

冶金设备

国外轧机技术改造译文集

3

前 言

1985、1987年我们曾出版了两期《国外轧机技术改造译文集》。《文集》出版后深受广大读者的欢迎。为了进一步满足读者的要求，帮助从事冶金设备的工程技术人员了解近年来国外轧机技术的新动态，决定出版《国外轧机技术改造译文集(3)》。

这期译文集主要汇集编译了自1987年以来最新国外轧机技术改造的新动态，介绍了CVC技术、控制带钢板型的新技术、新的HSRC轧机、最新的20吋无缝钢管轧机和有关线材轧机改造的经验、轧机自动控制及轧机使用经验等文章。

本译文集委请上海冶金专科学校校长王义澄副教授任主编，上海冶金学校李锡钢副校长任副主编。本期责任编辑由蒋维兴、朱子炎、郑江南同志担任。

希望本期译文集能为广大读者提供信息，在工作中得到启发。

衷心希望广大读者对我们出版的三期译文集提出宝贵意见，以便改进和提高。

冶金工业部冶金设备编辑部上海分部
一九八八年十月

目 录

用可变边部的支承辊控制带钢断面形状	赵家骏(1)
热带钢紧凑式轧机: HSRC 轧机	蒋维兴 周丽文(15)
德林格钢厂扩建的厚板轧机	孙家骥(22)
CVC 技术在热轧机中的应用	戚玉良(29)
厚板精整技术的概况	施燮才(34)
POSCO 高速线材轧机	杨静固(42)
20吋新无缝钢管轧机	汪云朗(51)
斜辊轧机穿孔机十五年发展状况	陆德仁(57)
ALGOMA 公司新型张力减径机	陈 放(62)
用于大型水平式粗轧机的十字头万向接轴	倪国成(69)
热带钢轧机精轧机组的最小张力控制	朱子炎(74)
高性能的十二辊轧机	王亨祺(81)

冶金设备

“国外轧机技术改造”译文集(3)
国内统一刊号: CN11-2183

编 辑: 冶金工业部冶金设备编辑部上海分部
发 行:

通讯处: 上海漕宝路 121 号

印 刷: 上海冶金专科学校

用可变边部的支承辊控制带钢断面形状

Vladimir B. Ginzburg

可变边部的支承辊是带钢断面及板形控制装置的基本部件。控制装置的主要功能是改变轧机的辊缝形状,以便使所得到的带钢断面尺寸不超过允许公差。本文集中讨论近年来发展的各种控制装置的可变边部支承辊的主要性能及其应用范围。当正确地表示出控制对象(带钢断面形状)时,可以选择出一种控制装置。

一、带钢断面形状和板形的定义

通常,带钢断面形状以带钢总的中心凸度、带钢总的相对中心凸度、边部减薄、羽痕、单边浪以及带钢局部的中心凸度来表示。

带钢总的中心凸度 chI 是最常用的带钢断面参数,它等于

$$chI = h_c - \frac{(hI' + hI'')}{2} \quad (1)$$

式中 h_c ——带钢中部厚度;

hI' 、 hI'' ——离带钢边部 I' 和 II'' 距离处的带钢厚度。

带钢总的相对中心凸度 $chI(\%)$ 以出口厚度 h_0 的百分数表示:

$$chI(\%) = \left(\frac{chI}{h_0} \right) \times 100 \quad (2)$$

对热轧带钢来说,所要求的带钢总的中心凸度 (chI) 取决于带钢的用途及其后道工序。因此,对于用作变压器薄钢板或纵切带钢的热轧带钢,相对凸度必须尽可能地接近于零。冷轧用的热轧带钢总的中心凸度一般为带钢公称厚度的 2~2.5%。保持带钢所需的凸度偏差,可以使带钢的厚度偏差为厚度的 $\pm 0.5\%$ (一个标准偏差)。

边部减薄和表面羽痕是描述靠近带钢边部几何形状的另一参数。

边部减薄 ehJ 由下式定义:

$$ehJ = \frac{(hJ' + hJ'' - hI' - hI'')}{2} \quad (3)$$

式中 hJ' 、 hJ'' ——离带钢边部 J' 和 J'' 距离处的带钢厚度。

I' 和 I'' 值通常选为 19~25mm (约 0.75~1 吋),而 J' 和 J'' 值一般在 50~150 mm (约 2.0~6.0 吋)之间。

表面羽痕 fhJ 定义如下:

$$fhJ = \frac{(hI' + hI'' - hJ' - hJ'')}{2} \quad (4)$$

式中 he' 、 he'' ——带钢边部厚度。

he' 、 he'' 由距离边部 2~3mm(约 0.08~0.12 吋)处测量得到。

单边浪或称凸起高度 hs 是表示带钢横向局部增厚的一个参数(图 1)。

虽然, 上述这些参数综合地表示出带钢断面形状。但是, 为了控制带钢的带钢形状, 附加下列参数仍然是必要的, 这些参数是带钢局部中心凸度。

带钢局部中心凸度与带钢总的中心凸度的差别是不包括边部减薄。

$$chJ = hc - \frac{(hJ' + hJ'')}{2} \quad (5)$$

这个参数 chJ 的用处可由图 1a) 和图 1b) 所示的带钢断面形状的比较加以说明。第一种情况, 带钢总的中心凸度 chI 和带钢局部中心凸度 chJ 均大于零。因此, 当控制装置减小带钢总的中心凸度 chI 时, 则带钢局部中心凸度 chJ 也减小。然而在第二种情况里, 带钢总的中心凸度与带钢局部中心凸度为异号时, 若试图减小带钢总的中心凸度 chI , 就有可能导致带钢局部中心凸度 chJ 的增加。

带钢板形的锥形度是表示由板形偏差引起的带钢断面形状可控性限度的参数。在一个轧制道

次内, 如果对带钢板形不引入不希望的干扰时, 带钢凸度与带钢厚度的比值可以有一定的变化。

Shohet、Townsend 和 Sommers 等人推导出一个用于预测热轧时产生不良板形的实验性准则。这一准则表明, 如果带钢凸度与带钢厚度的比值在下式范围内, 轧机的每一道次轧制将可得到良好的带钢板形。

$$-80\left(\frac{h_0}{B}\right)^a < \left(\frac{c_i}{h_i} - \frac{c_0}{h_0}\right) < 40\left(\frac{h_0}{B}\right)^b \quad (6)$$

式中 c_i 、 c_0 ——轧制前、后的带钢凸度;

h_i 、 h_0 ——轧制前、后的带钢厚度;

B ——带钢宽度;

