



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 109909338 B

(45) 授权公告日 2020.10.30

(21) 申请号 201910143456.6

审查员 易明军

(22) 申请日 2019.02.26

(65) 同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 109909338 A

(43) 申请公布日 2019.06.21

(73) 专利权人 西北工业大学

地址 710072 陕西省西安市友谊西路127号

(72) 发明人 詹梅 高鹏飞 李昱坤 吕伟

(74) 专利代理机构 北京思海天达知识产权代理

有限公司 11203

代理人 沈波

(51) Int. Cl.

B21D 7/08 (2006.01)

B21D 31/00 (2006.01)

B21D 35/00 (2006.01)

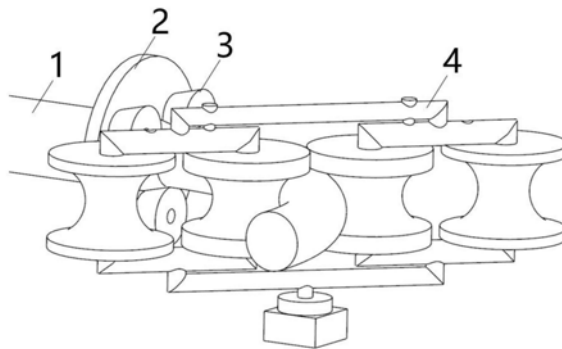
权利要求书2页 说明书5页 附图4页

(54) 发明名称

一种用于管材旋压弯曲渐进成形工艺的弯曲机构

(57) 摘要

本发明公开了一种用于管材旋压弯曲渐进成形工艺的弯曲机构,弯曲机构包括支座、支撑框、弯曲辊架、弯曲辊和插销,其中所述弯曲辊的型面半径与所加工管材半径一致,不同型面半径的弯曲辊位于弯曲辊架上,弯曲辊架位于支撑框两侧,所述支撑框位于支座上方,插销用于固定弯曲辊架位置。本发明针对管材旋压弯曲渐进成形工艺提出一种既能在成形过程中匹配变管径管材,又能保证弯曲机构作用面与管材弯曲轴线垂直的弯曲机构,消除了现有弯曲机构对管材横向剪切力作用引起的截面畸变,能够有效提高弯曲成形质量和稳定性。



1. 一种用于管材旋压弯曲渐进成形工艺的弯曲机构,其特征在于:该弯曲机构包括支座、支撑框、弯曲辊架、弯曲辊和插销;所述支撑框包括支撑框上部、支撑框下部、支撑框支杆;所述支撑框的所有支撑框支杆的截面均为圆形;支撑框上部设有与插销相配合的销孔;所述支撑框位于支座上,支撑框通过支撑框支杆与支座相连接;

所述支座能够在水平面内进行平动,支座的中心处有垂直于支座底面的圆柱孔,支撑框下端的支撑框支杆插入支座的圆柱孔内,支撑框支杆与支座的圆柱孔为间隙配合,所述支撑框能够绕支撑框支杆的轴线转动;

所述弯曲辊架有两个分别为弯曲辊架I和弯曲辊架II,弯曲辊架I和弯曲辊架II均由弯曲辊架上部和弯曲辊架下部的轴孔间隙配合组成,以便装配所需的弯曲辊,所组成两个弯曲辊架完全一致;弯曲辊架I和弯曲辊架II均位于支撑框内,弯曲辊架I和弯曲辊架II均通过轴孔间隙配合与支撑框上部及支撑框下部连接;所述弯曲辊架能够绕其与支撑框配合的轴线转动以更换不同型面半径的弯曲辊;所述弯曲辊架在弯曲成形过程中弯曲辊架不能转动;所述弯曲辊架上设有与插销配合的销孔;每个所述弯曲辊架上均装有不同型面圆弧半径的弯曲辊,在弯曲成形前根据管材的半径选取相应型面圆弧半径的弯曲辊。

2. 根据权利要求1所述的一种用于管材旋压弯曲渐进成形工艺的弯曲机构,其特征在于:所述弯曲辊为型面为圆弧状的回转体,且每一处型面圆弧半径与弯曲的管材半径相同;所述弯曲辊中心设有与弯曲辊架间隙配合的轴向通孔,在成形管材摩擦力作用下能够绕自身轴线转动。

3. 根据权利要求1所述的一种用于管材旋压弯曲渐进成形工艺的弯曲机构,其特征在于:所述插销在弯曲成形前插入相应的弯曲辊架和支撑框上的销孔,保证弯曲成形过程中弯曲辊架与支撑框的相对位置不变。

