



# (12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 110103500 B

(45) 授权公告日 2021.05.14

(21) 申请号 201910351301.1

(22) 申请日 2019.04.28

(65) 同一申请的已公布的文献号  
申请公布号 CN 110103500 A

(43) 申请公布日 2019.08.09

(73) 专利权人 南京理工大学  
地址 210094 江苏省南京市孝陵卫200号

(72) 发明人 殷增斌 洪东波 叶佳冬 朱智勇

(74) 专利代理机构 南京理工大学专利中心  
32203

代理人 邹伟红

(56) 对比文件

CN 106975670 A, 2017.07.25

CN 103071612 A, 2013.05.01

CN 1798623 A, 2006.07.05

CN 1830604 A, 2006.09.13

CN 105643975 A, 2016.06.08

CN 103732386 A, 2014.04.16

CN 1597206 A, 2005.03.23

CN 207447447 U, 2018.06.05

CN 106955998 A, 2017.07.18

CN 206415597 U, 2017.08.18

审查员 涂兵伟

(51) Int. Cl.

B30B 11/02 (2006.01)

B30B 12/00 (2006.01)

B30B 15/00 (2006.01)

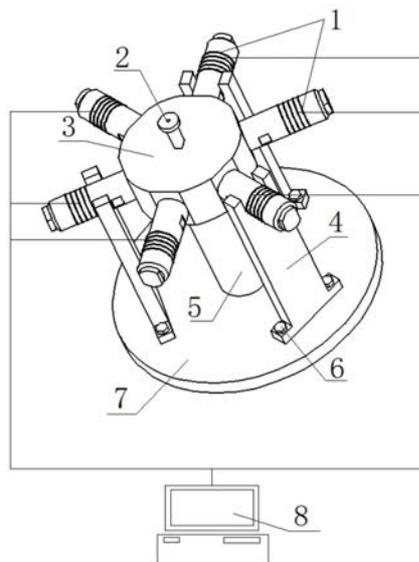
权利要求书2页 说明书6页 附图4页

(54) 发明名称

一种超声辅助可转位立铣刀刀片单向压制装置

(57) 摘要

本发明属于超声辅助成型领域,特别是一种超声辅助可转位立铣刀刀片单向压制装置。单向压制模具包括超声波换能器、上压头、模具、换能器固定架、模具支撑块、底座连接螺栓、底座、芯柱、铣刀刀片素坯、下压头;模具支撑块平放于底座中心上,模具放置在模具支撑块上方,模具外侧连接有超声波换能器,模具为一体结构,内部设有上下贯通的模具孔,模具孔下部设有下压头,模具孔上部设置上压头,上压头和下压头合模之后的型腔与铣刀刀片素坯形状相匹配,在压制过程中,模具支撑块承受压制过程中的压力。本申请提供的压制装置,采用超声辅助进行压制,超声振动可以促进刀具素坯分摊的运动重排,减小压制成型力,利于素坯的压制成型,提高素坯的密度。



1. 一种超声辅助可转位立铣刀刀片单向压制装置,其特征在于,包括单向压制模具和为压制提供超声辅助的超声波发生器(8);所述单向压制模具包括超声波换能器(1)、上压头(2)、模具(3)、换能器固定架(4)、模具支撑块(5)、底座连接螺栓(6)、底座(7)、芯柱(9)、铣刀刀片素坯(10)、下压头(11);所述模具支撑块(5)平放于底座(7)中心上,模具(3)放置在模具支撑块(5)上方,模具(3)外侧连接有超声波换能器(1),模具(3)为一体结构,内部设有上下贯通的模具孔,模具孔下部设有下压头(11),模具孔上部设置上压头(2),所述上压头(2)的形状与刀具素坯顶面的刃型一致,下压头(11)上设置型腔,下压头型腔的轮廓与刀具素坯前刀面与后刀面的轮廓一致上压头(2)和下压头(11)合模之后的型腔与铣刀刀片素坯(10)形状相匹配,上压头(2)、下压头(11)和铣刀刀片素坯(10)中间设有通孔,芯柱(9)贯穿于通孔中,在压制过程中,下压头(11)与芯柱(9)与模具支撑块(5)相接触,模具支撑块(5)承受压制过程中的压力;

所述的装置压制可转位立铣刀刀片素坯的过程,其特征在于,包括如下步骤:

步骤1:安装换能器固定架(4):将三个换能器固定架(4)通过底座连接螺栓(6)与底座(7)连接;

步骤2:安装超声波换能器(1):将六个超声波换能器(1)与模具(3)的螺纹孔连接,相邻超声波换能器夹角为60度,将超声波换能器(1)的输入端与超声波发生器(8)的输出端相连,通过超声波发生器(8)控制超声波换能器(1)的振动功率;

