}$ 、进给量 $f=0.05\text{mm/r}$ 时,切削深度对刀具应力分布变化规律的影响。图6(a)、(b)、(c)、(d)分别是切削深度为0.2mm、0.6mm、1.0mm、1.4mm时的刀具应力分布规律。图7为切削深度对刀具Mises应力影响折线变化图,可知,随着切削深度的不断增加刀具应力也在不断增大,总体呈不断上升趋势。当切削深度在1.0mm到1.4mm之间时,刀具应力上升最明显,由3400MPa上升至3700MPa。

图8为 $v_c=125\text{m/min}$ 、 $a_p=0.4\text{mm}$ 和 $f=0.05\text{mm/r}$ 时冷却压力对刀具应力分布变化规律的影响。图8(a)、

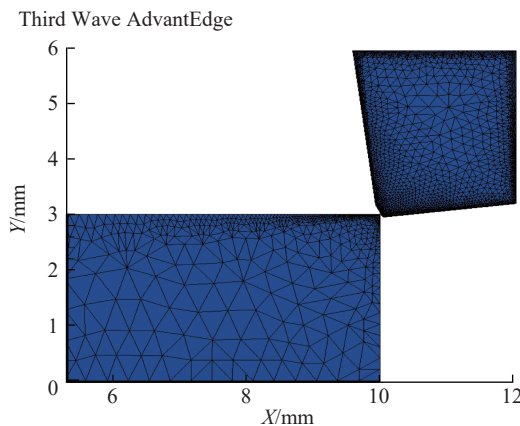


图1 有限元模型
Fig.1 Finite element model

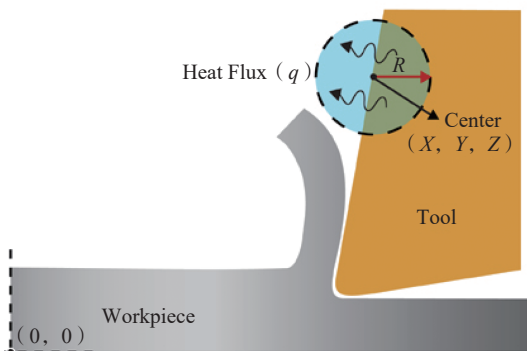


图2 常规冷却模型示意图
Fig.2 Schematic diagram of conventional cooling model

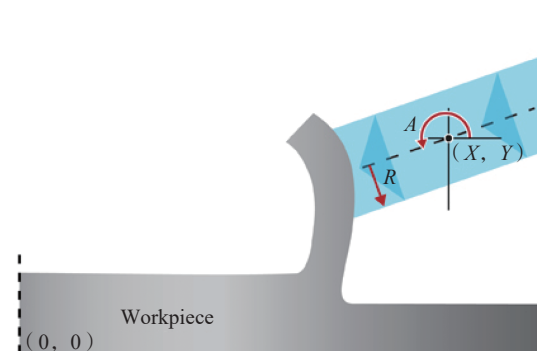


图3 高压冷却模型喷射示意图
Fig.3 Jet diagram of high-pressure cooling model

(b)、(c)、(d) 分别是冷却压力为 3MPa、5MPa、7MPa 和 9MPa 时的刀具应力分布。图 9 为冷却压力对刀具应力影响折线变化图,可知当冷却压力为 5MPa 时刀具应力最小,其应力值为 3400MPa,冷却压力为 9MPa 时刀具应力最大,其应力值为 3800MPa。刀具应力并不是随着冷却压力的增大而减小,而是在一定压力范围内,由于刀具与工件间液压楔的作用,有效减小机械冲击,从而减小刀具应力。

