



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 103459081 B

(45) 授权公告日 2016. 05. 25

(21) 申请号 201180065081. 8

(74) 专利代理机构 上海专利商标事务所有限公
司 31100

(22) 申请日 2011. 12. 26

代理人 韩俊

(30) 优先权数据

(51) Int. Cl.

2011-008547 2011. 01. 19 JP

B23K 20/12(2006. 01)

2011-094283 2011. 04. 20 JP

2011-094284 2011. 04. 20 JP

2011-137620 2011. 06. 21 JP

(56) 对比文件

JP 2004114138 A, 2004. 04. 15,

JP 2004114138 A, 2004. 04. 15,

JP 2009144855 A, 2009. 07. 02,

CN 1568241 A, 2005. 01. 19,

WO 2006081819 A1, 2006. 08. 10,

US 2002179673 A1, 2002. 12. 05,

JP 2005007466 A, 2005. 01. 13,

JP 2002018580 A, 2002. 01. 22,

(85) PCT国际申请进入国家阶段日

2013. 07. 15

(86) PCT国际申请的申请数据

PCT/JP2011/080081 2011. 12. 26

(87) PCT国际申请的公布数据

W02012/098810 JA 2012. 07. 26

(73) 专利权人 日本轻金属株式会社

地址 日本东京

专利权人 焊接研究院

审查员 唐超

(72) 发明人 J·马丁 堀久司 濑尾伸城

权利要求书3页 说明书29页 附图47页

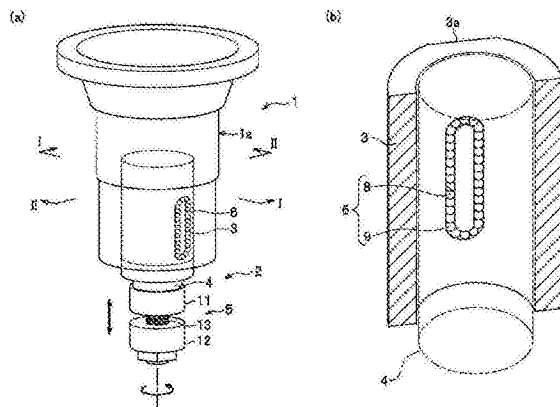
(54) 发明名称

旋转工具单元、摩擦搅拌接合方法、双层面板
的组装体及双层面板的摩擦搅拌接合方法

(57) 摘要

本发明提供一种接合方法,在使用双轴肩部
搅拌头型工具对一对金属板进行接合时,能够抑
制接合缺陷的产生并能够良好地进行接合。旋
转工具单元(2)具有双轴肩部搅拌头型工具(5),
该双轴肩部搅拌头型工具(5)由第一轴肩部(11)、
第二轴肩部(12)和形成在第一轴肩部(11)与第
二轴肩部(12)之间的销(13)构成,其特征是,旋
转工具单元(2)具有固定在摩擦搅拌装置(1)的
夹头部(1a)上的圆筒状的保持件(3)、插通到保
持件(3)内部并与保持件(3)一体旋转的滑动轴
(4)、第一轴肩部(11)固定在滑动轴(4)的前端
的双轴肩部搅拌头型工具(5)以及以使滑动轴(4)
相对于保持件(3)沿轴向滑动的方式形成在保持
件(3)与滑动轴(4)之间的滑动元件(6)。

CN 103459081 B



1. 一种旋转工具单元,用于摩擦搅拌接合,其特征在于,具有:
圆筒状的保持件,该保持件能装拆地固定在摩擦搅拌装置的夹头部上;
滑动轴,该滑动轴能够插入到所述保持件的内部,并与所述保持件一体地旋转;以及
双轴肩部搅拌头型工具,该双轴肩部搅拌头型工具由第一轴肩部、第二轴肩部及在所述第一轴肩部与所述第二轴肩部之间形成的销构成,
在所述滑动轴的前端连结有分体的所述第一轴肩部,所述第一轴肩部与所述第二轴肩部通过所述销连结,
所述第二轴肩部的大径部的外径比所述第一轴肩部的大径部的外径小,
在所述保持件的内表面与所述滑动轴的外表面之间包括滑动元件,从而使所述滑动轴相对于所述保持件沿轴向滑动,
所述滑动元件由形成在所述滑动轴的外表面或所述保持件的内表面上的轴承槽和在轴承槽内滑动的球轴承构成。
2. 如权利要求1所述的旋转工具单元,其特征在于,
在所述第二轴肩部的外表面沿周向形成有多个槽。
3. 如权利要求1所述的旋转工具单元,其特征在于,
具有在所述保持件和所述滑动轴中的任意一方上形成的键槽和在所述保持件和所述滑动轴中的另一方上形成的键,
所述键伴随着所述滑动轴的移动而在所述键槽的内部移动。
4. 如权利要求1所述的旋转工具单元,其特征在于,
沿着所述保持件的内表面和所述滑动轴的外表面中的任意一方的轴向延伸设置有凸条,沿着所述保持件的内表面和所述滑动轴的外表面中的另一方的轴向延伸设置有凹条,
所述凸条伴随着所述滑动轴的移动而在所述凹条的内部移动。
5. 一种摩擦搅拌接合方法,使用权利要求1所述的旋转工具单元,来对一对金属板进行接合,其特征在于,所述摩擦搅拌接合方法包括:
对接工序,在该对接工序中,将所述金属板的端面彼此对接;以及
接合工序,在该接合工序中,使旋转的所述双轴肩部搅拌头型工具的销移动到将所述端面彼此对接后形成的对接部,来将所述端面彼此进行摩擦搅拌接合,
在所述接合工序中,预先将所述第一轴肩部与所述第二轴肩部间的距离设定为所述金属板的厚度以下,当因摩擦搅拌而使所述金属板变形,来使所述金属板的位置沿所述双轴肩部搅拌头型工具的轴向移位时,所述双轴肩部搅拌头型工具随着所述金属板的移位沿轴向移动。
6. 如权利要求5所述的摩擦搅拌接合方法,其特征在于,
在将所述端面彼此间的间隙设定为1.00mm以下时,
将所述金属板的厚度与所述轴肩部间的距离设定成满足 $0.2\text{mm} \leq \{(\text{金属板的厚度}) - (\text{轴肩部间的距离})\} \leq 0.8\text{mm}$ 。
7. 如权利要求5所述的摩擦搅拌接合方法,其特征在于,
在将所述端面彼此间的间隙设定为大于1.00mm且为1.75mm以下时,
将所述金属板的厚度与所述轴肩部间的距离设定成满足 $0.4\text{mm} \leq \{(\text{金属板的厚度}) - (\text{轴肩部间的距离})\} \leq 0.8\text{mm}$ 。

8. 如权利要求5所述的摩擦搅拌接合方法,其特征在于,

在所述接合工序中,在对接后的部分的所述金属板的厚度不同的情况下,当将所述金属板的厚度较大的所述金属板相对于所述双轴肩部搅拌头型工具的行进方向配置在左侧时,使所述双轴肩部搅拌头型工具朝右旋转。

9. 如权利要求5所述的摩擦搅拌接合方法,其特征在于,

在所述接合工序中,在对接后的部分的所述金属板的厚度不同的情况下,当将所述金属板的厚度较大的所述金属板相对于所述双轴肩部搅拌头型工具的行进方向配置在右侧时,使所述双轴肩部搅拌头型工具朝左旋转。

10. 如权利要求5所述的摩擦搅拌接合方法,其特征在于,

在所述接合工序中,

在使所述第一轴肩部与所述金属板的装饰面相对,且使所述销的轴向中心与所述金属板的板厚方向的中心对准后,使从所述滑动轴侧观察为朝右旋转的所述双轴肩部搅拌头型工具的销移动到将所述端面彼此对接后形成的对接部,

在所述销的外周面的所述第一轴肩部侧形成有右螺纹的螺旋槽,所述右螺纹的螺旋槽相对于所述第一轴肩部与所述第二轴肩部间的距离以25%以上的比例形成。

11. 如权利要求10所述的摩擦搅拌接合方法,其特征在于,

在所述外周面中的、从所述右螺纹的螺旋槽的端部到所述第二轴肩部之间,形成有左螺纹的螺旋槽。

12. 如权利要求5所述的摩擦搅拌接合方法,其特征在于,

在所述接合工序中,

在使所述第一轴肩部与所述金属板的装饰面相对,且使所述销的轴向中心与所述金属板的板厚方向的中心对准后,使从所述滑动轴侧观察为朝左旋转的所述双轴肩部搅拌头型工具的销移动到将所述端面彼此对接后形成的对接部,

在所述销的外周面的所述第一轴肩部侧形成有左螺纹的螺旋槽,所述左螺纹的螺旋槽相对于所述轴肩部间的距离以25%以上的比例形成。

13. 如权利要求12所述的摩擦搅拌接合方法,其特征在于,

在所述外周面中的、从所述左螺纹的螺旋槽的端部到所述第二轴肩部之间,形成有右螺纹的螺旋槽。

14. 如权利要求5所述的摩擦搅拌接合方法,其特征在于,

在所述接合工序中,

在使所述第二轴肩部与所述金属板的装饰面相对,且使所述销的轴向中心与所述金属板的板厚方向的中心对准后,使从所述滑动轴侧观察为朝右旋转的所述双轴肩部搅拌头型工具的销移动到将所述端面彼此对接后形成的对接部,

在所述销的外周面的所述第二轴肩部侧形成有左螺纹的螺旋槽,所述左螺纹的螺旋槽相对于所述轴肩部间的距离以25%以上的比例形成。

15. 如权利要求14所述的摩擦搅拌接合方法,其特征在于,

在所述外周面中的、从所述左螺纹的螺旋槽的端部到所述第一轴肩部之间,形成有右螺纹的螺旋槽。

16. 如权利要求5所述的摩擦搅拌接合方法,其特征在于,

在所述接合工序中，

在使所述第二轴肩部与所述金属板的装饰面相对，且使所述销的轴向中心与所述金属板的板厚方向的中心对准后，使从所述滑动轴侧观察为朝左旋转的所述双轴肩部搅拌头型工具的销移动到将所述端面彼此对接后形成的对接部，

在所述销的外周面的所述第二轴肩部侧形成有右螺纹的螺旋槽，所述右螺纹的螺旋槽相对于所述轴肩部间的距离以25%以上的比例形成。

17. 如权利要求16所述的摩擦搅拌接合方法，其特征在于，

在所述外周面中的、从所述右螺纹的螺旋槽的端部到所述第一轴肩部之间，形成有左螺纹的螺旋槽。

18. 如权利要求10、12、14或16所述的摩擦搅拌接合方法，其特征在于，

在所述接合工序中，在对所述金属板的装饰面进行冷却的同时进行接合。

19. 一种双层面板的组装体，其是使用权利要求1所述的旋转工具单元，来对一对双层面板进行摩擦搅拌接合后形成的，其特征在于，

使形成在一方的所述双层面板的外板的端部上的钩部与形成在另一方的所述双层面板的外板的端部上的钩部卡合，

将形成在一方的所述双层面板的内板的端部上的端面与另一方的所述双层面板的内板的端面对接，而不卡合。

20. 如权利要求19所述的双层面板的组装体，其特征在于，

各所述钩部具有：薄壁部，该薄壁部从所述外板的厚壁部延伸设置；以及伸出部，该伸出部与所述薄壁部连续，并沿板厚方向伸出，

使一对所述伸出部彼此卡合。

21. 如权利要求20所述的双层面板的组装体，其特征在于，

在一方的所述双层面板的所述伸出部的侧部形成有伸出倾斜面，

在另一方的所述双层面板的所述厚壁部形成有与所述伸出倾斜面面接触的厚壁倾斜面。

22. 如权利要求20所述的双层面板的组装体，其特征在于，

在所述外板与所述内板之间夹设有支承板，

在将从所述支承板到所述端面的长度设定为 c ，单位为 mm ，并将所述厚壁部的板厚设定为 t ，单位为 mm 时，

满足 $c \leq 7.0 \times t + 18.5\text{mm}$ 。

23. 一种双层面板的摩擦搅拌接合方法，使用权利要求1所述的旋转工具单元，对一对双层面板的端部彼此进行摩擦搅拌接合，其特征在于，包括：

准备工序，在该准备工序中，将形成在一方的所述双层面板的外板的端部上的钩部与形成在另一方的所述双层面板的外板的端部上的钩部卡合，并且将形成在一方的所述双层面板的内板的端部上的端面与另一方的所述双层面板的内板的端面对接，而不卡合；以及

接合工序，在该接合工序中，对在所述准备工序中卡合后的卡合部及对接后的对接部进行摩擦搅拌接合。

24. 如权利要求23所述的双层面板的摩擦搅拌接合方法，其特征在于，

在所述接合工序中，在将所述卡合部接合后，再将所述对接部接合。

旋转工具单元、摩擦搅拌接合方法、双层面板的组装体及双层面板的摩擦搅拌接合方法

技术领域

[0001] 本发明涉及具有双轴肩部搅拌头型工具(日文:ボビンツール, bobbin tool)的旋转工具单元、使用上述旋转工具单元的摩擦搅拌接合方法、使用上述旋转工具单元接合而成的双层面板的组装体以及使用上述旋转工具的双层面板的摩擦搅拌接合方法。

背景技术

[0002] 以往,已知有双轴肩部搅拌头型工具来作为对金属板的端面彼此进行摩擦搅拌接合的工具(参照专利文献1)。双轴肩部搅拌头型工具包括一对轴肩部和在上述轴肩部之间形成的销。在将一对金属板接合时,将金属板固定使其不能移动,在将高速旋转的双轴肩部搅拌头型工具从金属板的一端插入,并使销沿着对接部移动。藉此,端面各自周围的金属便被摩擦搅拌而使金属板彼此接合。若使用双轴肩部搅拌头型工具,由于在金属板的背面侧也具有轴肩部,因此,通常可以省略配置在金属板的背面侧的背接构件(日文:裏当部材)。特别是,在将中空型材的端部彼此接合时,由于设置背接构件的作业较为复杂,因此,能大幅节省作业程序。

[0003] 另一方面,以往,已知有将两块金属板重叠而构成的双层面板。双层面板用作铁路车辆、飞机、船只、土木建筑物等的结构体。如专利文献2所记载的,双层面板包括外板、内板及夹设在外板与内板间的支承板。此外,在将双层面板彼此接合时,使相邻的双层面板的外板端部与外板端部对接、内板端部与内板端部对接,来形成双层面板的组装体后,使用旋转工具将对接后的部分摩擦搅拌接合。

[0004] 现有技术文献

[0005] 专利文献

[0006] 专利文献1:日本专利特许第2712838号公报

[0007] 专利文献2:日本专利特开2008-272768号公报

发明内容

[0008] 发明所要解决的技术问题

[0009] 然而,在使用双轴肩部搅拌头型工具的摩擦搅拌接合中,较为理想的是,在使销的轴向中心与金属板的高度方向的中心对齐的同时进行接合,但是,有时金属板会因摩擦热而发生变形。一旦金属板因摩擦热而发生变形,则销的中心便无法与金属板的中心对齐,而造成接合不良。

[0010] 此外,若轴肩部间的距离比金属板的厚度大,则通过摩擦搅拌而被塑性流动化后的金属容易溢出至轴肩部的外部,因此,存在容易产生接合缺陷这样的问题。

[0011] 此外,双轴肩部搅拌头型工具的销的外周面有时会刻有螺旋槽,但因螺旋槽的方向或刻设的范围的不同,存在在接合后的金属板的装饰面上形成的凹槽变大、或是装饰面上产生许多毛边这样的问题。

[0012] 此外,由于双层面板是薄且长的金属构件,因此,使一对双层面板的外板与外板、内板与内板高精度地进行对接的作业较为困难。此外,即使使用夹具将双层面板的组装体固定使其不能移动,也存在使旋转工具移动来进行接合时双层面板彼此分离这样的问题。

[0013] 本发明鉴于上述问题而完成,其技术问题在于提供一种在使用双轴肩部搅拌头型工具对一对金属板进行接合时能够抑制接合缺陷的产生并能理想地进行接合的旋转工具单元及摩擦搅拌接合方法。此外,其技术问题在于当在双轴肩部搅拌头型工具的销的外周面刻有螺旋槽时,能够减少在金属板的装饰面上产生的毛边,或是能够缩小在装饰面上形成的凹槽。另外,本发明的技术问题在于提供一种能够理想地将双层面板接合的双层面板的组装体及双层面板的摩擦搅拌接合方法。

[0014] 解决技术问题所采用的技术方案

[0015] 为了解决上述技术问题,本发明提出一种旋转工具单元,用于摩擦搅拌接合,其特征是,具有:圆筒状的保持件,该保持件固定在摩擦搅拌装置的夹头部上;滑动轴,该滑动轴能够插入到上述保持件的内部,并与所述保持件一体地旋转;以及双轴肩部搅拌头型工具,该双轴肩部搅拌头型工具由第一轴肩部、第二轴肩部及在上述第一轴肩部与上述第二轴肩部之间形成的销构成,在上述滑动轴的前端固定有上述第一轴肩部,在上述保持件与上述滑动轴之间包括滑动元件,从而使上述滑动轴相对于上述保持件沿轴向滑动。

[0016] 根据上述结构,即使金属板因摩擦搅拌而朝面外方向翘曲,双轴肩部搅拌头型工具也会随着金属板的变形而沿轴向移动。藉此,能够防止接合部位的移位(偏移),因此,能抑制接合不良的产生。

[0017] 此外,较为理想的是,上述滑动元件由形成在上述滑动轴的外表面或上述保持件的内表面上的轴承槽和在轴承槽内滑动的球轴承构成。

[0018] 根据上述结构,能够简单地构成滑动元件。

[0019] 此外,较为理想的是,具有在上述保持件和上述滑动轴中的任意一方上形成的键槽和在上述保持件和上述滑动轴中的另一方上形成的键,上述键伴随着上述滑动轴的移动而在上述键槽的内部移动。

[0020] 根据上述结构,能以简单的结构使保持件与滑动轴一体地旋转,且能够使滑动轴在键槽的范围内移动。

[0021] 此外,较为理想的是,沿着上述保持件的内表面和上述滑动轴的外表面中的任意一方的轴向延伸设置有凸条,沿着上述保持件的内表面和上述滑动轴的外表面中的另一方的轴向延伸设置有凹条,上述凸条伴随着上述滑动轴的移动而在上述凹条的内部移动。

[0022] 根据上述结构,能以简单的结构使保持件与滑动轴一体地旋转,且能够使滑动轴在很大的范围内移动。

[0023] 此外,本发明也提出一种摩擦搅拌接合方法,使用本发明的第一方面的旋转工具单元,来对一对金属板进行接合,其特征是,上述摩擦搅拌接合方法具有:对接工序,在该对接工序中,使上述金属板的端面彼此对接;以及接合工序,在该接合工序中,使旋转的上述双轴肩部搅拌头型工具的销移动到将上述端面彼此对接后形成的对接部,来将上述端面彼此进行摩擦搅拌接合,在上述接合工序中,预先将第一轴肩部与第二轴肩部间的距离设定为上述金属板的厚度以下,当因摩擦搅拌而使上述金属板变形,来使上述金属板的位置沿上述双轴肩部搅拌头型工具的轴向移位时,上述双轴肩部搅拌头型工具随着上述金属板的

移位而沿轴向移动。

[0024] 根据上述方法,通过将轴肩部间的距离设定为金属板的厚度以下,因而,能够防止因摩擦搅拌而使塑性流动化后的金属溢出至轴肩部的外部。藉此,能够抑制接合缺陷的产生。

[0025] 此外,较为理想的是,在将上述端面彼此间的间隙设定为1.00mm以下时,将上述金属板的厚度与上述轴肩部间的距离设定成满足 $0.2\text{mm} \leq \{(\text{金属板的厚度}) - (\text{轴肩部间的距离})\} \leq 0.8\text{mm}$ 。

[0026] 此外,较为理想的是,在将上述端面彼此间的间隙设定为大于1.00mm且为1.75mm以下时,将上述金属板的厚度与上述轴肩部间的距离设定成满足 $0.4\text{mm} \leq \{(\text{金属板的厚度}) - (\text{轴肩部间的距离})\} \leq 0.8\text{mm}$ 。

[0027] 根据上述接合方法,即使端面彼此间存在间隙,也能抑制接合缺陷的产生。

[0028] 此外,较为理想的是,设定成使上述轴肩部的外径的平方值除以上述销的外径的平方值后的值大于2.0。

[0029] 根据上述接合方法,能够将轴肩部的外径相对于销的外径确保得很大,因此,能够可靠地对轴肩部之间塑性流动化的金属进行按压。藉此,能够进一步抑制接合缺陷的产生。若轴肩部的外径的平方值除以上述销的外径的平方值后的值为2.0以下,则金属容易溢出,而容易产生接合缺陷。

[0030] 此外,较为理想的是,设定成将上述轴肩部的外径的平方值减去上述销的外径的平方值得到的值,并使上述销的外径的平方值除以上述得到的值后的值大于0.2,且使上述销的外径的平方值除以上述销的外径乘上述轴肩部间的距离的值后的值大于1.2。

[0031] 根据上述方法,若将上述轴肩部的外径的平方值减去销的外径的平方值后得到的值,并使销的外径的平方值除以上述得到的值后的值为0.2以下,则因销较细,使得抗拉伸力不足而导致容易折断,但若比0.2大,则因销比较粗而不容易折断。

[0032] 此外,较为理想的是,使上述销的外径的平方值除以上述销的外径乘上述轴肩部间的距离的值后的值大于1.2。若上述值为1.2以下,则因销较细,使得抗折力不足而导致容易折断,但若比1.2大,则因销比较粗而不容易折断。

[0033] 此外,较为理想的是,在上述接合工序中,在对接后的部分的上述金属板的厚度不同的情况下,当将上述金属板的厚度较大的上述金属板相对于上述双轴肩部搅拌头型工具的行进方向配置在左侧时,使上述双轴肩部搅拌头型工具朝右旋转。

[0034] 此外,较为理想的是,在上述接合工序中,在对接后的部分的上述金属板的厚度不同的情况下,当将上述金属板的厚度较大的上述金属板相对于上述双轴肩部搅拌头型工具的行进方向配置在右侧时,使上述双轴肩部搅拌头型工具朝左旋转。

[0035] 在摩擦搅拌接合中,在使旋转工具朝右旋转时,塑性流动化的金属会有从工具的行进方向的左侧(剪切侧:旋转工具的旋转速度加上旋转工具的移动速度一侧)朝工具行进方向的右侧(流动侧:旋转工具的旋转速度减去旋转工具的移动速度一侧)流动的趋势,因此,可以认为假设在金属板彼此间存在间隙的情况下,剪切侧的金属会填埋上述间隙。因此,若将厚度小的金属板配置在剪切侧,则金属不足而使接合后的塑性化区域的中央部厚度变小的趋势。

[0036] 但是,在金属板的端面厚度不同的情况下,通过将厚度大的金属板配置于剪切侧,

就能够补充金属不足,因此,能更理想地接合。

[0037] 此外,较为理想的是,在上述接合工序中,在使上述第一轴肩部与上述金属板的装饰面相对,且使上述销的轴向中心与上述金属板的板厚方向的中心对准后,使从上述滑动轴侧观察为朝右旋转的上述双轴肩部搅拌头型工具的销移动到将上述端面彼此对接后形成的对接部,在上述销的外周面的上述第一轴肩部侧形成有右螺纹的螺旋槽,上述右螺纹的螺旋槽相对于上述第一轴肩部与上述第二轴肩部间的距离以25%以上的比例形成。

[0038] 根据上述接合方法,第一轴肩部侧的右螺纹以25%以上的比例形成,因此,因由右螺纹的螺旋槽引起的金属移动,使得双轴肩部搅拌头型工具被朝滑动轴侧按压,从而能防止双轴肩部搅拌头型工具过深地进入金属板的装饰面。藉此,能防止在装饰面产生凹槽,或者是即使形成有凹槽也能减小凹槽的深度。

[0039] 此外,较为理想的是,在上述外周面中的、从上述右螺纹的螺旋槽的端部到上述第二轴肩部之间,形成有左螺纹的螺旋槽。

[0040] 根据上述接合方法,能提高摩擦搅拌的搅拌效率。

[0041] 此外,较为理想的是,在上述接合工序中,在使上述第一轴肩部与上述金属板的装饰面相对,且使上述销的轴向中心与上述金属板的板厚方向的中心对准后,使从上述滑动轴侧观察为朝左旋转的上述双轴肩部搅拌头型工具的销移动到将上述端面彼此对接后形成的对接部,在上述销的外周面的上述第一轴肩部侧形成有左螺纹的螺旋槽,上述左螺纹的螺旋槽相对于上述轴肩部间的距离以25%以上的比例形成。

[0042] 根据上述接合方法,第一轴肩部侧的左螺纹以25%以上的比例形成,因此,因由左螺纹的螺旋槽引起的金属移动,使得双轴肩部搅拌头型工具被朝滑动轴侧按压,从而能防止双轴肩部搅拌头型工具过深地进入金属板的装饰面。藉此,能防止在装饰面产生凹槽,或者是即使形成有凹槽也能减小凹槽的深度。

[0043] 此外,较为理想的是,在上述外周面中的、从上述左螺纹的螺旋槽的端部到上述第二轴肩部之间,形成有右螺纹的螺旋槽。

[0044] 根据上述接合方法,能提高摩擦搅拌的搅拌效率。

[0045] 此外,较为理想的是,在接合工序中,在使所述第二轴肩部与所述金属板的装饰面相对,且使所述销的轴向中心与所述金属板的板厚方向的中心对准后,使从所述滑动轴侧观察为朝右旋转的所述双轴肩部搅拌头型工具的销移动到将所述端面彼此对接后形成的对接部,在上述销的外周面的上述第二轴肩部侧形成有左螺纹的螺旋槽,上述左螺纹的螺旋槽相对于上述轴肩部间的距离以25%以上的比例形成。

[0046] 根据上述接合方法,第二轴肩部侧的左螺纹以25%以上的比例形成,因此,因由左螺纹的螺旋槽引起的金属移动,使得双轴肩部搅拌头型工具被朝与滑动轴相反的一侧按压,从而能防止双轴肩部搅拌头型工具过深地进入金属板的装饰面。藉此,能防止在装饰面产生凹槽,或者是即使形成有凹槽也能减小凹槽的深度。

[0047] 此外,较为理想的是,在上述外周面中的、从上述左螺纹的螺旋槽的端部到上述第一轴肩部之间,形成有右螺纹的螺旋槽。

[0048] 根据上述接合方法,能提高摩擦搅拌的搅拌效率。

[0049] 此外,较为理想的是,在上述接合工序中,在使上述第二轴肩部与上述金属板的装饰面相对,且使上述销的轴向中心与上述金属板的板厚方向的中心对准后,使从上述滑动

轴侧观察为朝左旋转的上述双轴肩部搅拌头型工具的销移动到将上述端面彼此对接后形成的对接部,在上述销的外周面的上述第二轴肩部侧形成有右螺纹的螺旋槽,上述右螺纹的螺旋槽相对于上述轴肩部间的距离以25%以上的比例形成。

[0050] 根据上述接合方法,第二轴肩部侧的右螺纹以25%以上的比例形成,因此,因由右螺纹的螺旋槽引起的金属移动,使得双轴肩部搅拌头型工具被朝与滑动轴相反的一侧按压,从而能防止双轴肩部搅拌头型工具过深地进入金属板的装饰面。藉此,能防止在装饰面产生凹槽,或者是即使形成有凹槽也能减小凹槽的深度。

[0051] 此外,较为理想的是,在上述外周面中的、从上述右螺纹的螺旋槽的端部到上述第一轴肩部之间,形成有左螺纹的螺旋槽。

[0052] 根据上述接合方法,能提高摩擦搅拌的搅拌效率。

[0053] 此外,较为理想的是,在上述接合工序中,在对上述金属板的装饰面进行冷却的同时进行接合。

[0054] 根据上述接合方法,通过抑制流动化的金属的温度上升,能更进一步抑制凹槽的产生。

[0055] 此外,本发明还提供一种双层面板的组装体,其是使用本发明的第一方面的旋转工具单元,来对一对双层面板进行摩擦搅拌接合后形成的,其特征是,使形成在一方的上述双层面板的外板的端部上的钩部与形成在另一方的上述双层面板的外板的端部上的钩部卡合,将形成在一方的上述双层面板的内板的端部上的端面与另一方的上述双层面板的内板的端面对接,而不卡合。

[0056] 根据上述结构,通过使外板的钩部彼此卡合,就能够防止接合时双层面板彼此分开。若在内板也设置钩部,则双层面板彼此的对接的作业就会变得困难,因此,在本发明中,不在内板设置钩部,仅通过将端面彼此对接即可。藉此,能够使将双层面板对接的准备工序的作业更省力。

[0057] 此外,较为理想的是,各上述钩部具有:薄壁部,该薄壁部从上述外板的厚壁部延伸设置;以及伸出部,该伸出部与上述薄壁部连续,并沿板厚方向伸出,使一对上述伸出部彼此卡合。

[0058] 根据上述结构,能够以简单的结构设置钩部。

[0059] 此外,较为理想的是,在一方的上述双层面板的上述伸出部的侧部形成有伸出斜面,在另一方的上述双层面板的上述厚壁部形成有与上述伸出斜面接触的厚壁斜面。

[0060] 根据上述结构,由于能使斜面彼此斜向地滑动,因此,能使双层面板彼此容易卡合。

[0061] 此外,较为理想的是,在上述外板与上述内板之间夹设有支承板,在将从上述支承板到上述端面的长度设定为 $c(\text{mm})$,并将上述厚壁部的板厚设定为 $t(\text{mm})$ 时,满足 $c \leq 7.0 \times t + 18.5\text{mm}$ 。

[0062] 若从支承板到端面的距离很大,则存在构件的端部侧的变形变大的可能性,但根据上述结构,构件的端部侧的变形变小。

[0063] 本发明还提供一种双层面板的摩擦搅拌接合方法,使用本发明的第一方面的旋转工具单元,对一对双层面板的端部彼此进行摩擦搅拌接合,其特征是,包括:准备工序,在该

准备工序中,将形成在一方的上述双层面板的外板的端部上的钩部与形成在另一方的上述双层面板的外板的端部上的钩部卡合,并且将形成在一方的上述双层面板的内板的端部上的端面与另一方的上述双层面板的内板的端面对接,而不卡合;以及接合工序,在该接合工序中,对在上述准备工序中卡合后的卡合部及对接后的对接部进行摩擦搅拌接合。

[0064] 根据上述接合方法,通过使外板的钩部彼此卡合,就能够防止接合时双层面板彼此分开。若在内板也设置钩部,双层面板彼此的对接的作业会变得困难,因此,在本发明中,不在内板设置钩部,而仅通过将端面对接即可。藉此,能够使将双层面板对接的准备工序的作业更省力。

[0065] 此外,较为理想的是,在上述接合工序中,在将上述卡合部接合后,再将上述对接部接合。

[0066] 从接合强度的观点上看,无论先将卡合部及接合部中的哪个接合均没有问题,但根据上述的方法,能够缩小接合后的金属板彼此的角变形。

[0067] 发明效果

[0068] 根据本发明的旋转工具单元及摩擦搅拌接合方法,能够抑制接合缺陷的产生,并能理想地进行接合。此外,根据本发明的双层面板的组装体及双层面板的摩擦搅拌接合方法,能够理想地将双层面板接合。

