(19)中华人民共和国国家知识产权局

(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 102625736 B
(45)授权公告日 2015.04.01

(21)申请号 201080048290.7
(22)申请日 2010.08.23
(30)优先权数据
2009-194211 2009.08.25 JP
(85)PCT国际申请进入国家阶段日
2012.04.25
(86)PCT国际申请的申请数据
PCT/JP2010/064145 2010.08.23
(87)PCT国际申请的公布数据
WO2011/024741 JA 2011.03.03
(73)专利权人 新日铁住金株式会社
地址 日本东京都
专利权人 住友钢管株式会社
(72)发明人 富泽淳 窪田纮明 桑山真二郎 井上三郎
(74)专利代理机构 北京林达刘知识产权代理事务所(普通合伙) 11277
代理人 刘新宇 张会华
(51)Int.Cl.
B21D 7/16(2006.01)
B21D 7/08(2006.01)
(56)对比文件
CN 101132869 A,2008.02.27,
US 6347539 B1,2002.02.19,
WO 2008123505 A1,2008.10.16,
CN 101132869 A,2008.02.27,
JP 昭59-218222 A,1984.12.08,
CN 1480596 A,2004.03.10,
JP 特開2004-337960 A,2004.12.02,
CN 101176964 A,2008.05.14,
审查员 李虎

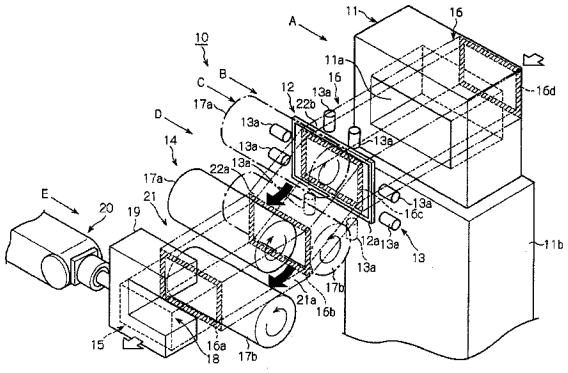
权利要求书3页 说明书12页 附图6页

(54)发明名称

弯曲构件、弯曲构件的制造装置及制造方法

(57)摘要

本发明提供一种具有弯曲半径例如是壁厚的1倍～5倍这样的微小的弯曲半径的弯曲构件、弯曲构件的制造装置和制造方法。在沿方管(16)的长度方向相对进给该方管(16)的状态下利用配置在第一位置(A)的第一支承装置(11)支承方管(16),利用配置在第二位置(B)的加热装置(12)将方管(16)局部加热,利用配置在第三位置(C)的冷却装置(13)进行冷却,并且,在进行加工时,使配置在下游的区域(D)的剪切力施加装置(14)向方管(16)的进给方向和与加热装置(12)所加热的方管(16)的长度方向上的一个横断面大致平行的方向这两个方向同时二维或三维地移动,从而对方管(16)的被加热了的部分施加剪切力来进行加工,制造弯曲构件(21)。



CN 102625736 B

1. 一种弯曲构件的制造装置，其特征在于，该弯曲构件的制造装置包括：

加热装置，其用于加热金属制的中空的坯料；

冷却装置，其用于对位于比由所述加热装置加热了的第一部分靠所述坯料的相对进给方向的下游侧的第二部分进行冷却；

剪切力施加兼支承部件，其包括剪切力施加部和支承部，所述剪切力施加部通过使所述坯料相对于所述加热装置及冷却装置向二维方向或三维方向、即所述坯料的长度方向及与所述坯料的所述长度方向中的一个横断面大致平行的方向这两个方向合成的方向移动，来对所述第一部分与第二部分之间施加剪切力；所述支承部在所述坯料的相对进给方向上的所述冷却装置的设置位置的下游区域支承所述坯料，并在所述合成的方向上相对于所述加热装置移动。

2. 根据权利要求 1 所述的弯曲构件的制造装置，其特征在于，

所述剪切力施加部在所述坯料的外表面与所述坯料接触并将所述坯料定位，并且其通过向所述两方向合成的方向移动，从而使所述坯料向所述两方向合成的方向移动，来对所述第一部分与所述第二部分之间施加剪切力。

3. 根据权利要求 1 所述的弯曲构件的制造装置，其特征在于，

所述剪切力施加部在沿所述两方向合成的方向倾斜的所述坯料的外表面与所述坯料接触并将所述坯料定位，并且其使所述坯料向所述两方向合成的方向相对移动来对所述第一部分与所述第二部分之间施加剪切力。

4. 根据权利要求 3 所述的弯曲构件的制造装置，其特征在于，

所述加热装置和所述冷却装置沿所述两方向合成的方向倾斜配置。

5. 根据权利要求 2 至 4 中任一项所述的弯曲构件的制造装置，其特征在于，

所述剪切力施加部为一对辊。

6. 根据权利要求 2 至 4 中任一项所述的弯曲构件的制造装置，其特征在于，

所述支承部在所述坯料的相对进给方向上的所述剪切力施加部的设置位置的下游区域支承所述坯料。

7. 根据权利要求 1 所述的弯曲构件的制造装置，其特征在于，

所述剪切力施加兼支承部件为把持或抓持所述坯料的夹持装置。

8. 根据权利要求 1 至 4 中任一项所述的弯曲构件的制造装置，其特征在于，还包括沿所述长度方向相对进给并支承所述坯料的进给兼支承装置，

所述进给兼支承装置、所述加热装置和所述冷却装置都固定配置，且所述进给兼支承装置配置在第一位置，所述加热装置配置在所述坯料的相对进给方向上的比所述第一位置靠下游的第二位置，所述冷却装置配置在所述坯料的相对进给方向上的比所述第二位置靠下游的第三位置，并且，所述剪切力施加兼支承部件配置在所述坯料的相对进给方向上的比所述第三位置靠下游的区域。

9. 根据权利要求 1 至 4 中任一项所述的弯曲构件的制造装置，其特征在于，

在所述相对进给方向上的所述加热装置的上游侧还具有用于支承所述坯料的支承装置，

所述支承装置、所述加热装置以及所述冷却装置相对于所述坯料的所述长度方向自由移动地配置。

10. 根据权利要求 1 至 4 中任一项所述的弯曲构件的制造装置，其特征在于，

所述弯曲构件至少具有一个弯曲半径是壁厚的 1 倍～ 5 倍的弯曲部。

11. 根据权利要求 1 至 4 中任一项所述的弯曲构件的制造装置，其特征在于，

所述弯曲构件具有闭合截面形状且沿长度方向一体地构成。

12. 一种弯曲构件的制造方法，其特征在于，

利用加热装置对金属制的中空的坯料进行加热，并且利用冷却装置对位于比由所述加热装置加热了的第一部分靠所述坯料的相对进给方向的下游侧的第二部分进行冷却，而且，利用剪切力施加兼支承部件的支承部在所述坯料的相对进给方向上的所述冷却装置的设置位置的下游区域支承所述坯料，使所述支承部相对于所述加热装置向所述坯料的长度方向及与所述坯料的所述长度方向中的一个横断面大致平行的方向这两个方向合成的方向移动，通过所述剪切力施加兼支承部件的剪切力施加部使所述坯料在上述合成的方向上相对于所述加热装置及冷却装置移动，从而对所述第一部分与所述第二部分之间施加剪切力来对所述坯料进行加工。

13. 根据权利要求 12 所述的弯曲构件的制造方法，其特征在于，

对所述第一部分与所述第二部分之间进行淬火。

14. 根据权利要求 12 或 13 所述的弯曲构件的制造方法，其特征在于，

所述剪切力施加部在所述坯料的外表面与所述坯料接触并将所述坯料定位，并且其通过向所述两方向合成的方向移动，从而使所述坯料向所述两方向合成的方向移动，来对所述第一部分与所述第二部分之间施加剪切力。

15. 根据权利要求 12 或 13 所述的弯曲构件的制造方法，其特征在于，

所述剪切力施加部在沿所述两方向合成的方向倾斜的所述坯料的外表面与所述坯料接触并将所述坯料定位，并且其使所述坯料向所述两方向合成的方向相对移动来对所述第一部分与所述第二部分之间施加剪切力。

16. 根据权利要求 15 所述的弯曲构件的制造方法，其特征在于，

所述加热装置和所述冷却装置沿所述两方向合成的方向倾斜配置。

17. 根据权利要求 14 所述的弯曲构件的制造方法，其特征在于，

所述剪切力施加部为一对辊。

18. 根据权利要求 14 所述的弯曲构件的制造方法，其特征在于，

所述支承部在所述坯料的相对进给方向上的所述剪切力施加部的设置位置的下游区域支承所述坯料。

19. 根据权利要求 12 或 13 所述的弯曲构件的制造方法，其特征在于，

所述剪切力施加兼支承部件为把持或抓持所述坯料的夹持装置。

20. 根据权利要求 12 或 13 所述的弯曲构件的制造方法，其特征在于，

沿所述长度方向相对进给并支承所述坯料的进给兼支承装置、所述加热装置和所述冷却装置都固定配置，且所述进给兼支承装置配置在第一位置，所述加热装置配置在所述坯料的相对进给方向上的比所述第一位置靠下游的第二位置，所述冷却装置配置在所述坯料的相对进给方向上的比所述第二位置靠下游的第三位置，并且，所述剪切力施加兼支承部件配置在所述坯料的相对进给方向上的比所述第三位置靠下游的区域。