步骤3:安置模具(3):将模具支撑块(5)放置于底座(7)的中心位置,将安装有超声波换能器(1)的模具(3)放置于模具支撑块(5)上,同时将三个不相邻的超声波换能器(1)置于换能器固定架(4)的开口上限制水平位移;

步骤4:填粉:将芯柱(9)置于下压头(11)中心的孔中,将芯柱(9)和下压头(11)一起放入模具(3)的模具孔,置于模具孔的底部并与模具支撑块(5)相接触,向模具孔中均匀倒入制备好的素坯的粉料,完成后将上压头(2)压入模具孔,上压头(2)中心的芯孔与芯柱(9)相接触;

步骤5:超声波辅助压制:在超声波发生器(8)中进行参数设置,确定超声波换能器(1)的频率与输出功率,由六个超声波换能器(1)发生超声振动,在上压头(2)上施加一定的压力进行粉末压制,保压一段时间;

步骤6:素坯脱模:移动模具支撑块(5)的位置,使模具支撑块(5)不再与下压头(11)与芯柱(9)接触,对上压头(2)施加10-20MPa的压力,使其向下移动,从而将立铣刀刀片素坯(10)推出模具(3),在模具(3)下方将铣刀刀片素坯(10)、下压头(11)和芯柱(9)拿出,完成脱模。

2. 根据权利要求1所述的装置,其特征在于,所述超声波换能器(1)与模具(3)的侧面连接,所述超声波换能器(1)为多个,多个超声波换能器(1)呈中心对称均布在模具(3)的侧面,超声波换能器(1)头部设有螺纹,模具(3)侧面设有螺纹孔,超声波换能器(1)和模具(3)螺纹连接;

不相邻的超声波换能器(1)下设置有换能器固定架(4),所述换能器固定架(4)上部设有开口,超声波换能器(1)放置于开口内,超能器固定架(4)通过螺栓固定在底座(7)上;

所述超声波换能器的数量为6个,六个超声波换能器(1)呈中心对称分布在模具(3)的侧面,相邻的超声波换能器(1)的夹角为60度,三个不相邻超声波换能器(1)放置于换能器

固定架(4)的开口上,用于固定模具水平方向的位移;

所述模具(3)的半径为100-150mm,在六个呈中心对称方向上的模具(3)侧面设有6个平面,平面宽度为20-40mm,平面中心位置有螺纹孔,用于与超声波换能器(1)连接;

所述超声波换能器(1)的频率为40kHz,功率为500W;

所述超声波换能器(1)包括依次设置的换能器后盖板螺栓(12),后盖板(13),电极片(14),压电陶瓷(15),绝缘管(16),前盖板(17)和换能器前端连接螺栓(18);换能器后盖板螺栓(12)与超声波发生器(8)的输出端连接,换能器前端连接螺栓(18)与模具(3)连接。

## 一种超声辅助可转位立铣刀刀片单向压制装置

### 技术领域

[0001] 本发明属于超声辅助成型领域,特别是一种超声辅助可转位立铣刀刀片单向压制装置。

### 背景技术

[0002] 单向压制成型技术是一种最简单、最直观的成型方法。将制备好的料粉倒入一定形状的模具内,借助于外加压力在模塞上,便可将粉料压制成型。由于其成本小,维修方便,设备、工艺和模具简单,单向压制成型技术在传统的刀片生产中得到了广泛应用。由于单向压制成型过程中模具的摩擦对粉体变形和致密化的限制,成型件中的应力场几乎总是不均匀的。

[0003] 超声辅助压制技术是一种在材料的压制过程中在模具外周施加单向或多向的复杂超声外场,使得模具内的压坯受到单向或多向的高频振动,同时传递到粉体的超声能量可以促进粉体的运动重排,利于粉体的压制成型。研究证明:在粉体压制过程中施加一定的超声振动,不但可以有效提高压坯的密度和硬度,而且可降低粉体颗粒间以及粉体颗粒与模壁之间的摩擦,提高粉体压坯的均匀性。

[0004] 复杂刀具由于其复杂的结构与刃型,进一步加剧了素坯密度分布的不均匀性。这种密度分布的不均匀性会使刀片烧结过程中收缩率不一致,更可能导致刀片畸变和开裂,削弱刀片的性能。

[0005] 由于可转位立铣刀刀片形状复杂,在压制过程中粉末的流动性能较差,导致了立铣刀刀片素坯刀刃部分密度低,素坯整体密度分布不均匀。

### 发明内容

[0006] 本发明所解决的技术问题在于提供一种超声辅助可转位立铣刀刀片单向压制装置。

[0007] 实现本发明目的的技术解决方案为:

[0008] 一种超声辅助可转位立铣刀刀片单向压制装置,包括单向压制模具和为压制提供超声辅助的超声波发生器;

[0009] 所述单向压制模具包括超声波换能器、上压头、模具、换能器固定架、模具支撑块、底座连接螺栓、底座、芯柱、铣刀刀片素坯、下压头;

[0010] 所述模具支撑块平放于底座中心上,模具放置在模具支撑块上方,模具外侧连接有超声波换能器,模具为一体结构,内部设有上下贯通的模具孔,模具孔下部设有下压头,模具孔上部设置上压头,所述上压头的形状与刀具素坯顶面的刃型一致,下压头上设置型腔,下压头型腔的轮廓与刀具素坯前刀面与后刀面的轮廓一致,上压头和下压头合模之后的型腔与铣刀刀片素坯形状相匹配,上压头、下压头和铣刀刀片素坯中间设有通孔,芯柱贯穿于通孔中,在压制过程中,下压头与芯柱与模具支撑块相接触,模具支撑块承受压制过程中的压力。

[0011] 进一步的,所述超声波换能器与模具的侧面连接,所述超声波换能器为多个,多个超声波换能器呈中心对称均布在模具的侧面,超声波换能器头部设有螺纹,模具侧面设有螺纹孔,超声波换能器和模具螺纹连接。

[0012] 进一步的,不相邻的超声波换能器下设置有换能器固定架,所述超能器固定架上部设有开口,超声波换能器放置于开口内,超能器固定架通过螺栓固定在底座上。

[0013] 进一步的,所述超声波换能器的数量为6个,六个超声波换能器呈中心对称分布在模具的侧面,相邻的超声波换能器的夹角为60度,三个不相邻超声波换能器放置于换能器固定架的开口上,用于固定模具水平方向的位移。

[0014] 进一步的,所述模具的半径为100-150mm,在六个呈中心对称方向上的模具侧面设有6个平面,平面宽度为20-40mm,平面中心位置有螺纹孔,用于与超声波换能器连接。

[0015] 进一步的,所述超声波换能器的频率为40kHz,功率为500W。

[0016] 进一步的,所述超声波换能器包括依次设置的换能器后盖板螺栓,后盖板,电极片,压电陶瓷,绝缘管,前盖板和换能器前端连接螺栓;

[0017] 换能器后盖板螺栓与超声波发生器的输出端连接,换能器前端连接螺栓与模具连接。

[0018] 一种利用上述的装置压制可转位立铣刀刀片素坯的过程,包括如下步骤:

[0019] 步骤1:安装换能器固定架:将三个换能器固定架通过底座连接螺栓与底座连接;

[0020] 步骤2:安装超声波换能器:将六个超声波换能器与模具的螺纹孔连接,相邻超声波换能器夹角为60度,将超声波换能器的输入端与超声波发生器的输出端相连,通过超声波发生器控制超声波换能器的振动功率;

[0021] 步骤3:安置模具:将模具支撑块放置于底座的中心位置,将安装有超声波换能器的模具放置于模具支撑块上,同时将三个不相邻的超声波换能器置于换能器固定架的开口上限制水平位移;

[0022] 步骤4:填粉:将芯柱置于下压头中心的孔中,将芯柱和下压头一起放入模具的模具孔,置于模具孔的底部并与模具支撑块相接触,向模具孔中均匀倒入制备好的素坯的粉料,完成后将上压头压入模具孔,上压头中心的芯孔与芯柱相接触;

[0023] 步骤5:超声波辅助压制:在超声波发生器中进行参数设置,确定超声波换能器的频率与输出功率,由六个超声波换能器发生超声振动,在上压头上施加一定的压力进行粉末压制,保压一段时间;

[0024] 步骤6:素坯脱模:移动模具支撑块的位置,使模具支撑块不再与下压头与芯柱接触,对上压头施加10-20MPa的压力,使其向下移动,从而将立铣刀刀片素坯推出模具,在模具下方将铣刀刀片素坯、下压头和芯柱拿出,完成脱模。

[0025] 本发明与现有技术相比,其显著优点如下:

[0026] (1) 本申请提供的压制装置,采用超声辅助进行压制,超声振动可以促进刀具素坯分摊的运动重排,减小压制成型力,利于素坯的压制成型,提高素坯的密度;超声振动可以降低刀具素坯与压头和模壁之间的摩擦,提高素坯密度的均匀性,从而刀具的性能和强度;

[0027] (2) 本申请提供的压制装置,通过间隔设置有多个换能器固定架,换能器固定架开口与超声波换能器外周相接触,从而限制了超声波换能器的水平位移,防止振动过程中的移动,相邻布置的换能器固定架使得装置下方空间更大,脱膜时模具更容易取出;