附图说明

[0069] 图1是表示实施方式1的摩擦搅拌装置和中空型材的立体图。

[0070] 图2是表示中空型材的对接状态,其中,图2(a)表示对接前,图2(b)表示对接后。

[0071] 图3是表示实施方式3的摩擦搅拌装置的立体图,其中,图3(a)表示整体图,图3(b)表示保持件、滑动轴及滑动元件。

[0072] 图4是图3的I—I剖视图。

[0073] 图5是图3的II—II剖视图。

[0074] 图6是表示实施方式1的双轴肩部搅拌头型工具的侧视图。

[0075] 图7是表示实施方式1的摩擦搅拌接合方法的图,其中,图7(a)是侧剖视图,图7(b)是图7(a)的III—III端面图。

[0076] 图8是表示实施方式2的双轴肩部搅拌头型工具的侧视图。

[0077] 图9是表示实施方式2的摩擦搅拌接合方法的侧剖视图。

[0078] 图10(a)表示摩擦搅拌接合方法的第一变形例,图10(b)表示摩擦搅拌接合方法的第二变形例。

[0079] 图11是表示变形例的旋转工具单元的图,其中,图11(a)是侧剖视图,图11(b)是图11(a)的IV—IV剖视图。

[0080] 图12是表示实施方式3的双层面板的立体图。

[0081] 图13是表示实施方式3的摩擦搅拌装置的立体图。

[0082] 图14是表示实施方式3的旋转工具单元的立体图。

[0083] 图15是表示实施方式3的双轴肩部搅拌头型工具的侧视图。

[0084] 图16是表示实施方式3的摩擦搅拌接合方法的准备工序的主视图。

[0085] 图17是表示实施方式3的摩擦搅拌接合方法的第一接合工序的立体图。

- [0086] 图18是表示实施方式3的摩擦搅拌接合方法的第二接合工序的立体图。
- [0087] 图19是表示实施方式3的卡合形态的变形例的主视图。
- [0088] 图20是表示实施例1中的试验体的组合的表。
- [0089] 图21是表示在实施例1中,试验体H1的间隙与接合部的厚度间的关系的图。
- [0090] 图22是表示在实施例1中,试验体H3的间隙与接合部的厚度间的关系的图。
- [0091] 图23是表示在实施方式1中,影响接合质量的金属板的厚度与间隙间的关系的表,其示出了Ad侧的厚度=Re侧的厚度的情况。
- [0092] 图24是表示影响接合质量的金属板厚度与间隙间的关系的表,其示出了使Ad侧的厚度变化、而将Re侧的厚度固定的情况。
- [0093] 图25是表示影响接合质量的金属板厚度与间隙间的关系的表,其示出了将Ad侧的厚度固定、而使Re侧的厚度变化的情况。
- [0094] 图26(a)是表示在实施例1中,间隙与Cr部的厚度间的关系的表,图26(b)是表示在实施例1中,间隙与Ad部的厚度间的关系的表。
- [0095] 图27(a)是表示在实施例1中,间隙与Re部的厚度间的关系的表,图27(b)是表示在实施例1中,间隙与平均厚度间的关系的图。
- [0096] 图28是表示在实施例2中,影响接合质量的金属板的厚度与间隙间的关系的图,其示出了Ad侧的厚度=Re侧的厚度的情况。
- [0097] 图29是表示在实施例1中,将轴肩部间的距离固定为5.8mm时各双轴肩部搅拌头型工具的尺寸和接合状况的表。
- [0098] 图30是表示在实施例2中,将轴肩部间的距离固定为2.8mm时各双轴肩部搅拌头型工具的尺寸和接合状况的表。
- [0099] 图31是表示在参考例中,将轴肩部间的距离固定为11.5mm时各双轴肩部搅拌头型工具的尺寸和接合状况的表。
- [0100] 图32是表示在实施例3中,螺纹比例对金属板的高低差带来的影响(对接部的间隙为0mm)的图。
- [0101] 图33是表示在实施例3中,螺纹比例对金属板的高低差带来的影响(对接部的间隙为1.5mm)的图。
- [0102] 图34是表示在实施例3中,在对接部的间隙不同的情况下,条件A的金属板的塑性化区域的图。
- [0103] 图35是表示在实施例3中,在对接部的间隙不同的情况下,条件B的金属板的塑性化区域的图。
- [0104] 图36是表示在实施例3中,在对接部的间隙不同的情况下,条件C的金属板的塑性化区域的图。
- [0105] 图37是表示在实施例3中,在对接部的间隙不同的情况下,条件D的金属板的塑性化区域的图。
- [0106] 图38是表示在实施例3中,在对接部的间隙不同的情况下,条件E的金属板的塑性化区域的图。
- [0107] 图39是将实施例3的结果汇总后的表。
- [0108] 图40是将使双轴肩部搅拌头型工具朝左旋转时的情况汇总后的表。

[0109] 图41是表示实施例4的卡合形态或对接形态的主视图,其中,图41(a)表示类型I,图41(b)表示类型II,图41(c)表示类型II I。

[0110] 图42是表示实施例4的类型I的角变形的结果的图。

[0111] 图43是表示实施例4的类型II的角变形的结果的图。

[0112] 图44是表示实施例4的类型III的角变形的结果的图。

[0113] 图45是将实施例4的双轴肩部搅拌头型工具的旋转方向、螺旋槽的卷绕方向、卡合形态汇总后的表。

[0114] 图46是用于表示实施例6的图,图46(a)表示待试验体,图46(b)是将各条件汇总后的表。

[0115] 图47是表示实施例6的板厚a与长度c的关联关系的图。

具体实施方式

[0116] [实施方式1]

[0117] 以下,参照附图,对本发明的实施方式进行详细说明。如图1所示,本实施方式的摩擦搅拌装置1是对经对接后的一对金属板的对接部N进行摩擦搅拌接合的装置。在摩擦搅拌装置1的前端安装有双轴肩部搅拌头型工具5。首先,对所要接合的一对金属板进行说明。说明中的上、下、前、后、左、右按照图1的箭头方向。

[0118] <中空型材>

[0119] 如图2(a)所示,在本实施方式中,例示了将中空型材100A与中空型材100B接合的情况。中空型材100A是铝合金制的挤压材料,且是具有截面呈矩形的中空部100a的长条构件。中空型材100A具有包括中空部100a的主体部101、从主体部101的左侧面上下端分别朝左侧(中空型材100B一侧)伸出的板状端部102、103。

[0120] 主体部101由四个面材料104、105、106、107构成,其截面形成为矩形。板状端部102、103呈板状,并垂直于面材料105。板状端部102、103的左右方向长度为面材料104的一半左右。此外,板状端部102、103的厚度与面材料104、105、106、107的厚度相同。板状端部102、103是相当于权利要求书中的“金属板”的部位。

[0121] 中空型材100B是具有与中空型材100A相同形状的金属构件。中空型材100B标注与中空型材100A相同的符号,而省略详细说明。

[0122] 在中空型材100A与中空型材100B对接时,使中空型材100A的板状端部102、103分别与中空型材100B的板状端部102、103对接。更详细地说,使中空型材100A的板状端部102的端面102a与中空型材100B的板状端部102的端面102a对接,使中空型材100A的板状端部103的端面103a与中空型材100B的板状端部103的端面103a对接。如图2(b)所示,在使中空型材100A与中空型材100B对接时,端面102a、102a的高度方向的中心彼此重叠,并且,板状端部102、102的各上表面齐平,板状端部102、102的各下表面齐平。

[0123] 如图2(b)所示,将使端面102a与端面102a、端面103a与端面103a对接后的部分称为“对接部N”。在将对接部N进行接合时,最好使端面102a与端面102a紧密接触,但有时会因中空型材100A、100B的公差或接合时的摩擦热,使板状端部102、102发生变形,而在端面102a与端面102a间产生细小的间隙。对接部N是包括端面102a与端面102a之间产生细小间隙的情况在内的概念。

[0124] 另外,在本实施方式中,例示了将中空型材的板状端部作为所要接合的对象,但所要接合的对象由能摩擦搅拌的金属形成,只要是呈板状的构件,并无特别的限制。

[0125] <摩擦搅拌装置>

[0126] 如图3所示,摩擦搅拌装置1主要由夹头部1a和固定在夹头部1a内部的旋转工具单元2构成。如图4所示,夹头部1a是包括凸缘的圆筒状构件,并使用螺钉B1而与摩擦搅拌装置1的主体D连接。夹头部1a是通过摩擦搅拌装置1的驱动旋转而绕轴旋转的部位。在夹头部1a的内周形成有圆筒面1b。

[0127] 如图4所示,旋转工具单元2由保持件3、滑动轴4、双轴肩部搅拌头型工具5和滑动元件6构成。旋转工具单元2可相对于夹头部1a装拆。

[0128] 保持件3是内置有滑动轴4且固定在夹头部1a内部的构件。保持件3呈圆筒状。在保持件3的外表面形成有沿着上下方向平坦地延伸设置的平坦面3a,因此,圆筒面1b与平坦面3a之间形成细小的间隙。螺栓2B、2B从夹头部1a的外表面朝径向进行紧固,其前端与平坦面3a抵接。藉此,夹头部1a与保持件3一体地旋转。此外,如图5所示,保持件3形成有沿径向贯通的长孔状的键槽3b。

[0129] 如图4所示,滑动轴4呈圆筒状,其是配置于保持件3的中空部的构件。滑动轴4相对于保持件3能在上下方向上移动。如图5所示,在滑动轴4的外表面形成有朝外侧突出的键4a。键4a与键槽3b卡合,藉此,保持件3与滑动轴4一体地旋转。

[0130] 如图6所示,双轴肩部搅拌头型工具5例如由工具钢形成,并与滑动轴4连接。双轴肩部搅拌头型工具5与夹头部1a、保持件3及滑动轴4一体地朝正反方向的旋转。双轴肩部搅拌头型工具5具有第一轴肩部11、在第一轴肩部11的下方隔着间隔设置的第二轴肩部12、将第一轴肩部11与第二轴肩部12连结的销13。

[0131] 第一轴肩部11和第二轴肩部12呈圆柱状,并具有相同的外径。销13呈圆柱状,并将第一轴肩部11与第二轴肩部12连结。销13贯通第二轴肩部12。贯通第二轴肩部12的销13在第二轴肩部12的下端通过螺母紧固。在销13的外周面刻有上部螺旋槽13a和下部螺旋槽13b。上部螺旋槽13a及下部螺旋槽13b的槽方向以朝彼此相反的方向卷绕的方式刻设。

[0132] 上部螺旋槽13a从第一肩轴11的下端刻设至销13的高度方向的中间位置。在本实施方式中,使双轴肩部搅拌头型工具5朝右旋转,因此,上部螺旋槽13a以右螺纹的方式形成。也就是说,上部螺旋槽13a是以从上向下朝右侧卷绕的方式刻设。

[0133] 另一方面,下部螺旋槽13b从第二肩轴12的上端刻设至销13的高度方向的中间位置。在本实施方式中,使双轴肩部搅拌头型工具5朝右旋转,因此,下部螺旋槽13b以左螺纹的方式形成。也就是说,下部螺旋槽13b是以从上向下朝左卷绕的方式刻设。

[0134] 通过如上所述形成上部螺旋槽13a及下部螺旋槽13b,经摩擦搅拌而塑性流动化后的金属便会从板状端部102的高度方向的中央部分朝上端方向或下端方向稍许移动。另外,上述朝上下方向的金属移动与因双轴肩部搅拌头型工具5的销13的旋转而使金属在周方向上的移动相比,仅仅是微量。

[0135] 对于螺旋槽的卷绕方向或所刻设的比例,只要根据所要接合的金属板的装饰面与双轴肩部搅拌头型工具5的位置关系、双轴肩部搅拌头型工具的旋转方向等来适当地设定即可。在本实施方式中,虽对销13刻设有右螺纹和左螺纹这两种螺旋槽,但也可以对销13全部刻设右螺旋的螺旋槽,或是全部刻设左螺旋的螺旋槽。此外,在本实施方式中,虽在第一

轴肩部11侧刻设右螺纹,在第二轴肩部12侧刻设左螺纹,但也可以在第一轴肩部11侧刻设左螺纹,在第二轴肩部12侧刻设右螺纹。

[0136] 如图6所示,较为理想的是,使双轴肩部搅拌头型工具5的轴肩部间的距离Z(销13的长度)与中空型材100A的板状端部102的厚度T相同或比中空型材100A的板状端部102的厚度T小。例如,在本实施方式中,轴肩部间的距离Z比中空型材100A的板状端部102的厚度T小0.2mm。

[0137] 另外,在能将对接部N(参照图2(b))的端面102a、102a的间隙设定为0.75mm以下的情况下,即便将板状端部102的厚度T与轴肩部的间距Z设定为相同,即 $T-Z=0$,也能够获得良好的接合状态。

[0138] 此外,在能将对接部N的端面102a、102a的间隙设定为1.00mm以下的情况下,较为理想的是,将板状端部102的厚度T与轴肩部的间距Z设定为 $0.2\text{mm} \leq T-Z \leq 0.8\text{mm}$ 。

[0139] 在能将对接部N的端面102a、102a的间隙设定为大于1.00mm、且为1.75mm以下的情况下,较为理想的是,将板状端部102的厚度T与轴肩部的间距Z设定为 $0.4\text{mm} \leq T-Z \leq 0.8\text{mm}$ 。

[0140] 此外,较为理想的是,将双轴肩部搅拌头型工具5设定成使第一轴肩部11及第二轴肩部12的外径X的平方值除以销13的外径Y的平方值后的值比2.0大。根据上述的双轴肩部搅拌头型工具5,能利用第一轴肩部11与第二轴肩部12来抑制作为毛边而排出的材料量,因此,能减少接合缺陷的产生。

[0141] 此外,较为理想的是,将双轴肩部搅拌头型工具5设定成第一轴肩部11及第二轴肩部12的外径X的平方值减去销13的外径Y的平方值后得到的值,并使销13的外径Y的平方值除以上述得到的值后的值比0.2大。根据上述的双轴肩部搅拌头型工具5,能够充分地确保接合时销相对于在工具轴向上产生的材料阻力的抗拉伸力,因此,能防止销13的破损。

[0142] 此外,较为理想的是,将双轴肩部搅拌头型工具5设定成使销13的外径Y的平方值除以销13的外径Y乘轴肩部间的距离Z后的值比1.2大。根据上述的双轴肩部搅拌头型工具5,能够充分确保接合时销相对于沿与工具行进方向相反的方向流动的材料阻力的抗折力,因此,能防止销13的破损。对于上述根据,将在实施例中予以记载。

[0143] 如图3(b)及图4所示,滑动元件6是使滑动轴4相对于保持件3在上下方向上顺畅地移动的机构。滑动元件6由形成在保持件3的内表面上的轴承槽8和在轴承槽8内滑动的球轴承9构成。如图3(b)所示,轴承槽8在保持件3的内表面型材为侧视呈长圆状。轴承槽8的深度比球轴承9的直径小。球轴承9在轴承槽8的内部配置有多个。球轴承9的一端与滑动轴4的外表面滑动接触,且另一端与轴承槽8的内表面滑动接触。

[0144] 另外,滑动元件6的结构不限于本实施方式的结构。滑动元件6只要构成为能使保持件3和滑动轴4一体地旋转,并且使滑动轴4相对于保持件3在上下方向上顺畅地移动即可。例如,也可以在滑动轴4侧设置轴承槽8和球轴承9。

[0145] 在此,在进行摩擦搅拌接合时,有时会因摩擦热而使板状端部102、102的温度上升,并使板状端部102、102朝上方或下方翘曲。在本实施方式的摩擦搅拌装置1中,由于滑动轴4形成为能相对于保持件3移动,因此,在板状端部102朝例如上方翘曲时,双轴肩部搅拌头型工具5能随着上述翘曲而朝上方移动规定距离。另一方面,在板状端部102朝下方翘曲时,双轴肩部搅拌头型工具5能随着上述翘曲而朝下方移动规定距离。藉此,能够抑制在摩

擦搅拌接合中双轴肩部搅拌头型工具5相对于金属板的位置偏移。

[0146] 接着,对使用实施方式1的双轴肩部搅拌头型工具5的接合方法进行说明。

[0147] 在实施方式1的接合方法中,使双轴肩部搅拌头型工具5朝右旋转来进行接合。具体来说,在这种接合方法中,进行使中空型材彼此对接的对接工序和将双轴肩部搅拌头型工具5插入对接部N的接合工序。在此,将表面Sa设定为装饰面。

[0148] 在对接工序中,如图2所示,使中空型材100A与中空型材100B的板状端部102彼此相对,使端面102a与端面102a、端面103a与端面103a面接触。更详细地说,以使一方的端面102a的中点与另一方的端面102a的中点重叠的方式面接触。在对接后,可沿着对接部N通过焊接等方式进行临时接合,而使中空型材100A与中空型材100B不分开。在使中空型材100A与中空型材100B对接后,将两者固定使其不能移动。

[0149] 在接合工序中,首先,在对接部N的外部,使销13的中心13c位于与对接部N的中心Nc重叠的位置。接着,如图7所示,使右旋转的双轴肩部搅拌头型工具5沿着对接部N移动。在双轴肩部搅拌头型工具5插入对接部N后,利用高速旋转的销13对销13周围的金属进行摩擦搅拌,并使板状端部102之间一体化。在销13的轨迹上形成有塑性化区域W。

[0150] 根据以上说明的本实施方式的接合方法,即使因摩擦搅拌接合的摩擦热而使板状端部(金属板)102、102翘曲,双轴肩部搅拌头型工具5也会随着上述翘曲而在上下方向上顺畅地移动。藉此,能够抑制销13的中心13c与对接部N的中心Nc的高度位置发生偏移。因此,能防止接合位置发生偏移。

[0151] 此外,像本实施方式这样,通过将双轴肩部搅拌头型工具5的轴肩部间的距离Z设定为板状端部102的厚度T以下,就能够对塑性流动化的金属进行按压,因此,能防止因摩擦搅拌而塑性流动化的金属溢出至第一轴肩部11及第二轴肩部12的外部。藉此,能够抑制接合缺陷的产生。另外,若 $T-Z$ 的值超过0.8,则会增大对摩擦搅拌装置1的负荷,因此,不合适。

[0152] 此外,根据接合方法,经摩擦搅拌而流动化的金属被销13的右螺纹的上部螺旋槽13a和左螺纹的下部螺旋槽13b引导,而从板状端部102的中心Nc分别朝表面Sa侧及背面Sb侧移动。由于右螺纹的上部螺旋槽13a以25%以上的比例形成,因此,由上述螺旋槽引起的金属移动会使双轴肩部搅拌头型工具5相对于板状端部102朝滑动轴4侧(上方)推动,能防止过深地进入表面(装饰面)Sa。藉此,能防止装饰面产生凹槽V,或者是即使产生凹槽V也能减小凹槽V的深度。通过防止凹槽V产生或者是减小凹槽V的深度,就可容易地进行使表面(装饰面)Sa变得平滑的精加工处理。

[0153] 此外,在实施方式1中,上部螺旋槽13a与下部螺旋槽13b的比例为50:50,因此,如图7(a)所示,能够使在上侧和下侧移动的金属量均等。藉此,能进一步防止销13的中心13c与对接部N的中心Nc的位置偏移。此外,由于刻设有上部螺旋槽13a和下部螺旋槽13b,因此,能提高摩擦搅拌的搅拌效率。

[0154] 在进行接合工序时,较为理想的是,在例如利用能供给冷却后的气体或液体等的冷却装置对板状端部102的表面(装饰面)Sa进行冷却的同时进行接合。藉此,能够抑制板状端部102的变形而使接合精度提高。另外,也可以在对板状端部102的背面Sb侧进行冷却的同时进行接合。

[0155] [实施方式2]

[0156] 在实施方式2的接合方法中,双轴肩部搅拌头型工具的螺旋槽的结构及旋转方向与实施方式1不同。在实施方式2的说明中,对于与实施方式1相同的点,省略详细说明。

[0157] 图8是表示实施方式2的双轴肩部搅拌头型工具的侧视图。如图8所示,在实施方式2的双轴肩部搅拌头型工具5A的销13的外周面刻设有形成在上半部的左螺纹的上部螺旋槽13a和形成在下半部的右螺纹的下部螺旋槽13b。也就是说,上部螺旋槽13a以从上向下朝左卷绕的方式刻设,下部螺旋槽13b以从上向下朝右卷绕的方式刻设。

[0158] 较为理想的是,双轴肩部搅拌头型工具5A的轴肩部间的距离(销13的长度)Z为中空型材100A的板状端部102的板厚T以下。例如,在本实施方式中,轴肩部间的距离Z比中空型材100A的板状端部102的板厚T小0.4mm。

[0159] 接着,对使用实施方式2的双轴肩部搅拌头型工具5A的接合方法进行说明。

[0160] 在实施方式2的接合方法中,如图9所示,使双轴肩部搅拌头型工具5A朝左旋转来进行接合。具体来说,在上述接合方法中,进行使中空型材彼此对接的对接工序和将双轴肩部搅拌头型工具5A插入对接部N的接合工序。在此,将表面Sa设定为装饰面。由于对接工序与实施方式1相同,因此,省略说明。

[0161] 在接合工序中,首先,在对接部N的外部,使销13的中心13c位于与对接部N的中心Nc重叠的位置。接着,如图9所示,使左旋转的双轴肩部搅拌头型工具5A沿着对接部N移动。在将双轴肩部搅拌头型工具5A插入对接部N后,利用高速旋转的销13对销13周围的金属进行摩擦搅拌,而使板状端部102彼此一体化。在销13的轨迹上形成有塑性化区域W。

[0162] 根据上述接合方法,经摩擦搅拌而流动化的金属被销13的左螺纹的上部螺旋槽13a和右螺纹的下部螺旋槽13b引导,而从板状端部102的中心Nc分别朝表面Sa侧及背面Sb侧移动。由于左螺纹的上部螺旋槽13a以25%以上的比例形成,因此,由螺旋槽引起的金属移动会使双轴肩部搅拌头型工具5A相对于板状端部102朝滑动轴4侧(上方)推动,能防止过深地进入表面(装饰面)Sa。藉此,能防止在装饰面Sa上产生凹槽V,或者是即使形成有凹槽V也能减小凹槽V的深度。

[0163] 此外,在实施方式2中,上部螺旋槽13a与下部螺旋槽13b的比例为50:50,因此,能够使移动的金属量均等。藉此,能进一步防止销13的中心13c与对接部N的中心Nc的位置偏移。此外,由于刻设有上部螺旋槽13a和下部螺旋槽13b,因此,能提高摩擦搅拌的搅拌效率。

[0164] <变形例1>

[0165] 在变形例1中,如图10(a)所示,在板状端部102A与板状端部102B的厚度不同这点上,与上述实施方式不同。板状端部102B的厚度T1比板状端部102A的厚度T2厚。在变形例1中,将板状端部102A与板状端部102B以使板状端部102A的高度方向上的中点与板状端部102B的高度方向上的中点重叠的方式对接。

[0166] 在变形例1的对接工序中,使双轴肩部搅拌头型工具5朝右旋转,将板状端部102B的对接部N的厚度较大的板状端部102B(金属板)配置在行进方向的左侧。

[0167] 在摩擦搅拌时,在使旋转工具朝右旋转的情况下,塑性流动化的金属具有从工具行进方向的左侧(剪切侧:旋转工具的旋转速度加上旋转工具的移动速度一侧)朝工具行进方向的右侧(流动侧:旋转工具的旋转速度减去旋转工具的移动速度一侧)流动的趋势,因此,假设在金属板之间具有间隙,则剪切侧的金属会将上述间隙填埋。因而,若剪切侧的金属板厚度小,则具有金属不足而使接合后的塑性化区域的中央部厚度变小的趋势。另外,在

使旋转工具朝左旋转的情况下,工具行进方向的右侧为剪切侧,左侧为流动侧。

[0168] 在变形例1中,通过使位于剪切侧的板状端部102B的厚度T1比板状端部102A的厚度T2厚,就能够消除塑性化区域W的中央部的金属不足,而使接合更理想。

[0169] <变形例2>

[0170] 在变形例2中,如图10(b)所示,在板状端部102C与板状端部102D的厚度不同这一点上,与上述实施方式不同。板状端部102C的厚度T1比板状端部102D的厚度T2厚。在变形例2中,将板状端部102C与板状端部102D以使板状端部102C的高度方向上的中点与板状端部102D的高度方向上的中点重叠的方式对接。

[0171] 在变形例2的对接工序中,使双轴肩部搅拌头型工具5朝左旋转,将板状端部102C的对接部N的厚度较大的板状端部102C(金属板)配置在行进方向的右侧。

[0172] 在变形例2中,利用与变形例1相同的原理,使位于剪切侧的板状端部102C的厚度T1比板状端部102D的厚度T2厚,就能够消除塑性化区域W的中央部的金属不足,而使接合更理想。

[0173] <变形例3>

[0174] 如图11(a)、图11(b)所示,变形例3的旋转工具单元包括保持件50、滑动轴51、滑动元件52和双轴肩部搅拌头型工具5。主要是保持件50和滑动轴51的结构与第一实施方式有所不同。

[0175] 保持件50由主体筒部53和形成在主体筒部53下端的轴环部54构成。主体筒部53呈圆筒状。如图11(b)所示,在主体筒部53的内表面形成有朝向内侧突出的凸条53a、53a。凸条53a、53a形成在相对的位置上。凸条53a的截面呈大致半圆形状,并在主体筒部53的高度方向上的全长范围内形成。

[0176] 轴环部54的截面呈L字形,俯视呈环状,并与主体筒部53的下端接合。轴环部54包括比主体筒部53的内表面更朝内侧伸出的限位部54a。

[0177] 滑动轴51包括大径部55、设置在大径部55的下部的小径部56、由大径部55和小径部56形成的台阶部57。如图11(b)所示,在大径部55的外表面形成有与凸条53a相对应的凹条55a、55a。凹条55a具有与凸条53a大致相同的形状,并在大径部55的高度方向上的全长范围内形成。

[0178] 滑动元件52具有与实施方式1大致相同的结构,如图11(b)所示,具有轴承槽52a和球轴承52b。滑动元件52使滑动轴51相对于保持件50沿轴向顺畅地移动。

[0179] 通过将保持件50的凸条53a与滑动轴51的凹条55a卡合,不仅能允许在轴向上的移动,而且能使保持件50与滑动轴51一体地旋转。由于凸条53a形成在保持件50的高度方向的全长上,因此,能增长滑动轴51的移动距离。此外,由于凸条53a的全长与凹条55a卡合,因此,能使滑动轴51稳定地移动。此外,由于凸条53a和凹条55a夹着转轴设置在两侧,因此,能更稳定地移动。此外,通过使限位部54a与滑动轴51的台阶部57抵接,就能限制滑动轴51朝下方移动。

[0180] 另外,在实施方式1、实施方式2、变形例1~变形例3中,如上所述构成了旋转工具单元,但不限于此。例如,也可以使保持件及滑动轴的水平截面形状呈多边形。

[0181] [实施方式3]

[0182] 以下,对本发明实施方式3进行说明。在实施方式3中,例示对双层面板进行接合的

情况。本实施方式的说明中的上、下、左、右、前、后依据图12的箭头。

[0183] 如图12所示,双层面板201为金属制的薄型长条构件,其主要由外板202、内板203、支承板204、204构成。各支承板204垂直于外板202及内板203。通过在左右方向上将多个双层面板201接合,就用作例如铁路车辆、飞机、船舶、土木建筑物等的结构体。双层面板201的制造方法没有特别的限制,但是,在本实施方式中,双层面板201是通过按压成型的方式形成。双层面板201的材料只要是能摩擦搅拌的金属,并没有特别的限制,但在本实施方式中,使用铝合金。

[0184] 外板202由中央部205、从中央部205朝右侧延伸设置的右侧板状端部210以及从中央部205朝左侧延伸设置的左侧板状端部220构成。

[0185] 右侧板状端部210由第一外板厚壁部211、第一钩部212、及第一覆盖部(日文:第一肉盛部)213构成。第一外板厚壁部211垂直于支承板204,并朝右侧延伸设置。第一钩部212呈钩状,其由朝右侧延伸设置的第一薄壁部214和从第一薄壁部214垂直伸出的第一伸出部215构成。第一薄壁部214的厚度为第一外板厚壁部211的三分之一左右。

[0186] 第一伸出部215从第一薄壁部214的前端朝内板203侧伸出。在第一伸出部215的侧面形成有以随着朝内板203侧便越靠近支承板204的方式倾斜的第一伸出倾斜面216。第一覆盖部213是从第一外板厚壁部211、第一薄壁部214及第一伸出部215的上表面朝上方突出一定厚度并形成在厚壁上的部位。

[0187] 左侧板状端部220主要由第二外板厚壁部221、第二钩部222及第二覆盖部223构成。第二外板厚壁部221垂直于支承板204,并朝左侧延伸设置。第二钩部222呈钩状,其由朝左侧延伸的第二薄壁部224和相对于第二薄壁部224垂直地伸出的第二伸出部225构成。第二薄壁部224的厚度为第二外板厚壁部221的三分之一左右。

[0188] 第二伸出部225从第二薄壁部224的前端朝与内板203相反的一侧伸出。在第二外板厚壁部221的左端形成有以随着朝内板203侧便远离支承板204的方式倾斜的第二厚壁部倾斜面226。第二厚壁部倾斜面226与第一伸出倾斜面216的倾斜角度相同。第二覆盖部223是从第二外板厚壁部221的上表面朝上方突出一定的厚度并形成在厚壁上的部位。

[0189] 内板203由中央部206、从中央部206朝右侧延伸设置的右侧板状端部230、从中央部206朝左侧延伸设置的左侧板状端部240构成。

[0190] 右侧板状端部230由第一内板厚壁部231、第一覆盖部232、第一端面233构成。第一内板厚壁部231垂直于支承板204,并朝右侧延伸设置。第一覆盖部232是从第一内板厚壁部231的前端侧的下表面朝下方突出,并成为厚壁的部位。

[0191] 左侧板状端部240由第二内板厚壁部241、第二覆盖部242、第二端面243构成。第二内板厚壁部241垂直于支承板204,并朝左侧延伸设置。第二覆盖部242是从第二内板厚壁部241的前端侧的下表面朝下方突出,并成为厚壁的部位。

[0192] 接着,对在本实施方式中使用的摩擦搅拌装置进行说明。如图13、图14所示,摩擦搅拌装置261由夹头部261a、固定在夹头部261a上的旋转工具单元262构成。与实施方式1同样地,夹头部261a通过螺栓与摩擦搅拌装置261的主体(未图示)接合。

[0193] 旋转工具单元262由保持件263、滑动轴264、双轴肩部搅拌头型工具265以及未图示的滑动元件构成。

[0194] 如图14所示,保持件263是内置有滑动轴264且安装在夹头部261a的内部的构件。

保持件263呈圆筒状。在保持件263形成有在半径方向上贯通的长孔状的键槽263b。

[0195] 如图14所示,滑动轴264呈圆筒状,其是插入到保持件263的中空部中的构件。滑动轴264能相对于保持件263在上下方向上移动。在滑动轴264的外表面上形成有朝向外侧突出的键264a。通过使键264a与键槽263b卡合,藉此,就可使保持件263与滑动轴264一体地旋转。

[0196] 如图15所示,双轴肩部搅拌头型工具265由第一轴肩部252、第二轴肩部253以及设置在第一轴肩部252与第二轴肩部253之间的销254构成。第一轴肩部252、第二轴肩部253、销254均呈大致圆柱状,并同轴设置。双轴肩部搅拌头型工具265是通过使销254在高速旋转的同时移动接合部分,来进行摩擦搅拌接合的工具。

[0197] 第一轴肩部252包括大径部252a、锥部252b和下端面252c。锥部252b朝向下方逐渐缩径。虽未图示,但在第一轴肩部252的下端面252c绕着销254周围形成有俯视呈涡旋形状的凹陷部。

[0198] 第二轴肩部253形成为在外表面具有槽的结构。第二轴肩部253包括大径部253a、锥部253b和上端面253c。锥部253b朝向上方逐渐缩径。大径部253a的外径Y1比大径部252a的外径X1小。此外,上端面253c的直径Y2与下端面252c的直径Y2相同。

[0199] 在销254的外表面刻设有以左螺纹的方式形成的螺旋槽255。也就是说,螺旋槽255以从上向下朝左旋转的方式刻设。销254的外径U比直径X2及直径Y2小。第一轴肩部252通过螺母与滑动轴264连接。

[0200] 较为理想的是,双轴肩部搅拌头型工具265的轴肩部间的距离(销254的长度)设定为所要接合的部分的板厚(在本实施方式中是第一外板厚壁部211与第一覆盖部213的厚度的合计)以下。螺旋槽255的槽的深度或间距等只要根据所要进行摩擦搅拌的金属板的材料或是所要接合的部分的板厚、轴肩部间的距离等来进行适当设定即可。

[0201] 滑动元件(未图示)形成在保持件263与滑动轴264之间,并能使滑动轴264相对于保持件263顺畅地上下移动。滑动元件由于与实施方式1相同,因此省略详细说明。

[0202] 在摩擦搅拌装置261中,由于滑动轴264形成为能相对于保持件263移动,因此,摩擦搅拌装置261构成为在所接合的金属板例如朝上方翘曲时,双轴肩部搅拌头型工具265能随着上述翘曲朝上方移动规定距离。另一方面,摩擦搅拌装置261构成为在所接合的金属板朝下方翘曲时,双轴肩部搅拌头型工具265能随着上述翘曲朝下方移动规定距离。藉此,能够抑制摩擦搅拌接合时双轴肩部搅拌头型工具265相对于金属板的位置偏移。

[0203] 接着,对本实施方式的双层面板的接合方法进行说明。在此,例示将两块相同形状的双层面板201并排设置后进行接合的情况。在上述接合方法中,进行准备工序和接合工序。

[0204] 在准备工序中,如图16所示,使双层面板201、201对接来形成双层面板的组装体,并固定该组装体使其不能移动。在说明中,将一方的双层面板标注为“201A”,将另一方的双层面板标注为“201B”,对于与上述双层面板各自对应的要素,会加上符号“A”、符号“B”来进行区别。

[0205] 在准备工序中,具体来说,使双层面板201A的第一钩部212A与双层面板201B的第二钩部222B卡合,并且使第一端面233A与第二端面243B对接。藉此,第一钩部212A与第二钩部222B没有间隙地卡合,形成卡合部M。另一方面,第一端面233A与第二端面243B对接后,形

成对接部N。将伸出部215A与伸出部225B卡合的部位和第一端面233A与第二端面243B对接的部位的延长线称为“中心线C”。

[0206] 在进行准备工序后,第一覆盖部213A的上表面与第二覆盖部223B的上表面齐平,同时,第一外板厚壁部211A的下表面与第二外板厚壁部221B的下表面齐平。此外,第一内板厚壁部231A的上表面与第二内板厚壁部241B的下表面齐平,同时,第一覆盖部232A的下表面与第二覆盖部242B的下表面齐平。在形成双层面板的组装体后,使用夹具固定该组装体使其不能移动。

[0207] 在接合工序中,如图17所示,使用双轴肩部搅拌头型工具265来将卡合部M接合的第一接合工序和将对接部N接合的第二接合工序。

[0208] 在第一接合工序中,使双层面板201A配置在行进方向的左侧。接着,将朝右旋转的双轴肩部搅拌头型工具265的销254的中心与中心线C上的卡合部M的高度方向的中心对准后,插入卡合部M。接着,从前侧朝向后侧沿着卡合部M进行摩擦搅拌接合。另外,在卡合部M上沿着双轴肩部搅拌头型工具265移动的轨迹形成有塑性化区域W1(参照图18)。