21. 根据权利要求 12 或 13 所述的弯曲构件的制造方法，其特征在于，

在所述相对进给方向上的所述加热装置的上游侧还具有用于支承所述坯料的支承装置，

所述支承装置、所述加热装置以及所述冷却装置相对于所述坯料的所述长度方向自由移动地配置。

22. 根据权利要求 12 或 13 所述的弯曲构件的制造方法，其特征在于，

所述弯曲构件至少具有一个弯曲半径是壁厚的 1 倍～ 5 倍的弯曲部。

23. 根据权利要求 12 或 13 所述的弯曲构件的制造方法，其特征在于，

所述弯曲构件具有闭合截面形状且沿长度方向一体地构成。

弯曲构件、弯曲构件的制造装置及制造方法

技术领域

[0001] 本发明涉及一种弯曲构件、弯曲构件的制造装置及制造方法。具体而言，本发明涉及一种具有弯曲半径例如是壁厚（坯料的板厚）的 1 倍～ 5 倍这样的极小弯曲部的弯曲构件、弯曲构件的制造装置及制造方法。

背景技术

[0002] 期望有一种高强度、轻量且小型的、使用在汽车、各种机械等中的具有弯曲形状的金属制的强度构件、加强构件或结构构件。以往，这种弯曲构件是利用冲压加工品的焊接、厚板的冲裁以及锻造等来制造的。很难使利用这些制造方法制造成的弯曲构件进一步轻量化和小型化。

[0003] 在非专利文献 1 中公开了利用所谓的管件液压成形 (tube hydroforming) 法来制造该种弯曲构件。在非专利文献 1 的第 28 页公开了存在有作为坯料的材料的研发、能够成形的形状的自由度扩大等这样的课题。为了利用管件液压成形法制造该种弯曲构件，需要今后更进一步的研发。

[0004] 本申请人利用专利文献 1 公开了弯曲加工装置。图 7 是示意性表示弯曲加工装置 1 的概略的说明图。

[0005] 如图 7 所示，弯曲加工装置 1 在利用未图示的进给装置从上游侧朝向下游侧沿箭头方向进给钢管 2 的状态下在支承单元 3、3 的下游如下面说明的那样对钢管 2 进行弯曲加工，从而制造钢制的弯曲构件 7，上述钢管 2 被一对支承单元 3、3 以能沿钢管 2 的轴向自由移动的方式支承。

[0006] 在支承单元 3、3 的下游，高频加热线圈 4 将钢管 2 的局部迅 速加热至能够淬火的温度区域。配置在高频加热线圈 4 的下游侧的水冷装置 5 将钢管 2 迅速冷却。至少具有一组能够进给并支承钢管 2 的一对辊 6a、6a 的可动辊模 6 三维（有时二维）地改自身的位置，从而对钢管 2 的高温部分 2a 施加弯曲力矩。因此，弯曲加工装置 1 能够以高工作效率制造弯曲构件 7。

[0007] 在非专利文献 2 中公开了以下技术，即，在连续地进给椭圆的金属材料并用支承装置以自由移动的方式支承进给来的金属材料的状态下，利用配置在支承装置的下游的高频加热装置进行迅速加热和利用配置在紧接着该高频加热装置的下游的水冷装置进行迅速冷却，并且通过在利用配置在水冷装置的下游的能二维旋转的臂抓住该金属材料的状态下使臂进行旋转来对金属材料的高温部分施加弯曲力矩，从而对金属管进行无模弯曲加工。另外，非专利文献 2 公开的技术并不是如专利文献 1 公开的发明那样二维或三维地加工成复杂的弯曲形状，也不是意图利用淬火达到高强度化。

[0008] 在非专利文献 2 中公开了以下内容，即，通过在沿坯料的长度方向进给该坯料的状态下对该坯料进行局部地迅速加热和冷却，而获得的弯曲加工成弯曲半径恒定的二维形状的弯曲构件的各部分的尺寸，该坯料是具有中空的闭合截面形状且在长度方向上一体地构成的金属制的长条扁平的坯料。

[0009] 根据本发明人的研究结果，采用专利文献 1 公开的弯曲加工装置、非专利文件 2 公开的技术能够制造具有弯曲半径例如是金属管的直径（矩形截面的情况下是弯曲方向的边长）的 1 倍～ 2 倍的弯曲部的弯曲构件。但是，利用该技术，很难以低成本大量生产例如汽车的车体结构构件、行走部分构件这样的多用于汽车的各种部件这样的、具有极小的弯曲半径（例如是壁厚的 1 倍～ 5 倍）的弯曲部的弯曲构件。

[0010] 图 8 是表示由专利文献 1、非专利文献 2 公开的弯曲加工前后的、被加工件的截面的尺寸变化的说明图。图 8 所示的例子表示在进行了弯曲半径 R1 的第一次弯曲加工之后向相反方向进行弯曲半径 R2 的弯曲加工的情况。

[0011] 如图 8 所示，当对宽度 W_0、高度 H_0 的矩形截面的异形管 8a 施加弯曲力矩以进行弯曲加工时，与弯曲加工前的宽度 W_0 相比，作为弯曲加工后的产品的弯曲构件 8b 的宽度减少了微量 ΔW，变成 W_1（$= W_0 - \Delta W$）。另外，与弯曲加工前的高度 H_0 相比，作为弯曲加工的内周侧的 B 侧的高度 H_B 增加了微量 ΔH（$H_B = H_0 + \Delta H$），与此相对，与弯曲加工前的高度 H_0 相比，作为弯曲加工的外周侧的 A 侧的高度 H_A 减少了微量 $\Delta H'$（$H_A = H_0 - \Delta H'$）。

[0012] 同样，如非专利文献 2 所公开的那样，当对具有中空的闭合截面形状且在长度方向上一体地构成的金属制的长条扁平的坯料 8a 进行弯曲加工以制造弯曲构件 8b 时，在进行了弯曲加工的部分处，截面的宽度和高度与弯曲加工前的尺寸相比发生了变化。弯曲内周侧发生褶皱且截面形状变形，由此导致弯曲构件 8b 的尺寸精度降低。该尺寸精度的降低程度被弯曲加工前的坯料 8a 的尺寸（宽度 W_0、高度 H_0、壁厚 t 等）、弯曲加工的条件（弯曲半径 R、加热宽度 b 等）所影响。

[0013] 特别是在欲利用专利文献 1 公开的弯曲加工装置、非专利文献 2 公开的技术来制造具有极小的弯曲半径 R（例如壁厚的 1 倍～ 5 倍）的弯曲部的弯曲构件时，弯曲加工成的弯曲构件的尺寸精度大幅降低，不能制造具有优异尺寸精度的弯曲构件。

[0014] 在非专利文献 3 中公开了以下技术，即，在用冷加工对钢管的隆起进行约束的上下分型模的内部，配置 SUS304 不锈钢管，对钢管加载内压 p，用载荷 F 沿轴向按入端面并使外模在与该钢管正交的方向上移动，从而在钢管的相对于轴线成 45° 的面上发生剪切变形，并且，通过使该变形位置随外模的移动而连续地移动来制造被加工成弯曲部的半径极小的曲柄状的不锈钢管。

[0015] 专利文献 1 :国际公开第 2006/093006 号文献

[0016] 非专利文献 1 :汽车技术 Vol.57，No.6，2003 第 23 ～ 28 页

[0017] 非专利文献 2 :塑性与加工（日本塑性加工学会期刊）第 28 卷第 313 号（1987-2 第 214 ～ 221 页异形管的无模弯曲）

[0018] 非专利文献 3 :塑性与加工（日本塑性加工学会期刊）第 35 卷第 398 号（1994-3 第 232 ～ 237 页一种将管弯曲成零半径的加工技术）

[0019] 由非专利文献 3 公开的技术是将作为坯料的不锈钢管配置在上下分型模的内部，一边对该不锈钢管的内部施加压力一边用冷加工进行弯曲加工。因此，为了实施该技术，至少需要与弯曲形状相对应的上下的分型模和用于对钢管的内部施加压力的压力施加装置。因而，在利用该技术大量生产多种弯曲构件的情况下，无法避免制造成本的大幅上升。

[0020] 另外，在非专利文献 3 中，的确记载了能够对外径是 22.2mm、壁厚是 1mm 和 0.3mm 的 SUS304 不锈钢管进行弯曲部的半径极小的弯曲加工。但是，由于是冷加工，因而当对高