[0028] (3) 本申请提供的压制装置,采用六个超声波换能器,六个超声波换能器均匀对模具施加激励,使得模具内超声波场更加均匀,刀具素坯的受力也更加均匀;

[0029] (4) 本申请提供的压制装置,通过计算机仿真超声波振动对模具的影响,优化了模具的结构,使得模具中心超声波场最强,提高了超声波振动的效率;

[0030] (5) 本申请提供的压制装置,在模具和底座之间活动设置模具支撑架,脱模中只需移动模具支撑架,模具脱模方向与压膜方向一致,脱模方便;

[0031] (6) 本申请提供的压制装置,模具设计简单,成本低,维修维护方便。

[0032] 下面结合附图对本发明作进一步详细描述。

## 附图说明

[0033] 图1是本发明压制装置三维结构示意图。

[0034] 图2是本发明压制装置主视图。

[0035] 图3是本发明压制装置俯视图。

[0036] 图4是本发明上压头三维结构示意图。

[0037] 图5是本发明成型刀片素坯三维结构示意图。

[0038] 图6是本发明下压头三维结构示意图。

[0039] 图7是本发明超声振动原理简化图。

[0040] 图8是本发明超声波换能器结构示意图。

[0041] 附图标记说明:

[0042] 1-超声波换能器,2-上压头,3-模具,4-换能器固定架,5-模具支撑块,6-底座连接螺栓,7-底座,8-超声波发生器,9-芯柱,10-铣刀刀片素坯,11-下压头,12-换能器后盖板螺栓,13-后盖板,14-电极片,15-压电陶瓷,16-绝缘管,17-前盖板,18-换能器前端连接螺栓。

## 具体实施方式

[0043] 如图1-8所示,一种超声辅助可转位铣刀刀片单向压制装置,包括超声辅助单向压制模具,超声波发生器8;所述超声辅助单向压制模具包括超声波换能器1、上压头2、模具3、换能器固定架4、模具支撑块5、底座联接螺栓6、底座7、芯柱9、铣刀刀片素坯10、下压头11。

[0044] 如图8所示,超声波换能器1头部带有螺纹,通过螺纹联接与模具3紧固。六个超声波换能器1呈中心分布均布在模具3的六个角上,相邻的超声波换能器1的夹角为60度。其中,三个不相邻超声波换能器1放置于换能器固定架4的开口上,用于固定模具水平方向的位移。换能器固定架4通过底座联接螺栓6与底座7上的螺栓孔相紧固。模具支撑块5平放在底座7中心,模具3放置于模具支撑块5上。模具中心的孔的形状与上压头2和下压头11的杆的轮廓一致。模具压模部分,下压头11置于模具3中心的孔的底部,铣刀刀片素坯10位于下压头11上方,上压头2位于铣刀刀片素坯10上方,芯柱9位于上压头2,铣刀刀片素坯10和下压头11的中心部分。在压制过程中,下压头11与芯柱9与模具支撑块5相接触,以模具支撑块5承受压制过程中的压力。超声波换能器1的输入端与超声波发生器的输出端8相连。

[0045] 图4、图5和图6展示了上压头2、刀具素坯10和下压头11分别的三维结构图。其中,上压头2的形状与刀具素坯10顶面的刃型一致,用于压出刀具素坯顶面的形状。下压头11型腔的轮廓与刀具素坯前刀面与后刀面的轮廓一致,用于压出刀具素坯前刀面与后刀面的形

状。此外,中间有芯柱贯穿三者,用于刀具中心定位孔的成型。上压头2和下压头11与模具中心的孔相匹配。上压头2、素坯、下压头11和芯柱9共同置于模具中心的孔中。

[0046] 对于超声辅助可转位立铣刀刀片素坯压制成型过程,下面结合图1到图3作步骤说明:

[0047] 步骤1:安装换能器固定架4,将三个换能器固定架4通过底座联接螺栓6与底座7的螺栓孔相紧固,扭力扳手调节底部连接螺栓6的预紧力对结合面施加载荷。

[0048] 步骤2:安装超声波换能器1,将六个超声波换能器1与模具3的螺纹孔相联接,均匀分布在模具的六个方向上,相邻超声波换能器夹角为60度。将超声波换能器1的输入端与超声波发生器8的输出端相连,通过超声波发生器8控制超声波换能器1的振动功率。

[0049] 步骤3:安置模具3,将模具支撑块5放置于底座7的中心位置,将安装好超声波换能器的模具3放置于模具支撑块5上,同时将三个不相邻的超声波换能器置1于换能器固定架4的开口上固定水平位移。

[0050] 步骤4:填粉,将芯柱9置于下压头11中心的芯柱孔中,再一起放入模具3的模具孔,置于模具3孔的底部并与模具支撑块5相接触。向模具3孔中均匀倒入制备好的素坯的粉料,完成后将上压头2压入模具孔,上压头2中心的芯孔与芯柱9相接触,

