



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 119549572 A

(43) 申请公布日 2025. 03. 04

(21) 申请号 202411672080.5

(22) 申请日 2024.11.21

(71) 申请人 南京航空航天大学

地址 210000 江苏省南京市秦淮区御道街
29号

申请人 北京北方车辆集团有限公司

(72) 发明人 丁潼 郭训忠 肖林林 程诚

宋旭杰

(74) 专利代理机构 北京宏铎知识产权代理有限

公司 34250

专利代理师 卢志鹏

(51) Int. Cl.

B21D 22/16 (2006.01)

B21C 51/00 (2006.01)

B21D 41/04 (2006.01)

权利要求书2页 说明书4页 附图3页

(54) 发明名称

一种基于旋弯复合工艺的变径管弯曲模孔
动态在线调整方法

(57) 摘要

本发明涉及变径管旋弯复合工艺技术领域,具体公开了一种基于旋弯复合工艺的变径管弯曲模孔动态在线调整方法,用以解决现有工艺技术下实现对弯曲模孔径大小进行在线调控。通过管材旋压-弯管成形”复合工艺实现变径管旋弯成形,通过阿基米德螺线方程对缩颈旋压辊子进行轨迹幅值定义,在旋压成形后采用激光直径测量传感器对管材进行尺寸采集。建立变径管直径 D_{var} 与两个辊子接触点所对应顶端/底端椭圆平面上点的半径 R_2 的映射关系模型,根据上述步骤的映射关系模型,推导求解椭圆上点半径 R 与旋转角 θ 的关系式,并快速获取椭圆棍子旋转角 θ 。对弯曲模旋转角度 θ 进行控制,实现弯曲模孔径大小的在线调控。本发明实现了在一定管径范围内的变径管弯曲成形,不需要根据不同管径更换模具。



1. 一种基于旋弯复合工艺的变径管弯曲模孔动态在线调整方法,其特征在于,包括以下步骤:

步骤一:在变径管旋弯成形前,对管材初始外径 D_0 进行测量,获取其尺寸信息参数;

步骤二:变径管旋弯复合工艺由“管材旋压-弯管成形”复合工艺组成,管材旋压过程通过旋压辊子以阿基米德螺线轨迹形式进行多道次运动,实现管材旋压变径;

步骤三:在旋压成形后采用激光直径测量传感器对管材进行尺寸采集;

步骤四:根据采集后的变径管直径 D_{var} ,即实际的孔径大小 R_1 ,建立变径管直径 D_{var} 与两个辊子接触点所对应顶端/底端椭圆平面上点的半径 R_2 的映射关系模型,进一步基于该映射关系模型调整弯曲模孔径大小;

步骤五:通过私服电机控制椭圆形弯曲模转动,根据上述步骤的映射关系模型,对弯曲模旋转角度 θ 进行控制,实现弯曲模孔径大小的在线调控;

具体调控是:椭圆形弯曲模存在长半轴 a 和短半轴 b ,以两个初始长轴半径 R_a 为初始位置,实现管材最小半径的弯曲 D_{min} ;以两个初始短轴半径 R_b 为初始位置,实现管材最大半径的弯曲 D_{max} 。

2. 根据权利要求1所述的基于旋弯复合工艺的变径管弯曲模孔动态在线调整方法,其特征在于,步骤一具体为:确定管材待成形区域;首先将金属管材固定至推进机构当中,推进机构与弯曲模之间的区域就是待成形区域;根据待成形区域长度,设定推进机构的进给量与进给速度。

3. 根据权利要求1所述的基于旋弯复合工艺的变径管弯曲模孔动态在线调整方法,其特征在于,步骤二具体为:管材旋弯成形过程,先经过管材缩颈变径,再进行旋弯成形;其变径过程辊子采用旋压方式进给,通过阿基米德螺线方程进行定义辊子运动轨迹:

$$r=10*(1+t)$$

$$x=r*\cos(t*360)$$

$$y=r*\sin(t*360)$$

$$z=0$$

式中, t 为时间, r 为螺线半径。

4. 根据权利要求1所述的基于旋弯复合工艺的变径管弯曲模孔动态在线调整方法,其特征在于,步骤三具体为:管材旋压变径后,在旋压机构与弯曲机构之间采用激光直径测量传感器对变径管材直径 D_{var} 进行在线检测。

