

国外轧机技术改造 译文集

冶金工业部 冶金设备编辑部

前 言

我国大部分轧机装备比较落后，产品质量较差，很难满足国民经济各工业部门发展要求。因而，轧机装备的技术改造是当前面临的重要任务。为此，我们选编了国外有关轧机技术改造的经验文章，供大家参考。

一九七二年日立公司开发的 **HC** 轧机，它可用现有四辊轧机上进行技术改造，对于提高带材的板型十分有效。

波鸿钢铁公司、施罗曼——西马克公司联合开发的 **HVC** 轧机，它同时具有水平和垂直辊缝控制功能，较 **HC** 轧机更有效地控制冷轧过程的辊缝。一台四辊轧机被改造成 **HVC** 轧机，用于轧制难变形材料已于 1983 年投入使用。

为了轧制更宽、更薄、更硬的带材，需要采用直径更小的工作辊。第一台由四辊轧机改造成的 **Z** 型轧机，已于 1980 年投产。

日本钢管公司 (**NNK**) 和石川岛播磨 (**IHI**) 联合开发了新型、平直度易控轧机称为 **FEC** 轧机，于 1982 年改造成功，并投入使用，改善了带材的板型。

文集还介绍了，中等宽度带钢热轧机采用带卷箱的成功经验；轧制螺纹钢筋的 **TEMPCORE** 新工艺；以及利用三辊行星轧机生产无缝钢管的经验。

带钢板型检测原理、方法、计算机控制轧机生产及轧机的使用经验等文章，对提高轧机寿命、产品质量也具有实际意义。

希望这本文集能为我国轧机改造起一些作用。

参加本文集选稿、组稿、编审工作的有周国盈、蒋维兴、赵家骏、龚宝兴、傅文祖、郑江南等，并由周国盈负责主编。

目 录

板 带
轧 机

- 1 日立公司的HC 轧机 (1)
- 2 关于六辊轧机热带钢板形凸度控制 (4)
- 3 CVC轧机——凸度连续可变的轧机 (13)
- 4 VHC轧机——具有水平和垂直辊缝控制的六辊轧机 (18)
- 5 用Z型轧机冷轧不锈钢 (25)
- 6 Z型轧机的现状 (30)
- 7 FFC轧机(平直度易控轧机)——五辊轧机的发展前景 (33)
- 8 乌佩曼公司采用带卷箱对中宽热带钢轧机进行技术改造 (37)

中小型
轧 机

- 9 小型钢厂的轧机技术 (43)
- 10 棒材轧机——轧制产品的经济性 & 性能对设计参数的影响 (54)
- 11 柯可斯公司制造的45°二辊式轧机 (60)
- 12 无缝钢管的新生产法——三辊行星轧管法 (63)
- 13 小型轧机机组之间轧件张力稳定 (66)
- 14 TEMPCORE——生产优质螺纹钢筋的新工艺 (67)

检 测
与
控 制

- 15 板形测量与控制 (74)
- 16 在二十辊轧机上轧制特殊钢时带钢张应力分布的控制——控制系统的设计 (76)
- 17 计算机在线材和小型型钢轧机上的应用 (81)
- 18 冷轧带钢板形仪的功能及其原理 (88)
- 19 应用轧辊挠度计算机程序预测带钢凸度 (100)

使 用
经 验

- 20 轴载齿圈式干油泵——万向轴滑块润滑装置 (107)
- 21 运动轧件端面打印装置 (114)
- 22 切头抛出装置 (116)
- 23 设计领先的AMERIGEAR齿形弹性接轴 (113)
- 24 ZURN/VOITH万向节 (117)

日立公司的 HC 轧机

一、日立公司的新轧机思想

日立公司多年来从事轧机的研究和开发，并在轧机设计上向市场推出了新的思想。一项新的开发是轧辊液压定位装置（Hyrop）。据日立公司声称，此装置促进了厚度控制从机电方式向液压方式过渡，而前者自现代四辊连轧机问世后的将近四十年来一直是一种标准的设计。已开发了 Hyrop 装置的改进型——如 Hyrop-S 和 Hyrop-F，公司认为后者具有世界上最高的响应能力。

日立公司的另一重大新开发是 HC 轧机，它是日立高凸度控制轧机的简称。从四辊轧机取代二辊轧机的半个多世纪来，四辊轧机在大量生产高质量带钢上起了重要作用，被认为是碳钢用轧机和特种轧机，例如轧制不锈钢用的森吉米尔轧机的标准设计。但是，四辊轧机具有一些固有的缺点，例如每当改变带宽或轧制负荷时，为了获得最合适的工作辊凸度，工作辊必须调换。日立公司的工程师证实了用一般设想的增大支承辊直径的办法是不可能解决这一类问题的。

开发 HC 轧机是为了消除四辊轧机的缺点。日立公司宣称，HC 轧机控制平直度（板型）和横向厚差的能力是无与伦比的。它是一种六辊轧机，在支承辊和工作辊之间装有可轴向移动的中间辊，从而按轧制需要可改变支承辊的有效辊身长度。

由于使用平工作辊，因而可减少备用辊数量，轧辊的管理也容易，而且在不同轧制条件下也不必换辊。既不需预热，也不需空轧，减少了带钢的边部减薄和边裂，可大压下量轧制，从而减少道次，即机架数。日立声称，这些优点导致了节能，节约人力和资源，提高了带钢质量和生产率。

第一台 HC 轧机（试验轧机）于 1972 年安装在日立研究所。单机架 200 米/分可逆式轧机用来轧制宽度在 75~300 毫米的碳钢带、铝带等。二年后在新日本钢铁分司八幡厂正式投产了生产型 HC 轧机。这台 600 米/分的轧机取代一台单机架的可逆式轧机，生产厚 0.25~3.2 毫米，宽 500~1270 毫米的碳钢和硅钢带。

到 1983 年 6 月为止，日本和其他国家的 52 家厂安装了大约 77 台 HC 轧机，其中既有新建的，也有改建的。最初出售的几台 HC 轧机都是单机架可逆式轧机，但以后逐渐用于连轧机，最近还用于热轧机。

从日立的供货记录，可了解到使用 HC 技术的轧机种类和生产的范围之广。在日本，使用单机架可逆式 HC 轧机的有：片木铝公司用来轧制厚 0.15~2.0 毫米，宽 330~600 毫米的铝带和铝合金带；大洋钢公司的船桥厂用来轧制厚 0.15~2.3 毫米，宽 610~1320 毫米的

