

设计参考资料

5

2003

北京首钢设计院

设计参考资料

(5)

2003 年 5 月

目 录

采用先进技术生产优质薄带.....	1
Bokaro 热带轧机力争超越设计能力.....	8
生产薄带钢和超薄带钢的新工艺、新设备.....	20

采用先进技术生产优质薄带

Peter Rainer

1999 年, Companhia Siderúrgica de Tubarao (CST) 将其在巴西 Vitoria 拟建的一套热带轧机按交钥匙工程总包给了由德国 SMS Demag AG 领导的国际财团。该套轧机于 2002 年 8 月 7 日开始热试车, 2002 年 8 月 31 日精轧出第一卷带卷。

该套热带轧机紧邻原有的两台连铸机, 建成这套轧机后, 板坯就可直接热装。目前该套热带轧机年产能力为 200 万 t。其设计还考虑到在二期和三期时将年生产能力扩大到 420 万 t 的长远规划。该套轧机主要生产宽 750-1880mm、成品厚度 1.2-16mm 的碳钢和少量不锈钢种。

1 轧机配置

该套热带轧机特点如下, 以物流安装顺序为序:

- 板坯区
- 再加热/步进梁式加热炉
- 高压液压除鳞系统
- 4 辊可逆式粗轧机
- 无芯轴板卷箱

- 滚筒式切头剪
- 二次除鳞机
- 6 机架 4 辊精轧机
- 层流冷却系统
- 两台液压地下卷取机
- 热光整机

板坯存放在能容纳 340 万 t/a 的板坯区。高压液压除鳞系统包括粗轧机的一次除鳞机和除鳞高压水集管。4 辊可逆式粗轧机装有包括辊道和输出辊道在内的辅助立式立辊。还为三期时安装第二粗轧机预留了空间。无芯轴板卷箱可同时进行卷取和开卷操作。

进入精轧机前，带钢通过二次高压液压除鳞机。该 6 机架 4 辊轧机带有 CVC 技术。该套热带轧机的核心——精轧机架装有全液压 AGC 系统、工作辊弯辊及工作辊窜辊系统、辊缝润滑及机座间冷却系统。为使轧制线稳定，机架 F6 为阶梯式楔形系统。液压活套挑安装在 F1-F3 机架处，张力计活套器安装在 F4 及 F5 机架处。在粗轧机及紧凑式精轧机上均装有将工作辊送往轧辊车间的快速换辊设备。

两台液压地下卷取机为自动台阶式控制。带卷经过检测线后到达热光整机，热光整机后是带卷切分线。

操作、控制及维护所需设备还包括带卷处理系统、有磨

床的轧辊车间以及水处理厂。

过程控制系统 X-Pact

带钢厚度 校正辊缝 调节无负载时的辊缝 有负载时的辊缝控制, 带有 动态干扰补偿 带轧辊轴向力补偿的轧辊 对正控制 补偿轧制力差的自动矫直 控制监视器控制 厚 1.2mm 以下的薄带快速 改变厚度轧制	带钢板形、外形及平直度 (PCFC 模式) CVC 工作辊窜辊位置控制 弯辊力控制包括同一卷内的 弯辊力控制 通过最后一个机架工作辊窜辊 操作进行自由轧制, 要把轧辊 磨损量和热凸度量考虑进去 根据张力计活套器测量的 平直度在 4、5 机架上控制 平直度
带卷温度控制 设置层流冷却系统 同一卷内的层流冷却系统 控制	地下卷取机技术控制 侧导卫技术 张拉辊控制 助卷机辊控制包括自动台阶 控制芯轴膨胀控制
物流控制 通过活套位置控制以及主驱动的旋转速度控制来控制张力	

2 成套技术

SMS Demag 提供专有成套技术来保证生产优质薄带所需的稳定的轧机运行条件。最佳轧机温度条件、带有液压活套挑和专用张力计活套器的快速动作的 AGC 液压缸, 以及高

效的过程控制系统使得能够在这套紧凑式热带轧机上生产出优质热轧薄带。

装在精轧机上的这些先进技术还能够保证热轧带钢在带钢厚度、板形、外形及平直度方面的质量达到最优。在带钢长度方向上的厚度偏差由 AGC 系统补偿。对辊缝的几何尺寸进行快速可变的调节能够得到极好的带钢板形、外形及平直度。证实可行的 CVC 技术的采用也带来了益处，即通过获得专利的 CVC 形辊的轴向移动来提高对辊缝的控制范围。

