

· 系统与装置 ·

武钢三热轧 1 580 mm 热连轧机飞剪控制模型

杨天贵, 许 劼

(武汉科孚德自动化有限公司, 湖北 武汉 430080)

摘要: 武汉钢铁(集团)公司三热轧 1 580 mm 热连轧机飞剪控制系统采用先进的数学模型, 精确计算飞剪剪切的各项控制参数, 实现飞剪的自动剪切、定位和停车功能。数学模型包括飞剪剪切角计算模型、飞剪剪切启动距离计算模型和飞剪速度目标值计算和调节模型。实际应用结果表明, 采用该数学模型将轧件的平均剪切误差控制在 10 cm 以内, 提高了产品产量和成材率。

关键词: 热连轧; 飞剪; 数学模型

中图分类号: TG334.9 **文献标志码:** B **文章编号:** 1000-7059(2009)03-0025-04

Flying shears control model for 1 580 mm hot strip mill in the Third Hot Rolling Plant of WISCO

YANG Tian-gui, XU Jie

(Converteam Wuhan Automation Co., Ltd., Wuhan 430080, China)

Abstract: In flying shears control system for 1 580 mm hot strip mill in the Third Hot Rolling Plant of WISCO, advanced mathematical model was adopted to accurately calculate each control parameter of fly shearing, so that cutting, positioning and stop functions of flying shears were achieved. Mathematical model includes cutting angle calculation, shearing start distance calculation and shearing speed calculation. Application results show that average cutting tolerance of rolled strip was controlled within 10 cm, and product output and economic benefits were improved.

Key words: hot strip mill; flying shear; mathematical model

0 引言

飞剪是热连轧线的关键设备之一, 其工作稳定性及剪切精度将直接影响整条热连轧线的生产, 并对产品质量和成材率产生很大影响。

武汉钢铁(集团)公司三热轧 1 580 mm 热连轧机生产线自动控制及传动系统由武汉科孚德自动化有限公司(CONWAC)和德国 Converteam 公司(CVTG)共同提供及合作调试完成。该热轧线已于 2007 年 12 月建成投产, 实践证明该飞剪控制系统能很好地完成剪切、定位和停车过程, 动作准确, 剪切精度高, 满足了用户生产的需要。

1 飞剪剪切工作过程

在热连轧生产线上, 为满足精轧机咬钢及卷

取机卷取的需要, 板坯进入精轧机前需要使用飞剪对板坯进行切头和切尾。此外, 飞剪的切头及切尾刀刃要求沿轧制方向具有向前和向后的弧度, 从而保证轧制出来的板坯也具有相同方向的弧度, 因此切头和切尾需要使用不同形状的刀刃。武钢 1 580 mm 热连轧机采用 90 间距的双剪刀布局, 如图 1 所示, A 刃是切头剪刀, B 刃是切尾剪刀, 剪刀装在上下转鼓上, 上下转鼓间由同步齿轮相连。当电动机带动下转鼓转动, 上转鼓也同时转动, 从图 1 的方向看, 剪切时上转鼓逆时针旋转, 下转鼓顺时针旋转。

以上切头剪刀 A 为基准计算剪刀角度, A 刃对着正下方时为 0° 角度沿逆时针增加。切头时,

收稿日期: 2008-08-12; 修改稿收到日期: 2009-02-19

作者简介: 杨天贵 (1965-), 男, 湖北宜昌人, 教授级高级工程师, 硕士, 主要从事冷轧、热轧自动化工程管理及研究工作。

首先飞剪转到切头等待位 90°;HMD 检测板坯头部到达飞剪区域时飞剪转到切头启动位置 140°;利用数学模型计算板坯头部到达飞剪剪切启动点时,飞剪由 140°加速旋转直到剪切点,随即以剪切点的速度匀速旋转过 360°完成板坯头部剪切,最后转到切尾等待位 90°;整个切头过程如图 1 所示。

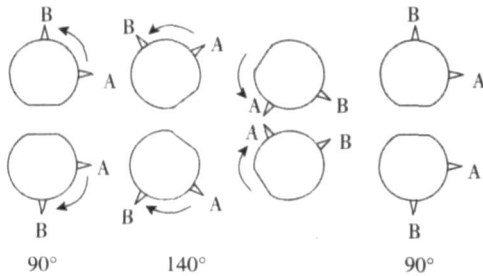


图 1 切头过程

Fig. 1 Process of head cutting

切尾时,此时飞剪已经转到切尾等待位 90°;采用跟踪算法计算板坯尾部到达飞剪区域时,飞剪反向转到切尾启动位置 30°(此时 B 刃为 120°),板坯尾部到达飞剪剪切启动点时飞剪由 30°加速旋转直到剪切点,随即以剪切点的速度匀速旋转过 360°完成板坯尾部剪切,最后转到切头等待位 90°;整个切尾过程如图 2 所示,重复上述过程完成热连轧板坯连续剪切。