强度材料进行相同的弯曲加工时，存在加工坯料发生裂纹的危险。

[0021] 特别是很难利用该技术对 980MPa 以上的坯料进行加工。另外，即使避免了裂纹，由于强度较高的钢管、壁厚较大的钢管成形时所需的加工载荷变得极大，因而不得不将加工设备制成相当大的设备，设备成本显著上升。

[0022] 因此，即使利用非专利文献 3 公开的发明，也很难以低成本大量生产具有极小的弯曲半径（例如是壁厚的 1 倍～ 5 倍）的弯 曲部的弯曲构件，进而不能加工高强度的管坯。

发明内容

[0023] 本发明的目的是以低成本可靠地提供一种具有弯曲半径例如是壁厚的 1 倍～ 5 倍这样的微小的弯曲半径的弯曲部、且完全不会发生由于在该弯曲部的内周侧发生的褶皱、截面形状的变形而引起的尺寸精度的降低的弯曲构件，由此，能谋求提高例如汽车的车体结构构件、行走部分构件这样的汽车的各种部件的设计的自由度，并且谋求这些各种部件的进一步低成本化和轻量化。

[0024] 本发明人基于若能够以热加工或温热加工来实施非专利文献 3 公开的发明则能够解决上述课题的这种认识反复进行了深入研究。其结果，本发明人发现通过使图 7 中的一对辊 6a、6a 以能够对钢管 2 的被加热面施加剪切应力来进行加工的方式二维或三维地移动，能够以低成本可靠地大量生产具有弯曲半径例如是壁厚的 1 倍～ 5 倍这样的微小的弯曲半径的弯曲部且不会发生由于在该弯曲部的内周侧发生的褶皱、截面形状的变形而引起的尺寸精度的降低的弯曲构件，本发明人进一步反复研究而完成了本发明。

[0025] 本发明是一种弯曲构件的制造装置，其特征在于，该弯曲构件的制造装置包括 ：第一支承装置，其在沿金属制的中空的坯料的长度方向相对进给该坯料的状态下支承该坯料 ；加热装置，其用于加热所述坯料 ；冷却装置，其用于对位于比由所述加热装置加热了的第一部分靠所述坯料的相对进给方向的下游侧的第二部分进行冷却（强制冷却或自然冷却）；剪切力施加装置，该剪切力施加装置例如是一种夹具（例如分开地相对配置的一对辊、一对夹持装置等），通过使该剪切力施加装置向二维 方向或三维方向移动来对所述第一部分与第二部分之间施加剪切力。

[0026] 从另外的观点来看，本发明是一种弯曲构件的制造方法，其特征在于，在相对于支承金属制的中空的坯料的第一支承装置沿该坯料的长度方向进给该坯料的状态下，利用加热装置对所述坯料进行加热，并利用冷却装置对位于比由所述加热装置加热了的第一部分靠所述坯料的相对进给方向的下游侧的第二部分进行冷却，而且，通过使向二维方向或三维方向移动来对所述第一部分与所述第二部分之间施加剪切力的剪切力施加装置向所述二维方向或三维方向移动来对所述坯料进行加工。在该情况下，期望对所述第一部分与所述第二部分之间进行淬火。

[0027] 在上述的本发明中，举例说明了以下内容，即，所述第一支承装置、所述加热装置和所述冷却装置都固定配置，且所述第一支承装置配置在第一位置，所述加热装置配置在所述坯料的进给方向上的比所述第一位置靠下游的第二位置，所述冷却装置配置在所述坯料的进给方向上的比所述第二位置靠下游的第三位置，并且，所述剪切力施加装置配置在所述坯料的进给方向上的比所述第三位置靠下游的区域。

[0028] 在上述的本发明中，优选为，加热装置对坯料的长度方向上的一个横截面进行加

热，并且，在进行加工时，剪切力施加装置同时在坯料的进给方向和与所述一个横断面大致平行的方向这两个方向上移动。

[0029] 在上述的本发明中，优选为，(a) 具有第二支承装置，该第二支承装置配置在坯料的进给方向上的比剪切力施加装置的设置位置靠下游的区域，用于支承坯料的利用剪切力施加装置加工完的部分，或者 (b) 剪切力施加装置的定位通过夹持（把持或抓持）坯料来进行。

[0030] 在上述的本发明中，优选为，弯曲构件至少满足以下三个条件之一，(c) 具有至少一个弯曲半径极小（例如是壁厚的 1 倍～ 5 倍）的弯曲部，(d) 具有至少一个被加热和冷却而形成的弯曲部，以及 (e) 具有闭合截面形状且沿长度方向一体地构成（中空且长条）。

[0031] 并且，从另一观点来看，本发明是一种弯曲构件，其特征在于，该弯曲构件具有金属制的中空的主体，并且具有至少一个形成在该主体上的、二维弯曲或三维弯曲而成的弯曲部，该弯曲部的弯曲半径极小（例如是壁厚的 1 倍～ 5 倍）。

[0032] 在本发明中，优选为，弯曲部是在进行形成弯曲部的加工时被加热和冷却了的部分。

[0033] 在上述的本发明中，优选为，弯曲构件具有闭合截面形状且沿长度方向一体地构成。

[0034] 采用本发明，能够以低成本可靠地提供一种具有弯曲半径例如是壁厚的 1 倍～ 5 倍这样的微小的弯曲半径的弯曲部且完全不会发生由于在该弯曲部的内周侧发生的褶皱、截面形状的变形而引起的尺寸精度的降低的弯曲构件。因此，采用本发明，能谋求提高例如汽车的车体结构构件、行走部分构件这样的汽车的各种部件的设计的自由度，并且谋求这些各种部件的进一步低成本化和轻量化。

附图说明

[0035] 图 1 是将本发明的制造装置的结构例进行一部分简化和省略，并进行透视表示的立体图。

[0036] 图 2 是示意性表示本发明的制造装置的结构例的说明图。

[0037] 图 3 的 (a) ～图 3 的 (c) 是随时间变化表示实施本发明的制造方法的情况的说明图。

[0038] 图 4 是示意性表示本发明的制造装置的另一结构例的说明图。

[0039] 图 5 是示意性表示本发明的制造装置的又一结构例的说明图。

[0040] 图 6 的 (a) 及图 6 的 (b) 是示意性且随时间变化表示本发明的制造装置的再一结构例的说明图。

[0041] 图 7 是示意性表示专利文献 1 公开的弯曲加工装置的概略的说明图。

[0042] 图 8 是举例说明专利文献 1、非专利文献 2 公开的弯曲加工前后的截面的尺寸变化的说明图。

[0043] 附图标记说明

[0044] 1 专利文献 1 公开的弯曲加工装置

[0045] 2 钢管

[0046] 3 支承装置

[0047] 4 感应加热线圈

[0048] 5 水冷装置

[0049] 6 可动辊模

[0050] 6a 辊

[0051] 7 弯曲构件

[0052] 8a 异形管

[0053] 8b 弯曲构件

[0054] 10、10-1、10-2、10-3 本发明的制造装置

[0055] 11 第一支承装置

[0056] 11a 通孔

[0057] 12 加热装置

[0058] 12a 感应加热线圈

[0059] 13 冷却装置

[0060] 13a 冷却水喷嘴

[0061] 14 剪切力施加装置

[0062] 15 第二支承装置

[0063] 16 方管

[0064] 16a ～ 16d 截面形状

[0065] 17a、17b 辊

[0066] 18 卡盘

[0067] 19 末端执行器 (end effector)

[0068] 20 垂直型多关节工业用机器人

[0069] 21 弯曲构件

[0070] 21a 主体

[0071] 22a、22b 弯曲部

[0072] 23a、23b 辊

[0073] 24 工业用机器人

具体实施方式

[0074] 以下，参照附图说明本发明的最佳实施方式。在下面的说明中以下述情况为例子，即，利用本发明制造的弯曲构件是以钢制且具有矩形横截面的中空的构件为坯料、用于汽车、各种机械中的强度构件、加强构件或结构构件。

[0075] 图 1 是将本发明的制造装置 10 的结构例进行一部分简化和省略，并进行透视表示的立体图。另外，图 2 是示意性表示该制造装置 10 的结构例的说明图。

[0076] 如图 1、图 2 所示，该制造装置 10 具有第一支承装置 11、加热装置 12、冷却装置 13、剪切力施加装置 14、第二支承装置 15。

[0077] 第一支承装置 11

[0078] 如图 1 所示，首先，利用未图示的进给装置沿方管 16 的长度 方向进给该方管 16。方管 16 具有矩形的中空的闭合截面形状。方管 16 是沿长度方向一体地构成的钢制的长条

状的坯料。

[0079] 进给装置沿方管 16 的长度方向进给该方管 16。作为该进给装置，举出说明了使用了电动伺服缸的类型的进给装置。但是，不必限于特定样式的进给装置，只要是使用滚珠丝杠、同步带、链的类型等这样的作为该种进给装置公知的装置，则全部能够同等使用。

