

工程陶瓷超声振动磨削残余应力特性研究

Study on Ultrasonic Vibration Assisted Grinding of Engineering Ceramics Surface Residual Stress Characteristics

河南科技学院 姚建国 宁欣 王占奎

[摘要] 在自行研制的二维超声振动磨削系统下对工程陶瓷表面残余应力特性进行了试验研究,在同样的参数下,与普通磨削表面残余应力进行比较和分析得出:两种磨削方式下表面残余应力皆为压应力,且随着磨削深度的增加,两种磨削方式下表面残余应力均呈现减小趋势,但超声磨削残余应力的减小趋势较普通磨削缓慢。超声振动磨削表面残余应力大于普通磨削。其他参数不变,随着磨粒的增大,两种方式表面残余应力呈上升趋势。

关键词: 工程陶瓷 超声振动 磨削 残余应力

[ABSTRACT] Engineering Ceramics surface residual stress characteristics under the self-developed two-dimensional ultrasonic vibration grinding system was tested, under the same parameters with ordinary grinding surface residual stresses and analysis, experiment showed that: two kinds of millcut way to the surface residual stresses are all compressive stress, with the increase of the grinding depth, surface residual stresses in two grinding mode were shown a decreasing trend, but the decrease trend of ultrasonic grinding residual stress is slower than ordinary grinding. The ultrasonic vibration grinding surface residual stress is greater than the ordinary grinding. Other parameters unchanged, with the increased of abrasive, under the two ways of surface residual stress is on the increase.

Keywords: Engineering ceramics Ultrasonic vibration Grinding Residual stress

工程陶瓷材料磨削残余应力的产生是由于各种加工因素对材料表面共同作用的结果,其中磨粒对材料切削作用及磨削热为主要影响因素^[1]。表面残余应力分为残余压应力和残余拉应力,其中残余压应力能强化表面,闭合表面裂纹,可增加材料的疲劳强度,因此有益于工件的使用寿命;而表面拉应力是材料产生断裂破坏的原因之一,因为工件在使用过程中其疲劳强度逐步衰减,当表面

残余拉应力大于材料的破坏强度时将会产生裂纹并在拉应力的驱动下扩展,最终导致材料断裂失效,因此陶瓷材料在磨削过程中的残余拉应力是应该避免的^[2-4]。

1 试验方法与试验条件

本试验在自行研发的二维超声振动磨削系统上把试件进行磨削,然后进行残余应力的测试,如图1所示。残余应力的测定方法很多,常用的有应力松弛法、X射线衍射法、超声法、磁性法、裂纹法等。由于X射线衍射法是通过X射线衍射测定在残余应力作用下晶面间距的变化,从而计算出应力,是一种无损检测法,且测量结果比较精确,因此本试验采用X射线衍射法对工程陶瓷磨削表面残余应力进行测定^[5]。采用 $\sin^2\varphi$ 法对磨削试件进行测试,所选 φ (为入射线与试样表面法线的夹角)分别为 0° 、 15° 、 30° 、 45° ,具体的试件磨削加工和残余应力测试条件见表1和2。

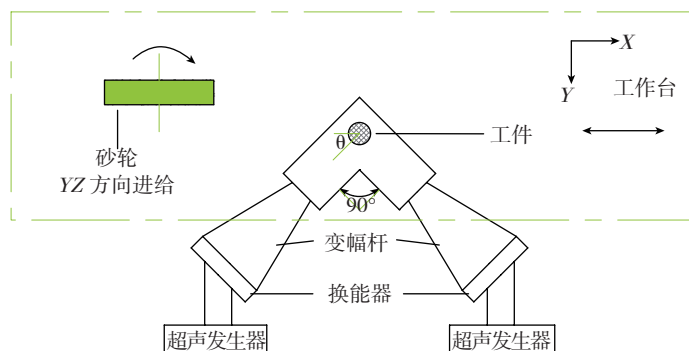


图1 二维超声振动磨削系统作用原理图

Fig.1 Principle diagram of ultrasound grinding system

表1 磨削试件试验条件

参数	试验条件
工件	纳米陶瓷,尺寸:20mm×20mm×5mm
机床	冈本 GTS-6016-AHD 精密平面磨床
砂轮修整	# 200SiC 油石与铸铁配合修形, # 400Al2O3 油石修锐
金刚石砂轮	金刚石砂轮,树脂结合剂,浓度 100%,规格:270×35
超声振动	超声波发生器频率 $f_1=24.8\text{KHz}$, $f_2=29.8\text{kHz}$; 振幅 $A_1=21.36\mu\text{m}$, $A_2=23.64\mu\text{m}$; 功率:40W、50W、65W、70W、80W
磨削参数	砂轮速度 V_s :26.6 m/s, 轴向进给 V_f :2mm/行程, 工作台速度 V_w :0.26m/s, 磨削深度 a_p :1, 2, 5, 8, 10, 12, 15 (μm), 砂轮粒度 270 #

