

# 热轧板带钢边部减薄控制技术的新进展

张芝香

(钢铁研究总院)

随着市场对热轧板带钢精度要求的日益严格,各种控制板形的新技术也在不断地进步。本文除简要介绍几种正在推广应用用于热轧的HC、CVC、PC和UPC等控制板形的设备和技术外,重点介绍日本为减少带钢边部减薄而开发的FSE和MEM等新技术与设备的概况。

## PROGRESS OF EDGE DROP CONTROL TECHNOLOGY IN HOT ROLLING STRIP

Zhang Zhixiang

(Central Iron & Steel Research Institute)

With increasingly strict demands for thickness tolerance of hot rolling strip in market, various new technologies for controlling strip profile have been developed. This article intends to introduce the general situation of technology and equipment of FSE and MEM which are aimed to reduce edge drop and developed in Japan. Besides, several technologies and equipments, such as HC, CVC, PC and UPC for controlling strip profile in hot rolling, which are how spreading are also introduced briefly.

### 1. 前言

随着科学技术的不断进步,板带轧制技术也正在向高速度、高精度、连续化、自动化等方向发展。用户对钢材产品的要求也更加严格,除要求严格控制钢的化学成分、钢材性能均匀、表面光洁外,还要求其外形精度高、尺寸偏差小。这在第四届和第五届国际轧钢会议上表现得极为突出。尤其是对板带钢的横向厚度精度的要求更严,板凸度值(即距带边 $i$ mm处板厚与中部板厚的差,简称凸度,用 $C_i$ 表示)已由 $C_{50}$ 、 $C_{25}$ 改为更接近边部的 $C_{10}$ 、 $C_5$ <sup>[1]</sup>。因为只有这样才能充分发挥自动化生产线稳产、低耗、质高、量大

的优越性。为此,世界工业发达国家在努力开发新的厚度、宽度、检测和控制技术的同时,也在不断地研究开发新设备、新工艺,以提高板带材的板形,即平直度(波浪度)和横断面(凸度、边部减薄和高点)的精度。特别是进入80年代以来,板形控制技术在不断地发展,开发了各种新型轧机和新的控制技术,几种有效的方法正在扩大推广应用。在这方面,日本和德国均处于领先的地位。但是,如何更有效地控制板带钢的边部减薄,仍然是板形控制中应继续尽快解决的问题之一。在日本钢铁协会的几次演讲会上,曾将控制边部减薄作为专题进行研讨,本文

