



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 103921171 B

(45) 授权公告日 2016. 04. 06

(21) 申请号 201410155077. 6

(22) 申请日 2014. 04. 17

(73) 专利权人 西安交通大学

地址 710049 陕西省西安市咸宁路 28 号

(72) 发明人 赵玉龙 李莹雪 赵友 高欣浩
王鹏

(74) 专利代理机构 西安智大知识产权代理事务
所 61215

代理人 贺建斌

(51) Int. Cl.

B23Q 17/00(2006. 01)

审查员 彭佳伟

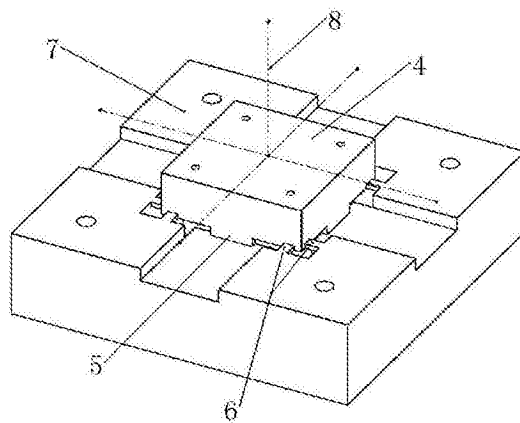
权利要求书1页 说明书5页 附图4页

(54) 发明名称

一种大量程压阻式高频响固定式四分量铣削力传感器

(57) 摘要

一种大量程压阻式高频响固定式四分量铣削力传感器,传感器为一个整体结构零件,传感器采用支撑梁加变形梁的复合结构设计,传感器包括载物平台、竖直变形梁、水平变形梁、固定底座四部分,载物平台通过竖直变形梁和水平变形梁连接在固定底座上,竖直变形梁共四个,水平变形梁共四组,在竖直变形梁竖直贴装第一压阻式 MEMS 硅微力敏芯片,在水平变形梁水平贴装第二压阻式 MEMS 硅微力敏芯片,本发明可以实现对铣台所受包括水平 X、Y 向,竖直 Z 向三向力的测量以及主轴扭矩的检测,不仅可以测量动态力,也适用于静态力的测量,在使用和维护方面更加简单可靠,降低成本。



1. 一种大量程压阻式高频响固定式四分量铣削力传感器,其特征在于:传感器(2)为一个整体结构零件,被加工工件(1)通过夹具固定在传感器(2)上,传感器(2)固定于铣台(3)上;

所述传感器(2)采用支撑梁加变形梁的复合结构设计,共十二根变形梁,传感器(2)以竖直中心轴(8)四面对称,且每面又以该面内的竖直对称轴(9)左右镜像对称,传感器(2)包括载物平台(4)、竖直变形梁(5)、水平变形梁(6)、固定底座(7)四部分,载物平台(4)通过竖直变形梁(5)和水平变形梁(6)连接在固定底座(7)上,靠近竖直中心轴(8)的方向相对为内侧,而靠近传感器(2)四边的方向定义为外侧,靠近竖直对称轴(9)的方向相对为内端,而靠近传感器(2)四角的方向定义为外端;

所述的竖直变形梁(5)共四个,以竖直中心轴(8)四面对称,每个为长方体竖直薄板结构,该薄板结构以竖直对称轴(9)左右镜像对称,其顶面与载物平台(4)底面相接,其底面与固定底座(7)上表面相连,其内壁与固定底座(7)环形内壁竖直共面,其外壁与载物平台(4)外壁竖直共面,竖直变形梁(5)与载物平台(4)接触面的水平长度为载物平台(4)水平边长的1/3;

所述的水平变形梁(6)共四组,以竖直中心轴(8)四角对称,分别位于载物平台(4)的四角处,每组由两个相同尺寸的长方体水平薄片组成,以过竖直中心轴(8)与载物平台(4)的竖直侧边所成的半对角平面为对称面,每组的两薄片结构分别关于其中一组半对角面镜像对称,并在水平面内呈90°夹角,每组水平变形梁(6)的内壁分别与载物平台(4)两相邻外壁连接,其外壁与固定底座(7)相接固定,其上顶面与固定底座(7)隆起部分的上表面水平共面,其下底面与载物平台(4)下底面水平共面;

所述的竖直变形梁(5)既为竖直Z向的变形梁,也为水平X、Y向以及竖直Z向的支撑梁,分别在各组竖直变形梁(5)靠近其外端面 and 固定底座(7)的两个外壁下角处,竖直贴装第一压阻式MEMS硅微力敏芯片(10),用以检测铣台(3)受到的竖直Z向作用力;水平变形梁(6)仅起水平支撑作用,分别在各组水平变形梁(6)靠近其外端面和载物平台(4)外壁的上表面夹角处,水平贴装第二压阻式MEMS硅微力敏芯片(11),用以检测铣台(3)受到的水平X向或Y向作用力,并间接获得铣刀施加的主轴扭矩。