$a = b$ ——常数 = 1.86。

二、影响带钢断面形状的参数

带钢的断面形状是带钢在轧制中由控制装置形成的。这种控制装置可作为一个三维弹性梁系统来表示, 最简单的形式包括作为三维梁的工作辊与支承辊, 还有带钢的弹性系数 K_s 、轧机机架弹性系数 K_m 以及工作辊与支承辊之间的间隙弹性系数 K_G (图 2)。

带钢断面形状的主要偏差是由于弹性梁系统的垂直刚度沿横向变化所造成的。这就导致

该系统和部件刚度及其几何形状对带钢断面形状密切相关。

影响带钢断面形状的主要参数可分成 A、B、C 三组。A 组参数影响梁的臂长，B 组参数影响带钢的弹性系数 K_s ，例如，带钢弹性系数可用单位宽度的形式来表示。

$$K_s = \frac{P}{B \cdot \delta} \quad (7)$$

式中 P ——轧制压力；

δ ——压下量。

当轧辊压扁量很小时，平均变形抗力 K 为

$$K = \frac{P}{B \sqrt{\left(\frac{D_w}{2}\right) \delta}} \quad (8)$$

式中 D_w ——工作辊直径。

将(8)式代入(7)式得

$$K_s = K \sqrt{\frac{D_w}{2\delta}} \quad (9)$$

由此看出，带钢的弹性系数将随轧制压力、变形抗力、压下量和工作辊直径而变化。

C 组参数主要影响带钢弹性系数 K_s 和间隙弹性系数 K_G

设计带钢轧机控制装置的主要目标是提供足够的带钢凸度控制范围，以补偿带钢断面形状可能发生的偏差，这可用下列三种方法的一种或者三种方法的组合来达到：即增加凸度控制范围、增加凸度控制率和减少影响带钢断面形状参数的偏差率。

对不同控制装置的能力和效率的定量评价特征有：带钢凸度控制范围、带钢凸度控制率、轧制压力偏差率、支承辊直径偏差率、热凸度偏差率和轧辊磨损偏差率。

带钢凸度控制范围是指对应于调节参数最大值时，总的中心凸度的最大变化 $\Delta(\text{chI})$ 。当调节参数为正负轧辊弯曲力 F_{WW} 、 F_{WB} 时，带钢凸度控制范围为

$$C_{\max} = \left| \Delta(\text{chI}) \right| \frac{F_{WB}}{F_{WW}} \quad (10)$$

带钢凸度控制率 S_F 是带钢总的中心凸度变化与调节参数的变化之比，当调节参数为轧辊弯曲力 F 时，

$$S_F = \frac{\Delta C}{\Delta F} \quad (11)$$

轧制压力偏差率 S_P 是带钢总的中心凸度变化与带钢单位宽度 B 、单位压缩量 δ 情况下轧制压力变化之比，

$$S_P = \frac{\Delta C}{\Delta P} B \cdot \delta \quad (12)$$

支承辊直径偏差率 S_D 是带钢总的中心凸度变化与支承辊直径 D_B 的变化之比，

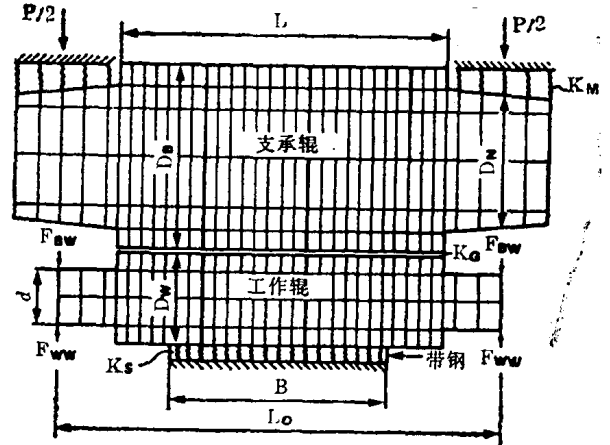


图 2

$$S_D = \frac{\Delta C}{\Delta D_B} \quad (13)$$

带钢热凸度偏差率 S_T 是带钢凸度变化与工作辊热凸度 ΔC_T 变化之比,

$$S_T = \frac{\Delta C}{\Delta C_T} \quad (14)$$

轧辊磨损偏差率 S_W 是带钢单边浪 h_S 与阶梯状轧辊磨损值 h_W 之比,

$$S_W = \frac{h_S}{h_W} \quad (15)$$

我们还可以类似地列出影响带钢断面形状的有关参数。

带钢断面形状控制装置各种特征的重要性将取决于轧辊在机组中的位置。例如: 热带钢轧机, 末架轧机允许改变的轧辊凸度与带钢厚度的比值是有限的(式6)。因此, 最迟必须在 F_4 机架后达到所要求的带钢相对凸度。为了保证这一点, 开始几架轧机应有增大凸度控制范围的控制装置。

另一方面, 在后几个机架轧辊磨损对产品的影响增大, 因此, 轧辊磨损偏差率低的控制装置适合于装在这些机架上。

对于边部减薄也同样适用。边部减薄的主要原因是靠近带钢边缘处的轧辊压扁。轧辊压扁随着变形抗力的增加而增大。所以, 在精轧机组的末架轧机上最为明显。

三、具有锥形的带钢凸度范围的适应性

在典型的七机架精轧机组 F_1 四辊轧机上, 检验原始的带钢凸度范围来说明它与锥形相一致的概念。

带钢原始凸度范围是当所有机架的轧辊都为平辊且轧机的带钢凸度补偿调节不用情况下提出的。

表 1 用有限元分析的轧机数据

参 数	符 号	数 值
1. 支承辊直径(最小/最大), mm	D_S	1486/1562
2. 轧辊辊身长度, mm	L	2032
3. 支承辊辊颈直径, mm	D_M	940
4. 工作辊直径, mm	D_N	724
5. 工作辊辊颈直径, mm	d	483
6. 两轴承的间距, mm	L_0	1585
7. 轧辊弹性模量, t/mm ²	E	21.14
8. 轧机刚度, t/mm	K_M	430
9. 每个轴承座的弯辊力, t		
工作辊与支承辊之间	F_{WB}	150
工作辊之间	F_{WW}	150

用三维有限元分析的轧机数据列表于 1。选择两种材料作为例子: 低碳钢(LCS)和高度低合金钢(HSLA), 假定低合金钢的变形抗力比低碳钢高50%, 算出这两种材料带钢的头尾部的带钢凸度范围。其轧制规程、带钢硬度、所要求的带钢凸度以及有效的热凸度等列于表 2。

当工作辊与支承辊没有原始凸度时, 带钢凸度控制范围示于图 3。带钢凸度范围的上限 A 相对应于最小支承辊直径和无热凸度时轧制高强度低合金钢的尾部, 带钢凸度范围下限 d 对应于最大支承辊直径和有热凸度时轧制低碳钢的头部。