5. 根据权利要求1所述的基于旋弯复合工艺的变径管弯曲模孔动态在线调整方法,其特征在于,步骤四具体为:根据采集后的变径管直径 D_{var} ,即实际的孔径大小 R_1 ,通过二次项拟合或机器学习进行相关训练:

$$B=(X^T X)^{-1} X^T Y$$

式中, B : $n*1$ 矩阵 X : $m*n$ 矩阵,输入变量/特征 Y : $m*1$ 矩阵,输出变量/目标变量 m :样本数 n :特征个数;

建立变径管直径 R_{var} 与两个辊子接触点所对应顶端/底端椭圆平面上点的半径 R_2 的映射关系模型,为后续快速获取旋轮转动角度 θ 提供数据支撑。

6. 根据权利要求1所述的基于旋弯复合工艺的变径管弯曲模孔动态在线调整方法,其特征在于,步骤五具体为:根据建立变径管直径 D_{var} 与两个辊子接触点所对应顶端/底端椭

圆平面上点的半径 R_2 的映射关系模型,随后将长半轴 a 、短半轴 b 和对应顶端/底端椭圆平面上点的半径 R_2 代入椭圆参数方程:

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} = 1 \quad (a > b > 0)$$

变形求解可得到椭圆轨迹上某点到圆心 O (即轴心)的半径 R_2 (即距离)关系式:

$$R_2 = (a \times b) / \sqrt{(a \sin \theta)^2 + (b \cos \theta)^2} \quad (a > b > 0)$$

式中 a 为长半轴, b 为短半轴, R_2 为对应顶端/底端椭圆平面上点的半径;

根据上式可得快速获得椭圆辊子旋转角 θ 的大小,随后通过私服电机控制椭圆形弯曲模转动,对弯曲模旋转角度 θ 进行控制,实现弯曲模孔径大小的在线调控。

一种基于旋弯复合工艺的变径管弯曲模孔动态在线调整方法

技术领域

[0001] 本发明涉及航空航天复杂管路的变径管材旋弯复合成形领域,特别是基于旋弯复合工艺的变径管弯曲模孔动态在线调整方法。

背景技术

[0002] 管路系统构件是航空航天、船舶制造、核能工程等和汽车等装备的重要构件,承担着负载、传输及换热等关键作用。目前,高端先进制造装备往往对管材形状尺寸要求更为苛刻,而轻量化与成形质量水平对装备的服役性能与寿命具有重要影响。然而,复杂变径弯曲管件的直径与弯段分布合理的设计,使该结构轻量化水平得到显著提升,且该管件既属于典型的轻量化、高效构件,又是高端装备发展急需的关键构件。旋弯成形是通过缩颈旋压与管材柔性弯曲成形相结合的方式进行,既具备旋压成形的工艺优势,也结合了管材柔性弯曲成形的技术优势,一次整体成形效率高。然而,当缩颈旋压旋轮提前停止且推进机构与弯曲机构配合完成后续弯曲成形工步时,这种成形方式对弯曲模孔径尺寸的精度要求较高,现有国内外研究及设备对于该工步工作较少。而且旋压与弯曲变形间存在耦合影响,导致其成形规律与调控难度大,限制了旋弯渐进成形工艺的应用;

[0003] 本发明的目的在于提供一种基于旋弯复合工艺的变径管弯曲模孔动态在线调整方法,解决了当前技术中弯曲模孔径动态调控不方便的问题。

发明内容

[0004] 本发明的目的在于提供一种基于旋弯复合工艺的变径管弯曲模孔动态在线调整方法,解决了现有技术中弯曲模孔径动态调控不方便的问题;