2. 根据权利要求1所述的一种大量程压阻式高频响固定式四分量铣削力传感器,其特征在于:所述的载物平台(4)为四方体结构,以竖直中心轴(8)四面对称,且每面又以该面内的竖直对称轴(9)左右镜像对称,上、下面为正方形,用于承载和固定被加工工件(1)。

3. 根据权利要求1所述的一种大量程压阻式高频响固定式四分量铣削力传感器,其特征在于:所述的固定底座(7)为四方环形结构,以竖直中心轴(8)四面对称,且每面又以该面内的竖直对称轴左右镜像对称,中部近似为方形空洞,四角处向上隆起,且各钻削有一个通孔。

4. 根据权利要求1所述的一种大量程压阻式高频响固定式四分量铣削力传感器,其特征在于:所述的第一压阻式MEMS硅微力敏芯片(10)和第二压阻式MEMS硅微力敏芯片(11)为两对构造相同的传感器应力应变转换芯片,由MEMS工艺制作,芯片内部集成差动敏感梁,且在各差动敏感梁上内置半导体电阻丝,半导体电阻丝组成惠斯通全桥电路。

一种大量程压阻式高频响固定式四分量铣削力传感器

技术领域

[0001] 本发明涉及铣削力测力技术领域,特别涉及一种大量程压阻式高频响固定式四分量铣削力传感器。

背景技术

[0002] 传统的固定式铣削力测力仪主要有电容式、电感式、压电式、应变式等类型。目前国外比较成熟的产品多为固定压电式铣削力传感器。压电式测力仪适合于动态受力监测,具有高灵敏度和高固有频率的优点,但是因其价格昂贵、结构复杂、调试繁琐、维护不便,国内一直无法实现对拥有自主知识产权的压电式传感器的量产。在我国八十年代末,曾对应用于机械加工状态监测的应变式测力仪有过一段时间的系统研究。固定式应变测力仪成本较低、结构简单、长期稳定性好、工艺成熟,已广泛应用于静态力或缓变力的测量中,但是由于固定式应变测力仪无法解决其灵敏度和固有频率之间的固有矛盾,对动态铣削受力的测量一直仅限于低速铣削过程。近年来,有些高校的学者尝试进行应变式高频响固定式铣削力传感器的研究,但是由于选用的依然是传统的金属电阻应变片,在保证可用灵敏度的前提下,使得该固定式铣削力测力仪的承载平台尺寸有限,且可用量程较小,多为小力测量,这远远无法满足当前高速铣削过程中大量程测力的需要。

[0003] 传统的固定式铣床扭矩测量仪种类也是多种多样的,主要包括接触式和非接触式的两种测量方法,分别实现对定心钻削扭矩的测量和无定心铣削扭矩的测量。比较常见的是固定式定心钻削扭矩测量仪,且该产品多为进口的压电式传感器,优缺点这里不再赘述。对于更能真实准确的反映动态铣削过程的固定式无定心铣削扭矩的测量,目前国内仅限于起步阶段,并且也依然以压电式传感器为主,这大大限制了国内对于无定心铣削扭矩测量仪的商品化。而相对于压电式传感器而言,更加经济耐用的应变式固定式无定心铣削扭矩测量仪面临的主要问题则是测量灵敏度不足。由于固定式无定心铣削扭矩测量仪利用在主轴垂直平面的切向主切削力对主轴扭矩进行间接测量,在相同主轴扭矩输入的情况下,测力灵敏度随传感器检测点到主轴的距离增加而递减,因此应变式固定式无定心铣削扭矩测量仪存在本身台面尺寸与测量灵敏度之间的固有矛盾。

[0004] 压阻式测力传感器是利用单晶硅材料的压阻效应和集成电路技术制成的传感器,该类传感器具有体积小、频响高、灵敏度高、精度高、性能稳定、可靠性高等诸多优点。近年来随着微纳技术在国内的蓬勃发展,针对铣削加工过程中的切削质量控制、刀具寿命预测以及智能加工等需求,研发拥有自主知识产权的,用于铣削加工等过程监测的低功耗、高性能的压阻式传感器已被提上议事日程。

发明内容

[0005] 为了克服上述现有技术的缺点,本发明的目的在于提供一种大量程压阻式高频响固定式四分量铣削力传感器,可以实现对铣台所受包括水平 X、Y 向,竖直 Z 向三向力的测量以及主轴扭矩的检测,本发明测力范围: X、Y 向 0—5kN, Z 向 0—10kN, 扭矩: -100N·m—

100N · m, 固有频率 4KHz。

[0006] 为了达到上述目的,本发明的技术方案是这样实现的:

[0007] 一种大量程压阻式高频响固定式四分量铣削力传感器,传感器 2 为一个整体结构零件,被加工工件 1 通过夹具固定在传感器 2 上,传感器 2 固定于铣台 3 上;

