



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 104985005 A

(43) 申请公布日 2015. 10. 21

(21) 申请号 201510292890. 2

(22) 申请日 2015. 06. 02

(66) 本国优先权数据

201510109417. 6 2015. 03. 13 CN

(71) 申请人 李慧峰

地址 030003 山西省太原市杏花岭区尖草坪
锦绣苑 1 栋 5 单元 12 号

(72) 发明人 李慧峰

(74) 专利代理机构 太原市科瑞达专利代理有限公司 14101

代理人 卢茂春

(51) Int. Cl.

B21B 37/30(2006. 01)

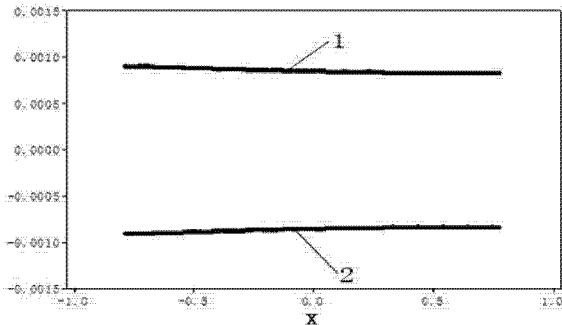
权利要求书2页 说明书5页 附图1页

(54) 发明名称

板带轧机不对称板形的补偿方法

(57) 摘要

本发明提供了一种板带轧机不对称板形的补偿方法,用以补偿轧机在加工过程中对板带造成的不对称板形,它通过轧机上、下工作辊的非线性不对称空载辊形轮廓曲线,使上、下工作辊之间形成传动侧与工作侧的非线性不对称空载辊缝。通过本发明提出的施加于工作辊上的不对称空载辊缝的补偿,可以减轻或消除当前技术条件下板带加工所带来的不对称板形缺陷,及其所导致的产品的显现和潜在的不对称板形质量问题,同时减少板带轧机生产过程中由于不对称板形带来的跑偏、甩尾和叠轧等生产稳定性故障。



1. 一种板带轧机不对称板形的补偿方法, 用于对板带轧制中产生的不对称板形进行补偿, 其特征在于通过轧机上、下工作辊的非线性不对称空载辊形轮廓曲线, 使上、下工作辊之间形成传动侧与工作侧的非线性不对称空载辊缝。

2. 根据权利要求 1 中所述的板带轧机不对称板形的补偿方法, 其特征在于, 所述上、下工作辊之间形成的非线性不对称空载辊缝高度曲线包含最高奇数次项系数不为零的三次或三次以上的以轧辊轴向坐标为变量的多项方程式, 其通过下述关系式 ① 描述:

$$\text{Gap}(x) = \text{Gap}_0 + G_1 \cdot x^1 + G_2 \cdot x^2 + G_3 \cdot x^3 + \dots + G_n \cdot x^n \quad ①$$

其中 :

x 为在工作辊辊身轴向上的坐标, 辊身中心为坐标原点;

Gap_0 为辊身中心为坐标原点处的辊缝设定值;

$G_1, G_2, G_3, \dots, G_n$ 为多项关系式的系数, 取值为 ($-1 \sim 1$);

n 选取不小于 3 的任意数值。

3. 根据权利要求 1 所述的板带轧机不对称板形的补偿方法, 其特征在于, 所述非线性不对称空载辊形轮廓曲线为与关系式 $\text{Gap}(x) = \text{Gap}_0 + G_1 \cdot x^1 + G_2 \cdot x^2 + G_3 \cdot x^3 + \dots + G_n \cdot x^n$ 相对应的三次或三次以上的以轧辊轴向坐标为变量的多项方程式, 所述非线性不对称空载辊形轮廓曲线通过对上、下工作辊中至少一个工作辊磨削而获得。

