



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 110091039 A

(43)申请公布日 2019.08.06

(21)申请号 201910469271.4

(22)申请日 2019.05.31

(71)申请人 山东大学

地址 250061 山东省济南市历下区经十路  
17923号

(72)发明人 孙俊生 温永策 殷宪铎 高进强  
卢庆亮 杨云 郝小东 崔凯

(74)专利代理机构 济南圣达知识产权代理有限  
公司 37221

代理人 李圣梅

(51)Int.Cl.

B23K 9/28(2006.01)

B23K 9/32(2006.01)

B25J 9/16(2006.01)

B25J 11/00(2006.01)

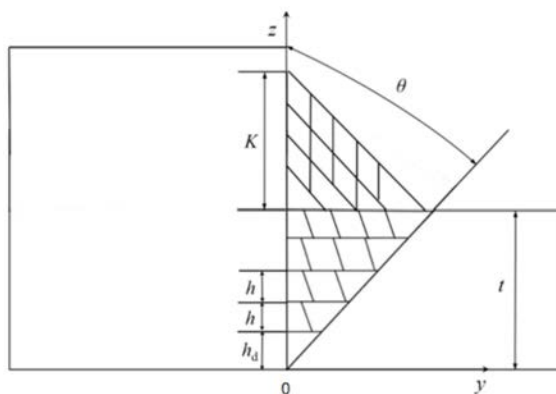
权利要求书3页 说明书9页 附图5页

(54)发明名称

单边V型坡口多层多道焊接路径规划方法及系统

(57)摘要

本公开提出了单边V型坡口多层多道焊接路径规划方法及系统,包括:对右侧开单边V型坡口角接头的焊道排布进行建模;焊道规划采用等高型填充策略,打底焊道横截面以直角三角形拟合,第二层及以上每层第一道焊道采用直角梯形拟合,最后一道采用梯形拟合,其余焊道则以菱形拟合;确定单边V型坡口焊接的层数与道数、焊枪位置、焊枪倾角及焊枪摆幅;基于确定的焊枪姿态进行路径规划,实现对单边V型坡口多层多道的焊接。本公开针对单边V型坡口建立了多层多道焊接路径规划模型,需要用户确定打底焊道与填充焊道的高度,利用模型便可计算出焊枪的位置、姿态、摆幅、焊接工艺参数等结果。



1. 单边V型坡口多层多道焊接路径规划方法,其特征是,包括:

对右侧开单边V型坡口角接头的焊道排布进行建模;

焊道规划采用等高型填充策略,打底焊道横截面以直角三角形拟合,第二层及以上每层第一道焊道采用直角梯形拟合,最后一道采用梯形拟合,其余焊道则以菱形拟合;

确定单边V型坡口焊接的层数与道数、焊枪位置、焊枪倾角及焊枪摆幅;

基于确定的焊枪姿态进行路径规划,实现对单边V型坡口多层多道的焊接。

2. 如权利要求1所述的单边V型坡口多层多道焊接路径规划方法,其特征是,对右侧开单边V型坡口角接头的焊道排布进行建模,具体为:

每一层均采用从左向右的焊接顺序,设右侧母材板厚为 $t$ ,坡口角度为 $\theta$ ,以坡口根部其原点在建立坐标系;

设打底焊道高度为 $h_d$ ,第二层及以上每层焊道高度为 $h$ ;

令直角梯形焊道的底边长度与其斜边长度相等,将其视为菱形的一部分;

设打底焊道面积为 $S_{zs}$ ,直角梯形焊道面积为 $S_{zt}$ ,菱形焊道面积为 $S_r$ ,梯形焊道面积为 $S_t$ ;

打底焊道焊枪中心线处于坡口角平分线上,菱形焊道焊枪中心线处于菱形长对角线的中垂线上,因为将直角梯形视为菱形的一部分,所以直角梯形焊道的焊枪中心线处于假想菱形长对角线中垂线上,梯形焊道的焊枪中心线与梯形中心线重合;

设打底焊道焊枪倾角为 $\alpha_{zs}$ ,直角梯形焊道焊枪倾角为 $\alpha_{zt}$ ,菱形焊道焊枪倾角为 $\alpha_r$ 。

3. 如权利要求1所述的单边V型坡口多层多道焊接路径规划方法,其特征是,层数与道数的确定时,底部的单边V型坡口路径规划,由右侧母材板厚 $t$ ,打底焊道高度 $h_d$ ,填充焊道高度 $h$ ,根据式(1)求出填满坡口所需总层数 $n$ :

$$n = \frac{t - h_d}{h} + 1 \quad (1)$$

4. 如权利要求3所述的单边V型坡口多层多道焊接路径规划方法,其特征是,当 $n$ 不为整数时,为了保证填满坡口,取大于式(1)计算结果的最小整数 $n_z$ ,对焊缝的层高进行一个修正,将修正后的层高取为 $h_z$ , $h_z$ 由式(2)计算:

$$h_z = \frac{t - h_d}{n_z - 1} \quad (2)$$

设焊层层数为 $i$ ,第 $i$ 层焊缝的总截面积 $S_i$ 为:

$$S_i = \frac{[2h_d \tan \theta + (2i - 3)h_z \tan \theta]h_z}{2} \quad (3)$$

式中 $i \in [2, n_z]$ ;

直角三角形焊道的面积为:

$$S_{zs} = \frac{1}{2} h_d^2 \tan \theta \quad (4)$$

直角梯形焊道底边长度与菱形焊道边长一致,其底边长度 $l$ 与面积 $S_{zt}$ 分别为:

$$l = \frac{h_z}{\cos \theta} \quad (5)$$

$$S_{zt} = \frac{h_z^2(2 - \sin \theta)}{2 \cos \theta} \quad (6)$$

菱形焊道的面积 $S_r$ 为:

$$S_r = \frac{h_z^2}{\cos \theta} \quad (7)$$

计算 $[(S_i - S_{zt}) / S_r]$ 的比值 $Q$ ,将 $Q$ 的整数部分记为 $N$ ,小数部分记为 $C$ ,直角梯形与菱形焊道数目根据小数 $C$ 来确定,若 $C \geq$ 临界值,则直角梯形与菱形焊道数目为 $r_i = N + 1$ ,推知最末梯形焊道面积为 $S_t = C * S_r$ ,若 $C <$ 临界值,则直角梯形与菱形焊道数目为 $r_i = N$ ,最末梯形焊道面积则为 $S_t = (C + 1) * S_r$ ,根据试验结果,临界值取0.4时,焊缝成型较好。

5. 如权利要求4所述的单边V型坡口多层多道焊接路径规划方法,其特征是,焊枪位置的确定:焊枪位置为焊枪在坡口横截面坐标系中的位置,即起弧点坐标;