[0008] 所述传感器 2 采用支撑梁加变形梁的复合结构设计,共十二根变形梁,传感器 2 以竖直中心轴 8 四面对称,且每面又以该面内的竖直对称轴 9 左右镜像对称,传感器 2 包括载物平台 4、竖直变形梁 5、水平变形梁 6、固定底座 7 四部分,载物平台 4 通过竖直变形梁 5 和水平变形梁 6 连接在固定底座 7 上,靠近竖直中心轴 8 的方向相对为内侧,而靠近传感器 2 四边的方向定义为外侧,靠近竖直对称轴 9 的方向相对为内端,而靠近传感器 2 四角的方向定义为外端;

[0009] 所述的竖直变形梁 5 共四个,以竖直中心轴 8 四面对称,每个为长方体竖直薄板结构,该薄板结构以竖直对称轴 9 左右镜像对称,其顶面与载物平台 4 底面相接,其底面与固定底座 7 上表面相连,其内壁与固定底座 7 环形内壁竖直共面,其外壁与载物平台 4 外壁竖直共面,竖直变形梁 5 与载物平台 4 接触面的水平长度为载物平台 4 水平边长的 1/3;

[0010] 所述的水平变形梁 6 共四组,以竖直中心轴 8 四角对称,分别位于载物平台 4 的四角处,每组由两个相同尺寸的长方体水平薄片组成,以过竖直中心轴 8 与载物平台 4 的竖直侧边所成的半对角平面为对称面,每组的两薄片结构分别关于其中一组半对角面镜像对称,并在水平面内呈 90° 夹角,每组水平变形梁 6 的内壁分别与载物平台 4 两相邻外壁连接,其外壁与固定底座 7 相接固定,其上顶面与固定底座 7 隆起部分的上表面水平共面,其下底面与载物平台 4 下底面水平共面;

[0011] 所述的竖直变形梁 5 既为竖直 Z 向的变形梁,也为水平 X、Y 向以及竖直 Z 向的支撑梁,分别在各组竖直变形梁 5 靠近其外端面 and 固定底座 7 的两个外壁下角处,竖直贴装第一压阻式 MEMS 硅微力敏芯片 10,用以检测铣台 3 受到的竖直 Z 向作用力;水平变形梁 6 仅起水平支撑作用,分别在各组水平变形梁 6 靠近其外端面 and 载物平台 4 外壁的上表面夹角处,水平贴装第二压阻式 MEMS 硅微力敏芯片 11,用以检测铣台 3 受到的水平 X 向或 Y 向作用力,并间接获得铣刀施加的主轴扭矩。

[0012] 所述的载物平台 4 为四方体结构,以竖直中心轴 8 四面对称,且每面又以该面内的竖直对称轴 9 左右镜像对称,上、下面为正方形,用于承载和固定被加工工件 1。

[0013] 所述的固定底座 7 为四方环形结构,以竖直中心轴 8 四面对称,且每面又以该面内的竖直对称轴左右镜像对称,中部近似为方形空洞,四角处向上隆起,且各钻削有一个通孔。

[0014] 所述的第一压阻式 MEMS 硅微力敏芯片 10 和第二压阻式 MEMS 硅微力敏芯片 11 为两对构造相同的传感器应力应变转换芯片,由 MEMS 工艺制作,芯片内部集成差动敏感梁,且在各差动敏感梁上内置半导体电阻丝,半导体电阻丝组成惠斯通全桥电路。

[0015] 本发明的有益效果:第一,本发明在水平方向选择剪切力、拉压力以及弯曲正应力组合的支撑作用力结构,在竖直方向上选用拉压支撑作用力,有效增大传感器的等效刚度,不但使得传感器的可用量程范围相应大幅增加,而且使传感器本身的固有频率提升到 4KHz 以上,可以对高速铣削力进行测量;第二,本发明在水平方向和竖直方向分别使用水平差动和竖直拉压薄壁变形梁结构,不但尽可能的保证了变形梁金属弹性体的灵敏度,并且使变

形梁上主应力方向单一化,与施力方向相同,有效减少了各向铣削分力之间的相互影响和耦合;第三,本发明选用竖直中心轴四面对称结构,结合水平拉压差动变形梁,便于求解出在传感器各边上,水平面内的切向主切削力投影的大小,进而实现对无定心铣削主轴扭矩的测量;第四,本发明使用压阻式 MEMS 硅微力敏芯片将机械应力转换为电信号,与传统的金属电阻应变片相比,电信号输出放大近 10 倍,极大地提高了测量灵敏度,有效消除了由于电桥臂增量不同而引入的桥式电路非线性误差;第五,相比于压电式铣削力传感器只能测量动态力的缺陷,本发明不仅可以测量动态力,也适用于静态力的测量,在使用和维护方面更加简单可靠,降低成本。