[0209] 在第二接合工序中,如图18所示,在第一接合工序结束后,将双层面板的组装体翻过来,并再次固定双层面板的组装体使其不能移动。接着,将朝右旋转的双轴肩部搅拌头型工具265的销254的中心与中心线C上的对接部N的高度方向的中心对准后,插入对接部N。接着,从前侧朝向后侧沿着对接部N进行摩擦搅拌接合。在对接部N上沿着双轴肩部搅拌头型工具265移动的轨迹形成有塑性化区域(未图示)。通过以上的工序,外板202A与外板202B接合,且内板203A与内板203B接合。

[0210] 根据以上说明的本实施方式的摩擦搅拌接合方法,通过使外板202A的第一钩部212A与外板202B的第二钩部222B卡合,能够简单地防止进行摩擦搅拌接合时双层面板201A与双层面板201B分开。另一方面,在内板203A及内板203B没有设置钩部,并使第一端面233A与第二端面243B对接,藉此,能够使准备工序或双层面板的制造更省力。在双层面板201A、201B为长条的情况下,若内板203A及内板203B也设置钩部,则会使卡合的作业变得困难,但根据本实施方式,可使卡合作业变得容易。

[0211] 此外,在准备工序中,在使第一钩部212A与第二钩部222B卡合时,能够使第一伸出倾斜面216A和第二主体倾斜面226B在滑动的同时进行卡合,因此,使卡合作业变得容易。具体来说,从所载置的双层面板201B的上方放下双层面板201A时,只要使第一伸出倾斜面216A和第二主体倾斜面226B滑动,就能够使第一伸出倾斜面216A与第二主体倾斜面226B卡合。

[0212] 此外,通过设置第一伸出部215A和第二伸出部225B,就能够以简单的结构进行卡合。此外,通过设置覆盖部(213A、223B、232A、242B),就能够防止摩擦搅拌接合时金属不足。在本实施方式中,在销254刻设有左螺纹的螺旋槽255,并使双轴肩部搅拌头型工具265在朝右旋转的同时从前侧朝后侧移动,因此,塑性流动化后的金属被螺旋槽255引导,而有朝第二轴肩部253移动的趋势。因而,通过将覆盖部(213A、223B、232A、242B)设置在外板202A、202B及内板203A、203B中的、与第一轴肩部252相对的一侧,就能避免第一轴肩部252侧的金属不足。

[0213] 此外,在先将对接部N接合时,双层面板201A、201B有可能会分开,但在本实施方式的接合工序中,由于先将卡合部M接合,因此,能够防止在将对接部N接合时双层面板201A、

201B分开。

[0214] 另外,双层面板201A、201B的形状或卡合形态只要是两者不会分开的形态,并没有特别的限制。较为理想的是,像本实施方式这样,使双层面板201A、201B的端部齐平,并且没有间隙地卡合。此外,也可以在一个双层面板的外板202的两端形成设有第一钩部212、212的构件,在另一个双层面板的外板202的两端形成设有第二钩部222、222的构件,并将上述双层面板交替并排设置后进行卡合及接合。此外,还可以如图19所示,使第一伸出部215A及第二伸出部225B的侧部为没有设置倾斜的形状。此外,在本实施方式中,支承板204虽与外板202及内板203垂直地形成,但也可以是倾斜的。

[0215] <实施例1>

[0216] 使用实施方式1的摩擦搅拌装置1(双轴肩部搅拌头型工具5),进行用于对所要进行摩擦搅拌接合的金属板(板状端部)的厚度及金属板彼此的间隙对接合状态带来怎样的影响进行调查的试验。如图20所示,对于所要进行摩擦搅拌接合的一对金属板的试验体(材料A6063-T5),使其厚度分别发生变化来准备试验体H1~H19。“Ad侧”是指双轴肩部搅拌头型工具的旋转方向与行进方向相同的一侧。也就是说,双轴肩部搅拌头型工具朝右旋转时是指行进方向的左侧。“Re侧”是指双轴肩部搅拌头型工具的旋转方向与行进方向相反的一侧。也就是说,双轴肩部搅拌头型工具朝右旋转时是指行进方向的右侧。

[0217] 在试验体H1~H7中,使金属厚度在Ad侧及Re侧相同。在试验体H8~H13中,将Ad侧金属板厚度固定为6.0mm,使Re侧金属板厚度发生变化。在试验体H14~H19中,将Re侧金属板厚度固定为6.0mm,使Re侧金属板厚度发生变化。

[0218] 金属板间的间隙在0~2.0mm之间每次变化0.25mm。在试验中使用的双轴肩部搅拌头型工具的轴肩部外径(轴肩部中的、与金属板接触的面的直径)设定为20mm,销外径设定为12mm,轴肩部间的距离设定为5.8mm。双轴肩部搅拌头型工具的转速设定为800rpm,移动速度设定为600/min,旋转方向设定为朝右旋转。此外,如实施方式1所记载的,上述双轴肩部搅拌头型工具是双轴肩部搅拌头型工具的高度位置会随着金属板的翘曲而发生变化的形态。在进行摩擦搅拌接合后,从X射线穿透试验和截面微组织来判断接合质量。

[0219] 图21是表示在实施例1中,试验体H1的间隙与接合部的厚度间的关系的图。图22是表示在实施例1中,试验体H3的间隙与接合部的厚度间的关系的图。实施例1的接合部是与实施方式中的塑性化区域W相同含义。此外,实施例1的接合部的“Ad部”、“Cr部”、“Re部”表示图7(b)所示的接合部(塑性化区域W)的Ad部、中央部、Re部的各位置。

[0220] 如图21所示,在将金属板的厚度彼此均设定为6.0mm来进行接合时,若间隙不足0.75mm,Ad部、Cr部、Re部的厚度的减少均很小,但若间隙为0.75mm以上,随着间隙增加,Ad部、Cr部、Re部的厚度均减少。一旦间隙超过1.2mm,则接合部的厚度不足5.8mm而产生接合缺陷。

[0221] 如图22所示,在将金属板的厚度彼此均设定为6.4mm来进行接合时,若间隙不足0.75mm,Ad部、Cr部、Re部的厚度的减少均很小。若间隙在0.75~1.75mm,Ad部、Cr部、Re部的厚度虽然均会减少,但没有产生接合缺陷。一旦间隙达到2.0mm,则接合部的厚度会显著地减少而产生接合缺陷。

[0222] 从图21及图22可知,若接合部的Cr部的厚度为5.8mm以下,则会产生接合缺陷。也就是说,即便金属板彼此存在间隙,只要通过塑性流动来供给金属,以使接合部的Cr部的厚

度不会小于与轴肩部间的距离相同的5.8mm,就可以完整地接合。由以上可知,需要设定接合条件,以使接合部(塑性化区域)的厚度为轴肩部间的距离以上。

[0223] 图23是表示在实施例1中,影响接合质量的金属板厚度与间隙间的关系的表,其示出了Ad侧的厚度=Re侧的厚度的情况。在图中,“○”表示接合状况良好的情况,“×”表示接合状况不良的情况。

[0224] 根据图23可知,即使间隙增大,只要金属板也增大,则仍会有接合状况良好的情况。但是,可以知道若金属板的厚度与轴肩部间的距离之间的差超过0.8mm(在本实施例中,金属板的厚度比6.6mm大),则在轴肩部间产生的内压变大,而使工具的寿命显著下降。

[0225] 此外,根据图23可知,轴肩部间的距离为5.8mm,金属板间的间隙为0~0.75mm以下时,只要金属板的厚度为5.8~6.6mm,则接合状况良好。也就是说,只要将金属板的厚度T和轴肩部间的距离Z设定成 $0 \leq T - Z \leq 0.8\text{mm}$,则接合状况良好。

[0226] 在T-Z值比0小的情况下,也就是说,当轴肩部间的距离Z比板状端部102的厚度T大时,塑性流动化后的金属容易从第一轴肩部11及第二轴肩部12(参照图7(a))溢出,因此,接合部(塑性化区域W)的密度降低。藉此,接合缺陷产生的可能性提高。即便金属板彼此间的间隙为0~0.75mm,也会因摩擦搅拌接合的摩擦热而使金属板的温度上升,并因金属板膨胀而使间隙消失,因此,可以认为接合状况大致良好。

[0227] 此外,根据图23可知,在轴肩部间的距离为5.8mm,金属板彼此的间隙为0~1.0mm以下时,只要金属板的厚度为6.0~6.6mm,则接合状况良好。也就是说,可以知道只要将金属板的厚度T和轴肩部间的距离Z设定成 $0.2 \leq T - Z \leq 0.8\text{mm}$,则接合状况良好。若T-Z值比0.2mm小,则塑性流动化后的金属容易从第一轴肩部11及第二轴肩部12溢出,因此,接合部的密度降低。藉此,接合缺陷产生的可能性提高。

[0228] 此外,根据图23可知,在轴肩部间的距离为5.8mm,金属板间的间隙为大于1.0mm且为1.75mm以下时,只要金属板的厚度为6.2~6.6mm,则接合状况良好。也就是说,可以知道只要将金属板的厚度T和轴肩部间的距离Z设定成 $0.4 \leq T - Z \leq 0.8\text{mm}$,则接合状况良好。若T-Z值比0.4mm小,则塑性流动化后的金属容易从第一轴肩部11及第二轴肩部12溢出,因此,接合部的密度降低。藉此,接合缺陷产生的可能性提高。

[0229] 根据图23可知,在轴肩部间的距离为5.8mm,金属板彼此的间隙为大于1.75mm且为2.00mm以下时,只要金属板的厚度为6.6mm,则接合状况良好。也就是说,可以知道只要将金属板的厚度T和轴肩部的间距Z设定成 $T - Z = 0.8\text{mm}$ 的话,则接合状况良好。若T-Z值比0.8mm小,则由于塑性流动化后的金属容易从第一轴肩部11及第二轴肩部12溢出,因此,使得接合部的密度降低。藉此,接合缺陷产生的可能性提高。

[0230] 图24是表示影响接合质量的金属板的厚度与间隙间的关系的表,其示出了使Ad侧的厚度变化而将Re侧的厚度固定的情况。图25是表示影响接合质量的金属板的厚度与间隙间的关系的表,其示出了将Ad侧的厚度固定而使Rd侧的厚度变化的情况。

[0231] 在图24的试验中,将Re侧的厚度固定为6.0mm,而使Ad侧的厚度适当变化,来进行摩擦搅拌接合。在图25的试验中,将Ad侧的厚度固定为6.2mm,而使Re侧的厚度适当变化,来进行摩擦搅拌接合。也就是说,在图32及图33的试验中,一边使所要对接的金属板的左右的厚度变化,一边观察不同间隙下的接合质量。

[0232] 在将图24及图25对比后,图24中的良好的情况较多。换言之,如图32所示,在将Re

侧的金属板固定为6.0mm,且使Ad侧的金属板在6.2mm以上变化的情况下,接合状况良好的情况较多。这是由于在实施例1中使双轴肩部搅拌头型工具朝右旋转,因此,塑性化流动后的金属容易从行进方向的左侧(Ad侧)朝右侧(Re侧)移动,在金属板彼此间存在间隙的情况下,Ad侧的金属会填埋该间隙。因此,若如图25的条件这样,使行进方向左侧的金属板的厚度比行进方向右侧的金属板厚度小,则接合部中央的金属不足,而使接合不良的可能性较高。但是,若如图24的条件这样,使行进方向左侧的金属板厚度比行进方向右侧的金属板厚度大,则可补充接合部中央的金属不足,因此,能获得良好的接合状态。

[0233] 上述的结果也可从图26及图27加以确认。标绘点“◆”表示试验体H4(Ad侧的厚度=6.6mm且Re侧的厚度=6.6mm)。标绘点“■”表示试验体H10(Ad侧的厚度=6.0mm且Re侧的厚度=6.6mm),标绘点“●”表示试验体H16(Ad侧的厚度=6.6mm且Re侧的厚度=6.0mm)。

[0234] 如图26(a)所示,可以知道在接合部的Cr部的厚度中,按照试验体H4、H16、H10的顺序变小。也就是说,可以知道若Ad侧的金属板比Re侧薄,则接合部的Cr部厚度就会变小。

[0235] 如图26(b)所示,可以知道在接合部的Ad部的厚度中,试验体H4、H10、H16均为5.8mm左右,并且比接合前的厚度有所减少。特别是,在观察试验体H4、H16时,可以知道厚度有相当程度的减少。

[0236] 如图27(a)所示,可以知道在接合部的Re部的厚度中,试验体H10、H16的厚度没有很大的差异,但试验体H4的厚度总体上比较大。此外,若将图26(b)与图27(a)整体对比,则可知Re部的厚度总体上比Ad部的厚度大。

[0237] 如图27(b)所示,可以知道接合部的平均厚度按试验体H10、H16、H4的顺序增大。

[0238] 如图26、图27所示,使用试验体H4、H16,与试验体10相比,能增大Cr部的厚度。但是,若使用试验体H4,虽然可增大接合部的厚度,但相应地会使轴肩部间的内压变大而使工具寿命降低的可能性提高。因此,通过像试验体H16这样,将Ad侧的金属板的厚度设定为比Re侧的金属板的厚度大,不仅能够使轴肩部间的内压降低,而且能增大接合部的Cr部的厚度。

[0239] <实施例2>

[0240] 使用实施方式1的摩擦搅拌装置1(双轴肩部搅拌头型工具5),进行用于对所要进行摩擦搅拌接合的金属板(板状端部)的厚度与金属板彼此的间隙对接合状态带来怎样的影响进行调查的试验。金属板彼此的间隙在0~2.0mm之间每次变化0.25mm。在试验中使用的双轴肩部搅拌头型工具的轴肩部外径(轴肩部中的、与金属板接触的面的直径)设定为10mm,销外径设定为6mm,轴肩部间的距离设定为2.8mm。双轴肩部搅拌头型工具的转速设定为2000rpm,移动速度设定为1000mm/min,旋转方向设定为朝右旋转。此外,如实施方式1所记载的,上述双轴肩部搅拌头型工具是双轴肩部搅拌头型工具的高度位置会随着金属板的翘曲而发生变化的形态。在进行摩擦搅拌接合后,从X射线穿透试验和截面微组织来判断接合质量。

[0241] 对于所要进行摩擦搅拌接合的金属板的试验体(材料A6063-T5),使用Ad侧与Re侧的金属板厚度相同,但厚度在3.0mm、3.2mm、3.4mm间改变的试验体。

[0242] 图28是表示在实施例2中,影响接合质量的金属板的厚度与间隙间的关系的图,其示出了Ad侧=Re侧的情况。在图中,“○”表示接合状况良好的情况,“×”表示接合状况不良的情况。

[0243] 根据图28可知,即使间隙增大,只要金属板的厚度相对于轴肩部间的距离 Z 也增大,则仍会有接合状况良好的情况。但是,可以知道若金属板的厚度与轴肩部间的距离之间的差超过0.6mm(本实施例中,金属板的厚度比3.4mm大),则在轴肩部间产生的内压变大,而使工具的寿命显著下降。

[0244] 此外,根据图28可知,在轴肩部间的距离 Z 为2.8mm,金属板间的间隙为0.75mm以下时,只要金属板的厚度为3.0~3.4mm,则接合状况良好。也就是说,可以知道只要将金属板的厚度 T 和轴肩部的间距 Z 设定成 $0.2 \leq T-Z \leq 0.6$ mm,则接合状况良好。若 $T-Z$ 值比0.2小,则塑性流动化的金属容易从第一轴肩部11及第二轴肩部12溢出,而使接合部的密度降低。藉此,接合缺陷产生的可能性提高。若金属板间的间隙为0.75mm以下,则因摩擦搅拌接合的摩擦热而使金属板的温度上升,因金属板膨胀而使间隙消失,因此,可以认为接合状况大致良好。

[0245] 此外,根据图28可知,在轴肩部间的距离为2.8mm,金属板彼此的间隙为大于0.75mm且为1.50mm以下时,只要金属板的厚度为3.2~3.4mm,则接合状况良好。也就是说,可以知道只要将金属板的厚度 T 和轴肩部的间距 Z 设定成 $0.4 \leq T-Z \leq 0.6$ mm,则接合状况良好。若 $T-Z$ 值比0.4mm小,则塑性流动化后的金属容易从第一轴肩部11及第二轴肩部12溢出,而使接合部的密度降低。藉此,接合缺陷产生的可能性提高。

[0246] 此外,根据图28可知,轴肩部间的距离为2.8mm,金属板彼此的间隙为大于1.50mm且为1.75mm以下时,只要金属板的厚度为3.4mm,则接合状况良好。也就是说,只要将金属板的厚度 T 和轴肩部的间距 Z 设定成 $T-Z=0.6$ mm,则接合状况良好。

[0247] 此外,根据图28可知,若间隙为2.0mm,则即使金属板的厚度为3.4mm 也会产生接合不良。

[0248] <工具形状>

[0249] 图29是表示在实施例1中,将轴肩部间的距离固定为5.8mm时各双轴肩部搅拌头型工具的尺寸和接合状况的表。图30是表示在实施例2中,将轴肩部间的距离固定为2.8mm时各双轴肩部搅拌头型工具的尺寸和接合状况的表。图31是表示在参考例中,将轴肩部间的距离固定为11.5mm时各双轴肩部搅拌头型工具的尺寸和接合状况的表。在图29、图30、图31中,示出了抗拉伸力/材料阻力、抗折力/材料阻力、材料保持趋势。

[0250] 抗拉伸力/材料阻力由 $Y^2/(X^2-Y^2)$ 来表示。也就是说,第一轴肩部11的下表面及第二轴肩部12的上表面在摩擦搅拌时因受到塑性流动化后的金属的按压,因此,拉伸应力作用在销13上。因此,抗拉伸力/材料阻力使用将第一轴肩部11的下表面(第二轴肩部12的上表面)的外径 X 的平方值减去销13的外径 Y 的平方值后得到的值 (X^2-Y^2) ,并将销13的外径 Y 的平方值除以上述得到的值后的值来表示。

[0251] 抗折力/材料阻力由 Y^2/YZ 来表示。也就是说,在双轴肩部搅拌头型工具5使对接部 N 移动时,作用有与销13的轴向垂直的方向的力。因此,抗折力/材料阻力使用将销13的外径的平方值除以销13的包括轴在内的截面的截面积后的值来表示。

[0252] 材料保持趋势由 X^2/Y^2 来表示。也就是说,在摩擦搅拌时,塑性流动化后的金属被第一轴肩部11的下表面及第二轴肩部12的上表面保持。因此,材料保持趋势使用将第一轴肩部11(第二轴肩部12)的外径 X 的平方值除以销13的外径 Y 的平方值后的值来表示。

[0253] 在对图29、图30、图31进行分析后,可知若材料保持趋势 (X^2/Y^2) 为2.0以下,则接合

缺陷容易产生,若比2.0大,则接合缺陷不会产生。若材料保持趋势(X^2/Y^2)为2.0以下,则由于销13的外径Y相对于第一轴肩部11(第二轴肩部12)的外径来说过粗,因此,可以认为对金属进行按压的轴肩部的面积变小,因而,无法充分地对被摩擦搅拌后的金属进行按压,金属便会产生毛边,而从轴肩部的外部溢出。另一方面,若材料保持趋势(X^2/Y^2)比2.0大,则相对于销13的外径Y而言,第一轴肩部11(第二轴肩部12)的外径X大,因此,能够使用两个轴肩部充分地对塑性化流动后的金属进行按压。藉此,可以认为接合缺陷不容易产生。

[0254] 此外,在对图29、图30、图31进行分析后,可知若抗拉伸力/材料阻力($Y^2/(X^2-Y^2)$)为0.2以下,则销容易破损。这是由于抗拉伸力/材料阻力($Y^2/(X^2-Y^2)$)为0.2以下时,销外径Y相对于轴肩部外径X变小,因此,可以认为在接合时销的抗拉伸力相对于在轴向上产生的材料阻力来说不足,而使销13容易折断。若抗张力/材料阻力($Y^2/(X^2-Y^2)$)比0.2大,则可以认为销外径Y相对轴肩部外径X变大,因此,销13不容易折断。

[0255] 此外,在对图29、图30、图31进行分析后,可知若抗折力/材料阻力(Y^2/YZ)为1.2以下,则销13容易破损。这是由于在抗折力/材料阻力(Y^2/YZ)为1.2以下时,销的外径Y相对于轴肩间的距离(销的长度)Z来说较小,因此,可以认为在接合时销对于沿与工具行进方向相反的方向流动的材料抗折力不足,而使销13容易折断。若抗折力/材料阻力(Y^2/YZ)大于1.2,则销外径Y相对于轴肩部间的距离(销的长度)Z来说较大,因此,销13不容易折断。

[0256] 此外,在对图29、图30、图31进行分析后,可知当抗张力/材料阻力($Y^2/(X^2-Y^2)$)为0.2以下,或是抗折力/材料阻力(Y^2/YZ)为1.2以下时,销会发生破损。然而,当抗张力/材料阻力($Y^2/(X^2-Y^2)$)大于0.2且抗折力/材料阻力(Y^2/YZ)大于1.2时,销不会破损。因此,可以得到如下结论:为了防止接合时双轴肩部搅拌头型工具的销发生破损,较为理想的是,将销的形状设计成使轴肩部外径X、销外径Y及轴肩部间的距离(销的长度)Z同时满足以下式(1)、(2)。

$$[0257] \quad Y^2/(X^2-Y^2) > 0.2 \cdots \cdots (1)$$

$$[0258] \quad Y^2/YZ > 1.2 \cdots \cdots (2)$$

[0259] <实施例3>

[0260] 在实施例3中,对双轴肩部搅拌头型工具的销上刻设的螺旋槽的比例及螺旋槽的旋转方向对接合后的金属板带来怎样的影响进行调查。参照图7(a),将双轴肩部搅拌头型工具的旋转方向设定成从滑动轴侧观察为朝右旋转。此外,使右螺纹的上部螺旋槽13a与左螺纹的下部螺旋槽13b的比例改变,来设定五种条件A~E,并进行摩擦搅拌接合。

[0261] 在条件A中,将右螺纹的上部螺旋槽13a与左螺纹的下部螺旋槽13b的比例设定为0:100(没有右螺纹)。

[0262] 在条件B中,将右螺纹的上部螺旋槽13a与左螺纹的下部螺旋槽13b的比例设定为25:75。

[0263] 在条件C中,将右螺纹的上部螺旋槽13a与左螺纹的下部螺旋槽13b的比例设定为50:50。

[0264] 在条件D中,将右螺纹的上部螺旋槽13a与左螺纹的下部螺旋槽13b的比例设定为75:25。

[0265] 在条件E中,将右螺纹的上部螺旋槽13a与左螺纹的下部螺旋槽13b的比例设定为100:0(没有左螺纹)。

[0266] 在实施例3中,准备两块板厚 T 为6.2mm的铝合金的金属板(A6063-T5),并将两块金属板接合。双轴肩部搅拌头型工具5的第一轴肩部11及第二轴肩部12的外径 X (轴肩部中的、与金属板接触的面的直径)设定为20mm,销13的外径 Y 设定为12mm,轴肩部间的距离 Z 设定为5.8mm。螺旋槽深度设定为0.81mm。双轴肩部搅拌头型工具5的转速设定为800rpm,接合速度设定为600mm/min。此外,在各条件中,为了对与对接部N间的关系进行调查,将间隙改变为0mm、1.25mm、1.50mm、1.75mm、2.00mm后,进行试验。

[0267] 图32是表示在实施例3中,螺纹比例对金属板的高低差带来的影响(对接部的间隙为0mm)的图。图33是表示在实施例3中,螺纹比例对金属板高低差带来的影响(对接部的间隙为1.5mm)的图。高低差是以接合前的金属板的表面为基准(基准=0),来表示接合后的各部位的高度位置。在高低差为正值时表示呈凸状,为负值时表示呈凹状(凹槽)。

[0268] 如图33所示,使用“▲”表示的表面Sa的Re侧在条件A~E中均表示为正值。也就是说,表面Sa的Re侧始终呈凸状。

[0269] 另一方面,使用“◆”表示的表面Sa的Ad侧在条件A中表示为很大的负值。也就是说,在条件A中,表面Sa的Ad侧呈很大的凹状。此外,在使用“◆”表示的表面Sa的Ad侧,随着右螺纹比例的增大,表面Sa的Ad侧的凹陷逐步减小,在条件E中呈凸状。

[0270] 另一方面,使用“■”表示的背面Sb的Ad侧在条件A中表示为很大的正值。也就是说,在条件A中,背面Sb的Ad侧呈很大的凸状。此外,在使用“■”表示的背面Sb的Ad侧,随着右螺纹比例的增大,背面Sb的Ad侧的凹陷逐渐增大,在条件D、E中呈凹状。也就是说,使用“◆”表示的表面Sa的Ad侧与使用“■”表示的背面Sb的Ad侧,处于与右螺纹的比例呈相反的关系。此外,使用“◆”表示的表面Sa的Ad侧与使用“■”表示的背面Sb的Ad侧即使是在条件C(50:50)下,也只是略呈凹状。

[0271] 在将图32及图33进行对比后,可知即使对接部的间隙为1.5mm,在对接部的间隙为0mm时,高低差的趋势也几乎没有改变。可以知道图33的使用“▲”表示的表面Sa的Re侧及以使用“●”表示的背面Sb的Re侧的值在整体上与图32相比要小。

[0272] 图34是表示在实施例3中,在对接部的间隙不同的情况下,条件A的金属板的塑性化区域的图。图35是表示在实施例3中,在对接部的间隙不同的情况下,条件B的金属板的塑性化区域的图。图36是表示在实施例3中,在对接部的间隙不同的情况下,条件C的金属板的塑性化区域的图。图37是表示在实施例3中,在对接部的间隙不同的情况下,条件D的金属板的塑性化区域的图。图38是表示在实施例3中,在对接部的间隙不同的情况下,条件E的金属板的塑性化区域的图。图34~图38中的各图的左栏表示进行了塑性化区域W的微组织观察的剖视图,中栏表示塑性化区域W的表面(装饰面)Sa侧的俯视图,右栏表示塑性化区域W的背面Sb侧的俯视图。

[0273] 如图34的左栏所示,在条件A的情况下,在表面(装饰面)Sa侧形成有很大的凹槽V,但在背面Sb侧没有形成凹槽V。在对接部的间隙为1.75mm、2.00mm时,表面Sa侧形成接合缺陷Q。塑性化区域W朝向背面Sb 逐渐扩张。塑性化区域W的纹路是左右非对称的。塑性化区域W的Ad侧的纹路比Re侧的纹路更深。此外,在图34中,金属板的背面Sb侧的毛边P比表面Sa侧的毛边P少。

[0274] 如图35的左栏所示,在条件B的情况下,在表面(装饰面)Sa侧形成有比条件A小的凹槽V,但在背面Sb侧没有凹槽V。在对接部的间隙为2.00mm时,在金属板的内部形成接合缺

陷Q。塑性化区域W的纹路是左右非对称的。塑性化区域W的Ad侧的纹路比Re侧的纹路更深。在将图43的条件B的背面Sb与图42的条件A的背面Sb进行对比后,条件B的毛边P产生得较多,而使表面粗糙。

[0275] 如图36的左栏所示,在条件C的情况下,在表面(装饰面)Sa侧形成有较小的凹槽V,在背面Sb侧也形成有较小的凹槽V。在对接部的间隙为2.00mm时,在金属板的内部形成接合缺陷Q。塑性化区域W的上下的纹路大致对称,且左右的纹路大致对称。在将图36的条件C的表面Sa与图35的条件B的表面Sa进行对比后,在条件C的表面Sa上几乎没有毛边。此外,在条件C的背面Sb上,Re侧的毛边P比Ad侧的毛边P产生得多。

[0276] 如图37的左栏所示,在条件D的情况下,在表面(装饰面)Sa侧没有形成凹槽V,而在背面Sb侧形成较小的凹槽V。在对接部的间隙为2.00mm时,在金属板的内部形成接合缺陷Q。此外,背面Sb的毛边P比表面Sa的毛边P产生得多。

[0277] 如图38的左栏所示,在条件E的情况下,在表面(装饰面)Sa侧没有形成凹槽V,而在背面Sb侧形成很大的凹槽V。在对接部的间隙为1.75mm、2.00mm时,在金属板的内部形成接合缺陷Q。塑性化区域W朝向背面Sb逐渐变窄。在背面Sb产生许多的毛边P,而在表面Sa则没有产生毛边P。

[0278] 图39是将实施例3的结果汇总后的表。各要素的符号直接参照实施方式2的符号。如图47的条件A的示意图所示,若在100%的范围内设置朝右旋转的左螺纹,则流动化的金属会被螺旋槽引导,而朝背面Sb侧移动。因上述金属的移动,使得双轴肩部搅拌头型工具5的第二轴肩部12受到按压,双轴肩部搅拌头型工具5相对于金属板朝与滑动轴4相反的一侧(背面Sb侧)移动。藉此,由于双轴肩部搅拌头型工具5会过深地进入表面(装饰面)Sa侧,因此,在表面Sa侧形成很大的凹槽V。

[0279] 另一方面,如图39的条件B~E所示,在设置25%以上比例的右螺纹部分来作为上部螺旋槽13a的情况下,因由右螺纹的螺旋槽引起的金属移动,就会使双轴肩部搅拌头型工具5被朝滑动轴4侧(上方)按压,从而能够防止双轴肩部搅拌头型工具过深地进入金属板的表面Sa(装饰面)。藉此,能防止在表面Sa(装饰面)产生凹槽V,或是即使形成有凹槽也能减小凹槽的深度。因此,能够减少用于使接合后的金属板表面Sa平滑的的精加工处理的耗时。但是,当在条件B、条件C中对接部的间隙为2.00mm时,以及当在条件D、条件E中对接部的间隙为1.75mm或2.00mm时,由于产生了接合缺陷Q,因此不适合。可以认为这是由于若对接部的间隙大就会导致接合部分的金属材料减少的缘故。

[0280] 另外,例如像条件E这样,在以100%的比例刻设朝右旋转的右螺纹时,双轴肩部搅拌头型工具5相对于板状端部102朝上方移动,第一轴肩部11的下表面的高度位置位于板状端部102在摩擦搅拌前的表面(装饰面)Sa的上方,在第一轴肩部11的下表面的高度位置与板状端部102在摩擦搅拌前的表面Sa之间的间隙较大的情况下,金属的按压便不够充分,但是在第一轴肩部11的下表面的高度位置与板状端部102在摩擦搅拌前的表面Sa之间的间隙微小的情况下,能够充分地按压金属。

[0281] 此外,在第一轴肩部11的下表面的高度位置与板状端部102在摩擦搅拌前的表面Sa之间的间隙微小的情况下,塑性化区域W仅比摩擦搅拌前的表面Sa突出些许。但是,将板状端部102的表面Sa变得平滑的处理由于只需要与摩擦搅拌前的表面Sa的高度对齐并将突出的部分切削即可,因此,精加工处理变得容易。

[0282] 在上述实施方式1中,上部螺旋槽13a和下部螺旋槽13b相对于轴肩部间的距离Z以50:50的比例形成,但在将装饰面设为表面Sa,且使双轴肩部搅拌头型工具5朝右旋转的情况下,较为理想的是,使第一轴肩部11侧的右螺纹的上部螺旋槽13a和第二轴肩部12侧的左螺纹的下部螺旋槽13b相对于轴肩部间的距离Z以25:75~100:0的比例形成。也就是说,也可以将右螺纹的上部螺旋槽13a形成为在第一轴肩部11侧相对于轴肩部间的距离Z形成为25%以上的部分,并将上部螺旋槽13a以外的部分全部作为左螺纹的下部螺旋槽13b。在使双轴肩部搅拌头型工具5朝右旋转的情况下,也可以不设置左螺纹,而在销13的轴向的全长上设置右螺纹。

[0283] 此外,在实施例3中,虽将表面Sa侧设定为装饰面,但也可以将背面Sb侧设定为装饰面。在这种情况下,参照图39,通过将双轴肩部搅拌头型工具5的旋转方向、螺旋槽的卷绕方向按照条件A、B、C、D设定,藉此,能防止背面Sb(装饰面)侧产生凹槽V,或是即使形成有凹槽V也能减小凹槽V的深度。

[0284] 也就是说,在使双轴肩部搅拌头型工具5朝右旋转的同时将背面侧Sb设定为装饰面的情况下,较为理想的是,包括:对接工序,在该对接工序中,使金属板的端面彼此对接;以及接合工序,在该接合工序中,在使第二轴肩部12与金属板的装饰面相对,且使销13的轴向中心与金属板的板厚方向中心对准后,使朝右旋转的双轴肩部搅拌头型工具5的销13移动到对接部N,来进行摩擦搅拌接合,将轴肩部间的距离Z设定为金属板的板厚以下,且在销13的外周面的第二轴肩部12侧形成左螺纹的螺旋槽,并使上述左螺纹的螺旋槽相对于轴肩部间的距离Z以25%以上的比例形成。

[0285] 根据上述接合方法,第二轴肩部12侧的左螺纹以25%以上的比例形成,因此,因由左螺纹的螺旋槽引起的金属移动,便会使双轴肩部搅拌头型工具5朝与滑动轴4相反一侧(下方)按压,从而能够防止双轴肩部搅拌头型工具5过深地进入金属板的背面(装饰面)Sb。藉此,能够防止在装饰面产生凹槽,或是即使形成有凹槽也能减小凹槽的深度。