4. 根据权利要求 1 所述的板带轧机不对称板形的补偿方法, 其特征在于, 所述非线性不对称空载辊缝包括上、下工作辊之间不对称程度无差异, 在上、下工作辊间形成上、下对称、传动侧和工作侧之间非线性不对称的空载辊缝。

5. 根据权利要求 1 所述的板带轧机不对称板形的补偿方法, 其特征在于, 所述不对称空载辊缝包括上、下工作辊之间不对称程度有差异, 包括只在轧机两个工作辊中的一个工作辊上磨削非线性不对称辊形轮廓曲线, 在上、下工作辊间形成上、下不对称, 且传动侧和工作侧之间不对称的空载辊缝。

6. 根据权利要求 2 所述的板带轧机不对称板形的补偿方法, 其特征在于, 所述多项方程式包括下述内容:

(1) 上工作辊相对于轧辊中心线的下轮廓曲线通过关系式 ② 来描述:

$$S_{WU}(x) = A_3 \cdot x^3 + A_2 \cdot x^2 + A_1 \cdot x - A_0 \quad ②$$

其中 :

x 为在工作轧辊辊身轴向上的坐标, 辊身中心为坐标原点;

A_0 为工作轧辊辊身中心为坐标原点处的辊身半径;

A_1 为工作轧辊辊形轮廓曲线的线性不对称参数, 其数值可通过 ③ 确定:

$$A_1 = K_1 + K_2 \cdot B_p + K_3 \cdot B_r + K_4 \cdot B_r/B_p + K_5/R^3 + K_6 \cdot T_q \quad ③$$

其中, B_p 为轧件宽度, 单位是 m;

B_r 为工作辊辊面长度, 单位是 m;

R 为工作辊名义半径, 单位是 m;

T_q 为工作辊负载时平均扭矩, 单位是 KN · m;

K_1, K_2, K_3, K_4, K_5 和 K_6 为调整参数, 其取值范围为 ($-1 \sim 1$);

A_2 为工作轧辊辊形轮廓曲线的对称性参数, 其数值可通过公式 ④ 确定:

$$A_2 = M_1 + M_2 \cdot B_p + M_3 \cdot B_r + M_4 \cdot B_r/B_p + M_5/R^3 + M_6 \cdot T_q \quad ④$$

其中, B_p 为轧件宽度, 单位是 m;

Br 为工作辊辊身长度, 单位是 m;

R 为工作辊名义半径, 单位是 m;

Tq 为工作辊负载时平均扭矩, 单位是 KN · m;

M_1 、 M_2 、 M_3 、 M_4 、 M_5 和 M_6 为调整参数, 其取值范围为 (-1 ~ 1);

A_3 为工作轧辊辊形轮廓曲线的非线性不对称参数, 其数值可通过⑤确定:

$$A_3 = N_1 + N_2 \cdot B_p + N_3 \cdot Br + N_4 \cdot Br/B_p + N_5/R^3 + N_6 \cdot Tq \quad ⑤$$

其中, B_p 为轧件宽度, 单位是 m;

Br 为工作辊辊身长度, 单位是 m;

R 为工作辊名义半径, 单位是 m;

Tq 为工作辊负载时平均扭矩, 单位是 KN · m;

N_1 、 N_2 、 N_3 、 N_4 、 N_5 和 N_6 为调整参数, 其取值范围为 (-1 ~ 1);

(2) 下工作辊相对于轧辊中心线的上轮廓曲线通过关系式⑥来描述:

$$S_{WD}(x) = -B_3 \cdot x^3 - B_2 \cdot x^2 - B_1 \cdot x + B_0 \quad ⑥$$

其中, B_3 、 B_2 、 B_1 、 B_0 条件同上;

(3) 通过将轧机上工作辊的下轮廓辊形曲线、下工作辊的上轮廓辊形曲线放在一个坐标系里叠加处理, 获得新的上、下工作辊空载辊缝高度叠加曲线关系式⑦如下:

$$Gap(x) = (A_3 + B_3) \cdot x^3 + (A_2 + B_2) \cdot x^2 + (A_1 + B_1) \cdot x + Gap_0 \quad ⑦$$