设第 $i$ 层第 $j$ 道焊道的横坐标、纵坐标分别为 $y_{ij}$ 、 $z_{ij}$ ;

打底焊道起弧点的横坐标、纵坐标分别为: $y_{11} = 0, z_{11} = 0$ ;

对于打底焊以上焊层,每层除最末梯形焊道之外,其余焊道的横坐标为:

$$y_{ij} = (j - 1) \frac{h_z}{\cos \theta} \quad (8)$$

式中 $i \in [2, n_z], j \in [1, r_i]$ ;

第 $i$ 层最末梯形焊道的横坐标为:

$$y_{ij} = \frac{[h_d + (i - 2)h_z] \tan \theta + r_i l}{2} \quad (9)$$

式中 $i \in [2, n_z], j = r_i + 1$ ;

第 $i$ 层焊道的纵坐标为:

$$z_{ij} = h_d + (i - 2) h_z \quad (10)$$

式中 $i \in [2, n_z], j \in [1, r_i + 1]$ 。

6. 如权利要求1所述的单边V型坡口多层多道焊接路径规划方法,其特征是,焊枪倾角规划:对于打底焊道,其焊枪中心线处于坡口角平分线上,所以,打底焊道的焊枪倾角 $\alpha_{zs}$ 为:

$$\alpha_{zs} = \frac{\theta}{2} \quad (11)$$

在焊接直角梯形与菱形焊道时需要规划焊枪的倾斜角度 $\alpha_{zt}$ 与 $\alpha_r$ ,使得焊枪处于菱形长对角线中垂线上,得出 $\alpha_{zt}$ 与 $\alpha_r$ 的值为:

$$\alpha_{zt} = \alpha_r = 45^\circ - \frac{\theta}{2} \quad (12)$$

式中 $\theta$ 为坡口角度。

7. 如权利要求1所述的单边V型坡口多层多道焊接路径规划方法,其特征是,为保证底层焊道的焊枪可达性,需要判断焊枪是否与坡口侧壁碰触,建立碰触模型,求出纵坐标 $z$ 值,只要板厚 $t$ 满足 $t < z$ ,即可避免焊枪与坡口侧壁碰触。

8. 如权利要求1所述的单边V型坡口多层多道焊接路径规划方法,其特征是,焊枪摆幅规划步骤:

单边V坡口中,对于直角梯形焊道,由于其靠近坡口侧壁,可不采用摆动焊接以防止焊

枪触碰侧壁,对于梯形焊道,其摆幅R由式(20)计算确定:

$$R = \frac{(ih_z + h_d)\tan\theta}{2} - \frac{r_i h_z}{2\cos\theta} - m \quad (20)$$

式中 $\theta$ 为坡口角度, $i$ 为当前焊层数, $h_z$ 为焊层高度, $h_d$ 为打底焊层高度, $r_i$ 为当前焊层菱形焊道数目, $m$ 为考虑熔池形状的修正因子。

9. 单边V型坡口多层多道焊接路径规划系统,其特征是,包括:

模型建立模块,被配置为:对右侧开单边V型坡口角接头的焊道排布进行建模;

焊道规划采用等高型填充策略,打底焊道横截面以直角三角形拟合,第二层及以上每层第一道焊道采用直角梯形拟合,最后一道采用梯形拟合,其余焊道则以菱形拟合;

路径规划模块,被配置为:确定单边V型坡口焊接的层数与道数、焊枪位置、焊枪倾角及焊枪摆幅;

基于确定的焊枪姿态进行路径规划,实现对单边V型坡口多层多道的焊接。

10. 一种焊接机器人,所述焊接机器人包括其控制器,所述控制器被配置为执行上述权利要求1-8任一所述的单边V型坡口多层多道焊接路径规划方法的步骤,并基于所述方法所确定的焊枪姿态控制焊枪的动作。

## 单边V型坡口多层多道焊接路径规划方法及系统

### 技术领域

[0001] 本公开涉及焊接技术领域,特别是涉及单边V型坡口多层多道焊接路径规划方法及系统。

### 背景技术

[0002] 机械化智能化成为加工制造业的发展主流。近几年随着人工成本的增加,机器人价格的降低与柔性化需求的增长,大大提升了工业机器人的需求量,机器人成为当前重要的工业生产方式,因此使用焊接机器人替代人工生产成为提升生产效率与产品质量的首要方案。

[0003] 在机器人学中,路径包括机器人工具的位置与姿态。对于焊接机器人,焊接路径规划包括确定焊枪末端位置与焊枪倾角两个问题。焊枪位姿与焊缝形状密切相关。现有技术中存在:以标签点来描述焊枪坐标系的位姿,并进一步提出将机器人工具坐标系建立在焊枪末端,z轴与焊枪中轴线重合且指向焊枪内部,则z轴指向即为焊枪姿态。同时进一步提出,为了防止焊枪与坡口的碰撞,取焊枪的姿态在焊接点与坡口截面两上顶点连线所成角的角平分线位置,并提出了计算焊枪倾角的公式,最终完成了多层多道焊接的路径规划。

[0004] 现有技术中还存在:对于梯形焊道,焊枪倾角为 $0^\circ$ ,焊枪位置处于梯形垂直平分线上,对于平行四边形焊道,需要将焊枪倾斜,焊枪处于平行四边形长边的垂直平分线上,在此基础上验证了焊枪倾角与摆动对于焊道截面成型的影响。并通过建立数学模型,确定焊道标签点的位置与姿态,实现了多层多道焊接路径规划。

[0005] 现有技术中还存在:对由机器人运动学出发,确定了焊道坐标系与焊丝坐标系、焊枪坐标系、机器人末端坐标系之间的变换矩阵,并以此为基础,根据已知焊道的轨迹对未知焊道的轨迹进行了规划。在坡口横截面建立了焊道坐标系,经过数学推导,确定了焊道位置与焊枪姿态的变换矩阵,完成了焊接路径规划。

[0006] 盾构机刀盘属于厚板、特厚板焊接结构件,现在普遍采用手工焊接,焊接质量稳定性差、生产效率低。因此,考虑使用机器人焊接替代人工焊接。但是,目前厚板、特厚板机器人焊机的自适应能力较差,厚板、特厚板多层多道焊接应用还存在许多问题。上述焊接路径规划现有技术并不完全适用于厚板、特厚板多层多道焊接应用中。

### 发明内容

[0007] 本说明书实施方式的目的是提供单边V型坡口多层多道焊接路径规划方法,建立了多层多道焊路径规划模型,需要用户确定打底焊道与填充焊道的高度,利用模型便可计算出焊枪的位置、姿态、摆幅、焊接工艺参数等结果。

