

世界 轧钢生产 新技术

SHIJIE
ZHAGANG
SHENGCHAN
XINJISHU



冶金部情报标准研究总所
冶金部科技司轧钢和自动化处

前 言

近年来世界轧钢生产技术与工艺取得了进一步发展，其中有些已取得突破性进展，受到世界钢铁界的广泛重视。纵观世界轧钢技术、设备与工艺的发展，其总的特点是：节约能源、提高成材率、提高质量以及工序连续化，以降低生产成本提高竞争能力。这些新技术新工艺包括无头轧制、切分轧制、直接轧制、热带轧机用带卷箱及中间辊道护热板技术以及围绕提高板形控制而研制的各种新型轧机与计算机控制技术。尤其令人注目的是薄板坯连铸技术已获得工业应用，从而使薄板坯连铸机与热带轧机的精轧机组成连铸连轧机组，取消了常规的加热炉和粗轧机组。在从钢水直接浇注带钢技术方面也取得了进一步突破。

为了使国内有关人士了解世界轧钢生产新技术，特别是针对国内轧钢生产技术革新与设备改造的需要，我们精选了23篇有关美国、日本、苏联等世界轧钢生产新技术的文章汇编成册，以期对我国轧钢生产技术改造和设备更新有所裨益。

本书可供从事轧钢生产、研究及设计工作的工程技术人员参考。

本书由冶金部情报标准研究总所和冶金部科技司轧钢和自动化处合编，编委有李世俊、王璞琪、田异、崔苹、杜华云。

由于水平所限，错误之处在所难免，敬请读者批评指正。

编者

1989年12月

目 录

一、液芯钢锭加热法	1
二、小方坯轧机平辊轧制的发展	5
三、螺纹钢新切分轧制技术	22
四、应用三辊技术轧制特殊钢线材和棒材	35
五、万能轧机用连铸板坯轧大型H形钢梁的新方法	51
六、紧凑式小钢厂的热轧技术	60
七、非对称断面型材在线热矫直工艺和设备	70
八、锅炉管酸洗效率的提高	74
九、现代化轧机的新进展	78
十、新型12辊轧机(KT轧机)	84
十一、新型五辊FFC冷轧机	87
十二、2030轧机带钢轧制精度的提高	105
十三、轧钢生产连续化技术	110
十四、美国CTV钢公司2032mm带钢热轧机的直接轧制	126
——十五、新日铁堺厂的连铸坯直接轧制技术	133
十六、台湾中钢公司1号带钢连续酸洗线	139
十七、生产极薄带材用全连续冷轧机	147
十八、日本水岛厂高速除鳞技术	158
十九、日本水岛厂酸洗冷轧连续化	160
二十、住友金属工业公司现代化电镀锌生产线	162
二十一、冷轧机CVC技术	171
二十二、水壁冷却系统	184
二十三、带钢热轧机粗轧机组和精轧机组间的热能利用	196

一、液芯钢锭加热法

【苏联】SUINOLOBOV 等

冶金工业消耗能量约占整个国民经济的30%。钢铁工业的能耗约有77%用于炼钢炼铁，10%用于钢坯生产，13~14%用于成品生产。在初轧厂，加热炉消耗能量占60%。

降低初轧厂单位能耗主要措施之一是提高钢锭装炉温度。通过快速运输和快速处理以保持热量，能提高钢锭装炉温度。钢锭从熔炼车间运至均热炉采用紧凑的操作制度，可实现钢锭液芯装炉和加热。对此，要特别注意制定合适的加热制度，以确保钢锭质量、节能和提高均热炉产量。

日本已研究出一种液芯锭热装炉和以 $50 \sim 150^{\circ}\text{C}/\text{h}$ 的速度加

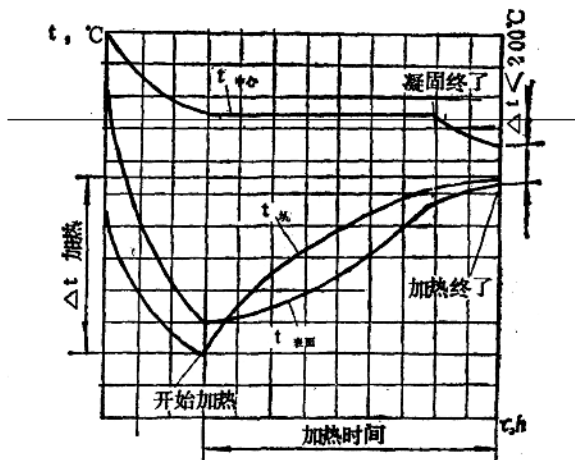


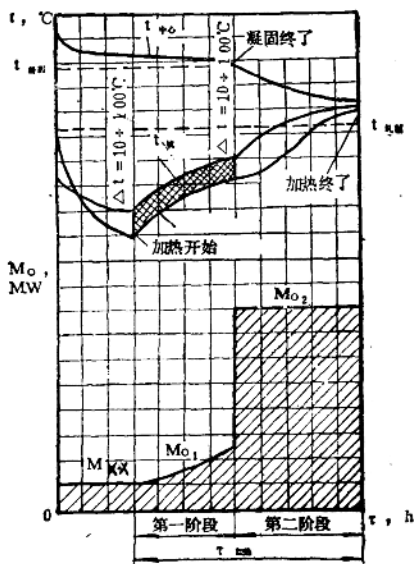
图1 钢锭加热温度曲线 (日本专利No.54-40043)