[0286] 图40是使双轴肩部搅拌头型工具朝左旋转时的情况汇总后的图。

[0287] 在条件F中,将左螺纹的上部螺旋槽13a与右螺纹的下部螺旋槽13b的比例设定为0:100(没有左螺纹)。

[0288] 在条件G中,将左螺纹的上部螺旋槽13a与右螺纹的下部螺旋槽13b的比例设定为25:75。

[0289] 在条件H中,将左螺纹的上部螺旋槽13a与右螺纹的下部螺旋槽13b的比例设定为50:50。

[0290] 在条件I中,将左螺纹的上部螺旋槽13a与右螺纹的下部螺旋槽13b的比例设定为75:25。

[0291] 在条件J中,将左螺纹的上部螺旋槽13a与右螺纹的下部螺旋槽13b的比例设定为100:0(没有右螺纹)。

[0292] 如实施方式2所示,在朝左旋转时,使用在上部螺旋槽13a设有左螺纹、在下部螺旋槽13b设有右螺纹的双轴肩部搅拌头型工具5A。在使双轴肩部搅拌头型工具5A朝左旋转时,由于与实施方式1的双轴肩部搅拌头型工具5的螺纹的卷绕方向不同,因此,在结果上会表现出与实施例3相同的作用效果。也就是说,如条件G~条件J所示,因摩擦搅拌而流动化后的金属会被销13的左螺纹的上部螺旋槽13a引导后,朝第一轴肩部11侧移动,并被销13的右

螺纹的上部螺旋槽13b引导后,朝第二轴肩部12侧移动。由于左螺纹以25%以上的比例形成,因此,因由左螺纹的螺旋槽引起的金属移动,使得双轴肩部搅拌头型工具5A被朝滑动轴4侧(上方)按压,从而能够防止双轴肩部搅拌头型工具5A过深地进入金属板的表面(装饰面)Sa。藉此,能防止在表面(装饰面)Sa产生凹槽V,或是即使形成有凹槽V也能减小凹槽V的深度。藉此,能够减少用于使接合后的金属板的表面Sa变得平滑的精加工处理的耗时。

[0293] 另外,例如像条件J这样,在以100%的比例刻设朝左旋转的左螺纹时,双轴肩部搅拌头型工具5相对于板状端部102朝上方移动,而使第一轴肩部11的下表面的高度位置位于板状端部102在摩擦搅拌前的表面Sa的上方,在第一轴肩部11的下表面的高度位置与板状端部102在摩擦搅拌前的表面Sa之间的间隙较大的情况下,金属的按压便会不够充分,但是在第一轴肩部11的下表面的高度位置与板状端部102在摩擦搅拌前的表面Sa之间的间隙微小的情况下,就能充分地金属进行按压。

[0294] 在第一轴肩部11的下表面的高度位置与板状端部102在摩擦搅拌前的表面Sa之间的间隙微小的情况下,塑性化区域W仅比摩擦搅拌前的表面Sa突出些许。但是,将板状端部102的表面Sa变得平滑的处理由于只需要与摩擦搅拌前的表面Sa的高度对齐并将突出的部分切削即可,因此,精加工处理变得容易。

[0295] 在上述实施方式2中,上部螺旋槽13a和下部螺旋槽13b相对于轴肩部间的距离Z以50:50的比例形成,但在将装饰面设为表面Sa,且使双轴肩部搅拌头型工具5朝左旋转的情况下,较为理想的是,第一轴肩部11侧的左螺纹的上部螺旋槽13a和第二轴肩部12侧的右螺纹的下部螺旋槽13b相对于轴肩部间的距离Z以25:75~100:0的比例形成。也就是说,也可以将左螺纹上部螺旋槽13a形成为在第一轴肩部11侧,相对于轴肩部间的距离Z形成为25%以上的部分,而使上部螺旋槽13a以外的部分全部作为右螺纹的下部螺旋槽13b。在使双轴肩部搅拌头型工具5朝左旋转的情况下,也可以不设置右螺纹,在销13的轴向的整个全长设置左螺纹。

[0296] 另外,虽然将表面Sa侧设定为装饰面,但也可以将背面S侧设定为装饰面。在这种情况下,参照图40,通过将双轴肩部搅拌头型工具5的旋转方向、螺旋槽的卷绕方向按条件F、G、H、I设定,藉此,能防止在背面Sb(装饰面)侧产生凹槽V,或是即使形成有凹槽V也能减小凹槽V的深度。

[0297] 也就是说,在使双轴肩部搅拌头型工具5朝左旋转并将背面Sb侧设定为装饰面的情况下,较为理想的是,包括:对接工序,在该对接工序中,使金属板的端面彼此对接;以及接合工序,在该接合工序中,在使第二轴肩部12与金属板的装饰面相对,且将销13的轴向中心与金属板的板厚方向中心对准后,使朝左旋转的双轴肩部搅拌头型工具5A的销13移动到对接部N,来进行摩擦搅拌接合,将轴肩部间的距离Z设定为金属板的板厚以下,且在销13的外周面的第二轴肩部12侧形成右螺纹的螺旋槽,并使上述右螺纹的螺旋槽相对于轴肩部间的距离Z以25%以上的比例形成。

[0298] 根据以上的接合方法,第二轴肩部12侧的右螺纹以25%以上的比例形成,因此,因由右螺纹的螺旋槽引起的金属移动,使得双轴肩部搅拌头型工具5A被朝与滑动轴4的相反侧(下方)按压,从而能够防止双轴肩部搅拌头型工具5A过深地进入金属板的背面(装饰面)Sb。藉此,能够防止在背面(装饰面)产生凹槽,或是即使形成凹槽也能减小凹槽的深度。

[0299] <实施例4>

[0300] 接着,对本发明的实施例4进行说明。图41是表示实施例4的卡合形态或对接形态的主视图,其中,图41(a)表示类型I,图41(b)表示类型II,图41(c)表示类型III。在实施例4中,准备三种待试验体,仅对类型I、类型II及类型III的部分分别进行摩擦搅拌接合,并对接合后各自的角变形进行调查。

[0301] 类型I~III是由铝合金6N01-T5材料构成的双层面板201A、201B,参照图12及图41,设定成使外板厚壁部(第一外板厚壁部211、第二外板厚壁部221)的板厚 $a=3\text{mm}$ 、覆盖部(覆盖部213、223、232、242)的厚度 $b=0.5\text{mm}$ 、从支承板204到第一端面33的长度 c 及从支承板204到第二端面43的长度 $c=15\text{mm}$ 、从外板202的上表面到内板203的下表面的长度 $d=30\text{mm}$ 、左右宽度尺寸 $e=200\text{mm}$ 、延长尺寸为 5000mm 。

[0302] 参照图15,双轴肩部搅拌头型工具265设定成使第一轴肩部252的下端面252c的直径 $X2=10\text{mm}$ 、第二轴肩部253的上端面253c的直径 $Y2=10\text{mm}$ 、第二轴肩部253的外径 $Y1=15\text{mm}$ 、销254的外径 $U=6\text{mm}$ 。从第一轴肩部252到第二轴肩部253的长度(销254的长度)设定为 2.9mm 。形成于第一轴肩部252的下端面252c的凹陷部(未图示)的形状从俯视观察呈涡旋状,凹陷部的深度设定为 0.3mm ,凹陷部的间距设定为 1.2mm 。双轴肩部搅拌头型工具265设定成朝右旋转,类型I~III均从图41(a)~图41(c)的纸面外侧朝背面侧移动。双轴肩部搅拌头型工具265的转速设定为 2000rpm ,移动速度设定为 $1000\text{mm}/\text{min}$ 。

[0303] 在类型I中,如图41(a)所示,在双轴肩部搅拌头型工具265的行进方向的左侧配置双层面板201A,在右侧配置双层面板201B,并使第一钩部212A与第二钩部222B卡合。

[0304] 在类型II中,如图41(b)所示,在双轴肩部搅拌头型工具265的行进方向的右侧配置双层面板201A,在左侧配置双层面板201B,并使第一钩部212A与第二钩部222B卡合。

[0305] 在类型III中,如图41(c)所示,在双轴肩部搅拌头型工具265的行进方向的左侧配置双层面板201A,在右侧配置双层面板201B,并使第一端面233A与第二端面243B对接。

[0306] 图42是表示类型I的角变形结果的图。图43是表示类型II的角变形结果的图。图44是表示类型III的角变形结果的图。横轴表示被接合的各待试验体距左侧端的在宽度方向上的长度。宽度方向 $=200\text{mm}$ 是表示中心线C的位置。纵轴表示各待试验体的距任意的基准点的、接合后高度。对各待试验体的距前端朝延伸方向的距离为 50mm 、 200mm 、 400mm 、 600mm 、 800mm 、 950mm 的各处的高度进行计算。

[0307] 如图42、43所示,在类型I、类型II中,在宽度方向 $=180\text{mm}$ 的位置处的高度最高,在宽度方向 $=210\text{mm}$ 的位置处的高度最低。也就是说,接合部分形成小小的凹入形状。此外,在宽度方向 $=180\text{mm}\sim 210\text{mm}$ 的位置处的高低差上,类型II比类型I大。此外,在从宽度方向 $=210\text{mm}$ 的位置到待试验体的右端的高低差上,类型II也比类型I大。也就是说,可以知道类型II的角变形在整体上比类型I的角变形大。

[0308] 可以认为这是由于如图41(a)及图41(b)所示,双层面板201A、201B受到双轴肩部搅拌头型工具265的力方向和双层面板201A、201B的卡合形态的不同所引起的。可以想到在使本实施方式的双轴肩部搅拌头型工具265(销254的螺旋槽255为左螺纹)朝右旋转,而从图41的纸面外侧往背面侧移动时,作用有应力 $F1$ 。

[0309] 因此,若是图41(b)所示的类型II,则由于卡合部M的倾斜面 Ma 的倾斜方向与应力 $F1$ 的作用方向大致平行,且应力 $F1$ 相对于中心线C的输入位置与倾斜面 Ma 位于同一侧,因此,双层面板201B容易朝右斜下方移动,从而使接合中双层面板201A、201B分开的可能性提

高。

[0310] 另一方面,若是图41(a)所示的类型I,则由于卡合部M的倾斜面Ma的倾斜方向与应力F1的作用方向相交,且应力F1相对于中心线C的输入位置与倾斜面Ma位于相反侧,因此,能够有效地防止接合中双层面板201A、201B分开。

[0311] 另外,如图44所示,在类型III中,在宽度方向为180mm的位置处与在宽度方向为210mm的位置处的高度大致相同。也就是说,与左右端相比,接合部分最高,从正面观察呈山型。此外,类型III的高低差也比类型I、II的高低差大。假配置多块(例如五块)双层面板,并像类型III这样从对接部N侧开始摩擦搅拌接合,则可以认为接合后的双层面板整体的角变形量会增大。因此,从接合强度的观点来看,无论先对卡合部M和对接部N中的哪一个进行接合均没有问题,但若考虑角变形量的话,较为理想的是,先从卡合部M侧进行摩擦搅拌接合。

[0312] 图45是将双轴肩部搅拌头型工具的旋转方向、螺旋槽的卷绕方向、卡合形态汇总后的表。在图45中,示出了四种类型的优选条件1~4。如条件1(与本实施方式同)所示,在使螺旋槽为左螺纹的双轴肩部搅拌头型工具265朝右旋转,并从图45的纸面外侧朝背面侧移动的情况下,卡合形态优选选择类型I。

[0313] 也就是说,在条件1中,由于使双轴肩部搅拌头型工具265朝右旋转,因此,作用有相对于中心线C从左侧朝右侧的方向的分力,并且塑性化流动后的金属会被螺旋槽引导,而从上朝下移动。因此,在条件1中,如卡合形态所示这样作用有应力F1。因而,在类型I中,通过与应力F1相对的方式设置第二钩部212B及卡合部M的倾斜面Ma,从而能防止接合中双层面板201A、201B分开。

[0314] 此外,如条件2所示,在使螺旋槽为右螺纹的双轴肩部搅拌头型工具265朝左旋转,并从图45的纸面外侧朝背面侧移动的情况下,卡合形态优选选择类型II。

[0315] 也就是说,在条件2中,由于使双轴肩部搅拌头型工具265朝左旋转,因此,作用有相对于中心线C从右侧朝左侧的方向的分力,并且塑性化流动后的金属会被螺旋槽引导,而从上朝下移动。因此,在条件2中,如卡合形态所示这样作用有应力F2。因而,在类型II中,通过与应力F2相对的方式设置第二钩部212B及卡合部M的倾斜面Ma,从而能防止接合中双层面板201A、201B分开。

[0316] 同样地,如条件3所示,在使螺旋槽为右螺纹的双轴肩部搅拌头型工具265朝右旋转,并从图53的纸面外侧朝背面侧移动的情况下,卡合形态优选选择类型IV。

[0317] 同样地,如条件4所示,在使螺旋槽为左螺纹的双轴肩部搅拌头型工具265朝左旋转,并从图53的纸面外侧朝背面侧移动的情况下,卡合形态优选选择类型V。

[0318] 即使在条件3、条件4的情况下,通过与应力F3、F4相对的方式设置卡合面M的倾斜面Ma'及第二钩部212B',从而能防止接合中双层面板201A'、201B'分开。

[0319] 此外,在条件1、条件2中,较为理想的是,在第一轴肩部252侧设置覆盖部,在条件3、4中,较为理想的是,在第二轴肩部253侧设置覆盖部。藉此,能够将金属补充到因摩擦搅拌而使金属不足的一侧,因此,能够补充金属不足。

[0320] <实施例5>

[0321] 在实施例5,使用五块与实施例4不同尺寸的双层面板来进行摩擦搅拌接合。若参照图12,实施例5的双层面板设定成使外部厚壁部的板厚 $a=4.0\text{mm}$ 、覆盖部的厚度 $b=$

0.5mm、左右宽度尺寸 $e=400\text{mm}$ 、延长尺寸为 12500mm 。

[0322] 若参照图15,双轴肩部搅拌头型工具设定成使第一轴肩部252的下端面252c的直径 $X2=15\text{mm}$ 、第二轴肩部253的外径 $Y1=18\text{mm}$ 、第二轴肩部253的上端面253c的直径 $Y2=15\text{mm}$ 、销254的外径 $U=9\text{mm}$ 。从第一轴肩部252到第二轴肩部253的长度(销254的长度)设定为 3.7mm 。此外,将双轴肩部搅拌头型工具的旋转速度设定为 1000rpm 。此外,将双轴肩部搅拌头型工具的移动速度设定成在卡合部M侧为 $1000\text{mm}/\text{min}$ 、在对接部N侧为 $1500\text{mm}/\text{min}$ 。

[0323] 在实施例5中,将一方的双层面板放置在桌面,将另一方的双层面板从上方放下,来进行卡合及对接。通过相同的作业将五块双层面板无间隙地卡合后,固定组装体使其不能自由移动。并使用以 1.5m 间隔配置在延长方向上的横向压钳来进行按压,以使组装体不会浮动。此外,将组装体的四个角落简单地夹住。接着,从一端开始依次进行摩擦搅拌接合。

[0324] 即使在实施例5的条件下,也能制造出没有接合不良的表面件。在此,一般来说,在对金属构件进行摩擦搅拌接合时,有时会因热收缩而使接合后的金属构件发生翘曲。假设在金属构件的表面、背面进行摩擦搅拌接合的情况下,在以相同条件的旋转工具的旋转速度、移动速度及移动长度,对金属构件的表面进行摩擦搅拌接合后,对背面侧进行摩擦搅拌接合,则金属构件的背面侧可能翘曲成凹状。

[0325] 这是由于在对表面侧进行摩擦搅拌接合后,因热收缩会使金属构件在表面侧形成凹状,因此,将金属构件翻过来放在平坦的桌面时,就可使桌面与金属构件之间的间隙变大。在这种状态下,若对背面侧进行摩擦搅拌接合,则由摩擦搅拌产生的热便不容易散逸至桌面,因此,使金属构件上残留的热量增大。其结果是,由于残留于金属构件的热的共同作用,使得背面侧大幅地翘曲成凹状。

[0326] 因此,只要像实施例5这样,将对接部N侧的双轴肩部搅拌头型工具移动速度设定成比卡合部M的双轴肩部搅拌头型工具移动速度快,就能防止接合时进入对接部的热量。藉此,能够防止接合后的双层面板翘曲。

[0327] <实施例6>

[0328] 在实施例6中,为了对板状端部的板厚与长度间的关系进行调查而进行了试验。如图46(a)所示,将两块截面呈 \cap 字状的相同形状的待试验体301、301对接,并对对接部N进行摩擦搅拌接合。各待试验体301包括支承构件302、从支承构件垂直地延伸设置的板状端部303。

[0329] 待试验体301的高度设定为 30mm ,延长尺寸设定为 500mm 。如图46(a)、图46(b)所示,将板状端部303的板厚 a 及从支承构件302到板状端部303的前端的长度 c 作为参数,在各条件下进行摩擦搅拌接合。在图46(b)中,将实施例6的各条件和接合质量汇总成表。双轴肩部搅拌头型工具的尺寸如图46(b)的表所示。

[0330] 如图46(b)所示,在板厚 $a=3\text{mm}$ 、从支承构件402到板状端部403的前端的长度 $c=50\text{mm}$ 时,会产生接合不良。此外,在板厚 $a=6\text{mm}$ 的情况下,当长度 $c=70\text{mm}$ 、 80mm 会产生接合不良。在板厚 $a=12\text{mm}$ 的情况下,当长度 $c=120\text{mm}$ 时会产生接合不良。也就是说,若板状端部303的长度相对于支承构件302过长,则板状端部303的前端侧容易变形,因此容易导致接合不良。

[0331] 图47是表示实施例6的相关关系的图。图47的横轴表示板厚 a ,纵轴表示从支承构件302到板状端部303的前端的长度 c 。从该图可知,较为理想的是,将从支承构件到前端的

长度 c 设定成满足 $c \leq 7.0 \times \text{板厚}a + 18.5\text{mm}$ 的条件。只要在这种条件下,就能够抑制板状端部303的变形,因此,不容易产生接合不良。

[0332] (符号说明)

[0333] 1 摩擦搅拌装置

[0334] 1a 夹头部

[0335] 2 旋转工具单元

[0336] 3 保持件

[0337] 4 滑动轴

[0338] 5 双轴肩部搅拌头型工具

[0339] 6 滑动元件

[0340] 11 第一轴肩部

[0341] 12 第二轴肩部

[0342] 13 销

[0343] 13a 上部螺旋槽

[0344] 13b 下部螺旋槽

[0345] 100A 中空型材

[0346] 100B 中空型材

[0347] N 对接部

[0348] T 金属板的厚度

[0349] W 塑性化区域(接合部)

[0350] X 轴肩部的外径

[0351] Y 销的外径

[0352] Z 轴肩部间的距离(销的长度)