[0008] 本说明书实施方式提供单边V型坡口多层多道焊接路径规划方法,通过以下技术方案实现:

[0009] 包括:

[0010] 对右侧开单边V型坡口角接头的焊道排布进行建模；

[0011] 焊道规划采用等高型填充策略,打底焊道横截面以直角三角形拟合,每层 第一道焊道采用直角梯形拟合,最后一道采用梯形拟合,其余焊道则以菱形拟 合；

[0012] 确定单边V型坡口焊接的层数与道数、焊枪位置、焊枪倾角及焊枪摆幅；

[0013] 基于确定的焊枪姿态进行路径规划,实现对单边V型坡口多层多道的焊接。

[0014] 进一步的技术方案,对右侧开单边V型坡口角接头的焊道排布进行建模, 具体为：

[0015] 每一层均采用从左向右的焊接顺序,设右侧母材板厚为 $t$ ,坡口角度为 $\theta$ ,以坡口根部为原点建立坐标系；

[0016] 设打底焊道高度为 $h_d$ ,第二层及以上每层焊道高度为 $h$ ；

[0017] 令直角梯形的底边长度与其斜边长度相等,将其视为菱形的一部分；

[0018] 设打底焊道面积为 $S_{zs}$ ,直角梯形焊道面积为 $S_{zt}$ ,菱形焊道面积为 $S_r$ ,梯形 焊道面积为 $S_t$ ；

[0019] 打底焊道焊枪中心线处于坡口角平分线上,菱形焊道焊枪中心线处于菱形长 对角线的中垂线上,因为将直角梯形视为菱形的一部分,所以直角梯形焊道的 焊枪中心线处于假想菱形长对角线中垂线上,梯形焊道的焊枪中心线与梯形中 心线重合；

[0020] 设打底焊道焊枪倾角为 $\alpha_{zs}$ ,直角梯形焊道焊枪倾角为 $\alpha_{zt}$ ,菱形焊道焊枪倾 角为 $\alpha_r$ 。

[0021] 进一步的技术方案,层数与道数的确定时,底部的单边V型坡口路径规划,由右侧母材板厚 $t$ ,打底焊道高度 $h_d$ ,填充焊道高度 $h$ ,根据式(1)求出填满坡 口所需总层数 $n$ ：

$$[0022] \quad n = \frac{t - h_d}{h} + 1 \quad (1)。$$

[0023] 进一步的技术方案,当 $n$ 不为整数时,为了保证填满坡口,取大于式(1) 计算结果的最小整数 $n_z$ ,对焊缝的层高进行一个修正,将修正后的层高取为 $h_z$ ,  $h_z$ 由式(2)计算：

$$[0024] \quad h_z = \frac{t - h_d}{n_z - 1} \quad (2)$$

[0025] 设焊层层数为 $i$ ,第 $i$ 层焊缝的总截面积 $S_i$ 为：

$$[0026] \quad S_i = \frac{[2h_d \tan \theta + (2i - 3)h_z \tan \theta]h_z}{2} \quad (3)$$

[0027] 式中 $i \in [2, n_z]$ ；

[0028] 直角三角形焊道的面积为：

$$[0029] \quad S_{zs} = \frac{1}{2} h_d^2 \tan \theta \quad (4)$$

[0030] 直角梯形焊道的底边长度与菱形焊道的边长一致,其底边长度 $l$ 与面积 $S_{zt}$ 分别为：

$$[0031] \quad l = \frac{h_z}{\cos \theta} \quad (5)$$

$$[0032] \quad S_{zt} = \frac{h_z^2 (2 - \sin \theta)}{2 \cos \theta} \quad (6)$$

[0033] 菱形焊道的面积 $S_r$ 为：

$$[0034] \quad S_r = \frac{h_z^2}{\cos \theta} \quad (7)$$

[0035] 计算 $[(S_i - S_{zt}) / S_r]$ 的比值 $Q$ ,将 $Q$ 的整数部分记为 $N$ ,小数部分记为 $C$ ,直角梯形与菱形焊道数目根据小数 $C$ 来确定,若 $C \geq$ 临界值,则直角梯形与菱形焊道数目为 $r_i = N + 1$ ,推知最末梯形焊道面积为 $S_t = C * S_r$ ,若 $C <$ 临界值,则直角梯形与菱形焊道数目为 $r_i = N$ ,最末梯形焊道面积则为 $S_t = (C + 1) * S_r$ 。根据试验结果,临界值取0.4时,焊道成型较好。

[0036] 进一步的技术方案,焊枪位置的确定:焊枪位置为焊枪在坡口横截面坐标系中的位置,即起弧点坐标;

[0037] 设第 $i$ 层第 $j$ 道焊道的横坐标、纵坐标分别为 $y_{ij}$ 、 $z_{ij}$ ;

[0038] 打底焊道起弧点的横坐标、纵坐标分别为: $y_{11} = 0, z_{11} = 0$ ;

[0039] 对于打底焊以上焊层,每层除最末梯形焊道之外,其余焊道的横坐标为:

$$[0040] \quad y_{ij} = (j - 1) \frac{h_z}{\cos \theta} \quad (8)$$

[0041] 式中 $i \in [2, n_z], j \in [1, r_i]$ ;

[0042] 第 $i$ 层最末梯形焊道的横坐标为:

$$[0043] \quad y_{ij} = \frac{[h_d + (i - 2)h_z] \tan \theta + r_i l}{2} \quad (9)$$

[0044] 式中 $i \in [2, n_z], j = r_i + 1$ ;

[0045] 第 $i$ 层焊道的纵坐标为:

$$[0046] \quad z_{ij} = h_d + (i - 2) h_z \quad (10)$$

[0047] 式中 $i \in [2, n_z], j \in [1, r_i + 1]$ ;

[0048] 进一步的技术方案,焊枪倾角规划:对于打底焊道,其焊枪中心线处于坡口角平分线上,所以,打底焊道的焊枪倾角 $\alpha_{zs}$ 为:

$$[0049] \quad \alpha_{zs} = \frac{\theta}{2} \quad (11)$$

[0050] 进一步的技术方案,在焊接直角梯形焊道与菱形焊道时,需要规划焊枪的倾斜角度 $\alpha_{zt}$ 与 $\alpha_r$ ,使得焊枪处于菱形长对角线中垂线上,得出 $\alpha_{zt}$ 与 $\alpha_r$ 的值为:

$$[0051] \quad \alpha_{zt} = \alpha_r = 45^\circ - \frac{\theta}{2} \quad (12)$$

[0052] 式中 $\theta$ 为坡口角度。

[0053] 进一步的技术方案,为保证底层焊道的焊枪可达性,需要判断焊枪是否与坡口侧壁碰触,建立碰触模型,求出纵坐标 $z$ 值,只要板厚 $t$ 满足 $t < z$ ,即可避免焊枪与焊件碰触。

