



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 103480704 B

(45) 授权公告日 2015. 12. 02

(21) 申请号 201310413182. 0

KR 10-1326347 B1, 2013. 06. 10, 全文.

(22) 申请日 2013. 09. 10

JP 特開 2011-173136 A, 2011. 09. 08, 全文.

(73) 专利权人 西北工业大学

审查员 孙文强

地址 710072 陕西省西安市友谊西路 127 号

(72) 发明人 孙宝龙 王永军 陈华

(74) 专利代理机构 西北工业大学专利中心

61204

代理人 慕安荣

(51) Int. Cl.

B21D 5/06(2006. 01)

B21D 37/10(2006. 01)

(56) 对比文件

CN 1707377 A, 2005. 12. 14, 全文.

CN 101073872 A, 2007. 11. 21, 全文.

CN 101644921 A, 2010. 02. 10, 全文.

JP 特開平 8-141653 A, 1996. 06. 04, 全文.

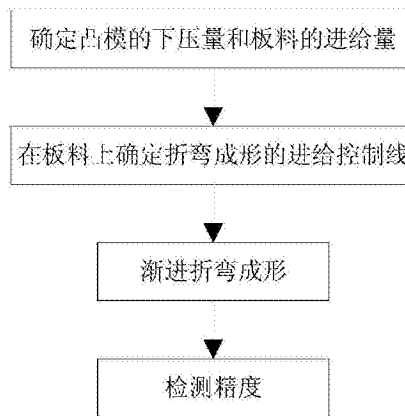
权利要求书3页 说明书7页 附图4页

(54) 发明名称

一种帽形件渐进折弯成形方法

(57) 摘要

一种帽形件渐进折弯成形方法,通过简单模具配合以板料折弯机完成多段圆弧的复杂帽形零件成形:将多段圆弧的复杂帽形零件的各段圆弧展开成平板,以确定平板毛坯尺寸,根据毛坯尺寸建立三维模型,以圆弧为基准划分区域.对多段圆弧的复杂帽形零件成形过程进行数值模拟,先渐进折弯两侧圆弧,再折弯中间圆弧,最后折弯各段区域的分界线,根据模拟结果确定折弯过程中每一道次的板料的进给量和凸模下压量.本发明使得成形的帽形件各部分厚度基本一致,可以很好的保证成形零件的表面质量和成形精度.并且控制变形的过程简单,具有成本低、周期短的特点.



1. 一种帽形件渐进折弯成形方法,其特征在于,具体过程是:

第一步,确定凸模的下压量和板料的进给量;

I 确定板料的进给量:

确定板料的进给量,

取  $r/2$  作为板料的进给量,所述的  $r$  为凸模型面的半径;

II 根据公式 (1) 确定凸模的初始下压量

凸模初始下压量与圆弧段半径关系如下:

$$H=R-\sqrt{R^2-a^2} \quad (1)$$

式中,  $H$ —代表凸模初始下压量;

$R$ —代表所要成形圆弧段的半径;

$a$ —凹模 V 形口宽度 /2

III 确定凸模的下压量

通过数值模拟确定凸模的下压量;

对得到的凸模初始下压量和板料的进给量进行数值模拟,提取节点数据并对该节点数据进行 MATLAB 数据拟合,判断拟合圆弧是否满足对待成形工件圆弧段半径的精度要求:若满足要求,则以此时有限元模型中的凸模初始下压量和板料的进给量作为成形时的凸模下压量和板料的进给量;若不满足要求,则根据凸模下压量增大时圆弧段半径减小,凸模下压量减小时圆弧段半径增大的规律,调整凸模下压量;第二步,在板料上确定折弯成形的进给控制线:根据有限元模拟结果得到的板料进给量和凸模下压量确定折弯过程中每一道次的板料的进给量和凸模下压量,在板料上划出板料进给方向上的进给控制线、圆弧段与竖直边的分界线以及竖直边与圆弧段的分界线;划线的具体过程是:

I 帽形件两侧圆弧段的划线;根据设计的帽形件两侧的圆弧段的弧长,在板料的两侧完成该帽形件两侧圆弧段的划线;划线时,在帽形件两侧边处各留出 10mm ~ 15mm 的切边余量;

以板料两侧边边线为基准,分别向板料中心移动,移动距离为留出的切边余量;在由板料两侧边分别向板料中心移动后的位置分别划出板料两侧边各自的第一条进给控制线;以所述板料两侧边各自的第一条进给控制线为起点,分别向板料中心移动,并在新的位置画出板料两侧边各自的第二条进给控制线;依此类推,依次完成板料两侧边的帽形件两侧圆弧段的划线;所述划线中,相邻的两条进给控制线之间的间距为成形中板料的进给量;

II 帽形件两侧圆弧段与竖直边分界线的划线;分别以设计的帽形件两侧圆弧段的弧长中的最后一条进给控制线作为帽形件两侧圆弧段与竖直边分界线的进给控制线;以得到的帽形件两侧圆弧段与竖直边分界线的进给控制线为基准,分别向板料中心移动,所移动的距离与设计的帽形件竖直边的长度相同;在此划线,得到两条帽形件竖直边与帽形件中间圆弧段分界线的进给控制线;

