



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 102357531 B

(45) 授权公告日 2013. 10. 02

(21) 申请号 201110316377. 4

审查员 李静

(22) 申请日 2011. 10. 18

(73) 专利权人 武汉理工大学

地址 430070 湖北省武汉市洪山区珞狮路  
122 号

(72) 发明人 钱东升 华林 张志强

(74) 专利代理机构 湖北武汉永嘉专利代理有限  
公司 42102

代理人 唐万荣

(51) Int. Cl.

B21B 19/04 (2006. 01)

B21B 27/02 (2006. 01)

B21B 25/00 (2006. 01)

B21B 37/46 (2006. 01)

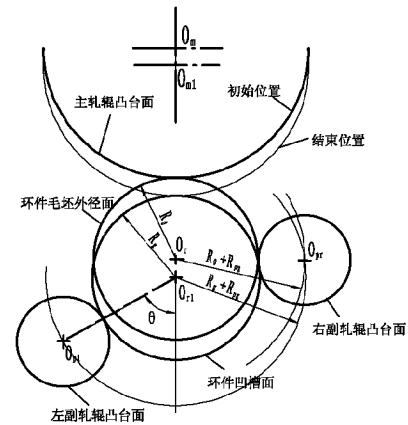
权利要求书3页 说明书8页 附图2页

(54) 发明名称

一种厚壁深槽环件复合轧制成形工艺

(57) 摘要

本发明涉及一种厚壁深槽环件复合轧制成形工艺,其特征在于它包括如下内容:(1) 环件毛坯设计:基于体积不变原理,根据环件尺寸和轧制比,确定环件毛坯尺寸;(2) 孔型设计:根据环件轧制变形条件和设备结构要求先设计主轧辊和芯辊工作面尺寸,再根据环件毛坯、环件和主轧辊尺寸,确定副轧辊工作面尺寸和位置;(3) 成形参数设计:根据环件轧制变形条件和主轧辊尺寸依次设计主轧辊转速、主轧辊进给速度和轧制时间;(4) 轧制成形。通过本发明,能够实现厚壁深槽环件复合轧制成形工艺合理设计,保障厚壁深槽环件正常稳定轧制成形,降低轧制废、次品率,以实现双联齿轮、双边法兰、双边支重轮轮体、高压球阀体等机械零件节能节材优质高效成形制造。



1. 一种厚壁深槽环件复合轧制成形工艺,其特征在于它包括如下步骤:

(1)制坯:将棒料段从室温均匀加热到热变形温度,然后将热态的棒料段镦粗、冲孔、冲连皮,并去应力退火,制成轧制用环件毛坯;

环件毛坯形状设计为矩形截面,环件毛坯尺寸设计过程如下:

a) 计算环件体积

$$V = \frac{\pi}{4} [(D_1^2 - d^2)h_1 + (D_g^2 - d^2)h_g + (D_2^2 - d^2)h_2]$$

$D_1$ 、 $D_g$ 、 $D_2$ 、 $d$  分别为环件上台阶直径、凹槽直径、下台阶直径和内径,  $h_1$ 、 $h_g$ 、 $h_2$  分别为环件上台阶高度、凹槽高度和下台阶高度;

b) 确定轧制比  $k$

轧制比  $k$  为环件内径与环件毛坯内径之比,即  $k = d/d_0$ , 其中  $d_0$  为环件毛坯内径;  $k$  取 1.2 ~ 1.5;

c) 确定环件毛坯高度  $h_0$

采用闭式孔型轧制,取环件毛坯高度  $h_0$  与环件高度  $h$  相等,  $h = h_1 + h_g + h_2$ ;

d) 确定环件毛坯内径  $d_0$  和环件毛坯外径  $D_0$

基于塑性变形体积不变原理,根据轧制比  $k$  和环件毛坯高度  $h_0$ ,确定环件毛坯内径  $d_0$  和外径  $D_0$  为

$$d_0 = d/k,$$

$$D_0 = \sqrt{\frac{(D_1^2 - d^2)h_1 + (D_g^2 - d^2)h_g + (D_2^2 - d^2)h_2}{h_1 + h_g + h_2} + \frac{d^2}{k^2}};$$

(2) 轧制孔型设计

厚壁深槽环件复合轧制孔型包括轧制环件轧制阶段和三辊横轧阶段,轧制环件轧制阶段由主轧辊和芯辊构成的孔型,三辊横轧阶段由主轧辊和两个副轧辊构成的孔型;轧制环件轧制阶段和三辊横轧阶段轧制孔型均设计为闭式孔型;主轧辊和两个副轧辊工作面型腔与环件截面形状相对应,芯辊工作面为圆柱面;主轧辊和芯辊尺寸设计如下:

a) 主轧辊和芯辊工作面尺寸

主轧辊和芯辊尺寸设计应满足以下条件

①主轧辊和芯辊的工作面半径  $R_{m2}$  和  $R_1$  应满足下述公式,

$$\frac{1}{R_{m2}} + \frac{1}{R_1} \leq \frac{17.5\beta}{H_0}$$

式中,  $R_{m2}$  为主轧辊下型腔面半径,  $R_1$  为芯辊工作面半径;  $\beta = \arctan \mu$  为摩擦角,  $\mu$  为摩擦系数,对于钢环件,  $\mu$  通常取 0.3 ~ 0.35,  $H_0 = (D_0 - d_0)/2$ ,  $H_0$  为环件毛坯壁厚;

②芯辊工作面半径设计为

$$R_i = d_0/2 - 3 \sim 5\text{mm};$$

③根据轧环机设备结构要求,主轧辊和芯辊的闭合中心距应在轧环机极限闭合中心距范围内;主轧辊和芯辊闭合时的最小型腔宽度不应超过环件的最大壁厚,通常定为

$$R_{m2} + R_i + B_{m2} + B_i = \frac{L_{\max} + L_{\min}}{2}, \quad B_{m2} + B_i = H_2^{-1} \sim 2\text{mm};$$

式中,  $L_{\max}$  和  $L_{\min}$  为轧环机允许的最大和最小闭合中心距;  $B_{m2}$  为主轧辊下型腔宽度,  $B_i$  为芯辊型腔宽度;  $H_2 = (D_2 - d)/2$  为环件最大壁厚;

根据①、②、③条件确定  $R_{m2}$ 、 $R_i$ 、 $B_{m2}$ 、 $B_i$  后,根据几何关系进一步确定主轧辊上型腔面半径  $R_{m1}$ 、凸台面半径  $R_{mg}$  和上型腔宽度  $B_{m1}$  如下

$$R_{m1} = R_{m2} + (D_2 - D_1)/2, \quad R_{mg} = R_{m2} + (D_2 - D_g)/2, \quad B_{m1} = B_{m2} - (D_2 - D_1)/2$$