物理过程模型 PCFC（板形，外形及平直度控制）为带钢板形的的最终控制要素提供了最佳设置。该模型根据带钢平直度计算出成品带钢的外形和要求的板形。利用这些计算结果，可在最后机架上实现所谓的板形最佳化窜辊策略，从而减少板形偏差，在带钢宽度相差较大时，轧制大纲更具灵活性。

地下卷取机的自动台阶式控制可保证带卷内卷表面不受影响。该技术还可保护卷取机芯轴使其不受碰撞，提高芯轴的使用寿命。

无芯轴板卷箱可使带钢在整个长度上的温度一致。这样就能够轧制出厚度较薄的带钢和较大的带卷，具有减少带钢尾端轧机负荷、降低能耗以及提高带钢厚度、板形和平直度公差优点。另外还改进了中间坯卷内圈和外圈的温度，并

且由于中间坯从卷取位到开卷位的顺利传输，避免了带钢表面缺陷。

安装在精轧机上的过程控制系统“X-Pact”提供了下列技术控制项：

- 带钢厚度
- 物流
- 带钢板形、外形和平直度（PCFC 模型）
- 卷取温度
- 地下卷取机操作

物流控制是通过活套位置控制和主驱动旋转速度控制的张力控制进行的。用于测量板厚、厚度形状、宽度、平直度和温度曲线的多功能测量仪安装在最后机架的出口侧。用于测量整个带钢宽度的张力分布的张力计活套器装在 F4 和 F5 机架的出口侧。

为了监视精轧机和地下卷取机的工艺控制系统，安装了一套设备过程监视系统（PPMS）。该系统提供了有关设备状况的重要的详细信息。该 PPMS 系统可在早期显示可能出现的危险情况，保证设备维护，减少错误及故障。

3 成功操作的共同作用

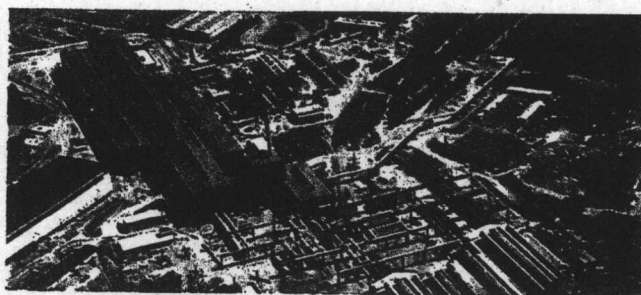
只有完善的生产技术与高效先进的自动化技术联合起

来，才有可靠的设备性能以及优质的热带产品。因而 SMS Demag 的服务理念包括这两种能力。

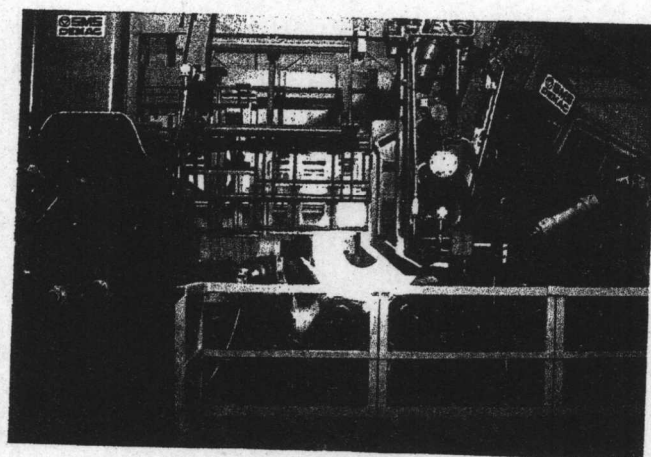
8 月底轧出第一卷带卷。2002 年 9 月 1 日该热轧线开始一班制运转。与此同时该轧机的操作达到每天 24 小时、每周 7 天的投产曲线。

王树娟 译自《MPT International》2003,1

高星亮 校



200 万 t/a 的热带轧机紧邻原有的两台连铸机



无芯轴的板卷箱可同时卷取和开卷

Bokaro 热带轧机力争超越设计能力

V K Srivastava

由于 Bokaro Steel 有限公司（印度 Bokaro）的热带轧机恰当地运用了先进的过程模型和工艺控制系统，因此就有可能扩大其所轧产品的尺寸范围，即厚度可从原来 1.5mm 的设计厚度减至 1.2mm，同时其最大轧制厚度还可从 16mm 提高到 20mm。这样只需极少投资即可扩大 Bokaro Steel 目前为当地及国际市场所供轧制产品的范围。本文概述了 Bokaro Steel 与 VAI 自动化部在实现这一非常成功的项目中所做的共同努力。

