

激光诱导氧化辅助微细铣削 TiB_2 基陶瓷复合材料试验研究

王茂, 赵国龙, 何宁, 夏宏军, 李亮

南京航空航天大学

摘要: 陶瓷复合材料具有高硬度、高弹性模量、耐磨、抗化学腐蚀等诸多优异性能,在航空航天、微电子、汽车、切削工具和生物医学等领域具有广泛应用前景,但其微细铣削加工中存在铣削力高、刀具磨损严重等问题。本文提出了一种激光诱导氧化辅助微细铣削的复合加工方法,并用该方法制备了 TiB_2 基陶瓷复合材料微结构。在激光辐照下, TiB_2 基陶瓷复合材料氧化生成具有一定厚度的、疏松易去除的氧化层;在此基础上,利用微细铣削工艺依次去除氧化层、热影响层和少量基体材料,以获得高加工效率和加工质量。主要研究了铣削深度和每齿进给量对铣削力和表面粗糙度的影响规律,结果表明,随着铣削深度和每齿进给量的增大,铣削力逐渐增大;在铣削深度为 $2\mu\text{m}$ 、每齿进给量为 $0.3\mu\text{m}/\text{z}$ 时,已加工表面粗糙度最小, S_a 为 $0.06\mu\text{m}$;随着铣削深度和每齿进给量的增大,材料去除方式先后经历弹性滑动摩擦、延性模式和脆性模式三个阶段。

关键词: TiB_2 基陶瓷复合材料;激光诱导氧化;微细铣削;延性域铣削;复合工艺

中图分类号: TG714;TH140.7

文献标志码: A

DOI:10.3969/j.issn.1000-7008.2019.07.002

Experimental Study on Laser-induced Oxidation Assist Micro-milling of TiB_2 -based Ceramic Composite

Wang Mao, Zhao Guolong, He Ning, Xia Hongjun, Li Liang

Abstract: Ceramic composites are widely used in aerospace, microelectronics, automotive, cutting tools and biomedical fields because of their high hardness, high strength, low density, low expansion coefficient, good resistance properties to wear and abrasion. However, the machining of ceramic composites is intricate due to high machining force and severe tool wear. A novel process of using laser-induced oxidation to assist micro-milling of the TiB_2 -based ceramic composites is proposed, and the microstructures are prepared by the process. Under the laser irradiation, the TiB_2 -based ceramic composite is oxidized to form a loose and easy-to-remove oxide layer. On this basis, the oxide layer, the heat-affected layer and a small amount of substrate material are sequentially removed by the micro-milling process to get high processing quality and processing efficiency. The influences of milling depth and feed per tooth on milling force and roughness are investigated. The results show that as the milling depth and the feed per tooth increase, the milling force increases. When the milling depth is $2\mu\text{m}$ and the feed per tooth is $0.3\mu\text{m}/\text{z}$, the roughness of the machined surface is the smallest, S_a is $0.06\mu\text{m}$. As the milling depth and the feed per tooth increase, the material removal mode experiences three stages of elastic sliding friction, ductile-mode and brittle-mode.

Keywords: TiB_2 -based composite ceramic; laser-induced oxidation; micro-milling; ductile-mode milling; hybrid process

1 引言

陶瓷材料具有高硬度、高强度、低密度、低膨胀系数、耐磨损、抗化学腐蚀等优异性能,被广泛应用于航空航天、微电子、汽车、切削工具和生物医学等领域^[1-4]。微小型陶瓷零部件对尺寸精度和表面质量有着极高的要求,如在微流道系统中,微槽的深宽比和垂直度对其服役性能有着关键影响^[5];在生物医学领域,制造义齿时应尽量避免裂纹的产生^[6]。然而,陶瓷材料是难加工材料,其低切削加工性限制