III 帽形件中间圆弧段的划线;根据设计的帽形件中间圆弧段的弧长,在板料的中部完成该帽形件中间圆弧段的划线;具体是,分别以得到的帽形件竖直边与帽形件中间圆弧段分界线的进给控制线为基准,向板料中心移动并在新的位置划线,得到两条帽形件对称中心处圆弧段的第一条进给控制线;以所述两条帽形件对称中心处圆弧段的第一条进给控制

线为基准,继续向板料中心移动并在新的位置划线,得到两条帽形件对称中心处圆弧段的第二条进给控制线;依此类推,依次完成板料帽形件中间圆弧段的划线;

将完成划线后的板料安放到安装好的模具上;

第三步,渐进折弯成形:在进行渐进折弯时按照确定的凸模下压量对板料进给控制线处进行折弯;进行折弯时,先分别折弯钛合金板的两侧圆弧段,再折弯该钛合金板中间圆弧段;

首先对钛合金板一侧的圆弧段折弯成形;按照该侧圆弧段中各进给控制线的编号顺序下压;凸模下压时,该凸模弧形顶点处与所下压的进给控制线重合;凸模下压,完成对第一条进给控制线处的折弯成形;完成第一条进给控制线折完后,板料进给,使凸模弧形顶点处与第二条进给控制线重合,凸模下压完成对第二条进给控制线处的折弯成形;依此方法,依次完成对该侧各进给控制线处的折弯成形;

调整钛合金板方向,按照对钛合金板一侧圆弧段折弯成形的方法,对钛合金板另一侧的圆弧段折弯成形;

在上述对钛合金板的两侧圆弧段折弯成形中,凸模下压量为 1.72mm,凸模向下的进给速度为 0.1mm/s;

当完成钛合金板的两侧圆弧段折弯成形后,对钛合金板中间圆弧段折弯成形;具体是:

移动钛合金板,使凸模弧形顶点处与一侧竖直边与中间圆弧段分界线处的进给控制线重合;所移动的距离为帽形件竖直边的长度;凸模下压,完成对该竖直边与中间圆弧段分界线处的折弯成形;完成对所述竖直边与中间圆弧段分界线处的折弯成形后,板料进给,使凸模弧形顶点处与钛合金板中间圆弧段第一条进给控制线重合,凸模下压完成对该进给控制线的折弯成形;板料进给,使凸模弧形顶点处与钛合金板中间圆弧段第二条进给控制线重合,凸模下压完成对该进给控制线处的折弯成形;依此方法,依次完成对钛合金板中间圆弧段各进给控制线处的折弯成形;

当完成对钛合金板中间圆弧段各进给控制线处的折弯成形后,板料进给,使凸模弧形顶点处与钛合金板中间圆弧段与竖直边分界线处的进给控制线重合;凸模下压,完成对该进给控制线的折弯成形;

至此完成对帽形件的渐进折弯成形;

在上述对钛合金板中间圆弧段折弯成形中,凸模下压量为 2.83mm,凸模向下的进给速度为 0.1mm/s;

第四步,检测。

2. 如权利要求 1 所述一种帽形件渐进折弯成形方法,其特征在于,所述的拟合圆弧不满足对待成形工件圆弧段半径的精度要求包括两种情况:第一种是 MATLAB 数据拟合得到的圆弧段半径与设计要求的半径相比偏大,则增大凸模下压量,并再次输入有限元模型进行数值模拟,重新进行模拟过程,直至拟合圆弧满足对待成形工件圆弧段半径的精度要求;第二种是 MATLAB 数据拟合得到的圆弧段半径与设计要求的半径相比偏小,则减小凸模下压量,并再次输入有限元模型进行数值模拟,重新进行模拟过程,直至拟合圆弧满足对待成形工件圆弧段半径的精度要求。

3. 如权利要求 1 所述一种帽形件渐进折弯成形方法,其特征在于,所述 MATLAB 中所提

取的节点数据包括帽形件两侧边处圆弧上的网格节点和帽形件对称中心处圆弧上的网格节点。

## 一种帽形件渐进折弯成形方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及帽形薄板件成形技术领域，具体是一种帽形件渐进折弯成形方法及模具。

### 背景技术

[0002] 帽形截面的零件广泛用于汽车及导弹工业中，此类构件通常是在常温下通过模具弯曲板料来进行冲压成形，由于帽形截面冲压件的截面几何形状特点以及冲压成形受力特点，卸载后截面的两侧壁会在底部圆角弯曲区域产生弹复，使侧壁绕底部圆角向外旋转，导致回弹量过大，一般通过减小凸模圆角半径，来控制帽形截面件的回弹量，但是当圆角半径小到某一范围后，继续减小圆角半径对回弹影响不再明显，还会引起开裂等其他缺陷，必须结合其他回弹控制方法以及反复修正模具型面来提高成形精度，减少回弹，同时，对于带多段圆弧的复杂帽形零件，往往需要多个模具或复合模具，另外，凸模和凹模的设计制造周期长，成本高，不适合于小批量零件及新产品原型的制造，并且一套模具只能对应一种零件，模具重复利用率低。