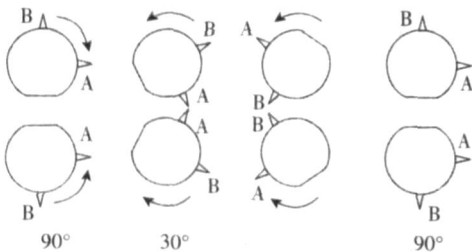


图 2 切尾过程

Fig. 2 Process of tail cutting

2 飞剪过程控制数学模型

2.1 飞剪剪切角计算模型

剪切角是飞剪剪刀接触到板坯表面时剪刀的角度,由于飞剪剪刀的弧度相对剪刀半径很大,因此剪刀的弧度对剪切角的影响可以忽略不计。剪切角度可以根据各物理量间的几何关系计算,如图 3 所示。

$$\cos \theta = \frac{b}{r} = \frac{d - 1/2 \cdot e - 1/2 \cdot f}{r}$$

$$\theta = \arccos \frac{r - 1/2 \cdot e - 1/2 \cdot f}{r} \quad (1)$$

式中, θ 为剪切角; r 为剪刀半径; e 为板坯厚度; f 为上下剪刀重叠量。其中 r, f 是常量,因此飞剪剪切角 θ 只与板坯厚度 e 有关。

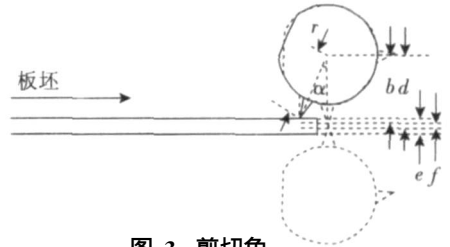


图 3 剪切角

Fig. 3 Cutting angle

2.2 飞剪剪切启动距离计算模型

剪切启动距离是飞剪开始加速剪切时板坯的水平位置,以板坯头部或尾部距飞剪中心的距离表示。飞剪以恒加速度 a 从启动点加速至剪切点,随后以剪切点的速度匀速转过 θ 到达与剪切点对称的角度,定位到切头或切尾等待位。假设 S_0 为飞剪开始加速到剪刀接触到板坯后剪刀转过的弧线长度,板坯线速度为 v_h ,飞剪从启动点(剪刀角度 θ)以零速启动,剪刀线加速度为 a ,经过时间 T 与板坯接触时剪刀切线速度为 v_c ,以切头为例,如图 4 所示,根据各物理量间几何关系,可以计算飞剪启动距离 g_0 。

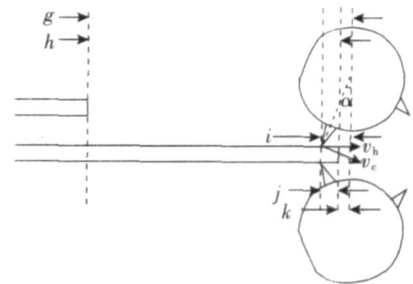


图 4 切头启动位置

Fig. 4 Head cutting start position

g —剪切启动点距离; h —飞剪开始加速到剪刀接触板坯过程中板坯前进距离; i —剪切点距离飞剪中心水平距离; j —切头长度; k —剪切时板坯头部距离飞剪中心水平距离

飞剪到达切头剪切点时,水平速度加速到带有超前量修正的板坯水平速度;飞剪到达切尾剪切点时,水平速度加速到带有滞后量修正的板坯水平速度,以保证切头或切尾时废料和板坯彻底分离^[1]。超前/滞后速度百分比为 v_m 。 v_m 正值为

超前,负值为滞后^[2]。由此可得

$$v_c \cdot \cos \alpha = (1 + v_m) \cdot v_h \quad (2)$$

其中,

$$v_c = aT$$

则有

$$aT \cdot \cos \alpha = (1 + v_m) \cdot v_h \quad (3)$$

对剪刀速度积分可得

$$S_c = \int_0^r a t dt = 1/2 \cdot aT^2 = \frac{(1 + v_m) \cdot v_h T}{2 \cos \alpha}$$

根据几何关系有

$$S_c = (2 - \dots) \cdot r$$

则有

$$h = v_h T = \frac{2S_c \cdot \cos \alpha}{1 + v_m} = \frac{2 \cdot (2 - \dots) \cdot r \cdot \cos \alpha}{1 + v_m} \quad (4)$$

由图 4 及式 (4) 可得

$$g = h + k = h + i - j = \frac{2 \cdot (2 - \dots) \cdot r \cdot \cos \alpha}{1 + v_m} + r \cdot \sin \alpha - j \quad (5)$$

