



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 103419076 B

(45)授权公告日 2017.03.01

(21)申请号 201310178642.6

(22)申请日 2013.05.15

(65)同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 103419076 A

(43)申请公布日 2013.12.04

(30)优先权数据

2012-113633 2012.05.17 JP

(73)专利权人 大隈株式会社

地址 日本爱知县

(72)发明人 稻垣浩 鹿间俊哉

(74)专利代理机构 北京三友知识产权代理有限公司 11127

代理人 李辉 黄纶伟

(51)Int.Cl.

B23Q 15/013(2006.01)

B23Q 11/00(2006.01)

(56)对比文件

US 2010/0032879 A1, 2010.02.11, 说明书0018、0019、0037、0039段, 附图1.

US 2010/0032879 A1, 2010.02.11, 说明书0018、0019、0037、0039段, 附图1.

US 6241435 B1, 2001.06.05, 说明书第4栏54行-第5栏48行、第6栏46行-第7栏8行、第8栏54行-第9栏49行, 附图1、5a-9.

US 6241435 B1, 2001.06.05, 说明书第4栏54行-第5栏48行、第6栏46行-第7栏8行、第8栏54行-第9栏49行, 附图1、5a-9.

US 6135682 A, 2000.10.24, 说明书第1栏31行-第2栏45行, 附图4.

US 6993410 B2, 2006.01.31, 全文.

US 5876155 A, 1999.03.02, 全文.

审查员 张宽

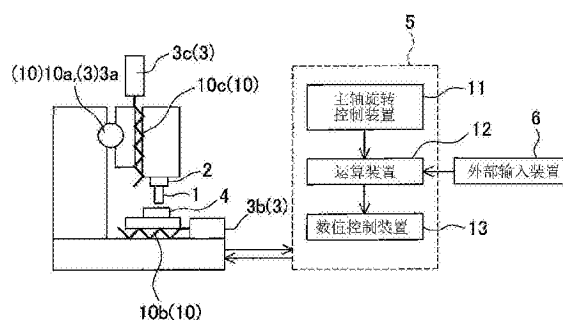
权利要求书2页 说明书7页 附图6页

(54)发明名称

机床的加工振动抑制方法以及加工振动抑制装置

(57)摘要

提供一种机床的加工振动抑制方法以及加工振动抑制装置,通过对加工中的进给轴叠加微小振动来抑制颤振,并且,使刀具所具有的多个刃的各刃的切削力均一化,从而能够抑制刀具崩刃。作为解决手段,具有:外部输入装置(6),其设定各切削刃的振动量和相位;运算装置(12),其取得刀具(1)旋转相位,根据输入的各切削刃的振动量和角速度,计算出使X、Y这2轴的进给轴发生振动的角速度和相位,生成进给轴控制信号;以及数值控制装置(13),其控制X轴和Y轴的进给,数值控制装置(13)根据运算装置(12)的运算结果,使被加工物(4)与刀具(1)的角速度协调地进行相对振动。



1. 一种机床的加工振动抑制方法, 其中, 该机床使安装在主轴上的刀具旋转而对被加工物进行加工, 其特征在于, 具有如下步骤:

对加工中的进给轴的进给动作施加规定的振幅和振动频率的强制振动而进行加工,

所述强制振动的振动频率是与刀具旋转频率相等的振动频率,

所述刀具旋转频率是根据主轴的旋转速度控制值来取得的,

由此, 叠加于所述进给动作的所述强制振动发挥作用, 使得消除刀具振动量的影响。

2. 一种机床的加工振动抑制方法, 其中, 该机床使安装在主轴上的刀具旋转而对被加工物进行加工, 其特征在于, 具有如下步骤:

对加工中的进给轴的进给动作施加规定的振幅和振动频率的强制振动而进行加工,

所述强制振动的振动频率是相对于刀具旋转频率错开了规定量的振动频率,

还对加工中的进给轴的进给动作叠加具有特定的振幅且振动频率与刀具旋转频率相等的振动而进行加工,

由此, 叠加于所述进给动作的所述强制振动发挥作用, 使得消除刀具振动量的影响。

3. 一种机床的加工振动抑制装置, 其中, 该机床使安装有具备1个或多个切削刃的刀具的主轴旋转, 使被加工物或者刀具的至少一方在与所述主轴垂直的平面内进行进给移动而进行加工, 其特征在于, 该加工振动抑制装置具有:

条件输入单元, 其设定被加工物的振幅以及相位;

振动运算单元, 其根据所输入的所述被加工物的振幅以及相位, 计算出使进给轴进行振动的相位, 生成进给轴控制信号;

进给控制单元, 其控制所述进给轴的进给; 以及

刀具信息输入部, 其取得刀具的旋转相位,

所述进给控制单元对被加工物施加基于所述进给轴控制信号的强制振动,

所述振动运算单元输出的实施所述强制振动的进给轴控制信号是以预先设定的振幅和与刀具旋转频率相等的振动频率进行振动的信号,

所述刀具旋转频率是根据主轴的旋转速度控制值来取得的,

由此, 叠加于进给动作的所述强制振动发挥作用, 使得消除刀具振动量的影响。

4. 一种机床的加工振动抑制装置, 其中, 该机床使安装有具备1个或多个切削刃的刀具的主轴旋转, 使被加工物或者刀具的至少一方在与所述主轴垂直的平面内进行进给移动而进行加工, 其特征在于, 该加工振动抑制装置具有:

条件输入单元, 其设定被加工物的振幅以及相位;

振动运算单元, 其根据所输入的所述被加工物的振幅以及相位, 计算出使进给轴进行振动的相位, 生成进给轴控制信号;

进给控制单元, 其控制所述进给轴的进给; 以及

刀具信息输入部, 其取得刀具的旋转相位,

所述进给控制单元对被加工物施加基于所述进给轴控制信号的强制振动,

所述振动运算单元输出的实施所述强制振动的进给轴控制信号是以预先设定的振幅和相对于刀具旋转频率错开了规定量的振动频率进行振动的信号,

所述振动运算单元输出的进给轴控制信号是进一步叠加了振动频率与刀具旋转频率相等的振动的控制信号而得到的信号,

所述进给控制单元对被加工物施加基于叠加后的控制信号的强制振动，
由此，叠加于进给动作的所述强制振动发挥作用，使得消除刀具振动量的影响。

机床的加工振动抑制方法以及加工振动抑制装置

技术领域

[0001] 本发明涉及机床的加工振动抑制方法以及加工振动抑制装置,能够抑制在铣削加工或切削加工中、尤其是粗加工这样的重切削加工中产生颤振或刀具崩刃。

背景技术

[0002] 在一边旋转刀具一边进行加工的机床中,在加工中,在切入量或切削量变大时会产生颤振而使加工面恶化。作为抑制这样的加工中的颤振的加工方式,存在如下方式:根据在铣削加工中产生颤振的系统的固有振动频率和加工中的颤振频率,求出最优的旋转速度而进行加工(例如,参照专利文献1)。