其中:

x : 在工作辊辊身轴向上的坐标, 辊身中心为坐标原点;

Gap_0 为辊身中心为坐标原点处的辊缝设定值。

7. 根据权利要求 1 所述的板带轧机不对称板形的补偿方法, 其特征在于, 所述空载辊缝高度曲线中的线性不对称部分, 通过工作辊磨削实现, 或通过在轧制过程中采用单侧压下调节方式, 或通过轧机传动侧和工作侧的不对称压下来实现。

8. 根据权利要求 1 所述的板带轧机不对称板形的补偿方法, 其特征在于, 所述空载辊缝高度曲线中具有非线性的不对称部分, 通过上、下工作辊磨削不同的非线性不对称辊形曲线来实现。

9. 根据权利要求 1 所述的板带轧机不对称板形的补偿方法, 其特征在于, 所述板带轧机非线性不对称空载辊形曲线和空载辊缝曲线单独在轧机上应用。

10. 根据权利要求 1 所述的板带轧机非线性不对称板形的补偿方法, 其特征在于, 将所述非线性不对称空载辊形轮廓曲线与该轧机当前应用的轧辊热凸度补偿曲线、连续可变凸度曲线和 / 或其它辊形轮廓曲线叠加后, 形成新的不对称空载辊形轮廓曲线及辊缝曲线来应用; 所述新的不对称空载辊形轮廓曲线满足权利要求 2 所述的条件。

板带轧机不对称板形的补偿方法

技术领域

[0001] 本发明涉及领域金属轧制领域,用于对板带轧制中产生的不对称板形进行补偿。

背景技术

[0002] 一对以上成对轧辊的轧机是一种加工金属板带的通用装备。为了改善所加工金属板带的板形,中国专利号是 200980151893.7 中公开了连续可变凸度曲线(CVC)的板形调整方法,以及对工作辊进行交叉的 PC 轧机技术和轧辊轮廓磨削热凸度补偿曲线等方法,已被前人开发和使用。但上述方法均基于轧机传动侧和操作侧对称的基础上进行补偿,对加工金属板带所产生的不对称板形不产生影响。

[0003] 为了对轧机加工的金属板带所产生的不对称板形进行改善,对轧机工作辊施加弯矩的弯辊方法被前人开发和应用,并取得一定效果,但未能有效解决所加工板带产生的不对称板形缺陷及其带来的质量控制和生产稳定性问题。

发明内容

[0004] 本发明解决的技术问题是针对现有技术的不足,提出一种板带轧机不对称板形的补偿方法,通过对轧机工作辊磨削特定辊形曲线,使得上下工作辊之间形成传动侧与操作侧的非线性不对称的空载辊缝,对加工金属板带所产生的不对称板形进行补偿与控制,可以减轻或消除当前技术条件下板带加工所带来的不对称板形缺陷,及其所导致的产品的显现和潜在的不对称板形质量问题,同时减少板带轧机生产过程中由于不对称板形带来的跑偏、甩尾和叠轧等生产稳定性故障。

[0005] 为了实现上述目标,本发明采用的技术方案是:一种板带轧机不对称板形的补偿方法,其特征在于通过轧机上、下工作辊的非线性不对称空载辊形轮廓曲线,使上、下工作辊之间形成传动侧与工作侧的非线性不对称空载辊缝。

[0006] 所述的板带轧机不对称板形的补偿方法,其特征在于,所述上、下工作辊之间形成的非线性不对称空载辊缝高度曲线包含最高奇数次项系数不为零的三次或三次以上的以轧辊轴向坐标为变量的多项方程式。可以通过关系式①描述:

$$\text{Gap}(x) = \text{Gap}_0 + G_1 \cdot x^1 + G_2 \cdot x^2 + G_3 \cdot x^3 + \dots + G_n \cdot x^n \quad ①$$