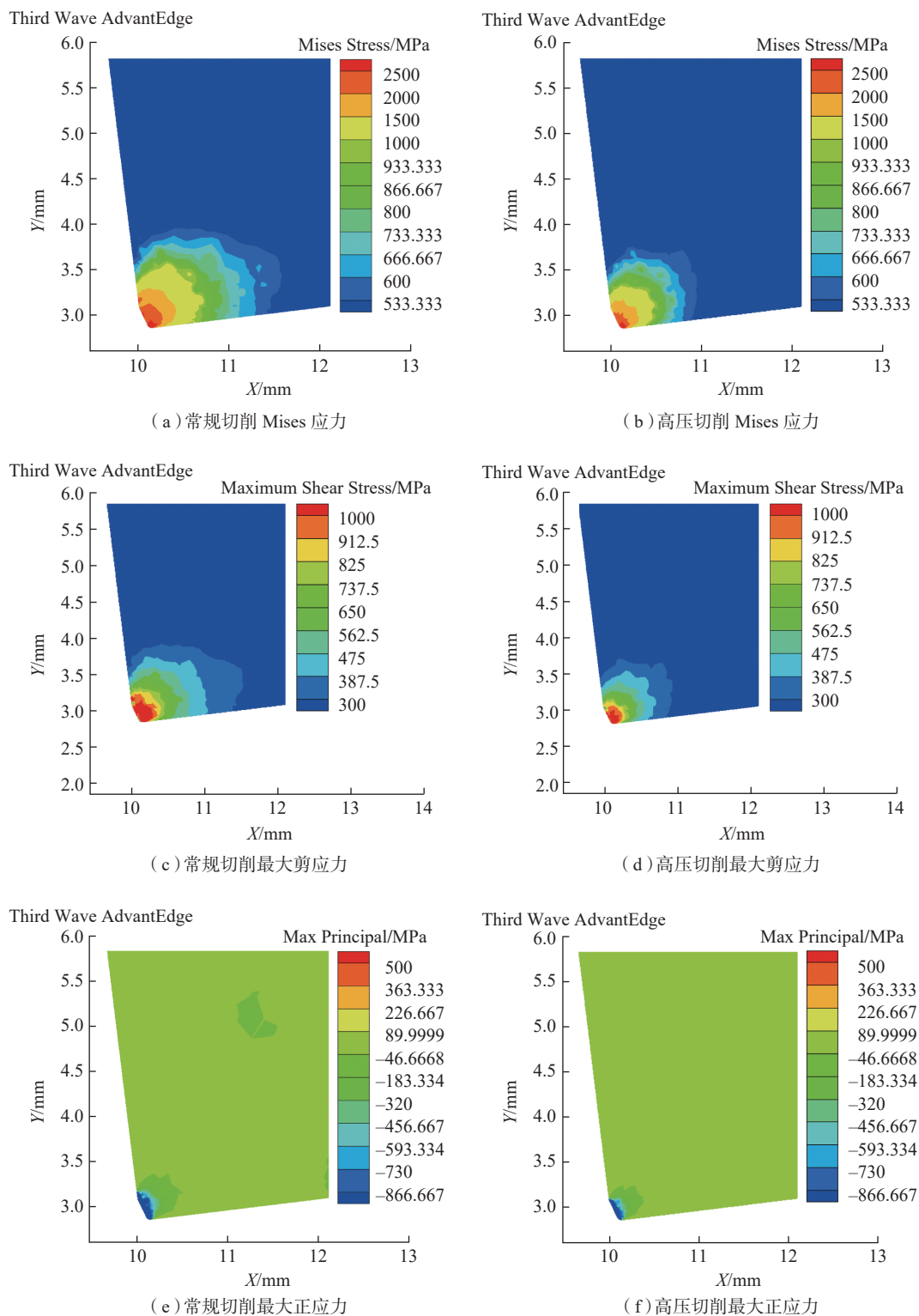
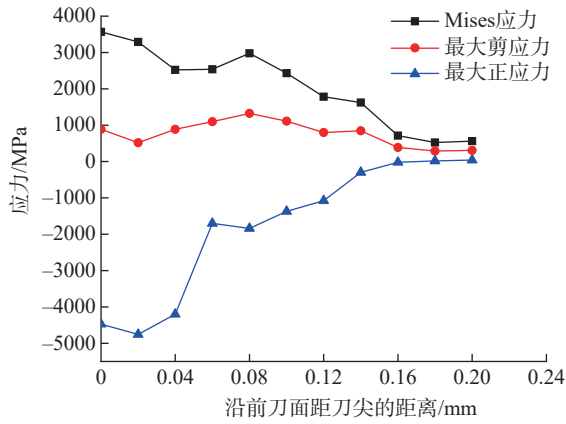
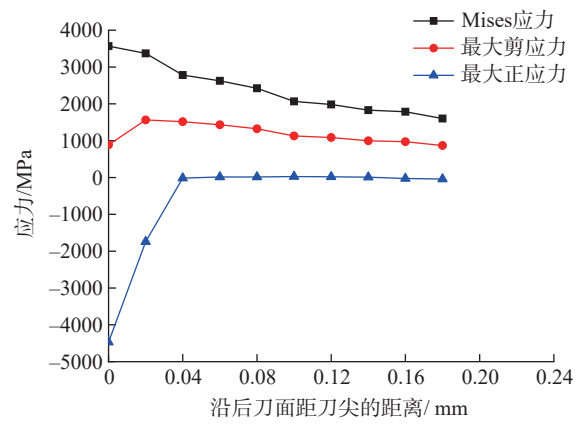