[0003] 此外,在切削加工中,存在如下方法:在主轴电动机具有足够扭矩的情况下,以某一位移量和周期来变动主轴的旋转速度;或者,在进给轴上设置在加工中产生超音波的单元,通过施加高频的微小振动,来实现切削力的下降,抑制颤振(例如,参照专利文献2)。

[0004] 此外,存在如下方法:通过次摆线轨迹加工来减少刃与加工物的接触时间,从而抑制颤振的发生。

[0005] 在先技术文献

[0006] 专利文献

[0007] 专利文献1:日本专利第4433422号公报

[0008] 专利文献2:日本特开2002-292501号公报

发明内容

[0009] 但是,在上述铣削加工中求出最优旋转速度的方法,需要检测颤振的传感器和复杂的控制装置;在切削加工中以某一位移量和周期来变动主轴的旋转速度的方法,会对主轴电动机施加过大的载荷。此外,对进给轴施加高频的微小振动的方法,需要用于施加微小振动的另外的单元,存在不适合重切削这样的问题;上述次摆线轨迹加工需要变更程序,存在因响应性慢而不能提高切削量这样的问题。

[0010] 此外,在这些重切削加工的情况下,因担心刀具崩刃而使用切削刃可更换型的刀具,但是因刀具体的加工精度的影响而在所安装的各切削刃的振动量中产生相互差异,从而产生与上述振动不同的所谓“刀具的振动”的问题。该振动与切削量成比例地增大,容易使切削刃产生崩刃。因此,存在难以得到刀具的最大切削力的问题。

[0011] 因此,鉴于这样的问题点,本发明的目的在于,提供一种机床的加工振动抑制方法以及加工振动抑制装置,通过对加工中的进给轴叠加微小振动来抑制颤振,并且,使刀具上安装着的多个刃的每一个刃的切削力均一化,从而能够抑制因刀具的振动而导致的崩刃。

[0012] 为了解决上述课题,第一方面的发明是机床的加工振动抑制方法,其中,该机床使安装在主轴上的刀具旋转而对被加工物进行加工,其特征在于,对加工中的进给轴的进给动作施加规定的振幅和振动频率的强制振动而进行加工。

[0013] 根据该方法,对进给动作施加强制振动而进行加工,即,一边使被加工物进行相对

振动一边进行加工。其结果是,由于刀具的每刃进给量周期性地变化,所以能够抑制在重切削等时产生的颤振。

[0014] 第二方面的发明的特征在于,在第一方面所述的发明中,所述强制振动的振动频率是相对于刀具旋转频率错开了规定量的振动频率。

[0015] 根据该方法,能够抑制因与刀具旋转频率联动地产生切削阻力大的状态和小的状态或者因切削力不均一而导致的颤振。

[0016] 此外,由于切削刃的切削力被分散,所以不会始终对特定的刃施加最大切削力,从而能够抑制刀具崩刃。

[0017] 第三方面的发明的特征在于,在第一方面所述的发明中,所述强制振动的振动频率是与刀具旋转频率相等的振动频率。

[0018] 根据该方法,由于叠加于进给动作的强制振动具有与刀具旋转频率相等、即与刀具的振动相等的振动频率,所以能够发挥消除刀具振动量的影响的作用,从而抑制刀具崩刃。尤其是,在刀具具有多个切削刃的情况下,如果对刀具的振动施加反相的振动,则能够消除刀具的振动,使得各切削刃的切削力均等地进行分配,从而能够可靠地抑制刀具崩刃。

[0019] 第四方面的发明的特征在于,在第二方面所述的发明中,除了第1振动以外,还对加工中的进给轴的进给动作叠加第2振动而进行加工,其中,所述第1振动是所述强制振动,所述第2振动为特定的振幅且振动频率与刀具旋转频率相等。

[0020] 根据该方法,对被加工物施加与刀具旋转频率联动的振动和错开了的振动这2种振动,因此,能够抑制颤振,并能够抑制刀具崩刃。

[0021] 第五方面的发明是一种机床的加工振动抑制装置,其中,该机床使安装有具有1个或多个切削刃的刀具的主轴旋转,使被加工物或者刀具的至少一方在与所述主轴垂直的平面内进行进给移动而进行加工,所述机床的加工振动抑制装置的特征在于,其具有:条件输入单元,其设定被加工物的振幅以及相位;振动运算单元,其根据所输入的所述被加工物的振幅以及相位,计算出使进给轴进行振动的相位,生成进给轴控制信号;以及进给控制单元,其控制所述进给轴的进给,所述进给控制单元对被加工物施加基于所述进给轴控制信号的强制振动。

[0022] 根据该结构,将输入被加工物的振幅以及相位而计算出的振动施加于刀具或者被加工物,一边使被加工物进行振动一边实施加工。其结果是,由于刀具的每刃进给量周期性地变化,所以能够抑制在重切削等时产生的颤振。

[0023] 第六方面的发明的特征在于,在第五方面所述的发明中,具有取得刀具的旋转相位的刀具信息输入部,所述振动运算单元输出的实施所述强制振动的所述进给轴控制信号是以预先设定的振幅和相对于刀具旋转频率错开了规定量的振动频率进行振动的信号。

[0024] 根据该结构,能够抑制因与刀具旋转频率联动地产生切削阻力大的状态和小的状态或者因切削力不均一而导致颤振。

[0025] 此外,由于切削刃的切削力被分散,所以不会始终对特定的刃施加最大切削力,从而能够抑制刀具崩刃。

[0026] 第七方面的发明的特征在于,在第五方面所述的发明中,具有取得刀具的旋转相位的刀具信息输入部,所述振动运算单元输出的实施所述强制振动的所述进给轴控制信号是以预先设定的振幅和与刀具旋转频率相等的振动频率进行振动的信号。