根据环件上台阶高度  $h_1$ 、凹槽高度  $h_g$  和下台阶高度  $h_2$  确定主轧辊上型腔高度  $h_{m1}$ 、凸台高度  $h_{mg}$ 、下型腔高度  $h_{m2}$  以及芯辊型腔高度  $h_i$  为

$$h_{m1} = h_1 + 0.3 \sim 0.5\text{mm}, \quad h_{mg} = h_g, \quad h_{m2} = h_2 + 0.3 \sim 0.5\text{mm}, \quad h_i = h_{m1} + h_{mg} + h_{m2};$$

主轧辊上侧壁高度、下侧壁高度  $h_{mu}$ 、 $h_{md}$  与芯辊上侧壁高度、下侧壁高度  $h_{iu}$ 、 $h_{id}$  分别相同;

#### b) 副轧辊工作面尺寸和位置

两个副轧辊设计为一样;副轧辊工作面半径根据设备空间尺寸确定,以保证副轧辊方便安装且不与设备其他部件发生干涉,设计副轧辊凸台面半径为

$$R_{pg} \approx 1/3 \sim 1/5 R_{mg}$$

$R_{pg}$  确定后,根据几何关系确定副轧辊下型腔面半径  $R_{p2} = R_{pg} - (D_2 - D_g)/2$ ,副轧辊上型腔面半径  $R_{p1} = R_{pg} - (D_1 - D_g)/2$ ;

副轧辊上型腔宽度  $B_{p1} = B_{m1}$ ,副轧辊下型腔宽度  $B_{p2} = B_{m2}$ ,副轧辊上侧壁高度  $h_{pu} = h_{mu}$ ,副轧辊下侧壁高度  $h_{pd} = h_{md}$ ,副轧辊上型腔高度  $h_{p1} = h_{m1}$ ,副轧辊凸台高度  $h_{pg} = h_{mg}$ ,副轧辊下型腔高度  $h_{p2} = h_{m2}$ ;

当环件毛坯、主轧辊和副轧辊工作面尺寸确定后,通过几何关系作图,确定左副轧辊、右副轧辊圆心位置,首先根据环件毛坯外径面、环件凹槽面和主轧辊凸台面几何关系作图确定轧制结束时主轧辊圆心位置  $O_{m1}$  和厚壁深槽环件圆心位置  $O_{r1}$ ,  $O_m$  表示主轧辊初始圆心位置;右副轧辊的凸台面整个轧制过程一直与环件接触,在轧制开始时与环件毛坯外径面接触,在轧制结束时与环件凹槽面接触,则以环件毛坯圆心位置  $O_r$  为圆心、环件毛坯外半径与右副轧辊凸台面半径之和  $R_0 + R_{pg}$  为半径作圆;以  $O_{r1}$  为圆心、环件凹槽面半径与副轧辊凸台面半径之和  $R_g + R_{pg}$  为半径作圆,两圆交点即为右副轧辊圆心  $O_{pr}$ ;左副轧辊 5 凸

台面轧制结束时与环件凹槽面接触,确定左副轧辊圆心位置需先确定左副轧辊圆心和环件圆心连线与竖直线夹角 $\theta$ ;  $\theta$ 角为 $45^\circ \sim 60^\circ$ ;  $\theta$ 角确定后,根据几何关系作图,确定左副轧辊圆心位置 $O_m$ ;

### (3) 成形参数设计

成形参数包括主轧辊转速、主轧辊进给速度、轧制时间,设计如下:

#### a) 主轧辊转速 $n_m$

主轧辊线速度 $V_m$ 取 $1.1 \sim 1.3\text{m/s}$ ;根据主轧辊凸台面半径 $R_{mg}$ ,计算主轧辊转速为 $n_m = V_m / 2\pi R_{mg}$ ;

#### b) 主轧辊进给速度 $v$

主轧辊进给速度按下式设计

$$v = 0.1 \sim 0.2 \frac{\beta^2 n_m R_{mg}^2}{30 R_0 (1 + \frac{R_{mg}}{R_i})^2} (1 + \frac{R_{mg}}{R_i} + \frac{R_{mg}}{R_0} - \frac{R_{mg}}{r_0})$$

其中, $r_0 = d_0/2$ 、 $R_0 = D_0/2$ 分别为环件毛坯内半径、外半径;

#### c) 轧制时间

轧制过程采用匀速进给,轧制时间 $T$ 确定为 $T = \Delta h / v$ ,其中 $\Delta h$ 为轧制总进给量,根据几何关系确定为

$$\Delta h = H_0 - \frac{D_g - d}{2};$$

(4) 环件轧制成形:按上述轧制孔型设计加工主轧辊、芯辊、左副轧辊和右副轧辊,并将主轧辊、芯辊、左副轧辊和右副轧辊安装于轧制设备内,将加工好的环件毛坯放入轧制设备内,按上述轧制参数轧制成环件。

## 一种厚壁深槽环件复合轧制成形工艺

### 技术领域

[0001] 本发明涉及一种厚壁深槽环件复合轧制成形工艺。

### 背景技术

[0002] 图 1 所示环件几何特征为厚壁（壁厚通常大于内孔半径）、小孔径、表面有深凹槽（槽深通常占壁厚四分之一以上），称为厚壁深槽环件（本发明简称为环件）。工程常用的双联齿轮、双边法兰、双边支重轮体、高压球阀体等机械零件均属于此类环件。此类环件表面深槽难以通过模锻直接成形，通常是先采用模锻简单成形，再经切削加工到成品尺寸。这种加工工艺能耗高、材料利用率低，后续切削加工不仅消耗工时且切断了环件金属纤维流线，导致生产效率低、产品性能差。