[0054] 进一步的技术方案,建立碰触模型步骤为:将焊丝、焊枪喷嘴轮廓边缘与坡口边缘简化为三条线,分别为 $l_s$ 、 $l_b$ 、 $l_r$ ,设直线 $l_s$ 与 $l_b$ 斜率为 $k_b$ ,直线 $l_r$ 斜率为 $k_r$ ,焊枪喷嘴半径为 $r_q$ ;

[0055] 根据几何关系可知, $l_b$ 与 $y$ 轴夹角为 $45^\circ + \frac{\theta}{2}$ , $l_r$ 与 $y$ 轴夹角为 $90^\circ - \theta$ ,那么斜率 $k_b$ ,斜率 $k_r$ 分别为:

$$[0056] \quad k_b = \tan(45^\circ + \frac{\theta}{2}) \quad (13)$$

$$[0057] \quad k_r = \tan(90^\circ - \theta) \quad (14)$$

[0058] 当  $45^\circ + \frac{\theta}{2} > 90^\circ - \theta$ , 即  $\theta > 30^\circ$  时, 无论板厚为多少都不会碰壁;

[0059] 若  $\theta < 30^\circ$ , 可得直线  $l_r$  的方程为:

$$[0060] \quad z = \tan(90^\circ - \theta)y \quad (15)$$

[0061] 焊丝所在直线  $l_s$  方程为:

$$[0062] \quad z = \tan(45^\circ + \frac{\theta}{2})y + b \quad (16)$$

[0063] 根据函数关系, 可以求出直线  $l_b$  的方程为:

$$[0064] \quad z = \tan(45^\circ + \frac{\theta}{2})y + b - \frac{r_q}{\sin(45^\circ - \frac{\theta}{2})} \quad (17)$$

[0065] 联立式 (15) 与式 (17), 求出纵坐标  $z$  值, 只要板厚  $t$  满足  $t < z$ , 即可避免 焊枪与焊件碰触;

[0066] 将最底层直角梯形焊道起弧点的坐标  $(0, z_{i1})$  代入式 (16), 得到截距  $b$  值为:

$$[0067] \quad b = z_{i1} \quad (18)$$

[0068] 将式 (15) 与式 (17) 方程联立, 代入  $b$  值, 得到两直线交点纵坐标  $z$  为:

$$[0069] \quad z = \frac{\cot\theta[b\sin(45^\circ - \frac{\theta}{2}) - r_q]}{\sin(45^\circ - \frac{\theta}{2})[\cot\theta - \tan(45^\circ + \frac{\theta}{2})]} \quad (19)$$

[0070] 只要满足  $t < z$  焊枪就不会与焊件发生碰触。

[0071] 进一步的技术方案, 焊枪摆幅规划步骤:

[0072] 单边V坡口中, 对于直角梯形焊道, 由于其靠近坡口侧壁, 可不采用摆动 焊接以防止焊枪触碰侧壁, 对于梯形焊道, 其摆幅  $R$  由式 (20) 计算确定:

$$[0073] \quad R = \frac{(ih_z + h_d)\tan\theta}{2} - \frac{r_i h_z}{2\cos\theta} - m \quad (20)$$

[0074] 式中  $\theta$  为坡口角度,  $i$  为当前焊层数,  $h_z$  为焊层高度,  $h_d$  为打底焊层高度,  $r_i$  为当前焊层菱形焊道数目,  $m$  为考虑熔池形状的修正因子。

[0075] 本说明书实施方式提供单边V型坡口多层多道焊接路径规划系统, 通过以下技术方案实现:

[0076] 包括:

[0077] 模型建立模块, 被配置为: 对右侧开单边V型坡口角接头的焊道排布进行 建模;

[0078] 焊道规划采用等高型填充策略, 打底焊道横截面以直角三角形拟合, 每层 第一道焊道采用直角梯形拟合, 最后一道采用梯形拟合, 其余焊道则以菱形拟 合;

[0079] 路径规划模块, 被配置为: 确定单边V型坡口焊接的层数与道数、焊枪位 置、焊枪倾角及焊枪摆幅;

[0080] 基于确定的焊枪姿态进行路径规划, 实现对单边V型坡口的多层多道的焊 接。



[0081] 一种焊接机器人,所述焊接机器人包括其控制器,所述控制器被配置为执行上述单边V型坡口多层多道焊接路径规划方法的步骤,并基于所述方法所确定的焊枪姿态控制焊枪的动作。

[0082] 与现有技术相比,本公开的有益效果是:

[0083] 本公开针对单边V型坡口建立了多层多道焊路径规划模型,需要用户确定打底焊道与填充焊道的高度,利用模型便可计算出焊枪的位置、姿态、摆幅、焊接工艺参数等结果。

[0084] 本公开确定了焊枪倾角,同时针对厚板焊接焊枪容易与坡口侧壁碰触的问题,建立了焊枪碰壁模型。

[0085] 本公开等高型填充策略的核心是层高相等,首先确定打底焊道与填充焊道的高度,确定填满坡口的层数与道数,然后通过计算每层的横截面积确定该层的焊道数目,并确定每一道焊道的起弧点位置。

### 附图说明

[0086] 构成本公开的一部分的说明书附图用来提供对本公开的进一步理解,本公开的示意性实施例及其说明用于解释本公开,并不构成对本公开的不当限定。

[0087] 图1为本公开实施例子的单边V型坡口填充示意图;

[0088] 图2(a)-图2(d)为本公开实施例子的焊枪位姿与起弧点位置示意图;

[0089] 图3为本公开实施例子的单边V型坡口焊枪碰壁模型示意图;

[0090] 图4为本公开实施例子的单边V型坡口角度与板厚上限值关系图;

[0091] 图5(a)-图5(b)为本公开实施例子的焊枪摆幅计算示意图。

### 具体实施方式

[0092] 应该指出,以下详细说明都是例示性的,旨在对本公开提供进一步的说明。除非另有指明,本文使用的所有技术和科学术语具有与本公开所属技术领域的普通技术人员通常理解的含义。

[0093] 需要注意的是,这里所使用的术语仅是为了描述具体实施方式,而非意图限制根据本公开的示例性实施方式。如在这里所使用的,除非上下文另外明确指出,否则单数形式也意图包括复数形式,此外,还应当理解的是,当在本说明书中使用术语“包含”和/或“包括”时,其指明存在特征、步骤、操作、器件、组件和/或它们的组合。

[0094] 实施例子一

[0095] 该实施例公开了单边V型坡口多层多道焊接路径规划方法,对右侧开单边V型坡口角接头的焊道排布进行建模;