[0005] 为实现上述目的,本发明提供如下技术方案

[0006] 一种基于旋弯复合工艺的变径管弯曲模孔动态在线调整方法,包括以下步骤:

[0007] 步骤一:在变径管旋弯成形前,对管材初始外径 D_0 进行测量,获取其尺寸信息参数。

[0008] 步骤二:变径管旋弯复合工艺由“管材旋压-弯管成形”复合工艺组成,管材旋压过程通过旋压辊子以阿基米德螺旋线轨迹形式进行多道次运动,实现管材旋压变径。

[0009] 步骤三:在旋压成形后采用激光直径测量传感器对管材进行尺寸采集。

[0010] 步骤四:根据采集后的变径管直径 D_{var} (即实际的孔径大小 R_1),建立变径管直径 D_{var} 与两个辊子接触点所对应顶端/底端椭圆平面上点的半径 R_2 的映射关系模型,进一步基于该映射关系模型调整弯曲模孔径大小。

[0011] 步骤五:通过伺服电机控制椭圆形弯曲模转动,根据上述步骤的映射关系模型,对弯曲模旋转角度 θ 进行控制,实现弯曲模孔径大小的在线调控。即:椭圆形弯曲模存在长半轴 a 和短半轴 b ,以两个初始长轴半径 R_a 为初始位置,实现管材最小半径的弯曲 D_{min} ;以两个初始短轴半径 R_b 为初始位置,实现管材最大半径的弯曲 D_{max} 。

[0012] 在上述技术方案的基础上,本发明还提供以下可选技术方案:

[0013] 在一种优选方案中:步骤一具体为:确定管材待成形区域;首先将金属管材固定至推进机构当中,推进机构与弯曲模之间的区域就是待成形区域;根据待成形区域长度,设定推进机构的进给量与进给速度。

[0014] 在一种优选方案中:步骤二具体为:管材旋弯成形过程,先经过管材缩颈变径,再进行旋弯成形;其变径过程辊子采用旋压方式进给,通过阿基米德螺线方程进行定义辊子运动轨迹:

$$[0015] \quad r = d * (1 + t)$$

$$[0016] \quad x = r * \cos(t * 360)$$

$$[0017] \quad y = r * \sin(t * 360)$$

$$[0018] \quad z = 0$$

[0019] 式中,t为时间,r为螺线半径。

[0020] 在一种优选方案中:步骤三具体为:管材旋压变径后,在旋压机构与弯曲机构之间采用激光直径测量传感器对变径管材直径Dvar进行在线检测,例:蓝海精密-MILS150、在线投影图像测量仪TM-X5000。

[0021] 在一种优选方案中:步骤四具体为:根据采集后的变径管直径Dvar(即实际的孔径大小R1),通过二次项拟合或机器学习进行相关训练:

$$[0022] \quad B = (X^T X)^{-1} X^T Y$$

[0023] 式中,B:n*1矩阵X:m*n矩阵,输入变量/特征Y:m*1矩阵,输出变量/目标变量m:样本数n:特征个数。

[0024] 建立变径管直径 R_{var} 与两个辊子接触点所对应顶端/底端椭圆平面上点的半径 R_2 的映射关系模型,为后续快速获取旋轮转动角度 θ 提供数据支撑。

[0025] 在一种优选方案中:步骤四具体为:根据建立变径管直径 D_{var} 与两个辊子接触点所对应顶端/底端椭圆平面上点的半径 R_2 的映射关系模型,随后将长半轴a、短半轴b和对应顶端/底端椭圆平面上点的半径 R_2 代入椭圆参数方程:

$$[0026] \quad \frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} = 1 \quad (a > b > 0)$$

[0027] 变形求解可得到椭圆轨迹上某点到圆心O(即轴心)的半径 R_2 (即距离)关系式:

$$[0028] \quad R_2 = (a \times b) / \sqrt{(a \sin \theta)^2 + (b \cos \theta)^2} \quad (a > b > 0)$$