联系人:张芝香,工程师,北京(100081)钢铁研究总院20室

将重点介绍其中的两种控制技术。

## 2. 板形控制的几种主要型式

图1是用于控制热轧板带钢板形的几种主要轧机及技术的示意图[2~7]。

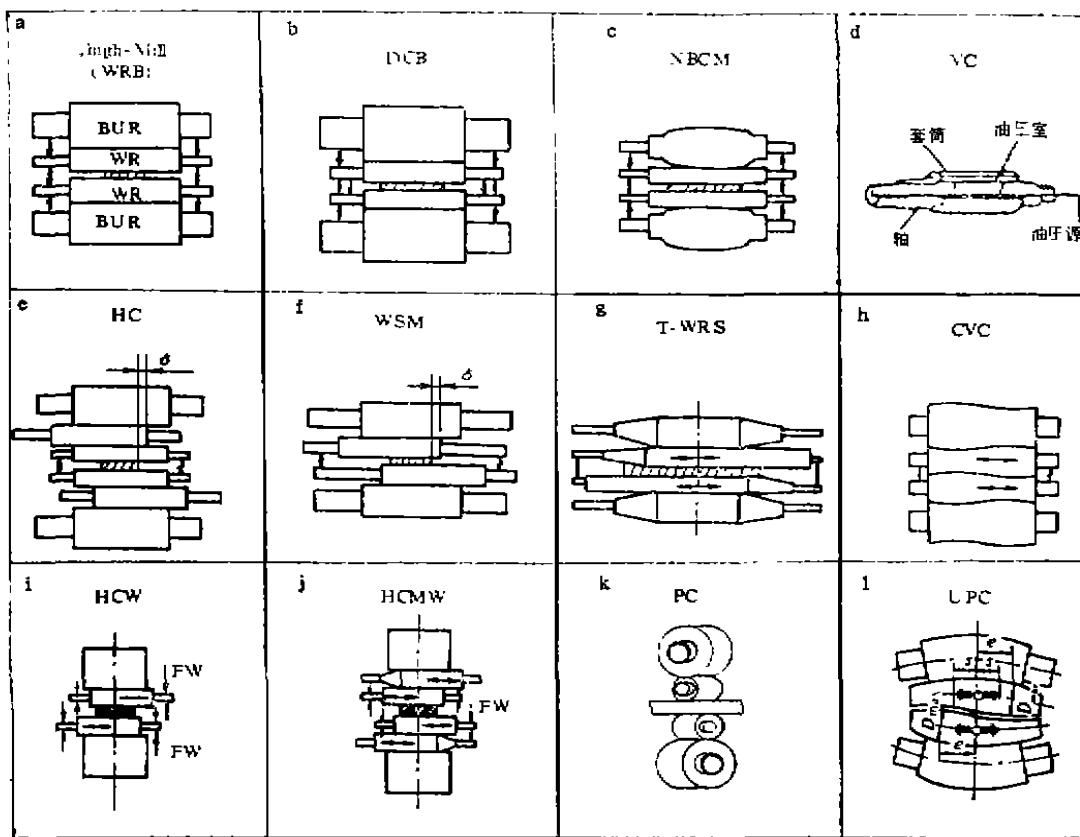


图1 用于热轧板带板形控制的轧机与技术

a—四辊工作辊弯辊轧机, b—双轴承座工作辊弯辊轧机, c—大凸度支承辊轧机, d—可变凸度轧机, e—六辊HC轧机, f—四辊工作辊轴向移动轧机, g—带锥度工作辊轴向移动轧机, h—连续可变凸度轧机, i—四辊HC轧机(也称K-WRS), j—工作辊中间辊双轴向移动HC轧机, k—对辊交叉轧机, l—万能板形控制轧机

综合图1所示的板形控制技术,按其结构原理大致可分为四类。

1) 变化轧辊凸度或挠度(用油压扩张辊径的VC轧机、液压弯辊等);

2) 变化轧辊原始形状(花瓶形CVC、雪茄形UPC、锥形辊等);

3) 变化辊缝形状(PC、CVC、UPC等);

4) 轧辊轴向移动(中间辊或工作辊轴向移动, HC、WSM、CVC、UPC等)。

由图1还可看出,上述四种类型的控制

方法常是二三种组合在一个轧机上应用。实践证明,各种方法的适当组合是最有效的板形控制方法,其中尤以弯辊及轧辊轴向移动技术应用最广。

就轧机的结构形式和应用结果来看,HC、CVC、PC和UPC被认为是当代控板形效果最好的机型。HC轧机控制板形能力为普通四辊轧机的3~4倍,可控制带的波浪度 $<1\%$ 。CVC轧机当轧辊移动 $\pm 100\sim 150\text{ mm}$ 时,辊缝调整量可达 $400\sim 500\text{ }\mu\text{m}$ 。因此,这两种轧机已广泛用于

德国、美国、瑞典和中国等钢铁企业。OPC轧机是1987年首次报道研制成功的<sup>[7]</sup>,从理论分析和试验结果来看,板形控制效果很好,今后必将得到迅速地发展。

但是,就目前来说,任何板形控制方法都不是完美无缺的,都不可能完全满足板带轧制时钢种、规格和工艺条件变化的多种要求,只能说在某一特定的条件下有一个最适用的范围。严格说来,上述各种方法对控制板凸度是很有效的,但在进一步减小边部减薄方面,除带锥度工作辊轴向移动的四辊轧机外,其余均显能力不足,这是目前板形控制技术发展中尚待解决的问题之一。