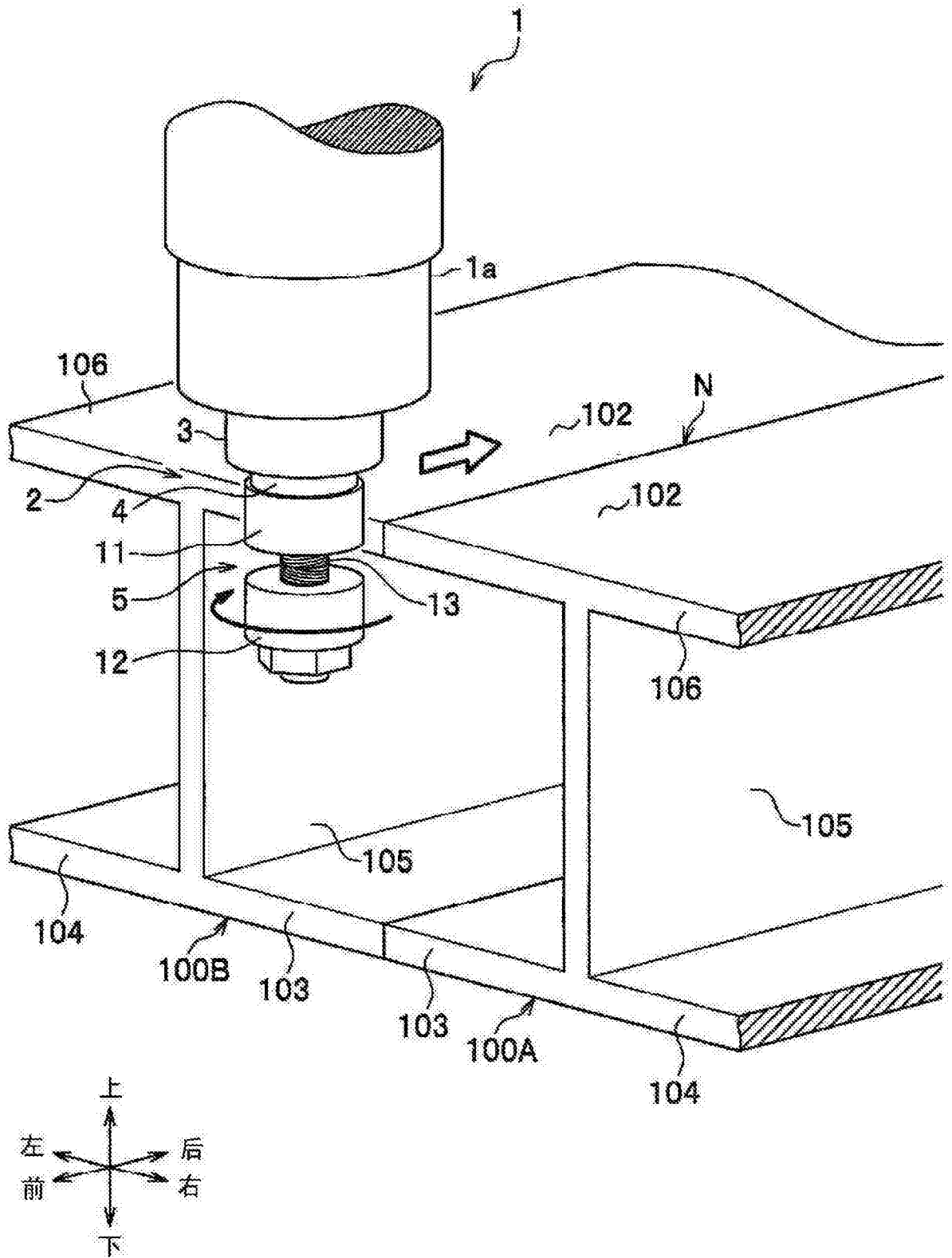


图1

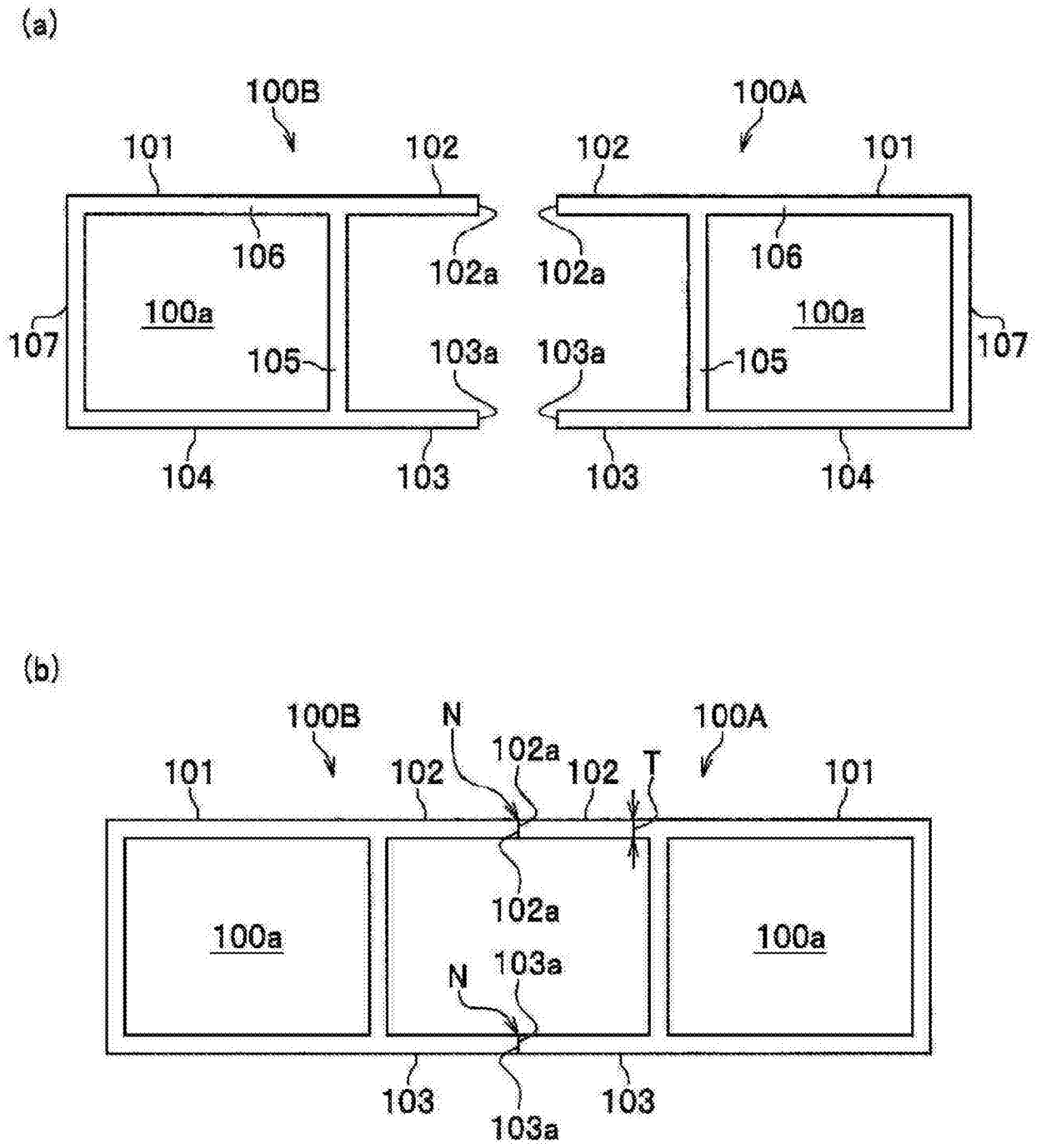


图2

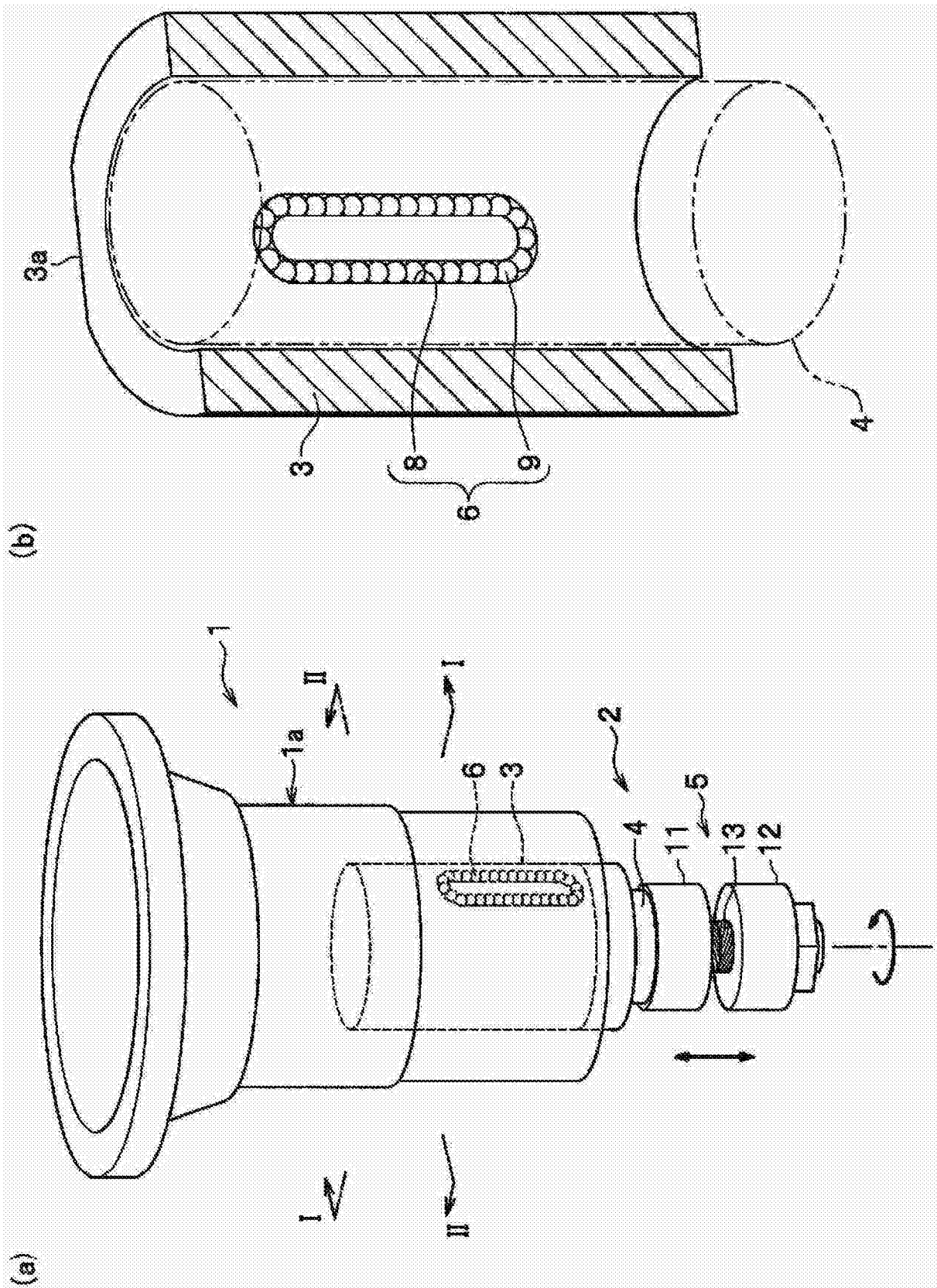


图3

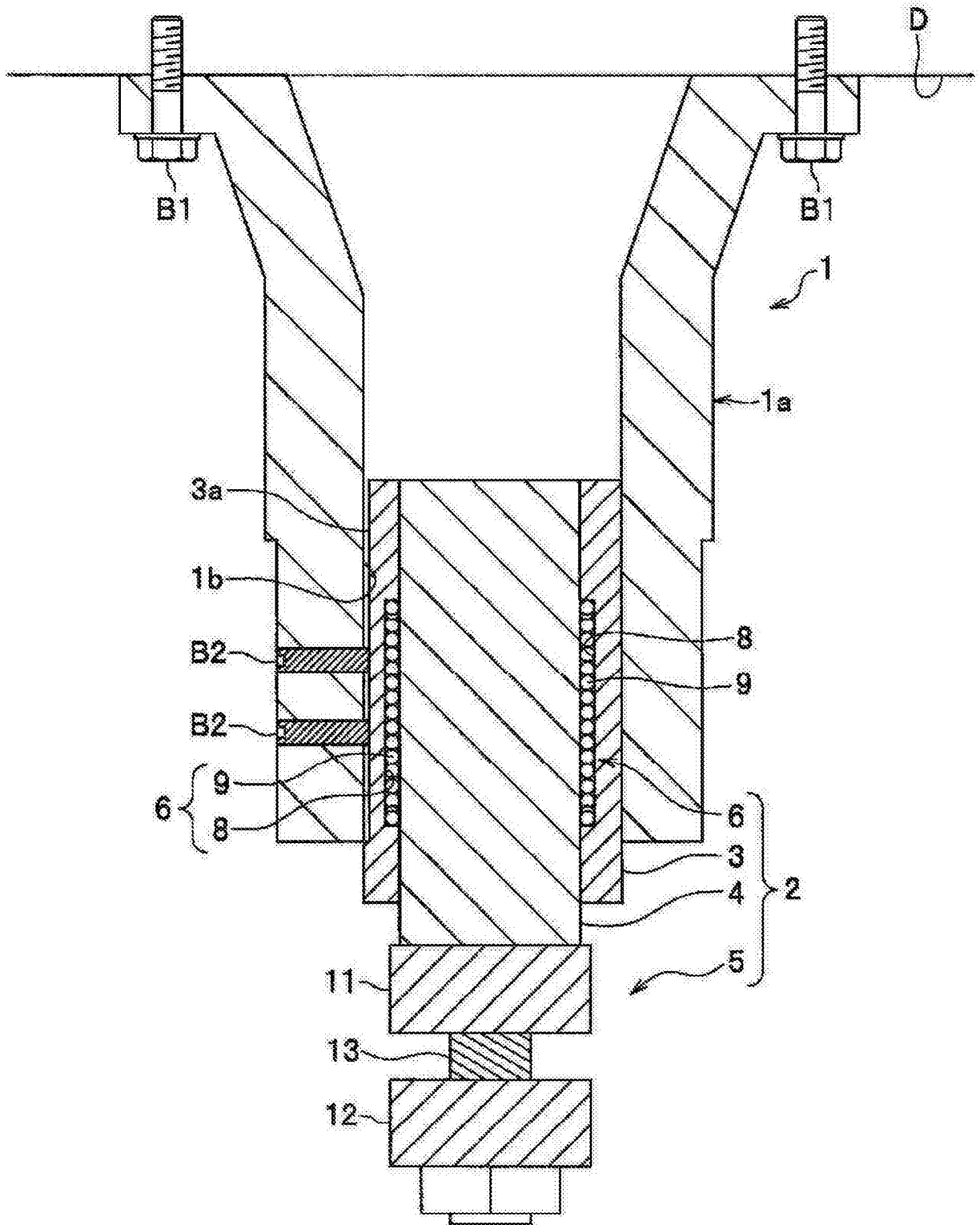


图4

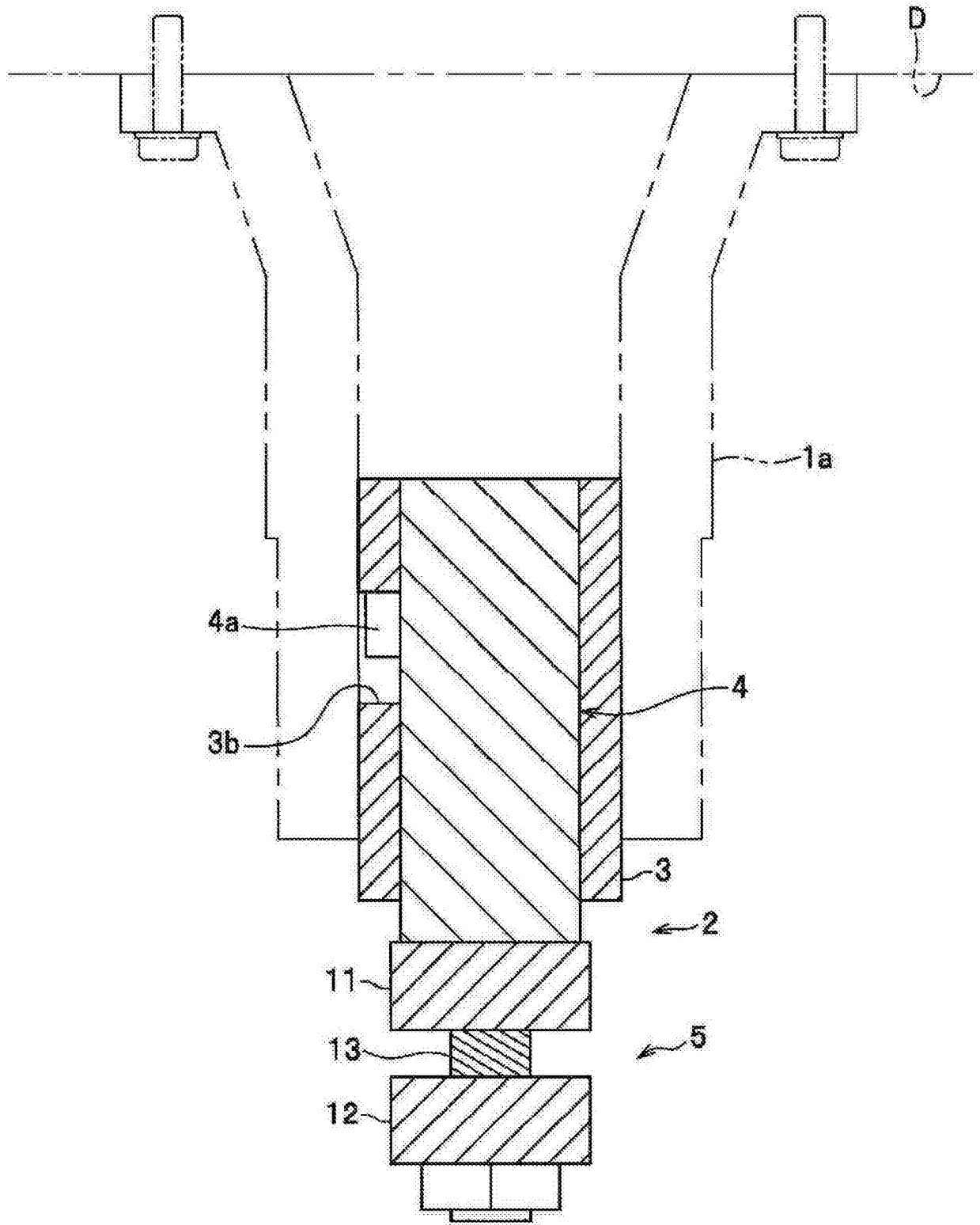


图5

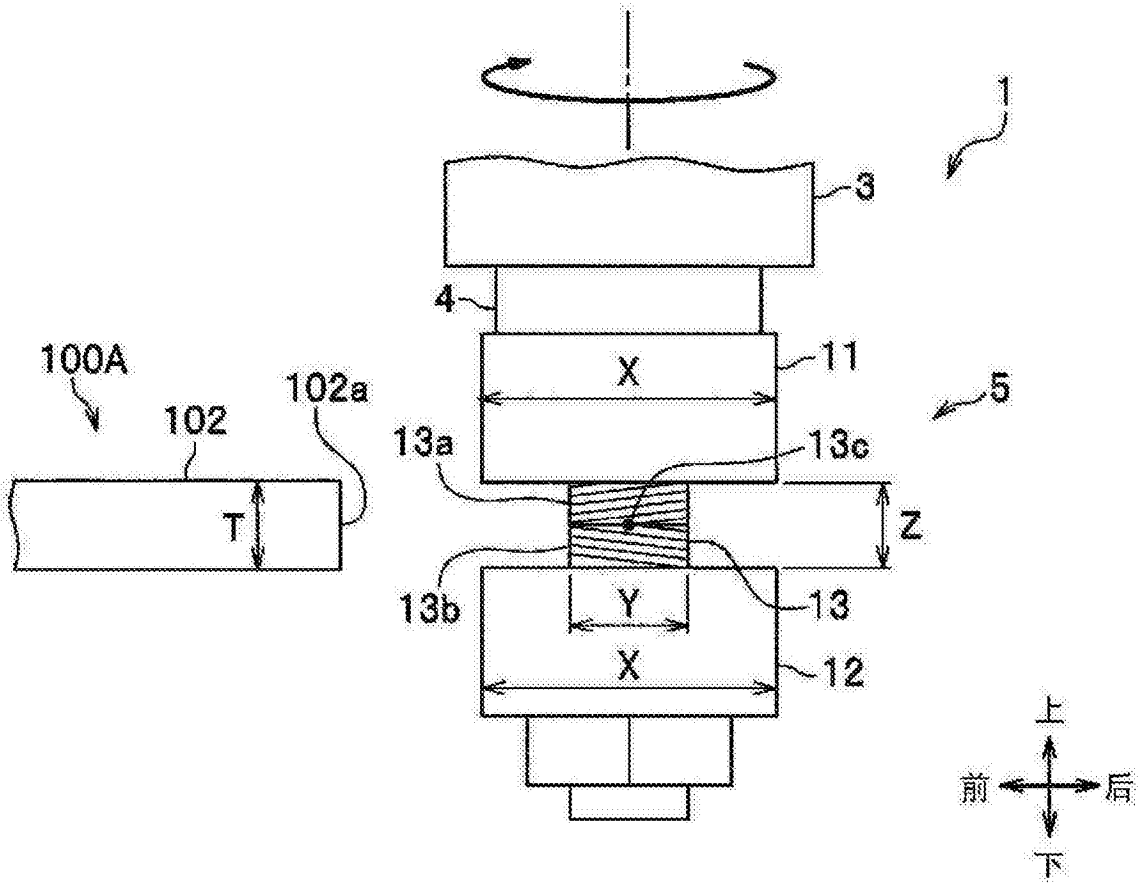
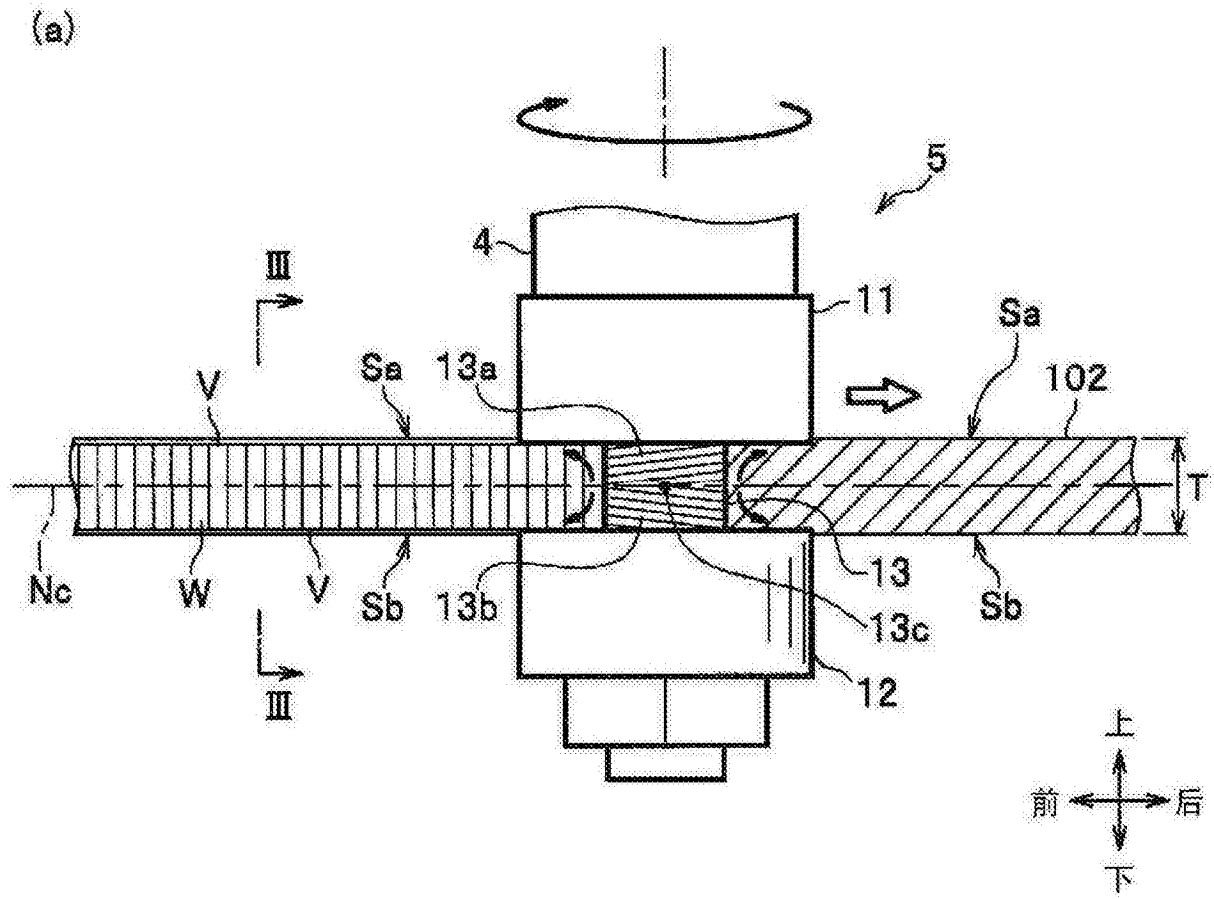


图6



(b)