[0027] 根据该结构,由于叠加于进给动作的强制振动具有与刀具旋转频率相等、即与刀具的振动相等的振动频率,所以能够发挥消除刀具振动量的影响的作用,抑制刀具崩刃。尤其是,在刀具具有多个切削刃的情况下,如果对刀具的振动施加反相的振动,则能够消除刀具的振动,使得各切削刃的切削力均等地进行分配,从而能够可靠地抑制刀具崩刃。

[0028] 第八方面的发明的特征在于,在第六方面所述的发明中,所述振动运算单元所输出的进给轴控制信号是在以第1振动进行振动的控制信号上叠加以第2振动进行振动的控制信号而得到的信号,其中,所述第1振动是所述强制振动,所述第2振动的振动频率与刀具旋转频率相等,所述进给控制单元对被加工物施加基于所述2种类的控制信号而进行的强制振动。

[0029] 根据该结构,由于对被加工物施加与刀具旋转频率联动的振动和错开了的振动这2种振动,所以能够抑制颤振,并能够抑制刀具崩刃。

[0030] 根据本发明,由于对进给动作施加强制振动而进行加工、即一边使被加工物进行相对振动一边进行加工,所以刀具的每刃进给量周期性地变化。其结果是,能够抑制在重切削等时产生的颤振。

[0031] 此外,如果使叠加于进给动作的强制振动与刀具旋转频率相等,则能够发挥消除刀具振动量的影响的作用,从而能够可靠地抑制刀具崩刃。

附图说明

[0032] 图1是示出本发明的机床的加工振动抑制装置的一例的结构图。

[0033] 图2的(a)是示出切削刃的配置的刀具平面图,图2的(b)示出切削刃的各相位上的刀具振动量的测量结果。

[0034] 图3是用正弦波来近似刀具振动量和相位差的关系而得出的图表。

[0035] 图4是示出崩刃抑制控制的流程的流程图。

[0036] 图5是示出未对刀具振动量进行校正的情况下的加工中的切削力分布的图表。

[0037] 图6是示出对刀具振动量进行了校正的情况下的加工中的切削力分布的图表。

[0038] 图7是示出崩刃抑制控制的其它例的流程图。

[0039] 图8是示出使振动与刀具转速一致情况下的加工中的切削力分布的图表。

[0040] 图9是示出使振动与刀具转速不一致的情况下的加工中的切削力分布的图表。

[0041] 图10是刀具轨迹的示意图。

[0042] 标号说明

[0043] 1 • • 刀具,1a • • 切削刃,2 • • 主轴,3 • • 进给轴驱动单元,4 • • 被加工物,5 • • 加工振动抑制装置,6 • • 外部输入装置(条件输入单元),10 • • 进给轴,11 • • 主轴旋转控制装置,12 • • 运算装置(振动运算单元),13 • • 数值控制装置(进给控制单元)。

具体实施方式

[0044] 以下,参照附图来详细说明将本发明具体化的实施方式。图1是示出具有本发明的加工振动抑制装置的机床的一例的结构图,其中,1是刀具,2是使刀具1次旋转的主轴,3是对进给轴10的进给量进行控制的进给轴驱动单元,4是被加工物,5是加工振动抑制装置,6是外部输入装置,其用于输入叠加在进给轴10上的振动的半径、角速度、相位差指令值等条

件或切削刀的信息等。

[0045] 进给轴驱动单元3由控制X轴的进给轴10a的X轴控制单元3a、控制Y轴的进给轴10b的Y轴控制单元3b以及控制Z轴的进给轴10c的Z轴控制单元3c构成。此外,加工振动抑制装置5具有控制主轴2的旋转速度的主轴旋转控制装置11、根据主轴旋转相位计算各轴方向的校正值的运算装置12以及控制进给轴10的数值控制装置13。

[0046] 这样构成的机床中的振动抑制按如下方式来实现。对于由各轴的进给轴驱动单元3进行的轴进给,通过在NC程序指令上叠加微小振动控制来实施。

[0047] 例如,对于与主轴2垂直的X-Y平面中的圆弧加工,所施加的微小振动为:在通常指令的加工轨迹上叠加振动,该振动以按下式1、式2设定的轨迹为基础。

[0048] $X=R \times \cos(\omega t - \theta_1)$ • • 式1

[0049] $Y=R \times \sin(\omega t)$ • • 式2

[0050] 其中,R:微小振动半径设定值, ω :刀具旋转的角速度,t:经过时间, θ_1 :X-Y轴间的相位差。另外,微小半径设定值R可根据加工条件取任意值,其中,加工条件为:设刀具1的每刃进给量为(例如,0.1mm)左右等。

[0051] 图10示出这样对进给轴10叠加微小振动而进行加工的情况下的刀具1的轨迹M的示意图。如图10所示,由于此时所叠加的微小振动,刀具1以划圆的方式进行加工作。

[0052] 这样,对进给动作施加强制振动而实施加工。即,通过一边使刀具1或者被加工物4进行振动一边进行加工,由于刀具1的每刃进给量周期性地变化,所以能够抑制在重切削等时产生的颤振。

[0053] 另外,此处说明了仅在X-Y平面内进行振动的情况,但是也可进一步施加主轴2的方向即Z轴方向的振动,从而抑制颤振。

[0054] 另一方面,在插入式刀具这样的切削刀可更换类型的情况下,通常会因切削刀安装面的加工精度的影响而使刀具1产生振动,由于该现象,易于产生刀具崩刃。因此,如果根据切削刀各位置和其预先测量出的振动量来设定振幅或相位,与刀具1的旋转轴即主轴2同步地使进给轴进行微小位移以消除刀具振动量,那么,由于各切削刀的每刃进给量能够接近本来所指令的值,所以能够抑制刀具崩刃。

[0055] 图2示出切削刀可更换型的刀具1的一例,图2的(a)示出刀具的平面图,图2的(b)示出各切削刀的相位与各切削刀的刀具振动量之间的关系的测量结果。如图2的(a)所示,刀具1具有4枚切削刀1a,各切削刀1a以90°的间隔进行设置。

[0056] 通常,由于对主轴2的旋转进行控制的主轴旋转控制装置11会输出旋转角度以及每1次旋转时的脉冲信号,所以能够根据该信号得到切削刀1a与刀具旋转的旋转角度原点或脉冲信号产生位置之间的相位(以下,简单称作“各切削刀1a的相位”)信息。