其中:

x 为在工作辊辊身轴向上的坐标,辊身中心为坐标原点;

Gap_0 为辊身中心为坐标原点处的辊缝设定值;

$G_1, G_2, G_3, \dots, G_n$ 为多项关系式的系数(取值为 -1~1);

n 可以选取不小于 3 的任意数值。随着 n 值的增大,板形补偿精度提高,但计算难度大幅度增加。

[0007] 所述非线性不对称空载辊形轮廓曲线为与非线性不对称空载辊缝高度曲线关系式相对应的三次或三次以上的以轧辊轴向坐标为变量的多项方程式,所述非线性不对称空载辊形轮廓曲线通过对所述上、下工作辊中至少一个工作辊磨削而获得。

[0008] 所述非线性不对称空载辊缝包括上、下工作辊之间不对称程度无差异,在上、下工作辊间形成上、下对称、传动侧和工作侧之间非线性不对称的空载辊缝。

[0009] 所述不对称空载辊缝包括上、下工作辊之间不对称程度有差异;包括只在轧机两个工作辊中的一个工作辊上磨削非线性不对称辊形轮廓曲线,在上、下工作辊间形成上、下不对称,且传动侧和工作侧之间不对称的空载辊缝。

[0010] 所述非线性不对称空载辊形轮廓曲线方程式描述为一元三次多项式如②和⑥,从而上、下工作辊之间形成非线性不对称辊缝描述为一元三次多项式如⑦,是实施本发明并达到本发明所提出的预期目标的简单可行方法。具体实施过程符合描述如下:

(1) 上工作辊相对于轧辊中心线的下轮廓曲线通过关系式②来描述:

$$S_{WU}(x) = A_3 \cdot x^3 + A_2 \cdot x^2 + A_1 \cdot x - A_0 \quad ②$$

其中:

x 为在工作轧辊辊身轴向上的坐标,辊身中心为坐标原点;

A_0 为工作轧辊辊身中心为坐标原点处的辊身半径;

A_1 为工作轧辊辊形轮廓曲线的线性不对称参数,其数值可通过②确定:

$$A_1 = K_1 + K_2 \cdot B_p + K_3 \cdot B_r + K_4 \cdot B_r/B_p + K_5/R^3 + K_6 \cdot T_q \quad ③$$

其中, B_p 为轧件宽度,单位是 m;

B_r 为工作辊辊面长度,单位是 m;

R 为工作辊名义半径,单位是 m;

T_q 为工作辊负载时平均扭矩,单位是 KN · m;

K_1 、 K_2 、 K_3 、 K_4 、 K_5 和 K_6 为调整参数,其取值范围为 (-1 ~ 1);

A_2 为工作轧辊辊形轮廓曲线的对称性参数,其数值可通过公式③确定:

$$A_2 = M_1 + M_2 \cdot B_p + M_3 \cdot B_r + M_4 \cdot B_r/B_p + M_5/R^3 + M_6 \cdot T_q \quad ④$$

其中, B_p 为轧件宽度,单位是 m;

B_r 为工作辊辊身长度,单位是 m;

R 为工作辊名义半径,单位是 m;

T_q 为工作辊负载时平均扭矩,单位是 KN · m;

M_1 、 M_2 、 M_3 、 M_4 、 M_5 和 M_6 为调整参数,其取值范围为 (-1 ~ 1);

A_3 为工作轧辊辊形轮廓曲线的非线性不对称参数,其数值可通过⑤确定:

$$A_3 = N_1 + N_2 \cdot B_p + N_3 \cdot B_r + N_4 \cdot B_r/B_p + N_5/R^3 + N_6 \cdot T_q \quad ⑤$$

其中, B_p 为轧件宽度,单位是 m;

B_r 为工作辊辊身长度,单位是 m;

R 为工作辊名义半径,单位是 m;

T_q 为工作辊负载时平均扭矩,单位是 KN · m;