附图说明

[0016] 图 1 为传感器 2 安装使用示意图。

[0017] 图 2 为传感器 2 总体结构示意图;其中 2(a)为上下二等角轴侧视图;2(b)为前视图;2(c)为俯视图。

[0018] 图 3 为传感器 2 受力及第一压阻式 MEMS 硅微力敏芯片 10 和第二压阻式 MEMS 硅微力敏芯片 11 贴片位置示意图。

[0019] 图 4 为竖直变形梁 5 和水平变形梁 6 示意图;其中 4(a)为竖直变形梁 5 示意图;4(b)为水平变形梁 6 示意图。

具体实施方式

[0020] 下面结合附图对本发明做详细描述。

[0021] 本发明目的为测量较高主轴转速下,铣台在主轴 Z 向、水平 X 向或 Y 向受力以及铣刀主轴的扭矩,其中,铣刀主轴扭矩采用对水平面内周期作用的切向主切削力的动态测量而间接取得。

[0022] 参照图 1,一种大量程压阻式高频响固定式四分量铣削力传感器,为保证高效的传递铣台所受作用力,传感器 2 为一个整体结构零件,被加工工件 1 通过夹具固定在传感器 2 上,传感器 2 通过螺栓固定于铣台 3 上;

[0023] 参照图 2(a),所述的传感器 2 采用支撑梁加变形梁的复合结构设计,共十二根变形梁,传感器 2 以竖直中心轴 8 四面对称,且每面又以该面内的竖直对称轴 9 左右镜像对称,传感器 2 包括载物平台 4、竖直变形梁 5、水平变形梁 6、固定底座 7 四部分,载物平台 4 通过竖直变形梁 5 和水平变形梁 6 连接在固定底座 7 上,靠近竖直中心轴 8 的方向相对为内侧,而靠近传感器 2 四边的方向定义为外侧,靠近竖直对称轴 9 的方向相对为内端,而靠近传感器 2 四角的方向定义为外端。

[0024] 参照图 2(a)和图 2(b),所述的载物平台 4 为四方体结构,以竖直中心轴 8 四面对称,且每面又以该面内的竖直对称轴 9 左右镜像对称,上、下面为正方形,用于承载和固定被加工工件 1。

[0025] 参照图 2(b)和图 2(c),所述的固定底座 7 为四方环形结构,以竖直中心轴 8 四面对称,且每面又以该面内的竖直对称轴左右镜像对称,中部近似为方形空洞,四角处向上隆起,且各钻削有一个通孔。当固定于铣台 3 上时,自由度为 0。

[0026] 参照图 2(a)、图 2(b)和图 2(c),所述的竖直变形梁 5 共四个,以竖直中心轴 8

四面对称,每个为长方体竖直薄板结构,该薄板结构以竖直对称轴 9 左右镜像对称,其顶面与载物平台 4 底面相接,其底面与固定底座 7 上表面相连,其内壁与固定底座 7 环形内壁竖直共面,其外壁与载物平台 4 外壁竖直共面,竖直变形梁 5 与载物平台 4 接触面的水平长度约为载物平台 4 边长的 1/3。

[0027] 参照图 2 (a)、图 2 (b) 和图 2 (c),所述的水平变形梁 6 共四组,以竖直中心轴 8 四角对称,分别位于载物平台 4 的四角处,每组由两个相同尺寸的长方体水平薄片组成,以过竖直中心轴 8 与载物平台 4 的竖直侧边所成的半对角平面为对称面,每组的两薄片结构分别关于其中一组半对角面镜像对称,并在水平面内呈 90° 夹角,每组水平变形梁 6 的内壁分别与载物平台 4 两相邻外壁连接,其外壁与固定底座 7 相接固定,其上顶面与固定底座 7 隆起部分的上表面水平共面,其下底面与载物平台 4 下底面水平共面。

[0028] 参照图 3,竖直变形梁 5 既为竖直 Z 向的变形梁,也为水平 X、Y 向以及竖直 Z 向的支撑梁,分别在各组竖直变形梁 5 靠近其外端面 和固定底座 7 的两个外壁下角处,竖直贴装第一压阻式 MEMS 硅微力敏芯片 10,用以检测铣台 3 受到的竖直 Z 向作用力;水平变形梁 6 仅起水平支撑作用,分别在各组水平变形梁 6 靠近其外端面和载物平台 4 外壁的上表面夹角处,水平贴装第二压阻式 MEMS 硅微力敏芯片 11,用以检测铣台 3 受到的水平 X 向或 Y 向作用力,并间接获得铣刀施加的主轴扭矩。

[0029] 所述的第一压阻式 MEMS 硅微力敏芯片 10 和第二压阻式 MEMS 硅微力敏芯片 11 为两对构造相同的传感器应力应变转换芯片,由 MEMS 工艺制作,芯片内部集成差动敏感梁,且在各差动敏感梁上内置半导体电阻丝,半导体电阻丝组成惠斯通全桥电路。