[0003] 吉林大学公开采用了冷冲压方法研究某型地铁碳钢车帽形侧立柱的成形工艺与模具，（谷争巍，蔡中义，徐虹，张正林，张志强. 帽形截面冷冲压件的回弹分析及补偿. 清华大学学报（自然科学版）50(2), 2010），文中研究了帽形截面冲压件反变形回弹补偿方法，进行回弹计算，分析了凸模圆角半径对截面回弹量的影响，确定最佳的凸模圆角半径，优化了压边力、凸模底部弦高、顶板背压力等工艺参数及回弹控制参数构件回弹量得到有效控制，精度达到设计要求，但是，这种方法存在如下缺点，首先，需要控制的影响参数很多，这就为具体生产过程增加了难度，需要反变形模具，模具复杂性提高，制造成本随之提高，另外，虽然控制了回弹，但冲压成形件底部圆角处因材料变薄会出现压痕甚至裂纹问题没有解决。因此，针对多段圆弧的复杂帽形薄板件采用渐进折弯成形，渐进折弯就是在传统的折弯成形的基础上，进行多道次折弯累加，逐渐进行圆弧逼近，达到零件所要求的弧度，通过控制每一道次的板料的进给量和凸模下压量来对其进行回弹补偿和修正，从而控制成形精度，最终得到准确的成形尺寸。

### 发明内容

[0004] 为克服现有技术中存在的帽形薄板件冲压过程中弯曲回弹量大以及成形件底部圆角处因材料变薄会出现压痕甚至裂纹的不足，本发明提出了一种帽形件渐进折弯成形方法。

[0005] 本发明的具体过程是：

[0006] 第一步，确定凸模的下压量和板料的进给量。

[0007] I 确定板料的进给量。

[0008] 确定凸模的板料的进给量，

[0009] 取  $r/2$  作为板料的进给量，所述的  $r$  为凸模型面的半径。

[0010] II 根据公式 (1) 确定凸模的初始下压量

[0011] 凸模初始下压量与圆弧段半径关系如下：

$$[0012] \quad H=R-\sqrt{R^2-a^2} \quad (1)$$

[0013] 式中, H—代表凸模初始下压量。

[0014] R—代表所要成形圆弧段的半径。

[0015] a—凹模 V 形口宽度 /2

[0016] III 确定板料的凸模的下压量。

[0017] 通过数值模拟确定板料的凸模的下压量。

[0018] 对得到的凸模初始下压量和板料的进给量进行数值模拟, 提取节点数据并对该节点数据进行 MATLAB 数据拟合, 判断拟合圆弧是否满足对待成形工件圆弧段半径的精度要求: 若满足要求, 则以此时有限元模型中的凸模初始下压量和板料的进给量作为成形时的凸模下压量和板料的进给量; 若不满足要求, 则根据凸模下压量增大时圆弧段半径减小, 凸模下压量减小时圆弧段半径增大的规律, 调整凸模下压量。

[0019] 所述 MATLAB 中所提取的节点数据包括帽形件两侧边处圆弧上的网格节点和帽形件对称中心处圆弧上的网格节点。

[0020] 第二步, 在板料上确定折弯成形的进给控制线。根据有限元模拟结果得到的板料进给量和凸模下压量确定折弯过程中每一道次的板料的进给量和凸模下压量, 在板料上画出板料进给方向上的进给控制线、圆弧段与竖直边的分界线和竖直边与圆弧段的分界线。所述确定折弯成形进给控制线的具体过程是：

[0021] I 帽形件两侧的圆弧段的划线。根据设计的帽形件两侧的圆弧段的弧长, 在板料的两侧完成该帽形件两侧的圆弧段的划线。划线时, 在帽形件两侧边处各留出 10mm ~ 15mm 的切边余量。

[0022] 以板料两侧边边线为基准, 分别向板料中心移动, 移动距离为留出的切边余量。在该处画出板料两侧边各自的第一条进给控制线。以所述板料两侧边各自的第一条控制线为起点, 分别向板料中心移动, 并在新的位置画出板料两侧边各自的第二条进给控制线。依此类推, 依次完成板料两侧边的帽形件两侧圆弧段弧长的划线。所述划线中, 相邻的两条进给控制线之间的间距为成形中板料的进给量。

[0023] II 圆弧与竖直边分界线的划线。分别以设计的帽形件两侧圆弧段的弧长中的最后一条进给控制线作为帽形件两侧圆弧与竖直边分界线的控制线。以得到的两侧圆弧与竖直边分界线的划线为基准, 分别向板料中心移动, 所移动的距离与设计的帽形件竖直边的长度相同。在此划线, 得到两条帽形件竖直边与中间圆弧分界线的进给控制线。

[0024] III 帽形件中间圆弧段的划线。根据设计的帽形件中间圆弧段的弧长, 在板料的中部完成该帽形件中间圆弧段的划线。具体是, 分别以得到的帽形件竖直边与中间圆弧分界线的控制线为基准, 向板料中心移动并在新的位置划线, 得到两条帽形件对称中心处圆弧的第一条进给控制线; 以所述两条帽形件对称中心处圆弧的第一条进给控制线为基准, 继续向板料中心移动并在新的位置划线, 得到两条帽形件对称中心处圆弧的第二条进给控制线; 依此类推, 依次完成板料帽形件中间圆弧段的划线。

[0025] 将完成划线后的板料安放到安装好的模具上。

[0026] 第三步, 渐进折弯成形。启动折弯机进行渐进折弯成形。在进行渐进折弯时按照

确定的下压量对板料控制线处进行折弯。进行折弯时,先分别折弯钛合金板两侧圆弧,再折该弯钛合金板中间圆弧。

[0027] 首先对钛合金板一侧的圆弧段折弯成形。按照该侧圆弧段中各进给控制线的编号顺序下压。凸模下压时,该凸模弧形顶点处与所下压的进给控制线重合。凸模下压,完成对第一条进给控制线处的折弯成形。完成第一条控制线折完后,板料进给,使凸模弧形顶点处与第二条进给控制线重合,凸模下压完成对第二条进给控制线处的折弯成形。依此方法,依次完成对该侧各进给控制线处的折弯成形。