表 2

用有限元分析的轧制数据

参 数	单 位	机 架 号						
		F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7
入口厚度	mm	33.0						
出口厚度	mm	18.16	10.54	6.35	4.06	2.85	2.29	2.00
带钢抗力	kg/mm ²							
LCS: 头部		75.0	138	245	423	694	1039	1380
尾部		87.5	156	270	454	726	1061	1380
HSLA: 头部		112.5	207	368	635	1041	1559	2070
尾部		131.2	234	405	681	1089	1592	2070
出口凸度(最小/最大)	μm							0/40
有效热凸度 当 B = 1830 mm	μm	150	150	150	100	100	90	75

首先确定 F₁ 机架的板形范围, 它与表 2 所示的 F₇ 机架后的带钢最小和最大的中心凸度有关。

对于每一机架板形范围的上限 C_{Ui} 与下限 C_{Li} 可由式(16)和式(17)推得:

$$C_{Ui} = h_i \left[\frac{C_0}{h_0} + 40 \left(\frac{h_0}{B} \right)^b \right] \quad (16)$$

$$C_{Li} = h_i \left[\frac{C_0}{h_0} - 80 \left(\frac{h_0}{B} \right)^a \right] \quad (17)$$

已知最终机架后所要求的带钢凸度, F₁ 机架的板形范围可用表 2 的轧制规程, 由式(16)和式(17)求得。

图 4a) 中的虚线表示对应于 F₇ 机架后带钢凸度的 F₁ 机架的板形范围。

如 F₇ 机架后的带钢凸度为 40 μm 即 (2%), 预先算得 F₁ 机架的带钢原始凸度范围, 再叠加到锥形区间上, 见图 3。

当所要求的出口相对凸度为 2% 时, 适合于带钢原始凸度控制范围和板形锥之间 (图 4a)。这意味着, 在 F₁ 机架上得到 2% 的带钢凸度只需作稍稍的调节; 甚至不需调节。然而, 不适用 F₇ 机架后带钢出口凸度为零的情况, 因为大多数带钢原始凸度范围是在板形锥之外的 (图 4b)。

该问题的一个解决措施是在轧辊上磨削原始凸度。可是, 不可能找到满足各种尺寸产品的轧辊原始凸度。

有些带钢断面形状控制装置用于补偿带钢原始断面形状与板形锥不一致, 以及补偿由于各种因素造成的带钢断面形状的变化。

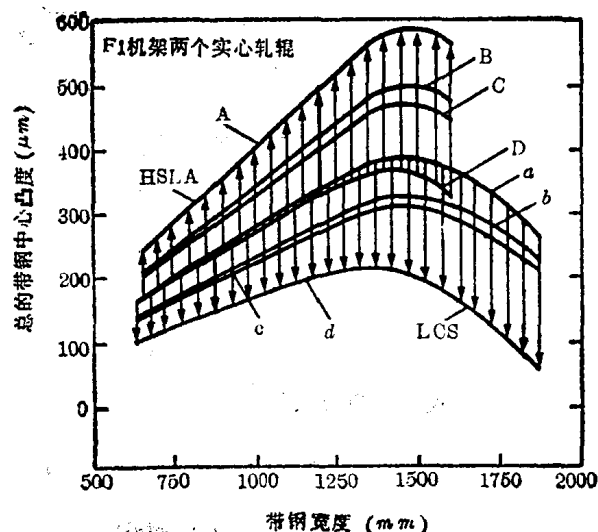


图 3 A, a: $D_B = 1486\text{mm}$, 尾, 无热凸度
B, b: $D_B = 1486\text{mm}$, 头, 无热凸度
C, c: $D_B = 1562\text{mm}$, 头, 无热凸度
D, d: $D_B = 1562\text{mm}$, 头, 有热凸度

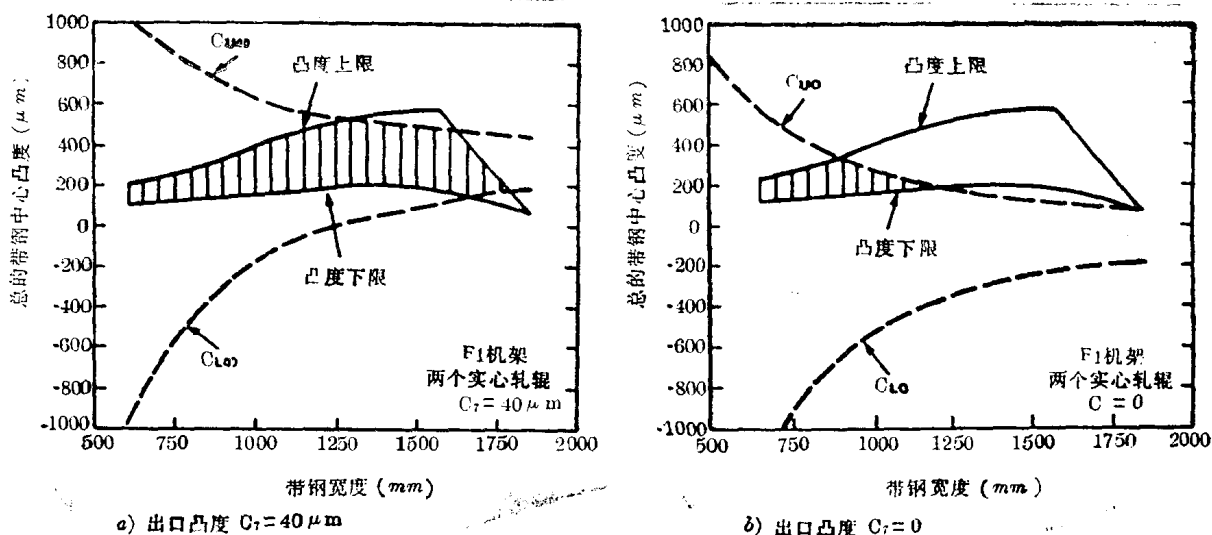


图 4

四、带钢断面形状控制装置的类型

带钢断面形状控制装置是一个复杂的系统，包括工作辊、支承辊和辊缝形状调节装置。

在下列情况里，现有的控制系统可按各自的辊缝形状调节方法分为几组：垂直面轧辊弯曲；水平面轧辊弯曲；非平辊的轴向移动；轧辊交叉；不可调阶梯支承辊；可调阶梯支承辊；平辊的轴向移动；套筒式轧辊的轴向移动；调节可变辊身的凸度辊；调节可变边部凸度辊；无调节的可变边部凸度辊。

1. 垂直面轧辊弯曲(图 5)