[0096] 焊道规划采用等高型填充策略,打底焊道横截面以直角三角形拟合,第二层及以上每层第一道焊道采用直角梯形拟合,最后一道采用梯形拟合,其余焊道则以菱形拟合;

[0097] 确定单边V型坡口焊接的层数与道数、焊枪位置、焊枪倾角及焊枪摆幅;

[0098] 基于确定的焊枪姿态进行路径规划,实现对单边V型坡口多层多道的焊接。

[0099] 焊接生产中,V型坡口常见于钢板的对接,实际焊接结构中的角接头、T型接头更为常见,该结构为了焊透,多采用开单边V型坡口,如图1所示。

[0100] 本公开实施例子对右侧开单边V型坡口角接头的焊道排布进行建模。为最大限度保证焊枪可达性,每一层均采用从左向右的焊接顺序。设右侧母材板厚为 $t$ ,坡口角度为 $\theta$ ,建原点在坡口根部如图1所示的坐标系。焊道规划拟采用等高型填充策略,设打底焊道高度为 $h_d$ ,第二层及以上每层焊道高度为 $h$ 。打底焊道横截面以直角三角形拟合,第二层及以上每层第一道焊道采用直角梯形拟合,最后一道采用梯形拟合,其余焊道则以菱形拟合。令直角梯形的底边长度与其斜边长度相等,这样可将其视为菱形的一部分,该菱形为假想菱形,方便后续规划。

[0101] 设打底焊道面积为 $S_{zs}$ ,直角梯形焊道面积为 $S_{zt}$ ,菱形焊道面积为 $S_r$ ,梯形焊道面积为 $S_t$ 。打底焊道焊枪中心线处于坡口角平分线上,见图2(a)所示,菱形焊道焊枪中心线处于菱形长对角线的中垂线上,见图2(c)所示,因为将直角梯形视为菱形的一部分,所以直角梯形焊道的焊枪中心线处于假想菱形长对角线中垂线上,见图2(b)所示,梯形焊道的焊枪中心线与梯形中心线重合,见图2(d)所示。设打底焊道焊枪倾角为 $\alpha_{zs}$ ,直角梯形焊道焊枪倾角为 $\alpha_{zt}$ ,菱形焊道焊枪倾角为 $\alpha_r$ ,图2(a)-图2(d)中星号表示起弧点位置。

[0102] 在具体实施例子中,层数与道数的确定:因为同时具有单边V型坡口和顶部角焊缝,所以需要分别进行规划。工程中应用最多的是截面为直角等腰的平角焊缝,焊脚尺寸为 $K$ ,可变位成船型焊,这样可以将其视为角度为 $90^\circ$ 的V型坡口,进行V坡口的焊接路径规划。

[0103] 对于底部的单边V型坡口路径规划,由右侧母材板厚 $t$ ,打底焊道高度 $h_d$ ,填充焊道高度 $h$ ,可根据下式(1)求出填满坡口所需总层数 $n$ :

$$[0104] \quad n = \frac{t - h_d}{h} + 1 \quad (1)$$

[0105] 当 $n$ 不为整数时,为了保证可以填满坡口,取大于式(1)计算结果的最小整数 $n_z$ ,同时因为取较大的整数时,焊缝金属的总横截面积会大于坡口的横截面积,导致焊缝出现凸起,因此,需要对焊缝的层高进行一个修正,将修正后的层高取为 $h_z$ , $h_z$ 由下式(2)计算:

$$[0106] \quad h_z = \frac{t - h_d}{n_z - 1} \quad (2)$$

[0107] 设焊层层数为 $i$ ,第 $i$ 层焊缝的总截面积 $S_i$ 为:

$$[0108] \quad S_i = \frac{[2h_d \tan \theta + (2i - 3)h_z \tan \theta]h_z}{2} \quad (3)$$

[0109] 式中 $i \in [2, n_z]$ 。

[0110] 直角三角形焊道的面积为:

$$[0111] \quad S_{zs} = \frac{1}{2} h_d^2 \tan \theta \quad (4)$$

[0112] 直角梯形焊道底边长度与菱形焊道边长一致,其底边长度 $l$ 与面积 $S_{zt}$ 分别为:

$$[0113] \quad l = \frac{h_z}{\cos \theta} \quad (5)$$

$$[0114] \quad S_{zt} = \frac{h_z^2 (2 - \sin \theta)}{2 \cos \theta} \quad (6)$$

[0115] 菱形焊道面积 $S_r$ 为:

$$[0116] \quad S_r = \frac{h_z^2}{\cos \theta} \quad (7)$$

[0117] 计算  $[(S_i - S_{zt}) / S_r]$  的比值  $Q$ , 将  $Q$  的整数部分记为  $N$ , 小数部分记为  $C$ 。直角梯形与菱形焊道数目根据小数  $C$  来确定, 若  $C \geq 0.4$ , 则直角梯形与菱形焊道数目为  $r_i = N + 1$ , 可以推知最末梯形焊道面积为  $S_t = C * S_r$ , 若  $C < 0.4$ , 则直角梯形与菱形焊道数目为  $r_i = N$ , 最末梯形焊道面积则为  $S_t = (C + 1) * S_r$ 。0.4 是一个临界值, 根据试验结果确定, 该临界值取 0.4 时, 焊缝成型较好。

[0118] 在具体实施例子中, 焊枪位置的确定:

[0119] 确定层数、道数以后, 还需要推导出焊枪在坡口截面坐标系中的位置, 即起弧点坐标。设第  $i$  层第  $j$  道焊道的横坐标、纵坐标分别为  $y_{ij}$ 、 $z_{ij}$ 。

[0120] 打底焊道起弧点的横坐标、纵坐标分别为:  $y_{11} = 0, z_{11} = 0$ 。

[0121] 对于打底焊以上焊层, 每层除最末梯形焊道之外, 其余焊道的横坐标为:

$$[0122] \quad y_{ij} = (j - 1) \frac{h_z}{\cos \theta} \quad (8)$$

[0123] 式中  $i \in [2, n_z], j \in [1, r_i]$ 。

[0124] 第  $i$  层最末梯形焊道的横坐标为:

$$[0125] \quad y_{ij} = \frac{[h_d + (i - 2)h_z] \tan \theta + r_i l}{2} \quad (9)$$

[0126] 式中  $i \in [2, n_z], j = r_i + 1$ 。

[0127] 第  $i$  层焊道的纵坐标为:

$$[0128] \quad z_{ij} = h_d + (i - 2) h_z \quad (10)$$

[0129] 式中  $i \in [2, n_z], j \in [1, r_i + 1]$ 。

[0130] 在具体实施例子中, 焊枪倾角规划:

[0131] 对于打底焊道, 其焊枪中心线处于坡口角平分线上, 所以, 打底焊道的焊枪倾角  $\alpha_{zs}$  为:

$$[0132] \quad \alpha_{zs} = \frac{\theta}{2} \quad (11)$$

[0133] 为保证焊缝成形, 使焊缝截面实际形状尽量接近拟合的几何图形, 在焊接直角梯形与菱形焊道时需要规划焊枪的倾斜角度  $\alpha_{zt}$  与  $\alpha_r$ , 使得焊枪处于菱形长对角线中垂线上, 如图 2 (b) 和图 2 (c) 所示。经过数学推导可以得出,  $\alpha_{zt}$  与  $\alpha_r$  的值为:

$$[0134] \quad \alpha_{zt} = \alpha_r = 45^\circ - \frac{\theta}{2} \quad (12)$$

[0135] 式中  $\theta$  为坡口角度。

[0136] 同样, 为保证底层焊道的焊枪可达性, 需要判断焊枪是否与坡口侧壁碰触。将焊丝、焊枪喷嘴轮廓边缘与坡口边缘简化为三条线, 分别为  $l_s$ 、 $l_b$ 、 $l_r$ 。设直线  $l_s$  与  $l_b$  斜率为  $k_b$ , 直线  $l_r$  斜率为  $k_r$ , 焊枪喷嘴半径为  $r_q$ , 如图 3 所示。

[0137] 根据几何关系可知,  $l_b$  与  $y$  轴夹角为  $45^\circ + \frac{\theta}{2}$ ,  $l_r$  与  $y$  轴夹角为  $90^\circ - \theta$ , 那么斜率  $k_b$ 、斜率  $k_r$  分别为:

$$[0138] \quad k_b = \tan(45^\circ + \frac{\theta}{2}) \quad (13)$$

$$[0139] \quad k_r = \tan(90^\circ - \theta) \quad (14)$$

[0140] 当  $45^\circ + \frac{\theta}{2} > 90^\circ - \theta$ , 即  $\theta > 30^\circ$  时, 无论板厚为多少都不会碰壁。若  $\theta < 30^\circ$ , 如图3所示, 建立坐标系, 可得直线  $l_r$  的方程为:

$$[0141] \quad z = \tan(90^\circ - \theta) y \quad (15)$$

[0142] 焊丝所在直线  $l_s$  方程为:

$$[0143] \quad z = \tan(45^\circ + \frac{\theta}{2}) y + b \quad (16)$$

[0144] 根据函数关系, 可以求出直线  $l_b$  的方程为:

$$[0145] \quad z = \tan(45^\circ + \frac{\theta}{2}) y + b - \frac{r_q}{\sin(45^\circ - \frac{\theta}{2})} \quad (17)$$

[0146] 联立式 (15) 与式 (17), 求出纵坐标  $z$  值, 只要板厚  $t$  满足  $t < z$ , 即可避免焊枪与焊件碰触。将最底层直角梯形焊道起弧点的坐标  $(0, z_{i1})$  代入式 (16), 可以得到截距  $b$  值为:

$$[0147] \quad b = z_{i1} \quad (18)$$

[0148] 将式 (15) 与式 (17) 方程联立, 代入  $b$  值, 可以得到两直线交点纵坐标  $z$  为:

$$[0149] \quad z = \frac{\cot\theta [b \sin(45^\circ - \frac{\theta}{2}) - r_q]}{\sin(45^\circ - \frac{\theta}{2}) [\cot\theta - \tan(45^\circ + \frac{\theta}{2})]} \quad (19)$$

[0150] 只要满足  $t < z$  焊枪就不会与坡口侧壁发生碰触。同样的, 假设焊枪喷嘴半径为 10mm, 在第一条菱形焊道坐标  $z_{i1}$  取不同值的情况下, 绘制了坡口角度与板厚上限值的关系图, 如图4所示。

[0151] 由图4可知, 相比于V型坡口, 单边V型坡口焊接需要有更高的  $z_{i1}$  值才能保证焊枪不与坡口侧壁碰触。这是因为单边V型坡口在坡口角度较小的情况下, 底层空间更小, 同时只开单侧坡口造成焊枪在水平方向上更加接近于坡口侧壁, 因此也就需要有更高的  $z_{i1}$  值。

[0152] 在具体实施例中, 焊枪摆幅规划:

[0153] 单边V坡口中, 参见图5(a), 菱形焊道的摆幅可按照式 (21) 计算确定, 只是对于直角梯形焊道, 由于其靠近坡口侧壁, 可不采用摆动焊接以防止焊枪触碰侧壁。对于梯形焊道, 参考图5(b), 其摆幅  $R$  由式 (20) 计算确定:

$$[0154] \quad R = \frac{(ih_z + h_d) \tan\theta}{2} - \frac{r_i h_z}{2 \cos\theta} - m \quad (20)$$

[0155] 式中  $\theta$  为坡口角度,  $i$  为当前焊层数,  $h_z$  为焊层高度,  $h_d$  为打底焊层高度,  $r_i$  为当前焊层菱形焊道数目,  $m$  为考虑熔池形状的修正因子, 一般为 2~3mm。

[0156] 对于每层菱形焊道, 焊枪位于其长对角线中垂线上。因为采用菱形拟合焊道, 所以焊道高度  $h_z$  一旦确定, 长对角线  $AC$  长度也随之确定, 其摆幅  $R$  为:

$$[0157] \quad R = \frac{AC}{2} - m = \frac{h_z \cos(45^\circ - \frac{\theta}{4})}{\cos \frac{\theta}{2}} - m \quad (21)$$

[0158] 式中 $\theta$ 为坡口角度, $m$ 为考虑熔池形状的修正因子,一般为2~3mm。

[0159] 实施例子二

[0160] 本说明书实施方式提供单边V型坡口多层多道焊接路径规划系统,通过以下技术方案实现:

[0161] 包括:

[0162] 模型建立模块,被配置为:对右侧开单边V型坡口角接头的焊道排布进行建模;

[0163] 焊道规划采用等高型填充策略,打底焊道横截面以直角三角形拟合,每层第一道焊道采用直角梯形拟合,最后一道采用梯形拟合,其余焊道则以菱形拟合;

[0164] 路径规划模块,被配置为:确定单边V型坡口焊接的层数与道数、焊枪位置、焊枪倾角及焊枪摆幅;

[0165] 基于确定的焊枪姿态进行路径规划,实现对单边V型坡口多层多道的焊接。

[0166] 该实施例中模块的具体实现过程参见实施例子一中的单边V型坡口多层多道焊接路径规划方法的具体技术内容,此处不再进行详细的描述。

[0167] 实施例子三

[0168] 本说明书实施方式提供一种焊接机器人,所述焊接机器人包括其控制器,所述控制器被配置为执行上述单边V型坡口多层多道焊接路径规划方法的步骤,并基于所述方法所确定的焊枪姿态控制焊枪的动作。