[0003] 环件复合轧制是通过连续回转塑性变形而成形厚壁深槽环件的一种塑性加工新方法，其原理如图 2 所示。图 2 中，主轧辊 1 同时作主动旋转运动和向下直线进给运动，芯辊 2 和右副轧辊 4、左副轧辊 5 为空转辊，在环件带动下作被动旋转运动，整个变形过程可分为两个阶段：(a) ~ (b) 为环件轧制阶段，主轧辊 1、芯辊 2、右副轧辊 4 与环件毛坯 3 构成普通环件轧制变形模式，环件毛坯在主轧辊 1 和芯辊 2 组成的孔型中产生连续局部塑性变形而减薄壁厚、扩大直径，右副轧辊 4 保证了环件变形过程的稳定性。(b) ~ (c) 为三辊横轧阶段：当环件毛坯外径扩大至与左副轧辊 5 接触后，主轧辊 1 和右副轧辊 4、左副轧辊 5 与环件毛坯 3 构成三辊横轧变形模式，主轧辊 1 与右副轧辊 4、左副轧辊 5 对环件毛坯的三点旋转轧制限制了其直径扩大，迫使环件毛坯表面金属填充轧辊型腔，环件毛坯在主轧辊 1 和右副轧辊 4、左副轧辊 5 构成的孔型中产生连续局部塑性变形而成形凹槽，当环件毛坯金属充满轧辊型腔时，凹槽完全成形，整个变形过程结束。环件复合轧制通过普通环件轧制变形与三辊横轧变形的结合，使环件同时获得精确的外径尺寸和表面深槽，突破了普通环件轧制方法只适用于截面形状简单的薄壁大孔环件成形的局限，并具有能耗低、材料利用率高、生产效率高、产品质量好等众多技术经济优点。然而，环件复合轧制成形是一个复杂的变形过程，工艺参数多，各参数对轧制变形影响不同且相互影响，轧制中容易产生各种轧制缺陷，形成废、次品。因此，合理的工艺参数设计对厚壁深槽环件正常稳定轧制成形至关重要。

### 发明内容

[0004] 本发明的目的在于提供一种厚壁深槽环件复合轧制成形工艺，该工艺可保障轧制过程稳定进行和环件正常成形，可有效降低轧制成形环件废、次品率。

[0005] 为了实现上述目的，本发明的技术方案是：一种厚壁深槽环件复合轧制成形工艺，其特征在于它包括如下步骤：

[0006] (1) 制坯：将棒料段从室温均匀加热到热变形温度，然后将热态的棒料段镦粗、冲孔、冲连皮，并去应力退火，制成轧制用环件毛坯；

[0007] 环件毛坯形状设计为矩形截面，环件毛坯尺寸设计过程如下：

[0008] a) 计算环件体积  $V$

$$[0009] \quad V = \frac{\pi}{4} \left[ (D_1^2 - d^2)h_1 + (D_g^2 - d^2)h_g + (D_2^2 - d^2)h_2 \right]$$

[0010]  $D_1$ 、 $D_g$ 、 $D_2$ 、 $d$  分别为环件上台阶直径、凹槽直径、下台阶直径和内径,  $h_1$ 、 $h_g$ 、 $h_2$  分别为环件上台阶高度、凹槽高度和下台阶高度;

[0011] b) 确定轧制比  $k$

[0012] 轧制比  $k$  为环件内径与环件毛坯内径之比, 即  $k = d/d_0$ , 其中  $d_0$  为环件毛坯内径; 轧制比反映了环件毛坯变形程度, 轧制比越大, 环件毛坯变形量越大; 由于厚壁深槽环件壁厚大、内径小, 若  $k$  越大, 则环件毛坯壁厚越大、内径越小, 轧制中环件毛坯截面不易被塑性穿透而产生均匀变形, 而且穿入环件毛坯的芯辊直径越小、强度越低; 因此, 为了使环件毛坯能够产生均匀塑性变形, 同时保证芯辊强度, 防止其轧制断裂,  $k$  取 1.2 ~ 1.5 较合适;

[0013] c) 确定环件毛坯高度  $h_0$

[0014] 采用闭式孔型轧制, 取环件毛坯高度  $h_0$  与环件高度  $h$  相等,  $h = h_1 + h_g + h_2$ ;

[0015] d) 确定环件毛坯内径  $d_0$  和环件毛坯外径  $D_0$

[0016] 基于塑性变形体积不变原理, 根据轧制比  $k$  和环件毛坯高度  $h_0$ , 可确定环件毛坯内径  $d_0$  和外径  $D_0$  为

$$[0017] \quad d_0 = d/k,$$

$$[0018] \quad D_0 = \sqrt{\frac{(D_1^2 - d^2)h_1 + (D_g^2 - d^2)h_g + (D_2^2 - d^2)h_2}{h_1 + h_g + h_2} + \frac{d^2}{k^2}};$$

[0019] (2) 轧制孔型设计

[0020] 厚壁深槽环件复合轧制孔型包括轧制环件轧制阶段和三辊横轧阶段, 轧制环件轧制阶段由主轧辊和芯辊构成的孔型, 三辊横轧阶段由主轧辊和两个副轧辊构成的孔型; 为了防止环件毛坯在轧制过程中因轴向金属流动产生端面凹陷, 两阶段轧制孔型均设计为闭式孔型; 主轧辊和两个副轧辊工作面型腔与环件截面形状相对应, 芯辊工作面为圆柱面; 轧辊尺寸设计如下:

[0021] a) 主轧辊和芯辊工作面尺寸

[0022] 主轧辊和芯辊尺寸设计应满足以下条件

[0023] ①为了使环件毛坯在轧制中能够咬入由主轧辊和芯辊构成的孔型并被塑性穿透而产生连续轧制变形, 则主轧辊和芯辊的最小工作面半径  $R_{m2}$  和  $R_i$  应满足下述公式,

$$[0024] \quad \frac{1}{R_{m2}} + \frac{1}{R_i} \leq \frac{17.5\beta}{H_0}$$

[0025] 式中,  $R_{m2}$  为主轧辊下型腔面半径 (即主轧辊最小工作面半径),  $R_i$  为芯辊工作面半径;  $\beta = \arctan \mu$  为摩擦角,  $\mu$  为摩擦系数, 对于钢环件,  $\mu$  通常取 0.3 ~ 0.35,  $H_0 = (D_0 - d_0)/2$ ,  $H_0$  为环件毛坯壁厚;

[0026] ②为了保证芯辊强度并能够顺利穿入环件毛坯, 芯辊工作面直径一般设计为

$$[0027] \quad R_i = d_0/2 - 3 \sim 5 \text{mm};$$

[0028] ③根据轧环机设备结构要求, 主轧辊和芯辊的闭合中心距应在轧环机极限闭合中心距范围内; 主轧辊和芯辊闭合时的最小型腔宽度 ( $B_{m2}$  和  $B_i$ ) 不应超过环件的最大壁厚, 通常定为

[0029]  $R_{m2} + R_i + B_{m2} + B_i = \frac{L_{\max} + L_{\min}}{2}$ ,  $B_{m2} + B_i = H_2 - 1 \sim 2\text{mm}$ ;