[0028] 调整钛合金板方向,按照所述对钛合金板圆弧段折弯成形的方法,对钛合金板另一侧的圆弧段折弯成形。

[0029] 在上述对钛合金板两侧的圆弧段折弯成形中,凸模下压量为 1.72mm,凸模向下的进给速度为 0.1mm/s。

[0030] 当完成钛合金板两侧的圆弧段折弯成形后,对钛合金板中间圆弧段折弯成形。具体是:

[0031] 移动钛合金板,使凸模弧形顶点处与所述一侧竖直边与中间圆弧分界线处的进给控制线重合;所移动的距离为帽形件竖直边的长度。凸模下压,完成对该竖直边与中间圆弧分界线处的折弯成形。完成对所述竖直边与中间圆弧分界线处的折弯成形后,板料进给,使凸模弧形顶点处与钛合金板中间圆弧段第一条进给控制线重合,凸模下压完成对该进给控制线的折弯成形。板料进给,使凸模弧形顶点处与钛合金板中间圆弧段第二条进给控制线重合,凸模下压完成对该进给控制线处的折弯成形。依此方法,依次完成对钛合金板中间圆弧段各进给控制线处的折弯成形。

[0032] 当完成对钛合金板中间圆弧段各进给控制线处的折弯成形后,板料进给,使凸模弧形顶点处与钛合金板中间圆弧段的中间圆弧与竖直边分界线处的进给控制线重合。凸模下压,完成对该进给控制线的折弯成形。

[0033] 至此完成对帽形件的渐进折弯成形。

[0034] 在上述对钛合金板中间圆弧段折弯成形中,凸模下压量为 2.83mm,凸模向下的进给速度为 0.1mm/s。

[0035] 第四步,检测。

[0036] 所述的拟合圆弧不满足对待成形工件圆弧段半径的精度要求包括两种情况:第一种是 MATLAB 数据拟合得到的圆弧段半径与设计要求的半径相比偏大,则增大凸模下压量,并再次输入有限元模型进行数值模拟,重新进行模拟过程,直至拟合圆弧满足对待成形工件圆弧段半径的精度要求。第二种是 MATLAB 数据拟合得到的圆弧段半径与设计要求的半径相比偏小,则减小凸模下压量,并再次输入有限元模型进行数值模拟,重新进行模拟过程,直至拟合圆弧满足对待成形工件圆弧段半径的精度要求。

[0037] 本发明提供了一种能够提高成形件表面质量和成形精度的渐进折弯成形方法,不仅能够保证成形件的成形精度,而且模具制造简单,制造周期短,成本低廉。

[0038] 本发明通过简单模具配合以板料折弯机完成多段圆弧的复杂帽形零件成形,首先将多段圆弧的复杂帽形零件的各段圆弧展开成平板,从而确定平板毛坯尺寸,接着根据毛坯尺寸建立三维模型,以圆弧为基准划分区域,在 ABAQUS 有限元分析软件中对多段圆弧的复杂帽形零件成形过程进行数值模拟,先渐进折弯两侧圆弧,再折中间圆弧,最后折弯各段

区域的分界线,根据模拟结果确定折弯过程中每一道次的板料的进给量和凸模下压量,按照毛坯尺寸使用剪板机切割板料,在板料的两端画出进给记号线,作为每次板料进给的标准,最后使用板料折弯机完成多段圆弧的复杂帽形零件成形,先折弯两侧圆弧,再折弯中间圆弧,最后在圆弧与竖直边分界线处进行弯折,得到折弯零件。

[0039] 本发明中使用的成形模具为常规的凸模和 V 形凹模,由于板料的回弹值与材料的屈服强度成正比,也与相对弯曲半径成正比,当相对弯曲半径较大时,虽然变形程度很小,但材料断面中心部分会出现很大的弹性区,回弹值较大,因此在折弯过程中选择半径小的凸模有助于减小回弹,当板料在 V 形凹模中折弯时,板料是限制性弯曲,材料始终受凸模和凹模的压缩作用,回弹值小。

[0040] 本发明借鉴渐进折弯方法,在传统的折弯成形的基础上,进行多道次折弯累加,逐渐进行圆弧逼近,达到零件所要求的弧度,通过控制每一道次的板料的进给量和凸模下压量来对其进行回弹补偿和修正,从而控制成形精度,最终得到准确的成形尺寸,本发明中借助有限元分析方法,得到工艺参数,主要为板料横向进给量及凸模下压量,避免反复试验所造成的成本高,周期长等问题,简化了目前主要采用的帽形截面冲压件反变形回弹补偿方法中凸模圆角半径、压边力、凸模底部弦高、顶板背压力等工艺参数过多过于复杂的问题,使得具体生产过程中控制变形的影响参数得到简化,具体生产过程变得简单、易于操作。另外,通过一套简单模具可以成形多段圆弧,使模具制造简单,成本低,周期短,避免了帽形件冷冲压成形过程中回弹控制过程复杂,反复修正模具型面等造成的模具制造成本高,再者,本发明为渐进折弯方法,使得成形的帽形件各部分厚度基本一致,不存在局部区域变薄破裂问题,而传统帽形件冲压过程成形件底部圆角处由于材料变薄易出现了明显的压痕及裂纹甚至出现破裂等问题,通过本发明方法可以很好的保证成形零件的表面质量和成形精度。