4. 根据权利要求1所述的一种用于管材旋压弯曲渐进成形工艺的弯曲机构,其特征在于:弯曲辊包括弯曲辊I、弯曲辊II、弯曲辊III、弯曲辊IV,所述弯曲辊I与弯曲辊III为完全一致的一对,弯曲辊II和弯曲辊IV为完全一致的一对,两对弯曲辊区别为型面半径不一样。

5. 根据权利要求1所述的一种用于管材旋压弯曲渐进成形工艺的弯曲机构,其特征在于:弯曲机构在初始时刻位于未成形管材的正前方,管材通过两个弯曲辊形成的中空处时,支座在电机驱动下平动,支撑框在弯曲辊与管材的接触形成的附加力矩作用下产生一定的偏转,弯曲辊在其与管材的摩擦力的作用下绕自身轴线转动,三者共同作用下管材发生弯曲。

6. 利用权利要求1所述弯曲机构进行的管材旋压弯曲渐进成形工艺,其特征在于:弯曲机构成形步骤包括如下步骤,

步骤一:管材沿着未成形管材轴向进给,经过旋压工步,管材进行缩径;

步骤二:管材沿未成形管材轴向保持进给,经过旋压的管材进给到弯曲机构处;此时,支座在水平平面内进行平动,驱动支撑框绕支撑框支杆轴线随动转动,弯曲辊在与管材接触产生的摩擦力作用下绕自身轴线随动转动,管材在由于弯曲机构的偏距而产生的力矩的作用下产生弯曲变形;

步骤三:弯曲机构向原始位置回退,管材沿着未成形管材轴向保持进给,回退至原始位置时弯曲过程结束;旋压工步中随旋轮径向位置的移动改变了管材缩径量,两个弯曲辊架绕支撑框与弯曲辊架配合处的轴线转动,调换与管材半径匹配的型面圆弧半径的弯曲辊,

并用插销固定转动后的弯曲辊架位置;改变管径的管材进给到弯曲机构处时,弯曲机构开始平动,形成弯曲段;最终,在不同管径处成形不同弯曲半径的弯曲段。

## 一种用于管材旋压弯曲渐进成形工艺的弯曲机构

### 技术领域

[0001] 本发明涉及金属弯曲构件先进制造工艺领域,具体涉及到一种管材旋压弯曲渐进成形工艺的新型弯曲机构。

### 背景技术

[0002] 随着航空、航天、汽车、石化以及核能等领域的发展,对其管路系统的轻量化、功能多样化与可靠性提出了更高的要求。对于承力弯曲管件,根据承载需要对管材的直径与壁厚进行优化布局设计成为满足轻量化要求的重要途径。此外,传输管路系统,尤其是要求控制流量变化的管路系统,对变直径整体弯曲管件同样具有重要需求。因此,迫切需要研究发展具有变管径、变壁厚、多弯曲半径特征的复杂弯曲管件的先进成形技术。而现有管材弯曲成形工艺中,无论是精度高但弯曲曲率固定的模弯成形技术,或是适应多曲率、少直线段管材成形的柔性弯曲技术,都无法满足上述具有变管径、变壁厚、多弯曲半径特征的复杂弯曲管件的整体快速成形。

[0003] 针对上述复杂弯曲管件成形难题,德国多特蒙德工业大学Hermes等提出了一种将旋压与弯曲复合的成形工艺,并命名为管材旋压弯曲渐进成形工艺(Becker C.,Hermes M.,Tekkaya A.E.,Incremental Tube Forming[M],60Excellent Inventions in Metal Forming,Springer Berlin Heidelberg,2015;Hermes M.,Kurze B.,Tekkaya E.A.,METHOD AND DEVICE FOR FORMING ABAR STOCK,BAR STOCK:EP 2011)。该复合成形工艺中旋压工步可以实现管材的变直径与变壁厚,弯曲工步采用柔性弯曲形式,可以实现管材的多曲率、多空间维度的弯曲成形。二者结合为实现具有变管径、变壁厚、多弯曲半径特征的复杂弯曲管件的整体快速成形提供了有效途径。

[0004] 弯曲机构是该复合成形工艺中弯曲工步的关键机构,对管件的弯曲成形质量起着决定性作用。目前,Tekkaya等提出了两种用于上述管材旋压弯曲渐进成形工艺的弯曲机构形式。第一种为公开号为W02009043500A1的国际专利中报道的圆环形式弯曲机构,该弯曲机构的模具形式简单,运动易于控制,但存在以下问题:(1)无法适用于变管径管材的弯曲成形;(2)弯曲半径较小时,管材弯曲拱背处易出现扁平,导致截面畸变;(3)弯曲机构与管材的接触为滑动摩擦,容易划伤管材表面。此后,Tekkaya等又提出了一种单弯曲辊形式的弯曲机构(Becker C,Isik K,Numerical Investigation of the Incremental Tube Forming Process[J],Key Engineering Materials,2013,554-557:7)。该弯曲辊有V形与圆弧形两种型面形式,其中V形型面弯曲辊能够匹配变管径的管材弯曲成形,但与管材为点接触,易于产生较大截面畸变;圆弧形型面弯曲辊与管材为线接触,有效抑制了截面畸变,但无法匹配变管径的管材弯曲成形。此外,采用单弯曲辊机构成形时,无法实时保证弯曲机构作用面与管材弯曲轴线垂直,管材弯段截面会受到附加的横向剪切力作用,导致弯曲段横截面畸变程度增加,截面质量难以保证。综上,现有的两种弯曲机构均无法实现具有变管径、变壁厚、多弯曲半径特征的复杂弯曲管件的整体高质量成形。

