

# 分层式颗粒阻尼镗刀减振试验研究

张恒明

陕西国防工业职业技术学院

**摘要:** 构建了内置多段分层式颗粒阻尼器,改进了颗粒阻尼镗刀结构。在试验条件恒定的情况下,通过锤击试验对比分层式与整体式颗粒阻尼镗刀的阻尼效应,并利用切削试验比较相应加工工件的表面粗糙度。结果表明:在试验范围内,随着颗粒阻尼器层数的增大,镗刀的减振性先增强后减弱;三层式颗粒阻尼镗刀的抑振性最佳,其阻尼比达到了 5.28%,较整体式提高了 20.83%,且加工工件表面粗糙度  $R_a$  值为  $1.392\mu\text{m}$ ,较整体式减小 22.97%。

**关键词:** 颗粒阻尼;镗刀;阻尼比;表面粗糙度

**中图分类号:** TG713;TH161.6

**文献标志码:** A

**DOI:**10.3969/j.issn.1000-7008.2019.11.006

## Experimental Research on Vibration Resistance of Layered Particle Damping Boring Tool

Zhang Hengming

**Abstract:** A multi-stage layered particle damper is built, and the structure of the particle damper boring tool is improved. Under constant experimental conditions, the damping effects of the layered and integral particle damper boring tools are compared by hammering experiment, and the surface roughness of the machined workpieces are compared by boring experiment. The results show that with the increase of the layer number of particle dampers, the vibration damping effect of the boring tool first increases and then weakens. The three-layer particle damper boring tool has the best vibration resistance, with its damping ratio reaching 5.28%, 20.83% higher than that of the integral type, and with the surface roughness  $R_a$  of the machined workpiece being  $1.392\mu\text{m}$ , 22.97% lower than that of the integral type.

**Keywords:** particle damping; boring tool; damping ratio; surface roughness

## 1 引言

在切削加工中,刀具颤振严重影响工件表面质量,并制约生产效率的提高、缩短刀具与机床寿命。在镗削加工中,因镗刀长径比大,刀具颤振更明显。采用减小切削用量的方法来削弱刀具颤振的方法会明显降低生产效率。本文在不改变切削要素的情况下,通过构建相契合的阻尼器来改进镗刀结构,提高刀具抑振性能。利用非阻塞性颗粒阻尼(Non-obstructive Particle Damping, NOPD)减振效果好、减振频带宽和可靠性高等特性<sup>[1,2]</sup>,基于前期研究成果,研制分层式颗粒阻尼镗刀。通过锤击试验检验镗刀的阻尼特性,并用切削试验测试镗刀的抑振性。

在颗粒阻尼技术研究方面,Trigui M. 等<sup>[3]</sup>研究了周期激励下颗粒冲击阻尼器的特性,建立了非线性阻尼的力学模型,并通过数值模拟法验证了模型的正确性;Veeramuthuvel P. 等<sup>[4]</sup>利用径向基函数神经网络研究颗粒阻尼的阻尼特性,对颗粒阻尼器进行了大量的激振试验,并将试验数据用于神经网络

的训练和测试,证明了颗粒阻尼器在随机振动环境下抑振的有效性;黄波等<sup>[5]</sup>将颗粒阻尼技术应用于压缩机泵体,实现了良好的减振效果,得出了颗粒填充参数对泵体减振性能的影响规律;杜妍辰等<sup>[6]</sup>对带弹性支撑的颗粒碰撞阻尼进行研究,建立了阻尼系统的动力学模型,通过 MATLAB 软件仿真优化求得最优结构参数;胡溧等<sup>[7]</sup>以悬臂梁为研究对象,设计了带颗粒阻尼的双层隔振系统,并通过大量试验验证了该隔振系统具有良好的减振性能;夏兆旺等<sup>[8]</sup>基于颗粒阻尼减振性能好和耐腐蚀的特点,结合半主动磁场控制,设计了用于海洋平台桁架结构的阻尼器,减振效果提升明显。