碳钢带；久保田伸铜公司用来轧制厚度大于0.5毫米，宽200~400毫米的不锈钢带；日立乐器公司用来轧制厚度大于0.15，宽200~630毫米的特殊钢带；日立金属公司的安来厂用来轧制厚度大于0.2毫米，宽度150~380毫米的特殊合金钢带；古河金属公司用来轧制厚0.3~4.0毫米，宽400~1250毫米的铜带和铜合金带；日本矿业公司的川崎厂用来轧制厚0.1~1.7毫米，宽200~480毫米的不锈钢带和高镍合金带；住友特殊金属公司吹田工厂用来轧制厚度大于0.1毫米，宽度150~500毫米的特殊合金钢带；日立电缆公司的土浦厂用来轧制铜和铜合金。另外，日立金属公司的安来厂的另一台单机架可逆式轧机预定今年投产。

提供给日本用户的其他类型轧机有：新日本钢铁公司八幡厂和日立金属公司安来厂的平整轧机；新日本钢铁公司广畑厂和名古屋厂的平整轧机；神户钢铁公司真冈厂的轧制铝和铝合金用的单机架非可逆式轧机；新日本钢铁公司八幡厂的一台平整轧机和川崎钢铁公司水岛厂的二机架连轧平整轧机。

日立公司还向新日本钢铁公司广畑厂提供了一套四机架冷连轧机，并为新日本钢铁公司的君津厂、八幡厂、名古屋和广畑厂，神户钢铁公司的加古川厂，川崎钢铁公司的千叶厂和水岛厂，日新钢铁公司，住友金属工业公司的和歌山厂以及日本钢管公司提供轧机以代替原有的冷连轧机机架。

其他国家采用HC轧机的有：西德波鸿钢厂1982年投产的单机架可逆式轧机用来轧制厚0.4~3.0毫米，宽680~1550毫米的碳钢和硅钢薄板，南朝鲜伯恩厂1981年投产的单机架可逆式轧机用来轧制厚0.2~2.0毫米，宽400~425毫米的磷青铜带；巴西米纳斯公司卡马拉厂1980年投产的单机架平整轧机用于生产厚0.2~2.2毫米，宽500~1570毫米的低碳钢带和加拿大斯坦利钢公司1980年投产的单机架可逆式轧机用于轧制厚0.3毫米以上，宽450~920毫米的碳钢带。

墨西哥伊尔萨厂1982年投产了一台四机架冷连轧机用来轧制厚0.246~3.43毫米，宽508~1118毫米的碳钢；巴西国家黑色冶金公司五机架冷连轧机的第1机架，瑞典萨帕公司五机架冷连轧机的最后一个机架已用HC轧机。东德东方钢铁联合企业的1000米/分单机架可逆式轧机预定今年投产，用来轧制厚0.3~1.5毫米，宽800~1550毫米的碳钢和硅钢。

二、H C 带 钢 热 轧 机

八十年代初，HC轧机原理开始用于带钢热轧机以提高产品质量、提高收得率、提高生产能力和降低能耗。一般的四辊轧机不能采用同一轧辊从窄带轧到宽带，也不能连续地轧制同一宽度的相当数量的带卷。日立公司HC轧机则具有自由状态轧制(Schedule-free rolling)，并能按下一道工序的要求，轧制绝对平直或有其他凸度的带材。这些特性是热坯直接轧制和热装轧制的先决条件。另外它还能节能。

用于带钢热轧机的HC轧机有二种类型：具有中间辊移动系统的六辊轧机(HCM轧机)和具有工作辊移动系统的四辊轧机(HCW轧机)。结合上述二种类型的轧机是HCMW轧机，这种轧机的工作辊和中间辊都能移动，据称它最适宜于自由状态轧制和控制带材的凸度。日立公司声称HCMW轧机适用于3或4机架组成的精轧机组的出口侧，而HCM轧机更适用于机组的进口侧，通过防止入口机架的轧辊磨损影响出口机架带材凸度，来保证自由状态轧制。HCW轧机可用于3、4机架机组的出口侧以控制带材凸度或防止轧辊磨损。公司声称，

只有 HCMW 轧机能同时具有上述二优点。

到 1982 年末为止,已有三个公司的三套 HC 轧机投产。在新日本钢铁公司的八幡厂,新六机架热轧精轧机组的后四个机架采用 HCMW 轧机,前二机架采用 HCW 轧机以使轧辊磨损均匀。这套 1450 米/分的轧机是在 1981 年 4 月投产的,用来生产厚 1.2~25.0 毫米,宽 550~1550 毫米的碳钢、合金钢、不锈钢和硅钢带。据称这台轧机的优点是,通过凸度和板型控制,能提高产品质量和收得率、可进行自由状态轧制、节能、增加带坯厚度和后机架的大压下量轧制等。

据称日新钢铁公司吴厂和川崎钢铁公司水岛厂的改装轧机具有同样的优点。吴厂的前三个机架由原先的四辊轧机改装成 HCW 轧机,后三个机架则改装成 HCMW 轧机。改装的轧机于 1982 年投产,生产厚 1.2~12.5 毫米,宽 600~1610 毫米的低碳钢、不锈钢和合金钢带。轧制速度为 1148 米/分。水岛厂的 7 机架热轧机的后三个机架改装成 HCMW 轧机。

川崎钢铁公司千叶厂的六机架轧机的 3 号、4 号和 6 号机架已改成 HCW 轧机,以便改善带钢凸度、降低边部减薄和自由状态轧制。1983 年投产的这台轧机生产厚 1.0~12.7 毫米,宽 510~1300 毫米的碳钢和不锈钢带。

在有色金属领域内,美国凯瑟铝和化学品公司正在安装三台 HCMW 轧机,预计今年年末投产。

三、驱动、控制和工艺处理

除主轧机外,日立公司还提供轧机的各种辅助设备,包括直流驱动电机、轧边机的可控硅控制电机、微型计算机系统和控制技术,加热炉控制装置和各种钢处理作业机组。

日立公司开发的加热炉燃烧控制系统是为了克服一般加热炉和热装轧制间的矛盾。一般加热炉的进料速度和出料速度是相同的,因而轧制速度和连铸机的浇注速度间的差别无法加以缓冲。在一般加热炉中,坯料几乎是以恒速经过炉子的,而在日立的炉子中,坯料移动方式是不规则的,每根坯料在每一炉子加热段中的移动量是受到控制的。炉子分成五个段,各段都有可独立设定的流量和温度调节器,各段的步进梁也可单独操纵。坯料在装进段 1 后分成各钢包单元,然后被送到空段进行加热。坯料在末段加热到目标温度后逐根出炉,而在前一段中的坯料则向前移动。

燃烧控制系统是,根据具有三个中央处理器的大过程控制计算机:LD 系统用于转炉控制,3C 系统用于连铸控制,3B 系统用于加热炉控制。燃烧控制系统已提供给神户钢铁公司的神户厂,该厂的试验结果证明全自动操作比人工操作燃料消耗量可降低 10%。

日立也提供钢处理流水线方坯连铸机和旋转式钢连铸机的控制和驱动系统。钢处理作业机组包括连续退火机组、退火和酸洗机组、连续退火和处理机组、连续镀锌机组、电解镀锌机组以及连续式彩色涂层机组。

龚宝兴 译自《Metal Bulletin Monthly》1984, №6.