[0005] 因此,本发明提出一种适用于管材旋压弯曲渐进成形的新型弯曲机构,其可以有

效解决现有弯曲机构存在的无法适用于变管径管材弯曲、无法保证弯曲机构作用面与管材弯曲轴线实时垂直而导致的截面畸变、弯曲机构与管材间滑动摩擦而导致的表面划伤等问题,实现具有变管径、变壁厚、多弯曲半径特征的复杂弯曲管件的整体高质量成形。

## 发明内容

[0006] 针对目前弯曲机构在变管径管材弯曲成形中存在的问题,本发明提出一种用于管材旋压弯曲渐进成形工艺的新型弯曲机构。该新型弯曲机构通过配备不同型面半径的弯曲辊以适应管材的管径变化、通过支座平动带动弯曲框转动以保证弯曲机构作用面垂直于管材的弯曲轴线,通过弯曲辊与管材之间的滚动摩擦以提高管材弯曲成形段的表面质量。

[0007] 管材旋压弯曲渐进成形工艺的实施过程如下:先进行旋压工步,后进行弯曲工步;管材1的轴线、旋轮底盘2的轴线、弯曲机构4的中空处轴线位于同一轴线上;三个旋轮3沿管材1的周向均匀分布,旋轮3在旋轮底盘2上运动,能够同时实现绕管材公转与沿着管材1的径向方向进给共计两个运动;弯曲机构4位于旋压工步的正前方,经过旋压的管材1能够通过弯曲机构4,以进行弯曲。

[0008] 为实现上述目的,本发明所采用的技术方案如下:一种用于管材旋压弯曲渐进成形工艺的弯曲机构,该弯曲机构4包括支座12、支撑框、弯曲辊架、弯曲辊和插销;所述支撑框包括支撑框上部5、支撑框下部10、支撑框支杆11;所述支撑框的所有支撑框支杆11的截面均为圆形;支撑框上部5设有与插销相配合的销孔;所述支撑框位于支座12上,支撑框通过支撑框支杆11与支座12相连接。

[0009] 所述支座12能够在水平面内进行平动,支座12的中心处有垂直于支座12底面的圆柱孔,支撑框下端的支撑杆插入支座12的圆柱孔内,支撑框支杆11与支座12的圆柱孔为间隙配合,所述支撑框能够绕支撑框支杆11的轴线转动。

[0010] 所述弯曲辊架有两个分别为弯曲辊架I和弯曲辊架II,弯曲辊架I和弯曲辊架II均由弯曲辊架上部与弯曲辊架下部的轴孔间隙配合组成,以便装配所需的弯曲辊,所组成两个弯曲辊架完全一致;弯曲辊架I和弯曲辊架II均位于支撑框内,弯曲辊架I和弯曲辊架II均通过轴孔间隙配合与支撑框上部5及支撑框下部10连接;所述弯曲辊架能够绕其与支撑框配合的轴线转动以更换不同型面半径的弯曲辊;所述弯曲辊架在弯曲成形过程中弯曲辊架不能转动;所述弯曲辊架上设有与插销配合的销孔;所述弯曲辊架上装有不同弯曲半径的弯曲辊,在弯曲成形前根据管材1的半径选取相应半径的弯曲辊。

[0011] 所述弯曲辊为型面为圆弧状的回转体,且每一处型面圆弧半径与弯曲的管材1半径相同;所述弯曲辊中心设有与弯曲辊架间隙配合的轴向通孔,在成形管材摩擦力作用下能够绕自身轴线转动。

[0012] 所述插销在弯曲成形前插入相应的弯曲辊架和支撑框上的销孔,保证弯曲成形过程中弯曲辊架与支撑框的相对位置不变。

[0013] 弯曲辊包括弯曲辊I15、弯曲辊II16、弯曲辊III17、弯曲辊IV18,所述弯曲辊I15与弯曲辊III17完全一致的一对,弯曲辊II16和弯曲辊IV18完全一致的一对,两对弯曲辊区别为型面半径不一样。