[0030] 本发明的工作原理为:

[0031] 参照图 3,当施加 X 向或 Y 向水平作用力时,载物平台 4 近似为刚体,固定底座 7 近似自由度为 0,当载物平台 4 由于铣刀作用力产生水平微位移时,竖直变形梁 5 和水平变形梁 6 起主要的支撑作用。在力的作用方向两侧的一对竖直变形梁 5——该组梁的位置连线垂直于力的作用方向——做侧向剪切形变,该对梁外侧对应着的两对水平变形梁 6 在水平面内也做侧向剪切形变;在力的作用方向两端的一对竖直变形梁 5——该组梁的位置连线平行于力的作用方向——做前向弯曲形变,该对梁外侧对应着的两对水平变形梁 6 在水平面内做前向拉压差动形变,本发明利用水平变形梁 6 的水平拉压差动应变,实现对除主切削力以外的水平作用力的测量。同时,本发明利用竖直变形梁 5 和水平变形梁 6 的支撑作用力大大提高了水平方向的等效刚度,将水平 45° 方向的一阶固有频率提高到 4kHz 以上,水平方向测力范围 0—5kN。

[0032] 参照图 3、图 4 (a) 和图 4 (b),在水平作用力 F_x 或 F_y 作用时,单个待测水平变形梁的应变近似计算如下:

[0033] 载物平台 4 近似刚体,支撑梁 X 向或 Y 向的等效总刚度 K_x 或 K_y 近似为:

$$\begin{aligned}
 K_x = K_y &= 2(K_5 + K_5' + K_6 + K_6') \\
 &= 2 * \frac{5Eb_5h_5}{12(1+\mu)l_5} + 2 * \frac{Eh_5b_5^3}{4l_5^3} + 4 * \frac{5Eb_6h_6}{12(1+\mu)l_6} + 4 * \frac{Eb_6h_6}{l_6}
 \end{aligned}$$

[0035] 其中, K_5 、 K_6 分别为位于力的作用方向两侧其中一侧的竖直变形梁 5 及其外侧对应的水平变形梁 6 的水平等效刚度, K_5' 、 K_6' 分别为位于力的作用方向两端其中一端的竖直变形梁 5 及其外侧对应的水平变形梁 6 的水平等效刚度,E 为杨氏模量, μ 为泊松比, h_5 、 b_5 和

l_5 分别为竖直变形梁 5 的长、宽和厚度, h_6 、 b_6 和 l_6 分别为水平变形梁 6 的长、宽和厚度。

[0036] 水平作用力 F_x 或 F_y 在每个水平变形梁上产生的 X 向或 Y 向应变 ε_x 或 ε_y 为:

$$\begin{aligned}
 \varepsilon_x = \varepsilon_y &= \frac{F_x}{K_x l_6} = \frac{F_y}{K_y l_6} \\
 &= \frac{F_x}{(2 * \frac{5Eb_5h_5}{12(1+\mu)l_5} + 2 * \frac{Eh_5b_5^3}{4l_5^3} + 4 * \frac{5Eb_6h_6}{12(1+\mu)l_6} + 4 * \frac{Eb_6h_6}{l_6})l_6} \\
 &= \frac{F_y}{(2 * \frac{5Eb_5h_5}{12(1+\mu)l_5} + 2 * \frac{Eh_5b_5^3}{4l_5^3} + 4 * \frac{5Eb_6h_6}{12(1+\mu)l_6} + 4 * \frac{Eb_6h_6}{l_6})l_6}
 \end{aligned}$$

[0038] 参照图 3, 当施加 Z 向竖直作用力 F_z 时, 载物平台 4 受铣刀作用力产生竖直向下的微位移, 此时, 竖直变形梁 5 产生竖直抗压正应力, 在竖直方向上起主要的支撑作用。本发明使用各个竖直变形梁 5 竖直压缩产生的挤压应变, 实现对竖直 Z 向作用力的测量, 测力范围 0—10kN。

[0039] 参照图 3 和图 4 (a), 在竖直作用力 F_z 作用时, 单个竖直变形梁 5 的挤压应变 ε_z 近似计算如下:

$$\varepsilon_z = \frac{F_z / 4}{b_5 h_5 E}$$

[0041] 参照图 3, 在水平面内的切向扭转力作用下, 主切削力通过载物平台 4 传递到竖直变形梁 5 和水平变形梁 6 上, 此时, 四个竖直变形梁 5 均产生侧向剪切变形, 四组水平变形梁 6 亦均产生水平拉压变形, 此时, 水平方向的抗剪力和抗拉压力起主要的支撑作用。随着铣刀主轴的移动, 轴心距离四角距离的不同, 而使得四角上每组水平变形梁 6 的拉压应变大小各异。本发明使用分布于传感器 2 四角的四组水平变形梁 6 产生的水平拉压应变, 实现对水平扭矩的间接测量, 测量范围 $-100N \cdot m$ — $100N \cdot m$ 。