### 3. 针对控制边部减薄发展的新技术

#### 3.1 板带钢边部减薄的机理<sup>[8~11]</sup>

在轧制板带钢的边部附近厚度会出现突然的降低,简称为边部减薄。其值可用式(1)表示<sup>[8]</sup>

$$\epsilon h_J = \frac{h_{J'} + h_{J''} - h_{I'} - h_{I''}}{2} \quad (1)$$

式中

$h_{J'}$ 、 $h_{J''}$ ——分别为距板带材二侧边一定距离 $J'$ 、 $J''$ 处的厚度, $J'$ 、 $J''$ 在50~150 mm内变化;

$h_{I'}$ 、 $h_{I''}$ ——分别为距板带材二侧边一定距离 $I'$ 、 $I''$ 处的厚度, $I'$ 、 $I''$ 在19~25 mm内变化。

边部减薄形成的主要原因<sup>[9]</sup>,一是因轧制压力使轧辊发生压扁,其值在板带钢边部比内部明显得小,因此边部的压下量相对大,宽向单位压力出现峰值(图2)<sup>[10]</sup>;二是边部金属流动阻力比内部小得多,因此金属除纵向流动外还横向流动,从而进一步使边部更易于变薄。

从以上分析可知,凡影响轧制力和轧辊压扁分布的因素,必然会影响边部减薄。据实验结果<sup>[11]</sup>,轧辊直径愈大、压下率愈大、

张力愈小、轧材愈薄愈硬,其边部减薄也愈严重。

针对上述的分析,采取相应的措施,必然会取得改善边部减薄的效果。这不仅可提高板带材的厚度精度,还可减少切边量,从而提高成材率。

#### 3.2 FSE(Finishing Stants Edger)<sup>[12]</sup>

##### 3.2.1 设备概况

根据上述边部减薄的原因分析,为改变板带钢边部的受力状态,增加边部金属的流动阻力,小野武等人于1983年就提出了在精轧机架间采用压边机的可能性的报告<sup>[12]</sup>。以后日本石川岛播磨重工业公司和新日铁名古屋厂共同开发了安装于精轧机架间控制带钢边部减薄的压边机,简称FSE。该技术的主要特征是对在张力作用下的带钢宽向给与压力,使带钢两侧边形成狗骨状,再通过其后的水平压下,达到控制边部减薄的效果。这一设备已于1989年安装于新日铁名古屋厂的热连轧精轧机组F<sub>6</sub>与F<sub>7</sub>之间,其结构与规格见图3与表1。

表1 FSE主要特征

类 型		单压紧辊和双侧压边立辊
立辊特性	行 程	105 mm (每边)
	最大压力	50 kN/每个辊(100 kN/机座)
	主要功能	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 惰性辊</li> <li>• 轧制宽度自动控制</li> <li>• 防止局部磨损</li> <li>• 防止轧辊粗糙</li> </ul>
	压紧辊特性	
压紧辊特性	辊间距离	最大 330 mm
	悬臂高度	最大 45 mm
	主要功能	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 两步式回缩机构</li> <li>• 升降自动控制</li> <li>• 具有辊轴保护装置</li> </ul>