[0057] 图3示出用正弦波来近似得到这样测量出的刀具振动量 δ 与相位差 θ_2 之间的关系的情况,其中,相位差 θ_2 是与旋转角度原点或脉冲信号产生位置之间的相位差。由于该实施方式的刀具1有4枚刃,因此成为90°间距的数据,在该情况下,能够由下式3近似得到。

[0058] 刀具振动量 $\delta(\mu\text{m})=18 \times (1 + \sin(\theta_2 - 280^\circ))$ • • 式3

[0059] 其中, θ_2 :与由刀具旋转轴产生的脉冲信号或旋转角度原点之间的相位差,280°:相位差校正。

[0060] 进而,将所求出的刀具振动量 δ 分配在各轴方向上的值作为校正,将该振动叠加

于上述式1、式2,则成为下式4,式5。

[0061] $X=R \times \cos(\omega t - \theta_1) - \delta_x$ • • 式4

[0062] $Y=R \times \sin(\omega t) - \delta_y$ • • 式5

[0063] 其中, δ_x :X轴方向上的振动量分配值, δ_y :Y轴方向上的振动量分配值。

[0064] 通过将这样的振动叠加于进给轴(X轴的进给轴10a,Y轴的进给轴10b),使刀具1或者被加工物4进行强制振动,换言之,使被加工物4进行相对振动而进行加工,由此,在进给轴侧对与加工中的刀具位置(相位)对应的各轴方向上的刀具1的振动量进行校正,其结果是,能够使刀具1或者被加工物4与刀具1的旋转协调地进行强制振动以消除刀具1的振动,从而能够抑制刀具1的振动量的影响。

[0065] 该控制按图4所示的流程来实施。首先,从外部输入装置6输入进给轴叠加半径、角速度 ω 以及相位差 θ ,并且,同样地测量并输入各切削刃1a的振动量和各切削刃1a的相位(S1)。在输入数据后,运算装置12求出旋转角度的校正值(S2),基于主轴旋转控制装置11所监视的主轴旋转角度,取得所输入的切削刃1a的各位置与刀具体之间的相位关系(相位差校正值)(S3)。

[0066] 取得到相位差校正值的运算装置12进一步将相位差校正值针对各轴方向进行转换并与各进给轴的进给轴指令值相加(准确地讲,振动量进行减法运算)(S4)。并且,根据数值控制装置13进行加法运算得到的进给轴指令值对各进给轴驱动单元3进行控制(S5),实施加工。

[0067] 该加工根据主轴旋转控制装置11所监视的主轴旋转速度,反复实施取得所输入的切削刃1a的各位置与刀具体之间的相位关系的步骤(S3)以后的控制(S6)。

[0068] 这样,由于叠加于进给动作的强制振动具有与刀具1的转速相等、即与刀具的振动相等的振动频率,因此,能够将振动叠加于进给轴10a、10b,从而抑制了主轴2的1次旋转中刀具1的振动量,从而能够发挥消除刀具振动量的影响的作用。其结果是,能够减少作用于切削刃1a的最大切削力,降低刀具崩刃的发生率。

[0069] 此外,通过减小最大切削力,同时能够抑制颤振。

[0070] 基于上述控制的振动抑制效果,具体如下所示。首先,示出颤振抑制效果。此处,用直径 $\phi=50\text{mm}$ 插入式的铣削刀具实施钢材加工。设切削速度 $V_c=45\text{m/min}$,每刃进给量 $f_z=0.1\text{mm/刃}$,轴方向切入量 $A_p=18\text{mm}$,径方向切入量 $A_e=50\text{mm}$ 的槽切削,基于本控制的进给轴10a、10b的微小振动半径设定值 $R=0.1\text{mm}$ 、其频率 $f=4.8\text{Hz}$ (与刀具旋转频率相同的值),在这样的切削条件下,进行比较加工。

[0071] 其结果是,在未施加强制振动的加工中,在进给速度覆盖70%时产生颤振,加工面产生振纹;在叠加如下振动来实施加工的情况下,不会产生颤振,从而能够得到进给速度覆盖100%的良好加工面:该振动的振动频率与上述条件即刀具1的转速一致,振动半径为 0.1mm 。

[0072] 接下来,示出本发明的控制所产生的效果,其中,本发明对刀具1的振动量进行校正。此处,在与上述颤振抑制的条件相同的切削条件下实施6-4钛合金加工。图5、6示出加工中的切削力测量结果(2次旋转量)。图5示出未对刀具1的振动量进行校正的情况,图6示出对刀具1的振动量进行了校正的情况下的测量结果。其中,未设定进给轴10a、10b振动的微小半径 $R(R=0\text{mm}$,仅进行了刀具振动量校正)。此外,示出了在加工物上设置切削测力计而

进行加工的情况。

[0073] 如图5、6所示,对进给轴10a、10b进行控制,以抑制1次旋转中刀具1的振动量,其结果是,作用于切削刃1a的最大切削力大约减小1成,切削力的相对差异也减半。其结果是,刀具崩刃的发生率变得更低。

[0074] 另外,在上述实施方式,利用算式对叠加于进给轴10a、10b的微小位移量进行近似校正而进行指令,但是,针对相位,亦可将校正量作为点群数据,考虑控制上的追踪性和容易性等而适当采用。此外,Y轴控制构成为使被加工物4进行移动而产生振动,X轴控制构成为使主轴2(刀具1)进行移动而产生振动,但是亦可在被加工物4侧产生X轴、Y轴这两者的振动,或者亦可在主轴2侧产生。其中,在主轴2侧相加的指令值和在被加工物4侧相加的指令值是以180°反转的反相的数值。

[0075] 接下来,对抑制刀具崩刃的发生的其它方式进行说明。此处,根据切削刃1a数量而变更叠加于进给轴10的强制振动的方式进行说明。首先,将上述式1、2所示的微小振动施加于基于X轴的控制单元3a以及Y轴的控制单元3b的NC程序指令而进行的轴进给,相对于刀具旋转角速度,根据下式6来设定使进给轴10a、10b进行振动的强制振动的角速度。

[0076] 强制振动的角速度=刀具旋转角速度 $\times$ 刃数/(刃数+n) • • 式6

[0077] 另外,n是下述的规定的整数,刀具旋转角速度= $2 \times \pi \times$ 刀具旋转频率,刀具旋转频率=1/刀具旋转周期。该刀具旋转速度根据NC程序中的主轴旋转速度指令值或实际的主轴旋转速度控制值来取得。