## 附图说明

[0041] 图 1 是帽形件冷冲压成形中主要缺陷位置;其中:图 1a 中位置 B 为两侧壁的弯曲回弹造成的成截面开口量过大,位置 A 为底部圆角处由于材料变薄易出现了明显的压痕及裂纹甚至出现破裂。图 1b 是图 1a 中位置 A 处的局部放大图。

[0042] 图 2 是本发明中模具结构的示意图。

[0043] 图 3 是本发明的进给控制线示意图。

[0044] 图 4 是本发明中圆弧段折弯过程的示意图;其中:图 4a 是一侧的圆弧段折弯过程,图 4b 是另一侧的圆弧段折弯过程,图 4c 是中间圆弧段折弯过程。

[0045] 图 5 是本发明中竖直边折弯过程的示意图。

[0046] 图 6 是本发明中有限元方法确定进给控制线流程图。

[0047] 图 7 是本发明中有限元方法得到的板料的进给量为 5mm 情况下的圆弧半径与凸模下压量的关系,图中 H 代表凸模下压量, R 代表圆弧半径。其中:

[0048] 1. 凸模, 2. 凹模, 3. 进给控制线, 4. 圆弧段与竖直边分界线, 5. 竖直边与圆弧段分界线。

## 具体实施方式



[0049] 实施例一

[0050] 本实施例是用于尺寸 420mm×360mm, 厚度为 1mm 的钛合金板渐进折弯成形的方  
法, 成形后零件为帽形件, 两端圆弧半径 125mm, 长度 57mm, 两侧竖直边长 80mm, 中间圆弧半  
径 80mm, 长 92mm。

[0051] 所使用的成形模具采用现有技术中的凸模 1 和凹模 2。所述凹模 2 的型腔呈 V 型,  
所述 V 型型腔的角度为 60°。V 型型腔的深度为 35mm。所述凸模 1 的成形型面的横截面为  
凸圆形, 并且该凸模成形型面的直径小于凹模 2 型腔开口, 使凸模 1 的成形型面能够与凹模  
2 的型腔配合。

[0052] 本实施例中取凸模圆头半径 10mm。使用时, 凹模 2 位于折弯机的工作台上, 将凸模  
1 安装到折弯机上, 将待折弯板料放到凹模 2 的上表面, 并处于凹模 2 与凸模 1 之间。折弯  
机带动凸模, 与凹模 2 配合对板料进行渐进折弯成形。

[0053] 本实施例中, 凸模初始下压量与圆弧段半径关系如下:

$$[0054] \quad H=R-\sqrt{R^2-a^2} \quad (1)$$

[0055] 式中, H—代表凸模初始下压量。

[0056] R—代表所要成形圆弧段的半径。

[0057] a—凹模 V 形口宽度 /2

[0058] 本实施例的具体过程是:

[0059] 第一步, 确定凸模的下压量和板料的进给量。在所述钛合金板折弯成形中, 由于所  
成形的帽形件两侧边处的半径  $R_1$  与帽形件对称中心处的半径  $R_2$  不同, 故凸模的下压量亦不  
同。

[0060] 在确定凸模的下压量和板料的进给量时, 通过 ABAQUS 有限元分析软件, 采用常规  
折弯方法对多段圆弧的复杂帽形零件成形过程进行数值模拟, 根据所要成形圆弧段的半  
径, 通过公式 (1) 得到该圆弧段的半径对应的凸模初始下压量 H; 根据凸模型面的半径 r 确  
定板料进给量, 取 r/2 作为板料的进给量, 所述的 r 为凸模型面的半径。

[0061] 本实施例中, 根据帽形件两侧边处的半径  $R_1$  通过公式 (1) 确定钛合金板两侧边  
处圆弧的凸模初始下压量为 1.61mm, 板料的进给量为 5mm。根据帽形件对称中心处的半径  
 $R_2$  通过公式 (1) 确定帽形件对称中心处圆弧的凸模初始下压量为 2.54mm, 板料的进给量为  
5mm。

[0062] 将凸模初始下压量和板料的进给量输入有限元模型进行数值模拟, 有限元模拟过  
程结束后, 提取节点数据并对节点数据进行 MATLAB 数据拟合, 判断拟合圆弧是否满足对待  
成形工件圆弧段半径的精度要求: 若满足要求, 则以此时有限元模型中的凸模初始下压量  
和板料的进给量作为成形时的凸模下压量和板料的进给量; 若不满足要求, 则根据凸模下  
压量增大时圆弧段半径减小, 凸模下压量减小时圆弧段半径增大的规律, 调整凸模下压量。

[0063] 所述的拟合圆弧不满足对待成形工件圆弧段半径的精度要求包括两种情况: 第  
一种是 MATLAB 数据拟合得到的圆弧段半径与设计要求的半径相比偏大, 则增大凸模下压  
量, 并再次输入有限元模型进行数值模拟, 重新进行模拟过程, 直至拟合圆弧满足对待成形  
工件圆弧段半径的精度要求。第二种是 MATLAB 数据拟合得到的圆弧段半径与设计要求的  
半径相比偏小, 则减小凸模下压量, 并再次输入有限元模型进行数值模拟, 重新进行模拟过  
程, 直至拟合圆弧满足对待成形工件圆弧段半径的精度要求。