[0080] 在图 1 所示的例子中，以使用具有矩形的横截面形状的方管 16 作为加工坯料的情况为例。但是，本发明中的加工坯料不限于方管 16，例如具有矩形、椭圆形、长圆形、正方形以及各种异形的横截面形状的中空的钢管、钢管以外的金属管也可以作为加工坯料。

[0081] 利用进给装置以规定的进给速度沿方管 16 的轴向（长度方向）进给该方管 16。方管 16 在第一位置 A 处被第一支承装置 11 支承。即，第一支承装置 11 在第一位置 A 处以自由移动的方式支承由进给装置沿方管 16 的轴向进给来的方管 16。

[0082] 在图 1、图 2 所示的例子中，使用块作为第一支承装置 11。块具有能够供方管 16 以留有间隙的方式贯穿的通孔 11a。虽然未图示，但也可以设成将块分割、将液压缸、气缸连接起来对方管进行支承的结构。另外，第一支承装置 11 不限于特定的样式的支承装置，只要是作为这种支承装置公知的装置就能够进行同等使用。例如，举例说明了以一组或两组以上并列设置的方式使用相对设置的一对孔型辊。

[0083] 方管 16 如上所述地通过第一支承装置 11 的设置位置 A 并被沿轴向进给。

[0084] 在图 1 所示的例子中，第一支承装置 11 是以搭载和固定在适当的搭载台 11b 上的方式进行配置的，但是，本发明不限于该技 术方案，只要是能够将第一支承装置 11 固定地配置在规定的位置的方法即可，不限于特定的配置方式。例如，也可以利用公知使用的安装在工业用机器人上的末端执行器来支承第一支承装置 11。

[0085] 如上所述地构成第一支承装置 11。

[0086] 加热装置 12

[0087] 加热装置 12 固定配置在方管 16 的进给方向上的比第一位置 A 靠下游侧的第二位置 B。加热装置 12 用于对进给来的方管 16 的长度方向上的一部分的一个横截面的整周进行加热。

[0088] 在图 1、图 2 所示的例子中，使用感应加热装置作为加热装置 12。该感应加热装置只要是具有能够对方管 16 进行例如高频感应加热的线圈即可，只要是作为这种高频感应加热装置公知的装置就能够进行同等使用。

[0089] 感应加热装置 12 的加热线圈 12a 以距方管 16 的外表面规定的距离、覆盖方管 16 的长度方向上的一部分的一个横截面的整周的方式进行设置。

[0090] 通过适当地改变和与方管 16 的轴向正交的方向平行的方向上的、加热线圈 12a 与方管 16 的距离，能够对被进给的方管 16 沿其周向进行不均匀的加热。

[0091] 虽然未图示，但期望在方管 16 的进给方向上的感应加热装置 12 的上游侧预先设置一个以上能够对方管 16 进行预热的预热装置（例如小型的高频加热装置），并用该预热装置和感应加热装置 12 来对方管 16 进行加热。由此，能够对方管 16 进行多次加热或能够对方管 16 的一部分沿其周向进行不均匀的加热。

[0092] 方管 16 的局部被加热装置 12 迅速地加热。

[0093] 加热装置 12 的设置方法只要是能够将加热装置 12 固定地配置在规定的位置上的方法即可，并不必对其设置方式进行特 别的限定。例如，能例示出将加热装置 12 搭载并

固定在固定台上、利用公知使用的安装在工业用机器人上的末端执行器来支承加热装置 12 等。

[0094] 如上所述地构成加热装置 12。

[0095] 冷却装置 13

[0096] 冷却装置 13 配置在方管 16 的进给方向上的比第二位置 B 靠下游的第 3 位置 C。冷却装置 13 将方管 16 的被在第二位置 B 加热的部分迅速冷却。通过利用冷却装置 13 对方管 16 进行冷却，使方管 16 的被加热装置 12 加热了的第一部分与被冷却装置 13 冷却了的第二部分之间的部分处于高温且变形阻力大幅下降的状态。

[0097] 冷却装置 13 只要是能得到希望的冷却速度的装置即可，不限于特定的方式的冷却装置。一般地，期望使用通过朝向方管 16 的外周面的规定位置喷射冷却水来对方管 16 进行冷却的水冷装置。在本例中，如图 1、图 2 所示，在紧接着加热装置 12 的下游侧，以包围方管 16 的长度方向上的一部分的一个横截面的方式与方管 16 的外表面保持距离地设置多个冷却水喷嘴 13a。而且，从这些冷却水喷嘴 13a 朝向方管 16 的外表面喷射冷却水。

[0098] 为了不阻碍加热装置 12 对方管 16 进行的加热，期望朝向方管 16 被进给的方向斜喷冷却水。

[0099] 若针对每个冷却水喷嘴 13a 分别控制来自各冷却水喷嘴 13a 的冷却水的喷射量，则能够对方管 16 的一部分沿其周向不均匀地进行冷却。另外，通过改变和与方管 16 的轴向正交的方向平行的方向上的、各冷却水喷嘴 13a 与方管 16 之间的距离，能够调整方管 16 的被加热的轴向上的区域。

[0100] 利用冷却装置 13 对方管 16 的由感应加热装置 12 加热了的部分进行迅速冷却。

[0101] 通过适当调整利用冷却装置 13 进行的水冷的开始温度和冷却速度，能够对方管 16 的迅速冷却部的一部分或全部进行淬火或退火。由此，例如还能够将方管 16 的弯曲部的一部分或全部的强度大幅提高至例如 1500MPa 以上。

[0102] 冷却装置 13 的设置方法只要是能将冷却装置 13 固定地配置在规定位置的方法即可，不限于特定的设置方法。但是，为了利用本发明的制造装置 1 来制造具有较高尺寸精度的弯曲构件 21，期望通过尽量短地设定位置 B ～位置 C 之间的距离，来尽量减小由加热装置 12 加热的第一部分与由冷却装置 13 冷却的第二部分之间的区域。为此，期望将冷却水喷嘴 13a 配置为靠近高频加热线圈 12a，因此期望例如将冷却水喷嘴 13a 固定地配置在紧接着感应加热线圈 12a 之后的位置。

[0103] 通过在高频加热线圈 12a 上设置供水孔并将高频加热线圈 12a 的冷却水作为方管的冷却水进行喷射，能够使位置 B ～位置 C 之间的距离最小，也能够并设冷却装置 13。

[0104] 另外，在方管 16 的进给速度缓慢的情况下等，也可以采用自然冷却方法来代替冷却装置 13。

[0105] 如上所述地构成冷却装置 13。

[0106] 剪切力施加装置 14

[0107] 剪切力施加装置 14 配置在方管 16 的进给方向上的比第三位置 C 靠下游的区域 D。剪切力施加装置 14 在对方管 16 进行定位的状态下二维或三维地移动。由此，剪切力施加装置 14 对方管 16 的、由加热装置 12 加热了的第一部分与由冷却装置 13 冷却了的第二部分之间的区域施加剪切力以对方管 16 进行加工。

[0108] 在图 1、图 2 所示的例子中，将上下一对的辊 17a、17b 用作剪切力施加装置 14。上下一对的辊 17a、17b 在通过与方管 16 的外表面接触来对方管 16 进行定位的状态下沿图 1 中的箭头方 向进行从动旋转。

[0109] 上下一对的辊 17a、17b 被未图示的支承框以自由旋转的方式支承。利用以二维或三维地自由移动的方式保持支承框的移动机构（同样没有图示）来对支承框进行保持。

[0110] 图 3 的 (a) ～图 3 的 (c) 是随时间变化表示实施本发明的制造方法的情况的说明图，是随时间变化表示将方管 16 加工成如图 3 的 (c)、图 1 或图 2 所示的、具有微小弯曲半径的弯曲部的弯曲构件 21 的情况。

[0111] 如图 3 的 (a) ～图 3 的 (c)、图 1 和图 2 所示，在加工开始时，上下一对的辊 17a、17b 位于图 3 的 (a) 所示的位置（图 1 中的点划线所示的位置）即原位置。

[0112] 当开始对方管 16 进行加工时，输入有来自未图示的加工控制装置的控制信号的移动机构使由未图示的支承框以自由旋转的方式支承的上下一对的辊 17a、17b，以上述原位置为起点向方管 16 的进给方向（图 3 的 (a) ～图 3 的 (c) 中的左方向）和与方管 16 的由加热装置 12 加热了的长度方向上的一个横截面大致平行的方向（图 3 的 (a) ～图 3 的 (c) 中的下方向）这两个方向的合成方向（图 3 的 (a) ～图 3 的 (c) 中的左斜下方向）移动。

[0113] 如此，上下一对的辊 17a、17b 在与被进给来的方管 16 的外表面相抵接的状态下，以上述原位置作为起点如图 1 中的黑粗箭头所示地同时向方管 16 的进给方向（图 3 的 (a) ～图 3 的 (c) 中的左方向）和与方管 16 的由加热装置 12 加热了的长度方向上的一个横截面大致平行的方向（图 3 的 (a) ～图 3 的 (c) 中的下方向）这两个方向的合成方向（图 3 的 (a) ～图 3 的 (c) 中的左斜下方向）移动（参照图 3 的 (b)）。