[0014] 弯曲机构4在初始时刻位于未成形管材1的正前方,管材1通过两个弯曲辊形成的中空处时,支座12在电机驱动下平动,支撑框在弯曲辊与管材1的接触形成的附加力矩作用

下产生一定的偏转,弯曲辊在其与管材的摩擦力的作用下绕自身轴线转动,三者共同作用下管材发生弯曲。

[0015] 本发明具有以下有益效果:

[0016] 本发明提出的用于管材旋压弯曲渐进成形工艺的新型弯曲机构具有管材成形稳定性高、成形质量好、适用范围广等优点,具体为:(1)将现有单弯曲辊机构改进为双弯曲辊机构,增加了对管材的约束稳定性,同时设计了双弯曲辊的支撑框结构,其具有绕自身中心轴线的转动自由度,使得双弯曲辊机构作用面可以随管材弯曲状态的变化而随动变化,从而保证了弯曲成形过程中弯曲机构作用面与管材弯曲轴线的实时垂直,有效提高了管材弯曲成形稳定性与截面质量;(2)本发明中弯曲机构能够快速更换匹配不同管径的弯曲辊,适用于变管径管材弯曲,且保证管材与弯曲辊型面为线接触形式,有效解决了现有弯曲机构对变管径管材弯曲成形适用性差的问题,同时有利于抑制截面畸变;(3)新型弯曲机构中管材与弯曲模之间为滚动摩擦,有利于提高管材表面质量并增强弯曲稳定性。实施例1对比了本发明中新型弯曲机构与现有弯曲机构的成形结果(图7、图8),发现新型弯曲机构可以灵活适用于变管径管材弯曲成形,同时可以有效提高管材弯曲成形截面质量,将单弯曲辊成形时的截面畸变率14%降低至2%。

## 附图说明

[0017] 此处所说明的附图用来提供对本发明的进一步理解,构成本申请的一部分,本发明的示意性实例及其说明用于解释本发明,并不构成对本发明的不当限定;

[0018] 图1为本发明管材旋压弯曲渐进成形示意图;

[0019] 图2为本发明管材旋压弯曲渐进成形初始布置正三轴测图;

[0020] 图3为本发明管材旋压弯曲渐进成形弯曲机构爆炸图;

[0021] 图4为本发明管材旋压弯曲渐进成形过程示意图;其中图4(a)为初始时刻示意图,图4(b)为开始弯曲小管径管材时的示意图,图4(c)为利用本发明机构弯曲小管径管材时的示意图,图4(d)为弯曲小管径管材结束时刻示意图,图4(e)为开始弯曲大管径管材时的示意图,图4(f)为利用本发明机构弯曲大管径管材时的示意图;

[0022] 图5为有限元模型图,其中图5(a)为本发明弯曲机构的有限元模型图,图5(b)为V形型面的单辊机构的有限元模型图,图5(c)为圆弧形型面的单辊机构的有限元模型图;

[0023] 图6为管材的模拟成形结果图,其中图6(a)为本发明的新型弯曲机构的成形结果图,图6(b)为V形型面的单辊机构的成形结果图,图6(c)为圆弧形型面的单辊机构的成形结果图;

[0024] 图7管径为50mm时的弯曲段管材截面图,其中图7(a)为本发明的新型弯曲机构模拟结果的A-A截面图,图7(b)为V形型面的单辊机构模拟结果的A-A截面图,图7(c)为圆弧形型面的单辊机构模拟结果的A-A截面图;

[0025] 图8管径为60mm时的弯曲段管材截面图,其中图8(a)为本发明的新型弯曲机构模拟结果的B-B截面图,图8(b)为V形型面的单辊机构模拟结果的B-B截面图,图8(c)为圆弧形型面的单辊机构模拟结果的B-B截面图;

[0026] 图中:1.管材;2.旋轮底盘;3.旋轮;4.弯曲机构;5.支撑框上部;6.插销I;7.插销II;8.弯曲辊架II上部;9.弯曲辊架II下部;10.支撑框下部;11.支撑框支杆;12.支座;13.