图 4 常规切削和高压切削应力分布图

Fig.4 Stress distribution in conventional cutting and high pressure cutting



(a) 高压冷却下前刀面应力分布变化规律



(b) 高压冷却下后刀面应力分布变化规律

图5 高压冷却下各种应力分布规律

Fig.5 Stress distribution under high pressure cooling

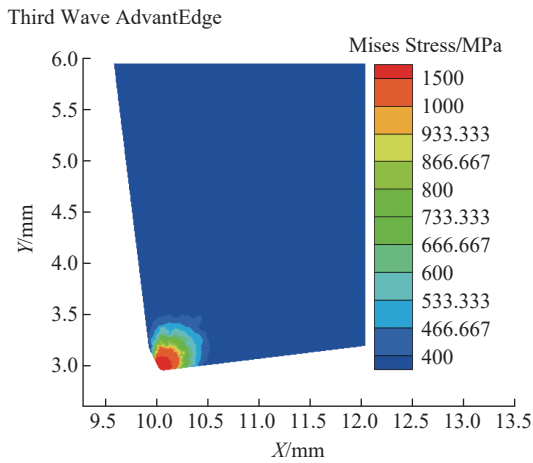
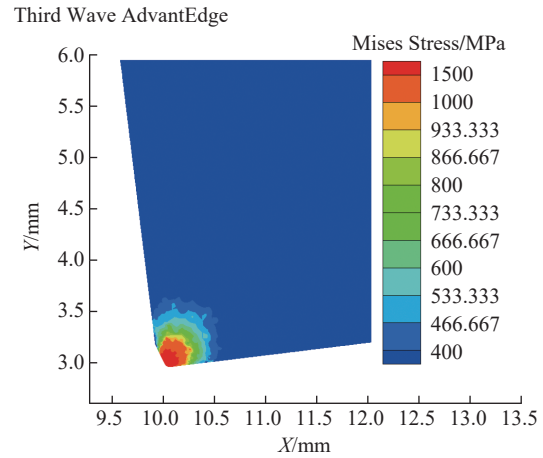
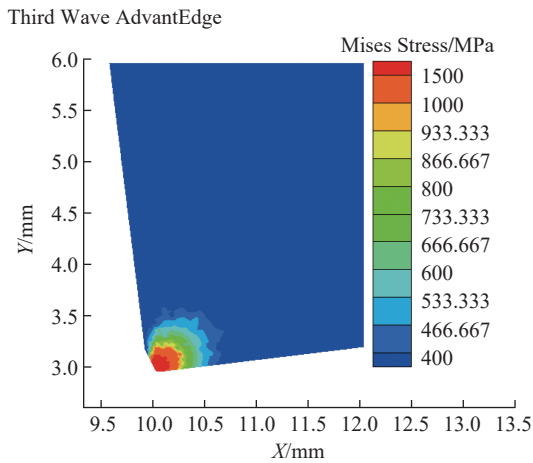
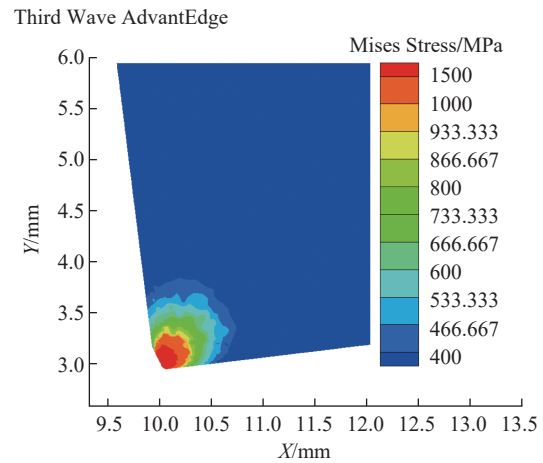
(a) $a_p=0.2\text{mm}$ (b) $a_p=0.6\text{mm}$ (c) $a_p=1.0\text{mm}$ (d) $a_p=1.4\text{mm}$