了应用,高硬度导致陶瓷材料难以通过传统工艺加工成型,低断裂韧性使得陶瓷材料对应力变化非常敏感,在加工过程中容易产生裂纹和破碎^[7]。

目前,针对陶瓷材料的加工技术主要有磨削加工、电化学加工(ECM)、电火花加工(EDM)、超声加工(USM)、电子束加工(EBM)和激光加工(LM)等。磨削加工可以获得很高的尺寸精度和表面质量,但加工效率低,需要耗费大量加工时间和加工成本^[8];电化学加工技术主要用于加工金属材料,可以加工出复杂的轮廓,但是存在电极耗损严重、加工效率低、加工范围有限的问题^[9];电火花加工技术可加工导电性好的陶瓷材料,不受材料硬度的影响,

但加工表面质量较差^[8]；超声加工技术将电能转化为高频机械振动,利用振动中的磨粒去除材料,但材料去除率低,且材料去除机理尚未明确,所以工艺优化困难^[7,8]；电子束加工通过高速电子撞击工件待加工表面产生热量,进而去除材料,加工过程中由偏转线圈控制电子束,实现快速定位,获得高加工速度,但设备昂贵,加工成本高^[8]；激光加工属于非接触加工,高能量密度的激光束辐照在工件材料表面,通过熔化、蒸发、升华等形式去除材料,加工效率高、应用范围广；但激光加工存在热影响区,已加工表面容易产生重铸层和微裂纹,表面质量与尺寸精度差^[8,10]。

随着高性能机床和切削刀具技术的发展,使用微细铣削技术加工陶瓷复合材料已成为可能^[11]。微细铣削技术具有较高的材料去除率和良好的加工灵活性^[12],可以加工复杂的三维微结构,同时确保良好的尺寸精度和加工质量。由于陶瓷复合材料的硬脆性,铣削过程中存在铣削力大、刀具磨损严重和加工质量差等问题。Bian Rong 等^[13]研究了直径为1mm的金刚石涂层微铣刀加工 ZrO_2 陶瓷时的刀具磨损特性,选用的切削深度为 $2\mu m$ 和 $4\mu m$,试验发现,当累积铣削路程达到1.9m时,会发生严重的刀具磨损。Wang Shulong 等^[14]研究了直径为1mm的PCD微铣刀在加工 ZrO_2 时的刀具磨损情况,当切削深度 $a_p = 5\mu m$ 时,最大累积铣削路程只能达到1.24m。加工陶瓷材料时,铣削参数取值较小,会出现材料去除量小、加工效率低的问题。与此同时,微细铣削陶瓷材料的加工原理对刀具材料、设计和制造技术提出了很高的要求^[11]。目前,市售的可以用于加工陶瓷复合材料的微铣刀价格较高,因此迫切需要开发一种高效率、低成本的工艺方法来克服微细铣削陶瓷复合材料中存在的难题。

本文提出了激光诱导氧化辅助微细铣削陶瓷复合材料的复合加工工艺,重点研究了铣削参数对铣削力和表面粗糙度的影响规律。首先使用低功率脉冲激光器辐照 TiB_2 基陶瓷复合材料,由此产生的高温可以诱导陶瓷材料发生氧化反应,在表面生成一层疏松的氧化物,使材料的组织结构与加工性能发生改变；之后利用微细铣削工艺依次去除氧化层、热影响层以及少量基体材料,提高加工效率。

2 试验装置与方案

2.1 试验装置

如图1所示,激光诱导氧化辅助微细铣削试验

装置由激光器、大理石床身、进给机构、气浮型高速主轴、PMAC控制系统和驱动器等部分组成。激光器为IPG Photonics公司生产的YLP-1/100/20型脉冲掺镱光纤激光器,波长为1064nm,最大单脉冲能量为1mJ。微细铣削机床的X、Y轴采用直线电机驱动,Z轴为精密滚珠丝杠结构。三个轴均配备有光栅位移传感器,精度为 $0.1\mu m$ 。高速气浮主轴的最高转速可达100000r/min,回转精度小于 $1\mu m$ 。机床还配备显微镜对刀系统,用于辅助对刀和对切削过程进行实时监测。测力仪型号为Kistler 9256C1,其测力阈值为0.002N,采样频率为20kHz。