同理,切尾时,如图 5 所示。

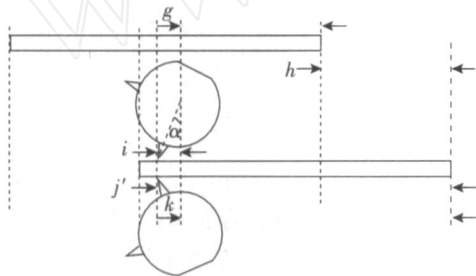


图 5 切尾启动位置

Fig. 5 Tail cutting start position

$$g = j - h - i = j - \frac{2 \cdot (2 - \dots) \cdot r \cdot \cos \alpha}{1 + v_m} - r \cdot \sin \alpha \quad (6)$$

式中, v_m 为带尾滞后速度百分比; j 为切尾长度。

2.3 飞剪速度目标值计算及调节

2.3.1 飞剪定位速度目标值计算及调节

采用跟踪算法计算出板坯头(尾)信号到达飞剪区域时,飞剪旋转至切头(尾)的启动位置。速度设定和调节原理框图如图 6 所示。

比较飞剪剪切角度的参考值和实际值,利用比例调节器加死区控制和限幅计算出飞剪速度的目标值。

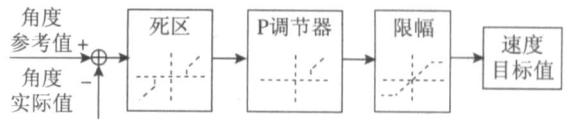


图 6 定位速度控制

Fig. 6 Speed control of positioning

2.3.2 飞剪加速速度目标值计算及调节

飞剪的加速控制是飞剪运动控制系统的核心^[3]。加速启动后,飞剪以恒加速度 a 转动至剪切点时,剪刀速度水平分量等于带有滞后量修正的板坯水平速度,同时保证剪切量等于设定的切除长度。加速控制采用速度控制和位置控制的综合控制,即在速度前馈控制模型的基础上加上位置偏差的反馈调节,用式 (7) 表示^[4]。

$$v(t) = v_c(t) + v_p(t) \quad (7)$$

式中, $v(t)$ 为 t 时刻飞剪剪刀的切线速度的目标值; $v_c(t)$ 为 t 时刻飞剪剪刀的切线速度前馈控制模型计算值; $v_p(t)$ 为 t 时刻飞剪剪刀位置偏差的反馈调节量。假设 $S_h(t)$ 为 t 时刻板坯头(尾)从剪切点前进的距离, $S_m(t)$ 为 t 时刻板坯头(尾)距离飞剪中心长度,在任意时刻,采用跟踪算法计算 $S_m(t)$,再用式 (8) 计算 $S_h(t)$ 。

$$S_h(t) = g - S_m(t) \quad (8)$$

由式 (3) 和 (4) 可得剪刀加速度:

$$a = \frac{(1 + v_m) \cdot v_h}{\cos \alpha \cdot T} = \frac{(1 + v_m) \cdot v_h \cdot v_h}{\cos \alpha \cdot h} \quad (9)$$

由式 (8) 和 (9) 可得剪刀切线速度前馈计算值

$$v_c(t) = a \cdot t = \frac{(1 + v_m) \cdot v_h \cdot v_h \cdot t}{\cos \alpha \cdot h} = \frac{(1 + v_m) \cdot v_h \cdot S_h(t)}{\cos \alpha \cdot h} = \frac{(1 + v_m) \cdot v_h \cdot [g - S_m(t)]}{\cos \alpha \cdot h} \quad (10)$$

假设 t 时刻,板坯头(尾)从剪切点前进的相对距离 $P_h(t) = \frac{g - S_m(t)}{g}$,剪刀角度为 $\alpha(t)$,则剪刀转过的相对弧线距离

$$P_c(t) = \frac{l(\alpha(t)) - l(\alpha_0)}{2 - \dots} = \frac{(\alpha(t) - \alpha_0)}{2 - \dots} \quad (11)$$

飞剪位置偏差的反馈调节中,我们以 $P_h(t)$ 作为 t 时刻剪刀位置的参考值, $P_c(t)$ 作为 t 时刻剪刀位置的实际值,则偏差 $e(t)$ 为:

$$e(t) = P_h(t) - P_c(t) = \frac{g - S_m(t)}{g} - \frac{(\alpha(t) - \alpha_0)}{2 - \dots} \quad (12)$$