[0169] 该实施例中方法的具体实现过程参见实施例子一中的单边V型坡口多层多道焊接路径规划方法的具体技术内容,此处不再进行详细的描述。

[0170] 可以理解的是,在本说明书的描述中,参考术语“一实施例”、“另一实施例”、“其他实施例”、或“第一实施例~第N实施例”等的描述意指结合该实施例或示例描述的具体特征、结构、材料或者特点包含于本发明的至少一个实施例或示例中。在本说明书中,对上述术语的示意性表述不一定指的是相同的实施例或示例。而且,描述的具体特征、结构、材料等特点可以在任何一个或多个实施例或示例中以合适的方式结合。

[0171] 以上所述仅为本公开的优选实施例而已,并不用于限制本公开,对于本领域的技术人员来说,本公开可以有各种更改和变化。凡在本公开的精神和原则之内,所作的任何修改、等同替换、改进等,均应包含在本公开的保护范围之内。

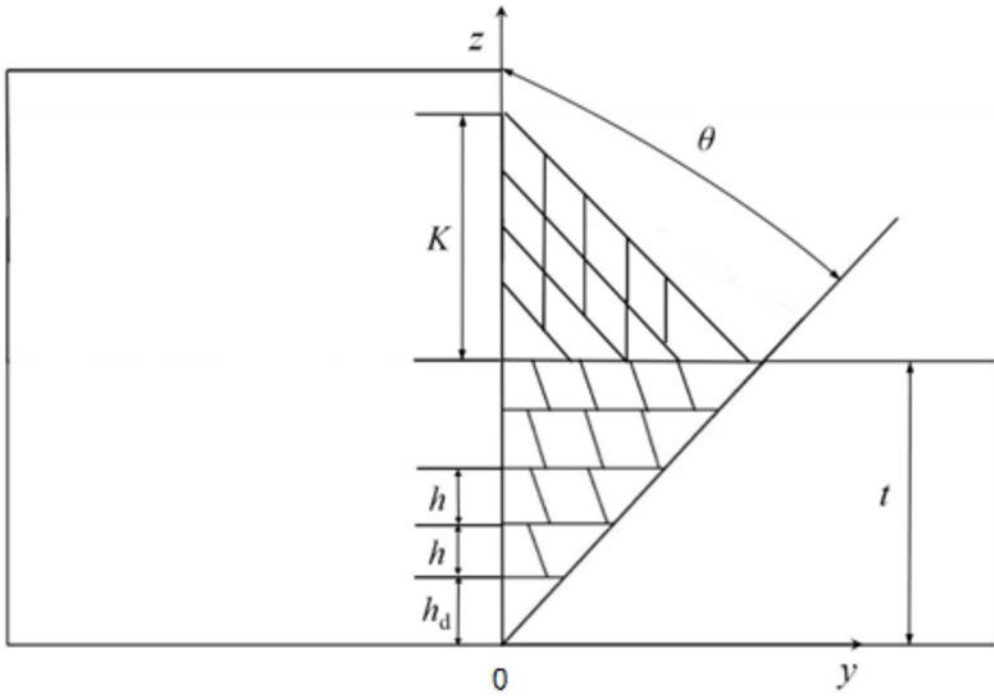


图1

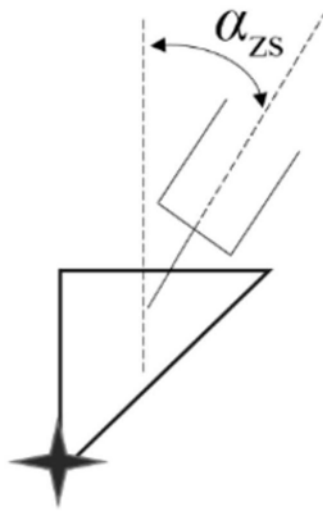


图2(a)

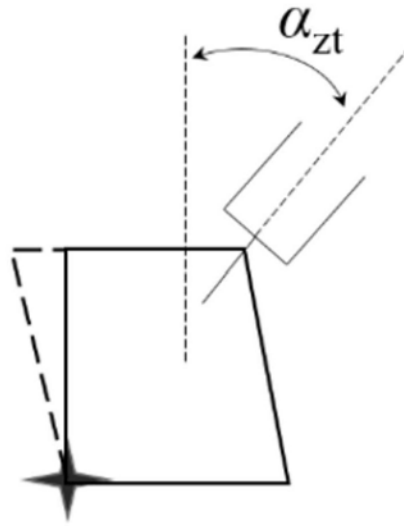


图2 (b)

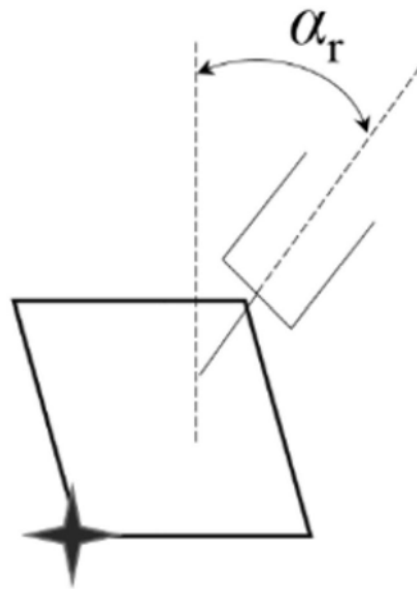


图2 (c)

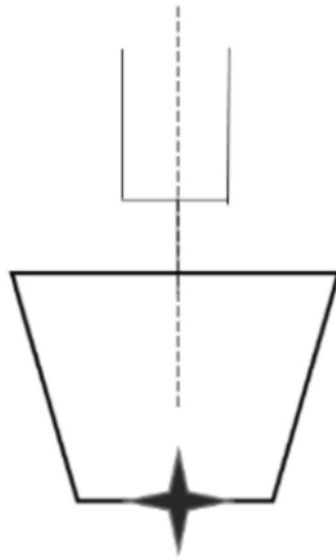


图2(d)