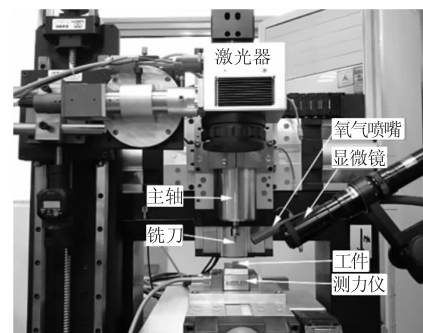


图1 复合加工工艺试验装置

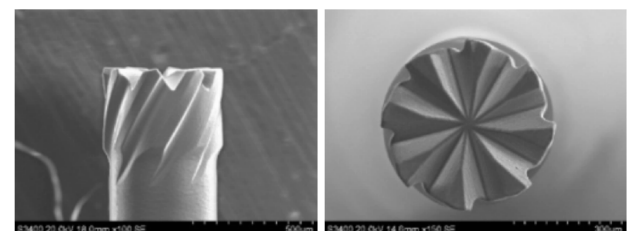
2.2 试验材料及刀具

试验材料为 TiB_2 -SiC陶瓷复合材料,其中 TiB_2 和SiC的质量分数分别为98%和2%。由平均粒径为 $1.3\mu m$ 的 TiB_2 粉末(纯度98.5%)和平均粒径为 $2.0\mu m$ 的SiC粉末(纯度99.7%)热压烧结而成,其力学性能见表1。

表1 TiB_2 基陶瓷复合材料的力学性能

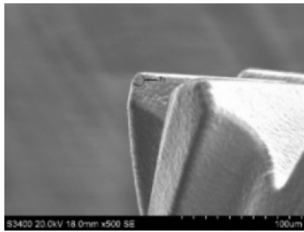
维氏硬度(GPa)	断裂韧性($MPa \cdot m^{1/2}$)	抗弯强度(MPa)
32.34	5.7	790

使用直径为0.5mm的金刚石涂层8齿平底微铣刀加工硬脆材料,刀具参数见表2。刀具基体材料为硬质合金,表层涂覆的金刚石涂层厚度约为 $6.5\mu m$ 。刀具有效刃长为2mm,长径比为4,刀尖圆弧半径为 $5\mu m$ 。图2为微铣刀不同部位与视角的SEM图。



(a) 侧面形状

(b) 底面形状



(c) 刀尖圆弧

图2 金刚石涂层微铣刀形貌

表2 金刚石涂层微细铣刀参数

齿数	涂层厚度	直径	有效刃长	刀尖圆弧半径
8	6.5 μm	0.5mm	2mm	5 μm

2.3 试验方案

TiB_2 基陶瓷复合材料在激光辐照下会与氧气发生反应,生成疏松易去除的氧化物,且氧化层的厚度可以通过调节激光参数来控制。经过前期试验,在富氧环境中,激光平均功率为 5W、扫描速度为 1mm/s 时取得的氧化效果最佳。在该参数下,氧化层的厚度为 51 μm ,热影响层的厚度为 15 μm 。图3为激光诱导氧化辅助微细铣削工艺的示意图。因为氧化反应不可逆,生成的氧化层与热影响层在一定时间区间内会保持稳定的机械性能。因此,微细铣刀不必紧跟激光光斑移动,可有效避免高温对微铣刀性能的影响。

图4为激光诱导氧化辅助微细铣削加工过程的示意图。通过激光诱导生成的氧化物呈颗粒状,与基体材料间的结合十分松散,前期试验发现通过超声清洗可去除氧化层。据此推测,在微细铣削过程中氧化层也极易去除。热影响层是由激光辐照过程中的热影响所导致,上面分布有裂纹、气孔、残留氧化物等缺陷。如果不去除,会严重影响陶瓷微结构的使役性能。因此,微细铣削加工过程的主要任务是去除热影响层材料。同时,为了获得更高的加工质量,降低热影响层中裂纹扩展等因素的影响,新工艺在去除热影响层材料后,要求去除少量的基体材料。经测试得出,热影响层的维氏硬度为 14GPa 左右,远低于基体材料的维氏硬度 32.34GPa。新的加工方法可以突破陶瓷材料铣削加工的瓶颈,降低刀具磨损,延长刀具寿命,并因此获得更高的加工质量和更低的加工成本,为陶瓷材料加工提供新的思路。