N_1 、 N_2 、 N_3 、 N_4 、 N_5 和 N_6 为调整参数,其取值范围为 (-1 ~ 1);

(2) 同样,下工作辊相对于轧辊中心线的上轮廓曲线通过关系式⑥来描述:

$$S_{WD}(x) = -B_3 \cdot x^3 - B_2 \cdot x^2 - B_1 \cdot x + B_0 \quad ⑥$$

其中, B_3 、 B_2 、 B_1 、 B_0 条件同上。

[0011] (3) 通过将轧机上工作辊的下轮廓辊形曲线、下工作辊的上轮廓辊形曲线放在一个坐标系里叠加处理,获得上、下工作辊空载辊缝高度曲线关系式⑥如下:

$$\text{Gap}(x) = (A_3 + B_3) \cdot x^3 + (A_2 + B_2) \cdot x^2 + (A_1 + B_1) \cdot x + \text{Gap}_0 \quad (7)$$

其中：

x ：在工作辊辊身轴向上的坐标，辊身中心为坐标原点；

Gap_0 为辊身中心为坐标原点处的辊缝设定值。

[0012] 所述空载辊缝高度曲线包括线性不对称部分和具有非线性的不对称部分；

所述空载辊缝高度曲线中的线性不对称部分，通过工作辊磨削实现，或通过在轧制过程中采用单侧压下调节方式，或通过轧机传动侧和工作侧的不对称压下来实现。

[0013] 所述空载辊缝高度曲线中具有非线性的不对称部分，采用工作辊磨削非线性不对称辊形曲线来实现。

[0014] 所述板带轧机非线性不对称空载辊形曲线和空载辊缝曲线单独在轧机上应用。

[0015] 将所述非线性不对称空载辊形轮廓曲线与该轧机当前应用的轧辊热凸度补偿曲线、连续可变凸度曲线和 / 或其它辊形轮廓曲线叠加后，形成新的不对称空载辊形轮廓曲线及辊缝曲线来应用。

[0016] 所述上、下工作辊间新产生的空载辊缝高度曲线满足：

$$\text{Gap}(x) = (A_3 + B_3) \cdot x^3 + (A_2 + B_2) \cdot x^2 + (A_1 + B_1) \cdot x + \text{Gap}_0 + f_u(x) - f_d(x) \quad (7)$$

其中： $f_u(x)$ 和 $f_d(x)$ 分别为板带轧机当前应用的上、下工作辊辊形曲线函数。

[0017] 所述非线性不对称空载辊形轮廓曲线与该轧机当前应用的轧辊热凸度补偿曲线、连续可变凸度曲线和 / 或其它辊形轮廓曲线无论如何叠加处理，不改变本发明提出的空载辊缝曲线的非线性不对称特征的存在。

[0018] 本发明至少具有如下有益效果：

本发明提供的板带轧机不对称板形的补偿与控制方法，与现有板带轧机的板形控制技术有着根本的区别，主要在于本发明提出了通过上下工作辊之间形成传动侧与操作侧的不对称空载辊缝高度曲线的措施，来改进板带轧机不对称板形质量，而现有的板形控制技术无论采用哪种对称或不对称轧辊半径轮廓曲线，但其方案设计是以辊缝曲线的传动侧与操作侧对称为基本原则的。

[0019] 本发明可以有效解决当前技术条件下所加工板带产生的不对称板形缺陷及其带来的质量控制和生产稳定性问题。

附图说明

[0020] 图 1 为本发明上工作辊的下轮廓曲线与下工作辊的上轮廓辊形曲线放在一个坐标系下的图形。

[0021] 图 2 为本发明辊缝高度设定曲线分解图。

[0022] 图中，1 为轧机上工作辊的下轮廓曲线，2 为下工作辊的上轮廓辊形曲线，3 为标识空载辊缝最大值的直线，4 为连接空载辊缝最大值和最小值的连线，5 为空载辊缝高度曲线。