## 2 颗粒阻尼镗刀锤击试验

### 2.1 试验装置

颗粒阻尼镗刀的镗杆材料为 9SiCr,在镗杆前端加工出合适尺寸的空腔(见图 1)。图 2 为填充于镗杆空腔内的中空圆柱体颗粒阻尼器。其材料为 20 钢,外径 17.5mm,壁厚 0.7mm。颗粒材料选用 200 目的 YG8 硬质合金粉(见图 3)。采用 INV3020D 数

据采集分析仪。

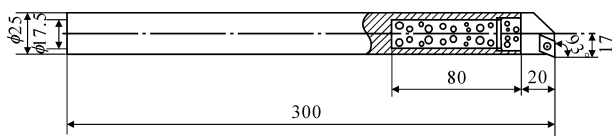


图1 颗粒阻尼镗刀结构

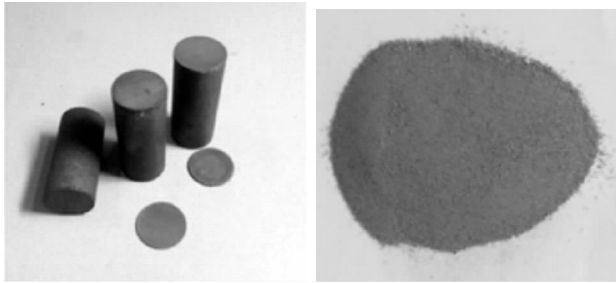
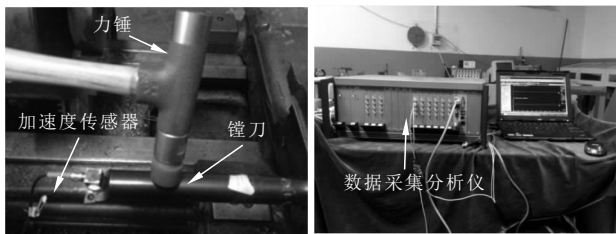


图2 颗粒阻尼器

图3 硬质合金粉

试验装置见图4。镗刀刀头处安装加速度传感器,通过数据采集分析仪采集锤击刀杆后自由衰减的加速度信号,并经电脑端的DASP分析软件导出相应信号数据。



(a) 锤击架构

(b) 采集系统

图4 锤击试验装置

### 2.2 试验方案

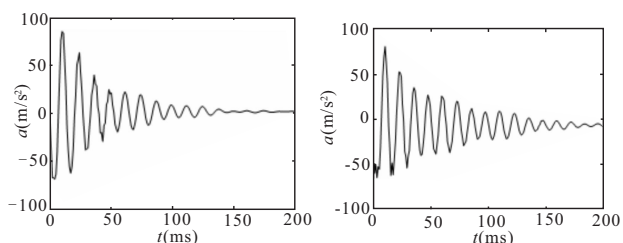
锤击试验所用镗刀的悬伸长径比为8,并设置整体式、双层式、三层式、四层式4种颗粒阻尼器结构方案进行对比(见表1)。根据前期研究成果<sup>[9]</sup>,试验采用70%的最优填充率,保证每个颗粒阻尼器的填充率均为70%,以确保试验的准确性。

表1 颗粒阻尼器结构方案 (mm)