[0114] 上下一对的辊 17a、17b 移动至如图 3 的 (c) 所示的位置（或 图 1 中的实线所示的位置），加工完成。

[0115] 如上所述地构成剪切力施加装置 14。

[0116] 第二支承装置 15

[0117] 第二支承装置 15 配置在方管 16 的进给方向上的比剪切力施加装置 14 的设置位置靠下游的区域 E，用于对方管 16 的被加热了部分施加剪切变形。

[0118] 随着利用图 1 ～图 3 所示的制造装置 10 制造弯曲构件 21，仅由一对辊 17a、17b 使方管 16 的被加热了的部分产生的变形主要是弯曲变形。因此，通过对另外一点进行约束，能够如图 1 ～图 3 所示对方管 16 施加剪切变形。

[0119] 同时，随着变形，方管 16 的脱离了辊 17a、17b 的部分的重量增加，因而，方管 16 的脱离了辊 17a、17b 的部分有可能利用其自重以由辊 17a、17b 进行定位的部分为支点发生变形。第二支承装置 15 设置在方管 16 的进给方向上的比剪切力施加装置 14 的设置位置靠下游的区域 E。第二支承装置 15 用于对方管 16 的利用剪切力施加装置 14 完成了弯曲加工的部分进行支承。由此，第二支承装置 15 用于防止方管 16 的变形，而制造具有高尺寸精度的弯曲构件 21。

[0120] 方管 16 的长度方向的一部分的一个横截面被加热装置 12 加热而变形阻力大幅下降。因此，在方管 16 的进给方向的比第三位置 C 靠下游的区域 D，通过如参照图 3 的 (a) ～图 3 的 (c) 说明的那样使构成剪切力施加装置 14 的上下一对的辊 17a、17b 的位置三维地

移动，如图 3 的 (b) 和图 3 的 (c) 所示，能够对方管 16 的、由加热装置 12 加热了的第一部分与由冷却装置 13 冷却了的第二部分之间的区域施加剪切力 Ws。

[0121] 方管 16 利用该剪切力 Ws 形成弯曲部 22a 而被加工。在本发明中，不是像专利文献 1 公开的发明那样对方管 16 的被加热了的 部分施加弯曲力矩，而是施加剪切力。因此，如图 3 的 (c) 中的放大图所示那样，能够制造弯曲半径 r 例如是壁厚的 1 倍～ 5 倍这样的、具有极小弯曲半径 r 的弯曲部 22a 的弯曲构件 21。

[0122] 在本发明中，以对方管 16 的第一部分与第二部分之间的区域施加剪切力 Ws 的方式来对方管 16 进行加工。因此，完全不会发生由于在该弯曲部 22a 的内周侧发生的褶皱、截面形状的变形而引起的尺寸精度的降低，具有图 1 中的阴影示出的四个部位 16a、16b、16c 和 16d 的截面形状相同这样的极为优异的尺寸精度。

[0123] 在本发明中，将方管 16 弯曲加工成弯曲构件 21 是无模加工且不对方管 16 的内部施加压力，因而能够以低成本可靠地实施。

[0124] 剪切力施加装置 14 只要借助于能将上下一对的辊 17a、17b 如上所述那样以二维或三维地自由移动的方式配置的机构设置即可。并不必对那样的机构进行特别的限定。例如，也可以利用公知的安装在工业用机器人上的末端执行器来对辊 17a、17b 的支承框进行保持。

[0125] 在图 1 ～图 3 所示的例子中，将卡盘 18 插入配置在方管 16 的利用剪切力施加装置 14 加工完的部分的前端的内部。并且，利用垂直型多关节工业用机器人 20 来构成第二支承装置 15。垂直型多关节工业用机器人 20 将从上述前端向外突出的用于保持卡盘 18 的末端执行器 19 安装于其腕轴上。

[0126] 第二支承装置 15 只要是能够防止方管 16 的利用剪切力施加装置 14 加工完的部分的变形的装置即可，不限于特定的装置。

[0127] 如上所述地构成本发明的制造装置 10。下面，说明利用该制造装置 10 制造本发明的弯曲构件 21 的情况。

[0128] 在图 1 ～图 3 中，首先，利用未图示的进给装置将钢制的例如长条的中空方管 16 沿其长度方向相对进给，并利用配置在第一位置 A 的第一支承装置 11 支承该方管 16。

[0129] 接着，利用加热装置 12 对被进给来的方管 16 的局部进行迅速加热。方管 16 的加热温度期望为构成方管 16 的钢的 Ac_3 点以上。通过使方管 16 的加热温度为 Ac_3 点以上，能够通过适当设定后续进行的冷却时的冷却速度来对弯曲构件 21 的弯曲部 22a 进行淬火，并且能够将方管 16 的第一部分与第二部分之间的变形阻力充分地降低至能够进行具有较小的弯曲半径的加工的程度。

[0130] 从配置在方管 16 的进给方向上的比第二位置 B 靠下游的第三位置 C 的冷却装置 13 的冷却水喷嘴 13a 朝向方管 16 喷射冷却水。由此，将被加热的部分在第三位置 C 处冷却。虽然根据方管 16 的钢种的不同会有所变化，但通过使该冷却时的冷却速度为 100℃ / 秒以上，能够对弯曲部 22a 进行淬火以提高其强度。

[0131] 利用该冷却，在方管 16 上形成由加热装置 12 加热了的第一部分和由冷却装置 13 冷却了的第二部分。方管 16 的第一部分与第二部分之间处于高温状态，其变形阻力大幅降低。

[0132] 在方管 16 的加工预定部的前端部到达剪切力施加装置 14 的一对辊 17a、17b 时，

使利用未图示的支承框以自由旋转的方式支承的上下一对的辊 17a、17b 和第二支承装置 15 以辊 17a、17b 的原位置为起点，如参照图 1 ～图 3 说明的那样向方管 16 的进给方向（图 3 的 (a) ～图 3 的 (c) 中的左方向）和与方管 16 的由加热装置 12 加热了的长度方向上的一个横截面大致平行的方向（图 3 的 (a) ～图 3 的 (c) 中的下方向）这两个方向的合成方向（图 3 的 (a) ～图 3 的 (c) 中的左斜下方向）移动。

[0133] 方管 16 的利用剪切力施加装置 14 加工完的部分被配置在方管 16 的进给方向上的比剪切力施加装置 14 的设置位置靠下游的区域 E 的第二支承装置 15 支承。因此，方管 16 不会发生变形，能制造成具有希望的形状和尺寸精度的弯曲构件 21。

[0134] 由此，对方管 16 的第一部分和第二部分之间施加剪切力，而对方管 16 进行加工。

[0135] 在该例中，在加工时，总是利用第二支承装置 15 对方管 16 的利用剪切力施加装置 14 加工完的部分进行支承。因此，能够在方管 16 的一个弯曲部 22a 的加工完成的时刻，暂时扩开一对辊 17a、17b 的辊隙，使辊 17a、17b 返回到上述原位置，准备对方管 16 的下一个弯曲部的加工。

[0136] 另外，在利用一对辊 17a、17b 进行加工时、使一对辊 17a、17b 向该原位置返回时等这样的未利用一对辊 17a、17b 进行弯曲加工时，也可以使第二支承装置 15 二维或三维地移动，从而对方管 16 的第一部分与第二部分之间施加弯曲力矩，而在方管 16 上形成具有较大弯曲半径的弯曲部。

[0137] 由此，如图 1 中的双点划线所示，采用本发明能够制造钢制的中空、长条、具有闭合截面形状且沿长度方向一体地构成的弯曲构件 21，该弯曲构件 21 具有主体 21a 和形成在该主体 21a 上的二维或三维地弯曲的弯曲部 22a、22b，该弯曲部 22a、22b 的弯曲半径 r 极小，例如是壁厚的 1 倍～ 5 倍。

[0138] 该弯曲构件 21 完全不会发生由于在该弯曲部 22a、22b 的内周侧发生的褶皱、长度方向的任意的位置上的截面形状的变形而引起的尺寸精度的降低，具有极高的尺寸精度。

[0139] 弯曲构件 21 由于具有中空的扁平闭合截面形状，因此，形成为轻量且小型，并且，通过如上所述地适当调整由冷却装置 13 进行的水冷的开始温度和冷却速度来将抗拉强度大幅提高至例如 1500MPa 以上，还能够进一步谋求小型化、轻量化和高强度化。

[0140] 另外，通过如上所述地适当调整由冷却装置 13 进行的水冷 的开始温度和冷却速度来进行淬火，在该弯曲构件 21 的外表面产生压缩残余应力，因此也提高了疲劳强度。

[0141] 图 4 是示意性表示本发明的制造装置的另一结构例 10-1 的说明图。

[0142] 制造装置 10-1 与上述制造装置 10 的不同点在于，将构成加热装置 12 的感应加热线圈 12a 相对于方管 16 倾斜配置，与此相伴，将冷却装置 13 的冷却水喷嘴 13a 和剪切力施加装置 14 的辊 17a、17b 也相对于方管 16 倾斜设置。

