



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 112074366 B

(45) 授权公告日 2024.02.13

(21) 申请号 201980013777.2
 (22) 申请日 2019.04.08
 (65) 同一申请的已公布的文献号
 申请公布号 CN 112074366 A
 (43) 申请公布日 2020.12.11
 (30) 优先权数据
 2018-078299 2018.04.16 JP
 (85) PCT国际申请进入国家阶段日
 2020.08.17
 (86) PCT国际申请的申请数据
 PCT/JP2019/015289 2019.04.08
 (87) PCT国际申请的公布数据
 W02019/203043 JA 2019.10.24
 (73) 专利权人 三菱重工业株式会社
 地址 日本东京都
 专利权人 国立大学法人东海国立大学机构
 (72) 发明人 社本英二 江藤润 喜多野聪
 杉原智实
 (74) 专利代理机构 北京市柳沈律师事务所
 11105
 专利代理师 曲天佐

(51) Int.Cl.
 B23C 5/10 (2006.01)
 (56) 对比文件
 JP 2006212744 A, 2006.08.17
 US 2008286058 A1, 2008.11.20
 CN 102264496 A, 2011.11.30
 JP 2009056533 A, 2009.03.19
 CN 103328142 A, 2013.09.25
 CN 1658992 A, 2005.08.24
 WO 2018003684 A1, 2018.01.04
 JP 2004074397 A, 2004.03.11
 JP 2002283121 A, 2002.10.03
 US 2010172703 A1, 2010.07.08
 US 2016271706 A1, 2016.09.22
 CN 206824730 U, 2018.01.02

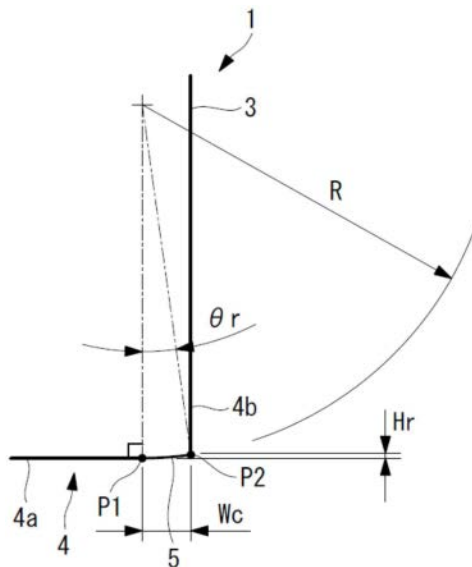
方子良.《机械制造技术基础》.上海交通大学出版社,2004,(第1版),第181页.
 上海市大专院校机械制造工艺学协作组.
 《机械制造工艺学》.福建科学技术出版社,1985,
 (第1版),第196页. (续)

审查员 严俊

权利要求书2页 说明书11页 附图8页

(54) 发明名称
 径向立铣刀及使用其的机床、径向立铣刀设计方法及加工方法

(57) 摘要
 提供一种径向立铣刀,其能够抑制颤振而提高加工稳定性。径向立铣刀(1)具备设置在工具主体(3)的前端部(4)的外周侧的圆弧刃(5),在包含工具主体(3)的中心轴线的纵剖面中,形成圆弧刃(5)的角度范围即刀尖(R)角度(θ_r)为 30° 以下。圆弧刃(5)在纵剖面中从工具主体(3)的前端部(4)的底面(4a)中的在与中心轴线正交的方向上具有切线的位置(P1)到侧面(4b)形成底面用圆弧刃。圆弧刃(5)的中心轴线方向上的尺寸即刀尖(R)高度(Hr)为 0.75mm 以下。



CN 112074366 B

[接上页]

(56) 对比文件

张益芳等. 金属切削手册.《金属切削手册》. 上海科学技术出版社, 2011, (第四版), 第7.8-

7.9页.

陈涛;李显创;王广越;刘献礼.带圆角圆弧头铣刀设计的关键技术.哈尔滨理工大学学报.2017, (第01期),全文.

1. 一种径向立铣刀,其中,

该径向立铣刀具备设置在工具主体的前端部的外周侧的圆弧刃,

所述圆弧刃在包含工具主体的中心轴线的纵剖面中从所述工具主体的所述前端部的底面中的至少在与所述中心轴线正交的方向上具有切线的位置到侧面形成成为底面用圆弧刃,

在包含所述工具主体的中心轴线的纵剖面中,形成所述底面用圆弧刃的角度范围为 30° 以下,

比较再生宽度(Wc0)使用底面用圆弧刃的圆弧的半径(R)、工具的中心轴线方向上的切入量(Ad)如下式确定,

$$Wc0=R \times \sin[\cos^{-1}((R-Ad)/R)],$$

以再生宽度(Wc)达到比较再生宽度(Wc0)的1/2以下的方式确定该底面用圆弧刃在所述中心轴线的方向上的高度(Hr)和底面用圆弧刃的角度(θ_r),

该底面用圆弧刃在所述中心轴线的方向上的尺寸为0.12mm以下。

2. 一种径向立铣刀,其中,

该径向立铣刀具备设置在工具主体的前端部的外周侧的圆弧刃,

所述圆弧刃在包含工具主体的中心轴线的纵剖面中从所述工具主体的所述前端部的侧面中的在与所述中心轴线平行的方向上具有切线的位置到所述前端部的底面形成成为侧面用圆弧刃,

在包含所述工具主体的中心轴线的纵剖面中,形成所述侧面用圆弧刃的角度范围为 30° 以下,

比较再生宽度(Wc0)使用侧面用圆弧刃的圆弧的半径(R)、工具的中心轴线正交方向上的切入量(Ad)如下式确定,

$$Wc0=R \times \sin[\cos^{-1}((R-Ad)/R)],$$

以再生宽度(Wc)达到比较再生宽度(Wc0)的1/2以下的方式确定该侧面用圆弧刃在所述中心轴线的正交方向上的高度(Hr)和侧面用圆弧刃的角度(θ_r),

该侧面用圆弧刃在与所述中心轴线的方向正交的方向上的尺寸为0.12mm以下。

3. 一种径向立铣刀,其中,

该径向立铣刀具备设置在工具主体的前端部的外周侧的圆弧刃,

所述圆弧刃分别在包含工具主体的中心轴线的纵剖面中从所述工具主体的所述前端部的底面中的至少在与所述中心轴线正交的方向上具有切线的位置到侧面形成成为底面用圆弧刃,以及,在所述纵剖面中从所述工具主体的所述前端部的侧面中的与所述中心轴线平行地具有切线的位置到所述前端部的底面形成成为侧面用圆弧刃,

在包含所述工具主体的中心轴线的纵剖面中,形成所述底面用圆弧刃的角度范围为 30° 以下,

比较再生宽度(Wc0)使用底面用圆弧刃的圆弧的半径(R)、工具的中心轴线方向上的切入量(Ad)如下式确定,

$$Wc0=R \times \sin[\cos^{-1}((R-Ad)/R)],$$

以再生宽度(Wc)达到比较再生宽度(Wc0)的1/2以下的方式确定该底面用圆弧刃在所述中心轴线的方向上的高度(Hr)和底面用圆弧刃的角度(θ_r),

该底面用圆弧刃在所述中心轴线的方向上的尺寸为0.12mm以下；

在包含所述工具主体的中心轴线的纵剖面中,形成所述侧面用圆弧刃的角度范围为30°以下,

比较再生宽度(Wc0)使用侧面用圆弧刃的圆弧的半径(R)、工具的中心轴线正交方向上的切入量(Ad)如下式确定,

$$Wc0=R \times \sin[\cos^{-1}((R-Ad)/R)],$$

以再生宽度(Wc)达到比较再生宽度(Wc0)的1/2以下的方式确定该侧面用圆弧刃在所述中心轴线的正交方向上的高度(Hr)和侧面用圆弧刃的角度(θ_r),

该侧面用圆弧刃在与所述中心轴线的方向正交的方向上的尺寸为0.12mm以下。

4.一种机床,其中,具备:

径向立铣刀,其为权利要求1至3中任一项所述的径向立铣刀;

驱动部,其固定所述径向立铣刀的基端部并使之绕该径向立铣刀的所述中心轴线旋转;

形成所述径向立铣刀的所述圆弧刃的圆弧形状的圆弧的半径是基于根据所述驱动部的转数以及切削进给速度计算出的每刃的进给量和加工时所要求的要求面粗糙度来确定的。

5.一种径向立铣刀设计方法,其中,该径向立铣刀设计方法是设计权利要求1至3中任一项所述的径向立铣刀的径向立铣刀设计方法,

所述径向立铣刀设计方法基于每刃的进给量和加工时所要求的要求面粗糙度来确定形成所述径向立铣刀的所述圆弧刃的圆弧形状的圆弧的半径,所述每刃的进给量是根据使径向立铣刀绕所述中心轴线旋转的驱动部的转数以及切削进给速度计算出的。

6.一种加工方法,其中,该加工方法是使用权利要求1至3中任一项所述的径向立铣刀进行加工的加工方法,具有:

工件固定工序,固定具有薄板部的工件;

加工工序,使用所述径向立铣刀加工所述薄板部;

所述加工工序在通过所述工件固定工序固定住所述工件的期间从不同方向对所述工件进行加工。

径向立铣刀及使用其的机床、径向立铣刀设计方法及加工方法

技术领域

[0001] 本发明涉及一种径向立铣刀及使用其的机床、径向立铣刀设计方法及加工方法。

背景技术

[0002] 例如,在用于航空器的构造部件中,从高精度化和轻量化的观点出发,正在推进薄壁化。例如,就以往通过钣金成型而形成的机身面板与框架的结合部件等(以下,简称为“结合部件”)而言,从轻量化和高精度化的观点出发,开始使用了通过机械加工而制作的结合部件。但是,机械加工一般会增加原材料费用,因此需要削减加工费。

[0003] 为了削减加工费,需要降低加工时间。为此,需要增大进给速度和切入量。但是,在将部件机械加工成与通过钣金成型而形成的部件相同的形状的情况下,由于原材料厚度薄,因此在增大切入量方面存在极限。因此,增大进给速度非常重要。

[0004] 作为增大进给速度时的注意点,有面粗糙度。面粗糙度 Rz [mm]使用每刃的进给量 fz [mm/tooth]和刀尖的圆弧刃的半径即刀尖 R [mm]通过下式来表示。

$$[0005] \quad Rz = fz^2 / (8 \times R) \cdots (1)$$

[0006] 由式(1)可知,为了提高每刃的进给量 fz ,需要增大刀尖 R 。

[0007] 另一方面,例如在航空器部件的机械加工中,多使用在工具的刀尖具有圆弧刃的径向立铣刀。不具有圆弧刃的方形立铣刀主要在进给方向上产生切削力,而径向立铣刀由于具有圆弧形状,因此在工具中心轴线方向上也产生切削力,有时在板厚方向上产生切削力。因此,径向立铣刀在具有薄板部的工件上容易产生颤振。特别是,在将工件的固定设为一次进行加工的单次装卡加工中,由于还进行在工件的薄板部的板厚方向上产生切削力的加工,因此无法避免颤振的产生。因此,尽管如式(1)所示需要增大刀尖 R ,但从对颤振的稳定性的观点出发,存在不得不减小刀尖 R 的问题。

[0008] 作为这种颤振的对策,有专利文献1以及专利文献2所公开的对策。在专利文献1中,公开了设置与圆弧刃连接的外周刃。在专利文献2中,公开了使相邻的螺旋槽之间的间距不同。

[0009] 另外,作为颤振,报告了再生型自激颤振(非专利文献1)。再生型自激颤振为,在前一刃切削时产生的振动作为加工面的起伏残留下来,该振动在当前的切削中作为切取厚度的变更再次产生。因此,构成了切削力变动而再次产生振动的闭环,在规定条件下振动成长而产生较大的颤振。

[0010] 现有技术文献

[0011] 专利文献

[0012] 专利文献1:日本特开2006-212744公报

[0013] 专利文献2:日本特开2013-176842号公报

[0014] 非专利文献

[0015] 非专利文献1:社本英二,“切削加工におけるびびり振動の発生機構と抑制(中文

译名:切削加工中的颤振的产生机制和抑制”,电气精钢(中文译名:电气精钢),82卷2号(2011年),143页-155页

发明内容

[0016] 发明所要解决的技术问题

[0017] 在上述专利文献1以及专利文献2中,没有对再生型自激颤振进行研究,因此作为颤振的降低并不充分。

[0018] 本发明人进行了深入研究,着眼于再生宽度根据设置在径向立铣刀的齿顶的圆弧刃的大小和形状而变化这一点。在此,所谓再生宽度,是成为再生型自激颤振的起因的尺寸,是指由一个刃切削的切削方向的尺寸、即圆弧刃与工件接触的切削方向上的尺寸。再生宽度越大,前一刃对再生时的振动的影响越大,因此越容易产生颤振,加工稳定性越低。

[0019] 鉴于上述情况,本发明的目的在于提供一种能够抑制颤振而提高加工稳定性的径向立铣刀及使用其的机床、径向立铣刀的设计方法及加工方法。

[0020] 用于解决技术问题的手段

[0021] 本发明的一方式的径向立铣刀具备设置在工具主体的前端部的外周侧的圆弧刃,在包含所述工具主体的中心轴线的纵剖面中,形成所述圆弧刃的角度范围为 30° 以下。

[0022] 通过将形成圆弧刃的角度范围(刀尖R角度 θ_r)设为 30° 以下,与将角度范围设为 90° 的情况相比能够使再生宽度为 $1/2$ 以下,能够抑制颤振而提高加工稳定性。

[0023] 作为角度范围的下限值,例如为 0.09° 。形成圆弧刃的圆弧形状的半径(刀尖R)例如为 1mm 以上 1000mm 以下。

[0024] 进一步地,在本发明的一方式的径向立铣刀中,所述圆弧刃在所述纵剖面中从所述工具主体的前端部的底面中的至少在与所述中心轴线正交的方向上具有切线的位置到侧面形成底面用圆弧刃,该底面用圆弧刃在所述中心轴线方向上的尺寸为 0.75mm 以下。

[0025] 通过使圆弧刃在纵剖面中从工具主体的前端部的底面中的在与工具主体的中心轴线正交的方向上具有切线的位置形成到侧面,从而提供底面加工用的径向立铣刀。通过将纵剖面中的圆弧刃在工具主体的中心轴线方向上的尺寸(刀尖R高度 H_r)设为 0.75mm 以下,与将圆弧刃的角度范围设为 90° 的情况相比能够使再生宽度为 $1/2$ 以下,能够抑制颤振而提高加工稳定性。

[0026] 作为刀尖R高度 H_r 的下限值,例如为 0.03mm 。

[0027] 进一步地,在本发明的一方式的径向立铣刀中,所述圆弧刃在所述纵剖面中从所述工具主体的所述前端部的侧面中的在与所述中心轴线平行的方向上具有切线的位置到所述前端部的底面形成侧面用圆弧刃,该侧面用圆弧刃在与所述中心轴线方向正交的方向上的尺寸为 0.75mm 以下。

[0028] 通过使圆弧刃在纵剖面中从工具主体的前端部的侧面中的在与工具主体的中心轴线平行的方向上具有切线的位置形成到前端部的底面,从而提供侧面加工用的径向立铣刀。通过将纵剖面中的圆弧刃在与工具主体的中心轴线方向正交的方向上的尺寸(刀尖R高度 H_r)设为 0.75mm 以下,与将圆弧刃的角度范围设为 90° 的情况相比能够使再生宽度为 $1/2$ 以下,能够抑制颤振而提高加工稳定性。

