

中厚板控制轧制过程控温厚度的优化计算

胡贤磊, 赵 忠, 矫志杰, 邱红雷, 刘相华, 王国栋

(东北大学轧制技术及连轧自动化国家重点实验室, 辽宁 沈阳 110004)

摘 要: 基于中厚板轧制过程设备安全能力限制、多坯交叉轧制对空间和时间的要求, 提出控温厚度的优化计算方法, 为 TMCP 工艺两阶段控制轧制的有效控制和轧机能力的有效发挥提供了有力保障。该方法已成功应用于国内某 3500mm 中厚板轧机在线设定。

关键词: 中厚板; 两阶段轧制; 控温厚度; 轧制规程; 交叉轧制

中图分类号: TG335.5 TP202.7 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003-9996 (2005) 02-0016-04

Optimization method of holding gauge on plate temperature control rolling process

HU Xian-lei, ZHAO Zhong, JIAO Zhi-jie, QIU Hong-lei, LIU Xiang-hua, WANG Guo-dong

(The State Key Lab of Rolling & Automation of Northeastern University, Shenyang 110004, China)

Abstract: Based on the equipment safety limit, tandem rolling demands for space and time, the holding gauge optimization method is put forward. This method provides a effective support for the technology of TMCP and makes full use of mill capability.

Key words: plate; two-phase control rolling; holding gauge; draft schedule; tandem rolling

1 前言

目前 TMCP 工艺越来越受到国内中厚板厂的重视, 其中两阶段轧制已经得到广泛应用。两阶段轧制的控温温度和控温厚度是关键参数, 如果控温厚度取值过小, 容易造成轧机能力发挥不够; 如果控温厚度取得过大, 容易造成道次负荷过大或道次数过多。针对这种情况, 从制定轧制规程的角度出发, 对中厚板控制轧制过程控温厚度进行了优化计算。

2 中厚板轧制规程和控温厚度的关系

第 2 阶段控轧过程轧制规程的制定有其特点, 即随着控温厚度增加, 各道次的轧制负荷随之增大, 但当控温厚度增大到某一数值时, 某一道次的轧制负荷可能超过安全限制条件 (如最大轧制力、最大轧制力矩等), 这时需要增加轧制道次, 重新进行轧制规程计算。这意味着第 2 阶段轧制规程的总道次数是一个变数, 它与控温厚度有很大关系。同时, 轧制道次的变化有可能使

终轧温度发生突变。表 1 中的数据是根据文献^[1]提供的轧制规程的负荷协调分配方法得出的结果。其中, 规程 1 的控温厚度虽小, 但其轧制总道次为 4, 最大轧制力达到 42095kN, 终轧温度为 850℃; 规程 2 和规程 3 轧制总道次相同, 但规程 2 的轧制负荷小于规程 3, 终轧温度均明显小于规程 1。

通常控温厚度越小, 各道次轧制负荷 (为讨论方便, 取轧制力代表轧制负荷) 越低, 如果将各道次轧制力中的最大值看成是控温厚度的函数, 则控温厚度 H_c 与最大轧制力 F_{\max} 之间为单调增函数。求解连续单调增函数的解在数学上很容易。但是, 单调函数 $F_{\max} = f(H_c)$ 有可能不连续, 其原因是: 当控温厚度超过某临界值时, F_{\max} 可能超过轧机能承受的限制, 这种情况下必须增加轧制道次, 重新分配轧制规程。新轧制规程对应的最大轧制力与原最大轧制力之间会有一个跳变, 即单调函数 $F_{\max} = f(H_c)$ 发生跳变, 其连续性被破坏。

收稿日期: 2004-03-12

作者简介: 胡贤磊 (1974-), 男 (汉族), 湖北大冶人, 副教授, 博士。

表 1 控温厚度对轧制规程的影响

道次	规程 1 (控温厚度 = 50mm)			规程 2 (控温厚度 = 60mm)			规程 3 (控温厚度 = 63mm)		
	出口厚度/mm	轧制力/kN	温度/℃	出口厚度/mm	轧制力/kN	温度/℃	出口厚度/mm	轧制力/kN	温度/℃
1	40.0	42095	904	48.8	38647	906	51.2	40047	905
2	33.2	38647	891	40.6	39679	895	42.4	41394	893
3	28.2	33980	876	34.2	36614	882	35.4	39206	881
4	25.0	26422	850	30.6	27969	859	30.6	33023	859
5	-	-	-	27.3	23609	845	27.4	25142	845
6	-	-	-	25.0	19519	831	25.0	20806	831