周国盈 校

关于六辊轧机的热带钢板型凸度控制

NAKAJIMA 等

摘 要

通过对一台完善的试验性轧机的研究,考查了一热轧串联式机组的带钢板形凸度控制作用,在该机组上采用了具有作轴向移动的中间辊的六辊轧机。并获得如下结果:

1. 六辊轧机较普通的四辊轧机具有较大的板形凸度控制能力。
2. 得出了带钢凸度变化与板形之间的定量关系。
3. 得到了串联式中六辊机座数与带钢凸度控制范围的关系。
4. 在精轧机组出口方向的3~4架六辊轧机上基本上可进行较好的凸度控制。

一、前 言

随着轧钢技术的发展,用于汽车、家用电器及其它工业部门的带材,对其质量上的要求已日趋严格。这样,尽量减小带材的凸度,提高带材尺寸精度和生产产量已成为面临的最重要的技术问题之一。

尚未经冷轧加工的热轧带材,其厚度沿宽度方向是不均匀的,如果把热轧带钢放到冷轧机上继续轧制,则带钢必须事先带有一定的凸度,这凸度对后道的冷轧是很有益处的。为了满足这些要求,所以对一台热轧机来说,无需通过换辊改变凸度应能轧制所需的凸度不同规格的带材。

串联式精轧机组设有带弯辊装置的四辊轧机。由于它没有很好的板形控制能力,结果在这种普通轧机上轧出的带材其中心凸度在90微米~100微米之间变化。为了最小限度减小这些变化,已经作了各种的改进努力,如果采用合理的轧制程序和预热轧辊。然而,生产实践证明这些方法不是行之有效的。

为了解决凸度变化问题,对于热轧串联式的精轧机,有必要来研究一下带有移动中间辊的六辊轧机的作用。通过广泛地运用理论模型和实验轧机的实验,来开展这一研究工作。

本文介绍了六辊轧机的带钢凸度及板型控制特性的研究成果。

二、六 辊 轧 机 的 概 况

由于要求被轧的带材应带有均匀的凸度,所以热轧机的作用之一是应能消除因辊面变化

而引起带材的凸度变化。辊面的变化来自于下述原因：

1. 因磨损，温度引起的膨胀以及其它原因。
2. 因轧制程序的改变，特别是因板宽和来料板形的不同，而引起轧辊轴线倾斜。

在串列式的精轧机上，通过使用六辊轧机这一尝试，明显提高了精轧机的板形控制作用。

六辊轧机的结构特点如图 1 (a) 所示，在这台轧机上，通过二根中间辊的轴向移动及作用在工作辊上的弯辊力的复合作用，来控制带材的凸度。也就是说通过中间辊的轴向移动，消除了用支承辊上大于板宽部分引起工作辊弯曲的不利因素。联系对于普通的四辊轧机来说，这一不利因素是个突出的缺陷。因六辊轧机克服了这一不利的缺陷，所以工作辊弯曲力就产生在带宽的中部，结果使工作辊的挠曲得到了明显的改变。

典型的带材凸度控制作用如图 1 (b) 所示。

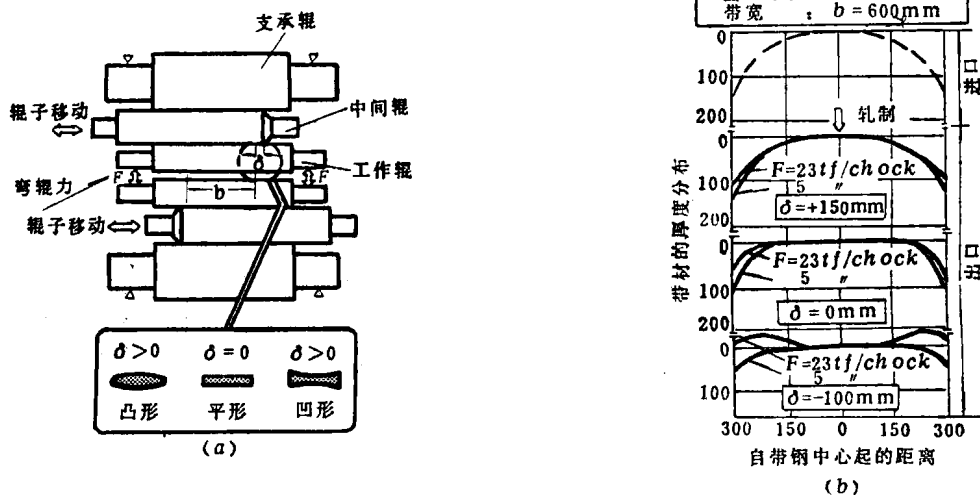


图 1 六辊轧机结构特点和它的凸度控制功能

它表明根据理论模型所得的带材厚度分布。在这一图示中，带厚分布的变化由中部凸度变化到边部凹度是很明显的。这一分布取决于中间辊的轴向位置 δ 。 δ 表示中间辊边部到带材边部的距离。当辊边在带边外面时， δ 取“+”，当辊边在带边之内时， δ 取“-”，当辊边与带边平齐时， δ 取为“0”。

从图 1 (b) 可看出， δ 越小，弯辊力的控制效果就越大。

$\delta = +150$ 毫米时，表示此时中间辊的辊边完全与支承辊辊边对齐，这时通过弯辊力的作用，只能使带材的凸度得到很小的改变。另一方面由于六辊轧机的中间辊能在 $\delta = +150 \sim -100$ 毫米的范围内作轴向移动，这样，就大大扩大了带材凸度的控制范围。