弯曲辊架I下部;14.弯曲辊架I上部;15.弯曲辊I;16.弯曲辊II;17.弯曲辊III;18.弯曲辊IV。

### 具体实施方式

[0027] 以下结合附图与实例,对本发明进行详细说明。

[0028] 如图2、3所示,本发明管材旋压弯曲渐进成形工艺的新型弯曲机构包括支座12、支撑框、弯曲辊架、弯曲辊和插销;弯曲辊包括弯曲辊I15、弯曲辊II16、弯曲辊III17、弯曲辊IV18,所述弯曲辊I15与弯曲辊III17完全一致,弯曲辊II16和弯曲辊IV18完全一致,两对弯曲辊区别为型面半径不一样;弯曲辊架包括弯曲辊架I上部14、弯曲辊架I下部13、弯曲辊架II上部8、弯曲辊架II下部9,弯曲辊架由弯曲辊架上部和下部轴孔间隙配合组成,以便装配所需的弯曲辊,所组成两个弯曲辊架完全一致;插销包括完全一样的插销I6和插销II7,所述插销在弯曲成形前插入相应的弯曲辊架和支撑框上的销孔,保证弯曲成形过程中弯曲辊架与支撑框的相对位置不变;支撑框包括支撑框上部5、支撑框下部10、支撑框支杆11;在初始时刻,管材轴线、旋轮底盘2的轴线与弯曲机构中空处的轴线处于同一轴线上,使得管材能够沿轴向进给经过旋压工步后通过两个弯曲辊形成的中空处。

[0029] 如图4所示,本发明管材旋压弯曲渐进成形工艺的新型弯曲机构成形主要步骤:

[0030] 步骤一:管材沿着未成形管材轴向进给,经过旋压工步,管材进行缩径;

[0031] 步骤二:管材沿管材轴向保持进给,经过旋压的管材进给到弯曲机构处。此时,支座在水平平面内进行平动,驱动支撑框绕支杆轴线随动转动,弯曲辊在与管材接触产生的摩擦力作用下绕自身轴线随动转动,管材在由于弯曲机构的偏距而产生的力矩的作用下产生弯曲变形;

[0032] 步骤三:弯曲机构向原始位置回退,管材沿着管材轴向保持进给,回退至原始位置时弯曲过程结束;旋压工步中随旋轮径向位置的移动改变了管材缩径量,两个弯曲辊架可绕支撑框与弯曲辊架配合处的轴线转动,调换与管材半径匹配的型面半径的弯曲辊,并用插销固定转动后的弯曲辊架位置;改变管径的管材进给到弯曲机构处时,弯曲机构开始平动,形成弯曲段。最终,在不同管径处可以成形不同弯曲半径且弯曲质量良好的弯曲段。

[0033] 实施例1为在不同管径处弯曲的平面弯曲管件。实例中不同管径为60mm与50mm,弯曲半径为150mm。管材1选用6061铝合金,截面口径为60mm,壁厚为2mm,两对弯曲辊型面半径为30mm与25mm。依据弯曲辊尺寸,确定弯曲框总长度为132mm,总宽度为84mm。

[0034] 现取管材轴向进给速度为2mm/s,旋压工步的旋轮转速为2r/s,缩径量为0mm与10mm。在弯曲工步中,弯曲机构位移速度为1mm/s;单轮机构弯曲时,弯曲机构至旋压处距离为120mm,弯曲机构平动位移为46mm,弯曲机构两次运动皆为相同工艺参数;而新型弯曲机构存在位移与转动同时带来的偏移改变量,为保证两种弯曲机构有共同弯曲参数,须对弯曲机构至旋压处距离和弯曲机构位移距离修正,新型弯曲机构至旋压处距离取90mm而弯曲机构平动位移距离取34mm,新型弯曲机构两次运动皆为相同工艺参数。

[0035] 如图5~8所示,单辊形式弯曲机构截面畸变率更大,对于截面畸变率可以用以下

公式计算:  $\Delta D = \frac{D_0 - D}{D_0} \times 100\%$ ,  $D_0$ 为未弯曲时的管径, $D$ 为弯曲后纵向管径, $\Delta D$ 为截面畸变率。

在弯曲段每隔5°选取一个管材截面,分析这些截面截面畸变率并求平均值。以此可分析

得知在第一个弯曲段处:在使用本发明的新型弯曲机构时,模拟结果的平均截面畸变率为2.37%;在使用V形型面的单辊机构时,模拟结果的平均截面畸变率为18.44%;在使用圆弧形型面的单辊机构时,模拟结果的平均截面畸变率为14.07%。在第二个弯曲段处:在使用本发明的新型弯曲机构时,模拟结果的平均截面畸变率为3.56%;在使用V形型面的单辊机构时,模拟结果的平均截面畸变率为20.71%;在使用圆弧形型面的单辊机构时,模拟结果的平均截面畸变率为12.92%。因此,本发明的新型弯曲机构能够有效控制截面畸变率。

[0036] 比较图7与图8中的成形结果可以发现,在管径较大且弯曲半径较小条件下,单弯曲辊刚开始弯曲时,无法实时保证弯曲机构作用面与管材弯曲轴线垂直,且与变化管径的管材存在难适配的问题,因而管材弯段截面会受到附加的横向剪切力作用,导致弯曲段横截面畸变程度增加,截面质量难以保证,其中V形型面的单辊结构更是对截面形状造成极大破坏。而本发明弯曲机构因能实时保证弯曲机构作用面与管材弯曲轴线垂直,且能匹配变化管径的管材,故而能够很好控制截面畸变程度,有效解决现有弯曲机构存在的问题。