结构方案	整体式	双层式	三层式	四层式
单个阻尼器长度	80	40	26.67	20

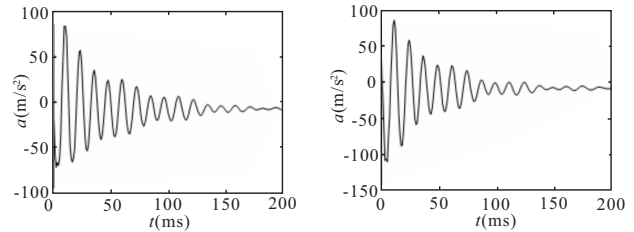
### 2.3 试验结果与分析

图5为不同结构方案下锤击后颗粒阻尼镗刀的加速度时间历程。



(a) 整体式

(b) 双层式



(c) 三层式

(d) 四层式

图5 镗刀的加速度时间历程

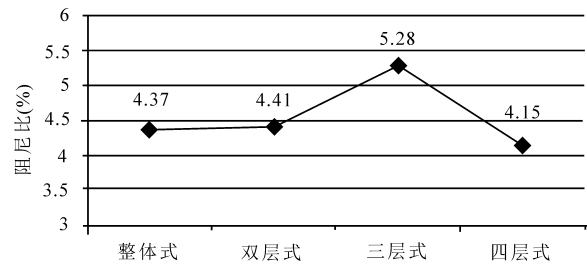


图6 不同结构方案的镗刀阻尼比

通过时域信号衰减法<sup>[10]</sup>求得镗刀的阻尼比,见图6。由图可知:①随着颗粒阻尼器层数的增加,镗刀阻尼比先增大后减小,且四层式颗粒阻尼镗刀的阻尼比相对整体式低5%;②双层式颗粒阻尼镗刀阻尼比相对整体式提升较小。原因是在镗杆空腔中构造的两个颗粒阻尼器虽能在一定程度上减少颗粒的堆积,使颗粒之间、颗粒与器壁之间的碰撞与摩擦更加充分,但由于其层数较少,阻尼效果提升有限;③三层式颗粒阻尼镗刀具有最大的阻尼比,说明该种状态下颗粒阻尼器中的颗粒之间以及颗粒与器壁之间的碰撞与摩擦最为充分。内置3个颗粒阻尼器时,不仅很好地规避了颗粒间的堆积,使系统振动能量耗散更充分,而且加大了颗粒与器壁间的接触面积,进一步增强了振动能量的消耗;④四层式颗粒阻尼镗刀的阻尼比低于整体式。原因是当镗杆空腔中构建4个颗粒阻尼器时,虽然进一步增大了颗粒之间、颗粒与器壁之间的接触面积,减少了颗粒堆积现象,但是单个阻尼器中的颗粒数明显减少,使颗粒的碰撞与摩擦耗能降低,从而削弱了阻尼系统对振动能量的消耗,最终导致镗刀阻尼比减小。

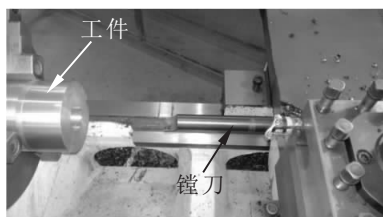
由上可知,三层式颗粒阻尼镗刀的阻尼比最大(可达5.28%),相比于整体式提高了20.83%,体现出最强的颤振抑制性能。

## 3 颗粒阻尼镗刀切削试验

### 3.1 试验装置与方案

在CW6163机床上进行试验(见图7)。装夹镗刀时保证其悬伸长径比为8,镗削材料为预加工

$\phi 45$ mm 孔的 45 钢棒料。切削用量: 主轴转速为 230r/min, 进给量为 0.2mm/r, 背吃刀量为 0.3mm。粗糙度测量仪型号为 SJ-310。试验方案与锤击试验相同, 试验中利用粗糙度测量仪测量 4 种方案的工件表面粗糙度。