即使压下程序和板宽有变化，利用六辊轧机仍可获得厚度均匀的板带。

三、六辊轧机的凸度控制作用

在串列式精轧机组上采用六辊轧机，要研究如下问题：

- 1). 六辊单机座带钢凸度控制；
- 2). 在不同的轧制条件下，带钢的板形和凸度的变化。

1. 实验方法

1) 轧机和试验的材料

六辊试验轧机是一台由电机传动, 具有液压装置的可逆轧机, 轧辊辊径为 $\phi 300$ (工作辊)/ $\phi 295$ (中间辊)/ $\phi 650$ (支承辊) $\times 1000$ (辊身长)。

六机架串列式机组的操作, 可按可逆轧制的方式模拟。三种轧制试件分别为宽度 $b = 400, 600, 800$ 毫米, 厚度 $h = 10, 15, 30$ 毫米的低碳钢板。

2) 轧制条件

选定适合于现用的串列式精轧机的轧制程序表, 表 1 列出了指标值和实际值。中间辊位置“ δ ”和弯辊力“ F ”的大小范围如下所示:

$\delta = -50 \sim +250$ 毫米——板宽 $b = 400$ 毫米

$\delta = -100 \sim +150$ 毫米——板宽 $b = 600$ 毫米

$\delta = -100 \sim +50$ 毫米——板宽 $b = 800$ 毫米

$F = 5 \sim 23$ 吨/每边

上述 δ 的上限值表示中间辊边部对齐支承辊边部时的大小。六辊轧机用符号 $6H_1$ 表示。

3) 带材厚度分布和板形的测量

表 1 轧 制 程 序 表

通常在距带材试件中心 100 毫米处, 以及距带材试件边部 25, 50 或 100 毫米的位置上, 用千分尺进行测量, 测出的数值应是两边厚度之和的平均值。至于板形可用游标测厚规和测量卡尺量得浪形高度 A 和板厚间距 P 。然后由 A/P 得到陡度值 α 的大小。并根据所求的 α 由下列方程计算出延伸差 λ 的值, 以此来表示板形的大小。

道次	项 目			
	指 标 值		指 标 值	
	交货板厚	压下率(%)	交货板厚	压下率(%)
原始棒材	30.0	—	28.0	—
1	15.0	50	16.5	41
2	10.0	33	9.9	40
3	7.0	30	6.6	33
4	4.9	30	4.6	30
5	3.4	30	3.5	24
6	2.4	30	2.7	23

$$\lambda = \left(\frac{\pi}{2}\right)^2 \cdot (\alpha_c^2 - \alpha_e^2) \quad (1)$$

式中 α_e ——自带材部起 25 毫米处的陡度值;

α_c ——带材中部的陡度值;

$\lambda > 0$ 时带材边部浪形;

$\lambda < 0$ 时带材中部弯状。

2. 单机座的六辊轧机的凸度控制作用

板厚为 10 毫米、板宽为 800 毫米的轧件经三道轧制后, 减薄到 3.4 毫米, 对其最后一道的测试结果如图 2 所示。

图 2 还表示了在不同的中间辊位置 δ 和不同弯辊力的控制条件下, 所测得的厚度分布曲线。

中间辊位置 $\delta = 50$ 毫米时, 板厚的分布与四辊轧机的情况相似。显然, 由带厚的分布给出了板厚中部的凸度 ΔC_{HB} (ΔC_{HB} 可由变化 $F = 5 \sim 23$ 吨/每边求得)表示的控制作用为最小。而且进一步表明, 由于 δ 值的减小, 带厚分布改变了边部的凸形而呈凹形, 这样, 依 F 而定的凸度控制范围也同时得到了扩大。

还可进一步看出因中间辊的移动所造成六辊轧机凸度控制的最大范围 ΔC_{hmo} 。

为了定量描述 δ 和 F 对带钢凸度控制的作用。设定带钢凸度为 $c_h = h_c - h_e$ ，下面来研究一下它们的控制特性，（ h_c 为带材中部之厚度， h_e 是距带边25毫米处的厚度）在图2的轧制程序条件下，用三种不同宽度的带材进行实验轧制，终轧道次中得到 δ 与带材凸度的关系如图3所示。为了加以比较，图中实线表示经理论模型分析得出的结果。很明显，测出的结果接近于理论分析。