[0078] 此处,n按如下方式来设定。在切削刃1a的刃数为偶数的情况下,n为包括负数的奇数,尤其是接近刃数的奇数。通过取奇数,能够以切削力在多个切削刃1a、1a • • 之间依次移动的方式进行控制,避免切削力持续施加于特定刃的情况。这是因为,根据刃数与其增减之比来控制刀具1的旋转角速度与进给轴控制的强制振动的角速度之比,由此,振动控制的最大振幅位置与切削刃1a的位置的关系在刀具1每次旋转时依次移动。

[0079] 另一方面,在刃数为奇数的情况下,n可以不是奇数,也可以不是整数。在刃数为奇数的情况下,无论n为何值,很难产生将切削力集中地施加于特定的切削刃这样的情况。另外,在刃数为偶数的情况下,即使n不是整数,只要长时间的进行加工,也能得到相同的效果。

[0080] 基于图7的流程图来对该控制的流程进行说明。首先,从外部输入装置6输入刃数以及n(S11)。基于根据该输入数据以及从主轴旋转控制装置11取得的刀具旋转速度,运算装置12计算出本控制的强制振动的角速度(S12),数值控制装置13根据求出的角速度来控制进给轴驱动单元3(S13),从而进行加工。并且,对进给轴10a、10b的控制一直进行到加工结束为止(S14)。

[0081] 通过该控制,由于叠加于进给轴10a、10b的振动具有与刀具1的转速不同步的、具有偏差的振动频率,所以能够使以往会作用于特定的1个切削刃1a的最大切削力分散于其它切削刃1a。其结果是,能够分散各切削刃1a的切削力而更均等地进行分配,从而抑制刀具崩刃,延长刀具寿命,同时也因分散了最大切削力而抑制了刀具1的颤振。

[0082] 另外,关于叠加了与刀具1的转速不同步的振动的上述加工方式,从抑制颤振角度来看,与刀具1的刃数无关,即使切削刃1a是1个也有效。

[0083] 基于该控制的加工结果,具体如下所示。首先,为了确认普通的加工状态,以直径

$\Phi = 50\text{mm}$ 插入式的铣削刀具实施6-4钛合金加工。切削条件是：切削速度 $V_c = 45\text{m/min}$ 、每刃进给量 $f_z = 0.1\text{mm/刃}$ 、轴方向切入量 $A_p = 18\text{mm}$ 、径方向切入量 $A_e = 50\text{mm}$ 、刃数 $Z = 4$ 的槽切削，基于本控制的进给轴10a、10b的微小半径 $R = 80\mu\text{m}$ ，其频率 $f = 4.77\text{Hz}$ ($n = 0$ ，使强制振动的角速度与刀具旋转角速度相等(在上述式6中 $n = 0$)的情况)。

[0084] 图8是示出在该条件下的加工中的切削力分布的图表，#1~#4示出4枚切削刃1a的编号。另外，这是在加工物上设置切削测力计进行加工而取得的。

[0085] 接下来，为了确认本控制的效果，将频率变更为 $f = 3.82\text{Hz}$ (刀具旋转频率的 $4/5$ ，在上式中 $n = 1$)而进行加工。图9是示出在该条件下的加工中的切削力分布的图表，其示出了使强制振动频率与刀具转速错开的情况。

[0086] 从图8、图9的加工结果可看到，在 $n = 0$ 的情况下，最大切削力始终仅施加于特定的刃(在图8中集中于#2切削刃1a)，但是在 $n = 1$ 的情况下，施加于切削刃1a的最大切削力依次移动。具体而言，从图9可看到，每5个波峰形成1个周期，最大值按#3→#4→...依次移动。其结果是，刀具崩刃发生率变得更低。

[0087] 这样，通过将叠加于进给轴10的振动设为相对于刀具转速稍微错开的值(例如，上述那样相对于刀具旋转频率为 $4/5$ 的振动频率)，能够控制为：使作用于特定的1个切削刃1a的最大切削力分散于其它刃，使各切削刃1a的切削力均等地进行分配。并且，由于作用于切削刃1a的最大切削力被分散化，因此同时也能够抑制颤振。

[0088] 另外，用于控制强制振动的算式不限于上述实施方式，在不脱离本发明主旨的范围内，可根据加工条件等适当进行变更，也可不是利用算式而是利用由规定的周期构成的点群数据等。