[0029] 作为刀尖R高度 H_r 的下限值,例如为 0.03mm 。

[0030] 进一步地,在本发明的一方式的径向立铣刀中,所述圆弧刃在所述纵剖面中从所述工具主体的前端部的底面中的至少在与所述中心轴线正交的方向上具有切线的位置到侧面形成底面用圆弧刃,该底面用圆弧刃在所述中心轴线方向上的尺寸为0.75mm以下,并且,该圆弧刃在所述纵剖面中从所述工具主体的所述前端部的侧面中的与所述中心轴线平行地具有切线的位置到所述前端部的底面形成侧面用圆弧刃,该侧面用圆弧刃在与所述中心轴线方向正交的方向上的尺寸为0.75mm以下。

[0031] 通过使底面用圆弧刃在纵剖面中从工具主体的前端部的底面中的在与工具主体的中心轴线正交的方向上具有切线的位置形成到侧面,且使侧面用圆弧刃在纵剖面中从工具主体的前端部的侧面中的与工具主体的中心轴线平行地具有切线的位置形成到前端部,从而提供可底面加工和侧面加工的混合加工用的径向立铣刀。通过将底面用圆弧刃在工具主体的中心轴线方向上的尺寸为0.75mm以下,且将侧面用圆弧刃在与工具主体的中心轴线方向正交的方向上的尺寸设为0.75mm以下,与将圆弧刃的角度范围设为90°的情况相比能够使再生宽度为1/2以下,能够抑制颤振而提高加工稳定性。

[0032] 另外,本发明的一方式的机床具备:径向立铣刀,其为上述任一项所述的径向立铣刀;驱动部,其固定所述径向立铣刀的基端部并使之绕该径向立铣刀的所述中心轴线旋转;形成所述径向立铣刀的所述圆弧刃的圆弧形状的圆弧的半径是基于根据所述驱动部的转数以及切削进给速度计算出的每刃的进给量和加工时所要求的要求面粗糙度来确定的。

[0033] 根据驱动部的转数以及切削进给速度计算每刃的进给量。根据该每刃的进给量和加工时所要求的要求面粗糙度(例如图纸上要求的面粗糙度),确定径向立铣刀的圆弧刃的半径。由此,能够在满足要求面粗糙度的任意的切削条件下抑制颤振而进行稳定的加工。

[0034] 如果使用驱动部的最大的转数以及切削进给速度来确定圆弧刃的半径,则能够使加工速度最大化。

[0035] 另外,本发明的一方式的径向立铣刀设计方法是设计上述任一项所述的径向立铣刀的径向立铣刀设计方法,该径向立铣刀设计方法基于每刃的进给量和加工时所要求的要求面粗糙度来确定形成所述径向立铣刀的所述圆弧刃的圆弧形状的圆弧的半径,所述每刃的进给量是根据使径向立铣刀绕所述中心轴线旋转的驱动部的转数以及切削进给速度计算出的。

[0036] 根据驱动部的转数以及切削进给速度计算每刃的进给量。根据该每刃的进给量和加工时所要求的要求面粗糙度(例如图纸上要求的面粗糙度),确定径向立铣刀的圆弧刃的半径。由此,能够在满足要求面粗糙度的任意的切削条件下进行抑制颤振的加工。

[0037] 如果使用驱动部的最大的转数以及切削进给速度来确定圆弧刃的半径,则能够使加工速度最大化。

[0038] 本发明的一方式的加工方法是使用上述任一项所述的径向立铣刀进行加工的加工方法,该加工方法具有:工件固定工序,固定具有薄板部的工件;加工工序,使用所述径向立铣刀加工所述薄板部;所述加工工序在通过所述工件固定工序固定住所述工件的期间从不同方向对所述工件进行加工。

[0039] 由于使用上述的径向立铣刀,因此即使是具有薄板部的工件,也能够抑制颤振。另外,即使在固定住工件的期间从不同方向进行加工也能够抑制颤振,因此能够进行单次装卡加工,能够高效率地进行加工。

[0040] 注意,所谓“从不同方向对工件进行加工”,例如是指在底面加工的情况下在与工具主体的中心轴线垂直的垂直方向上进行加工,在侧面加工的情况下在与工具主体的中心轴线平行的平行方向上进行加工。在此,对于垂直方向以及平行方向,允许在圆弧刃的角度范围内倾斜。

[0041] 发明效果

[0042] 由于将圆弧刃的角度范围设为 30° 以下而减小了再生宽度,因此能够抑制颤振而提高加工稳定性。

附图说明

[0043] 图1是本发明的第一实施方式的径向立铣刀的侧视图。

[0044] 图2是示出图1的A部的细节的放大图。

[0045] 图3是相对于刀尖R示出刀尖R高度 H_r 的图表。

[0046] 图4是示出刀尖R角度 θ_r 的图表。

[0047] 图5是本发明的第二实施方式的径向立铣刀的侧视图。

[0048] 图6是示出图5的A'部的细节的放大图。

[0049] 图7是本发明的第三实施方式的径向立铣刀的侧视图。

[0050] 图8是示出图7的A''部的细节的放大图。

具体实施方式

[0051] 以下,参照附图对本发明的各实施方式进行说明。

[0052] [第一实施方式]

[0053] 图1中示出了本实施方式的径向立铣刀1。该图中,径向立铣刀1通过将工具主体3的柄部固定在机床的主轴(驱动部)上而绕中心轴线L1旋转。

[0054] 径向立铣刀1的直径(工具直径)在一体型立铣刀的情况下为4mm以上32mm以下。注意,在刃尖更换式刀具的情况下,工具直径的上限为200mm以上。在径向立铣刀1的工具主体3的前端部4的底面的外周侧设有圆弧刃5。以下,将形成圆弧刃5的圆弧的半径称为刀尖R[mm]。该图中的径向立铣刀1在沿工具径向切入加工的底面加工中使用。在使前端部4以正对的方式朝向工件的特别是被设为薄板的板状部的表面,沿表面的延伸方向相对地进给工件而进行底面加工时,容易产生再生颤振。

[0055] 该图所示的径向立铣刀1的刃数为2。但是,刃数只要为2以上即可。在圆弧刃5的内周侧(中心轴线L1侧),形成有与工具主体3侧相比凹陷的后隙面6。

[0056] 径向立铣刀1的与前端部4相反的一侧的端部即基端部7为柄部,固定在机床的主轴(驱动部)的卡盘上。

[0057] 图2中示出了图1的A部的细节。圆弧刃5在包含中心轴线L1(参照图1)的纵剖面中从工具主体3的前端部4的底面4a中的在与中心轴线L1正交的方向(在该图中为水平方向)上具有切线的位置P1到与侧面4b交叉的位置P2形成为底面用圆弧刃。注意,圆弧刃5也可以设置成比位置P1更向中心轴线L1侧延长。由此,能够与设置在中心轴线L1侧的底刃平滑地连接。

[0058] 圆弧刃5的中心轴线L1方向(在该图中为上下方向)上的尺寸即刀尖R高度 H_r 为

0.75mm以下。形成圆弧刃5的圆弧的半径即刀尖R为1mm以上1000mm以下。形成圆弧刃5的角度范围即刀尖R角度 θ_r 为 30° 以下。

[0059] 刀尖R角度 θ_r 使用刀尖R高度 H_r 和刀尖R如下式所示。

$$[0060] \quad \theta_r = \cos^{-1}((R - H_r)/R) \cdots (2)$$

[0061] 圆弧刃5的与中心轴线L1正交的方向(在该图中为水平方向)上的尺寸为再生宽度 W_c 。再生宽度 W_c 是成为再生型自激颤振的起因的尺寸,是指由一个刃切削的切削方向的尺寸、即圆弧刃5与工件接触的切削方向(在图2中为水平方向)上的尺寸。再生宽度 W_c 越大,前一刃对再生时的振动的影响越大。

[0062] 再生宽度 W_c 使用式(2)如下式所示。

$$[0063] \quad W_c = R \times \sin \theta_r = R \times \sin[\cos^{-1}((R - H_r)/R)] \cdots (3)$$