[0051] 步骤5:超声波辅助压制,在超声波发生器8中进行参数设置,确定超声波换能器1的频率与输出功率,由六个超声波换能器1发生超声振动。再上压头2上施加一定的压力进行粉末压制,并保压一段时间。

[0052] 步骤6:素坯脱模,移动模具支撑块5的位置,使其不在于下压头11与芯柱9接触。对上压头2施加微小的压力,优选10-20MPa,使其向下移动,从而将立铣刀刀片素坯10推出模具3,在模具3下方将铣刀刀片素坯10、下压头11和芯柱9拿出,再手动将其取出,完成脱模。

[0053] 步骤7:通过ANSYS谐响应分析对超声振动过程中刀具素坯的受力进行分析。对上压头的上表面,下压头和模具的下表面施加位移约束。对超声波换能器的外周施加径向位移约束。以超声波换能器为激励源对模具施加周期性的载荷,分析刀具素坯的受力。

[0054] 超声振动的原理简化如图7所示。利用超声换能器的螺丝将超声换能器的输出端与模具的螺纹孔相紧固,采用超声波发生器对换能器施加正弦激励电压,使换能器输出简谐运动,同时模具实现简谐受迫运动,其内部会有周期性变化的应力波,使得刀具素坯也受到简谐应力。钢板的弹性力记为 $-Ky$ ,简谐外力为 $F_A \cos \omega t$ ,换能器和钢板之间的阻尼力为 $-Cdy/dt$ ,根据牛顿第二定律,有

$$[0055] \quad -Ky - C \frac{dy}{dt} + F_A \cos \omega t = m \frac{d^2 y}{dt^2} \quad (2)$$

[0056] 式中, $y$ 为钢板的振幅(m), $K$ 为弹簧的劲度系数(N/m), $C$ 为粘性阻尼系数(N/(m/s)), $\omega$ 为驱动力的角频率(rad/s), $m$ 为钢板的质量(kg), $F_A$ 为简谐力振幅(m)。将式(1)中各系数化成标准形式,令 $F_A/m=F$ , $K/m=\omega_0^2$ , $C/m=2\delta$ ,则上式化为:

$$[0057] \quad \frac{d^2 y}{dt^2} + 2\delta \frac{dy}{dt} + \omega_0^2 y = F \cos \omega t \quad (3)$$

[0058] 式中 $\omega_0$ 为振动系统的固有阻力频率(rad/s), $\delta$ 为阻尼标准化系数(1/s)。式(2)的解为:

$$[0059] \quad y = y_{A0} e^{-\delta t} \cos(\sqrt{\omega^2 - \delta^2} t + \varphi_0) + y_A \cos(\omega t + \varphi) \quad (4)$$

[0060] 式中 $y_{A0}$ 为阻力振动的振幅(m),  $y_A$ 为简谐振动的振幅(m)。式(3)表明模具的振动由阻尼振动和简谐振动组成。阻尼振动是减幅的振动, 经过很短的时间后, 阻尼振动衰减至忽略不计, 即公式(3)的第一项为零振动达到稳定状态, 模具的振动变成了简谐运动, 振动方程为:

$$[0061] \quad y = y_A \cos(\omega t + \varphi) \quad (5)$$

[0062] 振动波在模具上传播时当遇到钢板的边界后会发生反射, 反射波与向外传播的机械波合并形成新的机械波。由于振动频率和传播速度不变, 因此在同一直线上的沿反方向传播的波进行叠加形成驻波。

[0063] 下面结合有限元仿真实施例对本发明模具设计做进一步详细的说明:

[0064] 本发明采用ANSYS谐响应分析的方法, 对模具受超声振动时应力的分布进行了分析。谐响应分析是一种用于确定线性结构在承受随时间按正弦(简谐)规律变化的载荷时的稳态响应, 分析过程中只计算结构的稳态受迫振动, 不考虑激振开始时的瞬态振动, 谐响应分析的目的在于计算出结构在几种频率下的响应值对频率的曲线, 从而使设计人员能预测结构的持续性动力特性, 验证设计是否能克服共振、疲劳以及其他受迫振动引起的有害效果。通过谐响应分析的方法, 可以预知模具和刀具素坯的受力情况, 从而优化压制装置, 使得超声振动效率最大化。

[0065] 首先利用绘图软件PROE进行各个部分的绘制, 再将各个部分利用位置关系组成一个整体, 将PROE中的模型导入ANSYS当中。建立模型的过程主要是定义所有的节点、单元、材料属性、实常数、边界条件。本设计的超声振动系统所用的材料有: 铝合金、PZT-4型压电陶瓷片、Cr12Mo1模具钢, 45号钢。各个材料的材料特性见表1:

[0066] 表1系统各部分材料参数

	密度 $\rho$ $10^3/(\text{kg}/\text{m}^3)$	杨氏模量 E $10^{11}/(\text{N}/\text{m}^2)$	泊松比
[0067] 铝合金	2.7	0.685	0.34
PZT-4 型压电陶瓷片	7.5	0.765	0.33
Cr12Mo1 模具钢	7.85	2.18	0.28
45 号钢	7.85	2	0.28

[0068] 边界条件为激励振幅以及固定端面。在超声换能振动系统工作时, 超声换能器被固定在换能器固定架上因此对换能器外周施加约束, 使其只能径向运动。对于模具部分, 由于振动时压头部分处于受压状态, 因此固定上压头、下压头以及芯柱的端面。为了更好地分析超声振动的作用, 忽略了压制力与摩擦力的影响。超声波换能器的激励输出部分为压电陶瓷部分, 在本设计中, 后盖板对振动结果没有影响, 因此将其省去, 同时也简化省去了连接处的螺纹联接部分。

[0069] 超声波换能器的结构示意图如图8所示。本装置采用的超声波换能器属于夹心式超声波换能器, 前盖板材料采用铝合金, 后盖板为45号钢, 压电陶瓷材料为PZT-4。从图中可以看到, 驱动部件包括压电陶瓷片以及电极片。作为弹性及导电性能良好的金属材料, 铜通常被用来制作电极片。压电陶瓷由作为电极的铜片隔开, 并且相邻两片的压电陶瓷极化方向相反, 电端并联连接, 这样使得相同的纵向振动可以进行叠加。这种压电换能器具有性能稳定、输出振幅大、阻抗易于匹配以及机械强度的特点, 适合超声辅助压制系统。

[0070] 对于本实验中超声波换能器的激励振幅,需要确定压电陶瓷的伸缩形变量。伸缩形变量的确定:当压电陶瓷仅仅在极化方向施加外电压和外力时,并假设该方向的应变沿厚度是均匀分布的,则压电陶瓷产生的形变量可以表示为公式:

$$[0071] \quad \Delta l = \frac{F}{K} + d_{33}\varphi = \frac{F}{K} + l_0 d_{33} E_3 \quad (1)$$

[0072] 式中K为压电陶瓷轴向等效刚度,  $K = S_{33} l_0 / A$ , A为压电陶瓷横截面积,  $\varphi$  是压电陶瓷上下表面电势差,  $\varphi = E_3 l_0$ ,  $E_3$  为轴向电场强度。在较低频率下,预应力对共振频率的影响不大,因此本有限元仿真中不考虑预应力的作用在预应力为零时,公式(1)变为  $\Delta l = l_0 d_{33} E_3$ 。PZT-4压电陶瓷的压电系数约为  $289 \times 10^{-12}$  m/V,在施加1000V的工作电压后,单片压电陶瓷产生的形变量只有  $0.289 \mu\text{m}$ 。而在工程设计中,通常为了满足实际需要,在不影响超声换能器性能的前提下,做了如下两个假设:1)在换能器的任一截面上,应变是均匀的;2)由各晶片激励所产生的振动波传递到变幅杆输出端是同相叠加的。对于在工程实用中长度大于直径,以及晶堆总厚度小于四分之一波长的纵向半波谐振器,这些假设是可以近似满足的。因此在多片压电陶瓷进行叠加后,取形变量约为  $1 \mu\text{m}$ 。

[0073] 将激励振幅施加在超声换能器的压电陶瓷上,取径向位移量为  $1 \mu\text{m}$ ,频率分别为20、30、40kHz,对应得刀具最大弥撒应力为0.40MPa,1.35MPa和1.54MPa。可以得出,在40kHz时刀具最大弥撒应力最大,此时超声振动效率最高,因此选择40kHz作为超声换能器的超声频率。

[0074] 通过上面的具体实施例子,采用本发明中的方法实现了超声辅助可转位立铣刀刀片压制模具的仿真。仿真证实超声振动对刀具素坯产生了周期性变化的超声应力,有利于减小刀具素坯与模具的摩擦力,从而改善刀片的密度和密度均匀性,对改善可转位立铣刀刀片的性能有良好的应用前景。