图6 切削深度对刀具应力分布变化规律的影响

Fig.6 Influence of cutting depth on the variation of tool stress distribution

高压冷却试验研究

为了分析切削力、刀具应力分布以及刀具破损之间的关系,进行了PCBN刀具在高压冷却条件下车削镍基高温合金的试验研究。

1 试验条件

由于镍基高温合金为难加工材料,采用的是大连机床厂生产的型号为CKA6150的数控车床。所用工件材料为镍基高温合金GH4169(其物理性能及材料成分与Inconel718相近似,如表1所示),其尺寸为 $\phi 100 \times 380\text{mm}$,高压冷却加工控制系

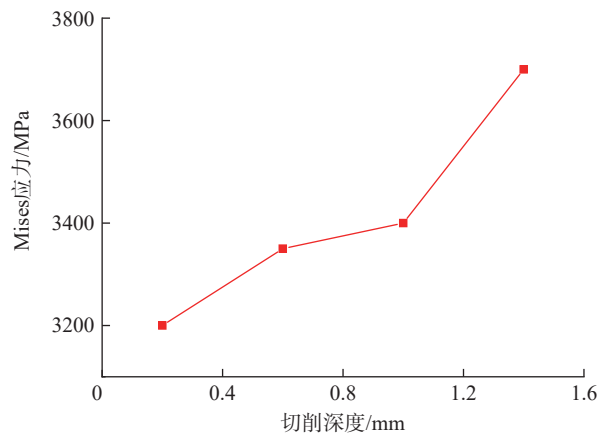


图7 切削深度对刀具应力影响折线变化图

Fig.7 Fold-line diagram of influence of cutting depth on tool stress

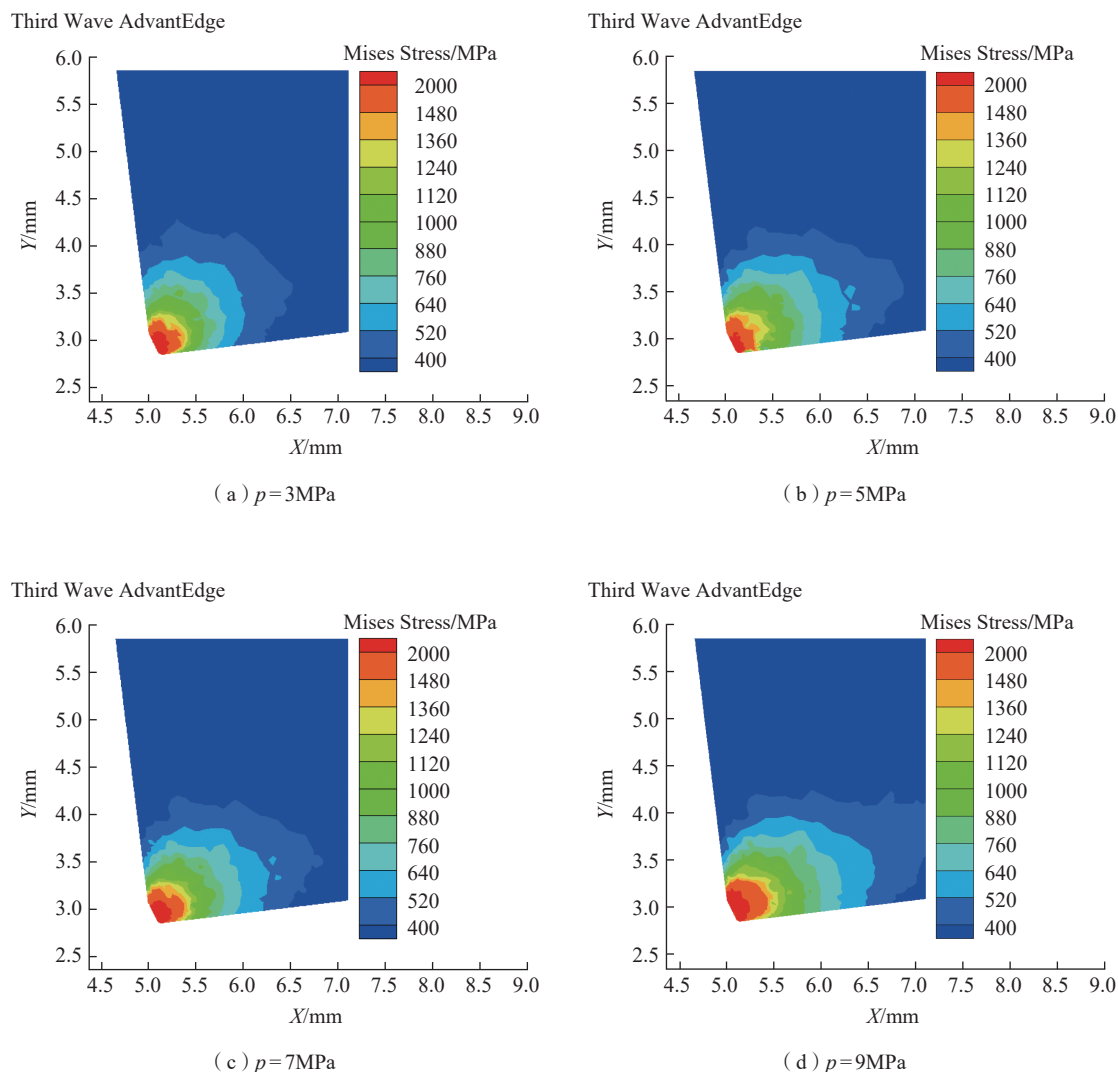


图8 冷却压力对刀具应力分布变化规律的影响

Fig.8 Influence of cooling pressure on the variation of tool stress distribution

统的型号为 SOONWELL,测力仪的型号为 Kistler9257B。

2 试验刀具