[0030] 式中,  $L_{\max}$  和  $L_{\min}$  为轧环机允许的最大和最小闭合中心距;  $B_{m2}$  为主轧辊下型腔宽度,  $B_i$  为芯辊型腔宽度;  $H_2 = (D_2 - d)/2$  为环件最大壁厚;

[0031] 根据①、②、③条件确定  $R_{m2}$ 、 $R_i$ 、 $R_{m2}$ 、 $B_i$  后, 根据几何关系可进一步确定主轧辊上型腔面半径  $R_{m1}$ 、凸台面半径  $R_{mg}$  和上型腔宽度  $B_{m1}$  如下

[0032]  $R_{m1} = R_{m2} + (D_2 - D_1)/2$ ,  $R_{mg} = R_{m2} + (D_2 - D_g)/2$ ,  $B_{m1} = B_{m2} - (D_2 - D_1)/2$

[0033] 为了保证成形环件截面尺寸精度, 根据环件上台阶高度  $h_1$ 、凹槽高度  $h_g$  和下台阶高度  $h_2$  可确定主轧辊上型腔高度  $h_{m1}$ 、凸台高度  $h_{mg}$ 、下型腔高度  $h_{m2}$  以及芯辊型腔高度  $h_i$

[0034]  $h_{m1} = h_1 + 0.3 \sim 0.5\text{mm}$ ,  $h_{mg} = h_g$ ,  $h_{m2} = h_2 + 0.3 \sim 0.5\text{mm}$ ,  $h_i = h_{m1} + h_{mg} + h_{m2}$ ;

[0035] 为了保证孔型对应, 主轧辊上侧壁高度、下侧壁高度  $h_{mu}$ 、 $h_{md}$  与芯辊上侧壁高度、下侧壁高度  $h_{iu}$ 、 $h_{id}$  分别相同, 其大小可根据设备具体安装尺寸确定;

[0036] b) 副轧辊工作面尺寸和位置

[0037] 两个副轧辊设计为一样; 副轧辊工作面半径通常根据设备空间尺寸确定, 以保证副轧辊方便安装且不与设备其他部件发生干涉, 通常设计副轧辊凸台面半径为

[0038]  $R_{pg} \approx 1/3 \sim 1/5 R_{mg}$

[0039]  $R_{pg}$  确定后, 根据几何关系可确定副轧辊下型腔面半径  $R_{p2} = R_{pg} - (D_2 - D_g)/2$ , 副轧辊上型腔面半径  $R_{p1} = R_{pg} - (D_1 - D_g)/2$ ;

[0040] 为保证孔型对应, 可确定

[0041] 副轧辊上型腔宽度  $B_{p1} = B_{m1}$ , 副轧辊下型腔宽度  $B_{p2} = B_{m2}$ , 副轧辊上侧壁高度  $h_{pu} = h_{mu}$ , 副轧辊下侧壁高度  $h_{pd} = h_{md}$ , 副轧辊上型腔高度  $h_{p1} = h_{m1}$ , 副轧辊凸台高度  $h_{pg} = h_{mg}$ , 副轧辊下型腔高度  $h_{p2} = h_{m2}$ ;

[0042] 当环件毛坯、主轧辊和副轧辊工作面尺寸确定后, 通过几何关系作图, 可确定左副轧辊、右副轧辊圆心位置, 首先根据环件毛坯外径面、环件凹槽面 (即成品的凹槽面) 和主轧辊凸台面几何关系作图可确定轧制结束时主轧辊圆心位置  $O_{m1}$  和厚壁深槽环件圆心位置  $O_{r1}$ ,  $O_m$  表示主轧辊初始圆心位置; 右副轧辊 4 的凸台面整个轧制过程一直与环件接触, 在轧制开始时与环件毛坯外径面接触, 在轧制结束时与环件凹槽面接触, 则以环件毛坯圆心位置  $O_r$  为圆心、环件毛坯外半径与右副轧辊凸台面半径之和  $R_0 + R_{pg}$  为半径作圆; 以  $O_{r1}$  为圆心、环件凹槽面半径与副轧辊凸台面半径之和  $R_g + R_{pg}$  为半径作圆, 两圆交点即为右副轧辊圆心  $O_{pr}$ ; 左副轧辊 5 凸台面轧制结束时与环件凹槽面接触, 确定左副轧辊圆心位置需先确定左副轧辊圆心和环件圆心连线与竖直线夹角  $\theta$ ; 考虑到立式轧制环件自身重力, 为了起到较好的支撑环件和成形作用,  $\theta$  角可设计为  $45^\circ \sim 60^\circ$ ;  $\theta$  角确定后, 根据几何关系作图即可确定左副轧辊圆心位置  $O_{pl}$ 。

[0043] (3) 成形参数设计

[0044] 成形参数包括主轧辊转速、主轧辊进给速度、轧制时间, 设计如下:

[0045] a) 主轧辊转速  $n_m$

[0046] 为了保证环件稳定轧制, 主轧辊线速度  $V_m$  通常取  $1.1 \sim 1.3\text{m/s}$ ; 根据主轧辊工作面半径  $D_{mg}$ , 可计算主轧辊转速为  $n_m = V_m / 2\pi R_{mg}$ ;

[0047] b) 主轧辊进给速度  $v$

[0048] 为了保证环件毛坯能够咬入由主轧辊和芯辊构成的孔型并被塑性穿透而产生连续轧制变形,主轧辊进给速度通常按下式设计

$$[0049] \quad v = 0.1 \sim 0.2 \frac{\beta^2 n_m R_{mg}^2}{30 R_0 (1 + \frac{R_{mg}}{R_i})^2} (1 + \frac{R_{mg}}{R_i} + \frac{R_{mg}}{R_0} - \frac{R_{mg}}{r_0})$$

[0050] 其中,  $r_0 = d_0/2$ 、 $R_0 = D_0/2$  分别为环件毛坯内半径、外半径;

[0051] c) 轧制时间

[0052] 轧制过程采用匀速进给,轧制时间  $T$  可确定为  $T = \Delta h/v$ ,其中  $\Delta h$  为轧制总进给量,根据几何关系可确定为

$$[0053] \quad \Delta h = H_0 - \frac{D_g - d}{2};$$

[0054] (4) 环件轧制成形:按上述环件毛坯设计下料制坯,按上述轧制孔型设计加工主轧辊、芯辊、左副轧辊和右副轧辊,并将主轧辊、芯辊、左副轧辊和右副轧辊安装于轧制设备内,将加工好的环件毛坯放入轧制设备内,按上述轧制参数轧制成环件。