注：坯料规格 220mm×140mm×2950mm；产品规格 25mm×2600mm；控温温度：900℃

3 控温厚度的求解

控温厚度的求解需要考虑以下 3 个问题：

(1) 在轧机安全能力范围内选取控温厚度，但是道次压下量不能过小；

(2) 为了满足多块钢交叉轧制需要，控温厚度的选取必须满足待温辊道长度的限制；

(3) 控温厚度的选取需尽量满足控温温度的要求（特别是薄规格产品，如果控温时间过长会造成控温温度和终轧温度偏低）。

3.1 轧机安全限制对控温厚度上下限的影响

一般用终轧厚度的倍数来代表控温厚度，这里称之为控温厚度倍数。假定控轧工艺给定的控温厚度倍数范围为 $[k_1, k_2]$ 。

由于轧制负荷关系着设备的安全性，所以在设备安全条件下进行规程分配是优先考虑的条件。假设存在 $k_1 \leq k_3 \leq k_2$ ，使得 $[k_1, k_3]$ 之间，轧制道次为 p ，而在 $(k_3, k_2]$ 之间，轧制道次为 $p+2$ （在 $(k_3, k_2]$ 之间有可能出现轧制道次为 $p+4$ 的情况，这里不加以讨论），其中 k_3 是道次数变化临界点。

一般来说，道次越多，轧制负荷越小，则设备安全性越好。相对来说，当控温厚度倍数为 k_3 ，轧制道次为 $p+2$ 时，设备的安全性较高；而当控温厚度倍数为 k_1 、轧制道次为 p 时，设备的安全性稍差。

如图 1 所示，取设备最大能力 F_E 与道次最大轧制力的比值为安全系数。由于控温厚度在 $[k_1, k_3]$ 或 $(k_3, k_2]$ 之间变化时，轧制道次不发生变化，所以单调函数 $F_{\max} = f(H_c)$ 为连续增函数，则安全系数 $n = F_E / F_{\max}$ ，是 H_c 的连续减函数，即图 1 中的曲线 1 和曲线 2。设定一个设备安全限制，如果在安全限制线以上，设备安全性可得到保证。设备安全限制条件主要为最大轧制力和

最大力矩。为便于分析，取设备安全限制条件为最大轧制力限制。设备安全限制线与曲线 1、曲线 2 的交点分别为 (k_4, n_2) 和 (k_5, n_2) 。显然对于曲线 1，控温厚度倍数取 k_1 比 k_4 要安全，对于曲线 2，控温厚度倍数取 k_3 比 k_5 更安全。由此，轧机安全限制使得控温厚度倍数必须在区间 $[k_1, k_4]$ 和 $[k_3, k_5]$ 内取值。

虽然安全系数值越大，轧机安全性越高，但容易造成道次轧制负荷太小，压下量偏小，这也是规程分配需要避免的误区，所以控温厚度倍数的解应尽量取大值。

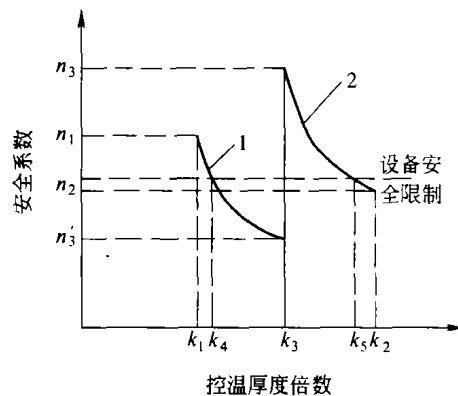


图 1 控温厚度倍数与安全系数的关系

3.2 多坯交叉轧制（待温辊道长度）对控温厚度的限制

一般控温坯料需放在控温辊道上待温，但是控温辊道的长度有限。通常，如果坯料较大，控温区长度不能同时放置 2 块钢，则需要减小控温厚度，减少控温时间，加快轧制节奏；如果控温区长度能够同时放置 2 块钢，则需加大控温厚度，增加控温时间，满足双坯或多坯轧制需要。