所用刀杆为山特公司生产的高压冷却加工专用刀杆,其型号为 PCLNR-2525 M12 HP。PCBN 刀片生产厂家为株洲钻石公司,型号为 CNGA120408-2。试验装置如图 10 所示。

3 试验结果分析

由高压冷却下应力理论模型可知,刀具应力变化与切削力呈正相关关系,下面用切削力揭示不同切削条件下刀具应力变化规律。

图 11 为 $v_c=160\text{m/min}$ 、 $a_p=0.4\text{mm}$ 、 $f=0.15\text{mm/r}$ 时冷却条件对切削力的影响规律,可知高压冷却下的切削力小于常规切削下的切削力,与高压切削下的应力小于常规切削下的应力仿真变化规律相对应。

图 12 为采用与仿真分析相同切

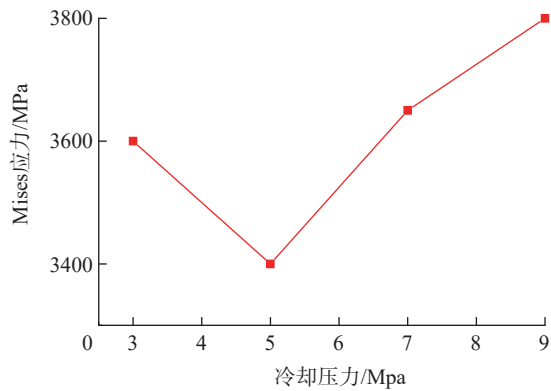


图 9 冷却压力对刀具应力影响折线变化图

Fig.9 Fold-line diagram of influence of cooling pressure on tool stress

表 1 GH4169 的物理性能(20°C)
Table 1 Physical properties of GH4169

硬度 HB	冲击韧性 a_k (MJ·m ⁻²)		密度 ρ (g·cm ⁻³)
≥ 331	348		8.28
收缩率 ψ /%	抗拉强度 δ_b /MPa	屈服强度 $\delta_{0.2}$ /MPa	伸长率 δ_s /%
≥ 15	≥ 1250	≥ 1034	≥ 12