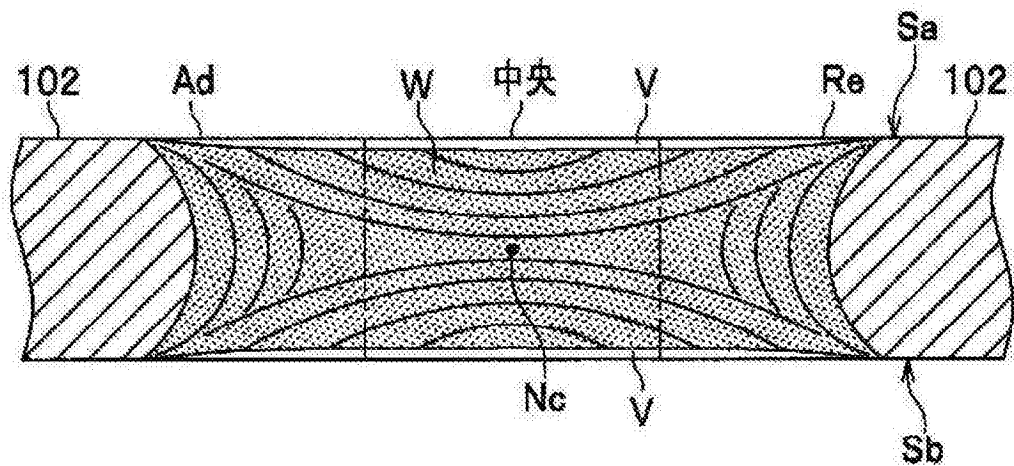


图7

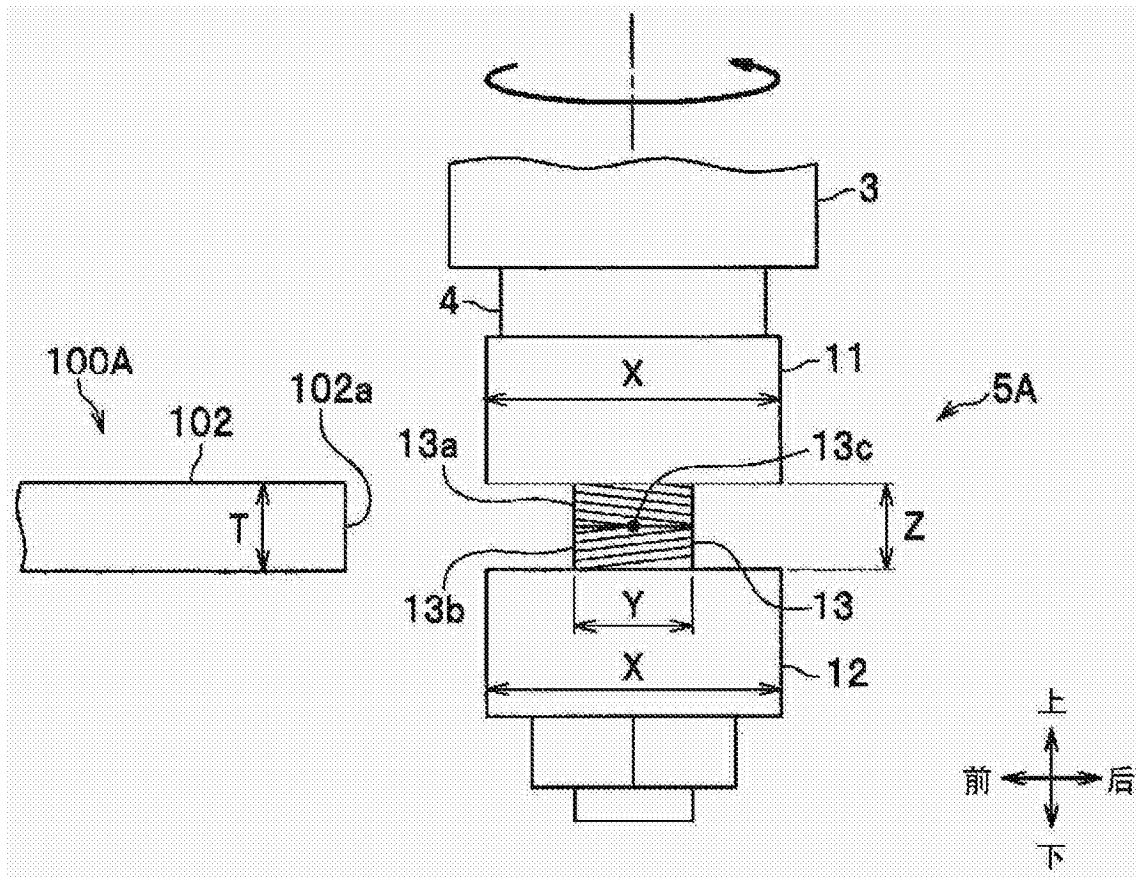


图8

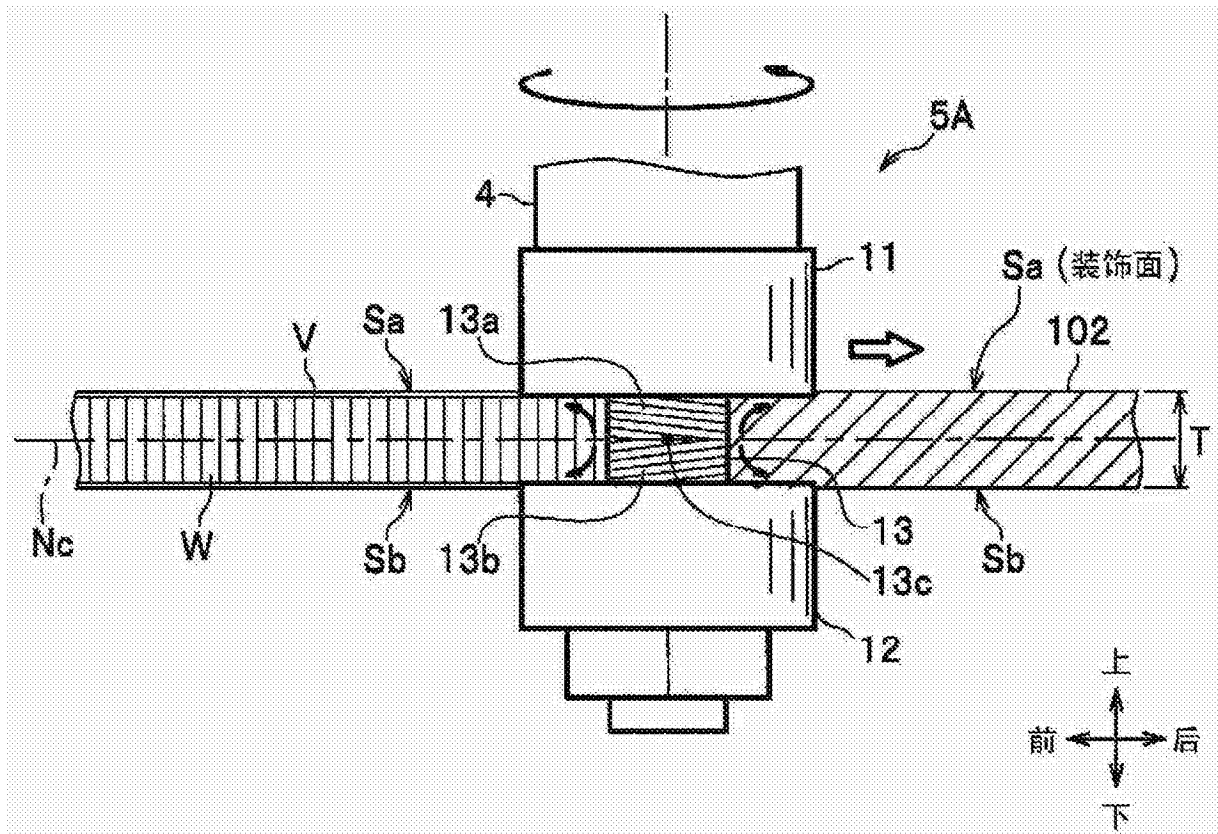


图9

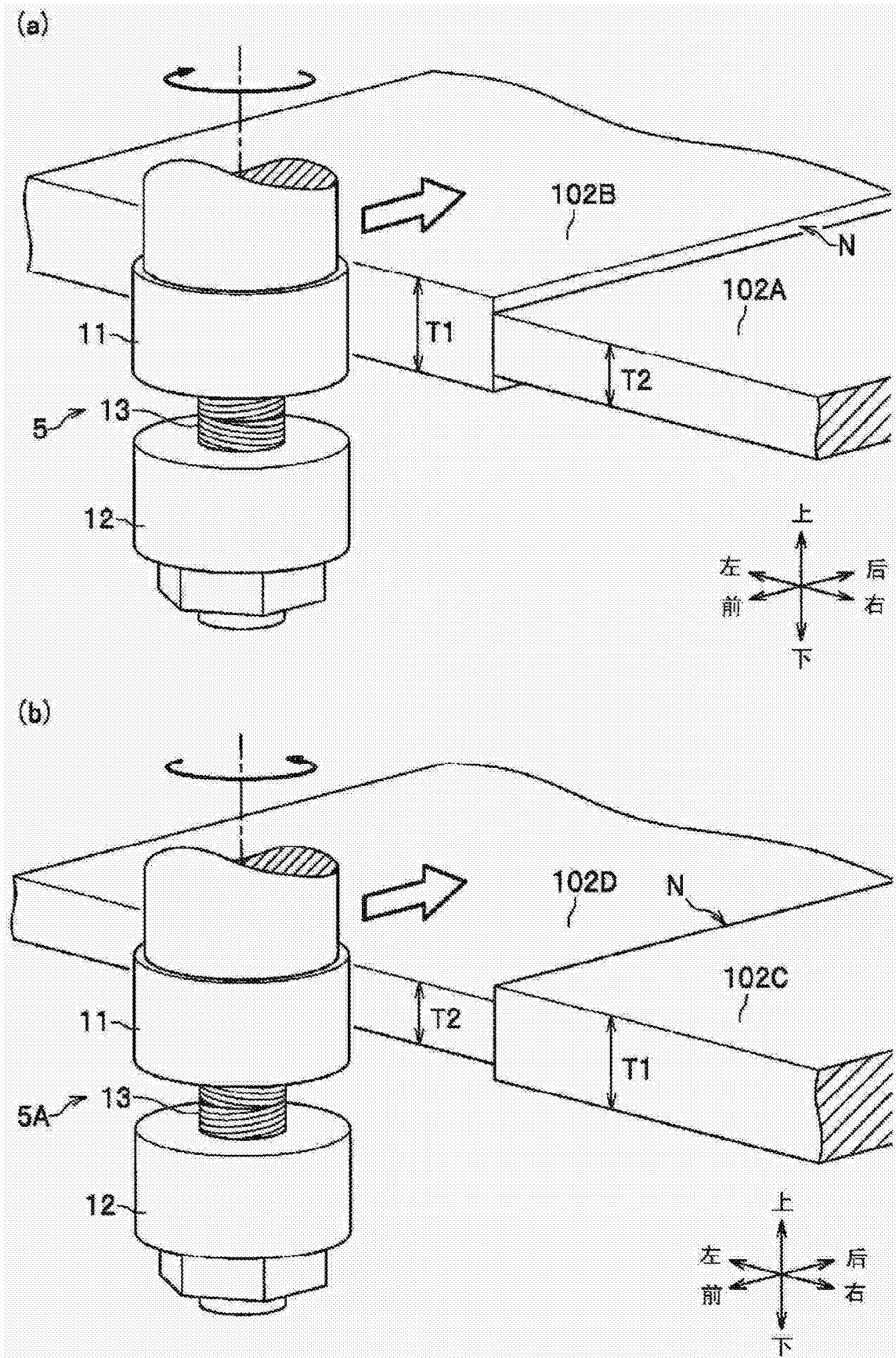


图10

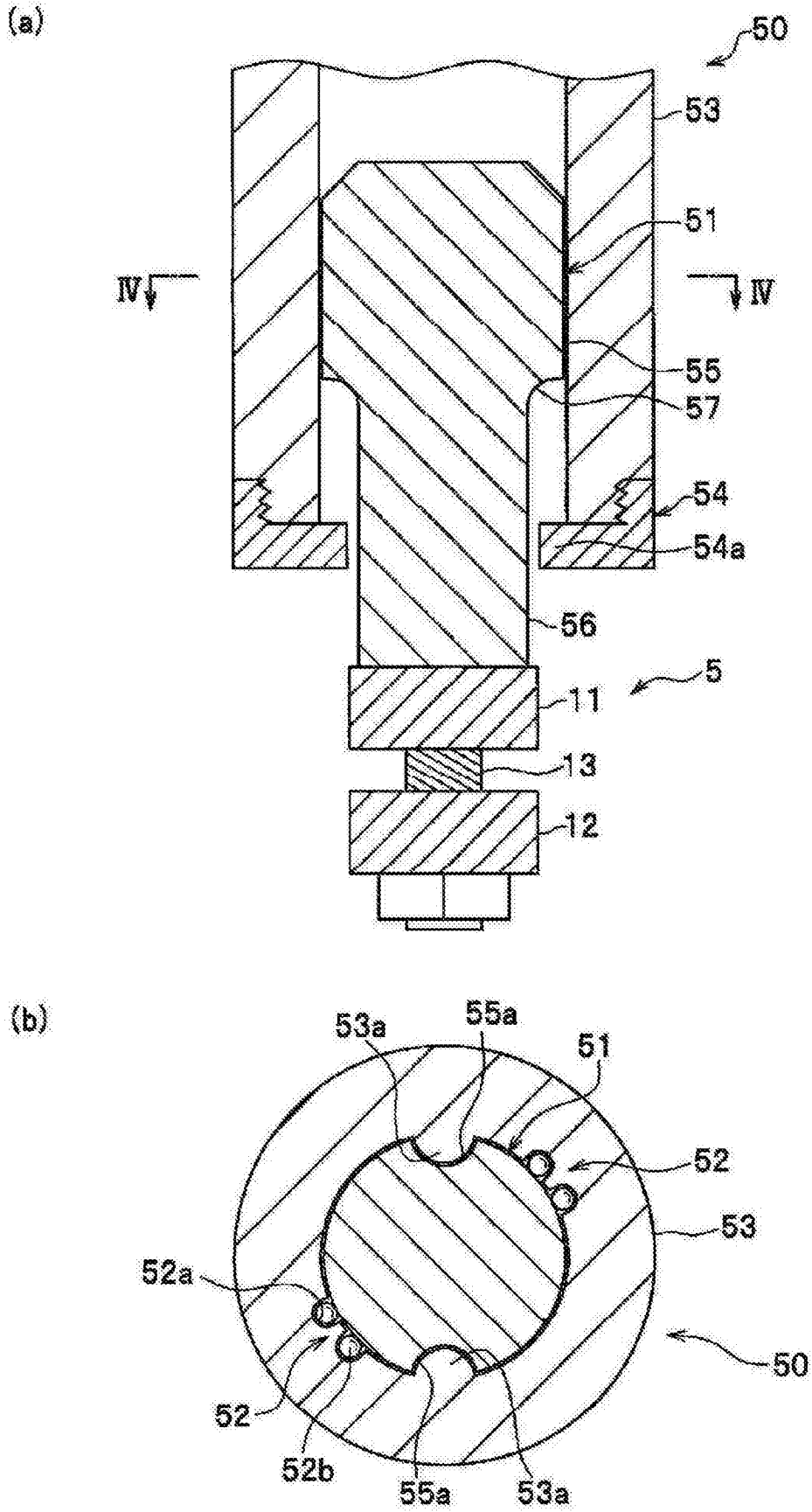


图11

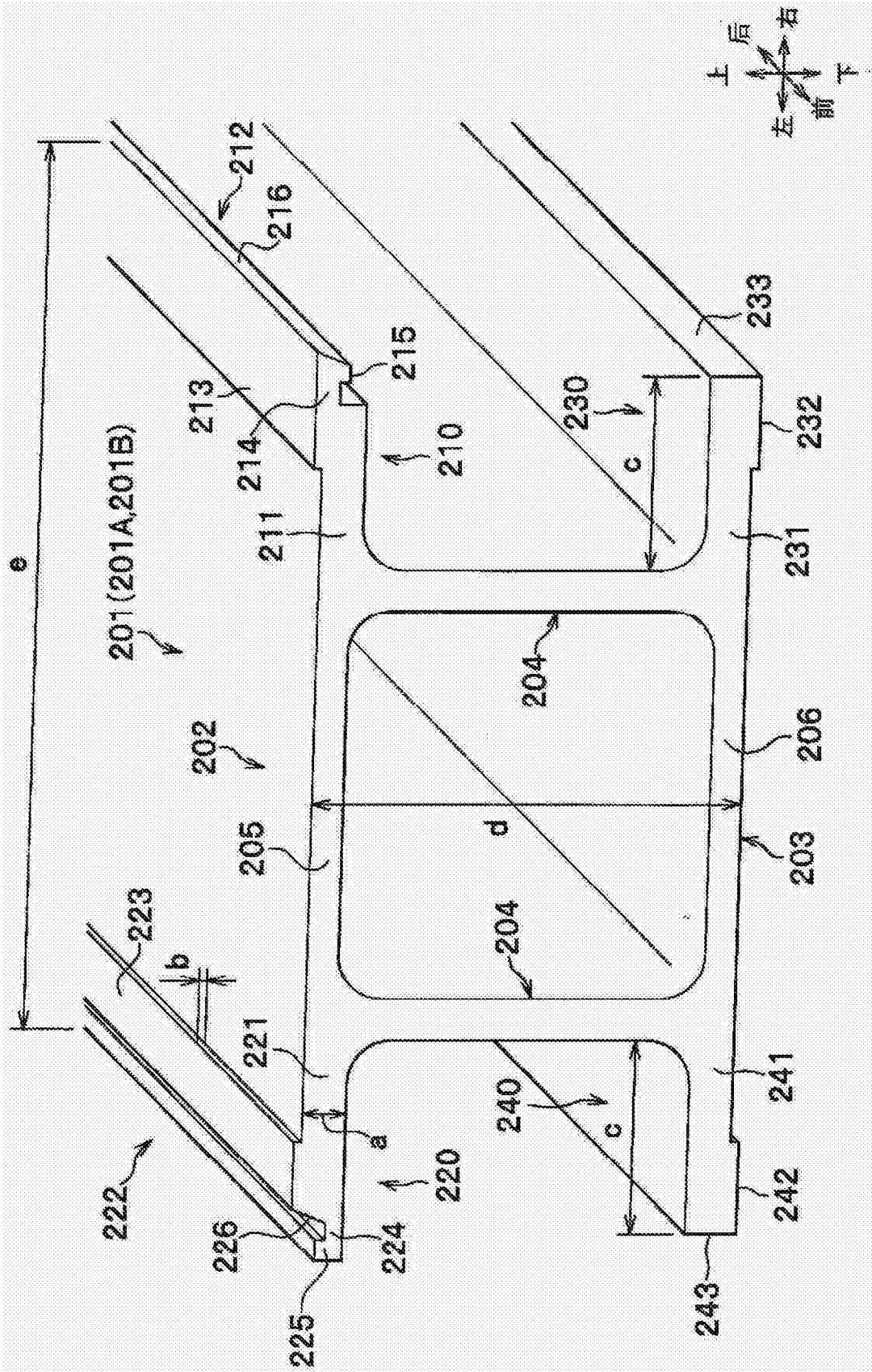


图12

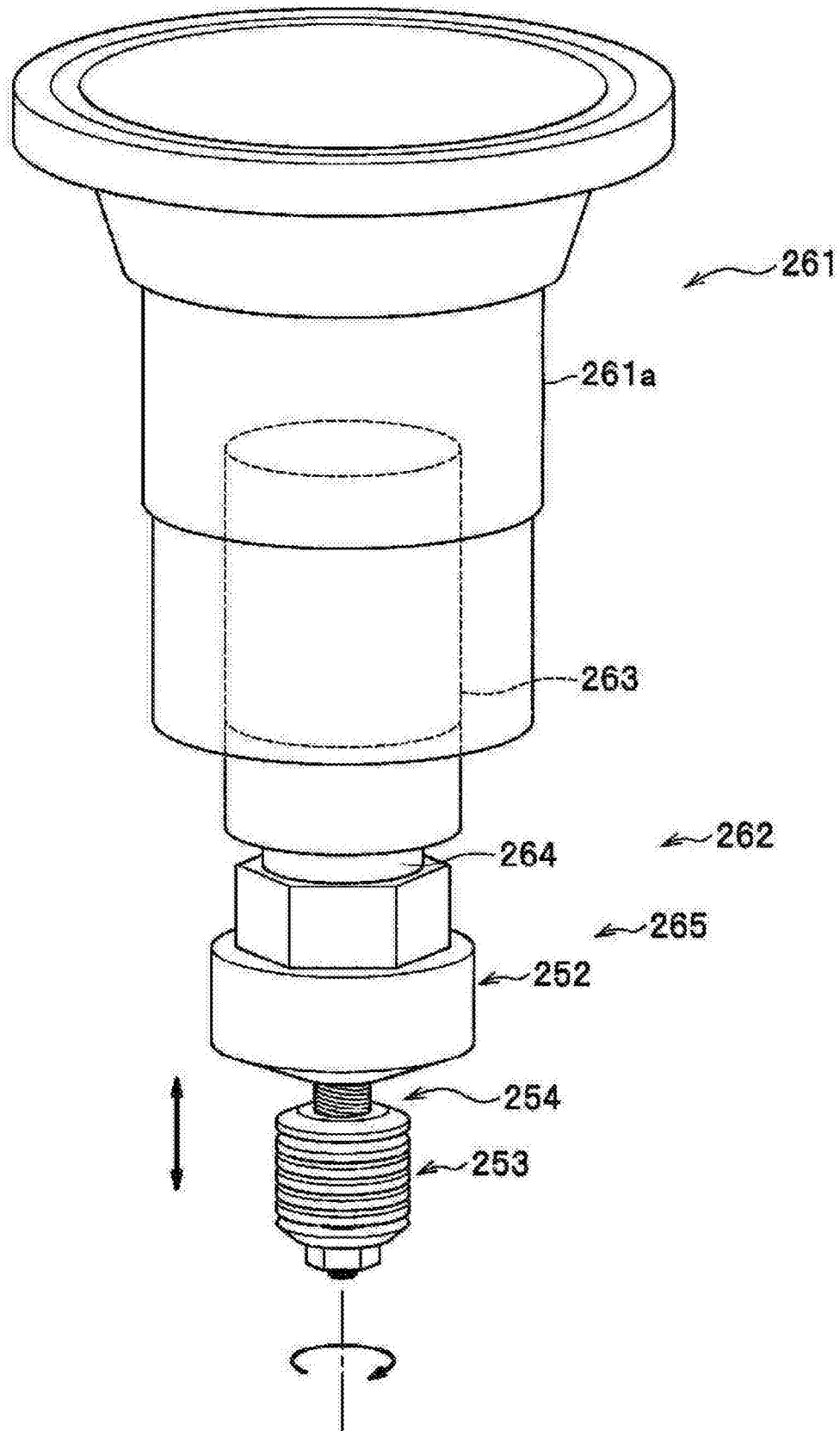


图13

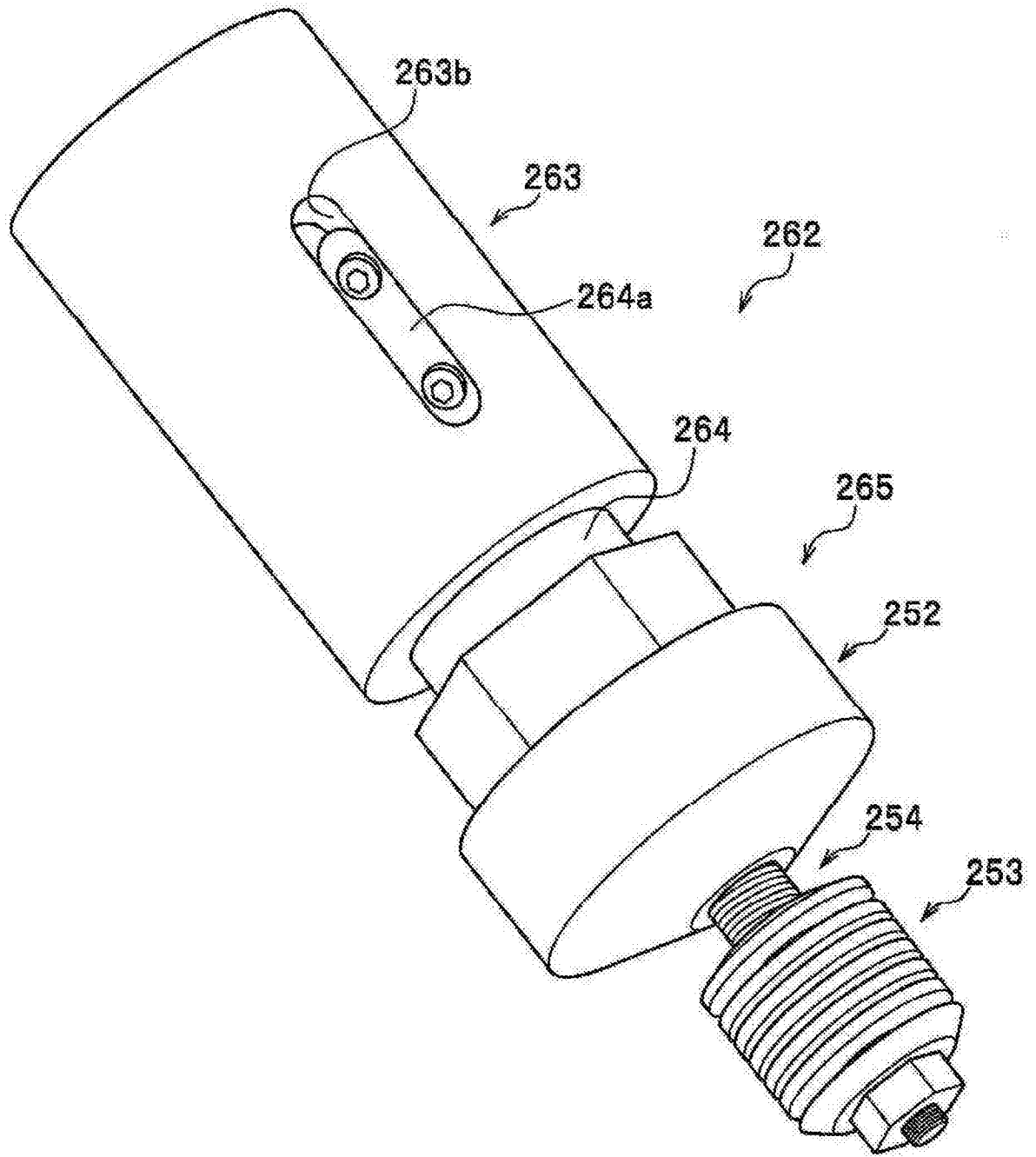


图14

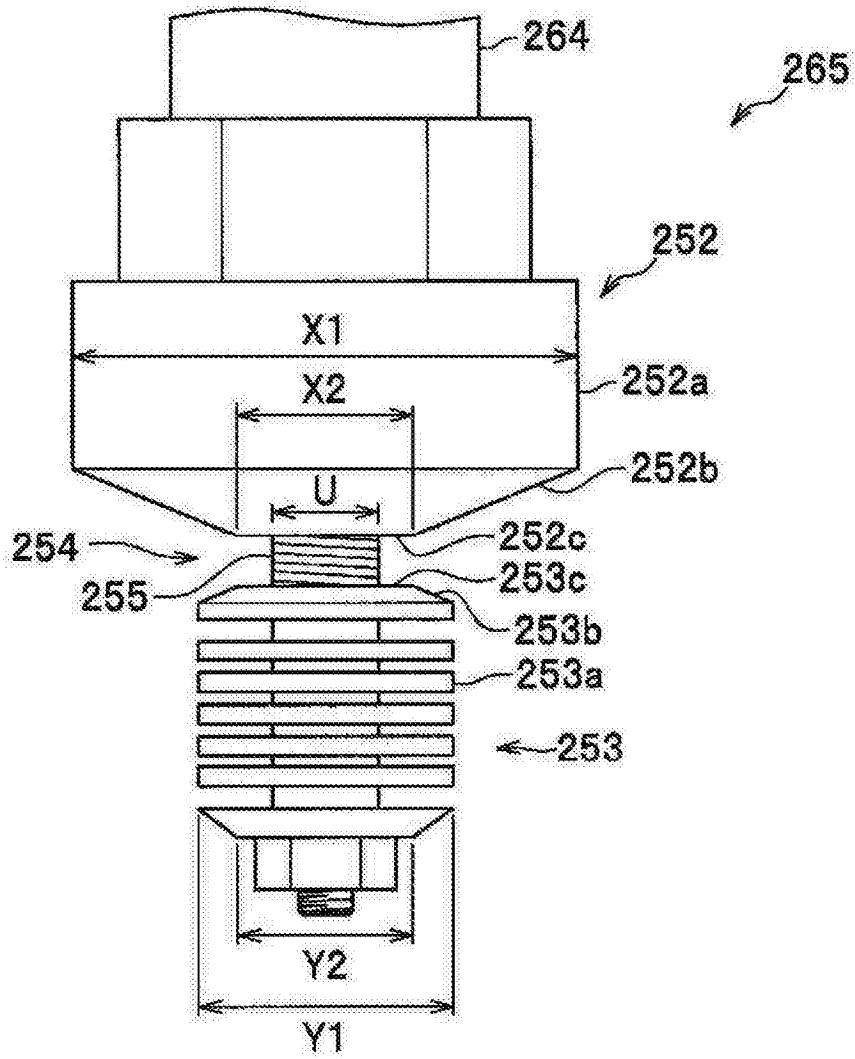


图15

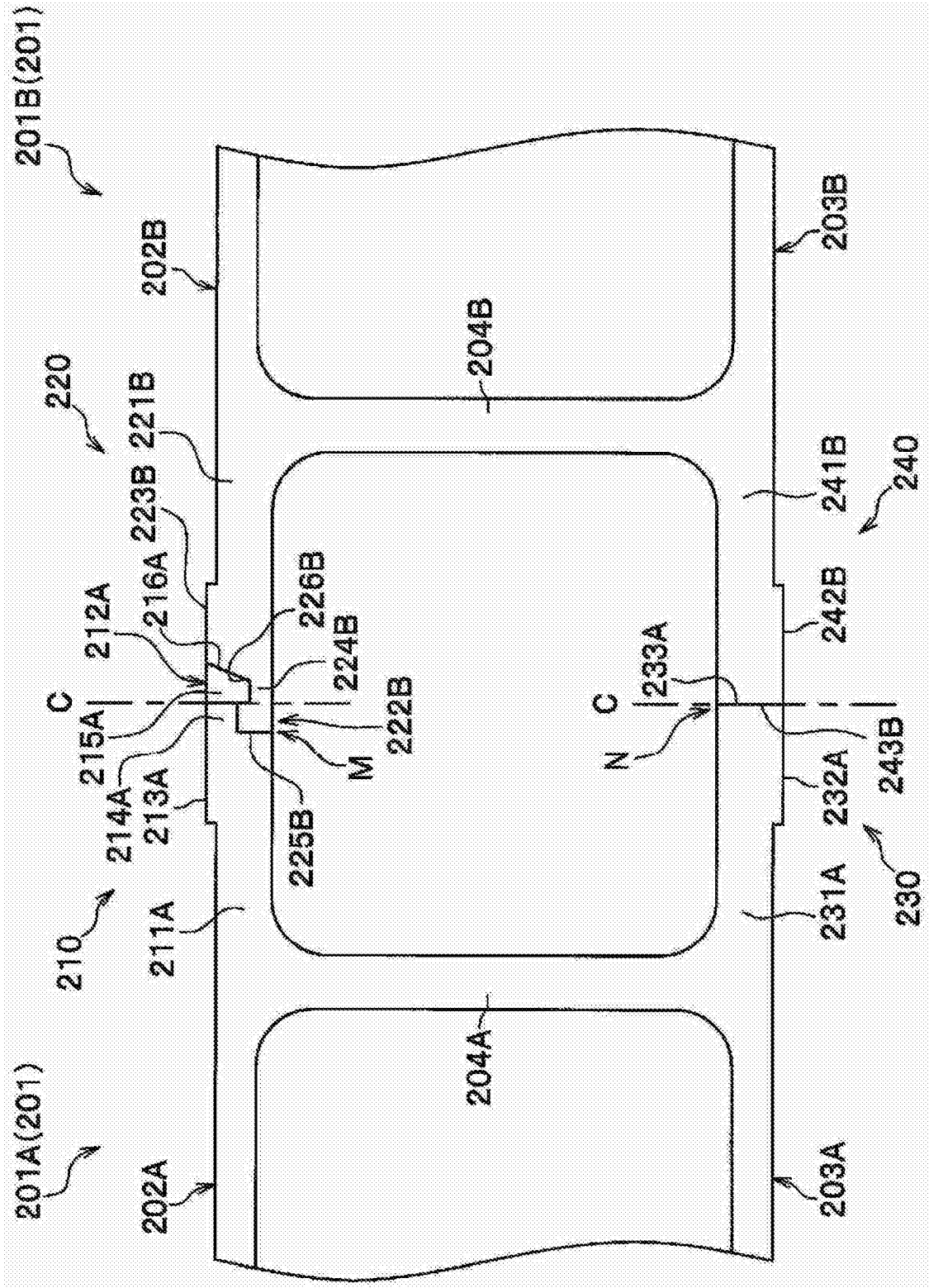


图16

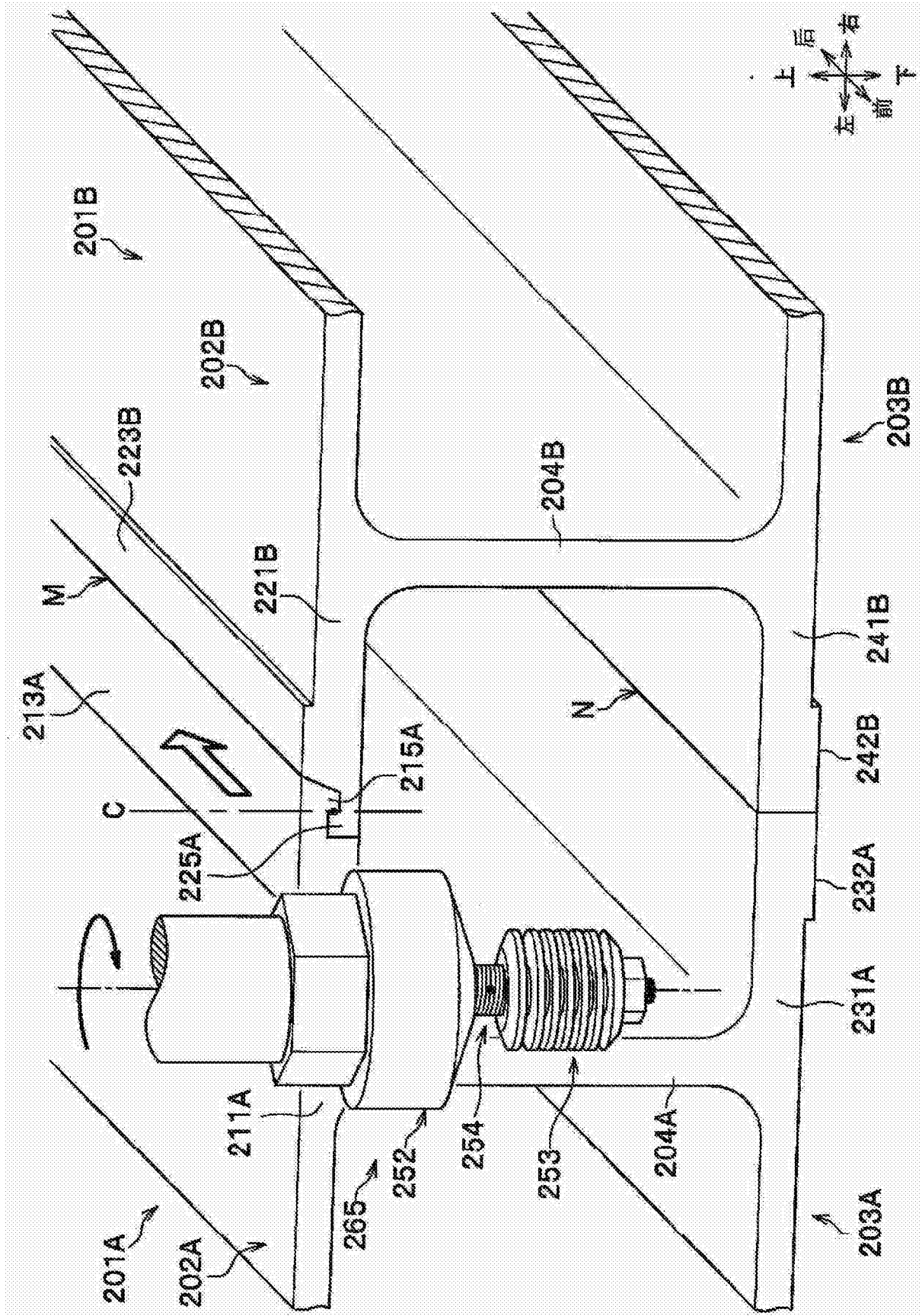


图17

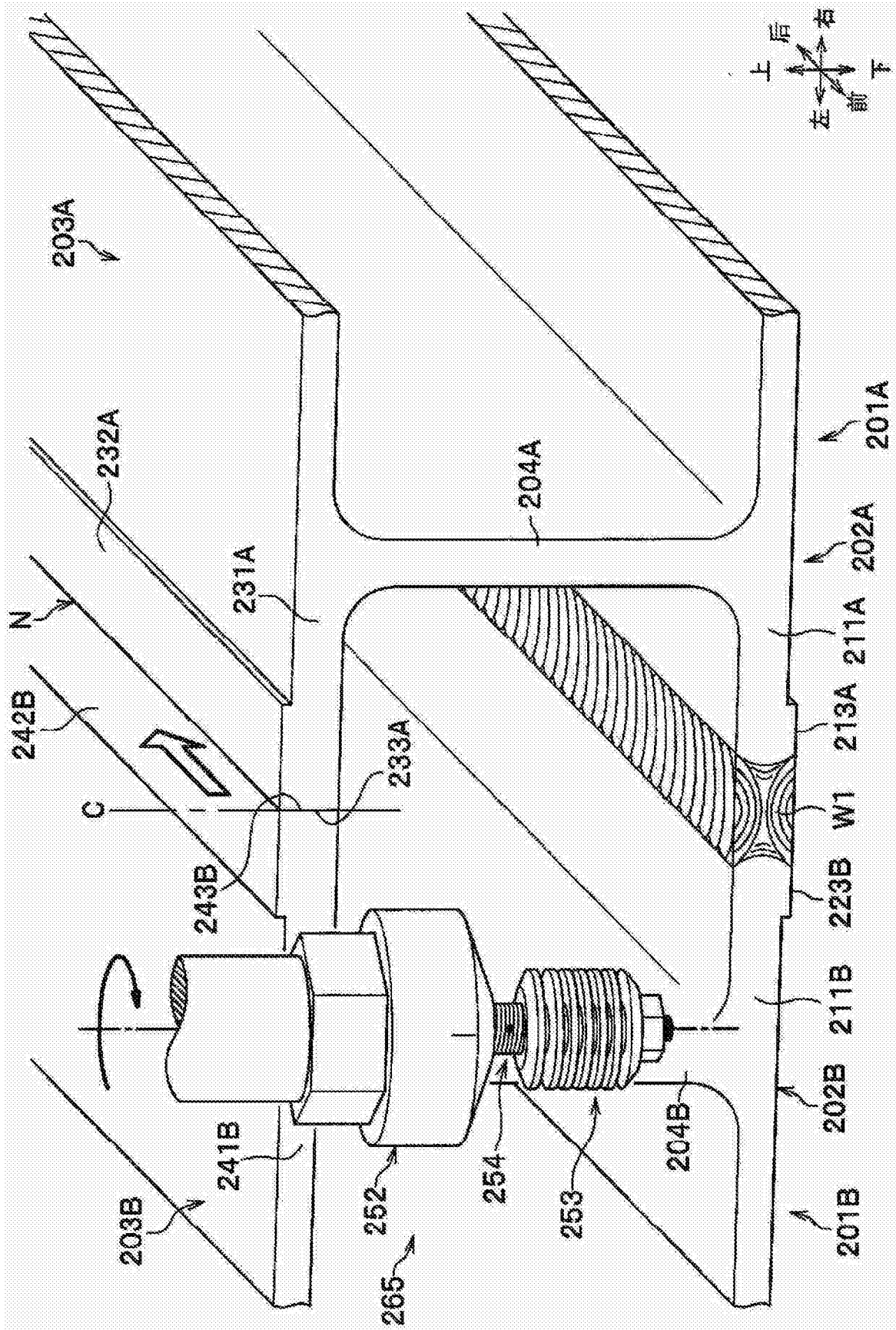


图18

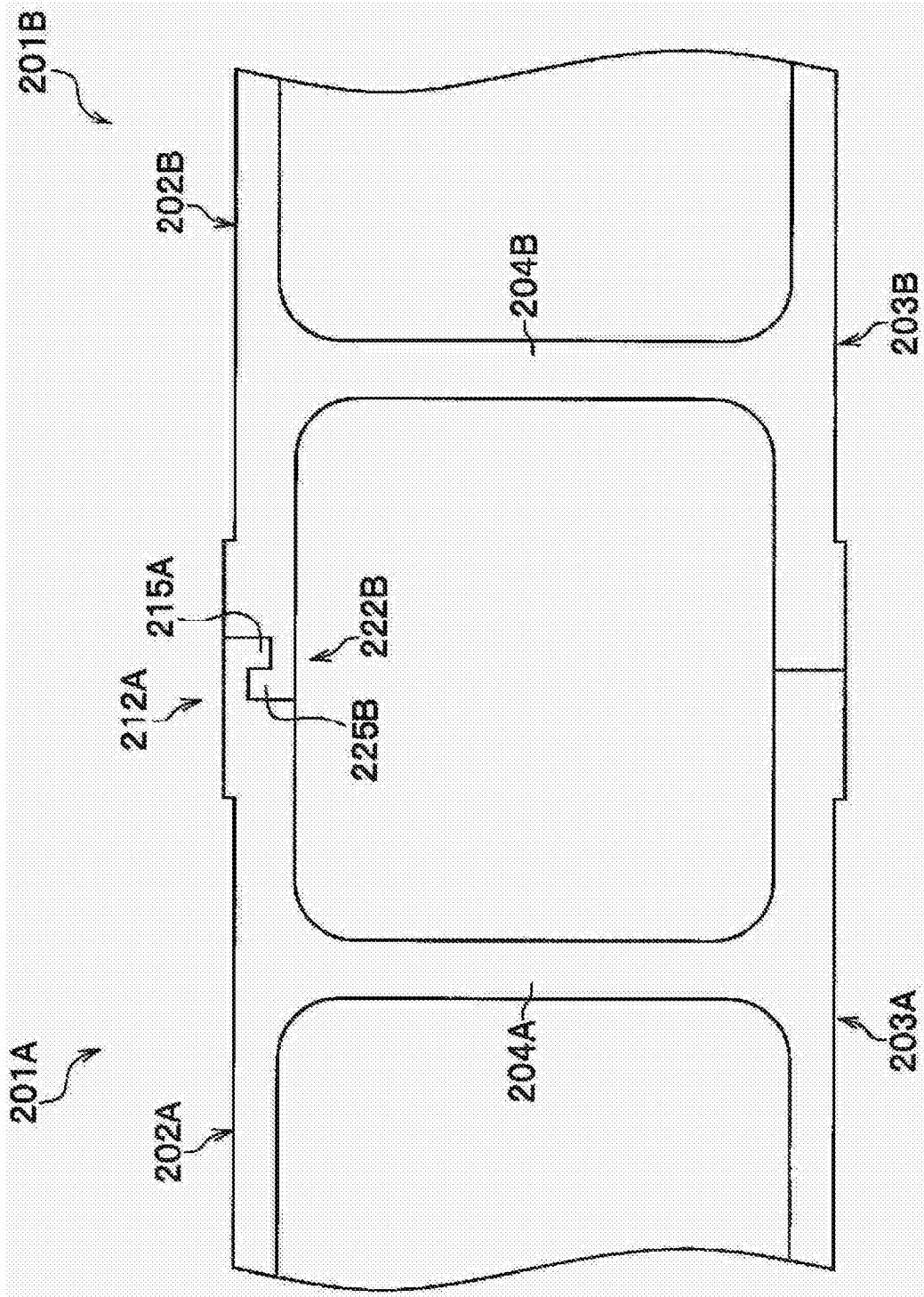


图19

试验体一览表 (mm)

编号	Ad 侧	Re侧
H1	6.0	6.0
H2	6.2	6.2
H3	6.4	6.4
H4	6.6	6.6
H5	5.8	5.8
H6	5.6	5.6
H7	5.4	5.4
H8	6.0	6.2
H9	6.0	6.4
H10	6.0	6.6
H11	6.0	5.8
H12	6.0	5.6
H13	6.0	5.4
H14	6.2	6.0
H15	6.4	6.0
H16	6.6	6.0
H17	5.8	6.0
H18	5.6	6.0
H19	5.4	6.0

图20

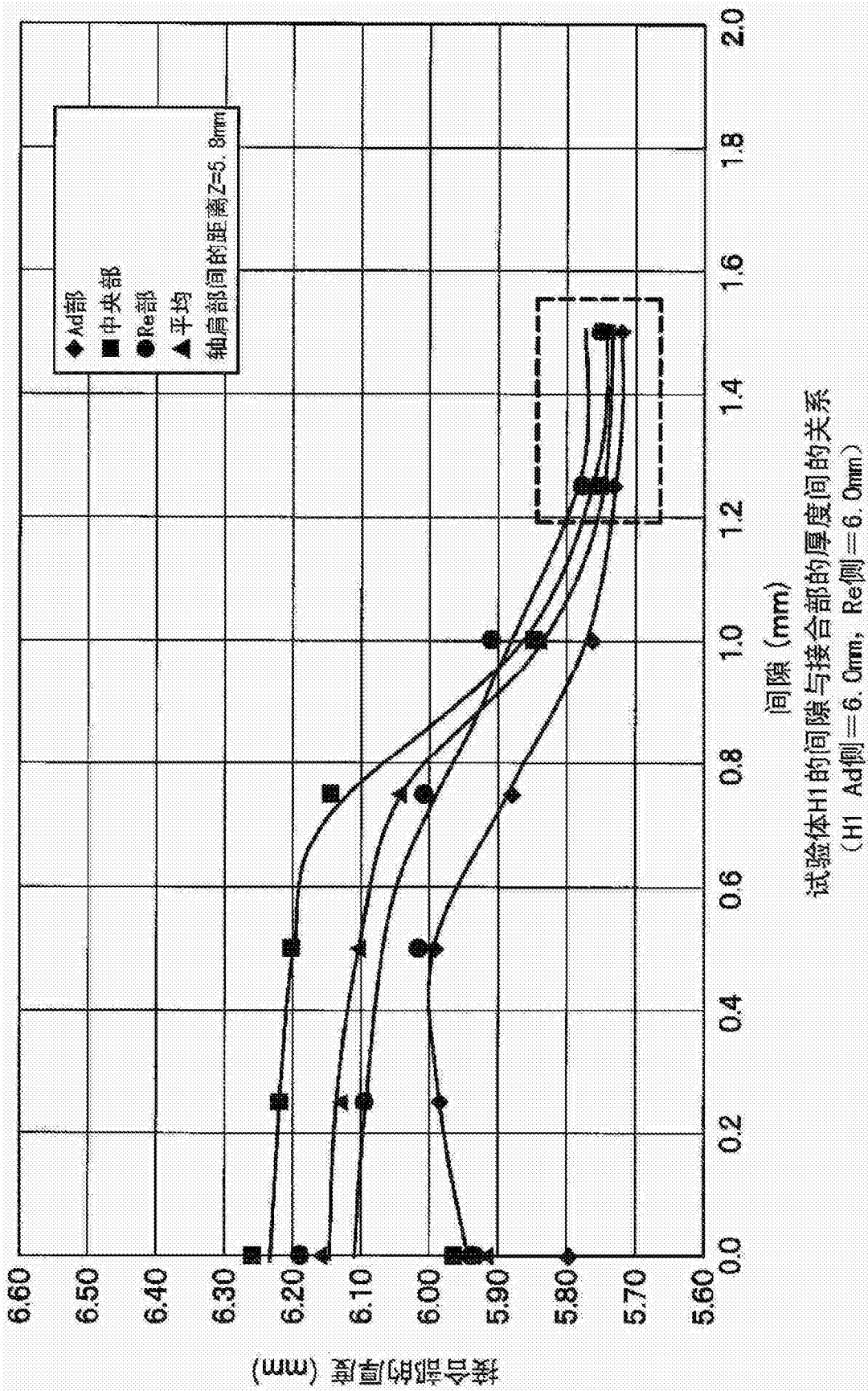


图21

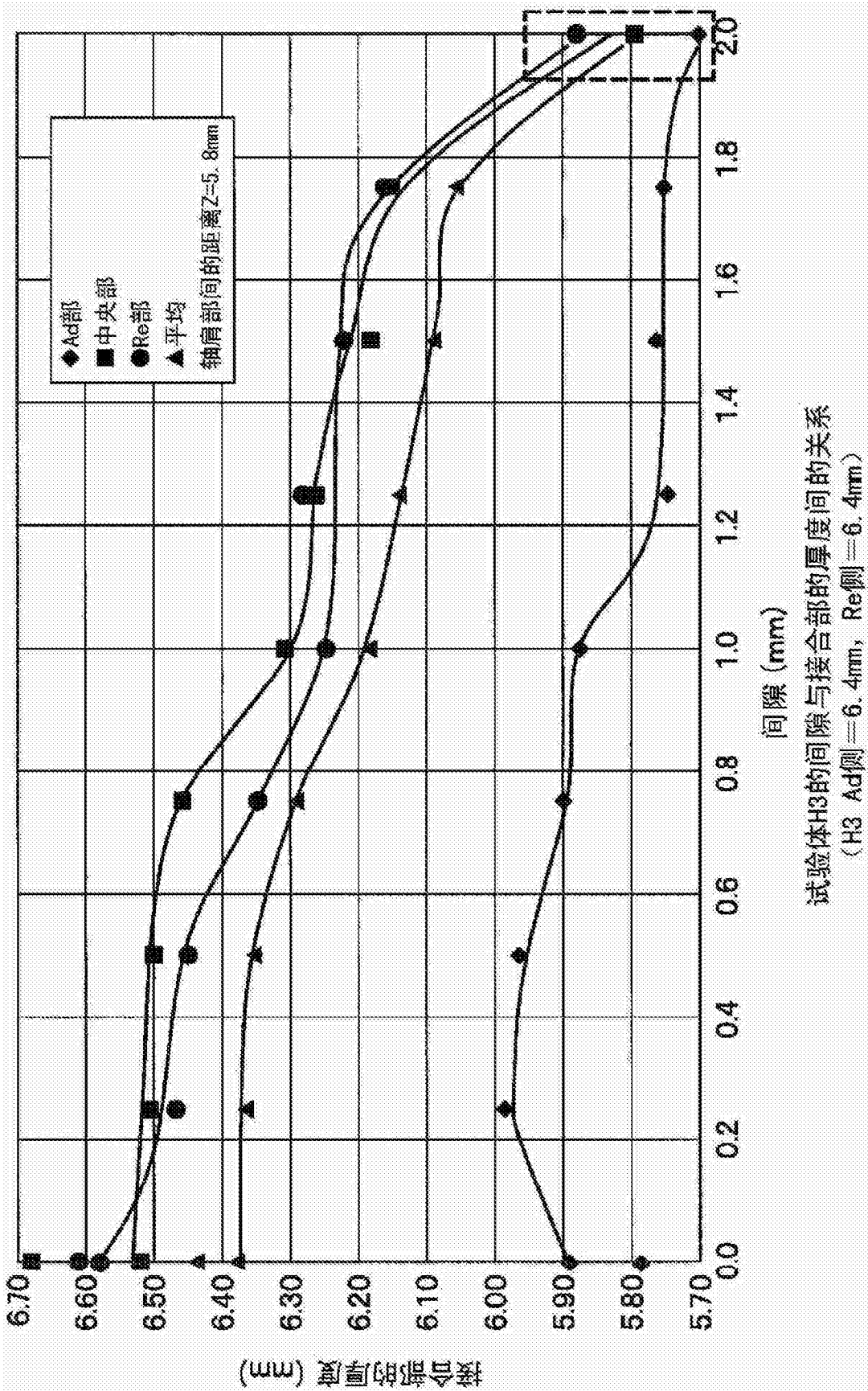
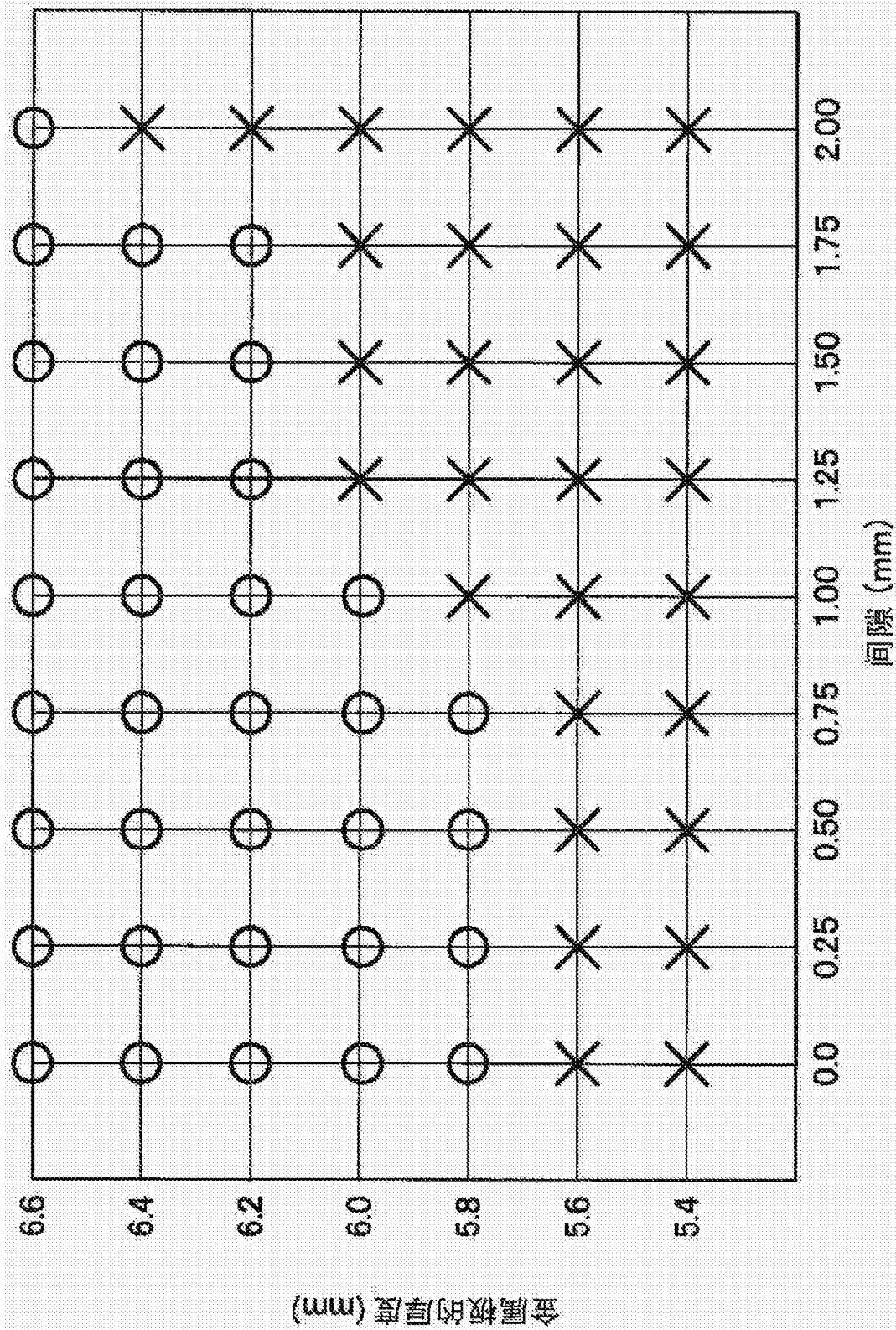


图22



影响接合质量的金属板的厚度与间隙间的关系
(Ad侧 = Re侧, 轴肩部间的距离Z = 5.8mm)