具体实施方式

[0023] 为充分了解本发明之目的、特征及功效，借由下述具体的实施方式，对本发明做详细说明，但本发明并不仅仅限于此。

[0024] 本发明的一种板带轧机不对称板形的补偿方法，通过对轧机工作辊轮廓磨削特定曲线，得到上下工作辊之间形成传动侧与操做侧的不对称的设定辊缝，对加工金属板带所产生的不对称板形进行补偿与控制，避免轧制过程中出现跑偏、甩尾和不对称板形等一系列问题。

[0025] 本发明所述的不对称板形是指在常规板带轧机轧制过程中，通常出现的板带左右两侧的厚度不对称分布现象以及由此引发的板带不对称浪形(或潜在浪形)。

[0026] 本发明所述的跑偏是指在轧制中轧件相对于轧制中心线来说，向轧机的操作侧或者传动侧弯曲的现象。

[0027] 本发明所述的甩尾是指轧板在轧制时尾部出轧机后不能正常运行，出现摆甩抖跳现象，又在这种状态下进入下一机架，造成轧板尾部折叠，破碎。

[0028] 下面对本发明板带轧机不对称板形的补偿方法进行详细说明。

[0029] 一种板带轧机不对称板形的补偿方法，对轧机上、下工作辊轮廓中的至少一个上磨削非线性不对称辊形曲线，使得上下工作辊之间形成传动侧与操做侧的非线性不对称的辊缝高度曲线。

[0030] 所述非线性不对称空载辊形轮廓曲线为三次或三次以上的以轧辊轴向坐标为变量的多项方程式，所述上、下工作辊之间形成的非线性不对称空载辊缝高度曲线同样为三次或三次以上的以轧辊轴向坐标为变量的多项方程式。

[0031] 所述非线性不对称空载辊形轮廓曲线方程式描述为一元三次多项式如①和⑤，从而上、下工作辊之间形成非线性不对称辊缝描述为一元三次多项式如⑥，是实施本发明并达到本发明所提出的预期目标的简单可行方法。具体实施过程符合描述如下：：

(1) 上工作辊相对于轧辊中心线的下轮廓曲线通过关系式① 来描述：

$$S_{WU}(x) = A_3 \cdot x^3 + A_2 \cdot x^2 + A_1 \cdot x + A_0 \quad ①$$

其中：

x 为在工作轧辊辊身轴向上的坐标，辊身中心为坐标原点；

A_0 为工作轧辊辊身中心为坐标原点处的辊身半径；

A_1 为工作轧辊辊形轮廓曲线的线性不对称参数，其数值可通过②确定：

$$A_1 = K_1 + K_2 \cdot B_p + K_3 \cdot B_r + K_4 \cdot B_r/B_p + K_5/R^3 + K_6 \cdot T_q \quad ②$$

其中， B_p 为轧件宽度，单位是 m；

B_r 为工作辊辊面长度，单位是 m；

R 为工作辊名义半径，单位是 m；

T_q 为工作辊负载时平均扭矩，单位是 KN · m；

K_1 、 K_2 、 K_3 、 K_4 、 K_5 和 K_6 为调整参数，其取值范围为 (-1 ~ 1)；

A_2 为工作轧辊辊形轮廓曲线的对称性参数，其数值可通过公式③确定：

$$A_2 = M_1 + M_2 \cdot B_p + M_3 \cdot B_r + M_4 \cdot B_r/B_p + M_5/R^3 + M_6 \cdot T_q \quad ③$$

其中， B_p 为轧件宽度，单位是 m；

B_r 为工作辊辊身长度，单位是 m；

R 为工作辊名义半径，单位是 m；

T_q 为工作辊负载时平均扭矩，单位是 KN · m；

M_1 、 M_2 、 M_3 、 M_4 、 M_5 和 M_6 为调整参数，其取值范围为 (-1 ~ 1)；

A_3 为工作轧辊辊形轮廓曲线的非线性不对称参数,其数值可通过④确定:

$$A_3 = N_1 + N_2 \cdot B_p + N_3 \cdot Br + N_4 \cdot Br/B_p + N_5/R^3 + N_6 \cdot Tq \quad ④$$