(a) 镗削架构

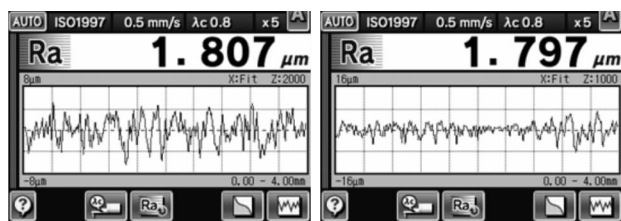


(b) 粗糙度测量仪

图 7 切削试验装置

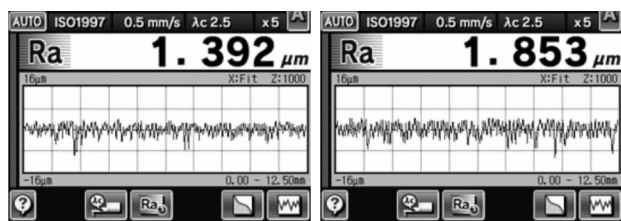
### 3.2 试验结果与分析

图 8 为采用不同方案镗削后的工件表面粗糙度  $R_a$  值。为便于分析, 将测量结果作折线对比(见图 9)。



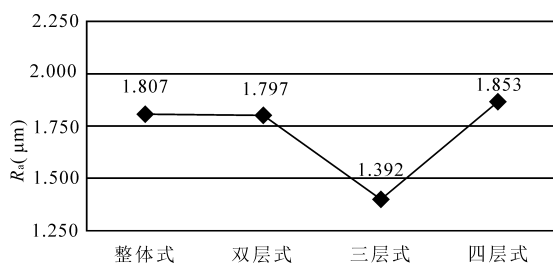
(a) 整体式

(b) 双层式



(c) 三层式

(d) 四层式

图 8 工件表面粗糙度  $R_a$  值图 9 表面粗糙度  $R_a$  值对比

由图 8 和图 9 可知: 随着颗粒阻尼器层数的增加, 加工工件表面粗糙度  $R_a$  值先减小后增大。当颗粒阻尼器层数为 4 时,  $R_a$  值大于整体式, 呈现与锤击试验相吻合的规律。一方面, 随着颗粒阻尼器层数的增加, 使颗粒之间以及颗粒与器壁之间的接触面积增大, 颗粒间的堆积状况减少, 使颗粒之间、颗粒与器壁间的碰撞与摩擦增大, 提高了阻尼系统的耗能量, 颗粒阻尼镗刀的抑振性得到加强。另一方面, 单个阻尼器中的颗粒数减少使其耗能减少, 导致阻尼系统的耗能减少, 削弱了颗粒阻尼镗刀的抑振性。两种因素的共同作用最终导致加工工件表面粗糙度  $R_a$  值先减小后增大; 对于 4 种颗粒阻尼器结构方案, 三层式颗粒阻尼镗刀具有最好的抑振性, 其对应工件的表面粗糙度  $R_a$  值为  $1.392\mu\text{m}$ , 比整体式减小约 22.97%。

## 4 结语

(1) 锤击试验和切削试验共同证明了分层式颗粒阻尼镗刀的可行性与良好的抑振性。阻尼比最高为 5.28%, 比整体式提高 20.83%; 镗削后的工件表面粗糙度  $R_a$  值最低为  $1.392\mu\text{m}$ , 比整体式减小 22.97%。

(2) 在填充颗粒参数与切削条件一定的试验条件下, 随着颗粒阻尼器层数的增大, 镗刀的阻尼比先增大后减小, 加工工件表面粗糙度  $R_a$  值先减小后增大, 且三层式颗粒阻尼镗刀具有最优的抑振性。

(3) 内置颗粒阻尼器的层数、结构、材质等因素对颗粒阻尼镗刀抑振性的影响有待进一步深入研究。

## 参考文献

- [1] 鲁正, 吕西林. 缓冲型颗粒阻尼器减振控制的试验研究[J]. 土木工程学报, 2013, 46(5): 93-98.
- [2] 姚冰, 陈前, 项红荧, 等. 颗粒阻尼吸振器试验研究[J]. 振动工程学报, 2014, 27(2): 201-207.
- [3] Trigui M, Foltete E, Bouhaddi N. Prediction of the dynamic response of a plate treated by particle impact damper[J]. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, 2014, 228(5): 799-814.
- [4] Veeramuthuvel P, Sairajan K K, Shankar K. Vibration suppression of printed circuit boards using an external particle damper[J]. Journal of Sound and Vibration, 2016, 366: 98-116.
- [5] 黄波, 陆寅啸. NOPD 技术在转子压缩机减振中的应用研究[J]. 噪声与振动控制, 2017, 37(6): 216-219.