[0064] 以拟合圆弧满足对待成形工件圆弧段半径的精度要求的凸模下压量和板料的进给量作为成形时的凸模下压量和板料的进给量

[0065] MATLAB 中所提取的节点数据包括帽形件两侧边处圆弧上的网格节点和帽形件对称中心处圆弧上的网格节点。

[0066] 第二步,根据有限元模拟结果得到的板料进给量和凸模下压量确定折弯过程中每一道次的板料的进给量和凸模下压量,在板料上画出板料进给方向上的进给控制线 3、圆弧段与竖直边分界线 4 以及竖直边与圆弧段分界线 5。所述划线的具体过程是:

[0067] I 帽形件两侧的圆弧段的划线。根据设计的帽形件两侧的圆弧段的弧长,在板料的两侧完成该帽形件两侧的圆弧段的划线。划线时,在帽形件两侧边处根据经验各留出 10mm ~ 15mm 的切边余量,本实施例中取切边余量为 15mm。以板料两侧边边线为基准,分别向板料中心移动 15mm,在该处画出板料两侧边各自的第一条进给控制线。以所述板料两侧边各自的第一条控制线为起点,分别向板料中心移动 5mm,在该处画出板料两侧边各自第二条进给控制线。依此类推,依次完成板料两侧边的帽形件两侧圆弧段弧长的划线。所述划线中,相邻的两条进给控制线之间的间距为成形中板料的进给量。

[0068] 本实施例中帽形件两侧的圆弧段的进给控制线分别为 12 条,由帽形件的外侧向中心处分别为 1 ~ 12 号。

[0069] II 圆弧与竖直边分界线的划线。分别以设计的帽形件两侧圆弧段的弧长中的最后一条进给控制线作为帽形件两侧圆弧与竖直边分界线的控制线。以得到的两侧圆弧与竖直边分界线的划线为基准,分别向板料中心移动,所移动的距离与设计的帽形件竖直边的长度相同。在此划线,得到两条帽形件竖直边与中间圆弧分界线的进给控制线。

[0070] III 帽形件中间圆弧段的划线。根据设计的帽形件中间圆弧段的弧长,在板料的中部完成该帽形件中间圆弧段的划线。具体是,分别以得到的帽形件竖直边与中间圆弧分界线的控制线为基准,向板料中心移 5mm 并划线,得到两条帽形件对称中心处圆弧的第一条进给控制线;以所述两条帽形件对称中心处圆弧的第一条进给控制线为基准,继续向板料中心移 5mm 并划线,得到两条帽形件对称中心处圆弧的第二条进给控制线;依此类推,依次完成板料帽形件中间圆弧段的划线。

[0071] 本实施例中,帽形件中间圆弧段的进给控制线分别为 19 条,由帽形件中间圆弧段的一侧向另一侧依次编号为 1 ~ 19 号。

[0072] 将完成划线后的板料安放到安装好的模具上。

[0073] 第三步,启动折弯机进行渐进折弯成形,在进行渐进折弯时按照确定的下压量对板料控制线处进行折弯。进行折弯时,先分别折弯钛合金板两侧圆弧,再折该弯钛合金板中间圆弧。

[0074] 首先对钛合金板一侧的圆弧段折弯成形。按照该侧圆弧段中各进给控制线的编号顺序下压。凸模下压时,该凸模弧形顶点处与所下压的进给控制线重合。凸模下压,完成对编号为 1 的进给控制线的折弯成形。完成第一条控制线折完后,板料进给 5mm,使凸模弧形顶点处与编号为 2 的进给控制线重合,凸模下压完成对编号为 2 的进给控制线的折弯成形。依此方法,依次完成对该侧 12 条进给控制线的折弯成形。

[0075] 调整钛合金板方向,按照所述对钛合金板圆弧段折弯成形的方法,对钛合金板另一侧的圆弧段折弯成形,直至依次完成对该侧 12 条进给控制线的折弯成形。

[0076] 在上述对钛合金板两侧的圆弧段折弯成形中,凸模下压量为 1.72mm,凸模向下的进给速度为 0.1mm/s。

[0077] 当完成钛合金板两侧的圆弧段折弯成形后,对钛合金板中间圆弧段折弯成形。具体是:

[0078] 移动钛合金板,使凸模弧形顶点处与所述一侧竖直边与中间圆弧分界线处的进给控制线重合;所移动的距离为帽形件竖直边的长度。凸模下压,完成对该竖直边与中间圆弧分界线处的折弯成形。完成对所述竖直边与中间圆弧分界线处的折弯成形后,板料进给 5mm,使凸模弧形顶点处与钛合金板中间圆弧段编号为 1 的进给控制线重合,凸模下压完成对该进给控制线的折弯成形。完成对所述钛合金板中间圆弧段编号为 1 的进给控制线折弯成形后,板料进给 5mm,使凸模弧形顶点处与钛合金板中间圆弧段编号为 2 的进给控制线重合,凸模下压完成对该进给控制线的折弯成形。依此方法,依次完成对钛合金板中间圆弧段 19 条进给控制线的折弯成形。

[0079] 当完成对钛合金板中间圆弧段 19 条进给控制线的折弯成形后,板料进给 5mm,使凸模弧形顶点处与钛合金板中间圆弧段的中间圆弧与竖直边分界线处的进给控制线重合。凸模下压,完成对该进给控制线的折弯成形。