以国内某 3500mm 中厚板轧机的轧线设备布置为例，如图 2 所示，来分析如何根据跟踪区域划分及其长度来判断控温厚度的选取。

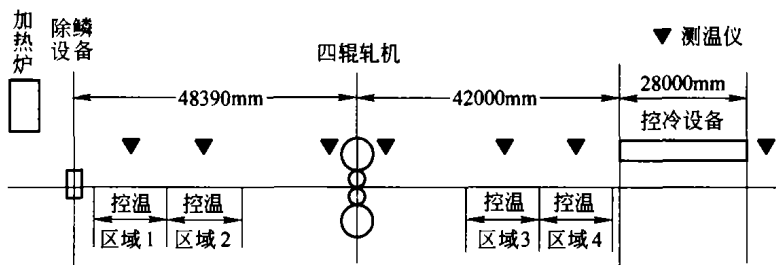


图 2 轧线跟踪区域划分

在图 2 中，控温区域 1~4 的辊道不仅用于运送轧件和满足轧制需要，同时用于中间坯控温。由于这 4 组控温辊道均采用集中传动方式进行控制，所以无法将其细分，即在控温过程中，每段辊道上至多只能有 1 块钢待温。

如果采用 3 块坯交叉轧制，则前 2 块坯料轧制到控温厚度后分别在控温区域 3、4 待温，第 3 块坯料轧制到控温厚度后移送到控温区域 1 待温，同时第 2 块坯料移送到控温区域 2 待温。当第 1 块坯料温度达到控温温度后，进行第 2 阶段轧制，以此类推，第 2、第 3 块坯料在温度达到控温温度后，也进行第 2 阶段轧制。从控温过程来看，控温时坯料长度不能超过控温区长度，这样终轧产品长度与控温区长度的比值是实现 3 块坯交叉轧制的控温厚度倍数的最小值。

同理，如果采用 2 块坯交叉轧制，控温区域 1 可单独作为一个控温区进行控温，也可与控温区域 2 合并成控温区域 5，控温区域 4 可单独作为一个控温区进行控温，也可与控温区域 3 合并成控温区域 6。第 1 块坯料轧制到控温厚度后在控温区域 6 或控温区域 4 控温，第 2 块坯料轧制到控温厚度后移送到控温区域 5 或控温区域 1 控温。当第 1 块坯料温度达到控温温度后，进行第 2 阶段轧制，以此类推，第 2 块坯料在温度达到控温温度后，进行第 2 阶段轧制。从控温过程来看，控温时坯料长度不能超过合并后的控温区长度，这样终轧产品长度与合并控温区长度的比值是实现双坯交叉轧制的控温厚度倍数的最小值。

假定 2 块坯交叉轧制和 3 块坯交叉轧制对应的控温厚度倍数分别是 k_6 与 k_7 。判断 $k_6、k_7$ 与 $[k_1, k_4]、[k_3, k_5]$ 的关系，如果 $k_7 < k_5$ 或 $k_7 < k_4$ ，则存在解，满足 3 块坯交叉轧制。如果 $k_6 < k_5$ 或 $k_6 < k_4$ ，则存在解，满足双坯交叉轧制。

3.3 控温温度对控温厚度的影响

控温区域长度在空间上也对控温厚度提出了

要求，但为了实现交叉轧制，提高轧制节奏，则必须考虑控温厚度是否在时间上满足控温温度的要求。通常，如果控温厚度较厚，则控温时间相对较长，且第 1 阶段轧制节奏较短，容易实现交叉轧制；而如果控温厚度较薄，则控温时间相对较短，且第 1 阶段轧制节奏较长，不易实现交叉轧制。

假定在某一控温厚度下，一块钢第 1 阶段轧制节奏为 t_1 ，第 2 阶段轧制节奏为 t_2 ，控温时间为 t_0 ，则交叉轧制与不同阶段轧制节奏的关系如图 3 所示。