为防止薄带轧边时挠曲和扩大压边机控制边部减薄的效果,FSE还设置了压紧辊。另外,为在F<sub>6</sub>与F<sub>7</sub>之间得以安装,FSE必

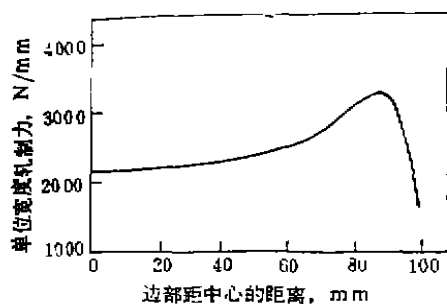


图 2 带钢边部单位宽度轧制力的增加

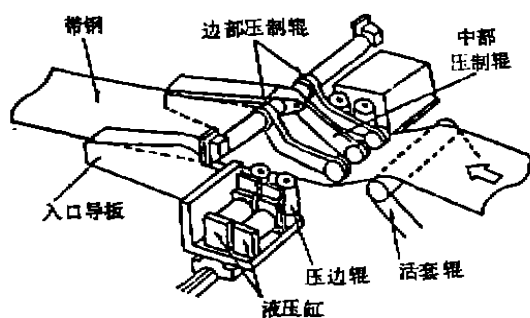


图 3 FSE结构示意图

须紧凑化。

### 3.2.2 FSE改善边部减薄的效果

由图4可看出,宽向压力对边部厚度的影响是很明显的。随着宽向压力的增加,  $F_x$  轧后的带边厚度也增加,用15.7 kN时几乎可得到近似矩形的断面;再继续加大压力,边部就会增厚。可见,利用FSE改善边部减薄存在一个临界宽向压力值。

### 3.3 MEM (Minimum Edge Drop Mill) [13,14]

#### 3.3.1 轧机特性

日本新日铁为提高宽向板厚精度,特别是为减小边部减薄,开发了工作辊小辊径化的最小边部减薄的热轧机,简称MEM。这是一种异径单辊传动的轧机(见图5),其结构和原理与用于冷轧的FFC轧机基本相似。MEM上工作辊为惰性小直径辊,其中心相对下工作辊中心偏置,且上下工作辊的中心相对两支承辊的中心也稍有偏置,在上工作辊水平方向出口处上方有一中间辊和侧支持

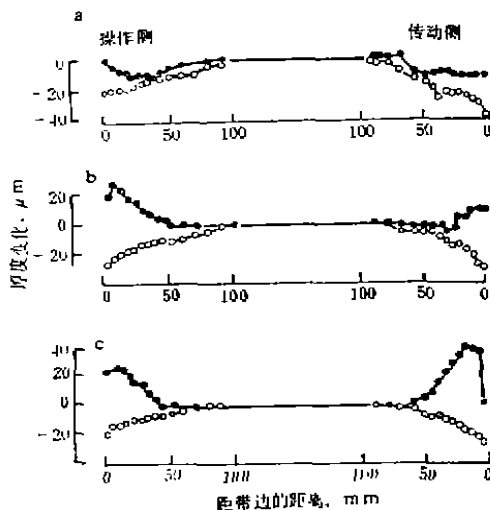


图 4 带钢压边后横断面的变化  
带钢宽度1000 mm, 带钢厚度6 mm,  
a—宽向压力 15.7 kN, b—宽向压力 29.4 kN,  
c—宽向压力 35.3 kN,  
○—无压边; ●—压边后