[0064] [刀尖R高度 H_r 和刀尖R角度 θ_r 的范围]

[0065] 接着,对图2所示的刀尖R高度 H_r 和刀尖R角度 θ_r 的设定范围进行说明。

[0066] 成为比较对象的比较再生宽度 W_{c0} 如下式那样确定。

$$[0067] \quad W_{c0} = R \times \sin[\cos^{-1}((R - A_d)/R)] \cdots (4)$$

[0068] 在上式中, A_d 是中心轴线L1方向上的切入量。即,式(4)所示的比较再生宽度 W_{c0} 是指将刀尖R高度设定为切入量 A_d 。注意,当切入量 A_d 比刀尖R大时($R < A_d$),设为 $A_d = R$ (即刀尖R角度上限为 90°)。

[0069] 由于再生型颤振受再生宽度 W_c 的影响,因此若以达到比较再生宽度 W_{c0} 的1/2以下(即 W_{c0}/W_c 为2以上)的方式确定刀尖R高度 H_r 和刀尖R角度 θ_r ,则再生型颤振如下表所示。

[0070] [表1]

[0071]

| 轴向切入 Ad | 0.5 | | | | | | | | | | | | | | | |
|----------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|
| 刀尖R [mm] | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 25.4 | 50 | 500 |
| 刀尖R 高度 Hr | 0.09 | 0.11 | 0.11 | 0.11 | 0.12 | 0.12 | 0.12 | 0.12 | 0.12 | 0.12 | 0.12 | 0.12 | 0.12 | 0.12 | 0.12 | 0.12 |
| 刀尖R 角度 θ_r | 24.5 | 19.1 | 15.6 | 13.5 | 12.6 | 11.5 | 10.6 | 9.9 | 9.4 | 8.9 | 8.5 | 8.1 | 7.8 | 5.6 | 4.0 | 1.3 |
| 再生 宽度 Wc | 0.41 | 0.65 | 0.80 | 0.93 | 1.09 | 1.19 | 1.29 | 1.38 | 1.46 | 1.54 | 1.62 | 1.69 | 1.76 | 2.47 | 3.46 | 10.95 |
| 刀尖R 接触角 θ | 60.0 | 41.4 | 33.6 | 29.0 | 25.8 | 23.6 | 21.8 | 20.4 | 19.2 | 18.2 | 17.3 | 16.6 | 15.9 | 11.4 | 8.1 | 2.6 |
| 再生 宽度 Wc0 | 0.87 | 1.32 | 1.66 | 1.94 | 2.18 | 2.40 | 2.60 | 2.78 | 2.96 | 3.12 | 3.28 | 3.43 | 3.57 | 5.01 | 7.05 | 22.36 |
| 再生宽度比较 (Wc0/Wc) | 2.09 | 2.02 | 2.06 | 2.08 | 2.00 | 2.01 | 2.01 | 2.02 | 2.02 | 2.02 | 2.02 | 2.02 | 2.03 | 2.03 | 2.04 | 2.04 |

[0072] 在下表中,示出了改变切入量Ad,整理本实施方式的刀尖R高度Hr以使Wc0/Wc为2以上的情况。

[0073] [表2]

[0074] 关于刀尖R高度Hr

| 刀尖R [mm] | 1 | 3 | 5 | 10 | 25.4 | 50 | 500 | 1000 |
|-------------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Ad0.5 | 0.09 | 0.11 | 0.11 | 0.12 | 0.12 | 0.12 | 0.12 | 0.12 |
| Ad1.0 | 0.13 | 0.21 | 0.23 | 0.24 | 0.24 | 0.24 | 0.25 | 0.25 |
| Ad1.5 | 0.13 | 0.29 | 0.33 | 0.35 | 0.36 | 0.37 | 0.37 | 0.37 |
| Ad2.0 | 0.13 | 0.35 | 0.41 | 0.46 | 0.48 | 0.49 | 0.5 | 0.5 |
| Ad2.5 | 0.13 | 0.39 | 0.49 | 0.56 | 0.6 | 0.61 | 0.62 | 0.62 |
| Ad3.0 | 0.13 | 0.4 | 0.56 | 0.66 | 0.71 | 0.73 | 0.75 | 0.75 |

[0075] 若将上面的表2以图表表示,则为图3所示。在该图中,作为参考,描绘了现有的为了底面精加工而使刀尖R高度Hr比刀尖R小的径向立铣刀的数值。由该图可知,考虑到粗加工中设想的最大切入,在切入量Ad为3.0mm以下、刀尖R为1mm以上1000mm以下的情况下,如果在以下的刀尖R高度Hr的范围内,则相对于比较例能够得到2倍以上的稳定性。

[0077] 刀尖R高度 $H_r \leq 0.75\text{mm} \cdots (5)$

[0078] 在下表中,示出了改变切入量Ad,整理本实施方式的刀尖R角度 θ_r 以使 W_{c0}/W_c 为2以上的情况。

[0079] [表3]

[0080] 关于刀尖R角度 θ_r

| 刀尖R [mm] | 1 | 3 | 5 | 10 | 25.4 | 50 | 500 | 1000 |
|-------------|------|------|------|------|------|-----|-----|------|
| Ad0.5 | 24.5 | 15.6 | 12.0 | 8.7 | 5.6 | 4.0 | 1.3 | 0.9 |
| Ad1.0 | 29.5 | 21.6 | 17.4 | 12.6 | 7.9 | 5.6 | 1.8 | 1.3 |
| Ad1.5 | 29.5 | 25.4 | 20.9 | 15.2 | 9.7 | 7.0 | 2.2 | 1.6 |
| Ad2.0 | 29.5 | 28.0 | 23.4 | 17.4 | 11.2 | 8.0 | 2.6 | 1.8 |
| Ad2.5 | 29.5 | 29.5 | 25.6 | 19.3 | 12.5 | 9.0 | 2.9 | 2.0 |
| Ad3.0 | 29.5 | 29.9 | 27.4 | 20.9 | 13.6 | 9.8 | 3.1 | 2.2 |

[0081] 若将上面的表3以图表表示,则为图4所示。在该图中,作为参考,描绘了图3所示的现有的为了底面精加工而使刀尖R高度Hr比刀尖R小的径向立铣刀的数值。由该图可知,考虑到粗加工中设想的最大切入,在切入量Ad为3.0mm以下、刀尖R为1mm以上1000mm以下的情况下,如果在以下的刀尖R角度 θ_r 的范围内,则相对于比较例能够得到2倍以上的稳定性。

[0083] $0^\circ < \text{刀尖R角度} \theta_r \leq 30^\circ \cdots (6)$

[0084] 注意,根据刀尖R与刀尖R角度 θ_r 的关系,即使切入量Ad变大,刀尖R角度 θ_r 的上限也为 30° 。这是因为,在 $Ad \geq R$ 的情况下,如上所述, $W_{c0} = R$,若将本实施方式的再生宽度 W_c 设为 W_{c0} 的1/2,则根据式(3), $\theta_r = 30^\circ$ 。此时的刀尖R高度Hr为 $R \times (1 - 31/2/2)$ 。

[0085] [刀尖R的确定]

[0086] 接着,对刀尖R的确定方法进行说明。

[0087] 刀尖R是基于每刃的进给量和加工时所要求的、具体而言是图纸上所要求的要求面粗糙度来确定的。

[0088] 在机床的切削进给速度F[mm/min]、机床的主轴的主轴转数S[/min]、刃数N的情况下,每刃的进给量 f_z [mm/tooth]由下式表示。

$$[0089] \quad f_z = F/S/N \cdots (7)$$

[0090] 作为机床的机械制约,在切削进给速度F上存在最大切削进给速度 F_{max} ,在主轴转数S上存在最大主轴转数 S_{max} 。从削减加工时间的观点出发,优选接近该最大值即 F_{max} 地进行加工。