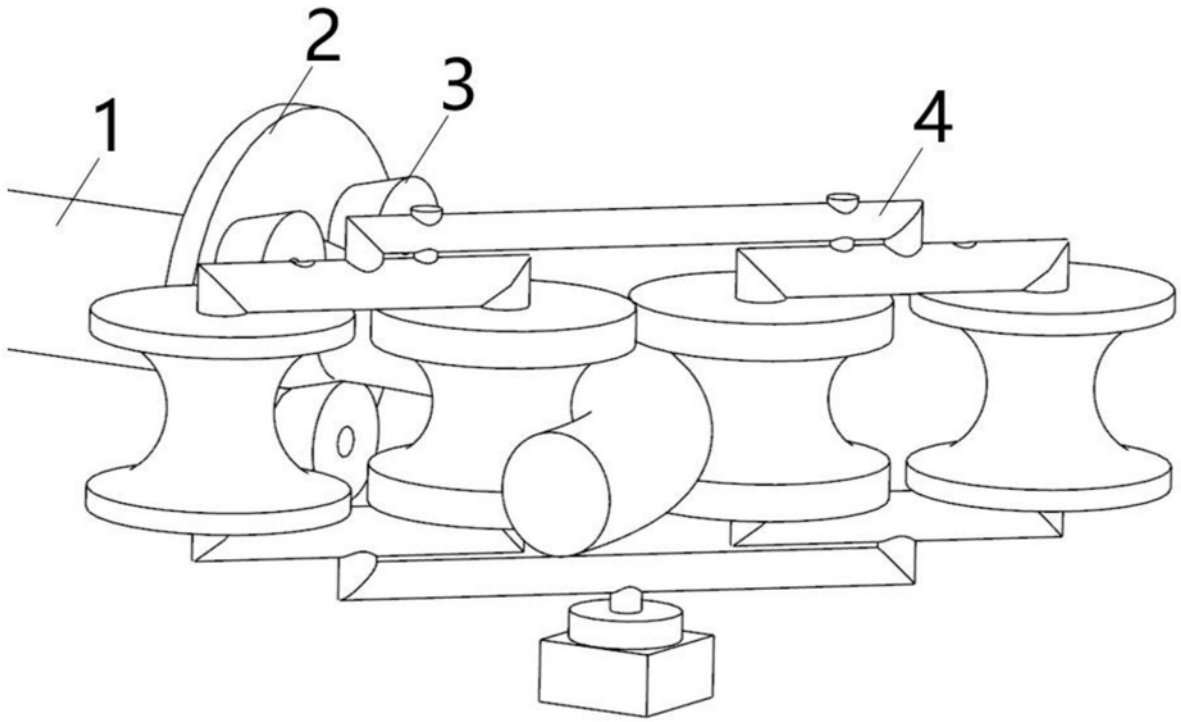


图1

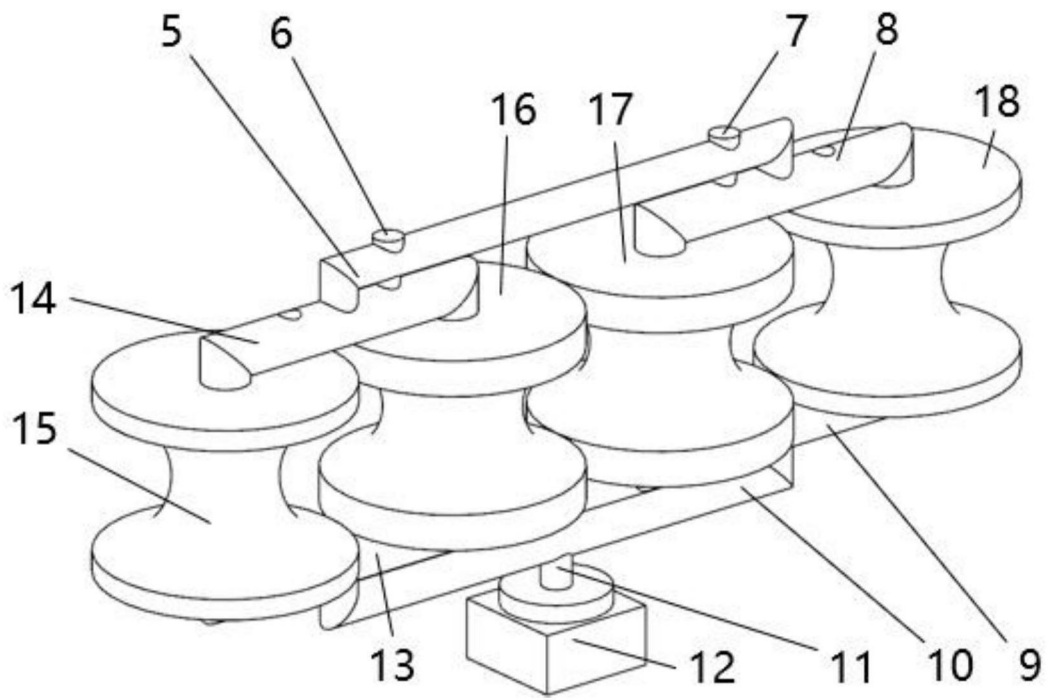


图2