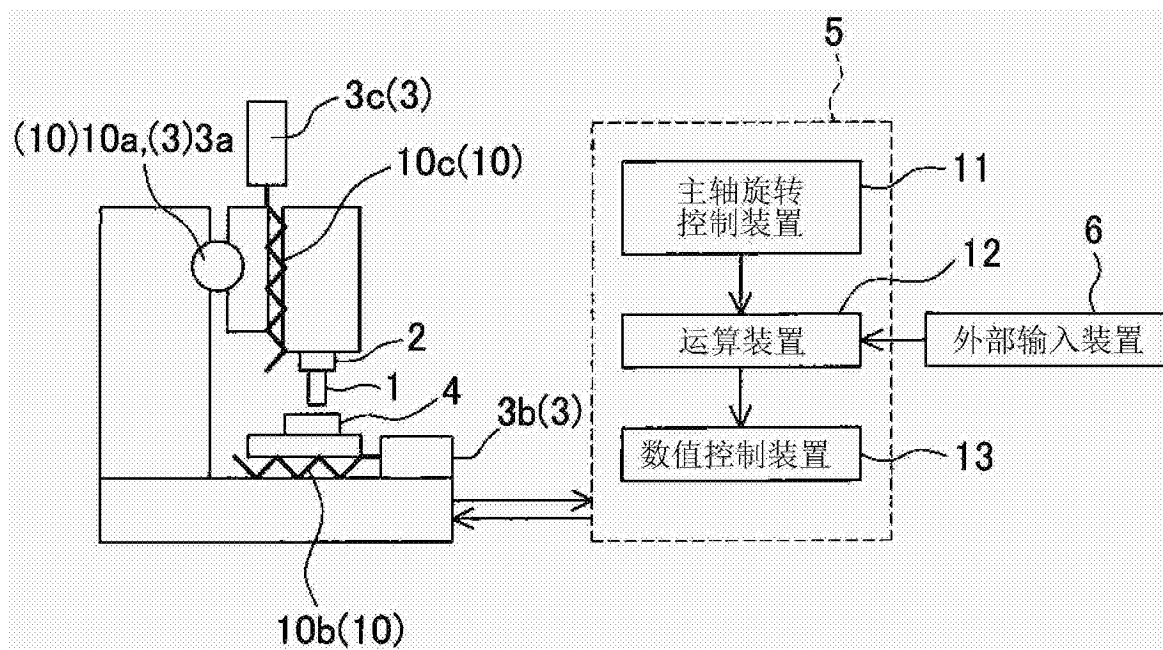


图1

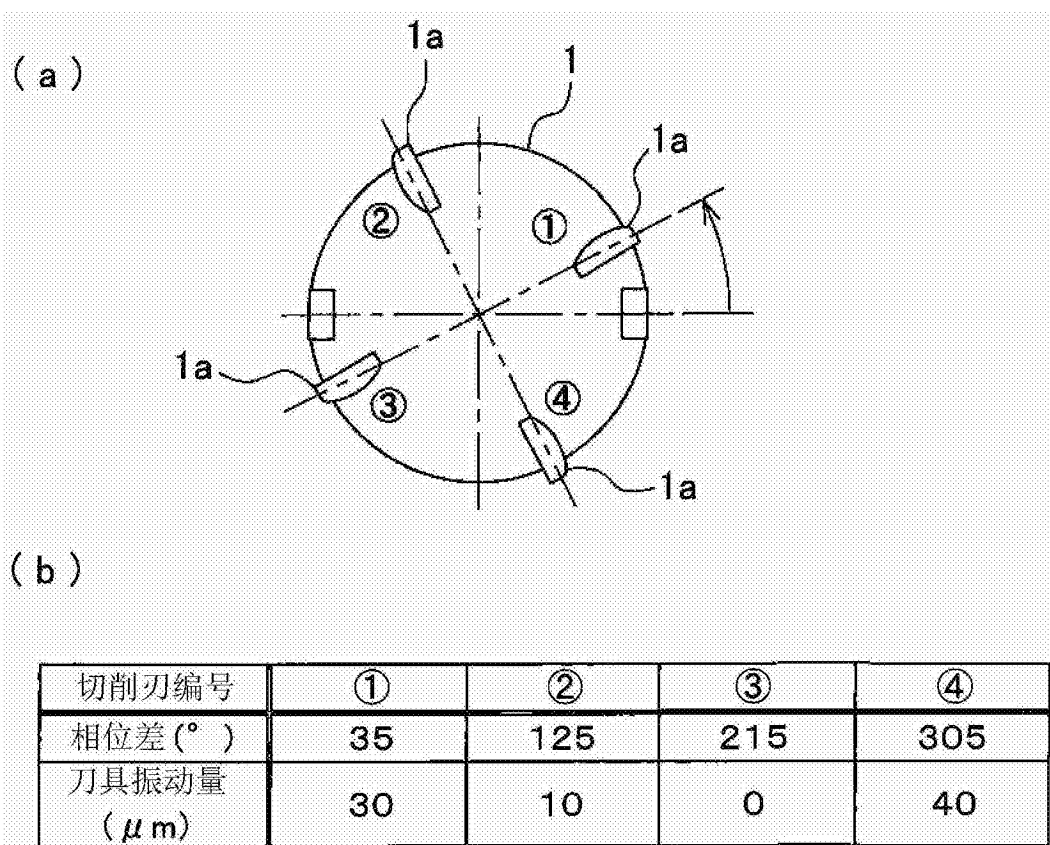


图2

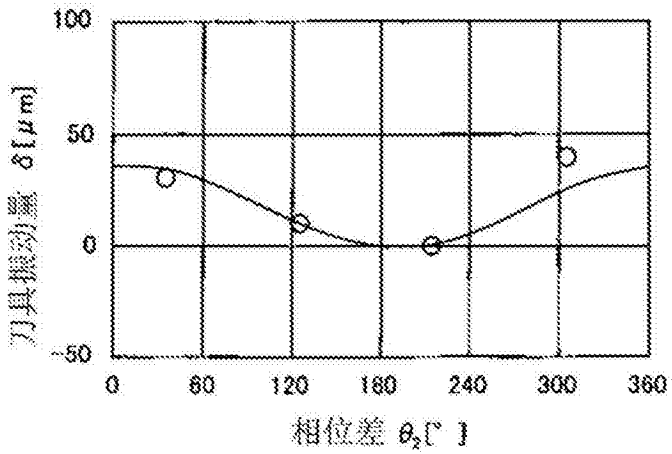


图3