[0091] 面粗糙度 R_z 由下式表示。

$$[0092] \quad R_z = f_z^2 / (8 \times R) \cdots (8)$$

[0093] 使用式(7)以及式(8),利用面粗糙度 R_z 和每刃的进给量 f_z ,如下式所示地表示刀尖R。

$$[0094] \quad R = A \times f_z^2 / (8 \times R_z) \cdots (9)$$

[0095] 在此,A是考虑了实际加工的系数,例如为2以上4以下。

[0096] 注意,刀尖R高度 H_r 优选不仅考虑边缝高度(へムステッチ高さ)(面粗糙度 R_z),还考虑中心轴线L1方向的振动振幅 V_r [mm]来设定。

$$[0097] \quad H_r = R_z + V_r \cdots (10)$$

[0098] 如上式(9)所示,刀尖R由每刃的进给量 f_z 和要求面粗糙度确定,该每刃的进给量 f_z 由机床的切削进给速度F和主轴转数S确定。

[0099] [加工方法]

[0100] 接着,对使用了本实施方式的径向立铣刀1的加工方法进行说明。

[0101] 成为加工对象的工件具有通过钣金加工而成型出的形状,例如具有将航空器的机身面板和框架结合的结合部件那样的薄板部。

[0102] 首先,在机床的工件固定部固定切削前的工件(工件固定工序)。

[0103] 然后,将径向立铣刀1的基端部7(参照图1)固定在机床的主轴上。

[0104] 通过使主轴旋转,使径向立铣刀1绕中心轴线L1旋转,进行工件的切削(加工工序)。本实施方式的径向立铣刀1由于用于底面加工,因此在中心轴线L1方向上以切入量 A_d 进行切入,在与中心轴线L1正交的方向上相对于工件以切削进给速度F进给径向立铣刀1。

[0105] 机床为多轴(例如5轴或6轴)控制,在加工时使径向立铣刀1从不同角度对工件进行加工。即,通过一次准备作业(单次装卡),对工件的多个面进行加工。

[0106] 如上所述,根据本实施方式,起到了以下的作用效果。

[0107] 通过将底面加工用的径向立铣刀1的圆弧刃5的刀尖R角度 θ_r 设为 30° 以下,与像比较例(参照表1)那样将圆弧刃的角度范围设为 90° 的情况相比能够将使再生宽度为 $1/2$ 以下,能够抑制颤振而提高加工稳定性。

[0108] 通过将底面加工用的径向立铣刀1的圆弧刃5在工具主体3的中心轴线L1方向上的尺寸即刀尖R高度 H_r 设为 0.75mm 以下,与像比较例(参照表1)那样将圆弧刃的角度范围设为 90° 的情况相比能够使再生宽度为 $1/2$ 以下,能够抑制颤振而提高加工稳定性。

[0109] 根据机床的主轴的主轴转数 S 以及切削进给速度 F 计算每刃的进给量 f_z 。根据该每刃的进给量 f_z 和加工时所要求的要求面粗糙度 R_z ,确定径向立铣刀1的圆弧刃5的半径即刀尖 R 。由此,能够在满足要求面粗糙度的任意的切削条件下抑制颤振而进行稳定的加工。

[0110] 由于使用本实施方式的径向立铣刀1进行加工,因此根据本实施方式的加工方法,即使是结合部件那样的具有薄板部的工件,也能够抑制颤振。另外,即使在固定住工件的期间从不同方向进行加工也能够抑制颤振,因此能够进行单次装卡加工,能够高效率地进行加工。

[0111] 注意,所谓在固定住工件的期间从不同方向进行加工,例如是指在底面加工的情况下在与工具主体3的中心轴线 L_1 垂直的垂直方向上进行加工,在侧面加工的情况下在与工具主体3的中心轴线 L_1 平行的平行方向上进行加工。在此,对于垂直方向以及平行方向,允许在圆弧刃5的角度范围内倾斜。

[0112] 实施例

[0113] 接着,对上述实施方式的一实施例进行说明。在下表中,记载了本实施例的环面铣刀的各参数和使用该环面铣刀进行加工的机床的各参数。注意,工具直径为20mm。

[0114] [表4]

| | | | | |
|--------|--------------|----------------------|--------|-------------------|
| [0115] | 本实施例 刀尖形状 | 转数 S | 18000 | min ⁻¹ |
| | | 进给 F | 13000 | mm/min |
| | | 刃数 N | 2 | |
| | | 每刃进给 f_z | 0.361 | mm/tooth |
| | | 要求面粗糙度 R_z | 0.0128 | mm |
| | | 系数 A | 4 | |
| | | 刀尖 R | 5 | mm |
| | | 轴向振动振幅 V_r | 0.035 | mm |
| | | 刀尖 R 高度 H_r | 0.05 | mm |
| | | 刀尖 R 角度 θ_r | 0.14 | rad |
| | | 刀尖 R 角度 θ_r | 7.93 | deg |
| | | 再生宽度 W_c | 0.69 | mm |

[0116] 与此相对,现有的径向立铣刀的各参数如下表所示。表5是用于粗加工的径向立铣刀,表6是用于精加工的径向立铣刀。工具直径为20mm。注意,在下表中, R 部接触角 θ 是指刀尖 R 与工件的接触角。在本实施例的情况下,刀尖 R 角度= R 部接触角。

[0117] [表5]

| | | | | |
|--------|----------------------|-------------------|-------|-----|
| [0118] | 现有 径向立铣刀 (粗加工) | 轴向切入量 | 3 | mm |
| | | R 部接触角 θ | 1.159 | rad |
| | | R 部接触角 θ | 66.42 | deg |
| | | 再生宽度 | 4.58 | mm |
| | | 再生宽度比比较 | 7 | |

[0119] [表6]

| | | | | |
|--------|----------------------|----------------|-------|-----|
| [0120] | 现有 径向立铣刀 (粗加工) | 轴向切入量 | 0.5 | mm |
| | | R部接触角 θ | 0.451 | rad |
| | | R部接触角 θ | 25.84 | deg |
| | | 再生宽度 | 2.18 | mm |
| | | 再生宽度比较 | 3 | |

[0121] 由上述的表4~表6可知,对于底面加工用的径向立铣刀,本实施例的再生宽度相对于现有的径向立铣刀的再生宽度,在粗加工中为7倍,在精加工中为3倍,能够大幅度降低颤振。另外,实际对结合部件进行加工时,在现有的径向立铣刀中产生了颤振,但在本实施例的径向立铣刀中,即使在相同条件下进行加工,也没有产生颤振。

[0122] [第二实施方式]

[0123] 第一实施方式用于底面加工,而本实施方式用于侧面加工,这一点有所不同。因此,在以下的说明中,对与第一实施方式的不同点进行说明,对相同的结构标注相同的附图标记并省略其说明。

[0124] 图5中示出了本实施方式的径向立铣刀1'。在径向立铣刀1'的工具主体3的前端部4的侧面4b上设有圆弧刃5'。该图中的径向立铣刀1'在沿工具主体3的中心轴线L1方向切入加工的侧面加工中使用。

[0125] 图6中示出了图5的A'部的细节。圆弧刃5'在包含中心轴线L1的纵剖面中从工具主体3的前端部4的侧面4b中的在与中心轴线L1平行的方向(在该图中为上下方向)上具有切线的位置P3到与底面4a交叉的位置P4形成为侧面用圆弧刃。圆弧刃5'的与中心轴线L1正交的方向(在该图中为水平方向)上的尺寸即刀尖R高度 $H_{r'}$ 为0.75mm以下。形成圆弧刃5'的圆弧的半径即刀尖R'为1mm以上1000mm以下。形成圆弧刃5'的角度范围即刀尖R角度 $\theta_{r'}$ 大于 0° 且为 30° 以下。

[0126] 再生宽度 $W_{c'}$ 与刀尖R高度 $H_{r'}$ 相同($W_{c'} = H_{r'}$)。

[0127] 本实施方式相对于根据与切入量相当的尺寸而取再生宽度 W_{c0} 的比较例,与第一实施方式同样地使再生宽度 $W_{c'}$ 为1/2以下,因此能够抑制颤振。因此,其他作用效果也与第一实施方式相同。