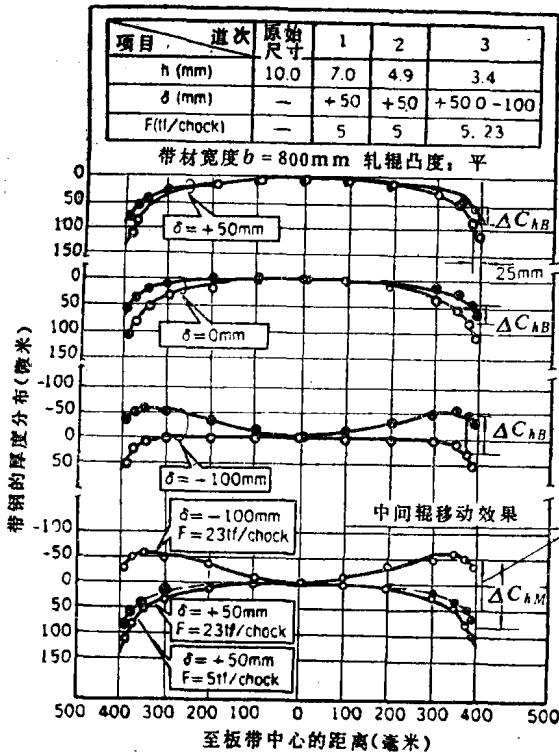


图2 中间辊移动量 δ 及弯辊力 F 对带钢厚度分布的影响

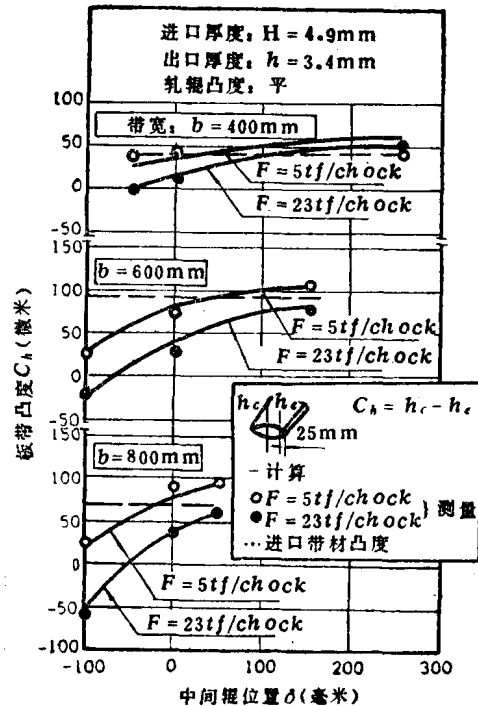


图3 中间辊移动量 δ 及弯辊力对板带凸度的影响

在这些实验表明，入口侧的带材凸度有点大， δ 位置处于负侧，显而易见实验轧机能在很大的板宽范围里进行凸度控制，而达到零凸度的水平。

图4表明了在不同的板宽时，六辊和四辊的凸度控制范围，其中虚线表示实测值，实线表示计算值，开口域表示普通四辊轧机的凸度控制范围。

因凸度可控范围及程度随板宽不同而异，所以要获得恒定的凸度是困难的，但使用了六辊轧机其控制范围较广，对各种板宽都能提供所要求的凸度。

3. 带材的变形特征

1) 与带材凸度变化有关的板形变化

一般说来，当带钢凸度变化时，在带材宽度方向并非都有同样凸度的变化。因带凸度变化率的改变纵向应力作用产生了波状(沿轧制方向)。

图5中用图解法对这种现象进行了定量分析，对于这些模拟实验的结论在有关专著已作

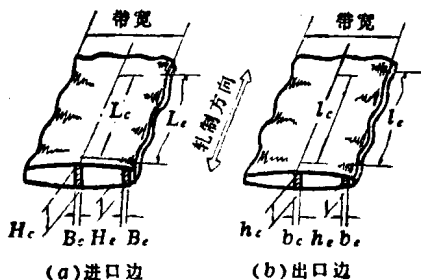


图5 带材的变形图例

过详述。以下仅对主要的结论进行论述。假设带材的塑性变形为一定值，则方程(2)近似表示了带材凸度变化率 ΔK 与板形变化率(又称为纵向厚差率) $\Delta \lambda$ 之间的关系。

于是 $\Delta K = K_h - K_H$ ， K_H 和 K_h 分别是出口侧和进口侧的板带凸度率， $K_H = (H_c - H_e)/H_c$ ， $K_h = (h_c - h_e)/h_c$ 。同理， $\Delta \lambda = \lambda_l - \lambda_L$ ， λ_l ， λ_L 分别表示进口和出口的纵向厚差率， $\lambda_L = (L_e - L_c)/L_c$ ， $\lambda_l = (l_e - l_c)/l_c$ 。

$$\Delta K - \Delta \lambda - \Delta_{\pm} = 0 \quad (2)$$

式中 $\Delta_{\pm}$ 为宽向张力差， $\Delta_{\pm} = \varepsilon_{bc} - \varepsilon_{bc}$

Δ_{bc} 表示带边的变形， ε_{bc} 表示带中部变形。

将(2)式除 ΔK ，则有方程式(3)

$$1 - \frac{\Delta \lambda}{\Delta K} - \frac{\Delta_{\pm}}{\Delta K} = 0 \quad (3)$$

其中令 $\frac{\Delta \lambda}{\Delta K} = \xi$, $\frac{\Delta_{\pm}}{\Delta K} = \zeta$ (4)

式(4)中， ξ 是无量纲值，它表示带钢凸度率改变对板形变化的影响。又称为板形扰动系数。 ξ 值越小越有利于板形的改变，所得到的凸度修正量也就越大。

根据板带凸度的变化来阐明板形变化现象，目前还没有专门理论。因而要研究一下这两个参数之间的关系，以便进行实验。

图6给出了典型的试验结果，

其中 ●和▲号表示延伸率差 λ 与带钢凸度变化率 ΔK 间的关系；

●号表示进入侧板带有凸度(图6中用●号)的情况；

▲号表示进入侧板带有凹度(图6中用▲号)的情况。

从图6中可明显看出，入口侧的凸度对板形无影响，所以仅用板带凸度变化率就可进行分析。还说明了这样的事实，即这两参数(带钢板形和带钢凸度变化率)成线性关系。图中的直线斜率就是板形扰动系数 ξ 。由于 ξ 值取决于带材厚度 h 、带宽 b 及轧机的大小。为了估计各种工业性轧机的 ξ 值，于是就要对大小不同的轧机来进行试验。

项目	道次	原始尺寸	1	2	3
h (mm)		10.0	7.0	4.9	3.4
δ (mm)		—	6H _i	6H _i	6H _i , -100
F (tf/chock)		—	5	5	5.23

轧辊凸度：平

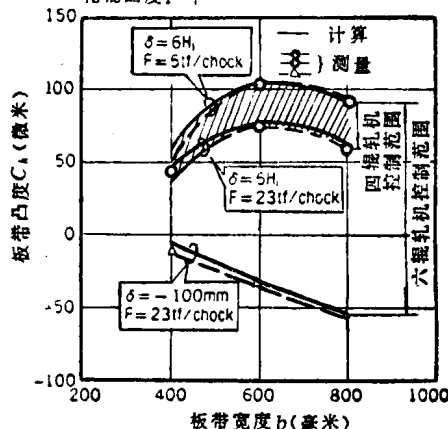


图4 四辊轧机与六辊轧机凸度控制范围的比较

根据量纲分析实验结果可发现 ζ 值可由几何参数 $(D/D_0) \cdot (D^{0.5} \cdot h^{1.5}/b^2)$ 来计算, D_0 为直径 300 毫米的标准工作辊, 如图 7 所示。

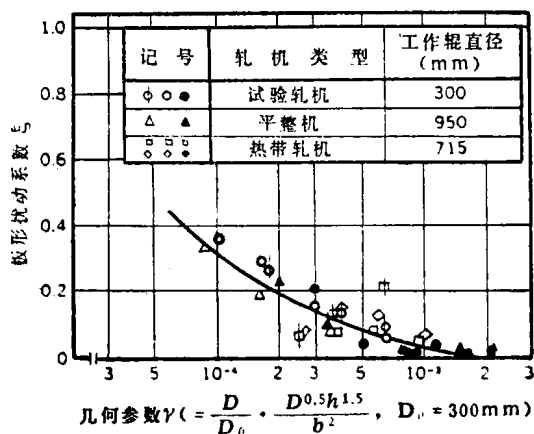


图 7 板形扰动系数 ζ 的实验结果

2) 带材凸度的遗传特性

厚度为 10 毫米、宽度为 600 毫米的钢板经三道轧制, 轧到 3.4 毫米时, 所得的实验结果如图 8 所示。在前二个道次中, 对轧机操作上的控制是为了轧出凸形和凹形分布的板厚, 而在第三道轧制中则能改变 δ 和 F 的控制条件。