图23

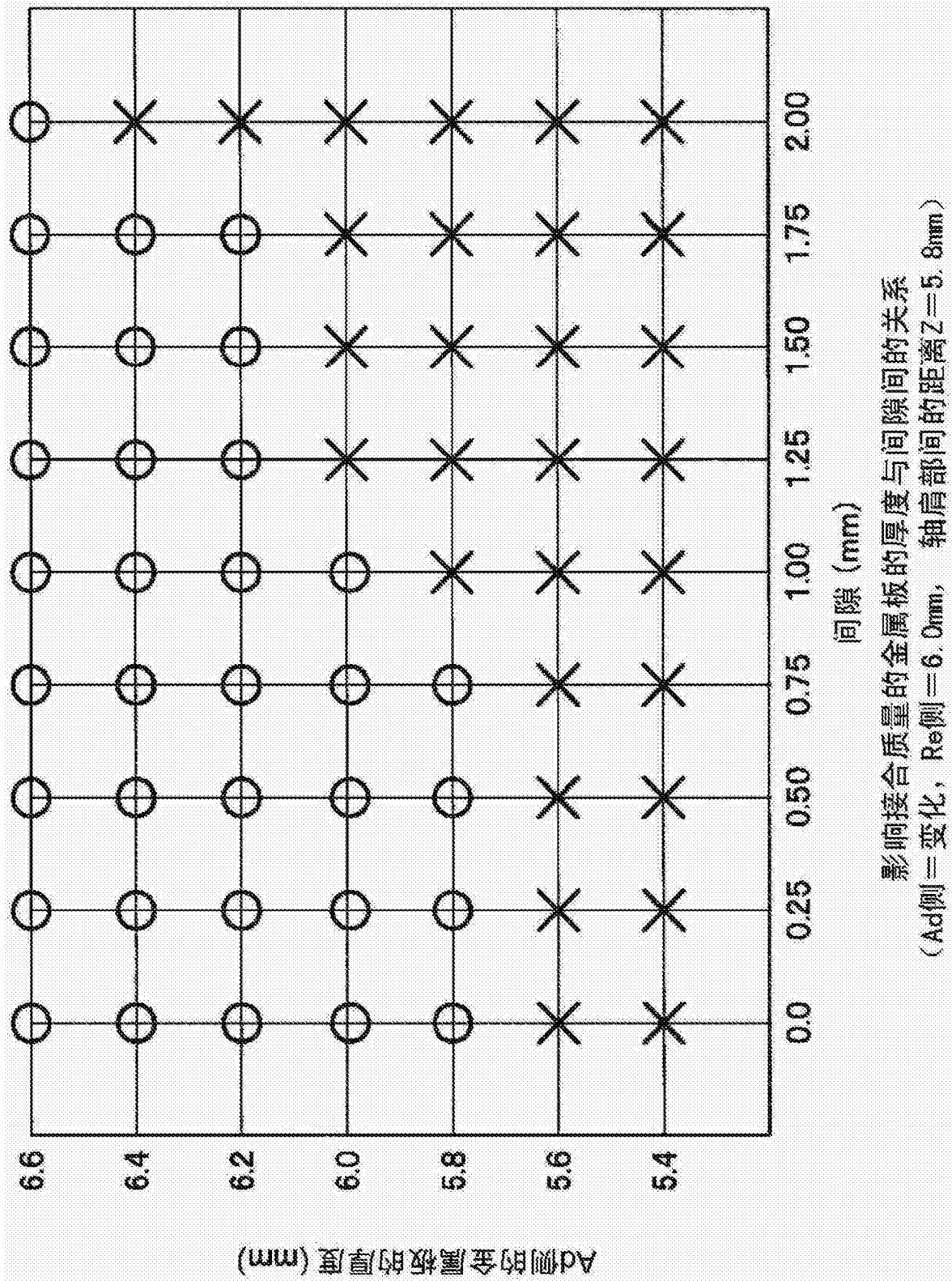


图24

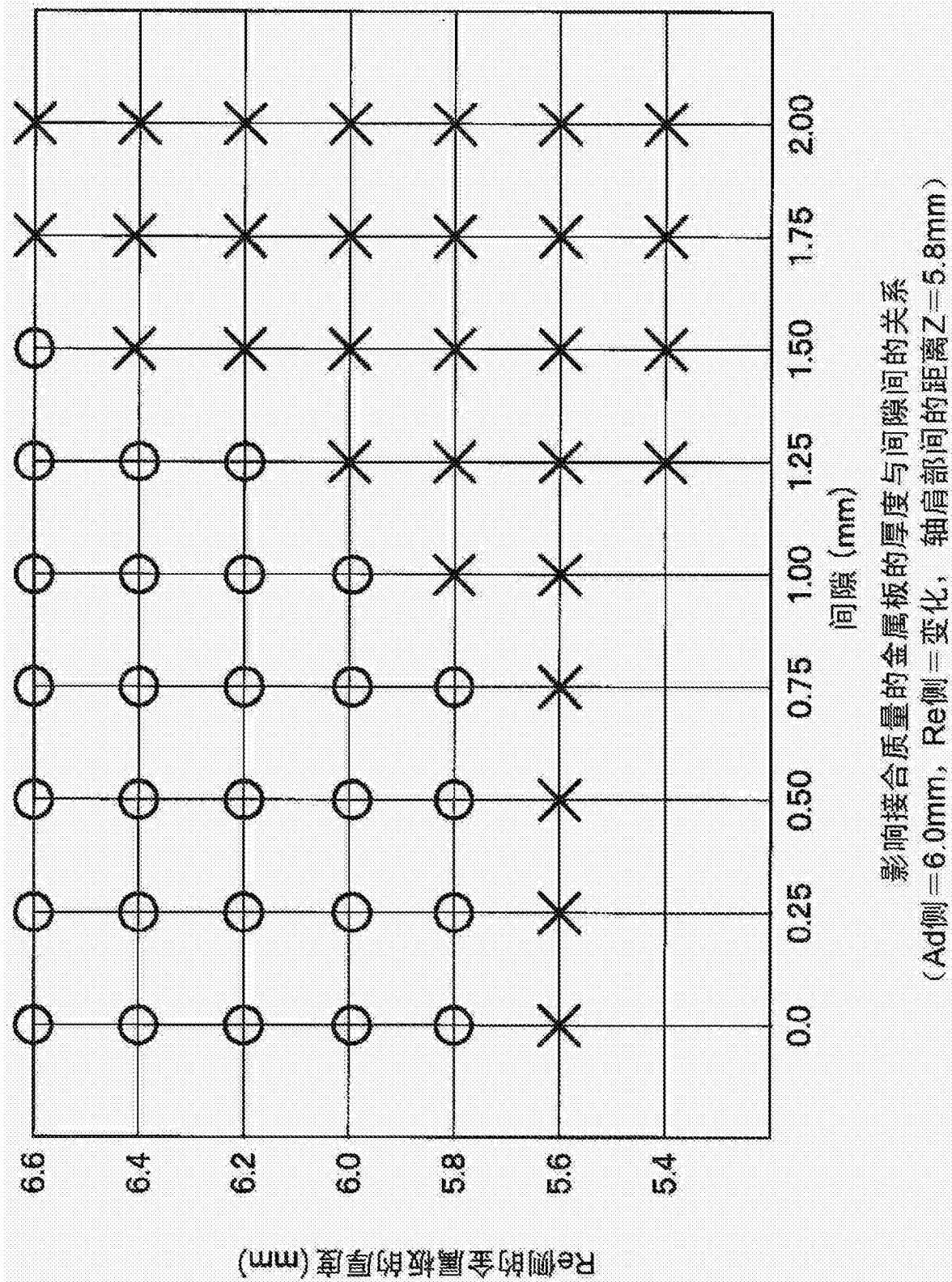


图25

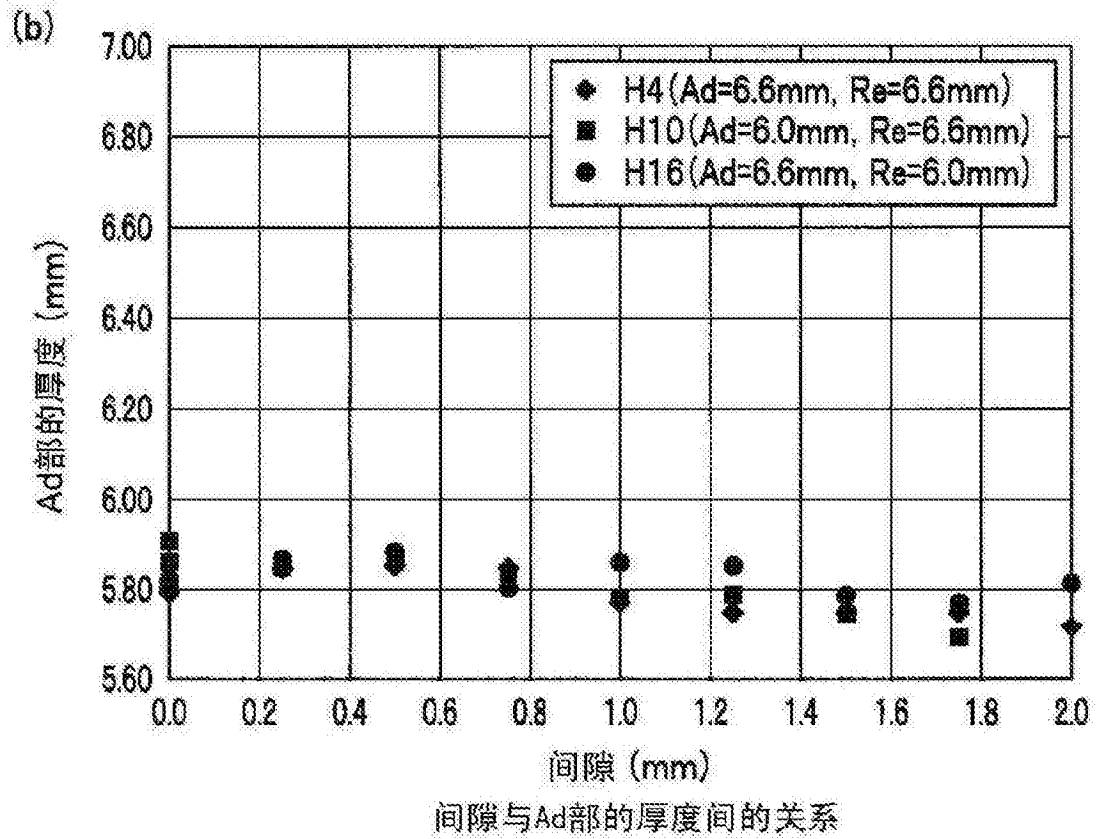
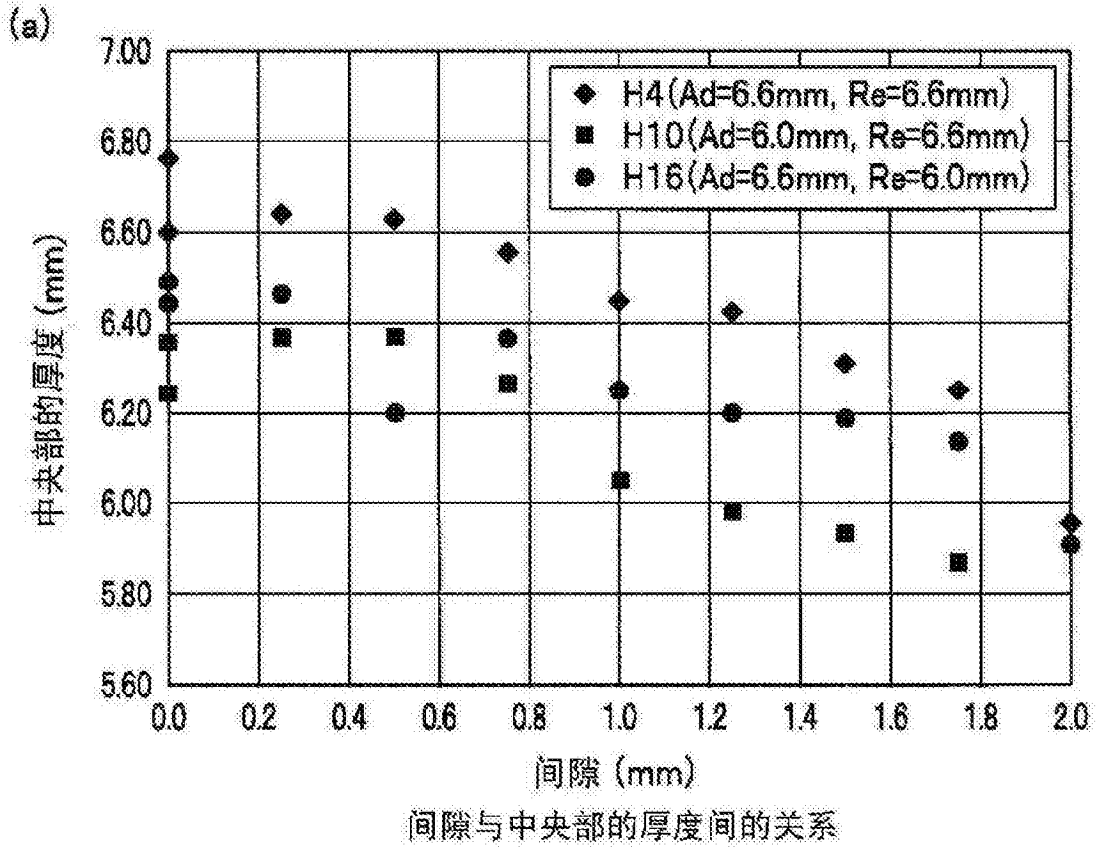


图26

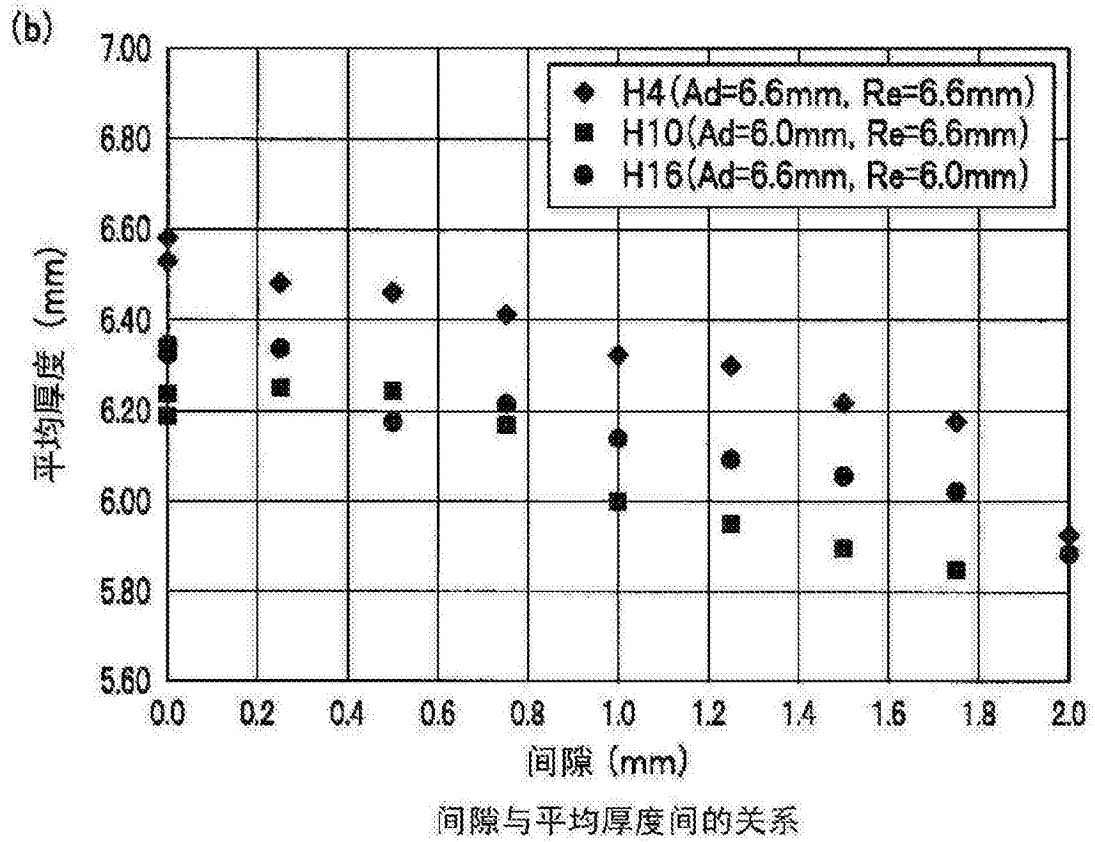
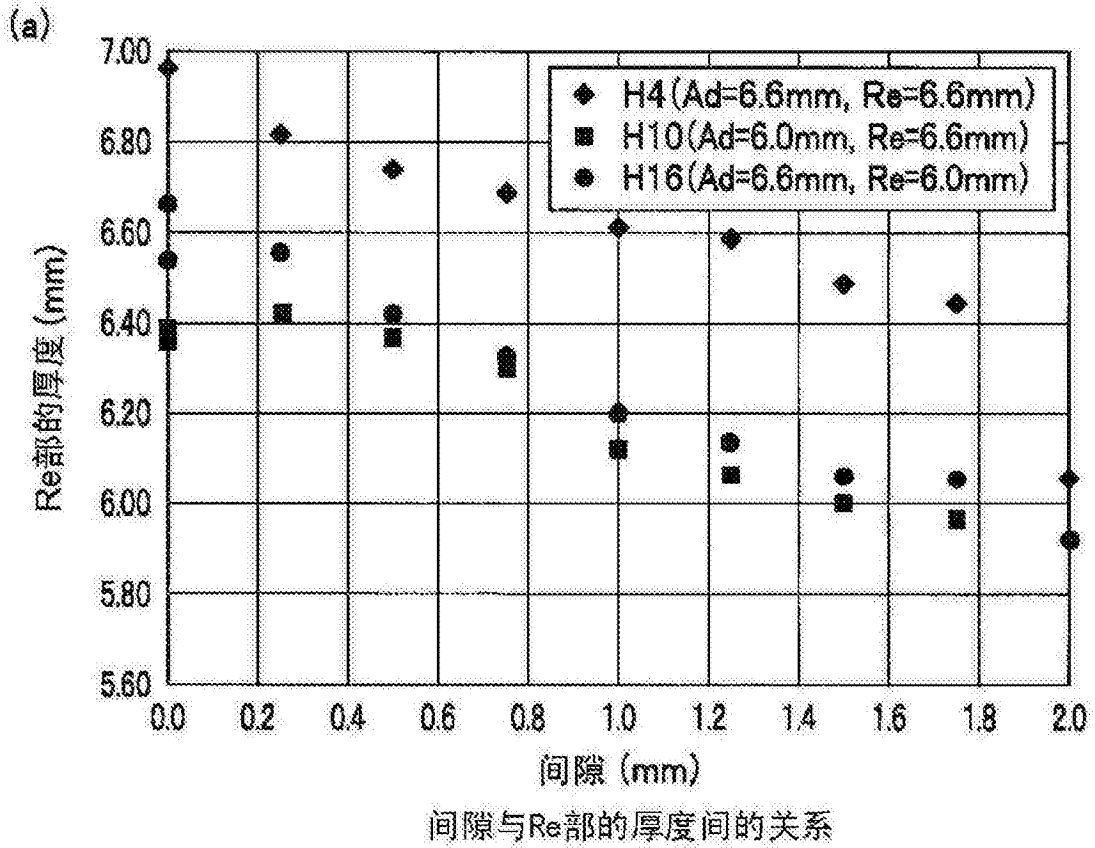


图27

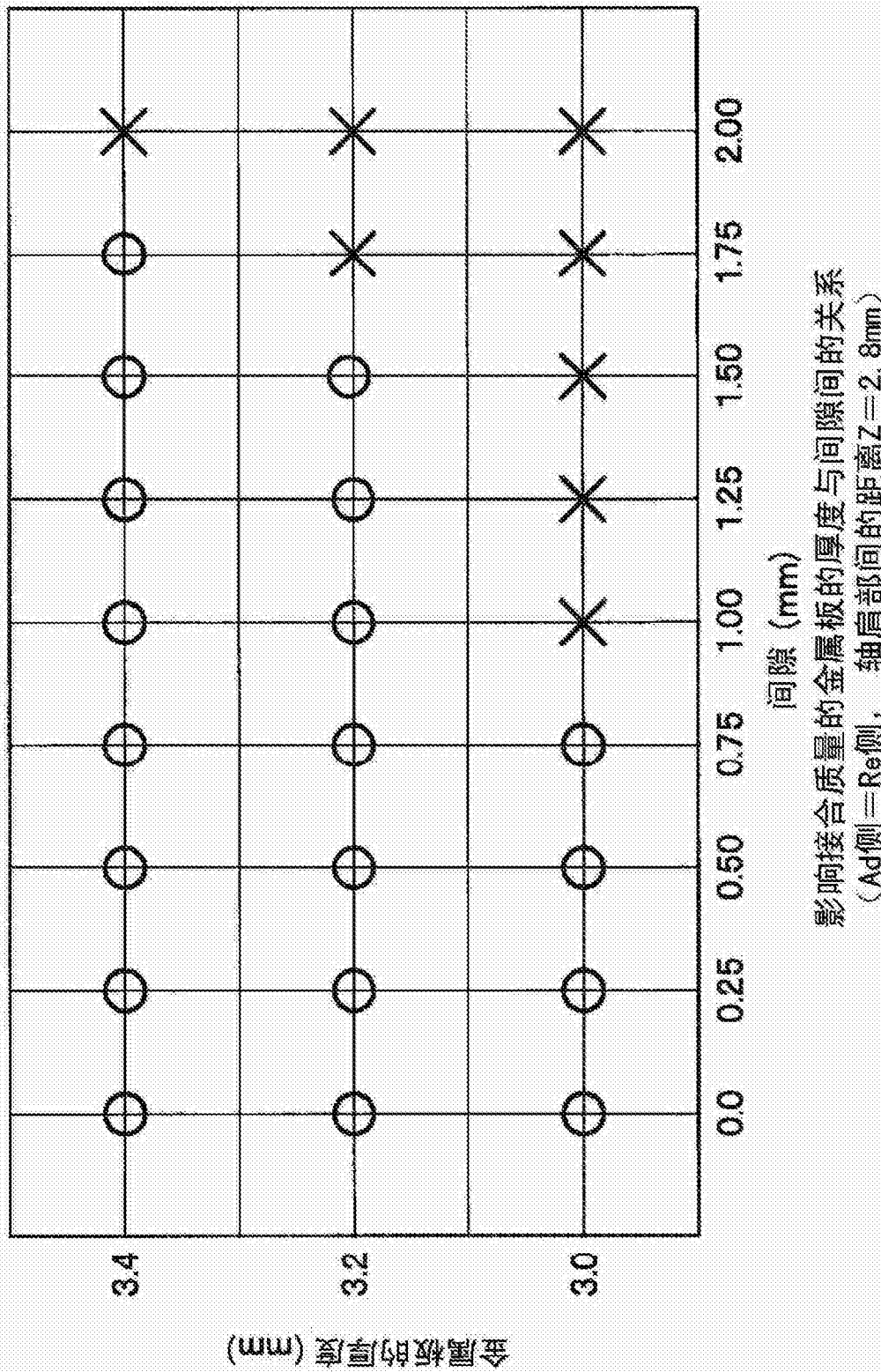


图28

金属板的厚度 6.0mm

双轴肩部 搅拌头型 工具	轴肩直径 $=X$	销径 $=Y$	销的长度 (轴肩部间的距离) $=Z$	抗拉伸力/材料阻力 $Y^2/(X^2-Y^2)$	抗折力/材料阻力 Y^2/YZ	材料保持趋势 X^2/Y^2	判断	备注
K1	16	7	5.8	0.24	1.2	5.2	×	销破损
K2	16	8	5.8	0.33	1.4	4.0	○	
K3	16	10	5.8	0.64	1.7	2.6	○	
K4	16	12	5.8	1.29	2.1	1.8	×	产生缺陷
K5	18	10	5.8	0.45	1.7	3.2	○	
K6	18	12	5.8	0.80	2.1	2.3	○	
K7	18	14	5.8	1.53	2.4	1.7	×	产生缺陷
K8	20	12	5.8	0.56	2.1	2.8	○	
K9	20	14	5.8	0.96	2.4	2.0	×	产生缺陷
K10	22.5	12	5.8	0.40	2.1	3.5	○	
K11	22.5	14	5.8	0.63	2.4	2.6	○	
K12	22.5	16	5.8	1.02	2.8	2.0	×	产生缺陷
K13	22.5	10	5.8	0.25	1.7	5.1	○	
K14	25	10	5.8	0.19	1.7	6.3	×	销破损

图29

金属板的厚度 3.0mm

双轴部 机械头型 工具	轴肩直径 =X	销径 =Y	销的长度 (轴肩部间的距离)	抗拉伸力/材料阻力 $= Y^2 / (X^2 - Y^2)$	抗折力/材料阻力 Y^2 / YZ	材料保持趋势 X^2 / Y^2	判断	备注
J1	7	3	2.8	0.23	1.1	5.4	×	销破损
J2	8	4	2.8	0.33	1.4	4.0	○	
J3	10	4	2.8	0.19	1.4	6.3	×	销破损
J4	10	5	2.8	0.33	1.8	4.0	○	
J5	10	6	2.8	0.56	2.1	2.8	○	
J6	10	7	2.8	0.96	2.5	2.0	×	产生缺陷
J7	12	5	2.8	0.21	1.8	5.8	○	
J8	12	6	2.8	0.33	2.1	4.0	○	
J9	12	7	2.8	0.52	2.5	2.9	○	
J10	12	8	2.8	0.80	2.9	2.3	○	
J11	14	5	2.8	0.15	1.8	7.8	×	销破损
J12	15	6	2.8	0.19	2.1	6.3	×	销破损

图30

金属板的厚度 12.0mm

双轴肩部 搅拌头型 工具	轴肩直径 =X	销径 =Y	销的长度 (轴肩部间的距离)=Z	抗拉伸力/材料阻力 $Y^2/(X^2-Y^2)$	抗折力/材料阻力 Y^2/YZ	材料保持趋势 X^2/Y^2	判断	备注
L1	22.5	14	11.5	0.63	1.2	2.6	×	销破损
L2	22.5	15	11.5	0.80	1.3	2.3	○	
L3	22.5	16	11.5	1.02	1.4	2.0	×	产生缺陷
L4	25	16	11.5	0.69	1.4	2.4	○	
L5	27.5	16	11.5	0.51	1.4	3.0	○	
L6	25	18	11.5	1.08	1.6	1.9	×	产生缺陷
L7	27.5	18	11.5	0.75	1.6	2.3	○	
L8	30	18	11.5	0.56	1.6	2.8	○	
L9	27.5	20	11.5	1.12	1.7	1.9	×	产生缺陷
L10	30	20	11.5	0.80	1.7	2.3	○	
L11	32.5	20	11.5	0.61	1.7	2.6	○	
L12	30	22	11.5	1.16	1.9	1.9	×	产生缺陷
L13	32.5	22	11.5	0.85	1.9	2.2	○	
L14	35	22	11.5	0.65	1.9	2.5	○	

图31

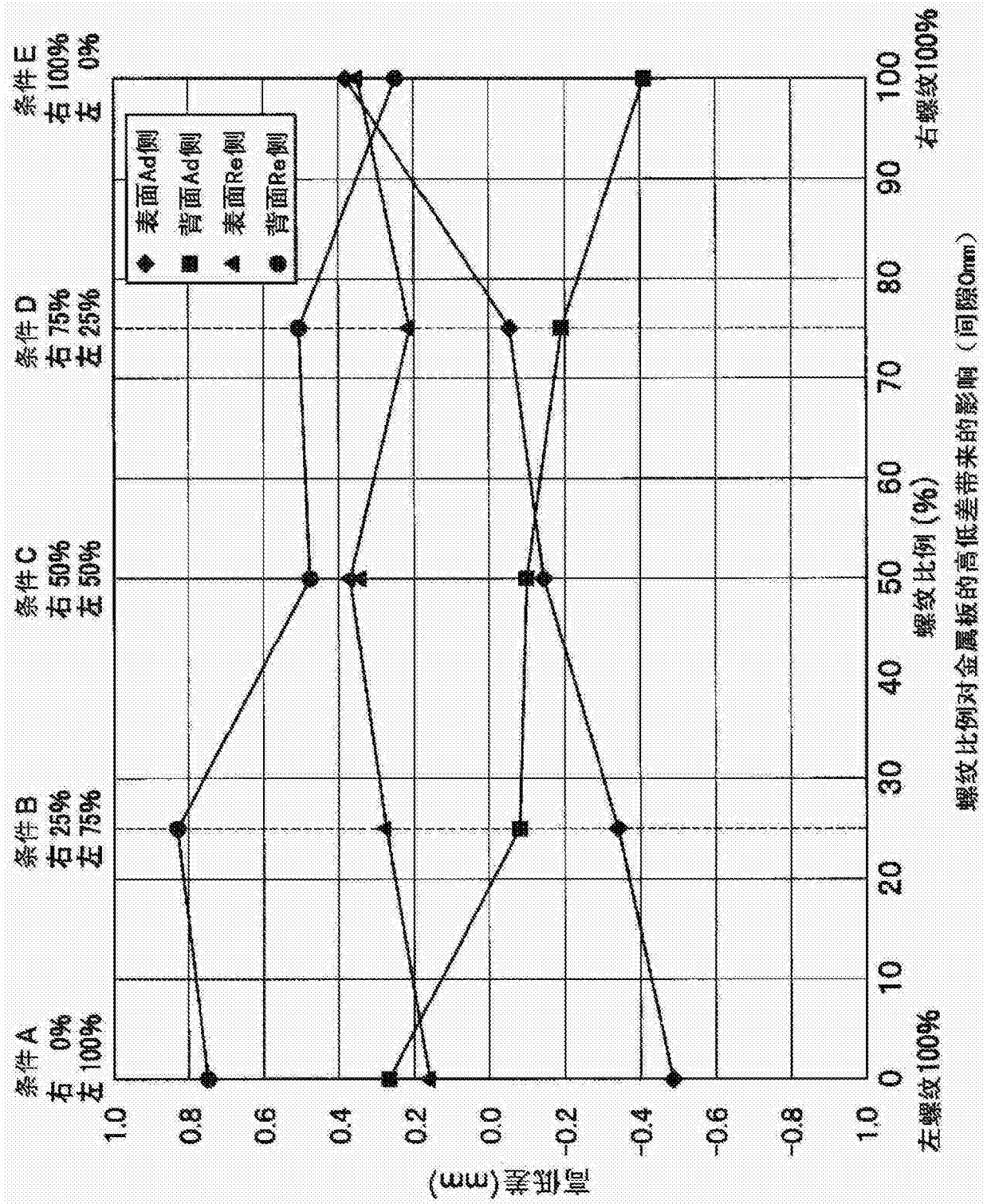


图32

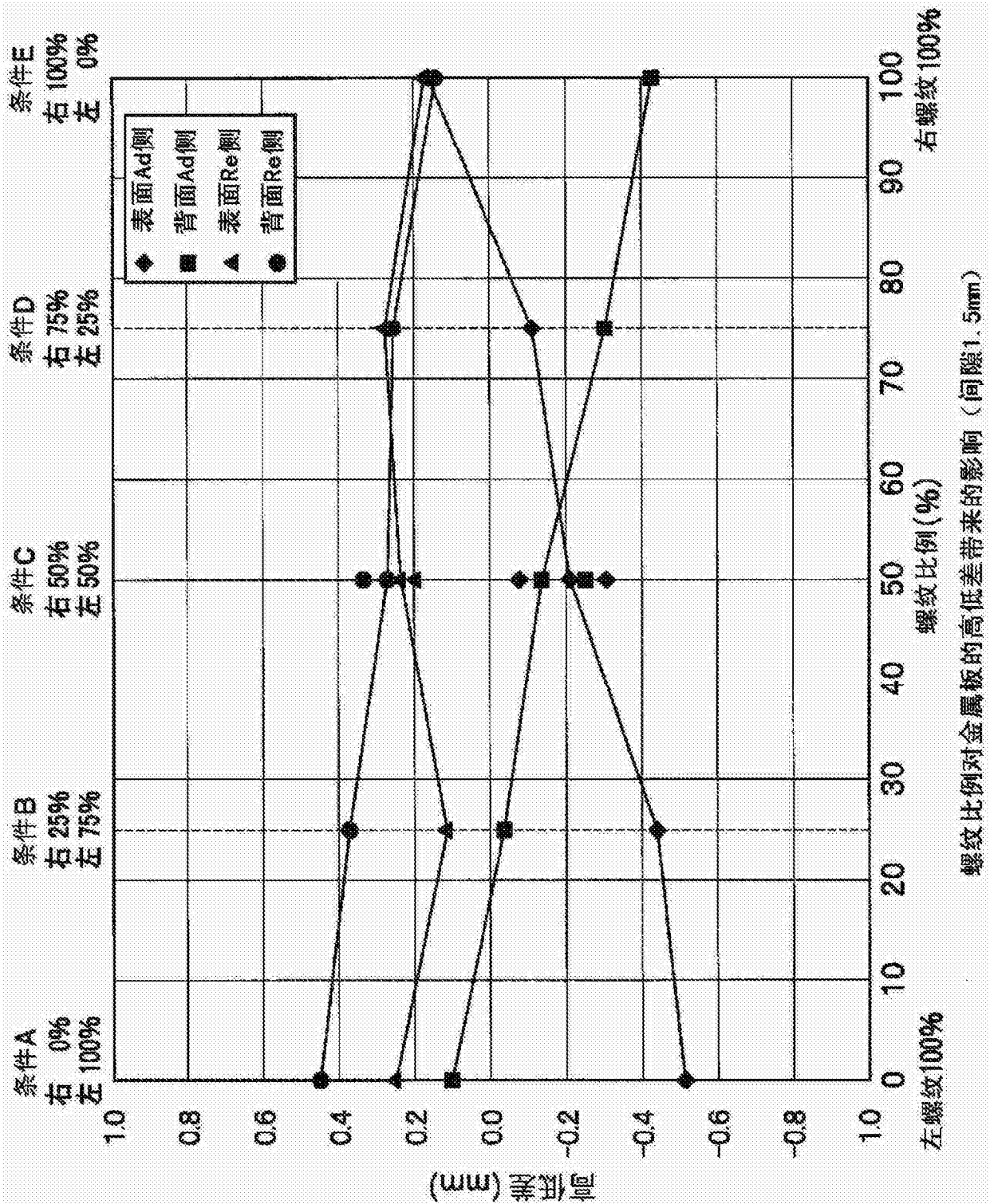


图33

条件A: 右旋转, 左螺纹100%

间隙	微组织观察	表面(装饰面) Sa	背面 Sb
0 mm	Ad侧 Sa V W P Re侧 Sb	Ad侧 W Re侧 P Ad侧	Re侧 P W Ad侧 Re侧 Ad侧 Re侧 Ad侧 Re侧 Ad侧
1.25 mm	Ad侧 Sa V W P Re侧 Sb	Ad侧 W Re侧 P Ad侧	Re侧 P W Ad侧 Re侧 Ad侧 Re侧 Ad侧 Re侧 Ad侧
1.50 mm	Ad侧 Sa V W P Re侧 Sb	Ad侧 W Re侧 P Ad侧	Re侧 P W Ad侧 Re侧 Ad侧 Re侧 Ad侧 Re侧 Ad侧
1.75 mm	Ad侧 Sa Q V W P Re侧 Sb	Ad侧 W Re侧 P Ad侧	Re侧 P W Ad侧 Re侧 Ad侧 Re侧 Ad侧 Re侧 Ad侧
2.00 mm	Ad侧 Sa Q V W P Re侧 Sb	Ad侧 W Re侧 P Ad侧	Re侧 P W Ad侧 Re侧 Ad侧 Re侧 Ad侧 Re侧 Ad侧