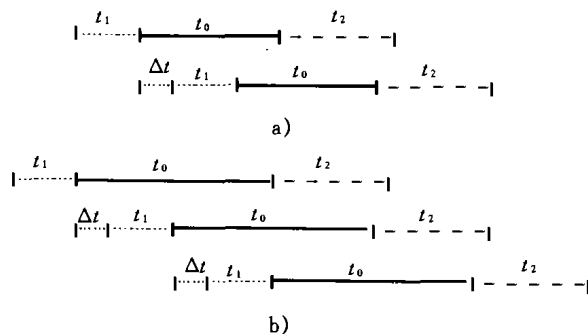


图 3 交叉轧制与各阶段轧制节奏的关系

a) 2 块坯交叉轧制；b) 3 块坯交叉轧制

显然，每一个控温厚度对应一个控温时间 t_0 ，控温厚度越厚， t_0 越长，实现 2 块坯或 3 块坯交叉轧制的可能性越大。由此可计算出控温温度对实现 2 块坯轧制和 3 块坯轧制要求的控温厚度倍数分别是 k_9 与 k_{10} 。判断 $k_9、k_{10}$ 与 $[k_1, k_4]、[k_3, k_5]$ 的关系，如果 $k_{10} < k_5$ 或 $k_{10} < k_4$ ，则存在解，满足 3 块坯交叉轧制。如果 $k_9 < k_5$ 或 $k_9 < k_4$ ，则存在解，满足 2 块坯交叉轧制。

根据以上分析制定的算法很简单，首先由不同限制求解出相应的解区间范围，然后将这些解区间进行比较，即可得出最终的解区间，在最终的解区间内取上限即可得到控温厚度的优化解。

中国 魔环 王环县沪环导卫有限公司

轴承钢轻拉材的工艺研究与开发

刘 凯, 周 靖

(宝钢集团五钢公司银亮钢厂, 上海 200940)

摘 要: 针对越来越多的用户提出的轴承钢棒线材轻拉交货的要求, 在强对流罩式炉和新的拉拔机组上进行了研究性生产, 找出了合适的退火工艺和冷拉材的变形量与抗拉强度间的规律, 为大规模生产提供了依据。

关键词: 轴承钢; 拉拔; 硬度; 强度

中图分类号: TG356.31 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003-9996 (2005) 02-0019-03

Development of the process for light-drawn bearing steel bars

LIU Kai, ZHOU Jing

(Bright Bar Plant of Baosteel Group Shanghai No.5 Steel, Shanghai 200940, China)

Abstract: In view of many customers requirements for bearing steel bars to be delivered by light-draw, this processing is researched. The reasonable annealing technology is established and the rule of tensile strength with deformation amounts is obtained.

Key words: bearing steel; light-drawn; hardness; strength

4 计算实例

以某厂 3500mm 轧机为例, 其工作辊长度为 3500mm, 工作辊直径为 $\Phi 950 \sim \Phi 1050$ mm, 支撑辊直径为 $\Phi 1900 \sim \Phi 2100$ mm, 最大轧制力为 74000kN, 最大扭矩为 6140kN·m。轧线布置见图 2。取表 1 中的坯料规格进行计算, 轧件控温厚度倍数范围是 $[2, 2.5]$, 开轧温度 1130℃。根据上述分析进行控温厚度的寻优计算, 控温厚度倍数为 2.5, 其轧制规程计算结果为表 1 中的规程 3。其控温厚度可满足 2 块钢交叉轧制。

5 结论

(1) 控温厚度与轧制规程最大负荷之间为单调增函数关系, 控温厚度倍数只有在安全区间 $[k_1, k_3)$ 或 $(k_3, k_2]$ 之间取值时, 设备安全性才能得到保证。为了有效地发挥设备能力, 控温厚度在安全范围内取上限。

(2) 终轧产品长度与控温区长度的比值是实现多坯交叉轧制的控温厚度倍数的最小值。控温

厚度倍数必须大于该比值才能满足交叉轧制的要求。如果 $k_7 < k_5$ 或 $k_7 < k_4$, 则存在解, 满足 3 块坯交叉轧制。如果 $k_6 < k_5$ 或 $k_6 < k_4$, 则存在解, 满足 2 块坯交叉轧制。

(3) 控温厚度越厚, 则控温时间越长, 实现 2 块坯或 3 块坯交叉轧制的可能性越大。如果 $k_{10} < k_5$ 或 $k_{10} < k_4$, 则存在解, 满足 3 块坯交叉轧制。如果 $k_9 < k_5$ 或 $k_9 < k_4$, 则存在解, 满足 2 块坯交叉轧制。

根据以上原则制定的优化算法可有效确定控温厚度, 采用这种方法后得到的轧制规程在 3500mm 中厚板轧机进行在线设定, 取得很好的效果。

参考文献:

- [1] 胡贤磊, 矫志杰, 邱红雷, 等. 中厚板精轧轧制规程的负荷协调分配法及其动态调整 [J]. 钢铁, 2003, 38 (4): 34.

收稿日期: 2004-08-25

作者简介: 刘 凯 (1971-), 男 (汉族), 四川成都人, 高级工程师, 银亮钢厂副厂长。