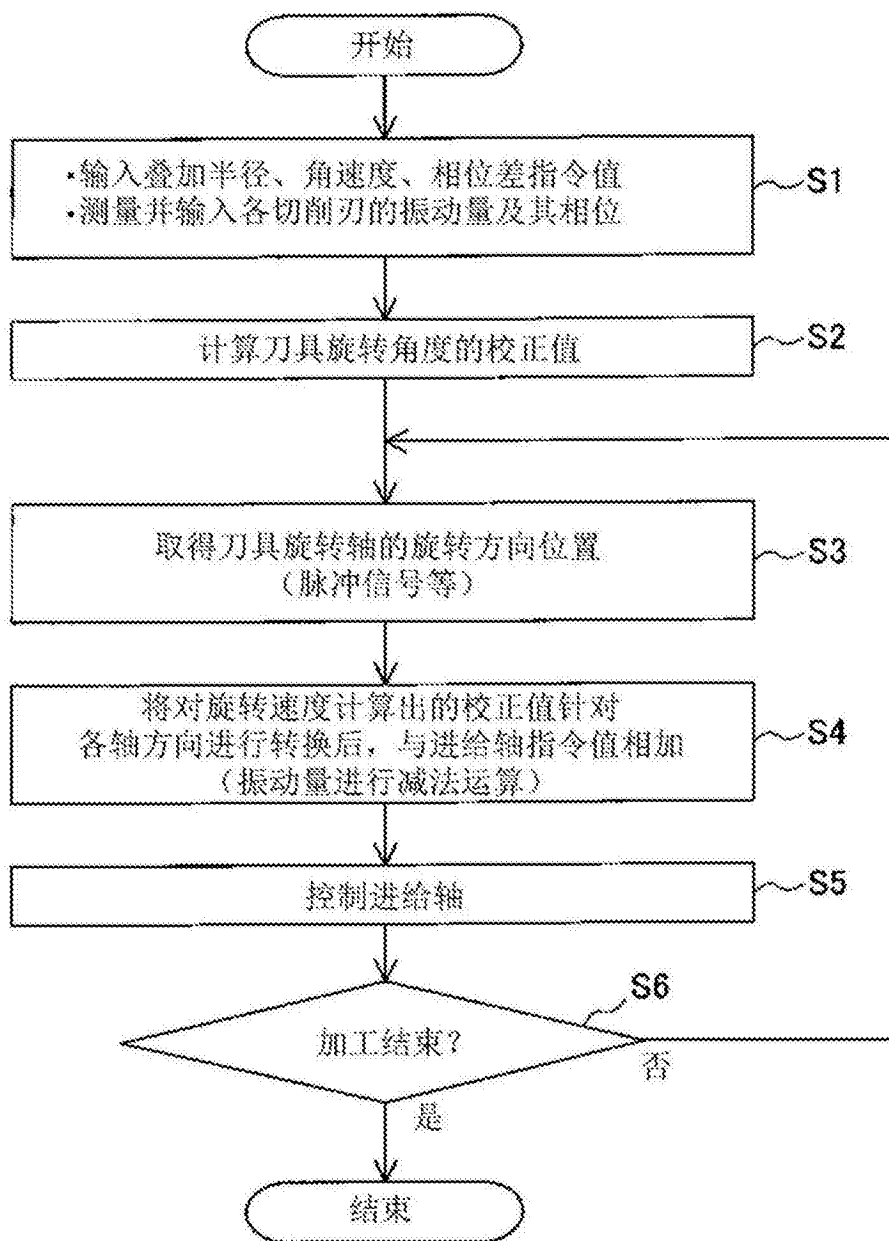


图4

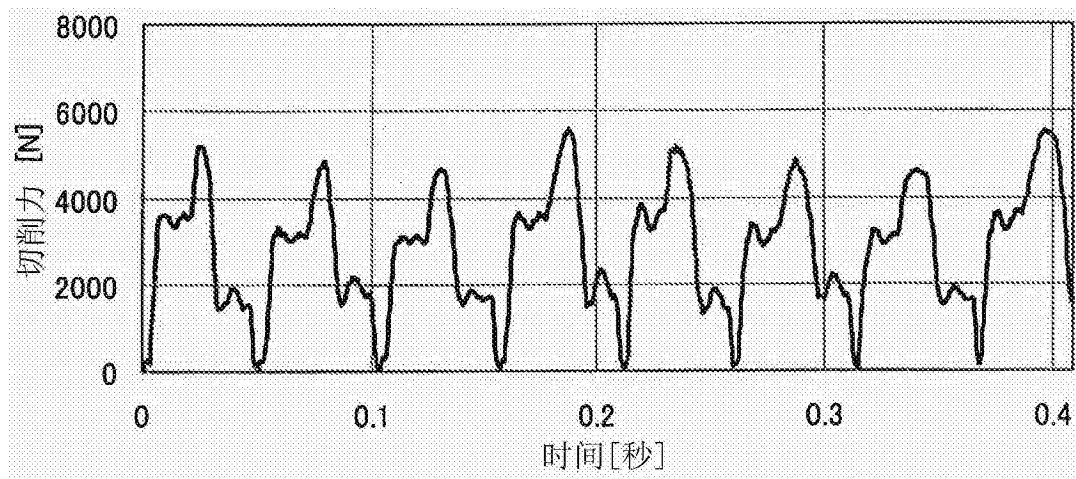


图5

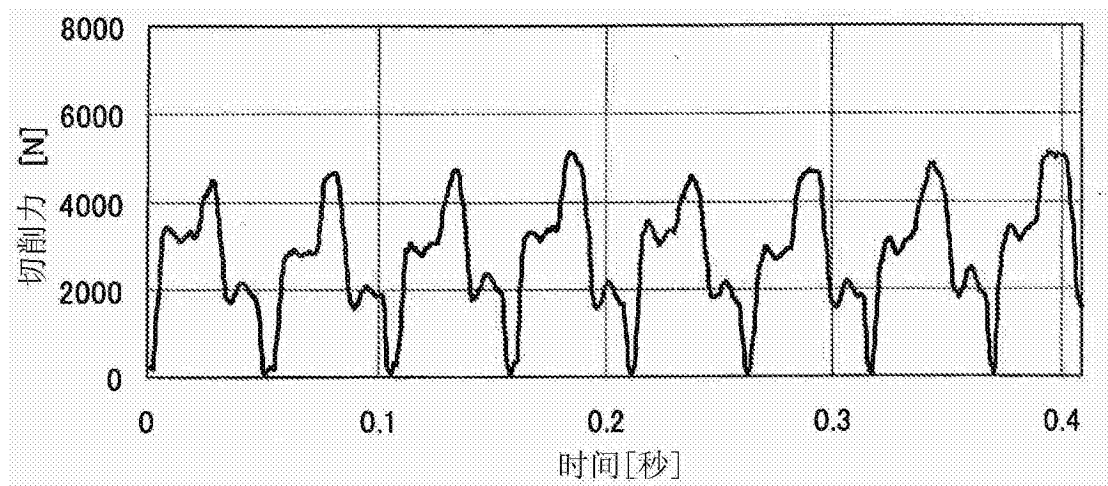


图6

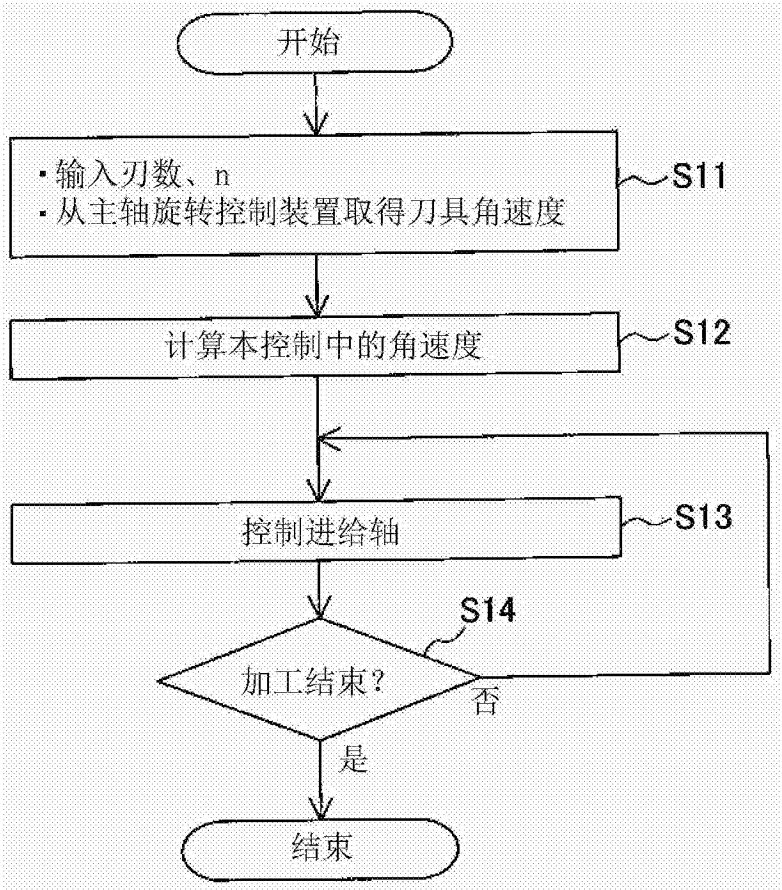