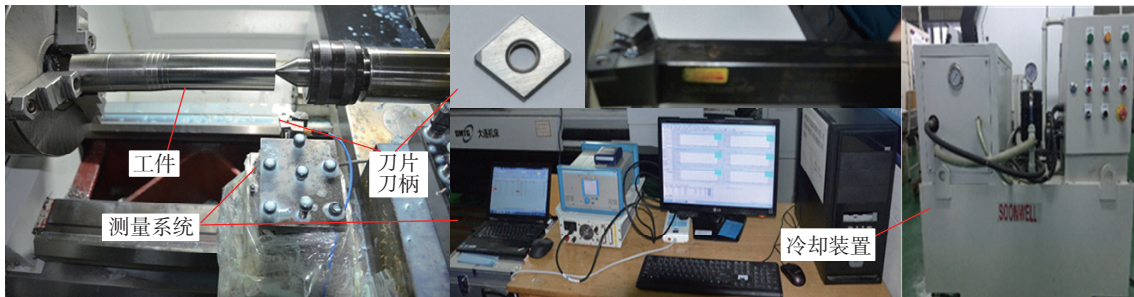


图 10 试验装置

Fig.10 Test device

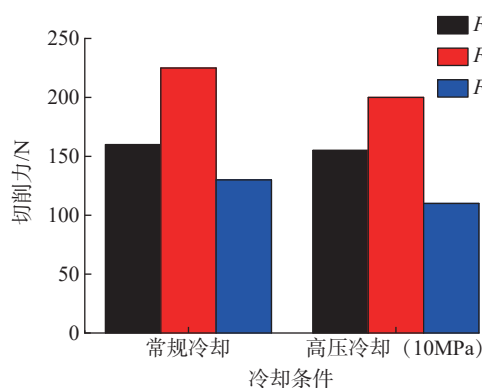


图 11 冷却条件对切削力的影响规律

Fig.11 Influence of cooling condition on cutting force

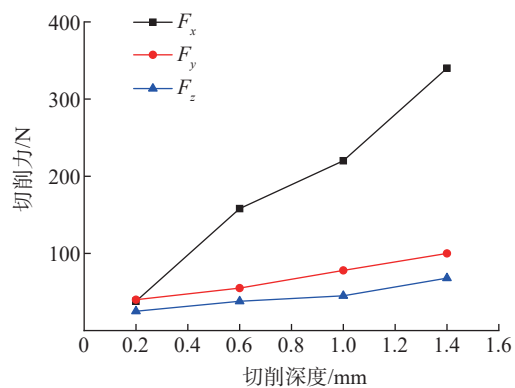


图 12 切削深度对切削力的影响规律

Fig.12 Influence of cutting depth on cutting force

削速度与进给量下的切削深度对切削力的影响规律。可知随着切削深度的不断增加,各切削分力整体呈不断上升趋势,当切削深度为1.4mm时切削力最大,这时 $F_x=385\text{N}$ 、 $F_y=100\text{N}$ 、 $F_z=68\text{N}$,与随着切削深度的增加刀具应力也不断增加的仿真结果相一致。

图13为 $v_c=125\text{m/min}$ 、 $a_p=0.4\text{mm}$ 、 $f=0.05\text{mm/r}$ 时冷却压力对切削力的影响规律,可知随着冷却压力的增加,切削力呈先减后增的趋势,当冷却压力为5MPa时切削力最小,这时 $F_x=130\text{N}$ 、 $F_y=200\text{N}$ 、 $F_z=126\text{N}$,与图9冷却压力对刀具应力影响折线变化规律整体趋势相近。

图14为 $v_c=160\text{m/min}$ 、 $a_p=0.4\text{mm}$ 、 $f=0.15\text{mm/r}$ 时刀具的破损状态,其中图14(a)、(b)和(c)分别为崩刃、断裂和剥落。由图14(a)可知刀具在沿着切削刃处发生破损,刀尖处略

显严重,图14(c)在刀尖与切削刃附近出现大面积的剥落现象,与图14(b)相比破损较为严重。由此可知刀尖及切削刃附近区域刀具强度较弱,刀具破损严重,是刀具发生破损的危险区域,与仿真结果刀尖和切削刃附近应力值较大具有较好的一致性。

结论

(1)建立了高压冷却下刀具应力分布模型,为高压冷却下刀具应力研究提供理论依据。

(2)高压冷却可以有效减小刀具应力,且后刀面应力分布变化相对平稳;当冷却压力为5MPa时刀具应力最小,为更好地进行切削参数优化提供参考依据。

(3)切削力较好揭示了不同切削条件下的刀具应力变化趋势,刀具破损较严重位置与仿真获得的应力相

对集中区域基本吻合,为有效改进刀具设计和实际加工等提供技术参考。

参考文献

[1] LI L, WU M, LIU X, et al. Experimental study of the wear behavior of PCBN inserts during cutting of GH4169 superalloys under high-pressure cooling[J]. International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2018, 95(5-8): 1941-1951.