选用试验参数如表3所示,主轴转速 $n = 20000\text{r/min}$,铣削深度 a_p 选择 1 μm 和 2 μm 两个水平,每齿进给量 f_z 选择 0.3 $\mu\text{m/z}$ 、0.6 $\mu\text{m/z}$ 、0.9 $\mu\text{m/z}$ 和 1.2 $\mu\text{m/z}$ 四个水平。由于激光辐照区域在激光诱导氧化之后产生了严重的体积膨胀现象,为了确保

对刀精度,试验先在激光辐照区域外完成对刀,再将刀具移至激光辐照区域内进行加工。

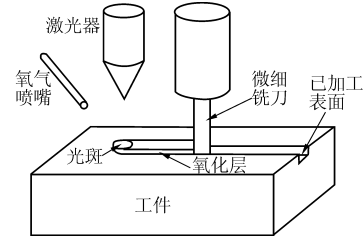


图3 激光诱导氧化辅助微细铣削工艺原理

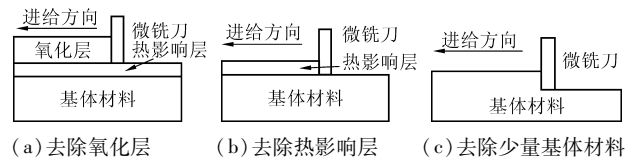


图4 激光诱导氧化辅助微细铣削加工过程

表3 微细铣削试验参数

主轴转速 n (r/min)	20000	20000	20000	20000
铣削深度 a_p (μm)	1	1	1	1
每齿进给量 f_z ($\mu\text{m/z}$)	0.3	0.6	0.9	1.2
主轴转速 n (r/min)	20000	20000	20000	20000
铣削深度 a_p (μm)	2	2	2	2
每齿进给量 f_z ($\mu\text{m/z}$)	0.3	0.6	0.9	1.2

2.4 表征方法

采用 Kistler 9256C1 测力仪监测,记录铣削过程中的铣削力。使用白光干涉仪 (Phase Shift Micro XAM-3D) 测量已加工表面粗糙度 S_a 。为了减小测量过程中的随机误差,每组参数下测量 3 个不同位置的粗糙度,取平均值为表面粗糙度。

3 试验结果与分析

3.1 铣削参数对铣削力的影响

铣削力是监测微细铣削过程的重要参数,其变化可以实时反映刀具磨损状况及已加工表面质量。在激光诱导氧化辅助微细铣削试验中,氧化层极易去除,铣削氧化层时铣削力的信号与干扰信号处于同一水平,因而难以被准确监测。铣削氧化层时,刀具磨损可忽略不计,所以监测铣削氧化层时的铣削力信号意义不大,仅对铣削热影响层材料时的铣削力变化做记录分析,以每个周期中铣削力峰值信号的绝对值作为该周期的铣削力。图5为微细铣削试验示意图,对应的力信号中 F_x 为主切削力, F_y 为进给抗力, F_z 为轴向力。

从图6可以看出,在相同的铣削深度下,铣削力随着每齿进给量的增大而逐渐增大;在相同的每齿进给量下,切削深度增大时切削力也增大。当每齿进给量为 0.3 $\mu\text{m/z}$ 、切削深度为 1 μm 时, F_x 为