图7

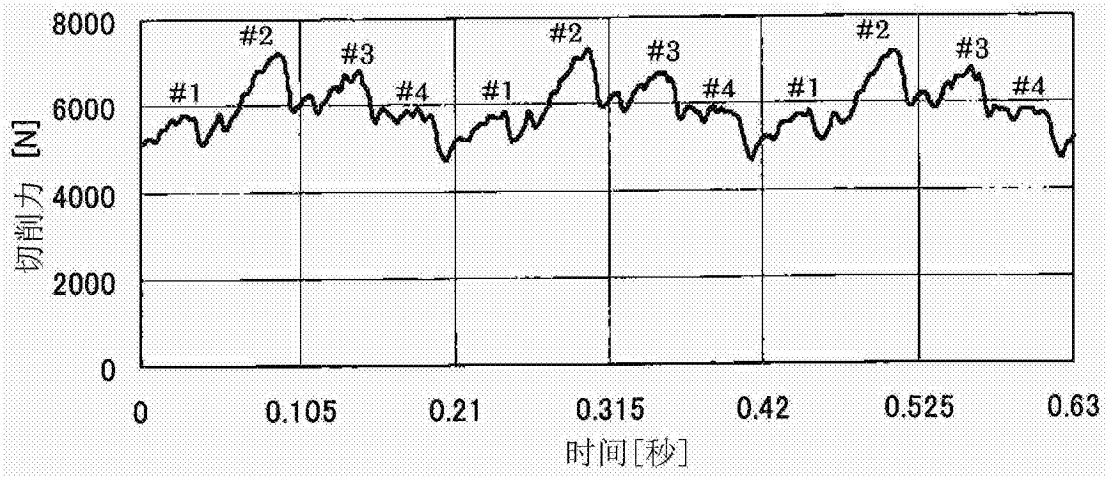


图8

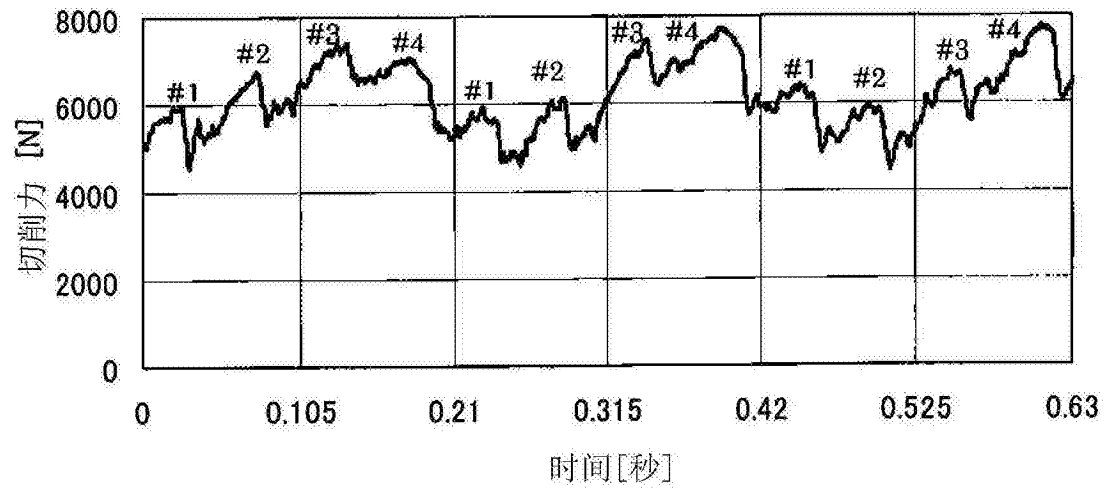


图9

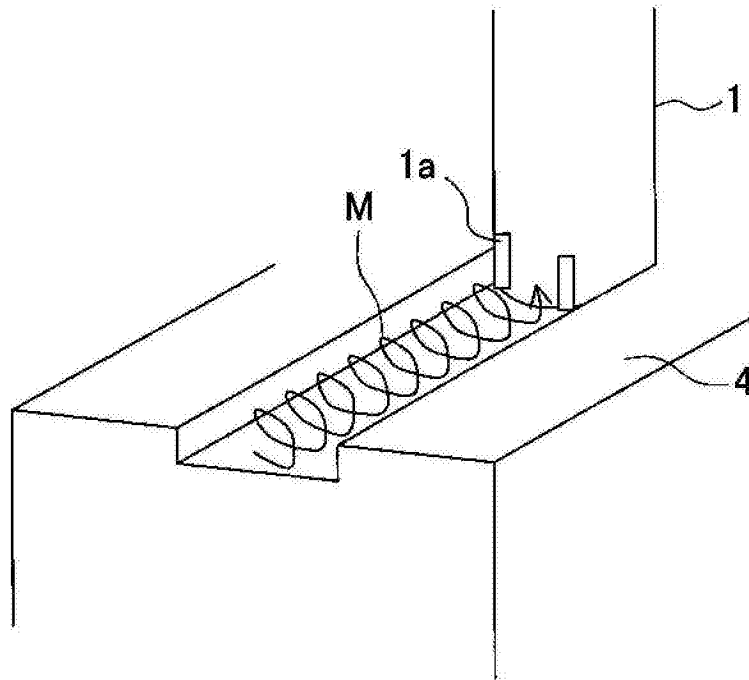


图10