[0128] [第三实施方式]

[0129] 本实施方式是组合了底面加工用的第一实施方式的圆弧刃5和侧面加工用的第二实施方式的圆弧刃5'的混合型的径向立铣刀1''。

[0130] 图7中示出了本实施方式的径向立铣刀1''。在径向立铣刀1''的工具主体3的前端部4的底面4a上设有圆弧刃5,在侧面4b上设有圆弧刃5'。该图中的径向立铣刀1''能够进行使用圆弧刃5的底面加工和使用圆弧刃5'的侧面加工。

[0131] 图8中示出了图7的A''部的细节。

[0132] 圆弧刃5在包含中心轴线L1的纵剖面中从工具主体3的前端部4的底面4a中的在与中心轴线L1正交的方向(在该图中为水平方向)上具有切线的位置P1到与侧面4b交叉的位置P2形成为底面用圆弧刃。圆弧刃5的中心轴线L1方向(在该图中为上下方向)上的尺寸即刀尖R高度 H_r 为0.75mm以下。形成圆弧刃5的圆弧的半径即刀尖R为1mm以上1000mm以下。形成圆弧刃5的角度范围即刀尖R角度 θ_r 大于 0° 且为 30° 以下。

[0133] 圆弧刃5' 在包含中心轴线L1的纵剖面中从工具主体3的前端部4的侧面4b中的在与中心轴线L1平行的方向(在该图中为上下方向)上具有切线的位置P3到与底面4a交叉的位置P4(与位置P2相同的位置)形成为侧面用圆弧刃。圆弧刃5' 的与中心轴线L1正交的方向(在该图中为水平方向)上的尺寸即刀尖R高度 $H_{r'}$ 为0.75mm以下。形成圆弧刃5' 的圆弧的半径即刀尖R' 为1mm以上1000mm以下。形成圆弧刃5' 的角度范围即刀尖R角度 $\theta_{r'}$ 大于 0° 且为 30° 以下。

[0134] 再生宽度 $W_{c'}$ 为 $R' \times \sin\theta_{r'} + H_{r'}$ 。

[0135] 本实施方式相对于根据与切入量相当的尺寸而取再生宽度 W_{c0} 的比较例,与第一实施方式以及第二实施方式同样地使再生宽度 $W_{c'}$ 为1/2以下,因此能够抑制颤振。因此,其他作用效果也与第一实施方式以及第二实施方式相同。

[0136] 附图标记说明

[0137] 1、1'、1'' 径向立铣刀

[0138] 3 工具主体

[0139] 4 前端部

[0140] 4a 底面

[0141] 4b 侧面

[0142] 5、5' 圆弧刃

[0143] 6 后隙面

[0144] 7 基端部

[0145] Ad 切入量

[0146] F 切削进给速度

[0147] f_z 每刃的进给量

[0148] H_r 、 $H_{r'}$ 刀尖R高度

[0149] L1 中心轴线

[0150] N 刃数

[0151] R 、 R' 刀尖R(圆弧刃的半径)