[0029] 式中a为长半轴,b为短半轴, R_2 为对应顶端/底端椭圆平面上点的半径。

[0030] 根据上式可得快速获取椭圆辊子旋转角 θ 的大小,随后通过私服电机控制椭圆形弯曲模转动,对弯曲模旋转角度 θ 进行控制,实现弯曲模孔径大小的在线调控。

[0031] 相较于现有技术,本发明的有益效果如下:

[0032] 本发明涉及的一种基于旋弯复合工艺的变径管弯曲模孔动态在线调整方法。本

[0033] 发明通过“管材旋压-弯管成形”复合工艺实现变径管旋弯成形,在旋压成形后采用激光直径测量传感器对管材进行尺寸采集。建立变径管直径 D_{var} 与两个辊子接触点所对应顶端/底端椭圆平面上点的半径 R_2 的映射关系模型,根据上述步骤的映射关系模型,对弯曲模旋转角度 θ 进行控制,实现弯曲模孔径大小的在线调控。本发明其优势在于成形过程能够不停机情况下实现对弯曲模孔径大小进行在线调控,同时可以在一定管径范围内的变径管

弯曲成形,不需要根据不同管径更换模具。

附图说明

[0034] 此处所说明的附图用来提供对本发明的进一步理解,构成本发明的一部分,本发明的示意性实施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。

[0035] 图1是本发明加工的流程;

[0036] 图2a是本发明变径管旋弯成形机构的一侧结构图;

[0037] 图2b是本发明变径管旋弯成形机构的另一侧结构

[0038] 图3是本发明弯曲机构缩颈旋压成形辊子的阿基米德螺线轨迹;

[0039] 图4是本发明弯曲机构椭圆辊子旋转角度几何快速求解示意图;

[0040] 附图标记注释:1-金属管2-旋轮机构3-辊子I4-辊子II5-辊子III6-弯曲椭圆辊子I7-弯曲椭圆辊子II8-弯曲机构主旋轴9-底座10-激光直径测量传感器11-矩形框。

具体实施方式

[0041] 下面将结合本发明实施例中的附图,对本发明实施例中的技术方案进行清楚、完

[0042] 整地描述,显然,所描述的实施例仅仅是本发明一部分实施例,而不是全部的实施例。基于

[0043] 本发明中的实施例,本领域普通技术人员在没有付出创造性劳动前提下所获得的所有其他

[0044] 实施例,都属于本发明保护的范围。

[0045] 实施例1

[0046] 如图1-4所示,本发明实施例提供了一种基于旋弯复合工艺的变径管弯曲模孔动态在线调整方法,具体如下:

[0047] (1) 将管件及成形机构进行组装,如图1所示,在变径管旋弯成形前,对管材初始外径 D_0 进行测量,测得管道初始外径为 $D_0=70\text{mm}$ 。

[0048] (2) 管材旋压过程通过旋压辊子以阿基米德螺线轨迹形式进行多道次运动,实现管材旋压变径。根据具体实施方案实施例1中(1)所测量的管道初始外径为 $D_0=70\text{mm}$,设定阿基米德螺线初始螺线半径 r ,并测定阿基米德螺线的具体方程式:

[0049] $x=(35-0.03t)*\cos(t)$

[0050] $y=(35-0.03t)*\sin(t)$

[0051] $z=0$

[0052] 根据阿基米德螺线方程设定辊子运动轨迹。

[0053] (3) 在旋压成形后采用激光直径测量传感器10对管材进行尺寸采集。在旋压机构与弯曲机构之间采用激光直径测量传感器对变径管材直径 D_{var} 进行在线检测,例:蓝海精密-MILS150、在线投影图像测量仪TM-X5000。

[0054] 这里的旋压机构包括便于金属管1穿过的旋轮机构2,旋轮机构2上设有对金属管1外侧旋压的辊子辊子I3和辊子II4、辊子III5,通过旋轮机构2带动多个辊子旋转,实现对金属管1直径的调节;