辊,对上工作辊实现侧支撑,通过调整侧支持辊改变惯性小工作辊的挠度,从而达到控制板凸度和边部减薄的机能。轧机规格见表2。

#### 3.3.2 MEM实用化的必备技术

热轧机小辊径化必然使轧辊转数增加,从而辊温增高,磨损加速,轴承寿命降低。为此必须开发解决这些问题的对应技术。

#### 1) 含固体润滑剂的热轧润滑技术。因

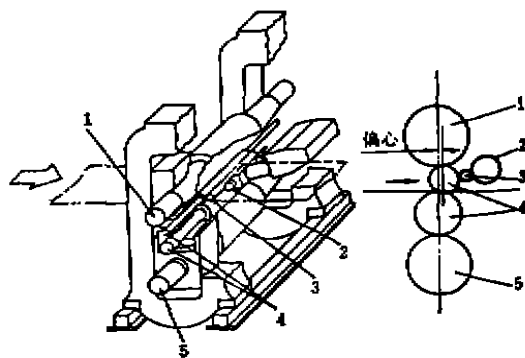


图 5 MEM的结构示意图  
1—上支承辊, 2—侧支持辊, 3—中间辊, 4—工作辊, 5—下支承辊

表 2 MEM规格

项 目	规 格
轧制力, N	$12 \times 10^6$
轧辊, mm	上工作辊 $\phi 335/285 \times 1422$ ; 下工作辊 $\phi 680/603 \times 1422$ 支承辊 $\phi 1280/1154 \times 1422$ ; 中间辊 $\phi 210 \times 1422$ ; 侧支持辊 $\phi 348 \times 400$
侧支持辊压力, N	最大 $2 \times 10^4$
位置距离, mm	上工作辊10~40; 下工作辊10
传动方式	下工作辊单独传动
垂直弯辊力, kN/轴承	上工作辊平衡时210; 下工作辊1250

粉末状云母在高温下具有高润滑性和轧制稳定性, 开发了粉末状云母+矿物油作润滑剂的润滑技术。其管路系统见图6。

2) 复合辊的开发。以碳钢作辊芯, 高速钢作辊套做成复合轧辊。其磨损率仅为高合金轧辊的1/5~1/7。

3) 高强度、长寿命轴承的开发。炼制的轴承钢非金属夹杂和有害元素很少; 为确保受压面的均一性, 在转动面和内外套轨道面做特殊的凸面加工; 将轴承严格密封; 对其轴承表面做特殊热处理。

4) 由于在上工作辊出口侧上方装有中

间辊和侧支持辊, 无法使用常规的冷却设备, 为此开发了如图7所示的冷却装置。

### 3.3.3 MEM的使用效果

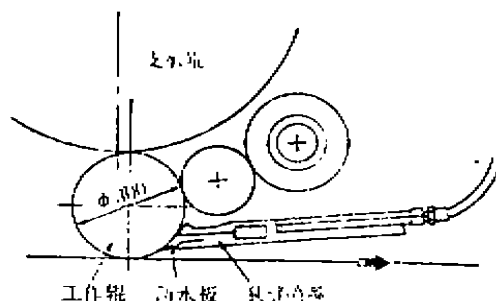


图 7 狭缝层流轧辊冷却

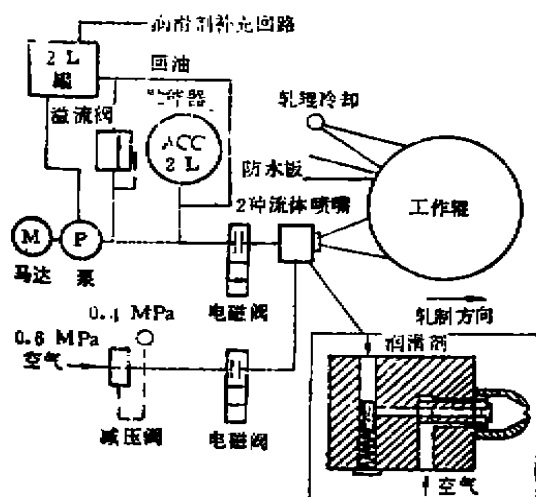


图 6 润滑管路系统

1) 具有小直径轧辊和异步轧制降低轧制压力的作用;

2) 穿带顺利。轧制1.2×1200 mm带钢时, 未发生缩颈和翘头现象;

3) 压下率大。轧制1.0×660 mm成品带钢时, 每道次压下率可达65 %;

4) 改变侧支持辊的受力大小 ( $20 \sim 180 \times 10^4$  N), 可减小板凸度和边部减薄 (见图8); 一般一个机架可得到  $C_{25} = 18 \mu\text{m}$ ,  $ehJ_{25} = 14 \mu\text{m}$  的控制效果。