[0143] 如图 4 所示，通过将感应加热线圈 12a、冷却水喷嘴 13a 和辊 17a、17b 相对于方管 16 倾斜设置，能够防止方管 16 的壁厚变薄。即，在图 4 中，若将加工前的方管 16 的壁厚设成 t，则在以通常的加热线圈的设定进行加工时，壁厚变成 $t \cdot \cos\theta$，但是通过使感应加热线圈 12a 倾斜，能够使加工后的壁厚仍为 t，从而能够防止加工后的壁厚变薄。

[0144] 图 5 是示意性表示本发明的制造装置的又一结构例 10-2 的说明图。

[0145] 该制造装置 10-2 与上述制造装置 10 的不同点在于，不使用一对辊 17a、17b，而是使用对方管 16 进行把持或抓持的一对夹持装置 17c、17d。

[0146] 在该情况下，夹持装置 17c、17d 持续对该方管 16 进行把持或抓持，直到针对该方管 16 的加工完成时为止。因此，不必设置在制造装置 10 中使用的第二支承装置 15。例如，举例说明了夹持装置 17c、17d 被垂直型多关节工业用机器人保持。

[0147] 在以上说明中，将以下技术方案作为了例子，即，将作为加工坯料的方管 16 沿其长度方向进给，并将第一支承装置 11、加热装置 12 和冷却装置 13 固定地配置在方管 16 的进给方向上，但并不限于此，也可以与此相反，固定地配置作为加工坯料的 方管 16，并将第一支承装置 11、加热装置 12 和冷却装置 13 以相对于方管 16 的长度方向自由移动的方式配置。

[0148] 图 6 的 (a) 及图 6 的 (b) 是示意性且随时间变化表示本发明的制造装置的再一结构例 10-3 的说明图，图 6 的 (a) 表示加工前，图 6 的 (b) 表示加工中。

[0149] 在该制造装置 10-3 中，第一支承装置 11 具有两组一对辊 23a、23b。利用未图示的支承框以自由旋转的方式支承一对辊 23a、23b。利用以二维或三维地自由移动的方式保持支承框的工业用机器人（同样没有图示）来保持支承框。由此，两组一对辊 23a、23b 都配置为能向包括方管 16 的轴向在内的三维方向自由移动。

[0150] 另外，利用工业用机器人 24 支承加热装置 12 的感应加热线圈 12a 和冷却装置 13 的冷却水喷嘴 13a。感应加热线圈 12a 配置为位于坯料 16 的相对于一对辊 23a、23b 的进给方向（从图 6 的 (a)、图 6 的 (b) 的左朝向右的方向）上的冷却水喷嘴 13a 的上游侧。由此，感应加热线圈 12a 和冷却水喷嘴 13a 配置为能向包括方管 16 的轴向在内的三维方向自由移动。

[0151] 剪切力施加装置 14 在夹持并支承方管 16 的状态下移动。剪切力施加装置 14 利用由工业用机器人（未图示）支承的液压夹具构成。由此，剪切力施加装置 14 配置为能向包括方管 16 的轴向在内的三维方向移动。

[0152] 另外，方管 16 沿其轴向固定配置。另外，也可以与本例不同，方管 16 也以沿其轴向自由移动的方式配置。

[0153] 如此，制造装置 10-3 具有 ：第一支承装置 11，其用于沿作为坯料的方管 16 的长度方向相对进给方管 16 并支承该方管 16 ；加热装置 12，其用于加热方管 16 ；冷却装置 13，其用于对位于比由加热装置 12 加热了的第一部分靠方管 16 的相对进给方向 的下游侧的第二部分进行冷却 ；剪切力施加装置 14，其通过向二维方向或三维方向的移动来对第一部分与所述第二部分之间施加剪切力。

[0154] 采用该制造装置 10-3，通过使第一支承装置 11、加热装置 12、冷却装置 13 和剪切力施加装置 14 沿方管 16 的轴向移动并固定方管 16，从而将方管 16 相对于支承方管 16 的第一支承装置 11 沿方管 16 的长度方向进给。而且，利用加热装置 12 对坯料进行加热，并利用冷却装置 13 对位于比由加热装置 12 加热了的第一部分靠方管 16 的相对进给方向的下游侧的第二部分进行冷却，并且，通过使向二维方向或三维方向移动来对第一部分与第二部分之间施加剪切力的剪切力施加装置 14 向二维方向或三维方向移动来对方管 16 进行加工。

[0155] 由此，通过固定地配置方管 16 并将第一支承装置 11、加热装置 12 和冷却装置 13 以相对于方管 16 的长度方向自由移动的方式配置，也能制造弯曲构件 21。

[0156] 另外，参照图 1 说明的本发明的弯曲构件 21 的制造工序极为简便，且能够以低成

本制造。

[0157] 另外，在上述说明中，举出了仅对方管 16 施加剪切力产生的变形的情况，但是本发明不限于该技术方案。即，通过在以往的弯曲变形的基础上附加基于剪切力产生的变形，能够获得比以往小的弯曲变形，因而包括基于剪切力产生的变形成分在内的加工是本发明的对象。

[0158] 由于弯曲构件 21 是通过在利用剪切力进行加工的同时进行热处理（例如淬火）制造而成，因而，与非专利文献 3 公开的、用冷加工来实施剪切弯曲加工并在之后进行热处理（例如淬火）制造成的弯曲构件相比，能够利用局部淬火以高加工精度来制造具有 1500MPa 以上的高强度的部分的弯曲构件。

[0159] 利用本发明的制造方法制造成的弯曲构件 21 例如能够应用在如下举例说明的用途 (i) ～用途 (vii) 中。

[0160] (i) 例如，前纵梁 (front side member)、横梁 (cross member)、侧梁 (side member)、悬架梁 (suspension member)、顶梁 (roof member)、A 柱的加强构件 (reinforce)、B 柱的加强构件、保险杠的加强构件等这样的汽车车体的结构构件