0.84N, F_y 为 0.38N, F_z 为 1N; 当切削深度增大为 $2\mu\text{m}$ 时, F_x 变为 1.88N, F_y 为 0.75N, F_z 为 2.3N, 为前者的两倍左右。这是因为随着每齿进给量和切削深度的增加, 材料去除率会增加, 所需能量也会增多, 因此切削力会随之增大。如图 6 所示, 在所有铣削参数下, 轴向力 F_z 始终最大。这是因为切削深度、每齿进给量与刀尖圆弧半径相比要小很多, 在铣削过程中会形成一个较大的实际负前角, 使得铣削力在沿轴线方向的分力很大。因为轴向力较大, 才能对工件材料施加一个较大的压应力, 促使其发生塑性变形, 获得高加工质量。

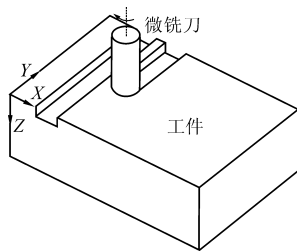


图5 微细铣削试验图示

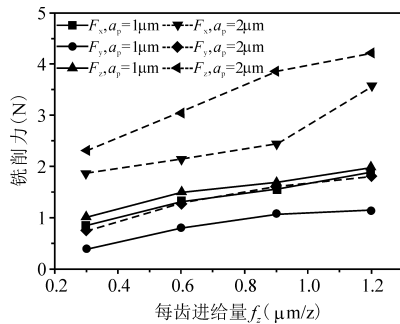


图6 不同铣削参数下获得的铣削力

3.2 铣削参数对表面粗糙度的影响

表面粗糙度对于零件的耐磨性、耐腐蚀性、配合稳定性等各方面都有重要影响, 是评价已加工表面质量的重要指标。在本研究中已加工表面上存在不规则的缺陷分布, 凹坑等缺陷可能存在于取样线段外, 因而 R_a 无法完全体现出已加工表面的粗糙度轮廓, 故采用基于面的轮廓算术平均高度 S_a 来表征表面质量。

图 7 为采用不同铣削参数时获得的表面粗糙度。当切削深度 $a_p = 1\mu\text{m}$ 时, 已加工表面粗糙度随着每齿进给量的增加先减小后增大; 当每齿进给量 f_z 为 $0.3\mu\text{m}/z$ 时, S_a 为 $0.122\mu\text{m}$ 。随着每齿进给量的增大, 表面粗糙度值持续减小, 当每齿进给量增大到 $0.9\mu\text{m}/z$ 时, 表面粗糙度达到最小值, S_a 为 $0.88\mu\text{m}$ 。此后, 随着每齿进给量的增大, 表面粗糙度逐渐增大。当切削深度为 $2\mu\text{m}$ 时, 表面粗糙度随

每齿进给量的增大而逐渐增大。当每齿进给量 f_z 为 $0.3\mu\text{m}/z$ 时, S_a 为 $0.06\mu\text{m}$, 表面粗糙度最小, 表面质量最好。随着每齿进给量的增加, 表面粗糙度值快速增大。当每齿进给量增加到 $1.2\mu\text{m}/z$ 时, S_a 升高到 $0.118\mu\text{m}$ 。由此可以得出结论: 当铣削深度 a_p 为 $2\mu\text{m}$ 、每齿进给量为 $0.3\mu\text{m}/z$ 时, 加工出的表面质量最佳, S_a 可达到 $0.06\mu\text{m}$ 。