[0055] 这里的弯曲机构包括用于对金属管1弯曲的弯曲椭圆辊子I6和弯曲椭圆辊子II7,

弯曲椭圆辊子 I 6 和弯曲椭圆辊子 II 7 的轴端与矩形框 11 连接, 矩形框 11 连接用于带动其转动的弯曲机构主旋轴 8, 弯曲机构主旋轴 8 设置在底座 9 上;

[0056] (4) 根据采集后的变径管直径 D_{var} (即实际的孔径大小 R_1), 通过二次项拟合或机器学习进行相关训练:

$$[0057] \quad B = (X^T X)^{-1} X^T Y$$

[0058] 式中, B : $n \times 1$ 矩阵 X : $m \times n$ 矩阵, 输入变量/特征 Y : $m \times 1$ 矩阵, 输出变量/目标变量 m : 样本数 n : 特征个数。

[0059] 建立变径管直径 R_{var} 与两个辊子接触点所对应顶端/底端椭圆平面上点的半径 R_2 的映射关系模型, 为后续快速获取旋轮转动角度 θ 提供数据支撑。

$$[0060] \quad \begin{bmatrix} 32.93 \\ 31.08 \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ 23.49 \end{bmatrix} \rightarrow \begin{bmatrix} 35.00 \\ 34.36 \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ 28.73 \end{bmatrix}$$

[0061] 根据建立变径管直径 D_{var} 与两个辊子接触点所对应顶端/底端椭圆平面上点的半径 R_2 的映射关系模型, 随后将长半轴 a 、短半轴 b 和对应顶端/底端椭圆平面上点的半径 R_2 代入椭圆参数方程:

$$[0062] \quad \frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} = 1 \quad (a > b > 0)$$

[0063] 变形求解可得到椭圆轨迹上某点到圆心 O (即轴心) 的半径 R_2 (即距离) 关系式:

$$[0064] \quad R_2 = (a \times b) / \sqrt{(a \sin \theta)^2 + (b \cos \theta)^2} \quad (a > b > 0)$$

[0065] 式中 a 为长半轴, b 为短半轴, R_2 为对应顶端/底端椭圆平面上点的半径。

[0066] 根据上式可得快速获取椭圆辊子旋转角 θ 的大小, 测得椭圆辊子旋转角 θ 的大小为 $\theta = 37.28^\circ$, 随后通过私服电机控制椭圆形弯曲模转动, 对弯曲模旋转角度 θ 进行控制, 实现弯曲模孔径大小的在线调控。