[2] 宋永胜. 镍基高温合金精密切削刀具磨损及表面质量研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2016.

SONG Yongsheng. Study on the wear and surface quality of nickel-base superalloy precision cutting tools[D]. Harbin: Harbin Institute of Technology, 2016.

[3] 李畅. PCBN刀具高速车削镍基高温合金试验及仿真研究[D]. 湘潭: 湘潭大学, 2014.

LI Chang. Experimental and simulation study on high-speed turning of nickel-based superalloy with PCBN tool[D]. Xiangtan: Xiangtan University, 2014.

[4] KHAN S A, SOO S L, ASPINWALL D K, et al. Tool wear/life evaluation when finish turning inconel 718 using PCBN tooling[J]. Procedia CIRP, 2012, 1(1): 283-288.

[5] 吴明阳, 赵旭, 陈勇, 等. 高压冷却下PCBN刀具切削高温合金切屑卷曲折断机理及试验研究[J]. 机械工程学报, 2017, 53(9): 187-192.

WU Mingyang, ZHAO Xu, CHEN Yong, et al. The mechanism and experimental study of PCBN tool cutting superalloy chips under high pressure cooling[J]. Journal of Mechanical

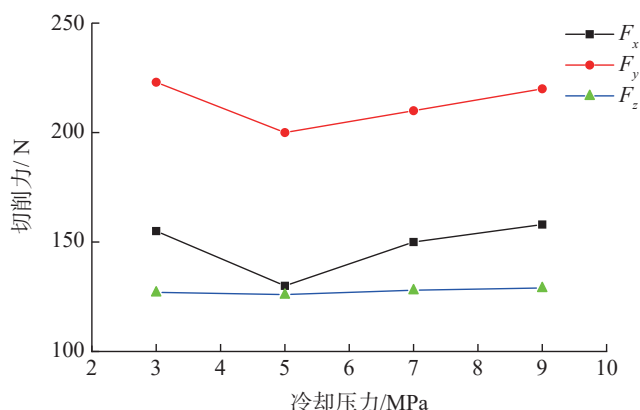
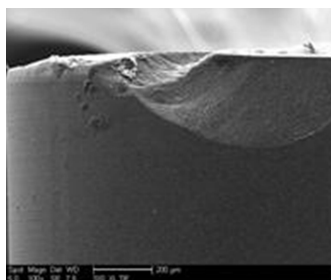
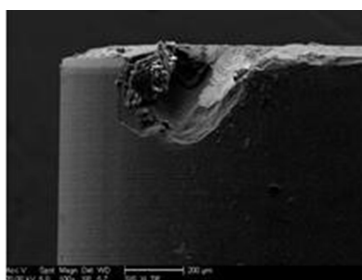


图13 冷却压力对切削力的影响规律

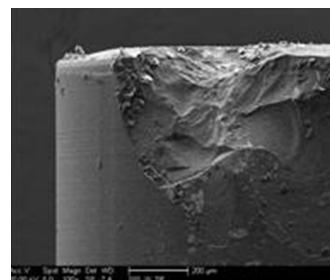
Fig.13 Influence of cooling pressure on cutting force



(a) 崩刃



(b) 断裂



(c) 剥落

图14 刀具发生破损状态(×100)

Fig.14 Tool breakage(×100)

Engineering, 2017, 53(9): 187–192.

[6] BUSHLYA V M, GUTNICHENKO O A, ZHOU J M, et al. Tool wear and tool life of PCBN, binderless cBN and wBN-cBN tools in continuous finish hard turning of cold work tool steel[J]. Journal of Superhard Materials, 2014, 36(1): 49–60.