[0055] 环件复合轧制成形是一种厚壁深槽环件回转塑性加工新方法,具有节能、节材、高效、优质等优点。可实现双联齿轮、双边法兰、双边支重轮轮体、高压球阀体等机械零件节能节材优质高效成形制造。

[0056] 本发明的有益效果是:采用本发明厚壁深槽环件复合轧制工艺,可实现厚壁深槽环件复合轧制工艺参数合理设计,保障轧制过程稳定进行和环件正常成形,有效降低了轧制成形环件废、次品率。

#### 附图说明

[0057] 图 1 是厚壁深槽环件截面示意图;

[0058] 图 2 是厚壁深槽环件复合轧制成形原理图;

[0059] 1- 主轧辊,2- 芯辊,3- 环件毛坯,4- 右副轧辊(第一副轧辊),5- 左副轧辊(第二副轧辊),6- 成形环件;

[0060] 图 3 是厚壁深槽环件复合轧制用环件毛坯截面示意图;

[0061] 图 4(a) 是主轧辊的结构示意图;

[0062] 图 4(b) 是芯辊的结构示意图;

[0063] 图 4(c) 是副轧辊(右副轧辊、左副轧辊)的结构示意图;

[0064] 图 5 是右副轧辊 4、左副轧辊 5 位置确定示意图。

#### 具体实施方式

[0065] 一种厚壁深槽环件复合轧制成形工艺,它包括如下步骤:

[0066] (1) 制坯:将棒料段从室温均匀加热到热变形温度,然后将热态的棒料段镦粗、冲孔、冲连皮,并去应力退火,制成轧制用环件毛坯;

[0067] 环件毛坯形状设计为矩形截面,环件毛坯尺寸设计过程如下:

[0068] a) 计算环件体积  $V$

$$[0069] \quad V = \frac{\pi}{4} [(D_1^2 - d^2)h_1 + (D_g^2 - d^2)h_g + (D_2^2 - d^2)h_2]$$



[0070]  $D_1$ 、 $D_g$ 、 $D_2$ 、 $d$  分别为环件上台阶直径、凹槽直径、下台阶直径和内径,  $h_1$ 、 $h_g$ 、 $h_2$  分别为环件上台阶高度、凹槽高度和下台阶高度;

[0071] b) 确定轧制比  $k$

[0072] 轧制比  $k$  为环件内径与环件毛坯内径之比, 即  $k = d/d_0$ , 其中  $d_0$  为环件毛坯内径; 轧制比反映了环件毛坯变形程度, 轧制比越大, 环件毛坯变形量越大; 由于厚壁深槽环件壁厚大、内径小, 若  $k$  越大, 则环件毛坯壁厚越大、内径越小, 轧制中环件毛坯截面不易被塑性穿透而产生均匀变形, 而且穿入环件毛坯的芯辊直径越小、强度越低; 因此, 为了使环件毛坯能够产生均匀塑性变形, 同时保证芯辊强度, 防止其轧制断裂,  $k$  取 1.2 ~ 1.5 较合适;

[0073] c) 确定环件毛坯高度  $h_0$

[0074] 采用闭式孔型轧制, 取环件毛坯高度  $h_0$  与环件高度  $h$  相等,  $h = h_1 + h_g + h_2$ ;

[0075] d) 确定环件毛坯内径  $d_0$  和环件毛坯外径  $D_0$

[0076] 基于塑性变形体积不变原理, 根据轧制比  $k$  和环件毛坯高度  $h_0$ , 可确定环件毛坯内径  $d_0$  和外径  $D_0$  为

[0077]  $d_0 = d/k$ ,

$$[0078] \quad D_0 = \sqrt{\frac{(D_1^2 - d^2)h_1 + (D_g^2 - d^2)h_g + (D_2^2 - d^2)h_2}{h_1 + h_g + h_2} + \frac{d^2}{k^2}};$$

[0079] (2) 轧制孔型设计

[0080] 厚壁深槽环件复合轧制孔型包括轧制环件轧制阶段和三辊横轧阶段, 轧制环件轧制阶段由主轧辊和芯辊构成的孔型, 三辊横轧阶段由主轧辊和两个副轧辊构成的孔型; 为了防止环件毛坯在轧制过程中因轴向金属流动产生端面凹陷, 两阶段轧制孔型均设计为闭式孔型; 主轧辊和两个副轧辊工作面型腔与环件截面形状相对应, 芯辊工作面为圆柱面; 轧辊尺寸设计如下:

[0081] a) 主轧辊和芯辊工作面尺寸

[0082] 主轧辊和芯辊尺寸设计应满足以下条件

[0083] ①为了使环件毛坯在轧制中能够咬入由主轧辊和芯辊构成的孔型并被塑性穿透而产生连续轧制变形, 则主轧辊和芯辊的最小工作面半径  $R_{m2}$  和  $R_i$  应满足下述公式,

$$[0084] \quad \frac{1}{R_{m2}} + \frac{1}{R_i} \leq \frac{17.5\beta}{H_0}$$

[0085] 式中,  $R_{m2}$  为主轧辊下型腔面半径 (即主轧辊最小工作面半径),  $R_i$  为芯辊工作面半径;  $\beta = \arctan \mu$  为摩擦角,  $\mu$  为摩擦系数, 对于钢环件,  $\mu$  通常取 0.3 ~ 0.35,  $H_0 = (D_0 - d_0)/2$ ,  $H_0$  为环件毛坯壁厚;

[0086] ②为了保证芯辊强度并能够顺利穿入环件毛坯, 芯辊工作面直径一般设计为  $R_i = d_0/2 - 3 \sim 5\text{mm}$ ;

[0087] ③根据轧环机设备结构要求, 主轧辊和芯辊的闭合中心距应在轧环机极限闭合中心距范围内; 主轧辊和芯辊闭合时的最小型腔宽度 ( $B_{m2}$  和  $B_i$ ) 不应超过环件的最大壁厚, 通常定为

$$[0088] \quad R_{m2} + R_i + B_{m2} + B_i = \frac{L_{\max} + L_{\min}}{2}, B_{m2} + B_i = H_2 - 1 \sim 2\text{mm};$$

[0089] 式中,  $L_{\max}$  和  $L_{\min}$  为轧环机允许的最大和最小闭合中心距;  $B_{m2}$  为主轧辊下型腔宽

度,  $B_1$  为芯辊型腔宽度 ;  $H_2 = (D_2-d)/2$  为环件最大壁厚 ;