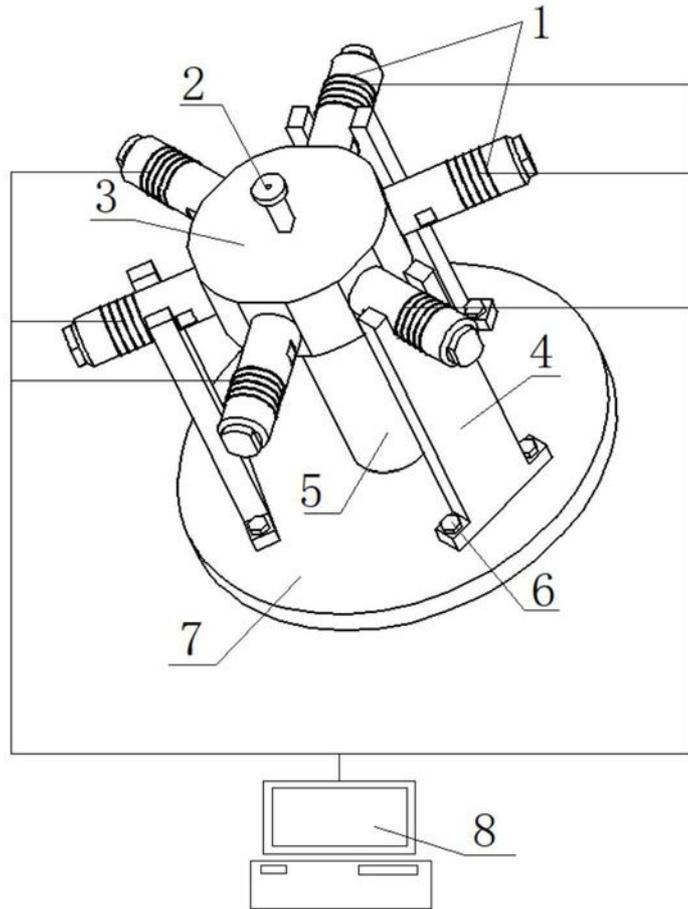


图1

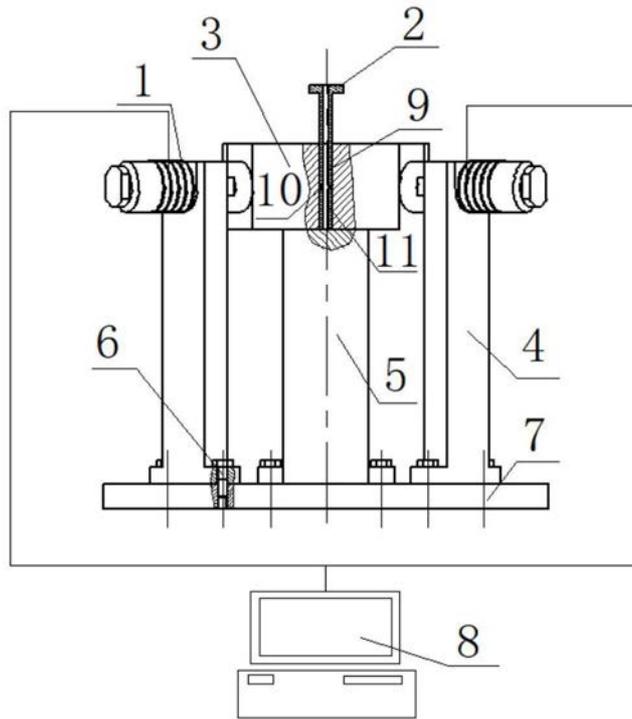


图2

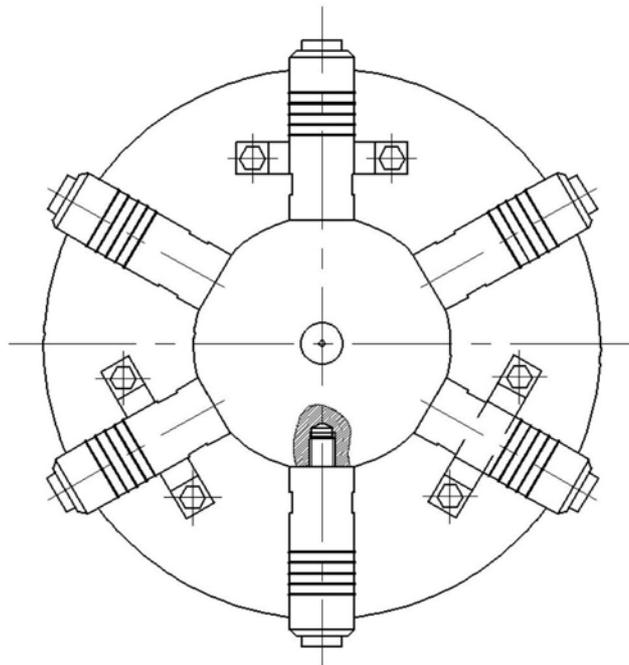


图3

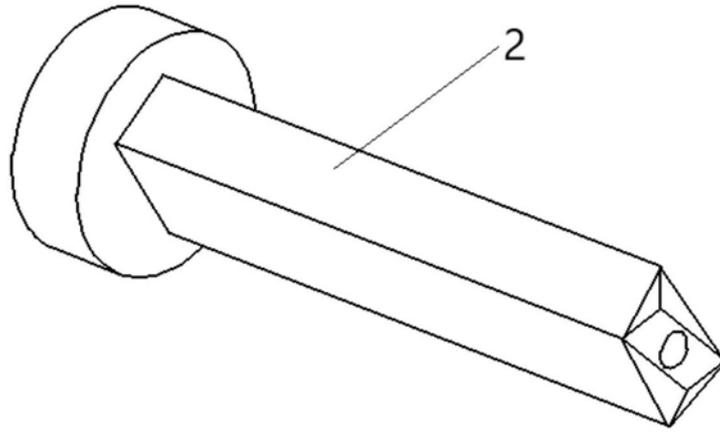


图4