图1

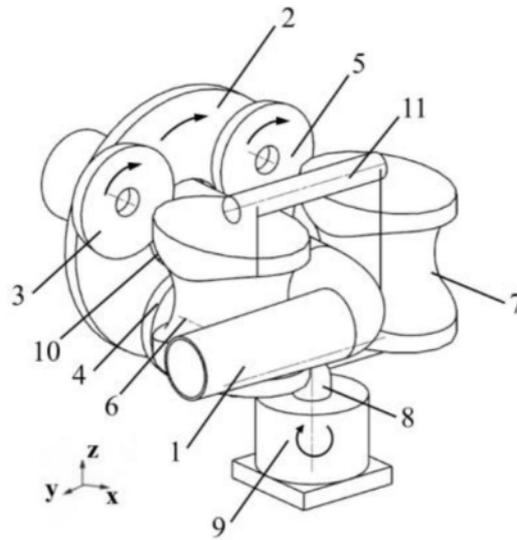


图2a

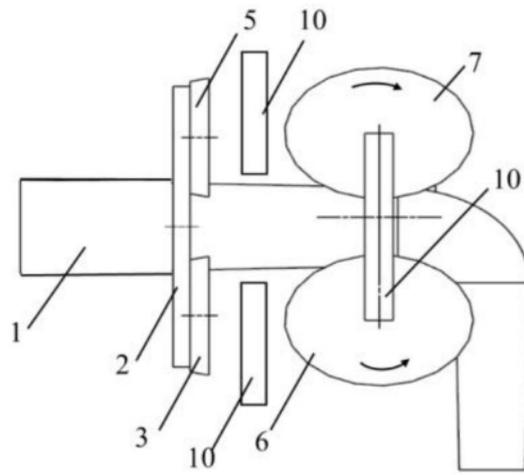


图2b

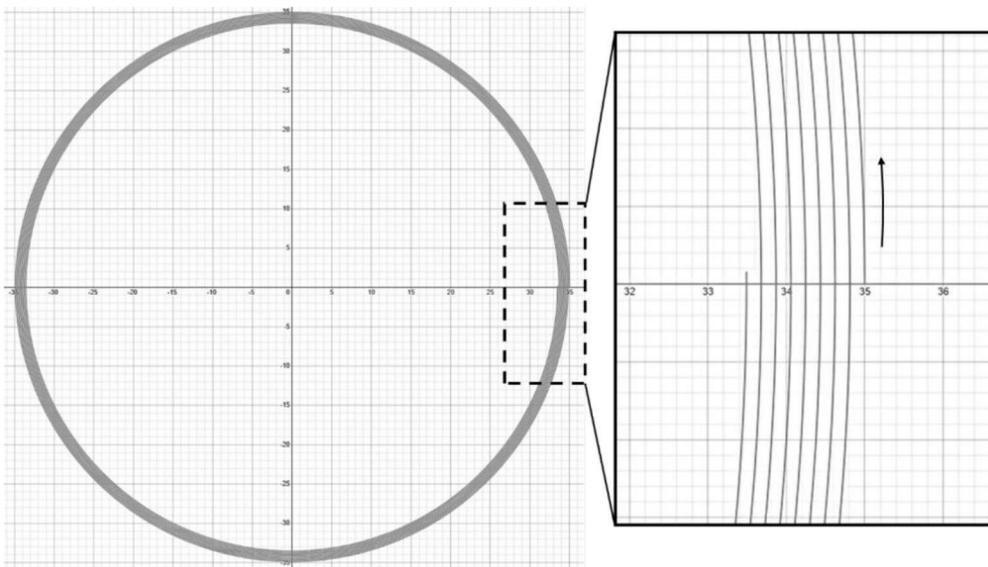


图3

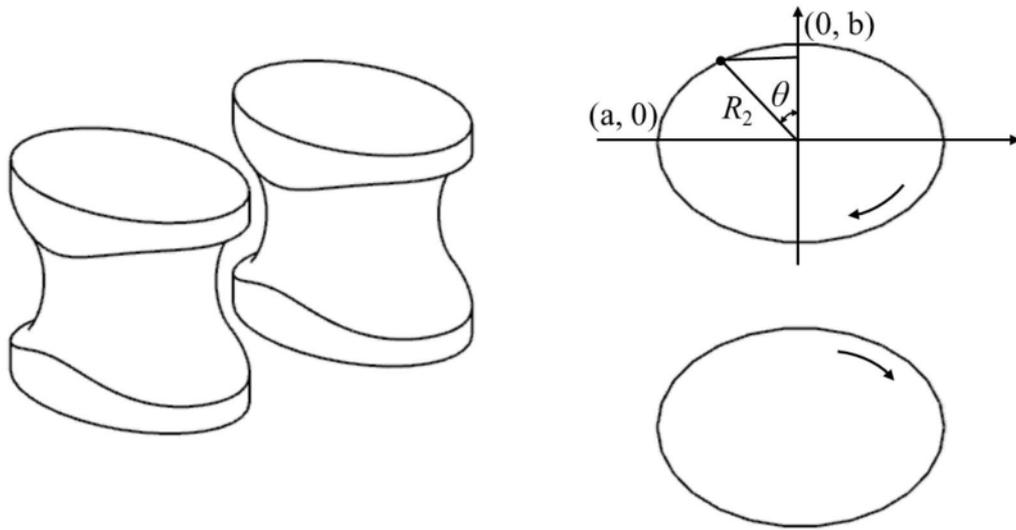


图4