# 切削参数对高强铝合金干切削加工表面形貌的影响

王立新<sup>1</sup>,张程焱<sup>1</sup>,俎晓莉<sup>2</sup>,张自军<sup>2</sup>

<sup>1</sup>安阳工学院;<sup>2</sup>安阳鑫盛机床股份有限公司

**摘要:**为在**高强铝合金干切削加工工艺制定时提供参考**,设计了正交试验,并选用YBG102纳米涂层细颗粒合金刀具干式切削**高强度铝合金7075-T6**,分析了不同切削参数条件对已加工表面形貌的影响规律。结果表明:进给量是影响表面粗糙度的主要因素,其次是切削深度,最后是切削速度;在保障切削效率条件下,获得较好表面粗糙度的最佳工艺参数组合为较高切削速度、中等切削深度、较小进给量;三维表面轮廓高度较难通过切削三要素调控,但表面峰值占最大高度百分比受进给量和切削深度的影响较为明显。

**关键词:**高强铝合金;切削参数;表面形貌;正交试验

中图分类号: TG166.3;TH161+.14 文献标志码: A DOI:10.3969/j.issn.1000-7008.2019.11.007

## Effects of Cutting Parameters on Machined Surface Morphology of High Strength Aluminium Alloy under Dry Cutting

Wang Lixin, Zhang Chengyan, Zu Xiaoli, Zhang Zijun

**Abstract:** In order to provide reference for dry cutting process of aeronautical aluminum alloy, orthogonal test is designed, YBG102 nano-coated fine grain alloy cutting tool is selected to dry-cut high-strength aluminum alloy 7075-T6, The influence of different cutting parameters on the morphology of machined surface is studied. The results show that the feed is the main factor that affects the surface roughness, the second is the amount of back-feeding tool, then the cutting speed. Under the condition of ensuring the cutting efficiency, the best matching state of the better surface roughness is that the higher rotation speed, the suitable medium depth and the smaller feed. The height of 3D surface profile is difficult to be controlled by cutting parameters, but the percentage of peak value of surface to the maximum height is influenced by feed and back-feed.

**Keywords:** high strength aluminium alloy; cutting parameters; surface morphology; orthogonal test

## 1 引言

7075 铝合金密度小、强度高和普通抗腐蚀性能强等优点,广泛应用于航空航天、模具、机械设备和工装夹具等领域,尤其是制造飞机结构及其他强度高、抗腐蚀性能强的高应力结构体<sup>[1]</sup>。铝合金加工表面形貌特征对复杂交变载荷疲劳裂纹产生、

扩展以及腐蚀性能有决定性影响,是反映零件使役性能的重要指标之一<sup>[2]</sup>。一直以来,表面处理工艺是保障良好表面形貌特征的重要手段,但直接针对切削过程进行研究和调控已加工表面形貌特征是最简单经济的策略<sup>[3-6]</sup>。

随着可持续发展战略的要求和日趋严格的环境与资源约束,工业生产领域提出了绿色制造和清洁生产的概念。由于干式切削技术<sup>[7]</sup>在切削过程中完全不使用切削液,极大地减少对环境的污染,并逐渐成为应用最为广泛的绿色切削技术之一。与此同

**基金项目:**河南省重大科技专项资助项目(171100210300);安阳市科技攻关项目资助;安阳工学院博士启动基金资助项目(BSJ2018003)

**收稿日期:**2019年4月

- [6]杜妍辰,张虹.带弹性支撑的颗粒碰撞阻尼的减振机理研究[J].振动与冲击,2017,36(13):67-73.
- [7]胡漂,王京,杨啓梁.带颗粒阻尼双层隔振系统减振性能实验研究[J].机械设计与制造,2017(6):86-89.
- [8]夏兆旺,茅凯杰,王雪涛,等.海洋平台桁架结构半主动颗粒阻尼减振技术研究[J].振动与冲击,2018,37(4):93-98.
- [9]张恒明,庞学慧,杨立煜,等.颗粒阻尼铣刀主要填充参数对切削性能影响的正交试验分析[J].工具技术,

2017,51(2):30-33.

- [10]朱垂岱,庞学慧,张余生,等.颗粒阻尼镗刀杆减振分析与试验研究[J].制造技术与机床,2014,10(3):188-122.

作者:张恒明,助教,陕西国防工业职业技术学院数控工程学院,710300 西安市

Author: Zhang Hengming, Assistant, Numerical Control Engineering Department, Shaanxi Institute of Technology, Xi'an 710300, China