通过 PI 调节计算出 t 时刻飞剪位置偏差的反馈调节量 $V_p(t)$ 为:

$$V_p(t) = K_p \cdot [e(t) + \frac{T}{T_i} \int_0^t e(t) \cdot dt] = K_p e(t) + K_i \int_0^t e(t) \cdot dt \quad (13)$$

式中, $K_i = K_p \cdot \frac{T}{T_i}$; K_p 为 PI 调节器比例系数; T 为 PI 调节器采样周期; T_i 为 PI 调节器积分时间常数。

由式 (7), (10), (12) 和 (13) 可以得到 t 时刻飞剪剪刀的切线速度目标 $v(t)$ 为:

$$v(t) = \frac{(1 + v_m) \cdot v_h \cdot [g - S_m(t)]}{\cos \alpha \cdot h} + K_p \cdot \left[\frac{g - S_m(t)}{g} - \frac{(t) -}{2} \right] + K_i \cdot \int_0^t \left[\frac{g - S_m(t)}{g} - \frac{(t) -}{2} \right] \cdot dt \quad (14)$$

飞剪加速剪切速度设定和调节原理如图 7 所示。

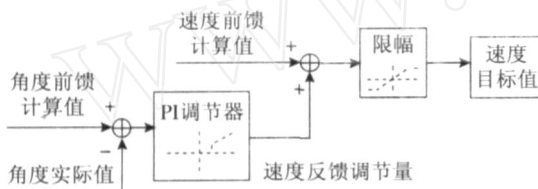


图 7 加速剪切速度控制

Fig. 7 Speed control of accelerating cut

3 模型的实现

模型通过 Convertteam 公司的高性能控制器 HPCi (High-Performance Controller) 实现, 它是一

个基于标准 VME 计算机的多任务实时处理器, 响应速度快、处理能力强。其 CPU (中央处理单元) 的最高主频可达 1.8 GHz, 程序轮询速度最快可达 1 ms。基于 HPCi 的编程软件 P80i 功能强大, 不仅能实现基本的逻辑控制功能, 其功能库 (Function Libraries) 也包含了丰富的数学函数计算功能块, 不通过二级机系统也能够快速准确地完成飞剪控制模型中的飞剪剪切角、飞剪剪切启动距离以及飞剪速度目标值等参数的计算及飞剪速度调节, 保证了较高的剪切控制精度。

武钢三热轧 1580 mm 热连轧生产线飞剪控制系统于 2007 年 12 月投入应用以来, 系统运行稳定, 提高了剪切精度, 剪切平均误差在 10 cm 以内, 降低了切头、尾的损耗, 得到用户的好评。

参考文献:

- [1] 欧阳湘新. 飞剪自动控制系统的的过程和原理 [J]. 南方金属, 2003 (134): 30-33
OUYANG Xiang-xin Principle and operation of the auto-control system for flying shears [J]. Southern Metals, 2003 (134): 30-33.
- [2] 谢向群, 张奉贤. 梅山热轧厂飞剪控制系统 [J]. 冶金自动化, 2003, 27 (增刊): 78-83.
- [3] 林奎. 1700 mm 横切飞剪控制系统分析 [J]. 铝加工, 2005 (160): 42-46.
- [4] 张胜民, 秦晓平, 刘国君. 具有前馈控制的热连轧机板材飞剪 [J]. 冶金自动化, 2003, 27 (2): 31-34.
ZHANG Sheng-min, QN Xiao-ping, LU Guo-jun The strip mill flying shear with feedforward control [J]. Metallurgical Industry Automation, 2003, 27 (2): 31-34.

[编辑: 沈黎颖]

YB 163/T-2008《消耗型快速热电偶》行业标准已实施

由中国计量协会冶金分会冶炼传感器专业委员会主持修订的 YB 163/T-2008《消耗型快速热电偶》行业标准, 于 2008 年 11 月 1 日颁布实施。此标准的实施对规范快速热电偶的研制和生产将起到非常重要的指导作用。

这次标准的修订历时一年多时间, 对原标准 YB 163/T-1999 中落后于目前技术发展且不能满足生产要求的条款进行了修改, 将新产品、新材料的内容补充到新标准中。

新标准经过修改和补充, 更加先进、完善, 更具有操作性, 使产品的制造企业能依据标准进行生产、出厂检验和型式试验, 使消耗型快速热电偶的使用厂家能依据标准进行产品的验证和产品质量的评价。

目前在国外尚无此类快速热电偶标准, 因此, 本标准填补了国内外空白。此标准的实施对于提高快速热电偶的产品质量、规范企业生产、促进行业进步将起到积极作用, 同时会使我国钢铁企业钢水温度测量精度得到提高, 生产出高质量的钢铁产品。对有色金属及铸造行业的技术进步也将起到积极的推动作用。

(中国计量协会冶金分会 冶炼传感器专业委员会)