[0090] 根据①、②、③条件确定  $R_{m2}$ 、 $R_1$ 、 $B_{m2}$ 、 $B_1$  后, 根据几何关系可进一步确定主轧辊上型腔面半径  $R_{m1}$ 、凸台面半径  $R_{mg}$  和上型腔宽度  $B_{m1}$  如下

[0091]  $R_{m1} = R_{m2} + (D_2 - D_1) / 2$ ,  $R_{mg} = R_{m2} + (D_2 - D_g) / 2$ ,  $B_{m1} = B_{m2} - (D_2 - D_1) / 2$

[0092] 为了保证成形环件截面尺寸精度, 根据环件上台阶高度  $h_1$ 、凹槽高度  $h_g$  和下台阶高度  $h_2$  可确定主轧辊上型腔高度  $h_{m1}$ 、凸台高度  $h_{mg}$ 、下型腔高度  $h_{m2}$  以及芯辊型腔高度  $h_i$  为

[0093]  $h_{m1} = h_1 + 0.3 \sim 0.5\text{mm}$ ,  $h_{mg} = h_g$ ,  $h_{m2} = h_2 + 0.3 \sim 0.5\text{mm}$ ,  $h_i = h_{m1} + h_{mg} + h_{m2}$  ;

[0094] 为了保证孔型对应, 主轧辊上侧壁高度、下侧壁高度  $h_{mu}$ 、 $h_{md}$  与芯辊上侧壁高度、下侧壁高度  $h_{iu}$ 、 $h_{id}$  分别相同, 其大小可根据设备具体安装尺寸确定 ;

[0095] b) 副轧辊工作面尺寸和位置

[0096] 两个副轧辊设计为一样 ; 副轧辊工作面半径通常根据设备空间尺寸确定, 以保证副轧辊方便安装且不与设备其他部件发生干涉, 通常设计副轧辊凸台面半径为

[0097]  $R_{pg} \approx 1/3 \sim 1/5 R_{mg}$

[0098]  $R_{pg}$  确定后, 根据几何关系可确定副轧辊下型腔面半径  $R_{p2} = R_{pg} - (D_2 - D_g) / 2$ , 副轧辊上型腔面半径  $R_{p1} = R_{pg} - (D_1 - D_g) / 2$  ;

[0099] 为保证孔型对应, 可确定

[0100] 副轧辊上型腔宽度  $B_{p1} = B_{m1}$ , 副轧辊下型腔宽度  $B_{p2} = B_{m2}$ , 副轧辊上侧壁高度  $h_{pu} = h_{mu}$ , 副轧辊下侧壁高度  $h_{pd} = h_{md}$ , 副轧辊上型腔高度  $h_{p1} = h_{m1}$ , 副轧辊凸台高度  $h_{pg} = h_{mg}$ , 副轧辊下型腔高度  $h_{p2} = h_{m2}$  ;

[0101] 当环件毛坯、主轧辊和副轧辊工作面尺寸确定后, 通过几何关系作图, 可确定左副轧辊、右副轧辊圆心位置, 首先根据环件毛坯外径面、环件凹槽面 (即成品的凹槽面) 和主轧辊凸台面几何关系作图可确定轧制结束时主轧辊圆心位置  $O_{m1}$  和厚壁深槽环件圆心位置  $O_{r1}$ ,  $O_m$  表示主轧辊初始圆心位置 ; 右副轧辊 4 的凸台面整个轧制过程一直与环件接触, 在轧制开始时与环件毛坯外径面接触, 在轧制结束时与环件凹槽面接触, 则以环件毛坯圆心位置  $O_r$  为圆心、环件毛坯外半径与右副轧辊凸台面半径之和  $R_o + R_{pg}$  为半径作圆 ; 以  $O_{r1}$  为圆心、环件凹槽面半径与副轧辊凸台面半径之和  $R_g + R_{pg}$  为半径作圆, 两圆交点即为右副轧辊圆心  $O_{pr}$  ; 左副轧辊 5 凸台面轧制结束时与环件凹槽面接触, 确定左副轧辊圆心位置需先确定左副轧辊圆心和环件圆心连线与竖直线夹角  $\theta$  ; 考虑到立式轧制环件自身重力, 为了起到较好的支撑环件和成形作用,  $\theta$  角可设计为  $45^\circ \sim 60^\circ$  ;  $\theta$  角确定后, 根据几何关系作图即可确定左副轧辊圆心位置  $O_{p1}$ 。

[0102] (3) 成形参数设计

[0103] 成形参数包括主轧辊转速、主轧辊进给速度、轧制时间, 设计如下 :

[0104] a) 主轧辊转速  $n_m$

[0105] 为了保证环件稳定轧制, 主轧辊线速度  $V_m$  通常取  $1.1 \sim 1.3\text{m/s}$  ; 根据主轧辊工作面半径  $D_{mg}$ , 可计算主轧辊转速为  $n_m = V_m / 2 \pi R_{mg}$  ;

[0106] b) 主轧辊进给速度  $v$

[0107] 为了保证环件毛坯能够咬入由主轧辊和芯辊构成的孔型并被塑性穿透而产生连续轧制变形, 主轧辊进给速度通常按下式设计

$$[0108] \quad v = 0.1 \sim 0.2 \frac{\beta^2 n_m R_{mg}^2}{30 R_0 (1 + \frac{R_{mg}}{R_i})^2} (1 + \frac{R_{mg}}{R_i} + \frac{R_{mg}}{R_0} - \frac{R_{mg}}{r_0})$$

[0109] 其中,  $r_0 = d_0/2$ 、 $R_0 = D_0/2$  分别为环件毛坯内半径、外半径;

[0110] c) 轧制时间

[0111] 轧制过程采用匀速进给, 轧制时间  $T$  可确定为  $T = \Delta h/v$ , 其中  $\Delta h$  为轧制总进给量, 根据几何关系可确定为

$$[0112] \quad \Delta h = H_0 - \frac{D_g - d}{2};$$

[0113] (4) 环件轧制成形: 按上述环件毛坯设计下料制坯, 按上述轧制孔型设计加工主轧辊、芯辊、左副轧辊和右副轧辊, 并将主轧辊、芯辊、左副轧辊和右副轧辊安装于轧制设备内, 将加工好的环件毛坯放入轧制设备内, 按上述轧制参数轧制成环件。

[0114] 具体实施例 1:

[0115] 以图 1 所示双联齿轮为具体实施例, 要求轧制成形的环件上台阶直径  $D_1$ 、凹槽直径  $D_g$ 、下台阶直径  $D_2$  和内径  $d$  分别为 248mm、258mm、218mm 和 112mm, 环件上台阶高度  $h_1$ 、凹槽高度  $h_g$  和下台阶高度  $h_2$  分别为 11mm、28mm、11mm, 其复合轧制成形工艺设计方法包括以下步骤:

[0116] (1) 制坯

[0117] 环件毛坯形状为图 3 所示矩形截面环件, 根据环件毛坯尺寸设计方法, 取轧制比  $k$  为 1.3, 设计轧制用环件毛坯外径  $D_0$ 、内径  $d_0$  和高度  $h_0$  分别为 222.86mm、86.15mm 和 50mm。按所设计环件毛坯尺寸, 将棒料段 (具体材料为 GCr15 钢) 从室温均匀加热到高塑性、低抗力的热变形温度 (1100 ~ 1200℃), 然后将热态的棒料段镦粗、冲孔、冲连皮, 并去应力退火, 制成轧制用环件毛坯;

[0118] (2) 轧制孔型设计

[0119] a) 主轧辊和芯辊工作面尺寸

[0120] 根据主轧辊和芯辊尺寸设计原则和设计方法, 设计主轧辊结构如图 4(a) 所示, 主轧辊下型腔面半径  $R_{m2}$ 、上型腔面半径  $R_{m1}$  和凸台面半径  $R_{mg}$  分别为 152.5mm、157.5mm 和 172.5mm, 主轧辊上、下型腔宽度  $B_{m1}$  和  $B_{m2}$  分别为 21mm 和 26mm, 主轧辊上型腔高度  $h_{m1}$ 、凸台高度  $h_{mg}$  和下型腔高度  $h_{m2}$  分别为 11.5mm、28mm 和 11.5mm; 设计芯辊结构如图 4(b) 所示, 芯辊工作面半径  $R_i$  为 40mm、型腔宽度  $B_i$  为 26mm、型腔高度  $h_i$  为 51mm。

[0121] b) 副轧辊工作面尺寸和位置

[0122] 根据副轧辊工作面尺寸设计方法, 设计副轧辊结构如图 4(c) 所示, 副轧辊凸台面直径  $R_{pg}$ 、上型腔面半径  $R_{p1}$ 、下型腔面半径  $R_{p2}$  分别为 55mm、40mm、35mm, 上、下型腔宽度  $B_{p1}$  和  $B_{p2}$  分别为 21mm 和 26mm, 上型腔高度  $h_{p1}$ 、凸台高度  $h_{pg}$  和下型腔高度  $h_{p2}$  分别为 11.5mm、28mm 和 11.5mm。根据所确定上述尺寸, 设计左副轧辊夹角  $\theta$  为 60°, 通过图 5 所示几何关系作图即可确定左、右副轧辊圆心位置。

[0123] (3) 成形参数设计

[0124] a) 主轧辊转速  $n_m$

[0125] 主辊线速度  $V_m$  取 1.3m/s, 根据主轧辊转速设计公式确定主轧辊转速  $n_m$  为 72r/

min。

[0126] b) 主轧辊进给速度  $v$

[0127] 根据主轧辊转速设计公式确定主轧辊进给速度为  $1\text{mm/s}$ 。

[0128] c) 轧制时间  $T$

[0129] 轧制总进给量  $\Delta h$  为  $15.35\text{mm}$ , 根据轧制时间设计公式确定轧制时间  $T$  为  $15.35\text{s}$ 。

[0130] (4) 环件轧制成形: 按上述环件毛坯设计下料制坯, 按上述轧制孔型设计加工轧辊, 并将轧辊安装于轧制设备内, 将加工好的环件毛坯放入轧制设备内, 按上述轧制参数轧制成图 1 所示双联齿轮。