图 8 所示为总的厚度分布。带材进口厚度的变化决定出口厚度的变化。即使 δ 和 F 都相同, 而所轧材料的厚度分布在第三道次中仍有这种变化。

图 8 所示的带材凸度的遗传特性由 $\eta = \Delta C_A / \Delta C_H$ 确定。 η 表示带钢凸度遗传系数, C_A 为进口带钢凸度, C_H 则是出口带钢凸度。带材厚度及宽度对 η 的影响可通过实验和理论分析得到。从这些结果中, 清楚地表明当带材厚度从 10 毫米减薄到 2.5 毫米时, η 以较大的变化趋势从 0.2 变到 0.45, 而到 0.35 时又逐渐减小, 而且板宽越宽, 则 η 越趋于增大, 但是对于薄而窄的带材, 这个变化趋势不是很明显的。

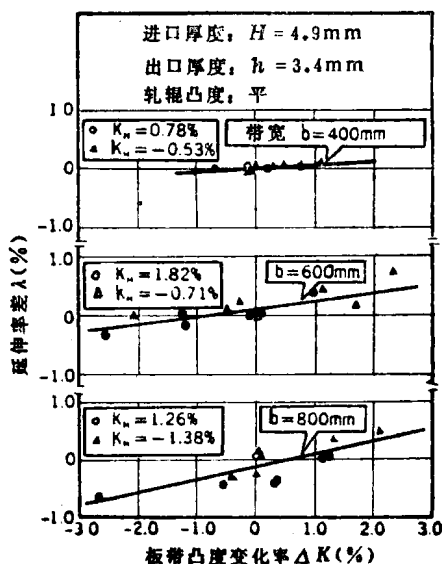


图 6 板带凸度变化率与板形变化间的关系

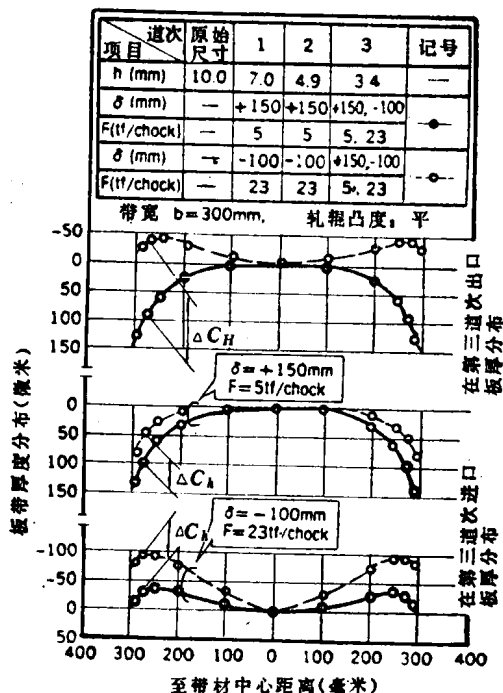


图 8 进口板厚分布对出口板厚分布的影响

四、关于串列式精轧机的带材凸度控制

轧辊凸度的变化会使板形变化, 所以通过凸度控制来模拟控制板形是很重要的。或者说中间机座的凸度必须尽可能保持在一定的范围内, 以保证最后一架轧机的板形。

1 确定带钢凸度和板形的矢量分析

如图 6 所示, 若仔细观察一下带钢凸度变化率 ΔK 与板形因素 λ 的线性关系, 分析一下热轧带钢机上板带凸度和板形的变化是可能的。

即可以采用图解的矢量分析法。这种分析以 λ 和 ΔK 作为矢量, 来表示板形扰动系数 ξ 的斜率。这个方法可由图 9 来说明之。图中以板带凸度 K 为水平轴, 带材延伸率差 λ 为垂直轴而组成一个坐标系。

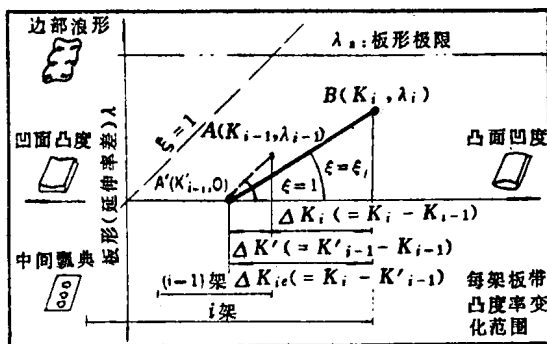


图 9 确定凸度和板形的矢量分析

设给定机座为 i , 被轧带材的变形为 $A(K'_{i-1}, \lambda_{i-1})$, K'_{i-1} 为进口侧凸度, λ_{i-1} 为延伸率差, 因带钢稍一被咬入就在上下辊间继续轧制了, 所以可以认为因板形波动而产生的带材“浪形”以 $\xi=1$ 的斜率沿直线而被轧平。这样在坐标上便可说带材是处于位置 $A'(K'_{i-1}, 0)$, 然后带材由点 A' 出发直至带材凸度值为 K_i 的 B 点, 轧机则沿着以板形扰动系数 $\xi = \xi_i$ 的斜直线进行轧制。 K_i 在轧机凸度的控制范围内。当因凸度变化 $\Delta K_{i,c} (= K_i - K'_{i-1} = K_i - K_{i-1} + \lambda_{i-1})$ 引起的板形 λ_i 超出板形范围 λ_s 时, 要把 K_i 限制在 λ_s 数值内。为了最后一架精轧机上获得平直的板形, 轧制便进行到 $K_i = K'_{i-1}$ 的位置。在串列式精轧机上自第一台起, 按控制程序连续地配制图表, 有可能得到带材在轧制过程中由始到末的凸度和板形的变化。

2. 矢量分析的验证

通过进行一项模拟串列式精轧机组的实验来验证矢量分析的正确性。在该实验中, 把 10 毫米厚, 600 毫米宽的钢板经三个道次轧成 3.4 毫米厚的带钢, 对每道次的 δ 和 F 值进行矢量分析计算, 为了在最终道次中获得不同指标的带材凸度, 所以在中间道次中把

道次	1	2	3	记号
h (mm)	7.0	4.9	3.4	
δ (mm)	150/5	150/5	150/23	A
	150/19	150/23	150/23	B
	150/3	55/23	-5/23	C
	150/23	-100/23	-50/23	D
F (t/chock)	20/23	-45/23	0/13	E
	-100/23	-100/23	-70/23	F