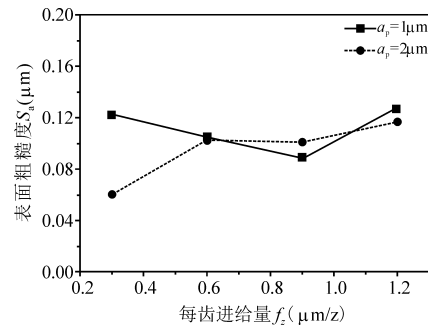


图7 不同铣削参数下获得的表面粗糙度

3.3 材料去除机理

陶瓷材料的化学键主要为共价键和离子键, 具有很高的键能和方向性。在外力作用下, 晶格难以发生位错运动, 因此陶瓷材料的塑性变形能力较差, 在铣削加工中主要以脆性模式去除。随着硬脆材料精密加工技术的发展, 研究发现, 当切削厚度足够小时, 材料的去除形式可由脆性模式转变为延性模式, 大大提高了微细铣削的加工质量, 避免了因脆性破坏造成的损伤。Xiao Chen 等^[15]发现, 脆性材料去除方式的脆塑转变与加工过程中的切削厚度有关, 当切削厚度小于某一临界切削厚度时即可实现脆性材料的延性模式去除。Min Yang 等^[16]研究了不同润滑条件下氧化锆陶瓷由脆性模式向延性模式转变的临界切削厚度, 根据碎屑的不同形成机理, 将氧化锆陶瓷的材料去除方式划分为弹性滑动摩擦、延性去除、粉末去除和脆性去除。

实现陶瓷材料以延性模式去除的关键技术是控制铣削过程中的实际切削厚度小于脆塑转变的临界切削厚度。由图 8 可以看出, 在切削深度 a_p 小于刀尖圆弧半径 r_e 时, 最大切削厚度 h_{\max} 并非简单地等于每齿进给量 f_z , 而是跟切削深度 a_p 、每齿进给量 f_z 以及刀尖圆弧半径 r_e 有关。其表达式为

$$h_{\max} = r_e - \sqrt{r_e^2 + f_z^2 - 2f_z \sqrt{2r_e a_p - a_p^2}} \quad (1)$$

如式(1)所示, 通过减小每齿进给量和铣削深度、选用刀尖圆弧半径较大的微铣刀可以获得较小的最大切削厚度。为了获取合适的最大切削厚度, 实现陶瓷材料的延性模式切削, 必须合理选择刀具

及铣削参数。

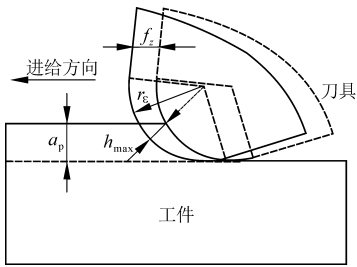
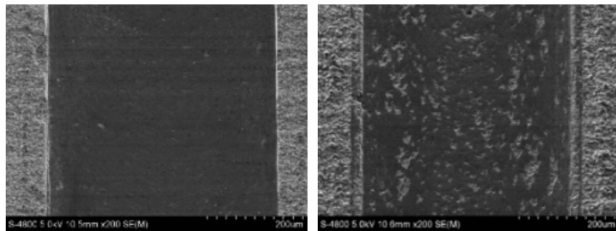


图8 铣削区域

图9为铣削深度为 $2\mu\text{m}$ 时、不同每齿进给量加工的微槽形貌。图9a所示的微槽形貌是当每齿进给量为 $0.3\mu\text{m}/z$ 时取得,在延性模式下实现材料去除,材料表面缺陷很少。当每齿进给量增大到 $1.2\mu\text{m}/z$ 时,加工出的表面遍布凹坑和大块的材料剥落,这些缺陷是脆性断裂的材料去除形式造成的(见图9b)。



(a) $f_z = 0.3\mu\text{m}/z$

(b) $f_z = 1.2\mu\text{m}/z$

图9 不同每齿进给量加工的微槽形貌

当切削深度 $a_p = 1\mu\text{m}$ 时,随着每齿进给量的增大,表面粗糙度先减小后增大。铣削过程中的最大切削厚度随每齿进给量的增大而增大,逐渐逼近并超过脆塑转变的临界切削厚度,材料去除方式先后经历了弹性滑动摩擦、延性模式去除和脆性模式去除三个阶段。当每齿进给量相同时,切削深度为 $2\mu\text{m}$ 时的最大切削厚度大于切削深度为 $1\mu\text{m}$ 时的最大切削厚度。当切削深度为 $2\mu\text{m}$ 时,表面粗糙度随每齿进给量的增大而逐渐增大,材料去除方式只经历了由延性模式向脆性模式的转换。在延性模式下,已加工表面粗糙度最小,且表面平整无明显缺陷,加工质量最佳。