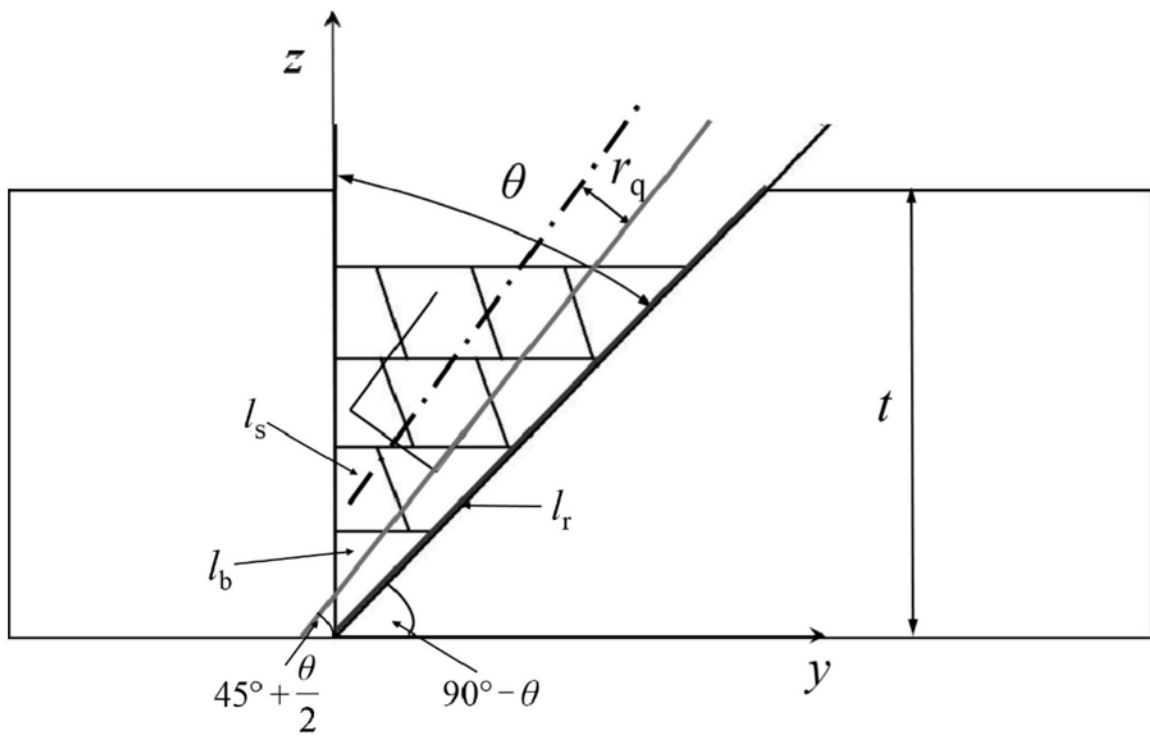


图3



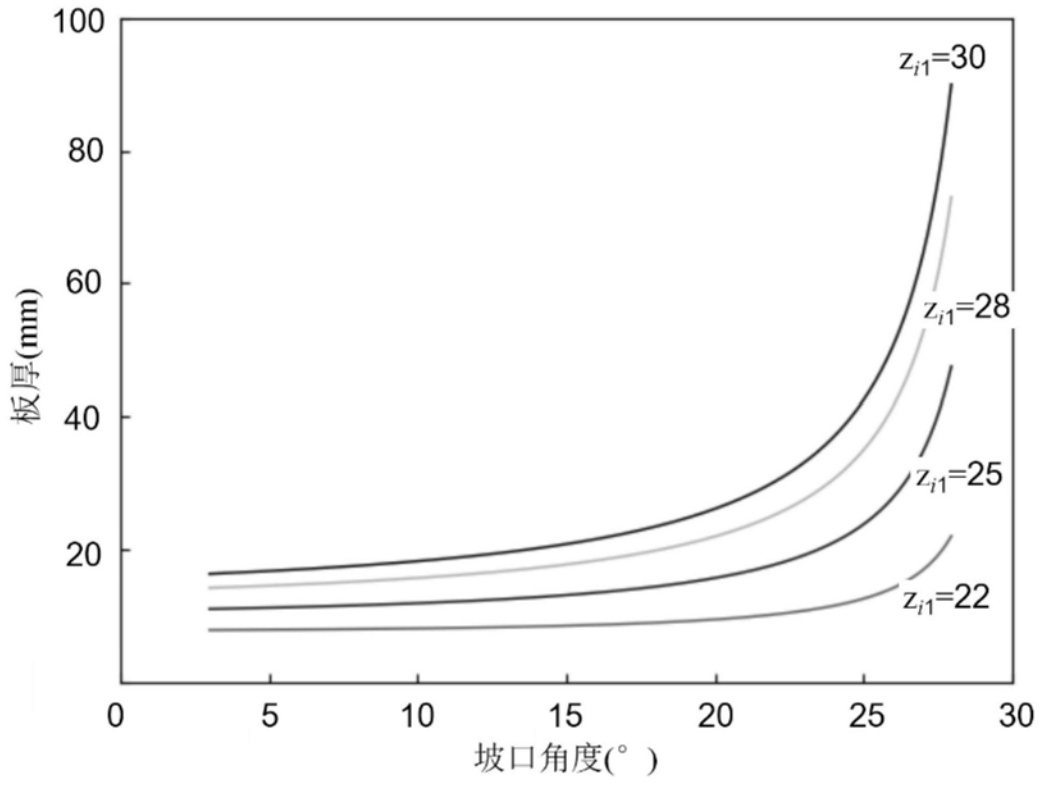


图4

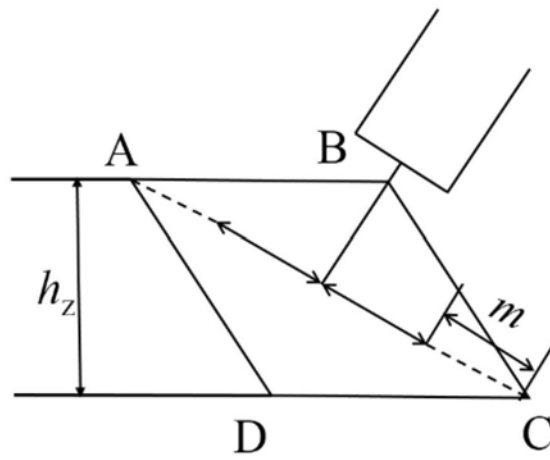


图5(a)

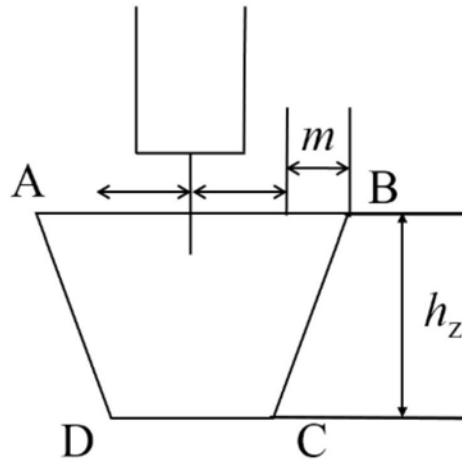


图5 (b)