垂直面轧辊弯曲系统包括单轴承座的轧辊正弯曲系统(图 5a)、双轴承座的轧辊正弯曲系统(图 5b)、单轴承座的轧辊负弯曲系统(图 5c)以及支承辊弯曲系统(图 5d)。

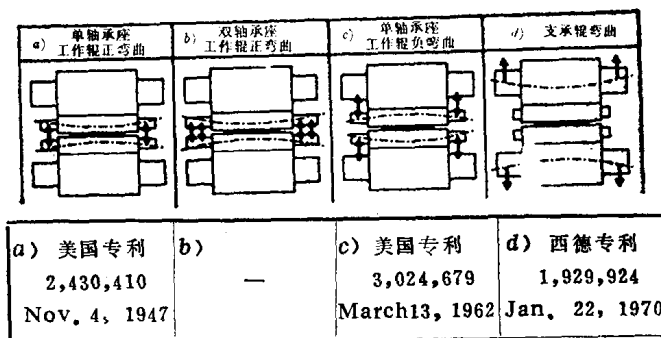


图 5

垂直面轧辊弯曲系统的优点是轧制中能连续控制带钢断面形状，且费用低。可是，凸度控制范围有限，这主要取决于工作辊轴承座所能承受的载荷。

双轴承座轧辊弯曲系统(日本新日铁采用)可缓解这个问题。然而，有些因素(例如，辊颈处高应力和工作辊与支承辊之间高的接触应力以及费用高)会限制该系统的使用。

轧辊负弯曲系统已在许多轧机上应用。当负弯辊与正弯辊一起使用时,凸度控制范围将增加一倍。用计算机模拟表明:在热带钢轧机上轧制最大宽度 2032 mm 时, F₁ 机架总的凸度控制范围可高达 $\pm 450\mu\text{m}$ (即 ± 0.018 吋)。

支承辊弯曲系统的应用因较复杂而相应地受到限制。

2. 水平面轧辊弯曲系统(图 6)

人们建议采用三种水平面轧辊弯曲系统,即,单弯曲辊(图 6a)、多弯曲辊(图 6b)和通过中间辊作用于工作辊的多段辊(图 6c)。日本研制的最新装置是具有板形控制的五辊轧机(FFC)。

3. 非圆柱形轧辊的轴向移动(图 7)

由 SMS 公司(施罗曼-西马克)研究的增大凸度控制范围的新技术是凸度连续变化控制系统(CVC)。该系统中,凸度控制范围的增加是通过支承辊(图 7a)、中间辊(图 7b)、工作辊(图 7c)的双向移动获得的。轧辊作同向移动也具有类似的效果(图 7d)。

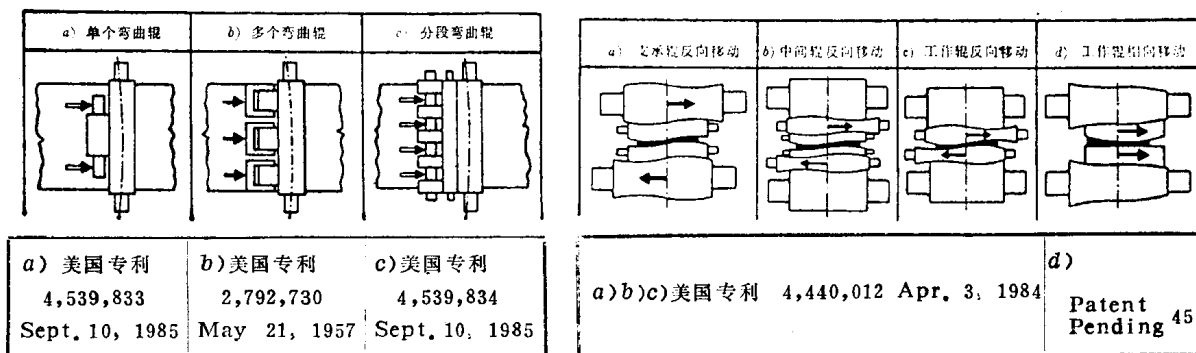


图 6

图 7

在这些系统中,轧辊辊缝形状可在轧制钢卷之间进行调节。轧辊轴向位移 $\pm 100\text{ mm}$ (± 4.0 吋)与通常磨削 $100\sim 500\mu\text{m}$ ($0.004\sim 0.02$ 吋)轧辊凸度的效果相当。为了保证连续控制功能,系统可用常规的工作辊弯曲支承来补偿。

4. 轧辊交叉(图 8)

轧辊交叉是增大凸度控制范围的另一个途径。轧辊交叉系统现在已经有三种类型。早期研制的系统是交叉支承辊轴线(图 8a)和交叉工作辊轴线(图 8b)。然而,这些装置会引起工作辊与支承辊之间相对滑动。这将产生由摩擦引起的过大轴向力和能量消耗以及轧辊磨损严重。这个问题已经由日本研制的双辊交叉(PC)系统得到解决(图 c)。当交叉角度为 1° 时,该系统可产生约为 $900\mu\text{m}$ (0.035 吋)的机械凸度。

据推测,轧辊交叉角度可在轧制钢卷之间加以调整,所以,为了保证带钢断面形状连续控制功能,仍然需要常规的弯辊系统。

5. 不可调节的阶梯支承辊(图 9)

该方法可改善带钢断面形状。对限制一般四辊轧机的分析表明,在轧件宽度外的工作辊与支承辊之间

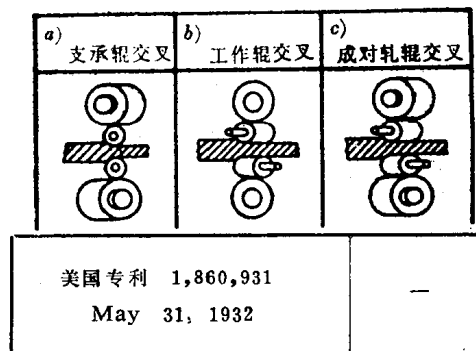


图 8

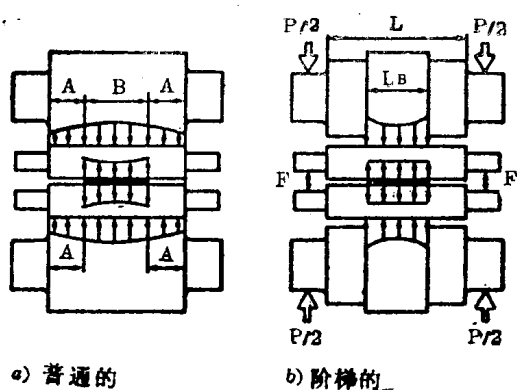


图 9

是当带钢宽度变化大时就需要更换支承辊。

6. 可调节的阶梯支承辊(图 10)