4 结语

对激光诱导氧化辅助微细铣削 TiB_2 基陶瓷复合材料进行了探索性研究,主要对铣削力、表面粗糙度进行了测试分析,结论如下:

(1)在不同切削深度下,铣削力均随着每齿进给量的增大而逐渐增大;当铣削深度为 $2\mu\text{m}$ 时,铣削力三向铣削力均大于铣削深度为 $1\mu\text{m}$ 时的铣削

力,说明铣削力随着铣削深度的增大而逐渐增大。

(2)铣削过程中的最大切削厚度随铣削深度和每齿进给量的增大而增大,逐渐逼近并超过脆塑转变的临近切削厚度,材料去除方式先后经历弹性滑动摩擦、延性模式和脆性模式三个阶段。

(3)当铣削深度 a_p 为 $2\mu\text{m}$ 、每齿进给量为 $0.3\mu\text{m}/z$ 时,材料以延性模式去除, S_a 可以达到 $0.06\mu\text{m}$,是被研究参数范围中表面粗糙度的最小值,加工质量最佳。

参考文献

- [1]Rayat M S, Gill S S, Singh R, et al. Fabrication and machining of ceramic composites: a review on current scenario [J]. *Materials & Manufacturing Processes*, 2017 (32): 1451 - 1474.
- [2]Zhao G L, Huang C Z, He N, et al. Microstructure and mechanical properties at room and elevated temperatures of reactively hot pressed TiB_2 - TiC - SiC composite ceramic tool materials [J]. *Ceramics International*, 2016 (42): 5353 - 5361.
- [3]Singlard M, Tessier Doyen N, Chevallier G, et al. Spark plasma sintering and mechanical properties of compounds in TiB_2 - SiC pseudo-diagram [J]. *Ceramics International*, 2018 (44): 22357 - 22364.
- [4]Demirskyi D, Borodianska H, Sakka Y, et al. Ultra-high elevated temperature strength of TiB_2 -based ceramics consolidated by spark plasma sintering [J]. *Journal of The European Ceramic Society*, 2017 (37): 393 - 397.
- [5]Abdo B M A, Anwar S, El-Tamimi A M, et al. Laser micro-milling of bio-lox forte ceramic: an experimental analysis [J]. *Precision Engineering*, 2018 (53): 179 - 193.
- [6]Zhang Y, Lee J J W, Srikanth R, et al. Edge chipping and flexural resistance of monolithic ceramics [J]. *Dental Materials*, 2013 (29): 1201 - 1208.
- [7]Zhang Y, Wang Y Q, Zhang J Z, et al. Micromachining features of TiC ceramic by femto second pulsed laser [J]. *Ceramics International*, 2015 (41): 6525 - 6533.
- [8]Samant A N, Dahotre N B. Laser machining of structural ceramics-a review [J]. *Journal of The European Ceramic Society*, 2009 (29): 969 - 993.
- [9]Senthilkumar C, Ganesan G, Karthikeyan R. Study of electrochemical machining characteristics of Al/SiC_p composites [J]. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 2009 (43): 256 - 263.
- [10]Mishra S, Yadava V. Laser beam micro machining (LBMM)- a review [J]. *Optics & Lasers in Engineering*, 2015 (73): 89 - 122.