[7] ZHUANG K, ZHANG X, ZHU D, et al. Employing preheating- and cooling-assisted technologies in machining of Inconel 718 with ceramic cutting tools: towards reducing tool wear and improving surface integrity[J]. International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2015, 80(9–12): 1815–1822.

[8] KLOCKE F, LUNG D, CAYLE T, et al. Evaluation of energy efficiency in cutting aerospace materials with high-pressure cooling lubricant supply[J]. International Journal of Precision Engineering & Manufacturing, 2014, 15(6): 1179–1185.

[9] YOUNIS M A. Mechanical and thermal stresses in clamped, brazed, and bonded carbide tools[J]. Journal of Engineering for

Industry, 1992, 114(4): 377–385.

[10] LASUKOV A A, MOKHOVIKOV A A. Influence of modified layer of tool on stress-strain state of cutting wedge[C]//International Forum on Strategic Technology. Tomsk(RU), 2012: 1023–1026.

[11] ALSAMHAN A, DARWISH S M. Factors influencing thermo-mechanical stresses developed in bonded tools[J]. International Journal of Adhesion & Adhesives, 2005, 25(5): 379–388.

[12] UHLMANN E, REIMERS W, BYRNE F, et al. Analysis of tool wear and residual stress of CVD diamond coated cemented carbide tools in the machining of aluminium silicon alloys[J]. Production Engineering, 2010, 4(2–3): 203–209.

[13] 吉春辉, 刘战强. 纳米切削过程中刀-屑接触区应力分布研究[J]. 机械工程学报, 2013, 49(19): 192–198.

JI Chunhui, LIU Zhanqiang. Stress distribution in tool-chip contact zone during nano-cutting[J]. Journal of Mechanical Engineering, 2013, 49(19): 192–198.

[14] 杨蕊, 薛国彬, 郑清春, 等. 切削钛合金刀具后刀面滑动接触过程的应力分析[J]. 润滑与密封, 2015, 40(8): 47–50.

YANG Rui, XUE Guobin, ZHENG Qingchun, et al. Stress analysis of sliding contact process of titanium alloy cutting tool flank[J]. Lubrication and Sealing, 2015, 40(8): 47–50.

[15] 史祖衡, 徐颖强, 郭彩虹, 等. 涂层刀具前后刀面摩擦下界面应力分析[J]. 工具技术, 2012, 46(9): 14–19.

SHI Zuheng, XU Yingqiang, GUO Caihong, et al. Interface stress analysis under front and back face friction of coated tools[J]. Tool Technology, 2012, 46(9): 14–19.

[16] 陈勇. 高压冷却下高温合金加工切削力特性及刀具磨损研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨理工大学, 2017.

CHEN Yong. Study on cutting force characteristics and tool wear of superalloy under high pressure cooling[D]. Harbin: Harbin University of Science and Technology, 2017.

通讯作者: 吴明阳, E-mail: mingyang@hrbust.edu.cn.

Study on Stress Distribution of Cutting Tool for Cutting Superalloy Under High-Pressure Cooling

WU Mingyang, WU Shujie, CHU Weixu, LIU Keke, CHENG Yaonan

(The Key Lab of National and Local United Engineering for High-Efficiency Cutting & Tools, Harbin University of Science and Technology, Harbin 150080, China)

[ABSTRACT] Superalloys are widely used in aerospace and other fields, and are a kind of typical difficult-to-cut material. PCBN is a kind of superhard tool material, which has excellent performance in processing superalloys, but there are some phenomenon such as tool wear and serious damage in cutting process. High-pressure cooling is a new cooling method, which can effectively reduce the mechanical impact and affect the stress distribution of cutting tools. Therefore, it is important to study the stress distribution of cutting tools under high-pressure cooling. Firstly, tool stress model under high-pressure cooling is established to provide theoretical basis for tool stress variation law under high-pressure cooling; Secondly, the finite element method is used to simulate the stress distribution of cutting tools under different cooling conditions, cutting parameters and cooling pressures, and the influence law of different cutting conditions on the stress of cutting tools is obtained; Finally, the high-pressure cooling test is carried out to analyze the cutting force, stress distribution of tool and tool breakage, which provides a certain technical basis for efficient processing of superalloys and tool optimization under high-pressure cooling.

Keywords: Stress distribution; PCBN tool; Finite element simulation; High pressure cooling; Superalloy

(责编 雷松)