可调节的阶梯支承辊允许辊身长度变化。措施之一是轧机支承辊分级磨削(图 10a), 措施之二是用窄环组成阶梯辊来调节辊身长度(图 10b、c)或用空心支承辊的心轴支承长度来调节支承辊辊身长度。

轧辊辊身长度调节		轧辊结构	
a)	轧机上磨削轧辊		a) 美国专利 4,479,374 Oct. 30, 1984
b)	保证所要求的分段辊身数		b) 日本专利 51-103058 Sept. 11, 1976
c)	通过外部分段辊身的间距		c) 日本专利 55-10366 Jan. 24, 1980
d)	通过中空轧辊中间支承的间距		d) 美国专利 4,407,151 Oct. 4, 1983

图 10

7. 圆柱形轧辊的轴向移动(图 11)

a) 支承辊反向移动	b) 中间辊反向移动	c) 工作辊反向移动	d) 工作辊相向移动
a), b) 美国专利 4,299,109 Nov. 10, 1981		c) 日本专利 55-133805 Oct. 18, 1980	d) 日本专利 55-86606 June 30, 1980

图 11

存在着一个所谓不良接触区 A(图 9a)。

采用阶梯支承辊可消除不良接触区(图 9b), 这样, 常规的弯辊系统效率可以提高。采用阶梯支承辊, 使轧制中压力变化 ΔP 引起的带钢凸度变化 ΔC 比常规四辊轧机要显著地减小。

同时, 随着轧制压力偏差率的增加, 凸度控制率也显著增大。

然而, 随着带钢宽度的增大, 该措施将失去效果, 当带钢宽度 B 接近支承辊辊身长度 L 时, 其效果甚微。这措施另一个缺点

圆柱形辊辊的双向移动是类似阶梯辊的原理的另一种方法(图 11a), 日本研制的高凸度控制轧机(HC 轧机)采用移动中间辊的方法已获得同样的效果(图 11b)。图 11c)表明, 中间辊双向移动既减少带钢边部减薄又减少了轧辊磨损。在前一种情况, 工作辊的倾斜部分接近带钢边部, 后一种情况中, 圆柱形工作辊的移动使轧辊磨损曲线平滑和使

热凸度均匀, 以便获得无边浪断面均匀的带钢。减缓轧辊磨损的另一途径是使工作辊作同向移动(图 11d)。轧辊反向移动的优点其费用小。

8. 套筒式轧辊的轴向移动(图 12)

阶梯支承辊的原理也可用于套筒式装配支承辊。由日本新日铁公司提出的设计中, 带钢断面形状调整是通过移动支承辊的轴或者移动套筒来实现的(图 12 a、b)。在 Kobe 钢公司推出的设计中, 带钢断面形状调整是通过移动内套筒或者移动锥形轴上的锥形外套筒来实现的(图 12c、d)。

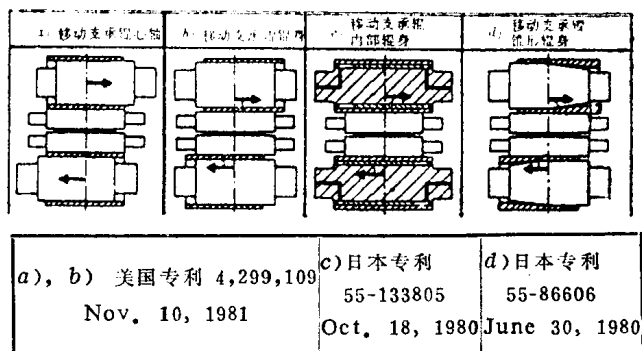


图 12

9. 可变辊身的可调凸度轧辊(图 13)

结构特点	轧辊结构	
a) 在辊身中心的一个内腔注液加压		a) 美国专利 3,457,617 July 29, 1964
b) 沿辊身多个内腔注液加压		b) 美国专利 3,355,924 Feb. 7, 1984
c) 膨胀材料		c) 美国专利 4,429,446 Nov. 19, 1985
d) 带有分段液压缸的轴		d) 美国专利 4,553,297 Dec. 5, 1967

图 13

在几种可变辊身的可调凸度轧辊中, 最著名的是日本住友金属公司的可变凸度轧辊 (VC 轧辊) 和 Blaw-Knox 的可膨胀凸度支承辊 (IC 轧辊)。其操作原理基于膨胀热装在实心轴的套筒中心区域(图 13a)。

森吉米尔提出的套筒式轧辊是在轧辊辊身上有许多孔穴(图 13b), 使各个孔穴能调节不同的压力。

如图 13c) 所示, 液压传动的斜楔机构用于膨胀轧辊外壳。该装置已用于 Blaw-Knox 研制的液力膨胀凸度轧辊 (ICHM)。

图 13d) 所示的轧辊中, 轧辊凸度是由装在固定轴与旋转套筒之间的活塞式支承件来调节的。

10. 可变边部的可调凸度轧辊(图 14)

该轧辊为在轴芯与轴套之间有两个加压室的轧辊。如图 14 a) 所示。这些加压室都位于轧辊边缘。该轧辊的用途之一是用作五辊轧机的中间辊。

靠近边缘具有套筒有限挠度的轧辊设计如图 14b) 所示。

如图 14 c) 所示的轧辊, 其液压驱动的楔环位于轧辊边缘处, 装在心轴与外套筒的锥形部位。轧辊凸度是通过楔环的横向移动来调节的。移动位于轧辊边缘的锥形分段套筒的结构如图 14d) 所示。

结构特点	轧辊结构	
a) 近边部处辊身无限挠曲		a) 日本专利 57-68206 Apr. 26, 1982
b) 近边部处辊身限制挠曲		b) 日本专利 59-54401 March 29, 1986
c) 移动楔环与心轴之间楔子进行调节		c) 美国专利 4,559,770 July 15, 1986
d) 在锥形心轴上移动分段辊身进行调节		d) 日本专利 58-196104 Nov. 15, 1983

图 14

11. 可变边部的不可调凸度轧辊(图 15)

人们已经提出许多减小轧辊边缘刚性的方案。一个方案是在心轴与轧辊轴套之间装一种弹性模量低的金属(图 15a)。在实心辊的边缘钻一些水平孔(图 15b), 或者在套筒式轧辊的心轴边缘开一些纵向缝隙(图 15c), 这些都能得到同样效果。

归纳带钢断面形状和板形控制装置: 由于干扰因素不同和带钢原始凸度与板形锥不一致, 解决带钢断面形状的偏差可有两个基本方法。

第一个措施是, 除了现有的轧辊弯曲系统外, 再提供一个凸度控制装置, 以扩大凸度控制范围。基于该措施的系统由: 双轴承座轧辊弯曲系统(图 5b); 支承辊弯曲系统(图 5d); 水平面轧辊弯曲系统(图 6); 轴向移动的非圆柱形轧辊(图 7); 可变辊身的可调凸度轧辊(图 13); 轧辊交叉系统(图 7)。