[0152] R_z 面粗糙度

[0153] S 主轴转数

[0154] θ_r 、 $\theta_{r'}$ 刀尖R角度

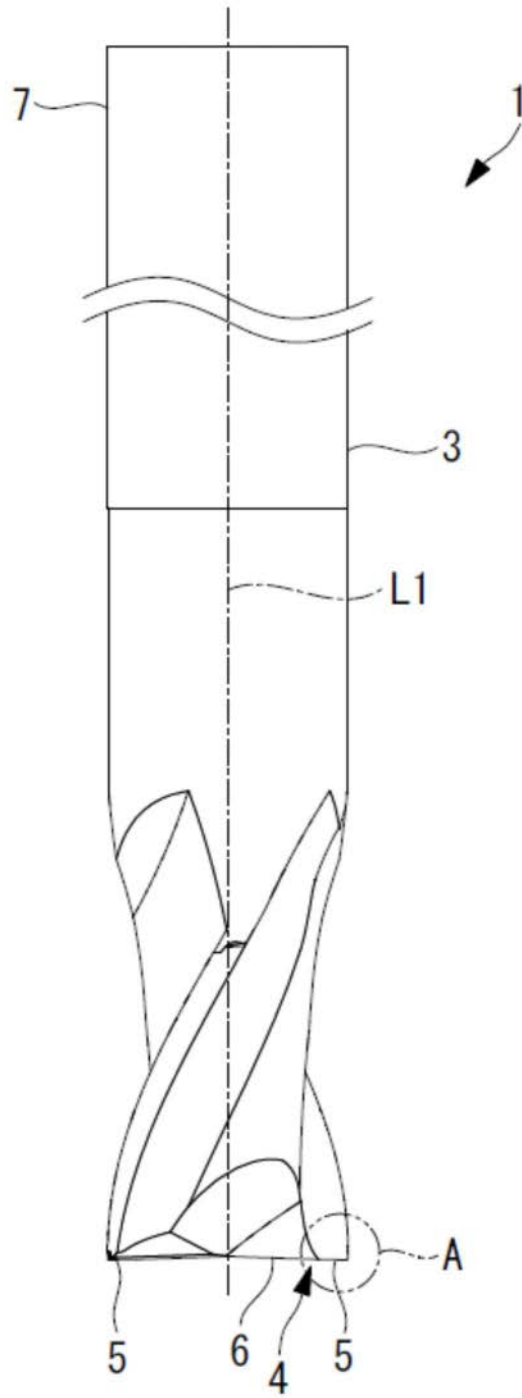


图1

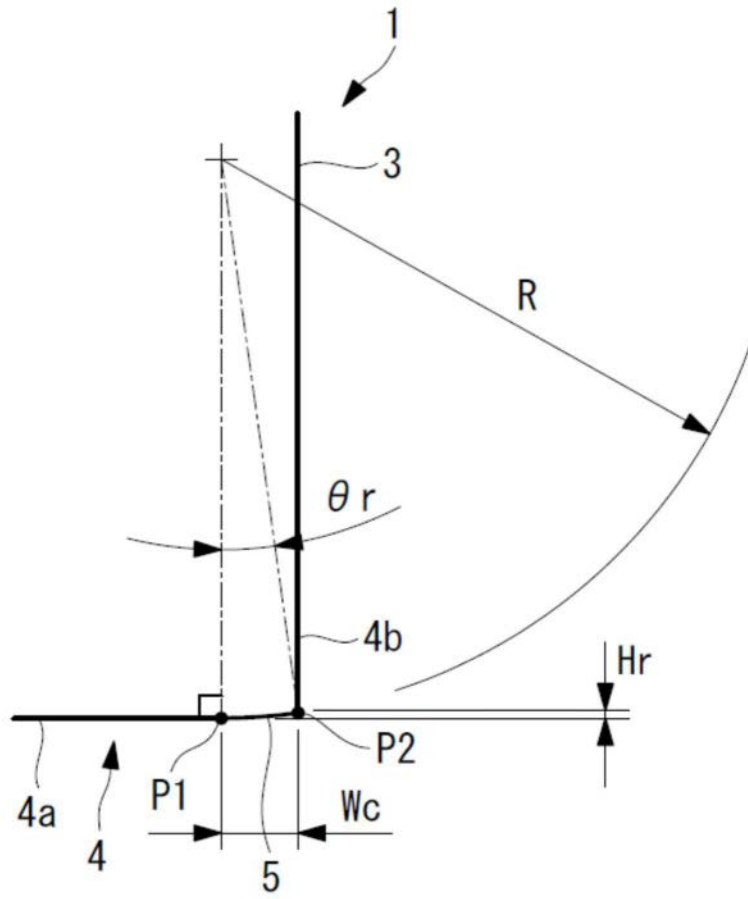


图2

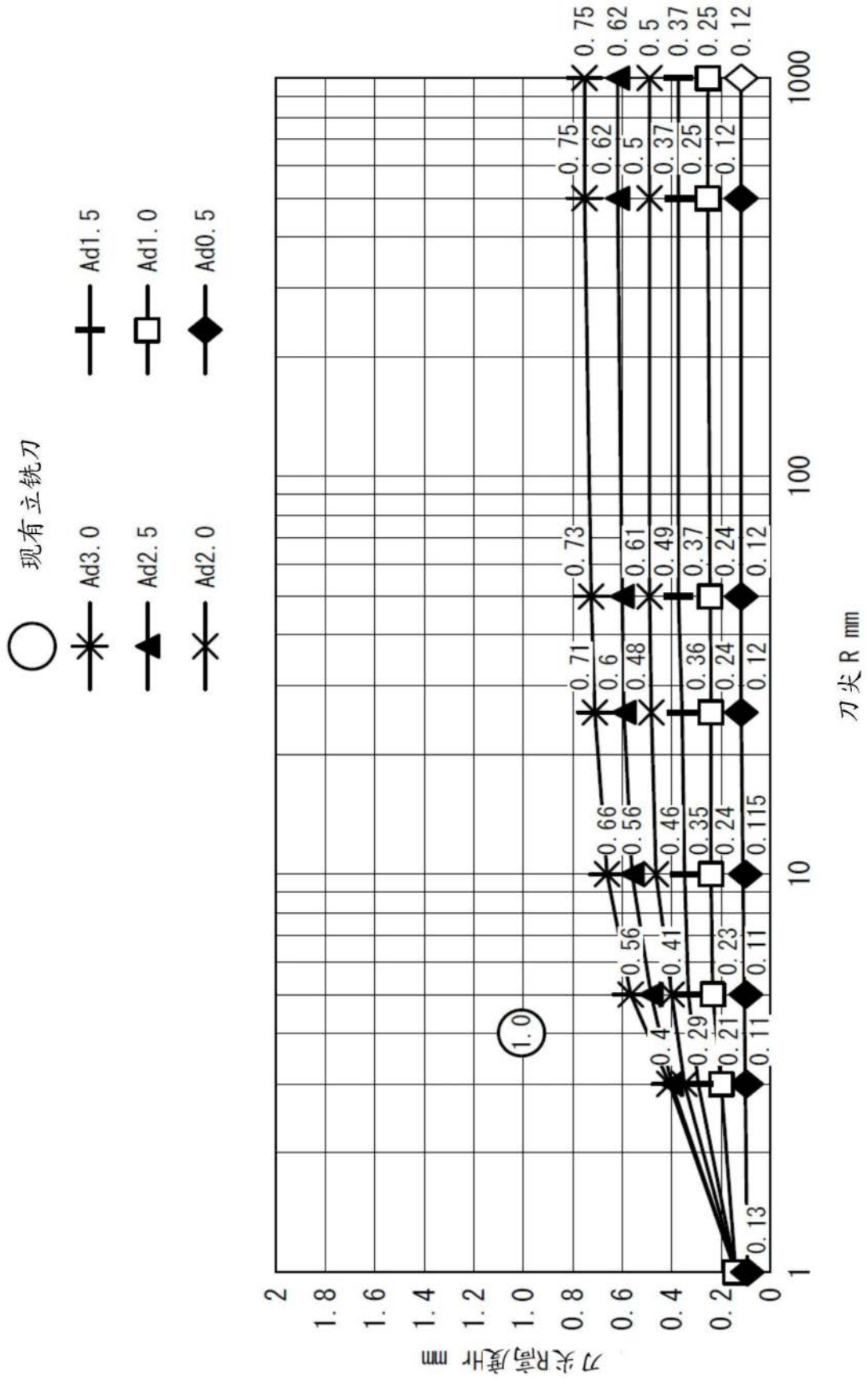