其中, B_p 为轧件宽度,单位是 m;

Br 为工作辊辊身长度,单位是 m;

R 为工作辊名义半径,单位是 m;

Tq 为工作辊负载时平均扭矩,单位是 KN·m;

N_1 、 N_2 、 N_3 、 N_4 、 N_5 和 N_6 为调整参数, 其取值范围为(-1 ~ 1);

(2) 同样,下工作辊相对于轧辊中心线的上轮廓曲线通过关系式⑤ 来描述:

$$S_{WD}(x) = -B_3 \cdot x^3 - B_2 \cdot x^2 - B_1 \cdot x + B_0 \quad ⑤$$

其中, B_3 、 B_2 、 B_1 、 B_0 条件同上。

[0032] (3) 通过将轧机上述上、下工作辊装配在同一个轧机相应位置,获得上、下工作辊间的空载辊缝高度曲线关系式⑥如下:

$$Gap(x) = (A_3 - B_3) \cdot x^3 + (A_2 - B_2) \cdot x^2 + (A_1 - B_1) \cdot x + Gap_0 \quad ⑥$$

其中:

x :在工作辊辊身轴向上的坐标,辊身中心为坐标原点;

A_3 和 B_3 不得相等,或者说 $(A_3 - B_3)$ 不能等于零;

Gap_0 为辊身中心为坐标原点处的辊缝设定值。

[0033] 采用上述工作辊装配好的轧机进行相应条件下的板带生产,即可获得发明所述的有益效果。

[0034] 图 2 所示,空载辊缝高度曲线 5 包括标识空载辊缝最大值的直线 3 和连接空载辊缝最大值和最小值的连线 4 之间形成的线性不对称部分和连接空载辊缝最大值和最小值的连线 4 与空载辊缝高度曲线 5 之间形成的具有非线性曲线的不对称部分;

其中,线性不对称部分,通过可以工作辊磨削实现,也可以通过在轧制过程中采用单侧压下调节方式,或通过轧机两侧不对称压下来实现。

[0035] 具有非线性曲线的不对称部分,采用工作辊磨削不对称曲线且满足本发明前述的条件来补偿。

[0036] 轧机的两个工作辊经过磨削不对称曲线后,上下工作辊之间不对称程度可以无差异,也可以有差异。可以在轧机的一个工作辊上磨削不对称曲线,不影响上下轧辊之间整体辊缝的不对称性。

[0037] 本发明板带轧机不对称板形的补偿方法可以单独在轧机上应用,也可以与轧辊热凸度补偿曲线、连续可变凸度曲线(申请号 200980151893.7 的中国专利)叠加,产生新的轧机非线性工作辊空载轮廓曲线在轧机上应用。但无论怎么叠加处理,不改变轧机两个工作辊中间空载辊缝的非线性不对称特性。