第二个措施基于采用改善带钢原始凸度与板形锥一致性同时也减小带钢断面形状与各种干扰因素相关的控制装置。其结果是使所需的凸度控制范围减小。同时, 按其实质, 这些控制装置扩大了现有轧辊弯曲系统的凸度控制范围。这些控制装置有: 不可调节的阶梯支承辊(图 9); 可调节的阶梯支承辊(图 10); 轴向移动的圆柱形轧辊(图 11); 轴向移动的套筒式轧辊(图 12); 可变边部的可调节凸度轧辊(图 14); 可变边部的不可调节轧辊(图 15)。

自补偿轧辊是可变边部的不可调节轧辊的一种改进。

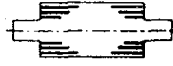
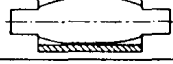
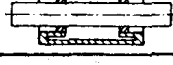
替换轧辊边部的方案		轧辊边部	
a)	在心轴与辊身之间注入具有低弹性模量材料		a) 美国专利 2,187,205 Jan. 16, 1940
b)	在轧辊边缘钻孔		b) "
c)	在心轴边缘开槽		c) "
d)	在心轴上辊身的反向支承		d) 美国专利 3,097,590 July 16, 1963

图 15

四、自补偿轧辊 (SC 辊)

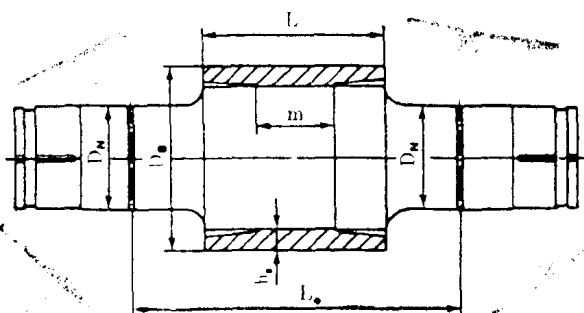


图 16

新的自补偿轧辊 (SC) 的基本概念是较简单的。为了补偿在轧制压力下的支承辊挠度, 带有套筒的轧辊边缘是柔软的(图 16)。在轧制压力作用下, 套筒的挠度方向将与心轴的挠度方向相反。

自补偿的程度将随辊身与带钢的几何形状变化而变化。最主要的变量是带钢宽度。

SC 轧辊的概念由两个比较带钢凸度范围的 (17a) 示出。第一个凸度范围是两个常

规实心支承辊的 F_1 机架的。第二个凸度范围是两个自补偿 SC 轧辊的 F_1 机架的。

交点 A 对应于支承辊完全自补偿的轧件宽度。即，如果支承辊和工作辊都是平的，则在任何轧制压力下，该宽度的带钢也将是平的。当带钢宽度小于该宽度(A 点)时，支承辊挠度将补偿不足。反之，当带钢宽度大于该宽度(A 点)时，支承辊挠度将补偿有余。当没有具体宽度可依时，交叉将在带钢宽度范围内(75~80%的轧辊辊身长度)，此项研究中，辊身长度为 2032mm(80 吋)。

避免过度补偿的最简单方法之一是一只自补偿轧辊(SC)与一只常规实心支承辊结合在一起使用(图 18b)，这种安排也明显减小由轧制压力引起带钢凸度变化。

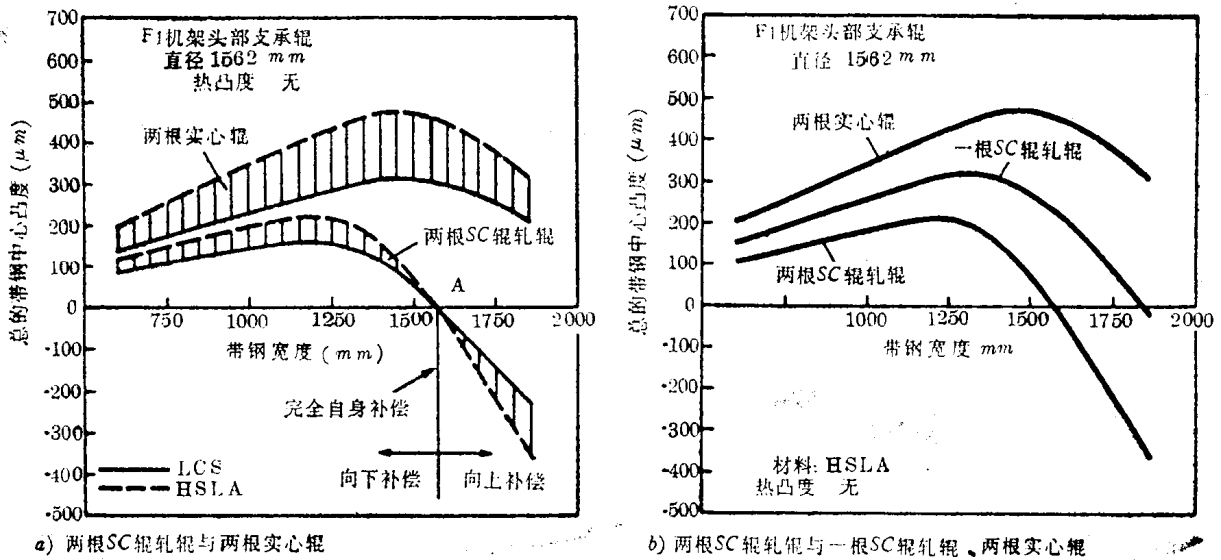


图 17

1. 带钢凸度控制范围

对应于不同轧辊弯曲力的典型带钢断面形状如图 18 所示的两种情况。第一种情况涉及具有两个常规实心轧辊的轧机(图 18a)。第二种情况涉及具有两个自补偿轧辊的轧机(图