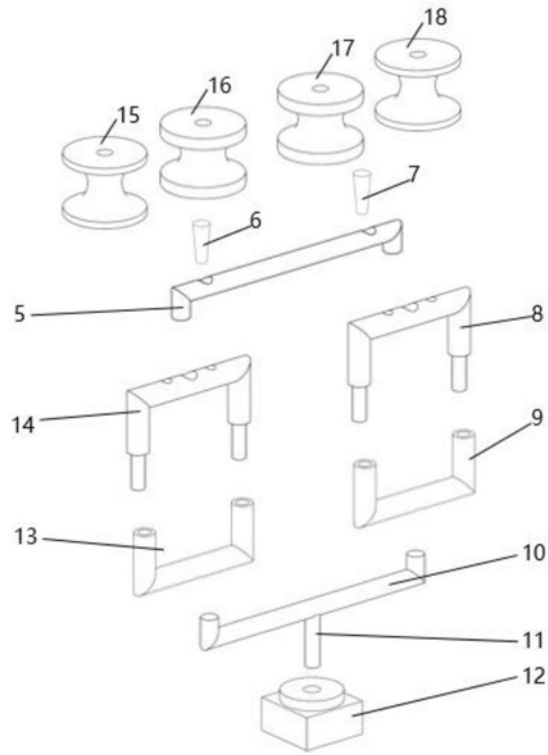


图3

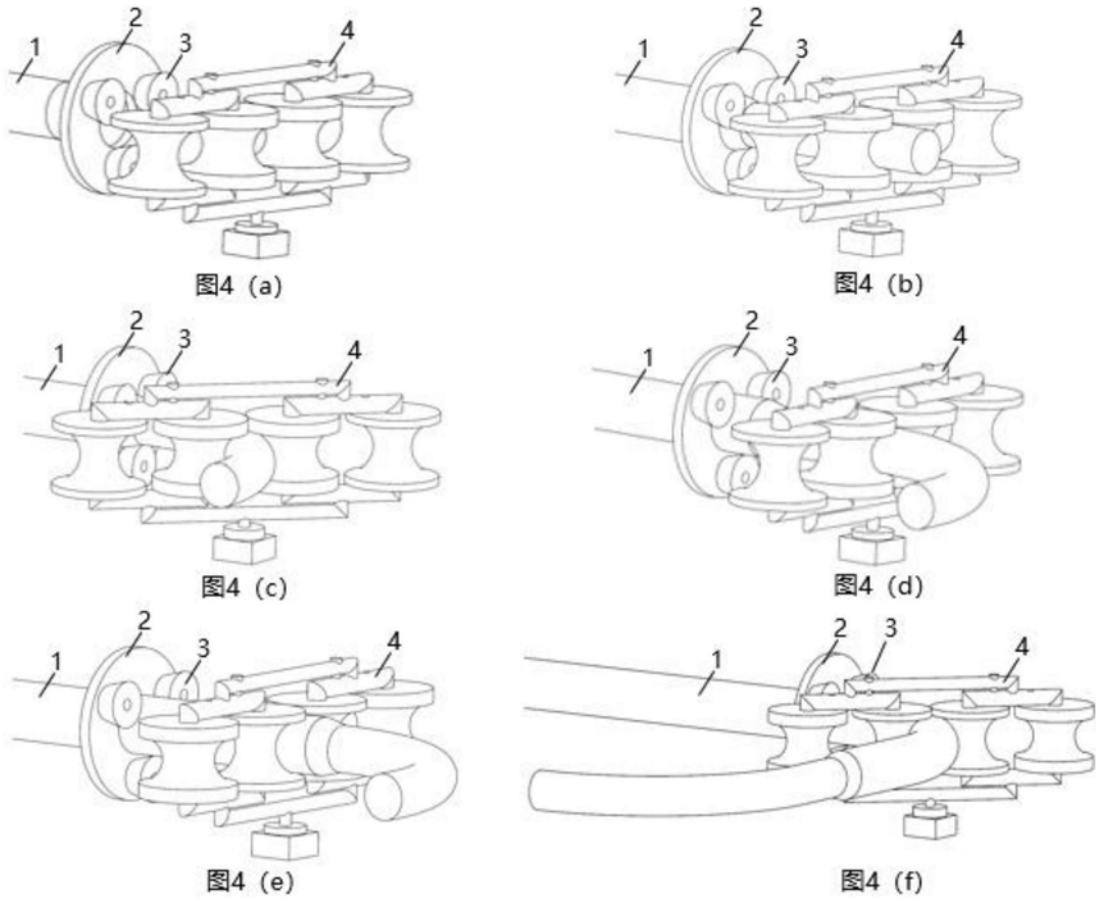


图4

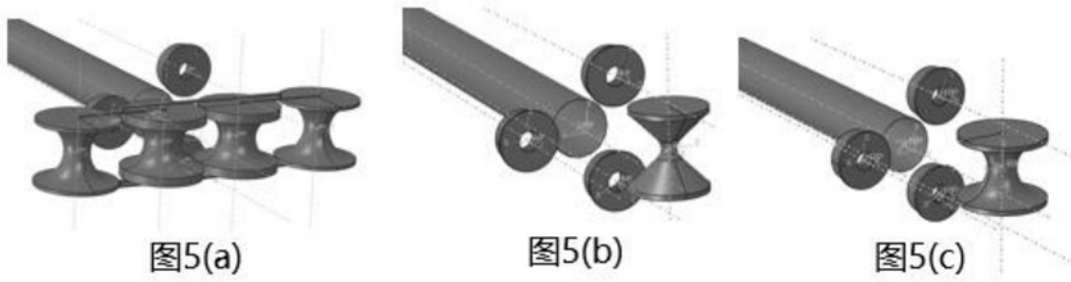