- [11] Wang L, Huang C Z, Wang J, et al. An experimental investigation on laser assisted waterjet micro-milling of silicon nitride ceramics [J]. *Ceramics International*, 2017 (44): 5636 - 5645.
- [12] Aurich J C, Bohley M, Reichenbach I G, et al. Surface quality in micro milling: influences of spindle and cutting parameters [J]. *CIRP Annals-Manufacturing Technology*, 2017(66): 101 - 104.
- [13] Bian R, Ferrari R, Qian J, et al. Tool wear characters in micro-milling of fully sintered ZrO₂ ceramics by diamond coated end mills [J]. *Materials Science Forum*, 2012 (723): 365 - 370.
- [14] Wang S L, Li L, He N, et al. Research on tool wear of PCD micro end mill in machining of ZrO₂ ceramics [J]. *Materials Science Forum*, 2014 (800 - 801): 20 - 25.
- [15] Chen X, Xu J F, Fang H S, et al. Influence of cutting parameters on the ductile-brittle transition of single-crystal calcium fluoride during ultra-precision cutting [J]. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 2017 (89): 1 - 7.
- [16] Yang M, Li C H, Zhang Y B, et al. Maximum undeformed equivalent chip thickness for ductile-brittle transition of zirconia ceramics under different lubrication conditions [J]. *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, 2017(122): 55 - 65.

第一作者:王茂,硕士研究生,南京航空航天大学机电学院,210016 南京市

First Author: Wang Mao, Postgraduate, School of Mechatronic Engineering, Nanjing University of Aeronautics & Astronautics, Nanjing 210016, China

通信作者:赵国龙,博士,副教授,南京航空航天大学机电学院,210016 南京市

Corresponding Author: Zhao Guolong, Doctor, Associate Professor, School of Mechatronic Engineering, Nanjing University of Aeronautics & Astronautics, Nanjing 210016, China

新书推荐——《工具热处理技术与实践》



由成都工具研究所教授级高级工程师李惠友编著的“工具热处理技术与实践”一书近日由机械工业出版社在京出版。该书收集了半个世纪以来中、俄、英、日4种文字与工具钢和工具热处理有关的期刊杂志和专著的文献资料,并结合作者自己的研究成果和文章、著作,历经10多年的整理加工,编著成书。

该书作者在成都工具研究所从事工具热处理技术的研究工作已经50余年,先后荣获四川省科技进步一等奖,国家科技进步二等奖;曾主持和参与召开了7届全国工具钢和工具热处理学术会议;深入调研过全国主要专业工具厂的热处理车间;编写过全国热处理学会主编的热处理手册中“工具热处理”一章的第1版到第4版;发表过数十篇专业学术文章,著有“QPQ技术的原理与应用”等专著;该书作者了解我国工具热处理的情况和需求,书中的内容很有针对性。

该书有以下特点:

1. 叙述全面,该书共40多万字,从工具钢的相变理论、工具的选材、热处理工艺、热处理质量检测及缺陷分析、典型工具的热处理、高速钢的表面强化到工具热处理的加热技术,对工具热处理进行了全面论述。
2. 内容实用;该书紧密结合工具厂的生产实际,可操作性强。书中包括大量国内外成功的经验和试验数据,很多资料对改进现有的生产工艺很有参考价值。
3. 资料鲜有;书中很多资料属国内鲜见或未见,很多内容直接引用尚未翻译的原文专著或原文期刊文献。
4. 有一定的理论叙述;该书全面、精简、扼要地介绍了工具钢热处理时的相变过程,其资料来源多为有关工具钢的经典著作或较为新新颖的试验资料。加热相变时奥氏体形成过程的图片显示方法,国内鲜见。
5. 专门开辟一章全面叙述工具钢中的碳化物和晶粒度等微观组织和力学性能,并且与工具寿命联系起来,在以往的著作中尚未见到。
6. 该书涵盖作者多年来的试验成果和专业论文的内容,其中有高速钢分级淬火、高速钢真空淬火、高速钢QPQ处理、高速钢工具氮化、高速钢工具刃磨烧伤、高速钢碳化物偏析、高速钢深冷处理等方面的内容。
7. 该书还介绍了一些尚未大量推广应用的技术,例如工具的激光热处理、工具的高压液相处理等,以便全面了解世界范围内工具热处理技术发展的过程和路径,从中得到启发。

该书对我国工具热处理工作者具有参考价值,并有一定的学术水平,特此向与工具热处理技术相关的读者推荐此书。