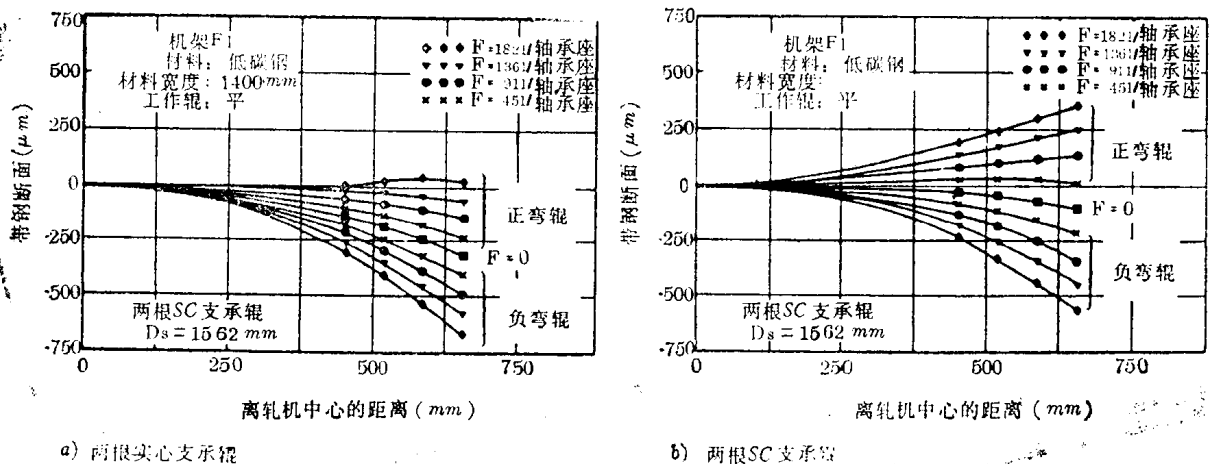


图 18

18b), 它与第一种情况相比, 其凸度控制范围增大33%。凸度控制范围的增大是由于带钢宽度的作用。

轧制的低碳钢的 F_1 机架所计算的带钢凸度控制范围示于图19。对支承辊外径为1562mm、带钢宽度在 610 到 1830mm 的带钢头部进行了计算。假定支承辊和工作辊都没有原始凸度。

这四条极限线所包的面积表示控制装置允许的凸度控制范围。图 19a) 和图 19b) 表示: 当轧制 2mm (0.079 吋) ($C_7 = 0$)、 F_7 机架出口处带钢无凸度时, 限制带钢凸度调节量(虚线)将是必要的。反之, 当轧制相同规格带钢, 出口凸度 $C_7 = 40\mu\text{m}$ (2%) 时, 几乎全部凸度控制范围都将可利用(图 19c、图 19d)。这是由于在带钢宽度大于 1575mm (约 62 吋) 时支承辊挠度过度补偿的缘故。

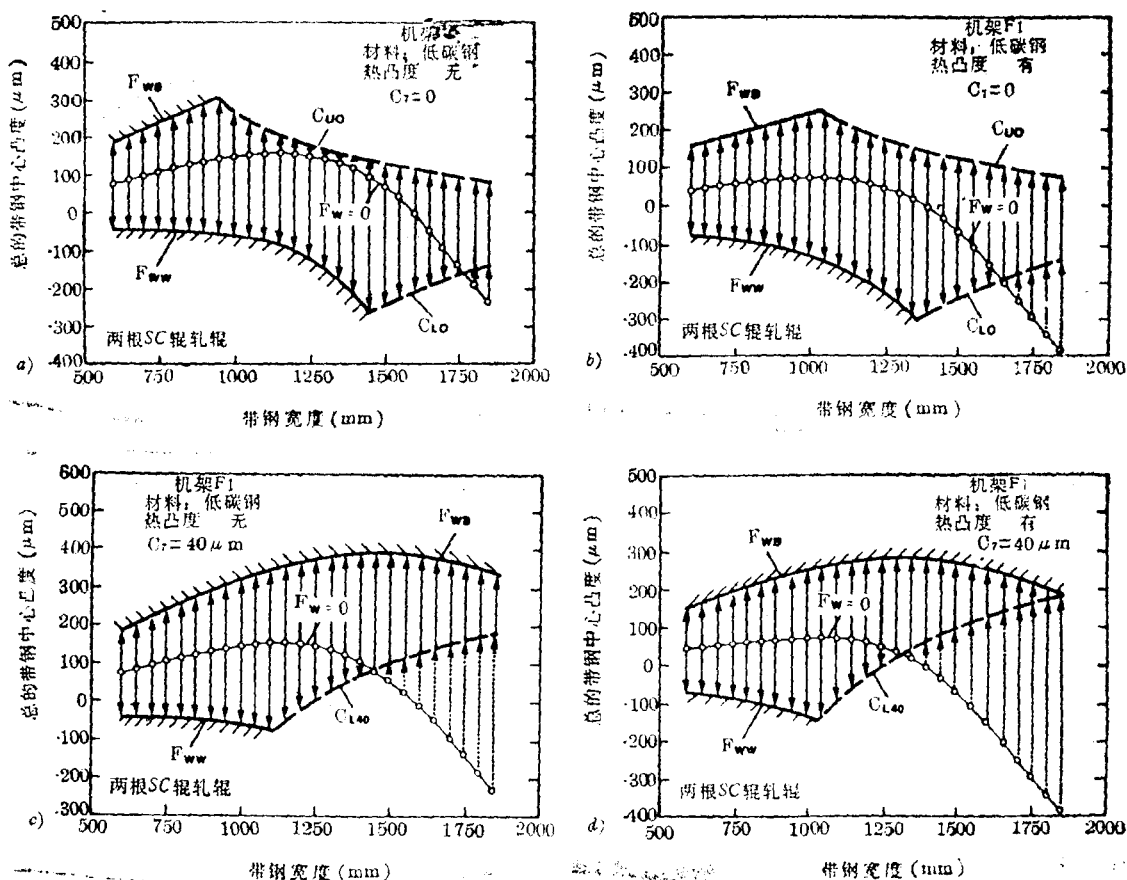


图 19

当带钢最大宽度小于 1575mm 时, 过度补偿问题便可缓解, 另一个措施是只用一只自补偿轧辊。

2. 干扰因素的作用

对于三种控制装置, 轧制压力偏差率 S_P 和支承辊直径偏差率 S_D 可由式 12 和式 13 算出。这三种控制装置分别为: 双实心支承辊、一只 SC 轧辊和一只实心支承辊、两只 SC 支承辊。

图 20 所示的结果表明, 用两只自补偿支承辊或一只自补偿支承辊都可使轧制压力偏差率显著地减小。当带钢宽度不超过辊身长度 80% 时, 应优先选择两只 SC 辊(图 20a)。就支承辊直径偏差率来说, 使用单个自补偿辊可能比用双自补偿辊更为有利, 因为 SC 支承辊直径偏差率 S_D 与自补偿辊的符号是相反的(图 20b)。