表2 X射线衍射仪的测试条件

参数	测试条件
设备类型	右广角
测量轴	连动
计数方式	COUNTS
靶元素类型	Cu
靶波长	1.54060 Å
管电压	40kV
管电流	100mA
扫描角度范围	134.5° ~138.3°
扫描步长	0.02°

2 试验结果与分析

2.1 磨削方式对表面残余应力的影响

如图2是普通磨削与超声振动磨削两种磨削方式在不同磨削深度下的工程陶瓷表面残余应力变化规律及不同磨粒下残余应力的变化趋势,通过比较可知,两种磨削方式下工程陶瓷磨削表面产生的残余应力皆表现为压应力,且都随着磨削深度的增大而减小,但相同磨削参数下超声振动磨削表面残余应力要远大于普通磨削,且普通磨削随着磨削深度变大,其表面残余应力减小趋势较快,而超声振动磨削下降趋势相对缓慢。另外,随着磨粒的增大,两种磨削方式磨削表面残余应力都呈上升趋势,但普通磨削表面残余应力上升的趋势较超声振动磨削快,相同磨削参数下,超声磨削时切向和轴向两个方向上的残余应力差距较小,而普通磨削时两个方向上的残余应力差距较明显。由此可见,不同磨削方式对工程陶瓷加工表面残余应力有着不同的影响。

2.2 磨削深度对表面残余应力的影响

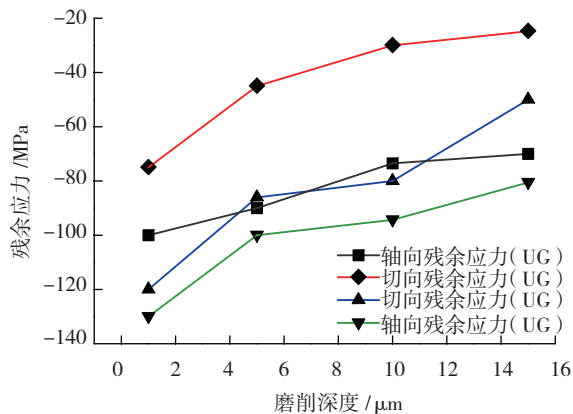


图2 工程陶瓷普通磨削表面残余应力 ($V_s=26.6\text{m/s}$, 磨粒: 270#, $V_w=0.25\text{m/s}$)

Fig.2 Surface residual stress of ceramic under different grinding depth

根据图2可知,随着磨削深度的增加,两种磨削方式下的工程陶瓷磨削表面残余应力值减小,超声振动辅

助磨削表面残余应力变化趋势较缓。分析其主要原因有以下几点:

(1)陶瓷材料磨削表面残余应力是材料相变、热态塑性变形及机械应力引起冷态塑性变形等综合作用产生的。

(2)超声振动辅助磨削由于其独特的材料去除机理,可有效降低磨削区的磨削温度,减小磨削热引起的表面残余拉应力。

(3)超声辅助振动条件下陶瓷材料能在较大的切深内使用塑性去除,而普通条件下在较小的切深内才能实现塑性去除。超声振动辅助磨削去除材料的特殊机理使其在较大切深内仍然能以塑性方式去除材料,表面有较少裂纹,所以相同磨削参数下其表面残余应力要大于普通条件,并且随着磨削深度的增加,表面残余应力的下降速度比普通条件下缓慢。

2.3 砂轮粒度对表面残余应力的影响

砂轮粒度是影响陶瓷磨削表面残余应力大小的重要因素。图3给出了不同砂轮粒度下两种磨削方式在相同的磨削参数下的陶瓷磨削表面残余应力的变化情况。从图3可知,磨削表面的残余应力随粒度的增大而增大。这是由于随着磨粒粒度的增大,作用于工件表面单位面积内的磨料数量就会减少,在相同的加工参数下,单颗磨粒对材料的作用力相应增大,塑性变形增大,这样会在磨削表面产生较大的残余应力的增大;另一方面,随着磨粒粒度的增大,磨粒之间的间隙增大,有利于磨削热向外界的传播,改善磨削散热条件,这样由磨削热产生的拉应力减小,因此在机械应力与热应力的综合作用下,较大粒度的砂轮磨削表面产生较大的残余压应力。此外,相同粒度下的超声振动辅助磨削表面残余压应力要大于普通磨削表面的残余压应力,这说明超声的

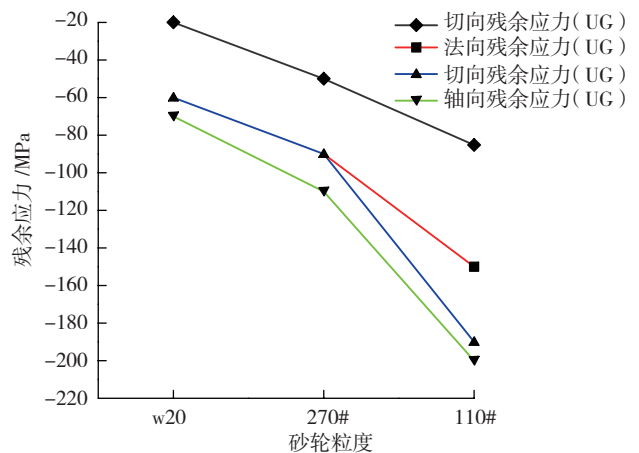


图3 工程陶瓷磨削表面残余应力 ($V_s=26.6\text{m/s}$; $a_p=5\mu\text{m}$; $V_w=0.25\text{m/s}$)