原始尺寸: $10' \times 600^b$ mm

轧辊凸度: 平

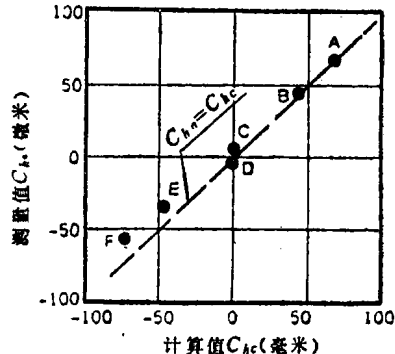


图 10 矢量分析计算值与实测值的板形凸度之比较

带材的斜度限制在 $\pm 30\%$ 的范围内，而把平直的板形安排在最终的一道。图 10 把模拟实验中所得到的测试值与由矢量分析得到的计算值进行了比较。这些数值的精确性是比较接近的，带钢凸度控制模拟方法采用矢量分析是十分有效的。

五、串列式六辊精轧机凸度控制范围的模拟方法

对于串列式热轧机组中的六辊轧机，通过矢量分析也可获得凸度控制范围。表 2 列出了用于模拟带钢凸度控制的轧机的主要规格，表 3 是程序图表和初始的轧辊凸度。由七台轧机组成串列式机组。

表 2 用于模拟带钢凸度控制的轧机规格

项 目	轧 辊		
	工 作 辊	中 间 辊	支 承 辊
轧 辊 直 径(毫米)	765	720	1600
辊 身 长 度(毫米)	2286	2235	2286
两边间距离(毫米)	3250	3250	3250
轧 辊 位 移(毫米)	—	0~785	—
弯 辊 力(吨/每边)	0~100	—	—

表 3 用于凸度控制模拟法的原始辊凸度图表

产品 No.	项 目		机 架 No.							
			1	2	3	4	5	6	7	
1	带 材 厚 度 (毫米)		32.70	19.79	12.67	8.52	6.32	4.81	3.90	3.50
	轧 制 速 度 (米/分)		—	130	203	302	407	535	660	735
	单位宽度上轧制负载(公斤/毫米)		—	1116	1154	1120	891	892	742	377
	轧辊凸度(微米)	四 辊 轧 机	—	- 288	392	368	202	242	158	12
		六 辊 轧 机	—	- 662	- 62	- 1	- 79	0	- 12	- 130
2	带 材 厚 度 (毫米)		31.83	14.44	8.09	4.93	3.36	2.41	1.85	1.60
	轧 制 速 度 (米/分)		—	84	150	246	361	504	655	758
	单位宽度上轧制负载(公斤/毫米)		—	1165	1345	1480	1336	1251	1161	394
	轧辊凸度(微米)	四 辊 轧 机	—	- 450	688	604	388	306	244	66
		六 辊 轧 机	—	- 1383	143	203	101	78	64	- 96

图 11 示为用矢量分析的例子，(a) 为出口侧二台轧机采用六辊轧机；(b) 为七架全部采用六辊轧机。

在第一种情况中，可以看到因 6 号机座的凸度突然发生变化，所以 6 号机座出料侧的板形达到最大值，结果使得这台轧机完全不能利用凸度控制。而在后者的情况下，对于六辊七机架，为了有利于板形的控制，在入口侧机座不需要进行凸度变化。

这样，由于在中间机座保持良好的板形，就能够使得凸度的控制范围得到扩大。

图 12 表示带材凸度控制范围与热轧串列式机组中六辊轧机台数的关系。

当轧制 3.5 毫米厚的带钢时，因板形不易变化，要获得大的凸度控制范围，则可采用较少的机架进行轧制。然而对 1.6 毫米的薄带材，在限定架数的机列上的凸度控制引起板带凸

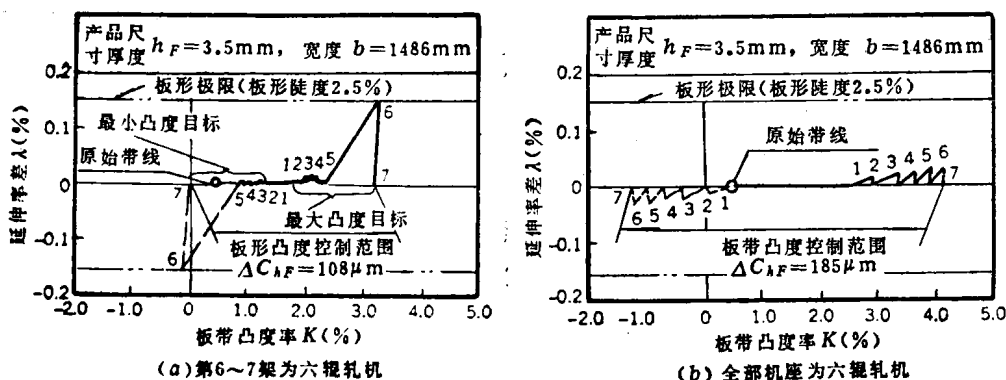


图 11 用矢量分析的凸度控制模拟法的结果

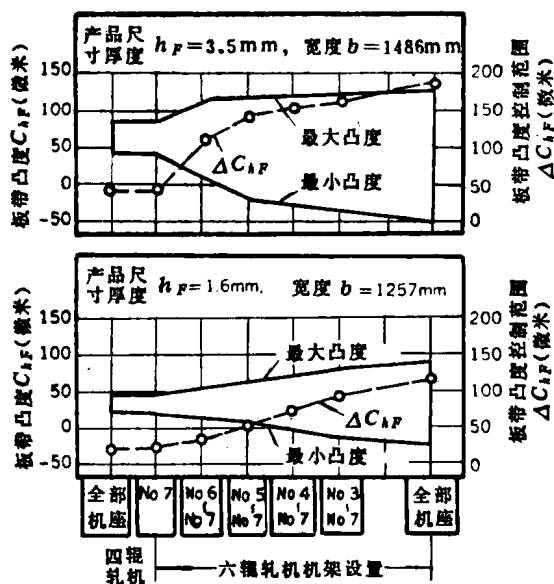


图 12 板带凸度与六辊轧机机架数间的关系

度变化, 这个变化超出了许可的规定值。这样对于最后一架机座, 除非使用六辊轧机, 否则就不能满意地发挥轧机的作用。

上述模拟方法讨论结果清楚地说明, 有效地控制带材凸度, 最合适的方法是在机列上都安装六辊轧机。由于在出料侧 3~4 架机座上安装了六辊轧机, 显然, 对特殊的凸度要求, 具有令人满意的结果。对于在精轧机座上采用六辊轧机的热轧串列式机组, 研究其凸度控制的工作已着手进行研究, 并获得如下结果:

1. 六辊轧机比四辊轧机具有更广泛的显著的凸度控制功效。〔下转第17页〕

CVC 轧机——凸度连续可变轧机

一、前 言

近年来，用户对产品质量方面的要求越来越高。要求成品厚度公差小，对冷轧带钢在平直度、轧件横向厚差、表面光洁度等方面要求越来越严格。

带钢的平直度和横向厚差由下列因素决定：

1. 轧辊的弹性变形；
2. 轧辊的凸度；
3. 轧辊的热状态；
4. 轧辊的磨损；
5. 坯料的横向厚差等。

传统的做法是：根据过去的操作经验来选择与辊缝相匹配的轧辊凸度，在整段轧制时间内保持不变，至重新磨辊为止。如今此法已不再能满足要求，目前可用弯辊系统和温度控制系统来补偿凸度的误差。但采用这些手段，对正在进行的轧制程序往往没有足够的灵活性。

因此，用户提出了可进行无级连续调节轧辊凸度的要求。SMS 公司为了解决此问题，研究了连续可变凸度的 CVC (Continuously Variable Crown) 技术。

二、作 用 原 理

图 1 表示工作辊 CVC 技术的原理。两个工作辊安装在轴承座里，并可利用轴颈作轴向移动，或者轴承座本身与轧辊一起移动。一般说来，两个轧辊以相反方向作轴向移动。

CVC 轧辊整个辊身长度上呈 S 形突起，上下轧辊研磨成同样的形状。但是两者成 180° 角布置，这样上下轧辊的形状可相互吻合，并成为—个对称的辊缝轮廓线。

图 1a 里，把轧辊在整个辊身长度上沿轴向作调整，辊缝具有相同的高度，只是略呈 S 形。在这个位置上轧辊的作用与液压凸度系统相似，其有效凸度等于零。

假如上辊移向右面，下辊移向左面，且移动量相

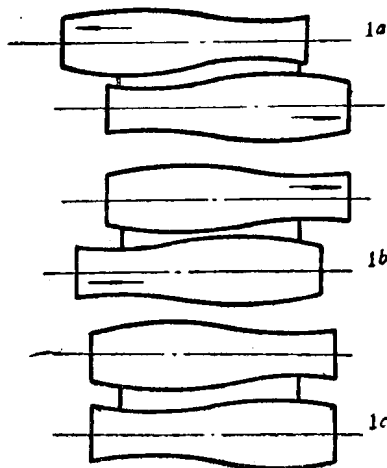


图 1 CVC 轧辊的作用原理

同，则轧件中心两个轧辊轮廓线之间的距离变狭，这时的凸度大于零(图1b)。

如果上辊向左移，下辊向右移(图1c)，且移动量相同，则轧件中心两个轧辊轮廓线之间的距离变大，这时的凸度小于零。

CVC 轧辊的作用与普通具有凸度的轧辊一样。但是，CVC 轧辊的凸度可以通过轧辊的轴向移动在最小和最大值之间作连续无级调节。

CVC 轧辊可在轧制过程中移动，也可预先设定，以满足轧制情况下的凸度要求。

把 CVC 轧辊与工作辊弯辊系统和温度平直度控制系统中的闭路控制电路相结合应用，可以取得最有效的辊缝孔型调整范围。

现以四辊冷轧机为例来说明 CVC 技术：

图 2 表示三种不同轧制压力时的轧机辊缝轮廓线。

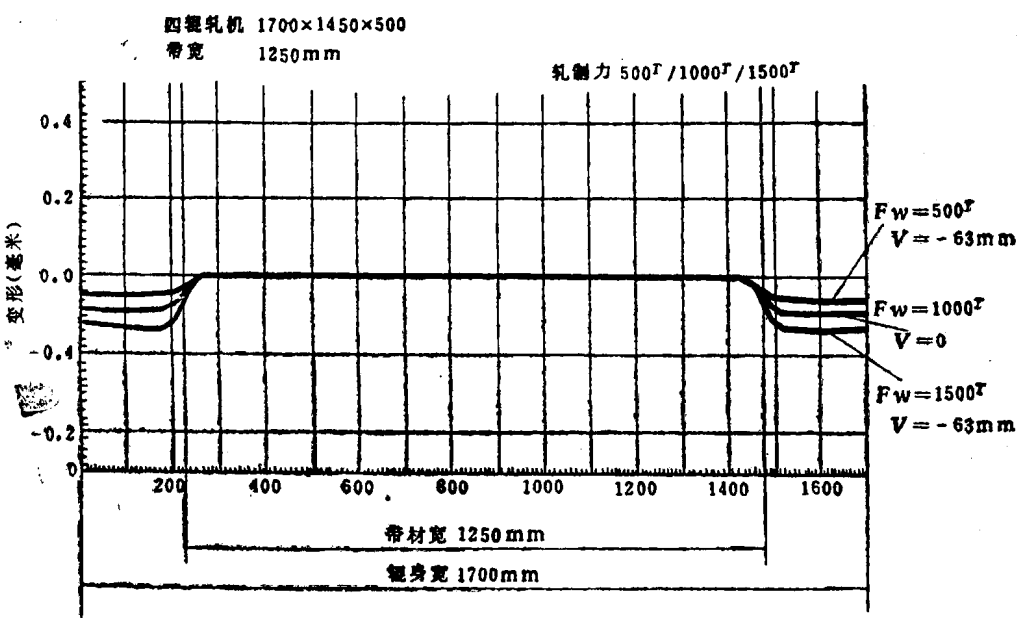


图 2 辊缝轮廓线

图 3 示出 CVC 轧辊的效果。轧辊轴向移动位置按如下数值来确定：

- 轧制压力为 500 吨时 - 63 毫米
- 轧制压力为 1000 吨时 0 毫米
- 轧制压力为 1500 吨时 + 63 毫米

对上述三种不同的轧制压力而言，可获得几乎相同的辊缝。

图 4 以实际轧制操作为例，用直接比较法说明 CVC 轧机的特性曲线。

图 5 表示适合轧制要求的 CVC 轧机某一工作辊直径与辊缝横断面范围。此轧机除了具有 CVC 调节系统外，还需要一个支承辊传动装置和一套工作辊水平辊缝设定系统。

如图 6 所示，水平辊缝设定系统用来使工作辊顺轧制方向移至轧辊中心线以外，工作辊以一定的水平力靠在支承辊上，因而可根据轧制程序实现计算机控制。这种补偿功能除了可使支承辊传动机构的负荷和传动性能达到最佳地步外，还使轧制操作过程变得极为平稳。