[0161] (ii) 例如，座椅骨架 (sheet frame)、座椅横梁 (sheet cross member) 等这样的汽车的强度构件、加强构件

[0162] (iii) 汽车的排气管等排气系统部件

[0163] (iv) 汽车、机动二轮车的框架、曲柄

[0164] (v) 电车等车辆的加强构件、转向架部件（转向架框、各种梁等）

[0165] (vi) 船体等的框架部件、加强构件

[0166] (vii) 家用电器的强度构件、加强构件或结构构件

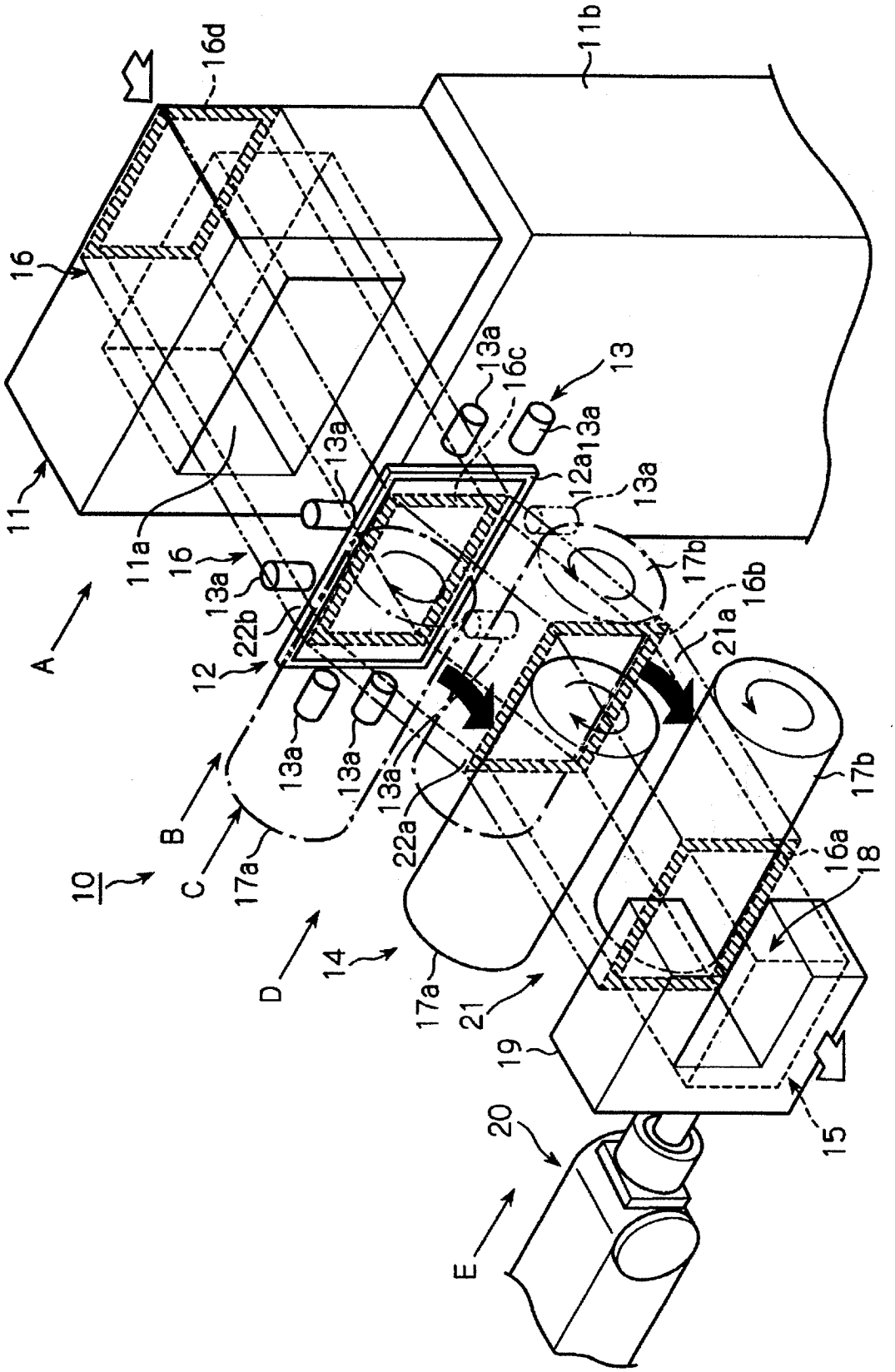

16d
11b
16
13a
16c
13
13a
12a
13a
11
11a
16
13a
22b
12
17b
16b
21a
A
B
C
10
17a
13a
13a
13a
22a
17b
16a
18
D
14
17a
21
19
20
15
E

图 1

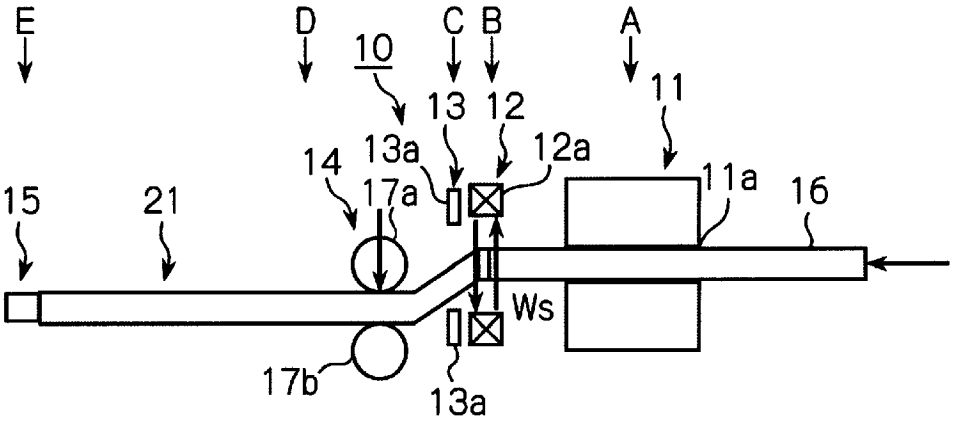


图 2

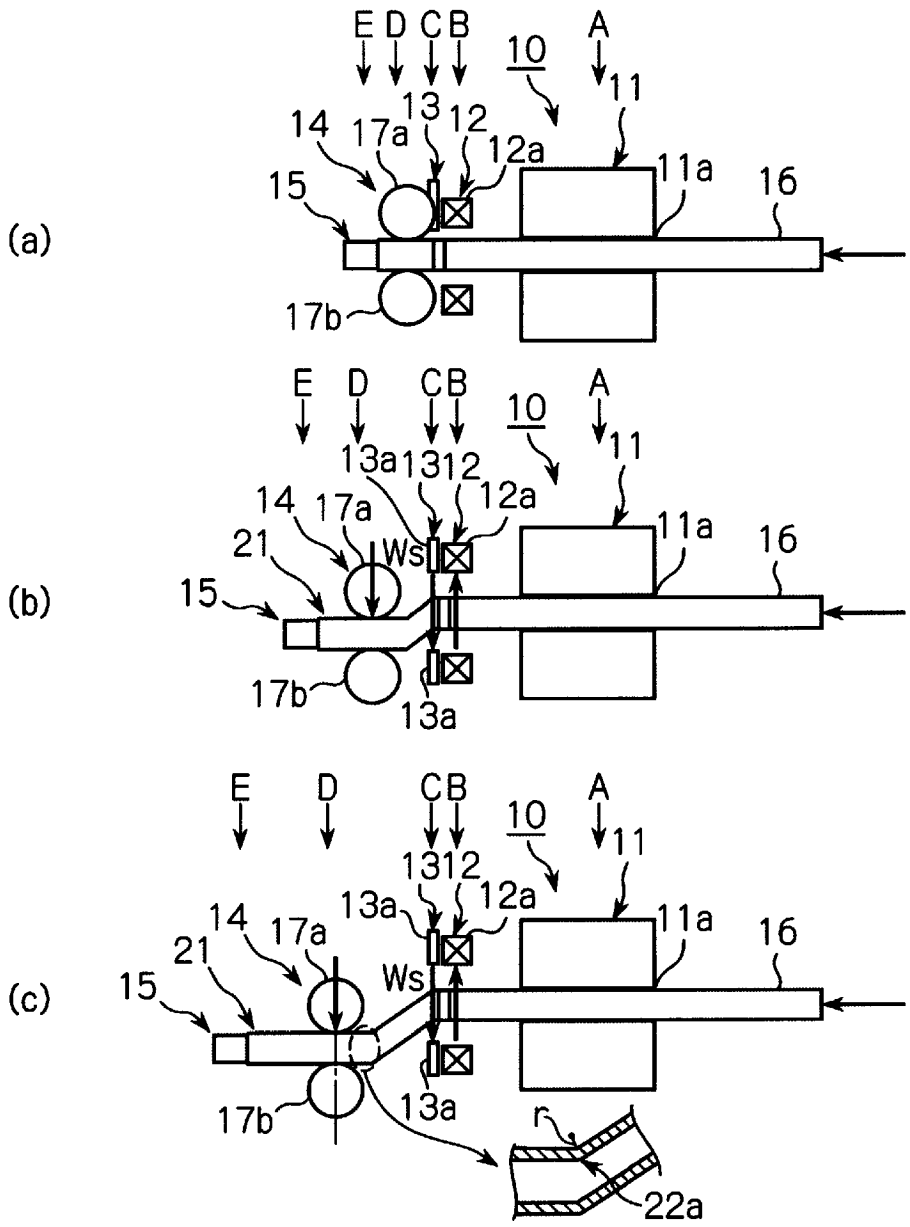

(a)
E D C B
A
10
11
13
14
17a
12
12a
11a
16
15
17b
(b)
E D CB
A
10
11
13a
13
12
14
17a
12a
11a
16
21
Ws
15
17b
13a
(c)
E D CB
A
10
11
13
12
13a
12a
11a
16
14
17a
21
Ws
15
17b
13a
r
22a