图5

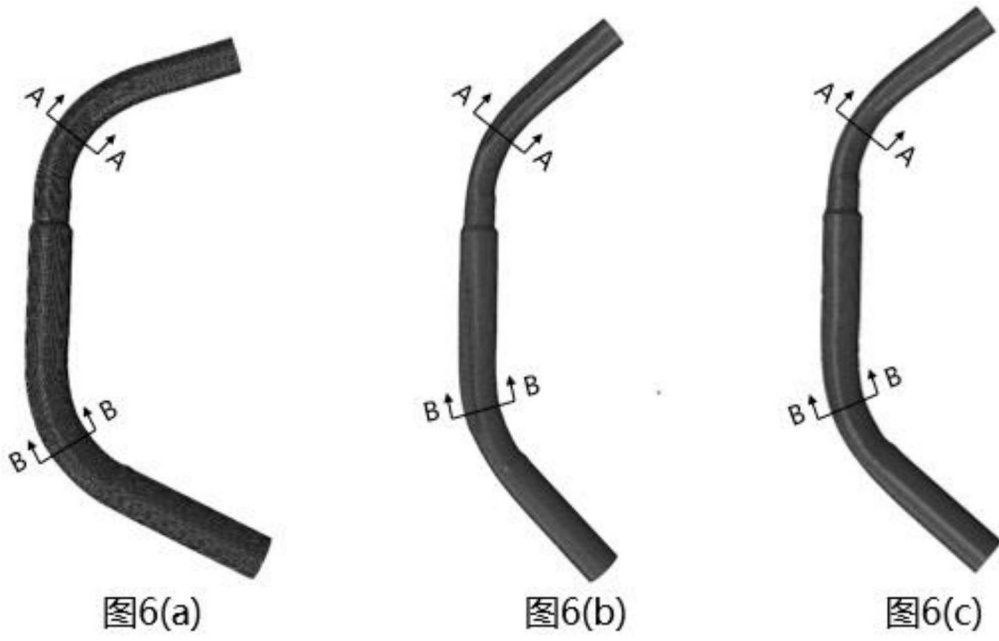


图6



图7

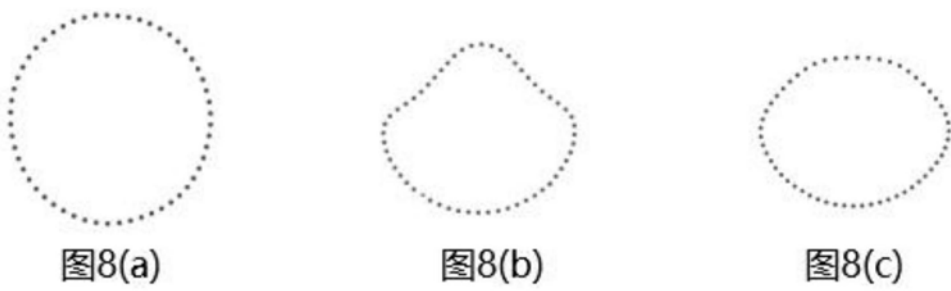


图8