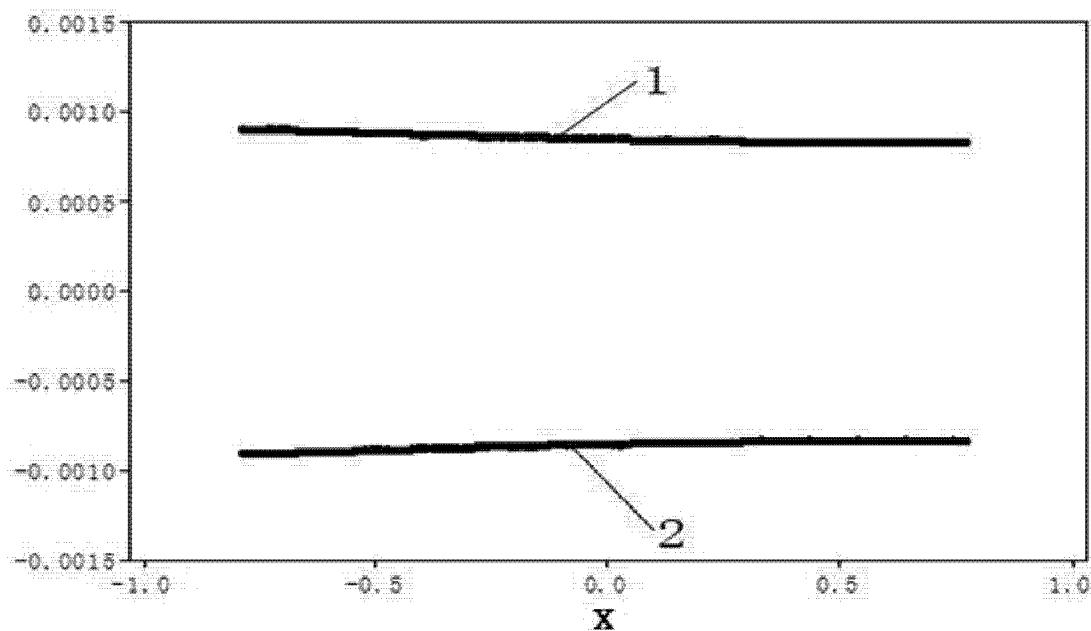


图 1

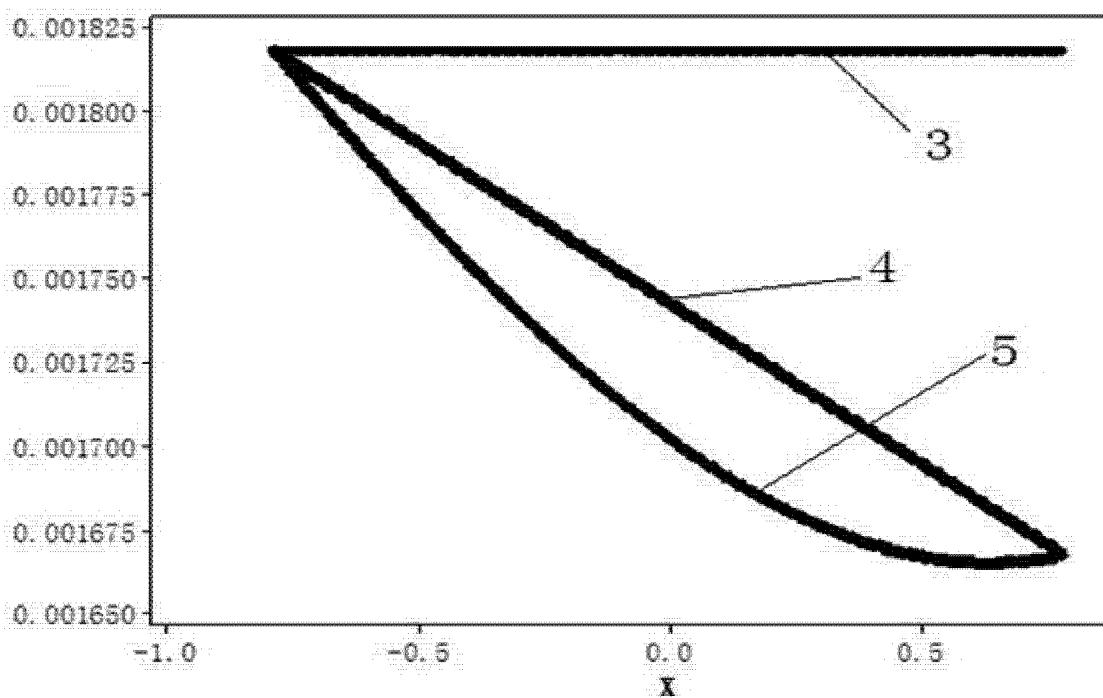


图 2