图34

条件B: 右旋转, 右螺纹25%, 左螺纹75%

间隙	显微组织观察	表面 (装饰面) Sa	背面Sb
0 mm	Ad侧 Sa V W Re侧 Sb V W Re侧 P	Ad侧 W	Re侧 W P
1.25 mm	Ad侧 Sa V W Re侧 Sb V W Re侧 p	Re侧 W Ad侧 p	Re侧 W Ad侧 P
1.50 mm	Ad侧 Sa V W Re侧 Sb V W Re侧 p	Re侧 W Ad侧 p	Re侧 W Ad侧 P
1.75 mm	Ad侧 Sa V W Re侧 Sb V W Re侧 p	Re侧 W Ad侧 p	Re侧 W Ad侧 P
2.00 mm	Ad侧 Sa Q V W Re侧 Sb Q V W Re侧 Sb	Re侧 W Ad侧 p	Re侧 W Ad侧 P

图35

条件C: 右旋转, 右螺旋50%, 左螺旋50%

间隙	微组织观察	表面 (装饰面) Sa	背面 Sb
0 mm			
1.25 mm			
1.50 mm			
1.75 mm			
2.00 mm			

图36

条件D: 右旋转, 右螺旋75%, 左螺旋25%

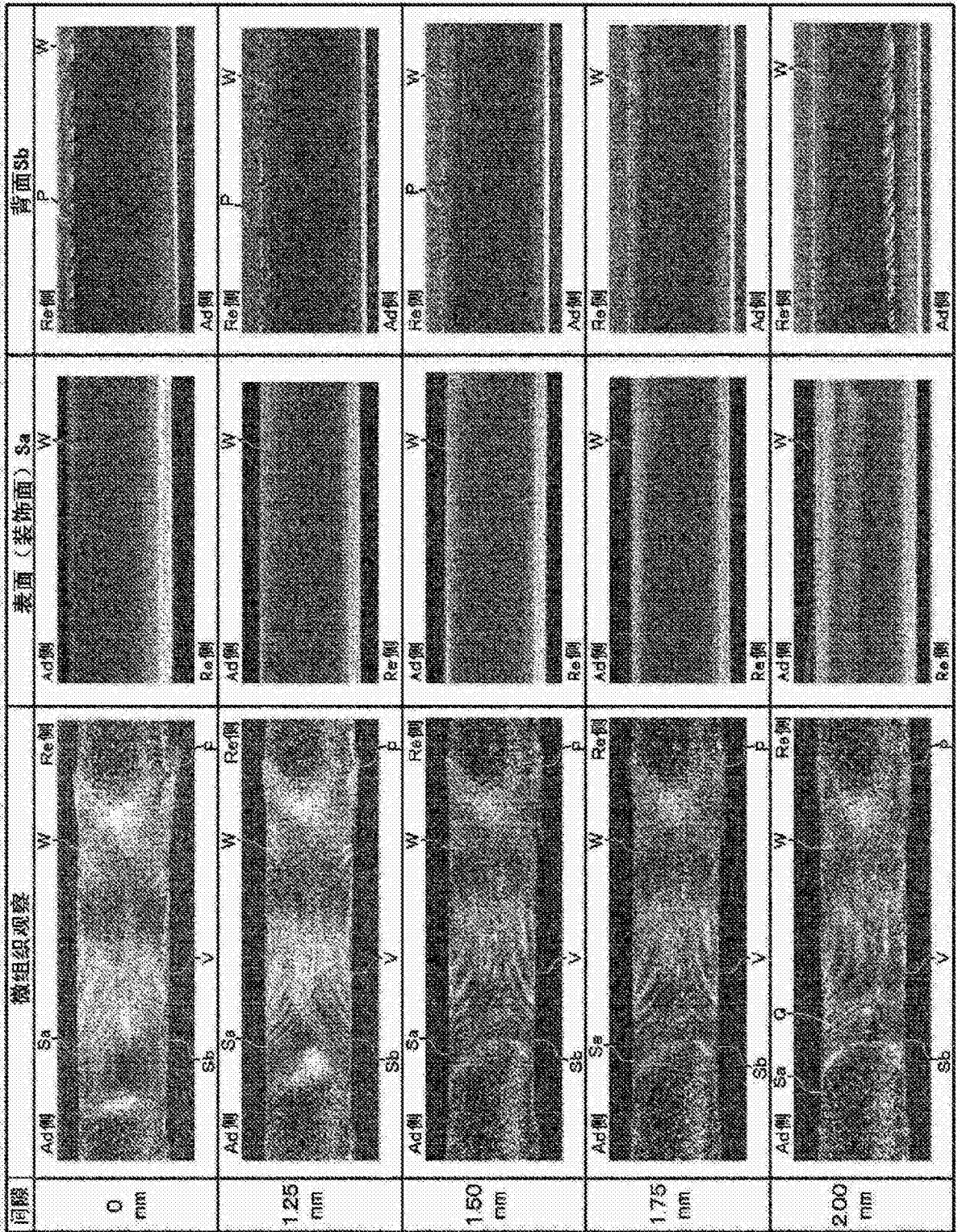


图37

条件E: 右旋转, 右螺旋纹 100%

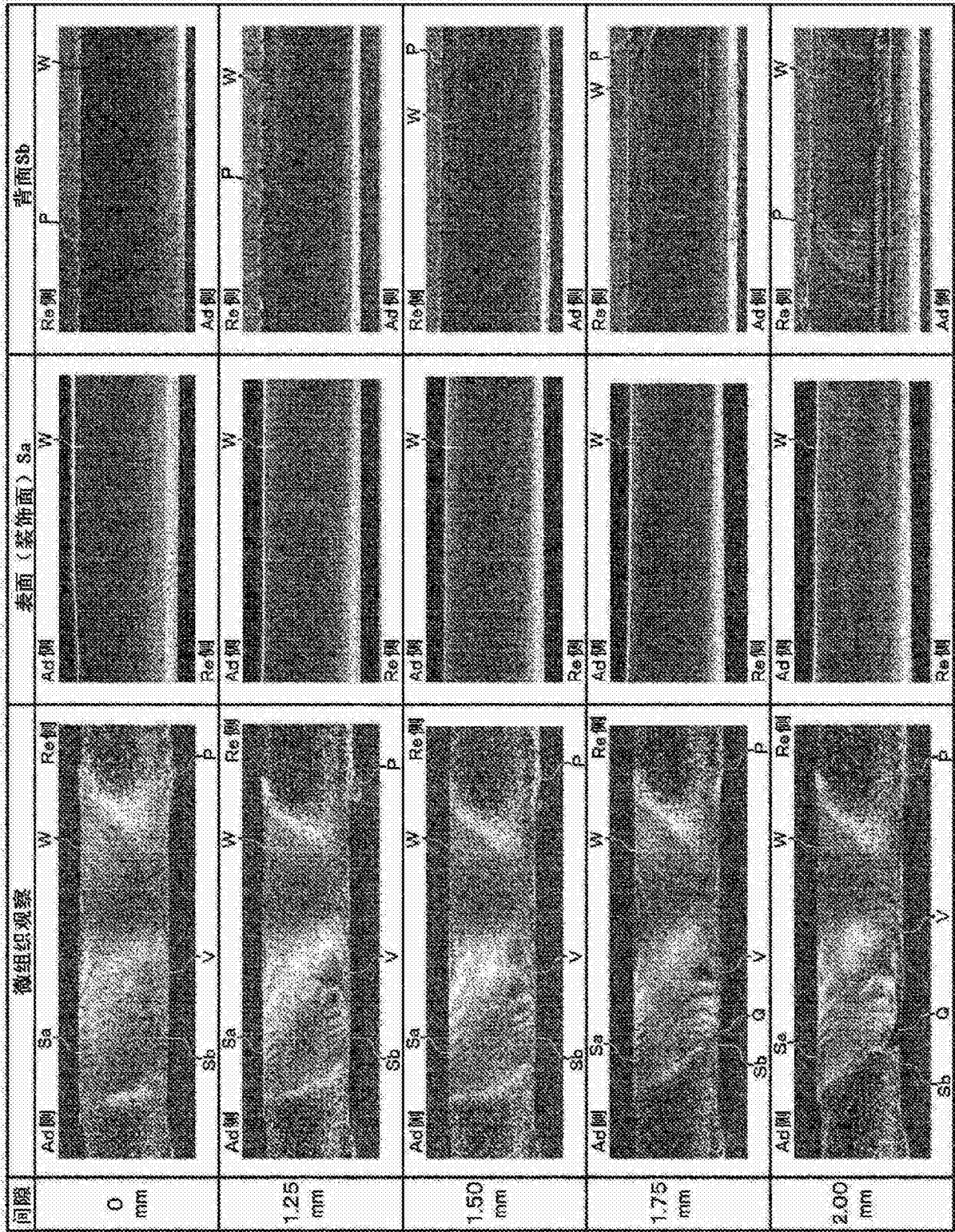


图38

<右旋转>

条件	第一轴 肩部侧	比例 (%)	第二轴 肩部侧	比例 (%)	示意图	装饰面的 凹槽的状态	间隙 (mm)	适合 与否
A	右螺纹	0	左螺纹	100		很大的 凹槽	0	×
							1.25	×
							1.50	×
							1.75	×
							2.00	×
B	右螺纹	25	左螺纹	75		较小的 凹槽	0	○
							1.25	○
							1.50	○
							1.75	○
							2.00	×
C	右螺纹	50	左螺纹	50		较小的 凹槽	0	○
							1.25	○
							1.50	○
							1.75	○
							2.00	×
D	右螺纹	75	左螺纹	25		基本没有 凹槽	0	○
							1.25	○
							1.50	○
							1.75	×
							2.00	×
E	右螺纹	100	左螺纹	0		基本没有 凹槽	0	○
							1.25	○
							1.50	○
							1.75	×
							2.00	×

图39

〈左旋转〉

条件	第一轴 肩部侧	比例 (%)	第二轴 肩部侧	比例 (%)	示意图	装饰面的 凹槽的状态	间隙 (mm)	适合 与否
F	左螺纹	0	右螺纹	100		很大的 凹槽	0	×
							1.25	×
							1.50	×
							1.75	×
							2.00	×
G	左螺纹	25	右螺纹	75		较小的 凹槽	0	○
							1.25	○
							1.50	○
							1.75	○
							2.00	×
H	左螺纹	50	右螺纹	50		较小的 凹槽	0	○
							1.25	○
							1.50	○
							1.75	○
							2.00	×
I	左螺纹	75	右螺纹	25		基本没有 凹槽	0	○
							1.25	○
							1.50	○
							1.75	×
							2.00	×
J	左螺纹	100	右螺纹	0		基本没有 凹槽	0	○
							1.25	○
							1.50	○
							1.75	×
							2.00	×

图40

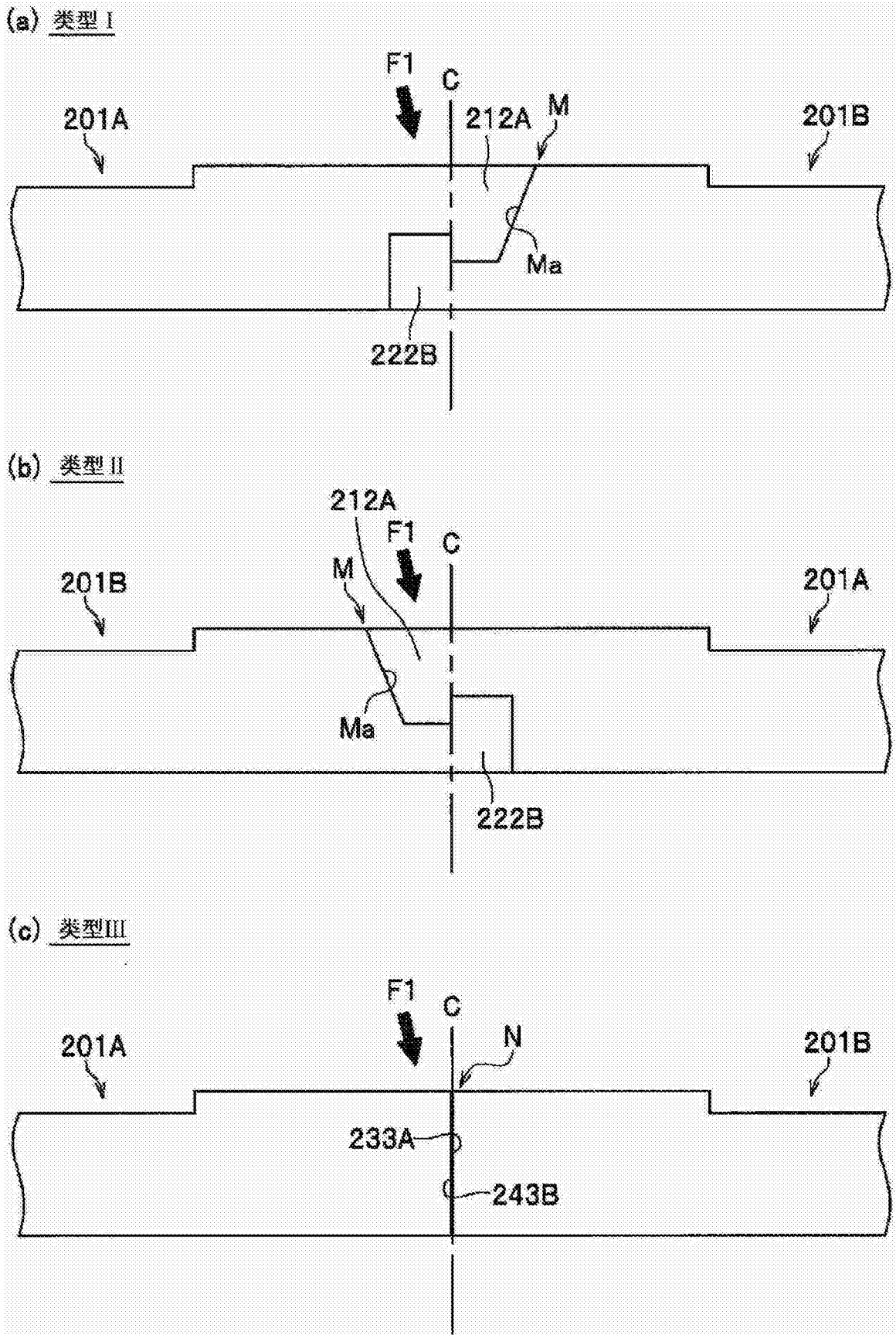


图41

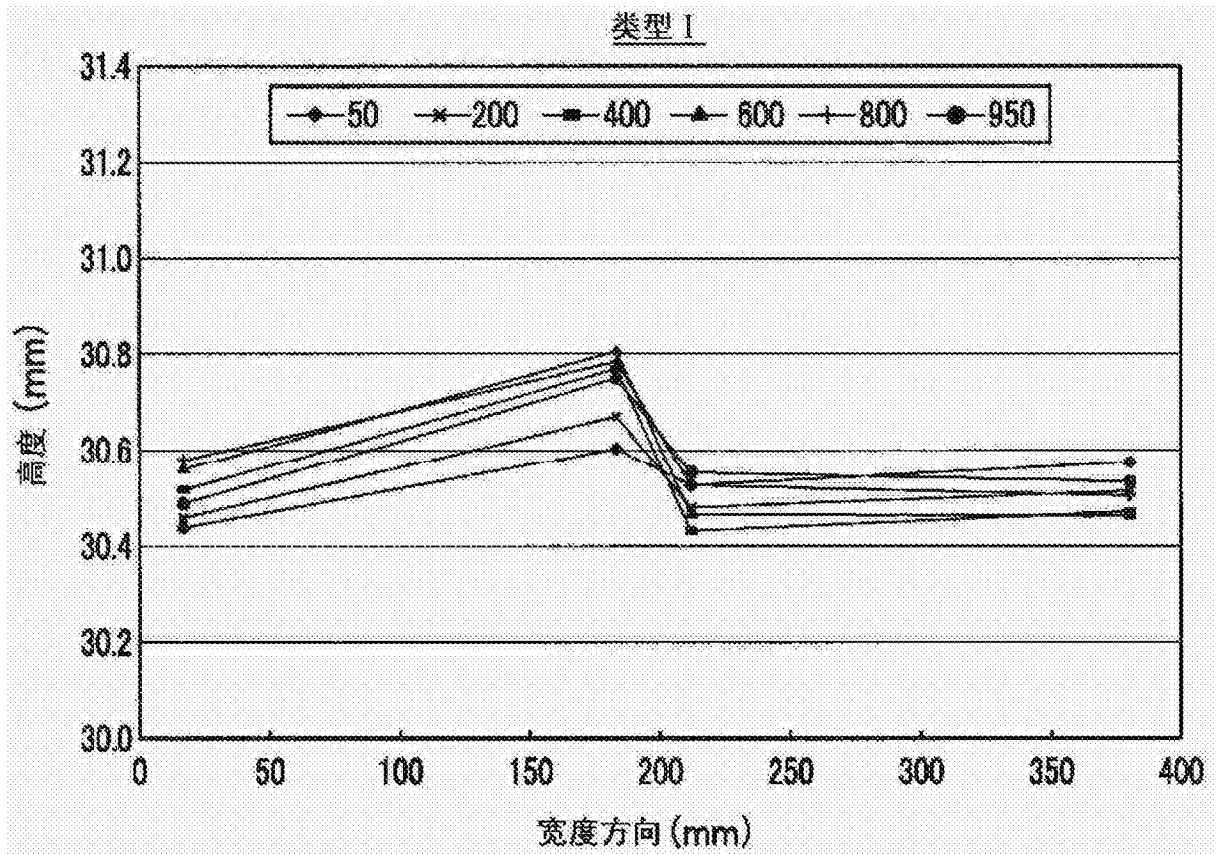


图42

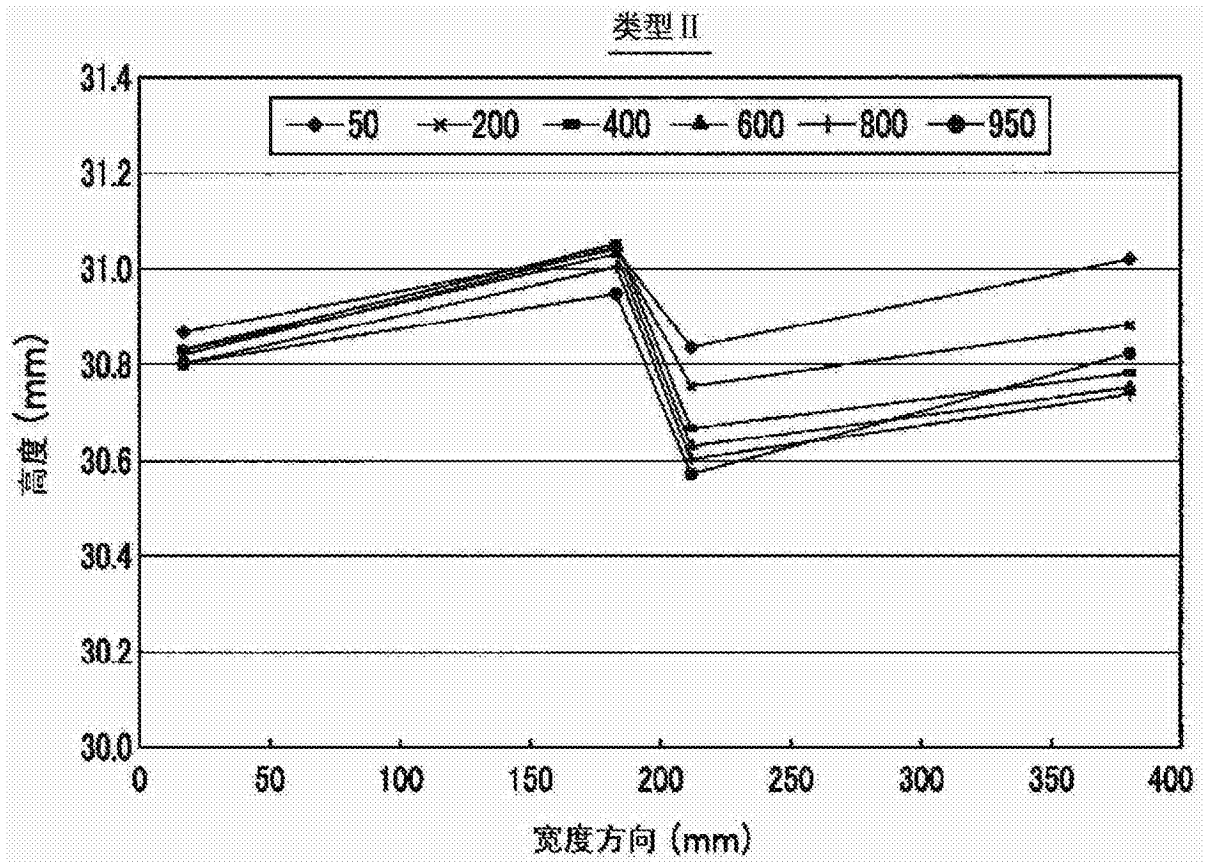


图43

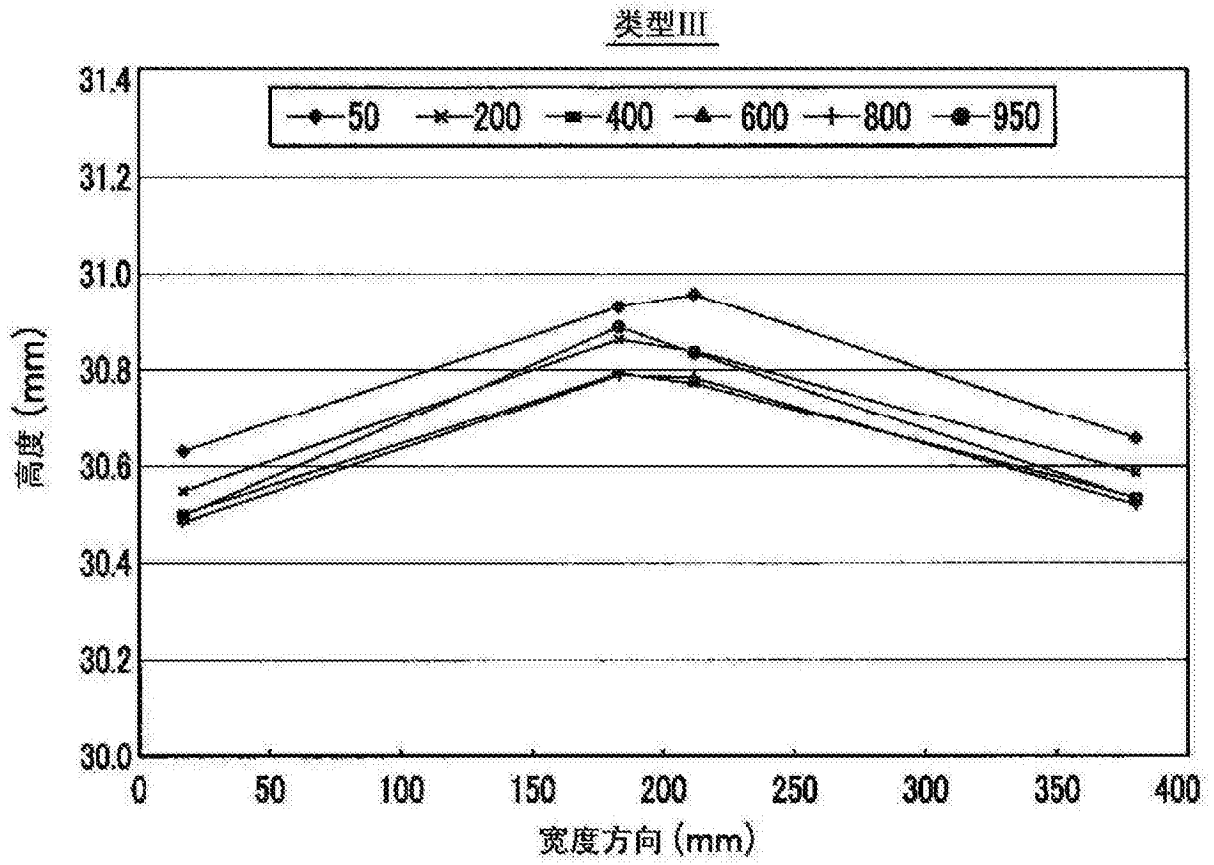
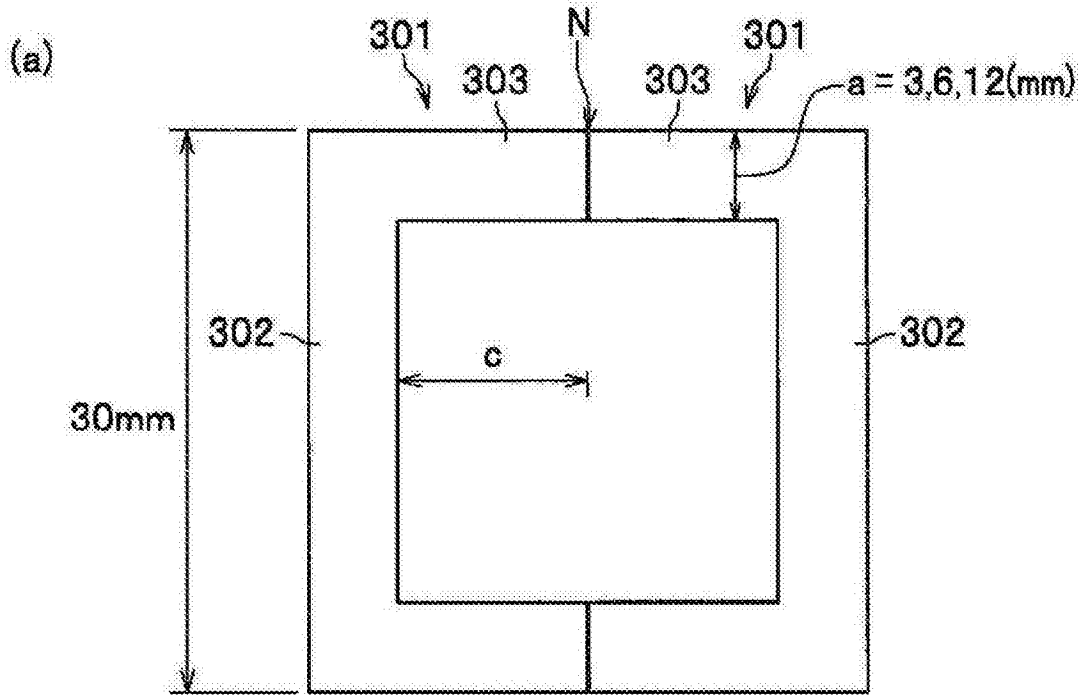


图44

双轴肩部搅拌头型工具		卡合形态	
条件 1		右旋转	<u>类型 I</u>
		左螺纹	
条件 2		左旋转	<u>类型 II</u>
		右螺纹	
条件 3		右旋转	<u>类型 IV</u>
		右螺纹	
条件 4		左旋转	<u>类型 V</u>
		左螺纹	

图45



(b)

板厚a	长度c	工具形状	质量
3mm	20	轴肩部— $\phi 10\text{mm}$ 销 $\phi 6\text{mm}$	○
	30		○
	40		○
	50		×
6mm	40	轴肩部— $\phi 20\text{mm}$ 销 $\phi 12\text{mm}$	○
	50		○
	60		○
	70		×
	80		×
12mm	60	轴肩部— $\phi 30\text{mm}$ 销 $\phi 15\text{mm}$	○
	80		○
	100		○
	120		×

图46

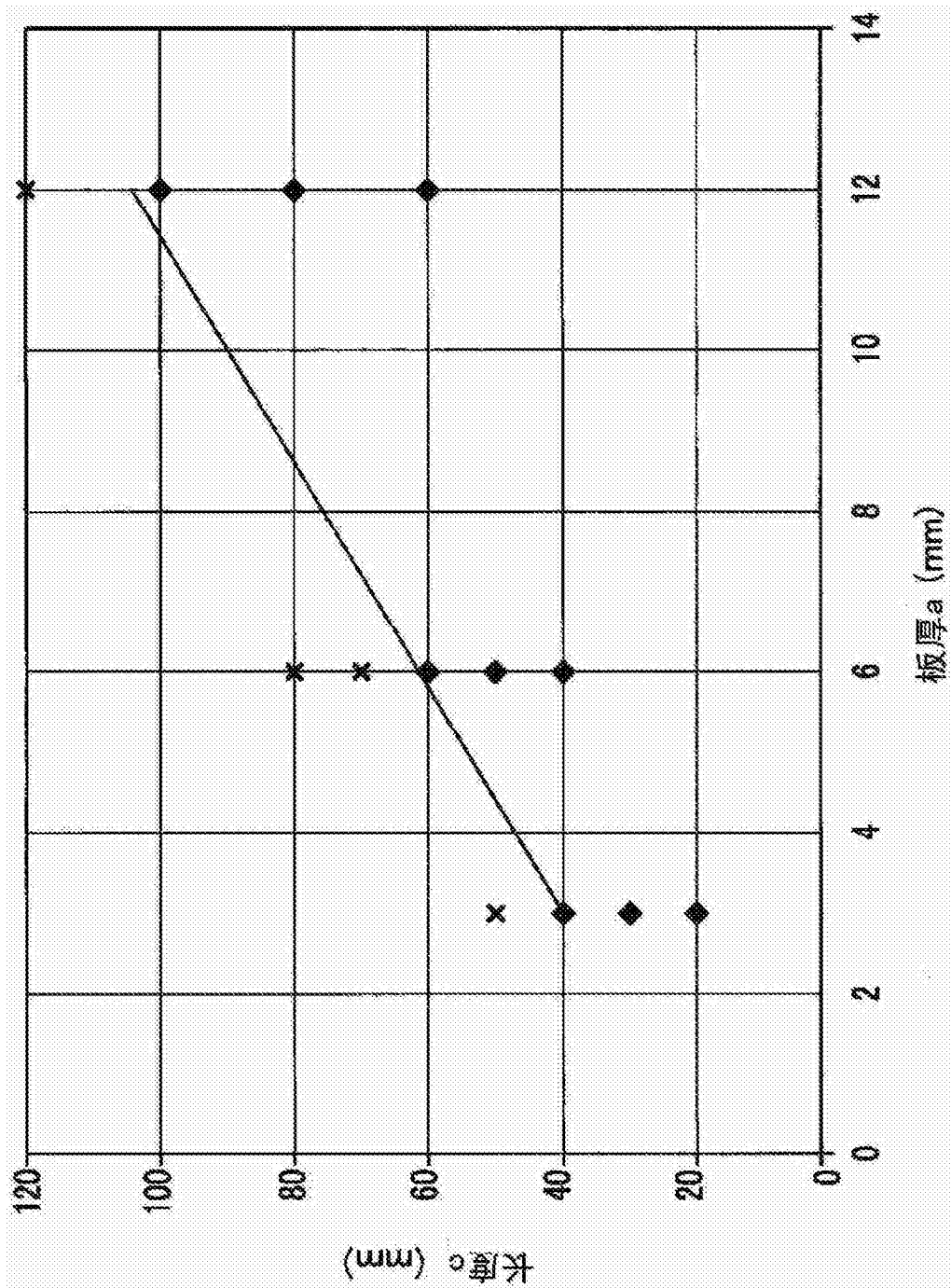


图47