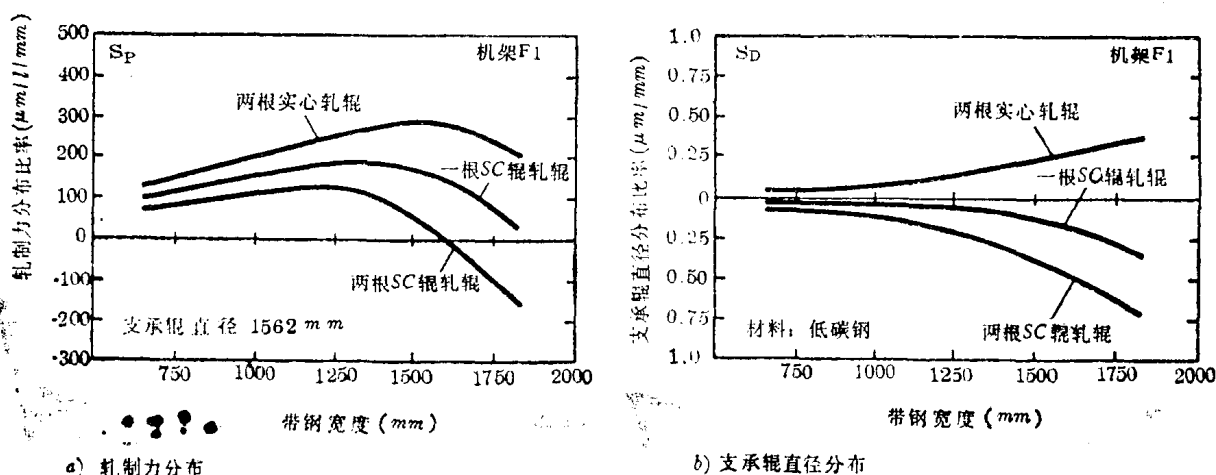


图 20

尽管许多参数可用来判断各种控制装置。下面三个参数几乎可综合大部分参数: 带钢凸度的一致性、稳定性和凸度控制范围的大小。

1) 带钢凸度的一致性

参数 α 表示保持带钢原始凸度和板形锥一致的带钢断面形状控制装置的能力, 其表达式为

$$\alpha = 1 - \frac{C_{OR} - C_0}{\Delta C_{\max}}$$

式中 C_{OR} ——带钢原始凸度;

C_0 ——在保持全部轧机带钢厚度与凸度之比为常数的基础上, 所要求的带钢平均凸度;

$\Delta C_{\max}$ ——最大有效的凸度控制范围。

带钢凸度一致性系数 α 表示凸度控制范围的余度, 此余度适用于原始凸度与所要求的平均凸度达到一致后的情况。当 $\alpha = 1$, 其一致程度等于 100%, 这就意味着达到带钢凸度一致性不需要调节带钢断面形状, 所以, 有效凸度控制范围的余度也为 100%。

在 F_7 精轧机的情况, 当 F_4 机架采用双自补偿支承辊时, 可使带钢凸度一致性得到最大的改善 ($>70\%$)。如果只采用一只自补偿辊, 其改善度为 40%。在 F_1 及 F_7 机架上都采用双自补偿辊时, 将分别获得 27% 和 10% 的改善程度。

2) 带钢凸度稳定系数

参数 β 表示在干扰因素下, 带钢断面形状控制装置保持所要求带钢凸度的能力, 其表达式为

$$\beta = 1 - \frac{\delta C_{\max}}{\Delta C_{\max}}$$

式中 $\delta C_{\max}$ ——由于机械及支承辊直径及工作辊热凸度变化而引起带钢凸度总的最大变化。

带钢凸度稳定系数 β 表示凸度控制范围的余度。此余度适用于干扰因素对于带钢凸度的影响得到补偿后的情况。当 $\beta = 1$ 时, 稳定程度为 100%, 这意味着, 补偿干扰因素的影响无需调节带钢断面形状。因此, 有效凸度控制范围的余度也等于 100%。

以七机架精轧机组为例, 当 F_1 机架使用双自补偿辊时, 带钢凸度稳定性可得到最大的改善 (>3 倍)。如果只用一只自补偿辊, 其改善程度只达到 120%。在 F_4 及 F_7 机架上都采用双自补偿辊可分别达到 40% 及 14% 的改善度。

3) 凸度控制范围余度

参数 γ 表示凸度范围控制余度, 此余度适用于带钢凸度达到一致且干扰因素对凸度的影响也得到补偿后的情况 γ 等于:

$$\gamma = \alpha + \beta - 1$$

以七机架精轧机组为例, 控制装置在 F_1 、 F_4 及 F_7 机架上对凸度控制的影响如图 21 所示。 F_1 和 F_4 机架上具有二个实心辊的控制装置提供的凸度控制范围的余度是十分有限的。尤其是对窄带钢更是如此, 在这些轧机上采用一只自补偿辊或者双自补偿辊可使凸度控制范围的余度增大到现有凸度控制范围的 40~70%。在 F_7 轧机上采用双自补偿辊

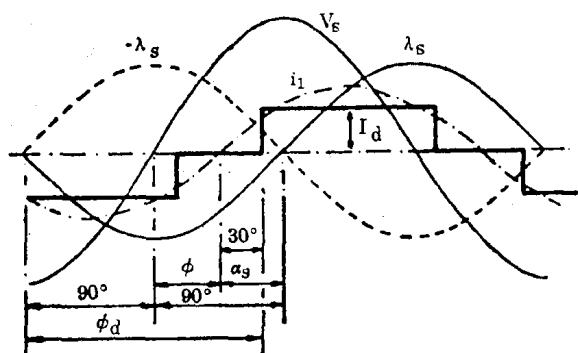


图 21

也可使凸度控制范围的余度增大高于 40%。

五、结 论

对带钢断面形状控制装置的基本要求是提供足够的凸度控制范围, 以补偿带钢原始凸度与板形锥的不一致和由各种干扰因素而造成的带钢断面形状的偏差。

归纳带钢断面形状和板形控制装置的发展可见, 对上述问题有两种解决方法:

除了常规的轧辊弯曲系统外, 再提供凸度控制机构, 以增大凸度控制范围。

改善带钢原始凸度与板形锥的一致性, 并且减小带钢断面形状对各种干扰因素的依赖性。

第二种解决方法是通过使用装有自补偿支承辊的控制装置来实现。

本文的可行性研究表明, 典型的 2032mm (80 吋) 七机架精轧机上, 其自补偿支承辊将对轧辊弯曲系统的凸度控制能力有较大的改善。产品宽度范围里的所要求凸度可在各种干扰因素下得到。

强调指出: 自补偿辊的结构布置——首先这种系统结构简单, 只需要两只主要零件 (套筒和辊轴), 且无活动部件, 在套筒与辊轴之间的压力也无需用液压来进行调节。其次, 这种结构布置使工作辊作单向移动或两向移动, 都将减少带钢边部减薄和减小轧辊磨损。

赵家骏 译自《Iron and Steel Engineer》July 1987.