近些年来在经济状况下滑的情况下，高生产率、优质产品及生产成本是决定扁钢生产商竞争力的诸多因素中的三个重要因素。许多生产商已经扩大其热带产品范围以保持其市场份额。美国 2001 年提出的对钢材进口限制影响了全球范围的扁钢产品生产商，而且对于印度的许多钢材生产商来说也是如此。

因此，为了扩大其产品市场范围，印度扁钢生产商 Bokaro Steel 有限公司（SAIL 集团）请 VAI 与之共同完成扩大其热带轧机原有产品厚度范围的任务。随着自动化系统的投入使

用（该系统是 VAI 1998 年提供的），很快就认识到该模型的推算如此之精确，从而使得该轧机能够在不必超过由于不可预测设定点变化而产生的机械-物理约束的情况下超过原始设计极限。

成功降低所轧带钢最小厚度的最重要的因素是对整个带钢长度上的过程参数高度精确的推算，同时配合辊缝和活套自动控制的最佳设计和精确调节的工艺控制系统。过程控制的挑战是计算出轧机的设定，包括跨所有机架的轧制力分布、辊缝设定、弯辊力设定以及生产线速度等等，使得轧机上按设计能力只能轧最薄 1.5mm 厚轧材的设备能够生产出厚 1.2mm 的带钢。

然而，在设计自动化系统时，仍有一些机械设备限制不可忽略。只有对一块带钢在整个轧制周期内可能出现的每一个限制都加以考虑的一组工艺参数设定才能使全部限制接近轧机的设计极限。Bokaro 的热带轧机已经达到了这种状态。

1 Bokaro 热带轧机

Bokaro 热带轧机是与 Soviet 合作的结果，于 1975 年 12 月试车。该全连续式轧机原始设计生产参数见下表。

该热带轧机原始设计参数

带钢厚度	1.5-12.0 mm
带钢宽度	750-1850 mm
板坯厚度	180-250 mm
带卷单位重量	最大 20 kg/mm
带卷重量	最大 32 t
轧制速度	最大 20 m/s
钢种	碳钢及合金钢
年产量	3.63 Mt/a

1998 年 7 月，在停机的 37 天内，除安装了下列精轧设备外，第四台地下卷取机投入运行。

- 在机架 F9-F12 上安装了液压 AGC
- 在机架 F6-F12 上安装了弯辊系统
- 机架间冷却
- 改造了活套及导卫
- 精轧机的各种驱动控制
- 减小了辊距的输出辊道
- 输出辊道上的层流冷却

VAI 负责提供精轧机和地下卷取机的全部过程计算机、技术控制及基础自动化。1998 年 8 月 18 日轧出了第一卷带卷。

在新自动化系统不到两月的试运行及最佳时期后，完全

达到了令 Bokaro Steel 公司满意的保证值,在安装的 4 号地下卷取机上卷取的带卷最大厚度从 12.0 mm 提高到 16.0 mm。

VAI 开发的过程模型是以物理原理为基础的,而且还使用了人工智能法,与“黑匣子”模型相比,人工智能法能简化模型处理和模型推算功能。

仅包含以人工智能为基础的算法的模型总是不太可靠。当轧机自动化供应商开始回到编有物理原理的传统模型法时,VAI 已经开发出了所谓的“混合”法,尽可能使编入的物理原理和人工智能的利用与某些过程参数相匹配。该方法结合从轧机设备上得到的许多经验得出了经得住时间考验的过程模型,该过程模型能够提供轧机在其物理极限下操作所需的精确度。

2001 年 11 月, Bokaro Steel 请 VAI 与他们的专家一起工作,将其热带轧机所轧带钢的厚度调为最薄 1.2 mm,最厚 20.0mm。Bokaro Steel 的四名专家(一名负责过程最佳化,两名负责技术控制,一名负责基础自动化)与来自最初试车时的 VAI 的四名专家(两名负责过程最佳化系统,一名负责技术控制,一名来自 voestalpine Stahl 热带轧机运行)组成的专家组对先决条件进行了评估,并对过程计算机和技术控制系统作了必要的改造。

十天后,完成了必要的评估和修改,而且做好了第一次

试验用的自动化系统配置。

2001 年 11 月 28 日, 刚开始试轧就成功地轧出了第一块 1.2 mm 厚的带钢, 而且证实了所装过程模型和控制的可靠性和精确性。图 1 所示为第一块 1.2 mm 带钢的厚度记录图。由于带钢头部区域的温度变化, 可观察到头部有厚度超差。监视器反馈控制参数化很慢, 为的是避免第一块带钢在设定不匹配的情况下反应过快, 然而情况并非如此。