Fig.3 Surface residual stress trend of ceramic under different abrasive size

(下转第87页)

表1 钛-复合材料复合结构制孔试验结果

试验次数	试验件组合情况	试验结果	实物照片	备注
1	Ti(t10)+CFRP(t8)	钛合金钻屑 1/4 指甲壳大小,目测初孔复材入口有轻微劈裂,单次工序加工时间 35~40s		加工由复合材料进入钛合金,钻套不匹配,未进行终铰,钻套返厂修理后进行下次试验
2	Ti(t10)+CFRP(t8)	钛合金钻屑 1/4 指甲壳大小,目测初孔复材入口有轻微劈裂,铰孔后劈裂消失,φ 10H9 和 φ 12H9 塞规检测合格,单次工序加工时间 35~40s		加工由复合材料进入钛合金
3	Ti(t10)+CFRP(t8) (中间加无纺布后压紧)	钛合金钻屑 1/4 指甲壳大小,目测初孔复材入口有轻微劈裂、出口光滑、铰孔后劈裂消失,φ 10H9 和 φ 12H9 塞规检测合格,单次工序加工时间 35~40s		加工由复合材料进入钛合金
4	Ti(t10)+CFRP(t8)	钛合金钻屑 1/4 指甲壳大小,增加铝板后目测初孔复材入口和出口均未劈裂,φ 10H8 和 φ 12H8 塞规检测合格,单次工序加工时间 35~40s		加工由钛合金进入复合材料,首次完成扩孔(扩至 φ 9.6 和 φ 11.6)工序后复材分层严重,第二次在复材出口一侧增加铝板
5	Ti(t13)+CFRP(t8)+CFRP(t8)	钛合金钻屑 1/4 指甲壳大小,目测第一层复材出口和第二层复材入口有劈裂,钛出口有轴向细微凸起毛刺,单次工序加工时间 35~40s		加工由复合材料进入钛合金,只进行了直径 φ 10 孔的加工,复材试片有小颗粒胶状突出物
6	Ti(t10)+Ti(t10)+CFRP(t8)	钛合金钻屑 1/4 指甲壳大小,目测复材未劈裂,钛出口有轴向细微凸起毛刺,φ 12H8 塞规检测合格,单次工序加工时间 35~40s		加工由复合材料进入钛合金,只进行了直径 φ 12 孔的加工
7	Ti(t10)	钛合金钻屑 1/4 指甲壳大小,入口和出口均有轴向细微凸起毛刺,φ 10H8 塞规检测合格		只进行了直径 φ 10 孔的加工

备注:制孔试验完成后,所有复合材料试片均进行无损检测,结果显示复合材料无分层现象。

际生产中存在数量巨大的钛-复合材料复合结构大直径制孔,若频繁补液,效率过低。

参考文献

[1] 于晓江,曹增强,蒋宏宇,等.碳纤维增强复合材料结构钻削工艺.航空制造技术,2010(15):66-70.

[2] 中国航空研究所.复合材料结构设计手册.北京:航空工业出版社,2001.

(责编 深蓝)

(上接第 84 页)

引入能够增加磨削表面的残余压应力,能够起到强化加工表面的作用。

3 结束语

通过对纳米陶瓷残余应力的试验分析,得出以下结论:

(1) 研究表明,磨削热会使工件表面产生残余拉应力,陶瓷在磨削过程中发生的表层塑性变形将会使工件表面产生残余压应力。(2) 两种磨削方式下表面残余

应力皆为压应力,且随着磨削深度的增加,两种磨削方式下表面残余应力均呈现减小趋势,但超声磨削残余应力的减小趋势较普通缓慢。相同磨削参数下超声振动磨削表面残余应力大于普通磨削。其他参数不变,随着磨粒的增大两种方式表面残余应力都呈上升趋势。(3) 增大磨粒将会改善磨削过程中的散热性能,从而减小磨削热引起的拉应力,从而使表面压应力增加,超声振动磨削表面残余压应力大于普通磨削。

参考文献

- [1] 李伯民,赵波.现代磨削技术.北京:机械工业出版社,2003.
- [2] 柯宏发,张耀辉,赵燕.陶瓷半延展性磨削试验研究.金刚石与磨料磨具工程,1998,1(103):25-28.
- [3] Swain M V.陶瓷的结构与性能.郭景坤译.北京:科学出版社,1998.
- [4] 王宏志,高濂,陈红光,等. Al₂O₃ 基复合材料中纳米 SiC 对微观结构的影响.无机材料学报,1998,13(4):603-607
- [5] David J.Green.陶瓷材料力学性能导论.龚江宏译.北京:清华大学出版社,2003.

(责编 小城)