图 3

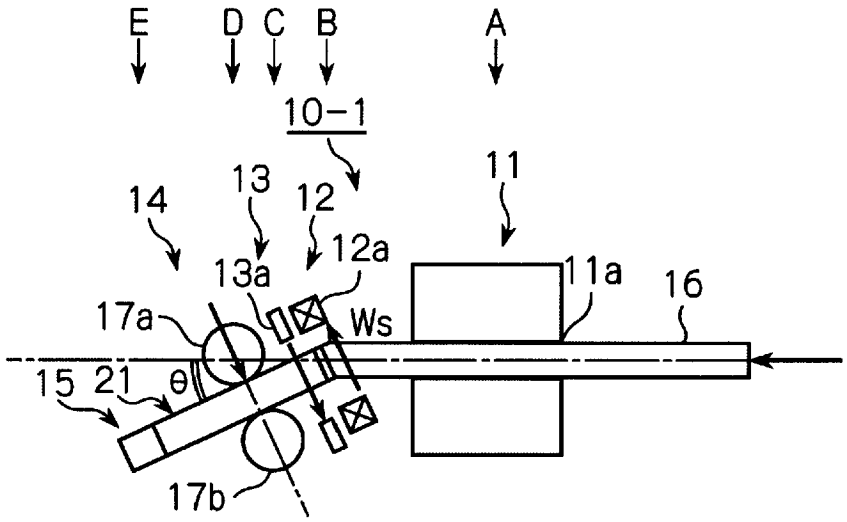

E
D
C
B
A
10-1
11
14
13
12
12a
13a
11a
16
17a
Ws
15
21
θ
17b

图 4

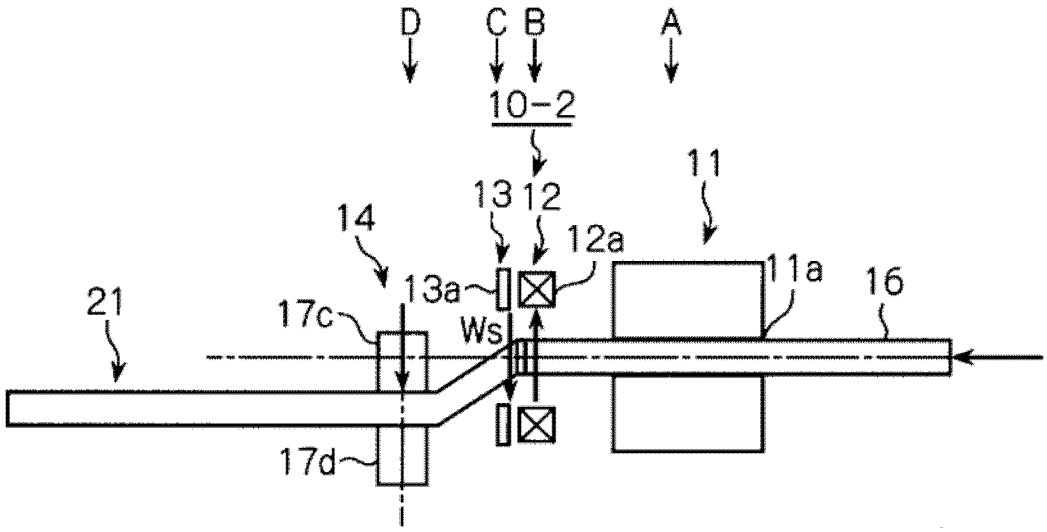

D
C
B
A
10-2
11
13
12
14
12a
11a
16
13a
21
17c
Ws
17d

图 5

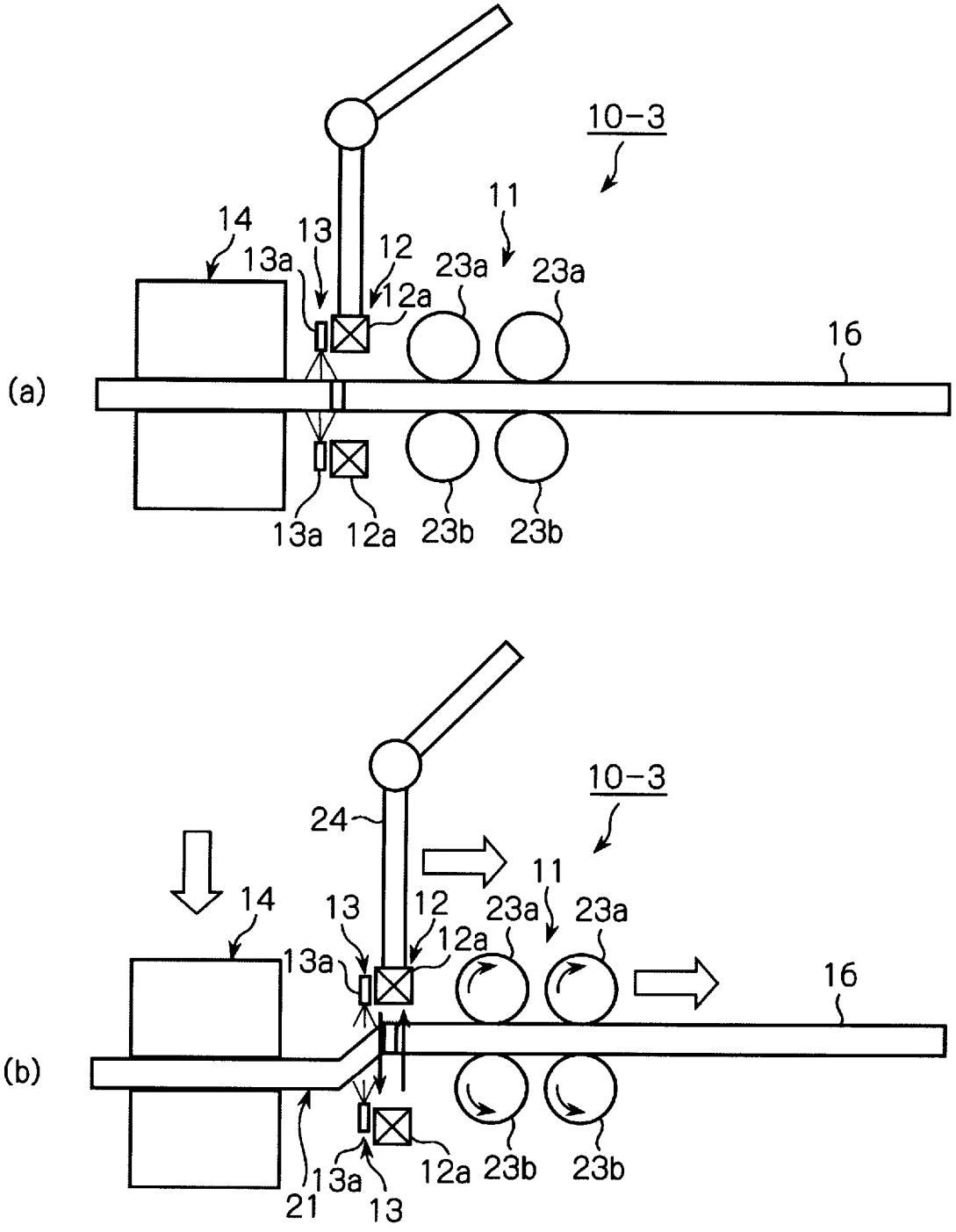

(a)
10-3
11
14
13
12
13a
12a
23a
23a
16
13a
12a
23b
23b
(b)
10-3
24
11
14
13
12
23a
23a
13a
12a
16
21
13a
13
12a
23b
23b

图 6

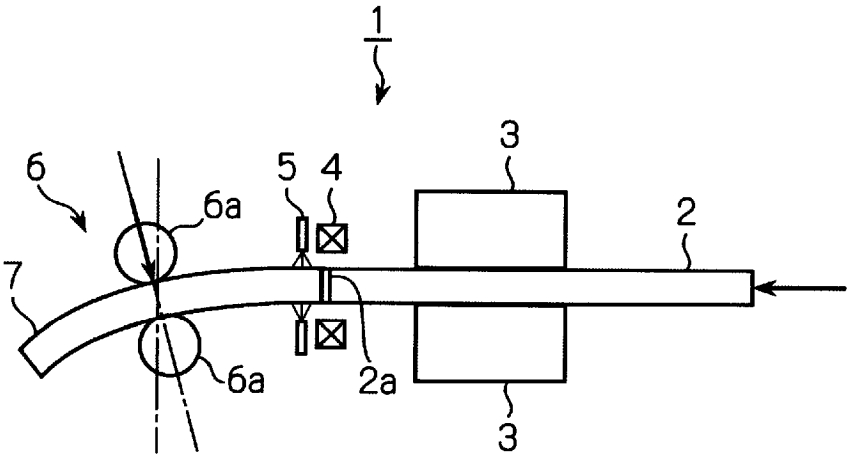

1
3
6
5
4
2
6a
7
6a
2a
3

图 7

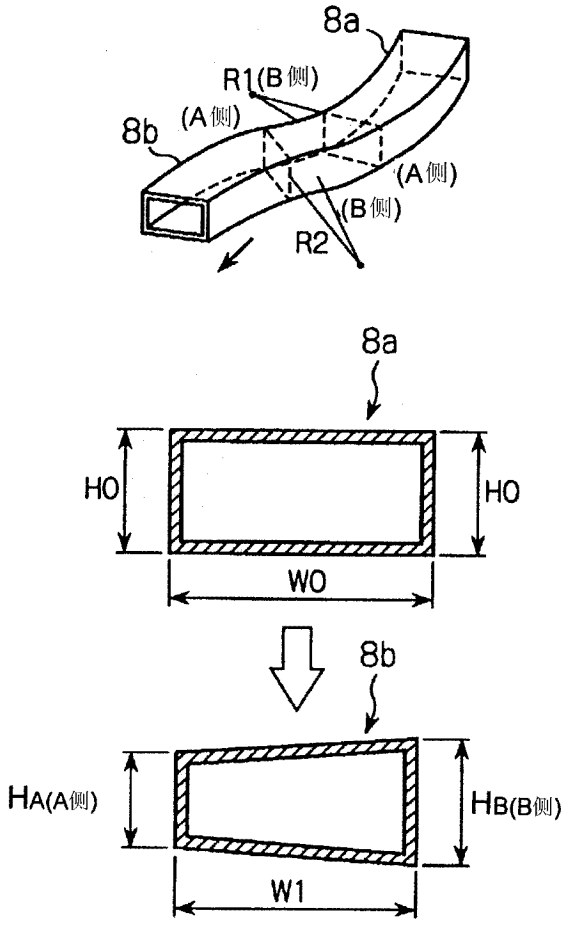

8a
R1(B侧)
(A侧)
8b
(A侧)
(B侧)
R2
8a
H0
H0
W0
8b
HA(A侧)
HB(B侧)
W1

图 8