[0042] 参照图 3、图 4 (a)和图 4 (b), 在主轴扭矩 M 作用时, 单个待测水平变形梁的应变近似计算如下:

[0043] 主轴扭矩在一边上的等效刚度 K_M 近似为:

$$K_M = K_5 + K_6 = \frac{5Eb_5h_5}{12(1+\mu)l_5} + 2 * \frac{Eb_6h_6}{l_6}$$

[0045] 铣削力在一边上一侧水平变形梁上的应变 ε_M 近似为:

$$\varepsilon_M = \frac{\frac{F_M}{K_M}}{l_M} = \frac{F_M}{(\frac{5Eb_5h_5}{12(1+\mu)l_5} + 2 * \frac{Eb_6h_6}{l_6})l_6}$$

[0047] 其中, F_M 为铣刀主切削力在一边上的投影。

[0048] 综上所述, 使用本发明的传感器结构, 在具体结构尺寸已知的情况下, 经过标定, 可以有效、快捷的建立第一压阻式 MEMS 硅微力敏芯片 10、第二压阻式 MEMS 硅微力敏芯片 11 与铣台所受水平 X 向、Y 向和竖直 Z 向以及铣刀主轴扭矩间的线性对应关系, 且计算过程简单, 具有较好的实用性。

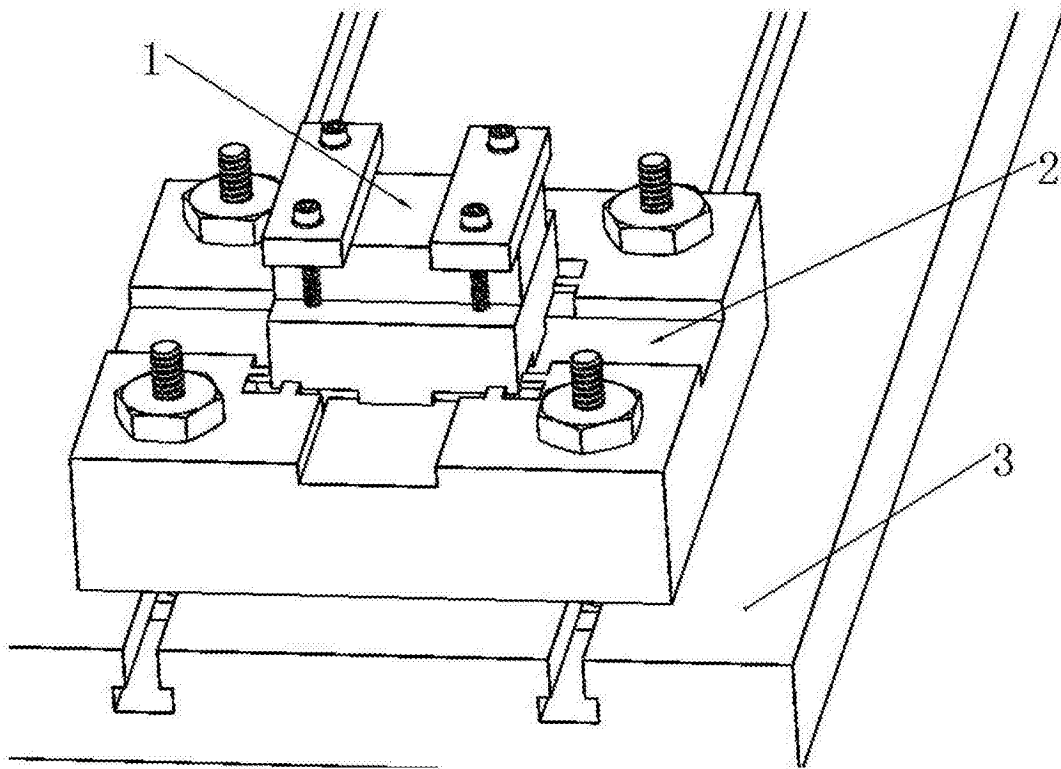


图 1

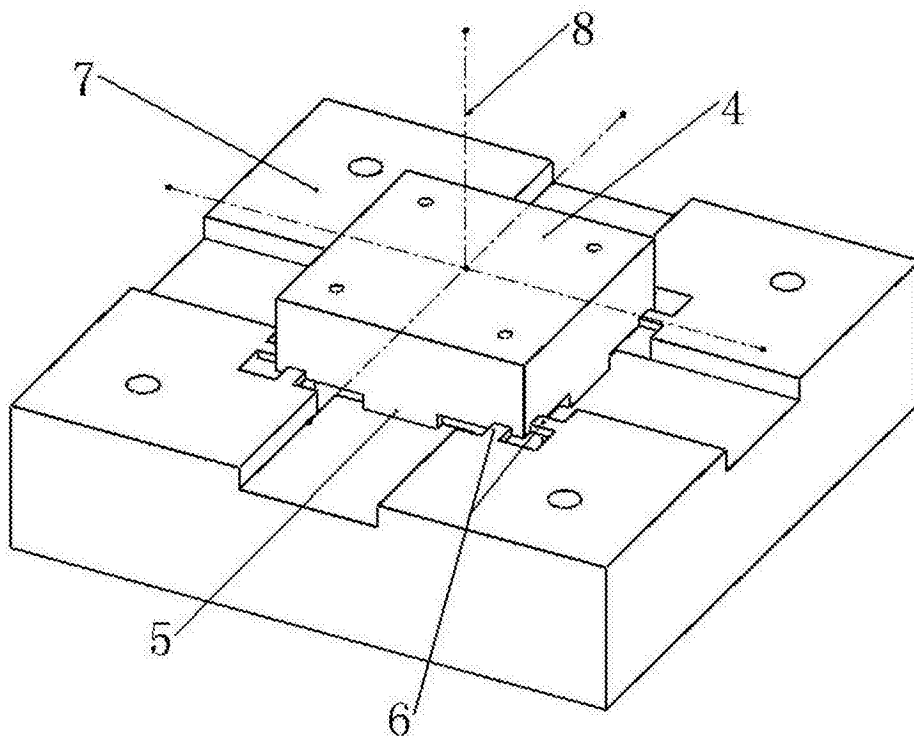


图 2 (a)

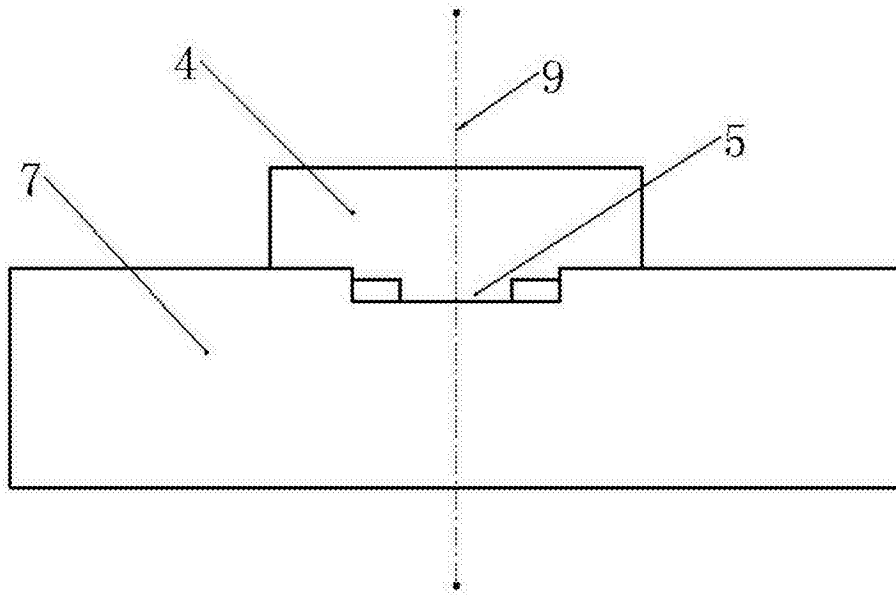


图 2 (b)

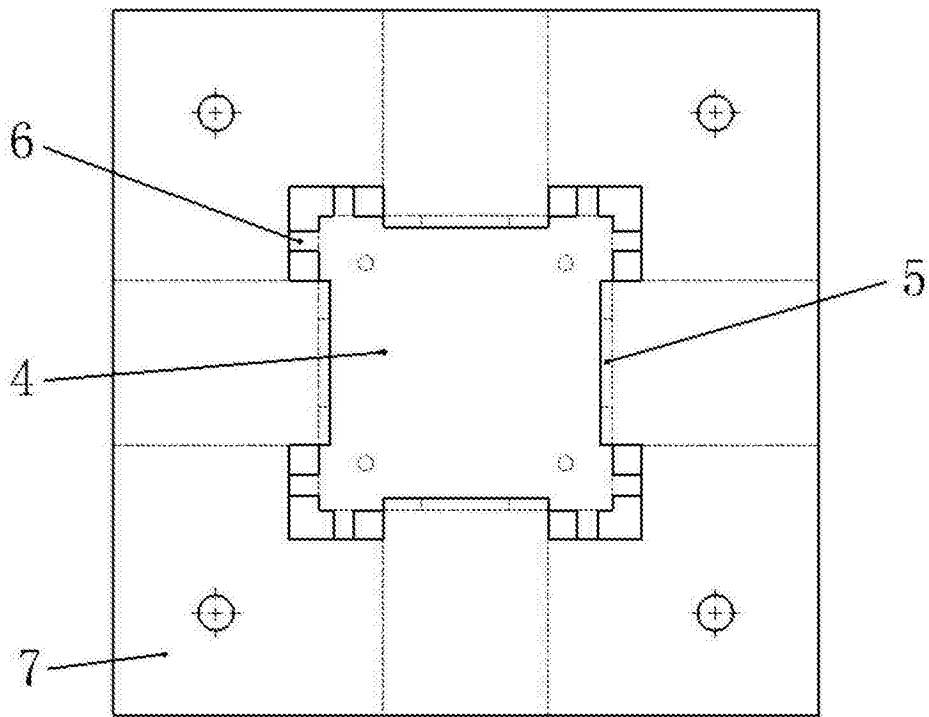


图 2 (c)