[0131] 按上述方法生产双联齿轮 100 件, 合格率从之前 95% 可提高至 99%。该轧制过程能稳定进行和环件正常成形。

[0132] 双边法兰、双边支重轮轮体或高压球阀体等机械零件轧制成形工艺与上述实例相同, 其效果也相同, 在此不一一列举实施例。

[0133] 本发明各工艺参数的上下限取值、以及其区间值, 都能实现本发明, 在此不一一列举实施例。

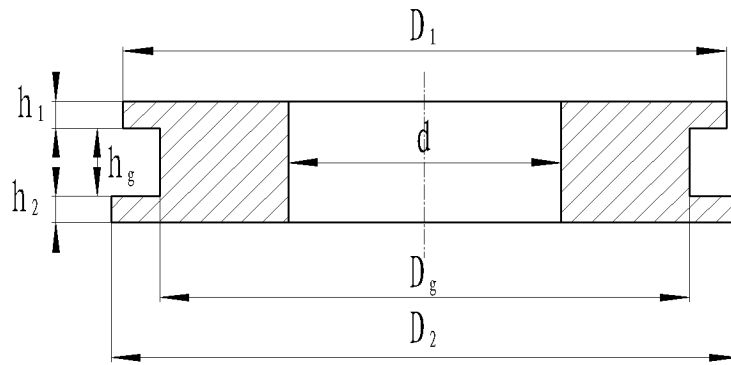


图 1

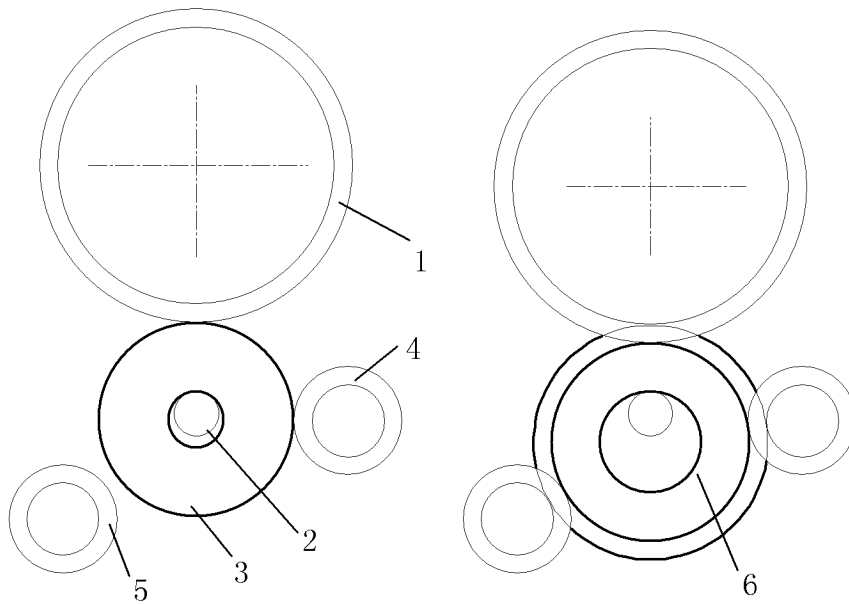


图 2

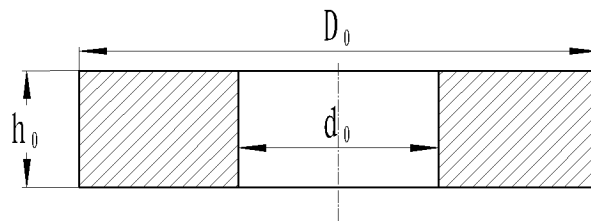


图 3

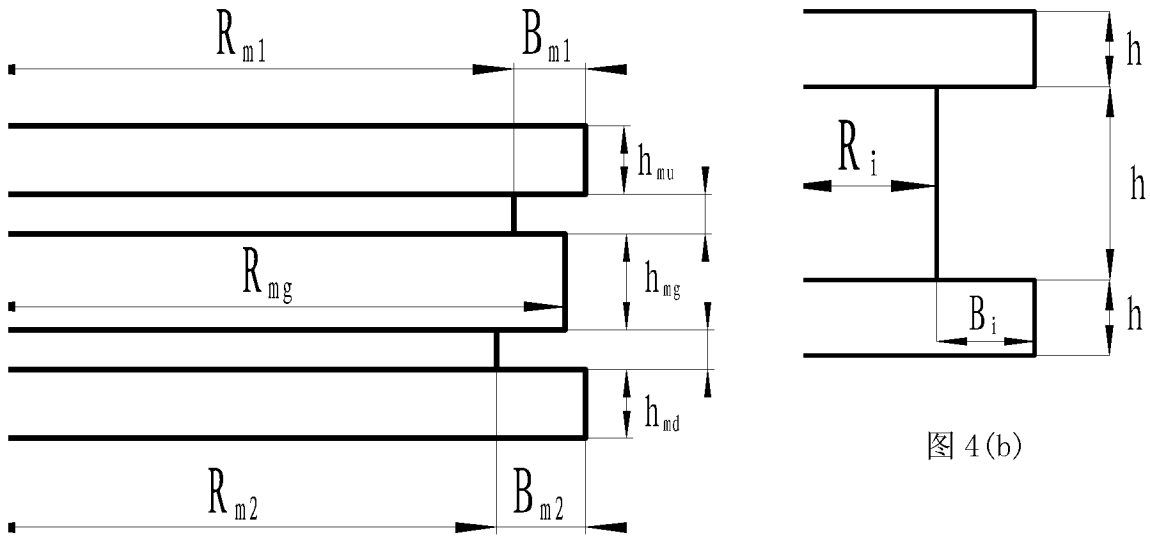


图 4(a)

图 4(b)

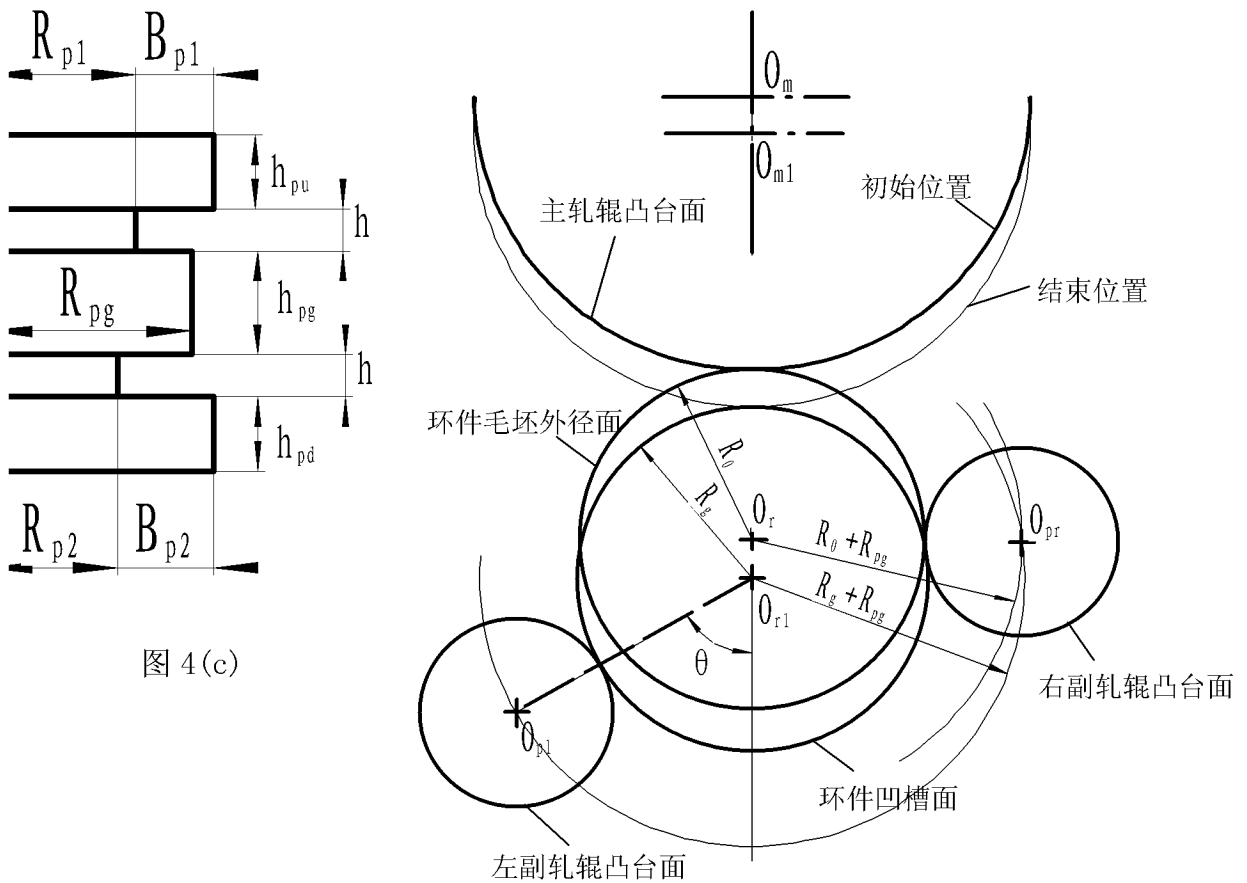


图 4(c)

图 5