本文其余部分将讨论与减小常规轧机带钢厚度有关的参数。对于这些问题的讨论提供了能够成功地轧出 1.2 mm 带钢的技术要求的全貌。

2 轧制力、温度和驱动力矩推算

在常规轧机上轧制很薄带钢的最关键因素是中间坯至尾部的温度损失, 可是 Bokaro 热带轧机的传送辊道上没装保温罩。再加上机架间没有可变冷却系统, 这对轧制薄带来说使情况更加严峻, 因为如果机架间有可变冷却系统的话, 带钢穿入卷取机后, 轧机功率可以加速。

从温度的角度来看, 一旦提高轧机速度, 就会带来效益, 但是实践经验表明带钢头部在输出辊道上的空气动力特性会给带钢移动带来极大的不稳定性。为使带卷废品的危险降到最低, 决定带钢头部的速度不能超过 12 m/s。

这种情况要求在整块带钢的轧制周期中对轧制力、温度和驱动力矩有更精确的推算，以此作为将轧机调节到轧机机械系统和执行机构极限的轧机设定基础。VAI 提供的过程模型及其最佳功能完全满足了这些要求。使用的子模型分为两个主要部分：

- 轧制力和扭矩模型，包括推算屈服应力用的材料公式；
- 辊缝温度模型，即考虑了变形能量和通过轧辊的热传递、热辐射和机架间冷却的辊缝温度模型。

图 2-图 4 中的灵敏度分析给出了轧辊扭矩和轧制力与轧制速度、温度及辊缝间的依赖关系。该分析表明了其它参数保持恒定（对正确解释相关数值很重要）的条件下，对所选过程参数的依赖关系。

热轧中最主要的问题之一是为了达到带钢出口目标温度而使中间坯温降与轧机加速相互关联，这是各机架上应用的材料公式基础。

图 5 和图 6 对带钢头部与尾部之间轧制力、轧制功率及温度是如何变化的进行了分析，给出了答案。图中所示为精轧机架 1-7 的情况（显示的 S1-S7）。

分析结果表明第一机架的轧制力在带钢尾部急剧增大，表明接近轧机极限，由于如果超过负荷极限会非常危险，所以就要求对轧制力、轧辊扭矩及温度的推算要非常精确。在

所有轧机上都要使用推算的过程参数（轧辊圆周速度，弯辊力和辊缝等）。

3 板形及平整度的推算

在轧制较薄厚度带钢时，板形和平整度不仅是关键因素，而且还会给最后机架间的带钢稳定性带来很大影响。

安装的轧辊挠度模型可根据轧制力计算出整个带钢宽度上的有载辊缝。除轧辊磨损和整个带宽上的有载辊缝外，还要考虑到轧辊内的温度分布和热凸度。该模型计算出一组在轧制力改变时能够反应弯辊力必须改变的灵敏系数。该组灵敏系数用于 VAI 的弯辊力前馈控制的技术控制系统，以避免在下游机架的机架间和最终机架后的带钢平整度问题。

这里，由于轧制力在趋近带钢尾部时有很大变化，因此精确度非常重要。所轧带钢的最后部分的移动不稳定问题是众所周知的，特别是厚度低于 1.8 mm 的带钢容易发生，且对于越来越薄的出口厚度来说要求就更为严格。

用板形和平整度仪测得的数据进行自动模型修正，以提高板形和平整度模型的精确度。

4 自动厚度控制

1998 年 VAI 在 Bokaro Steel 实现的厚度自动控制已经包

括轧制薄带钢需要的性能，而且就各种补偿方法而论有极高的灵活性。总之，为了轧出薄带钢，必须考虑到下面几个自动厚度控制方面的问题：

- 轧辊在接触位置时（即校准时）与实际轧制时的轧辊挠度性能不同。确定由过程模型计算出的修正系数并用于辊缝预设及厚度控制。

- 正确设定轧机张拉补偿系数，以减少带钢尾部的轧制力变化。缺点是短时的厚度偏差没有被补偿到需要的程度。但是由于下游机架执行了前馈控制，所以与这个缺点没关系。

- 薄带钢的自动环路增益降低的监视器模拟功能。

- 自动辊缝增大的控制过载保护和平稳无振动轧制力极限保护。

5 活套控制

精确的辊缝设定对轧机穿带时的活套移动有影响。除由物流决定的静止行为外，在控制系统中必须考虑几种动态情况，即在轧制薄带钢时必须考虑的几种动态情况，尤其是甚至极小的物流故障都会导致活套堆积的这种动态情况：

- 根据推算的轧辊扭矩，由引导速度自动调整实现对主驱动减速的补偿；

- 利用自动增益转换达到活套快速控制和超调量抑制的