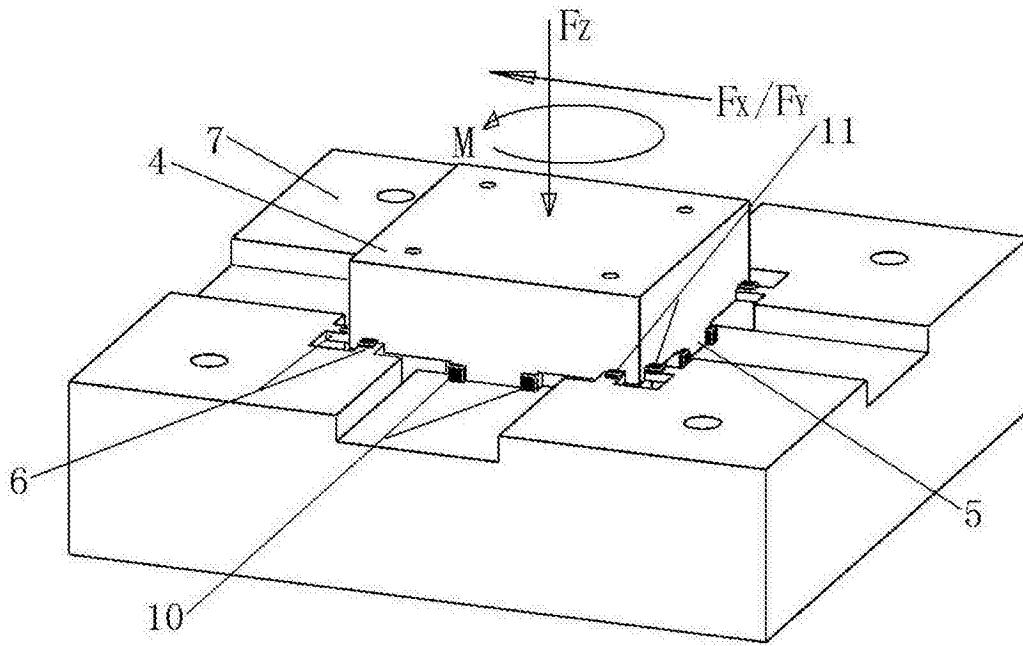


图 3

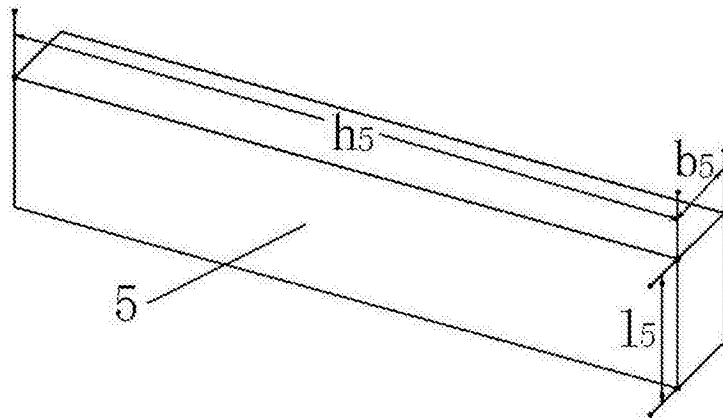


图 4 (a)

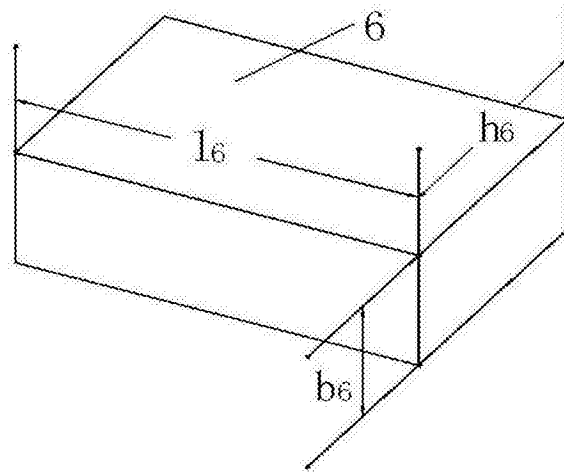


图 4 (b)