### 4. 结语

4.1 综上所述可知, 近20年来板形控制技术突飞猛进, 除继续利用轧辊轴向移动、改变轧辊辊型、液压弯辊和轧辊交叉

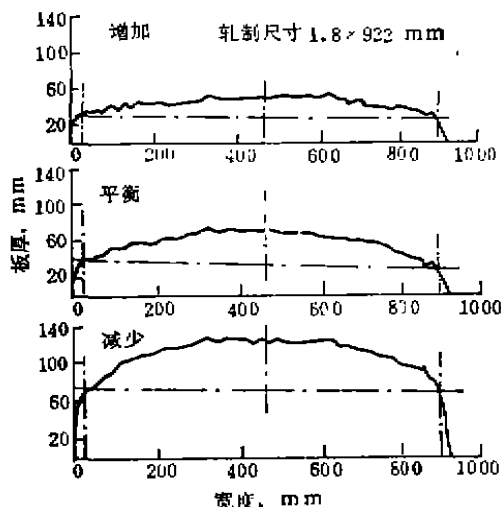


图8 调整侧支持辊压力时沿带钢宽向的厚度变化

等控制板形的技术外,各种方法的适当组合用于一种轧机乃是当前板形控制的主要发展方向。

4.2 HC、CVC、PC和UPC等轧机是当前较为理想的控制板形的机型。尤其是日本最近针对边部减薄而开发的FSE和MEM技术,对改善热轧板带钢的横向厚差效果较大。

4.3 我国在板形控制的实验研究方面也有较大的成果,但多限于冷轧方面。宝钢于1989年引进、并在2050 mm热连轧机上成功地应用了CVC技术,这是CVC技术首次被用于生产的实例,对发展和推广CVC技术将起重要作用。

#### 参 考 文 献

- [1] 田添信広 ほか, 材料とプロセス, 5(1992), №2, 475~478.
- [2] 阿高松男, 塑性加工, 32(1991), №363, 410~418.
- [3] 梶原利幸, 同[2], №370, 1370~1375.
- [4] 佐佐木保 ほか, 同[1], 471~474.
- [5] Bald, W, et al., Iron and Steel Eng, 1987, №3, 32~41.
- [6] Masanori Kitahama et al., 同[5], №11, 34~43.
- [7] Kersting, E., 4th International Steel Rolling Conference, Deauville-France, June 1-3, 1987, A19.1.
- [8] Vladimir, B. G., 同[5], №7, 23~34.
- [9] 王国民, 板形控制和板形理论, 冶金工业出版社, 1986, 17~19.
- [10] 石川孝司 ほか, 同[1], 452~454.
- [11] 山田健二 ほか, 同[1], 467~474.
- [12] 小野武 ほか, 鉄と鋼, 69(1983), №13, 1129~1131.
- [13] 早稻田孝 ほか, 同[2], 31(1990), №359, 1381~1389.
- [14] 倉橋隆郎 ほか, 同[2], №369, 1238~1243.

(上接第86页)

16项技术政策(工艺和装备技术)。认为薄板坯连铸连轧及主传动用交变变频是其发展方向。

4. 为确保冷轧宽带钢的产品质量, 建议不要再建轧制与平整兼用的单机架, 3机架冷连轧机也不应再建; 据宝钢经验, 用5机架连轧机可生产出世界级水平的O5级产品。包装技术对冷轧产品质量影响极大, 应予以重视。

5. 我国窄带钢生产技术和装备水平落后, 如何通过改造补其不足, 扬其长处是讨论的重点。在品种上要提高优质钢和特钢的比例, 在质量上要提

高厚度、宽度及剪切的精度; 在装备上要提高控制水平及工序的配套。

总之, 板带钢的生产对钢铁工业的发展有举足轻重的作用, 应抓住有利时机, 集中精力上现代化的新台阶, 表现为装备上水平(扩大先进机型的比例等)、技术上水平(采用高精轧制工艺、技术结构优化等)和品种上水平(提高板带比, 开发高附加值产品等)三个方面。

(本刊讯)