[0080] 至此完成对帽形件的渐进折弯成形。

[0081] 在上述对钛合金板中间圆弧段折弯成形中,凸模下压量为 2.83mm,凸模向下的进给速度为 0.1mm/s。

[0082] 第四步,关闭折弯机,取下折弯零件,测量成精度,与标准芯模进行对比,对折弯件圆弧部分进行精修完成零件的最终成品。

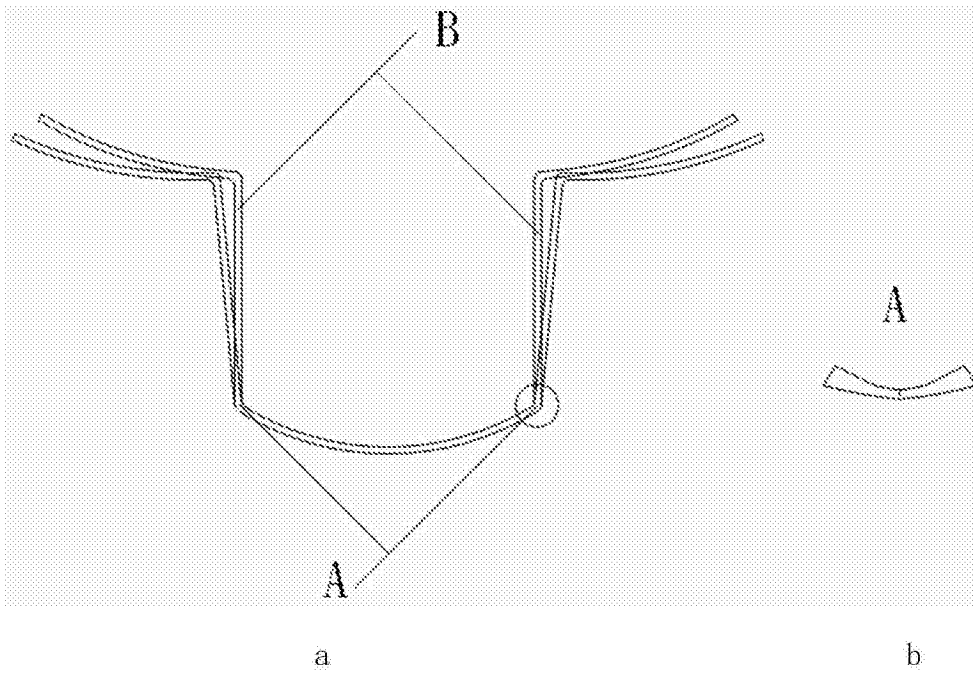


图 1

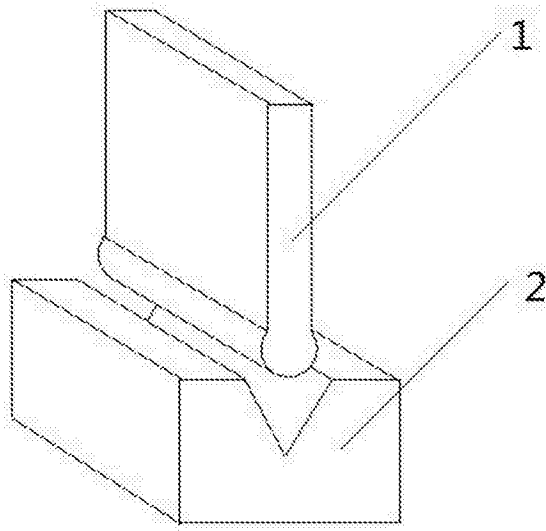


图 2

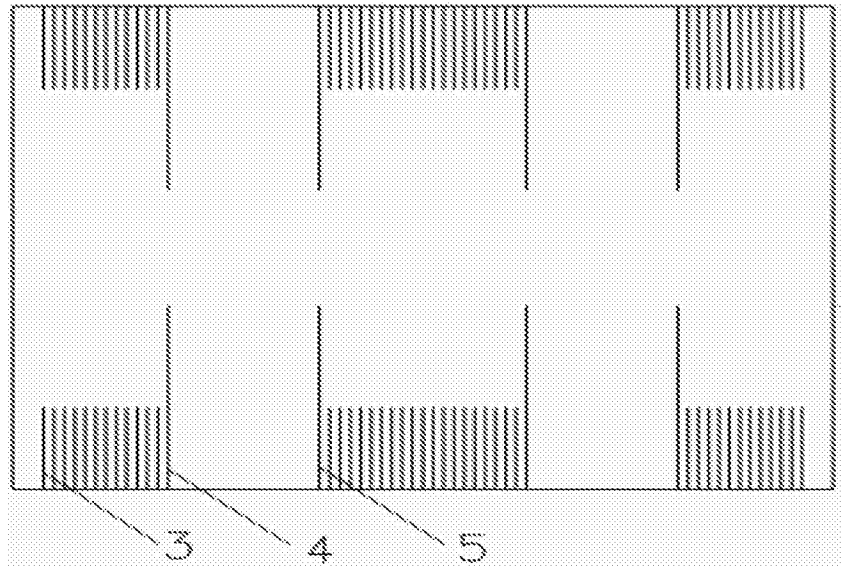
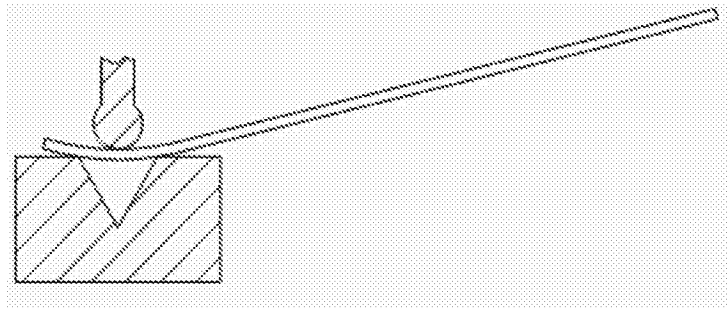
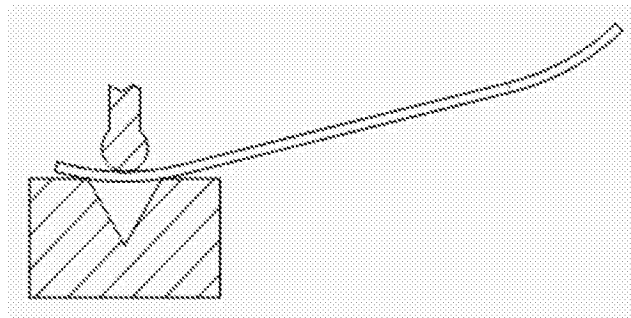