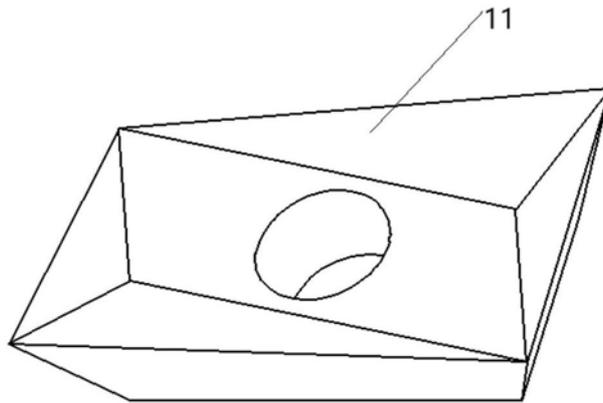


图5

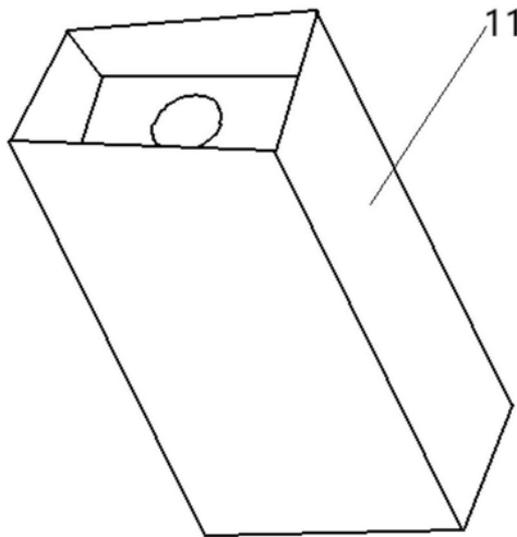


图6

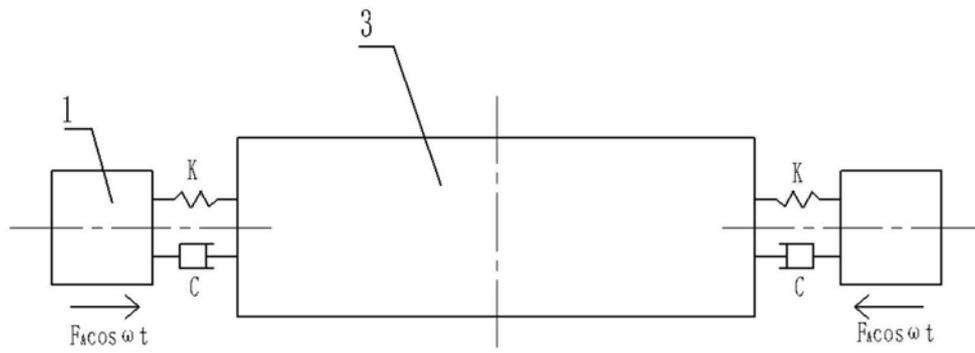


图7

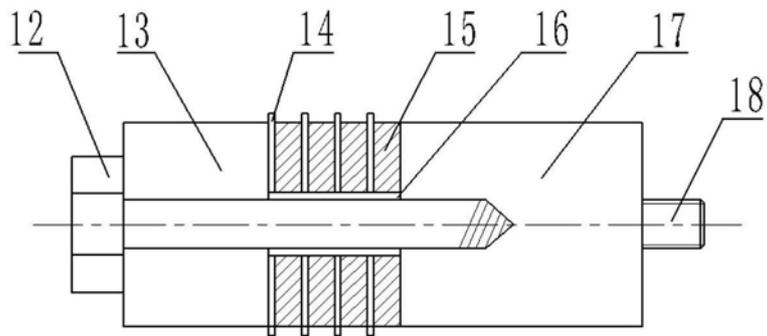


图8