图3

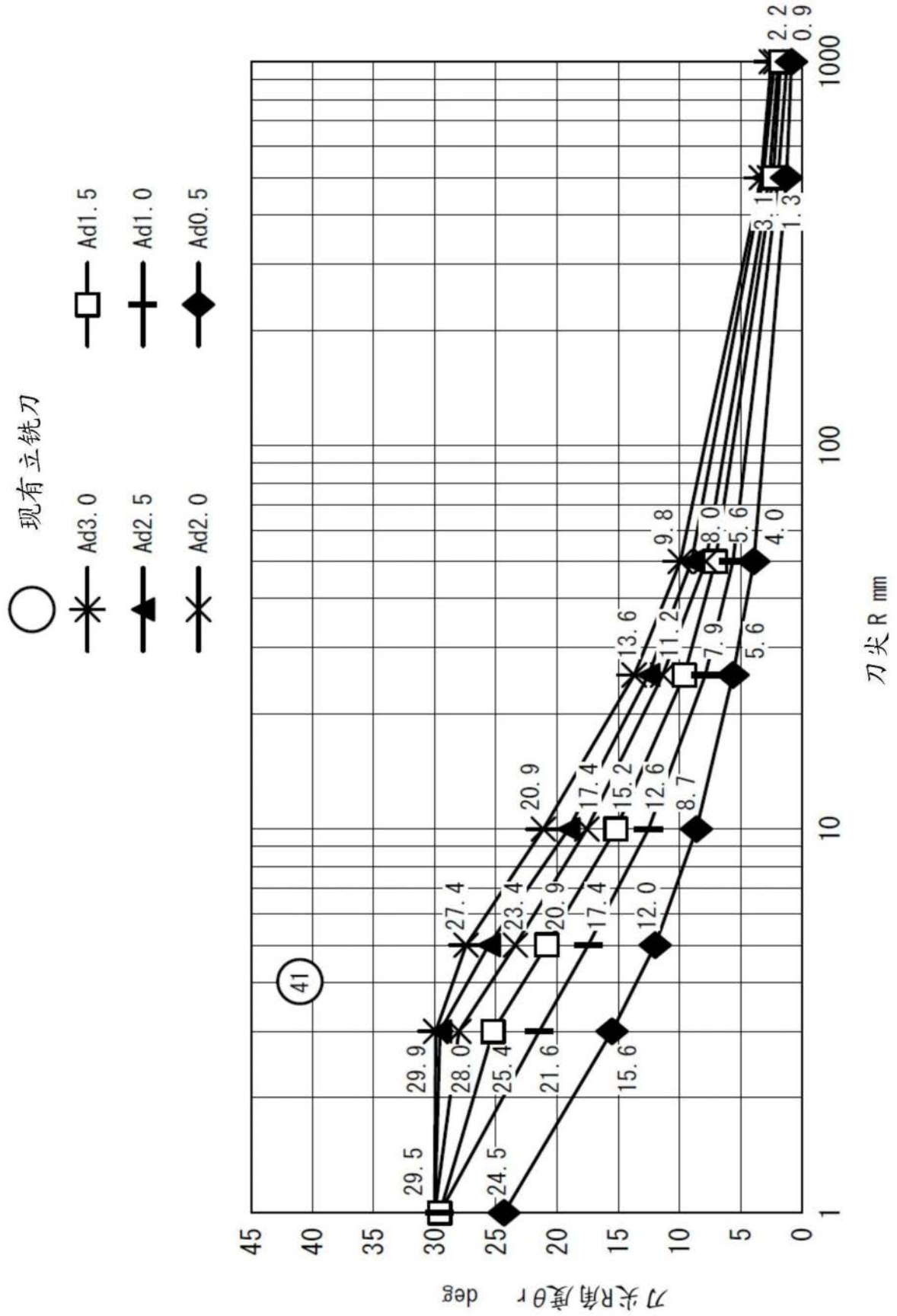


图4

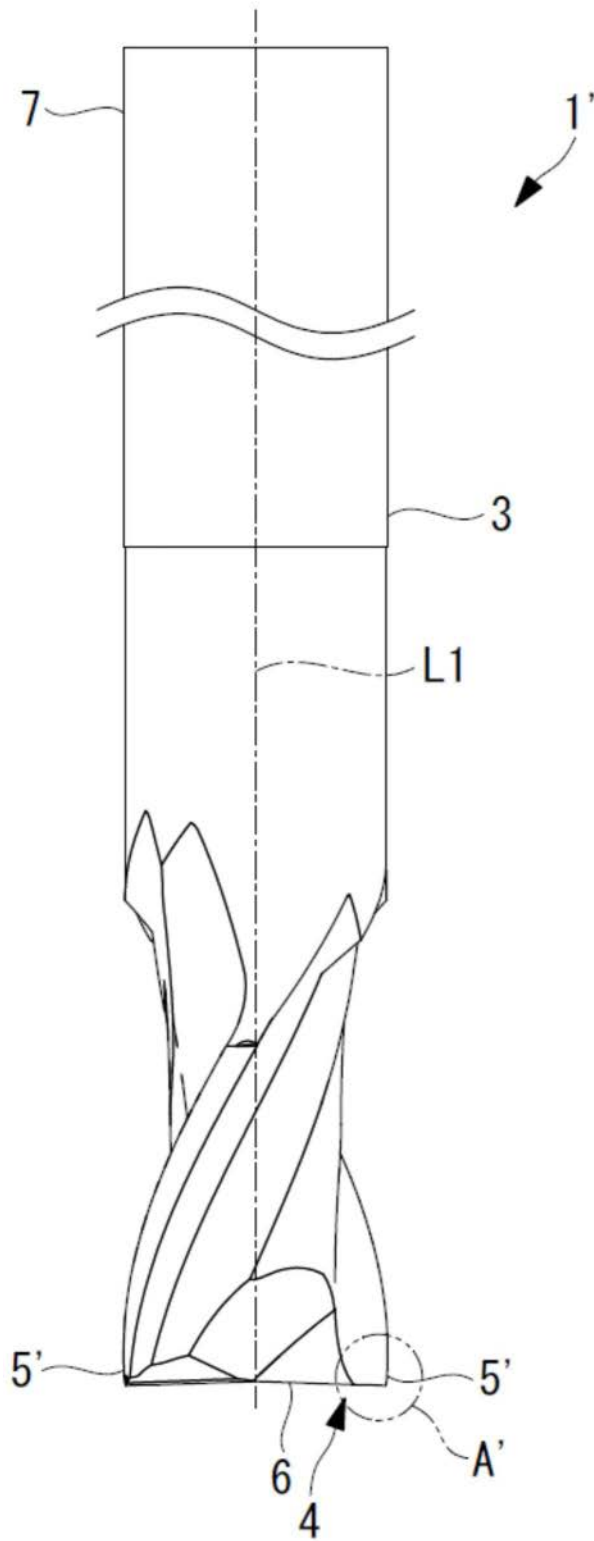


图5

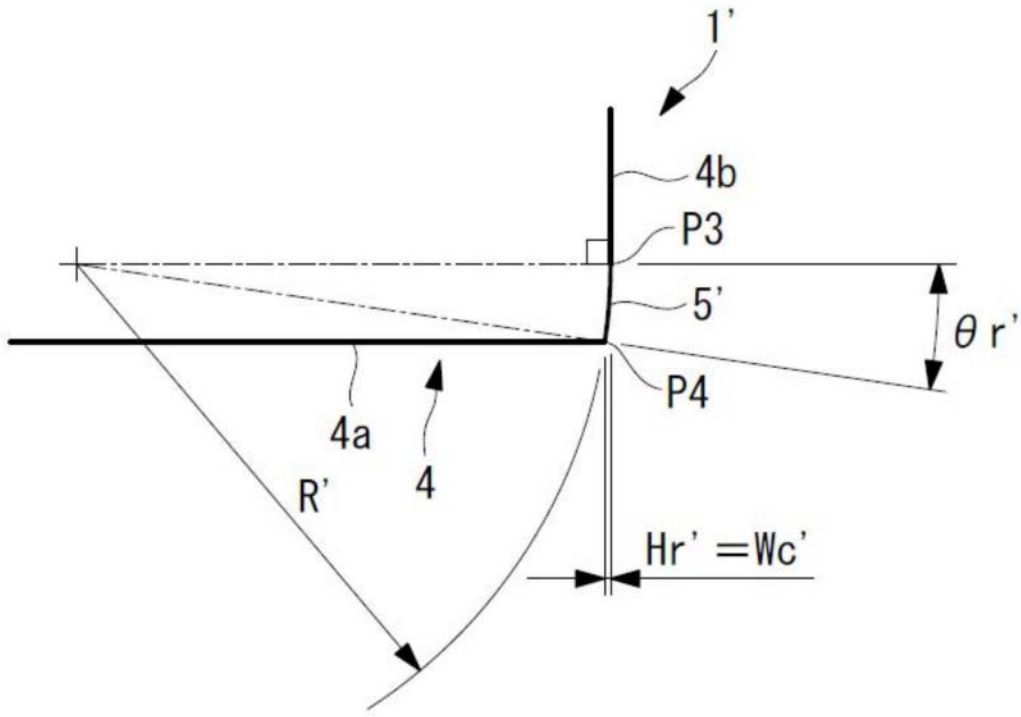


图6

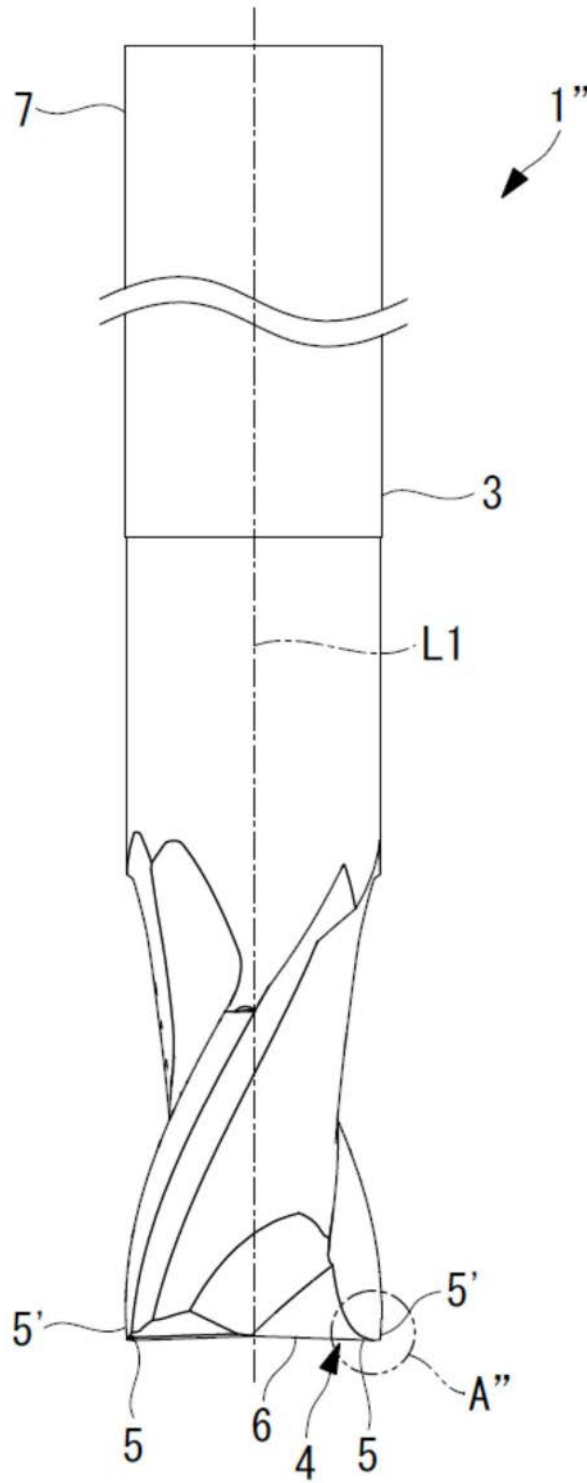


图7