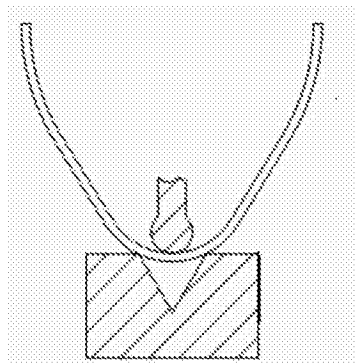
图 3



a



b



c

图 4

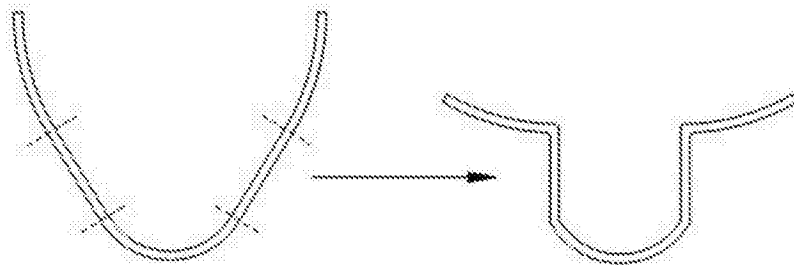


图 5

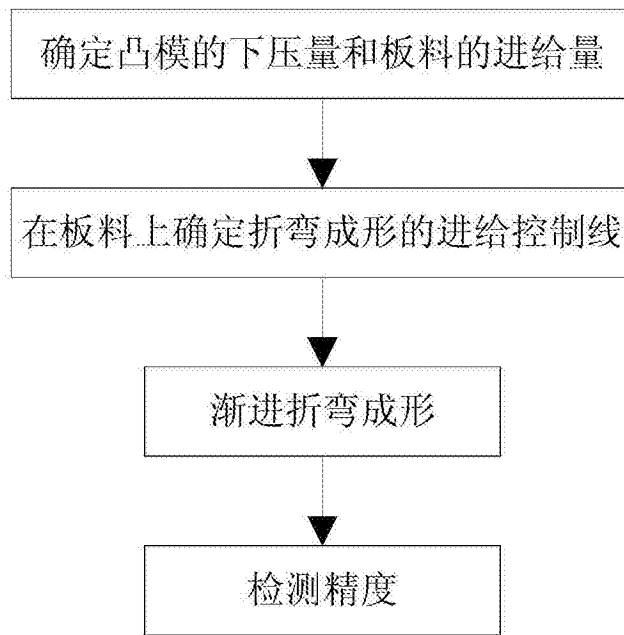


图 6

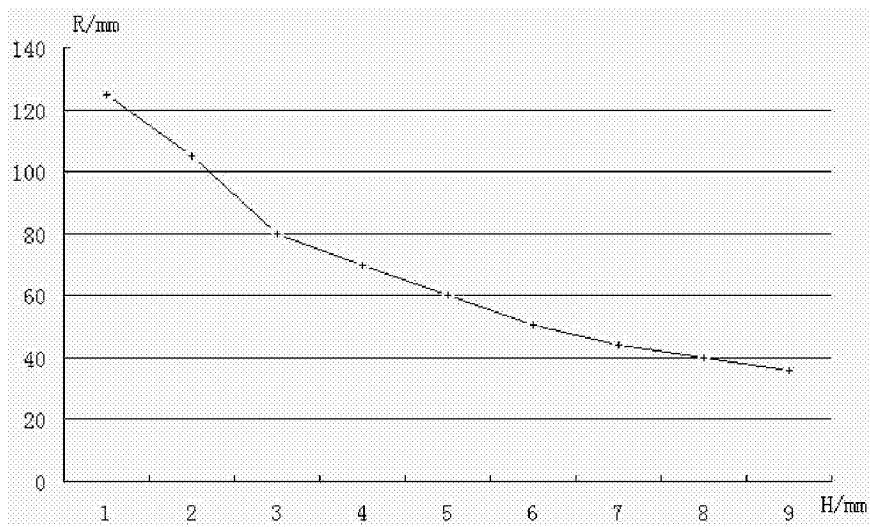


图 7