热钢锭的均热炉操作法（见图1）。当钢锭完全凝固后及表面和芯部最大温差为 200°C 时进行轧制。

可是，此法的应用极有限，在以所推荐的速度加热钢锭期间，含有 $7\sim 10\%$ 液芯的钢锭凝固所需时间显著增加，因为外部热量输入，使钢锭凝固潜热排出条件变差。为保证钢锭完全凝固后送往轧机，需增加在均热炉停留时间，从而使均热炉产量下降。

此外，钢锭凝固时间增加，会导致成品材宏观组织变差和化学成分显著不均，其原因是再结晶过程速度降低会增加热芯的元素偏析程度。试验研究已证实上述结论。

美国一家公司也有一种均热炉加热钢锭法获得专利权。液芯



锭分两阶段加热（见图2）。第一阶段（直至锭芯完全凝固）提供足够燃料，保持均热炉温度比炉中钢锭“冷点”高 $10\sim 100^{\circ}\text{C}$ 。第二阶段燃耗大大增加，以使钢锭表面加热到超过轧制温度。

上述方法的主要缺点是在整个加热期间，热流直接朝向钢锭，严重影响液芯凝固期间潜热排出，导致再结晶过程显著延长，从而损害钢质及

图2 钢锭加热温度曲线（美国专利No.3464422）增加钢锭加热时间。另外，凝固时间也增加，引起钢锭热芯元素偏析加大。

上述方法是,钢锭完全凝固后供最大量燃料,但燃料增加应早些开始,以增加产量和避免对再结晶过程的不利影响。

为缩短加热时间,维持轧件质量,苏联提出了一种与早期方法不同的液芯锭加热法。钢锭在装炉前,以 $250\sim 350^{\circ}\text{C}/\text{h}$ 的速度冷却,直至表面和芯部温差达 $500\sim 600^{\circ}\text{C}$ 。然后,在均热炉中以 $160\sim 220^{\circ}\text{C}/\text{h}$ 的速度将钢锭表面加热到轧制温度(见图3)。按上述规程操作的解释如下:

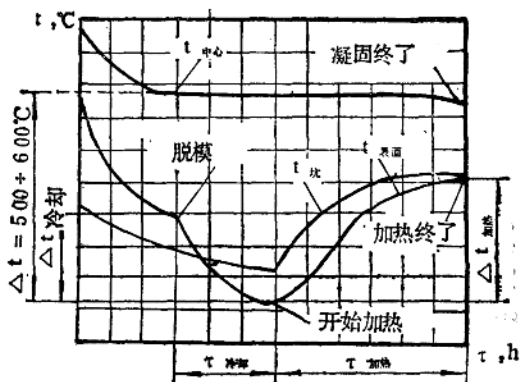


图3 钢锭加热温度曲线(苏联发明者证书No.1049554)

钢锭表面温差不是 $500\sim 600^{\circ}\text{C}$ 时,即使在低的热负荷下加热,也会延迟未凝固锭的再结晶。因此,需要进行表面层预先冷却,以便随后加热时,钢锭芯部的热量能排出。表面和芯部温差小于 500°C 是不够的,因为加热时,钢锭横截面温度迅速变均,减慢芯部热传递,增加凝固时间。温差大于 600°C ,钢中会产生热应力和组织应力,而出现表面缺陷。

装炉前钢锭表面冷却速度应为 $250\sim 350^{\circ}\text{C}/\text{h}$ 。冷却速度小于 $250^{\circ}\text{C}/\text{h}$ 时,在获得所需温差的时间里,内层也出现过冷,钢锭热含量降低,随后加热时能耗增加。冷却速度大于 $350^{\circ}\text{C}/\text{h}$ 时,冷却时间不足,表层未过冷,随后加热时不能确保芯部排出热。因

此，在加热期间锭芯凝固所需时间及加热时间皆增加。

为使钢锭加热时间最短，在钢锭芯部完全凝固和表面达到轧制温度时，应立即停止加热。据此，加热速度应为 $160 \sim 220^{\circ}\text{C}/\text{h}$ 。加热速度小于 $160^{\circ}\text{C}/\text{h}$ 时，表面尚未达到轧制温度，锭芯已完全凝固。加热速度大于 $220^{\circ}\text{C}/\text{h}$ 时，锭芯凝固前，钢锭表面就加热到轧制温度。这两种情况都会增加加热时间。

操作经验表明，上述方法能完全满足要求。可是，在一些厂由于特定的钢锭脱模方法，有时可能妨碍钢锭以需要的速度冷却；铸入封底式模的镇静钢锭不可能进行合适冷却，因为钢锭正好在装炉前脱模。

这导致提出一种与使用锭模种类无关，适合于装炉前钢锭任意冷却条件的均热炉加热法。该法是钢锭在均热炉的前期不加却入燃料，均热炉的温度比钢锭表面平均温度低 $50 \sim 100^{\circ}\text{C}$ ；第二期从钢锭含 $5 \sim 7\%$ 未凝固金属时开始，并输入最大的热负荷（见图4）。

加热初期不输入燃料，以保证均热炉中的钢锭能排出热，因此初期严格限制均热炉温度至关重要。如果钢锭平均温度和均热炉的温差小于 50°C 时，钢锭的热无法排出，因为钢锭表面最低温度（接近钢锭底部）约比平均温度低 50°C ，结果热流朝向钢锭。温差也不宜大于 100°C ，因为均热炉本身和利用热的设备需过冷。炉底也将过冷，这是从炉底去除液态氧化铁皮所不希望的。

钢锭含 $5 \sim 7\%$ 未凝固芯时供应燃料（第二期开始）。如果在小于 5% 未凝固芯时供应燃料，总加热时间长，如果在大于 7% 未凝固芯时供应燃料，凝固时间将大增。在后种情况下，钢锭合金元素偏析程度增大，影响轧材质量。换言之，强化加热 $93 \sim 95\%$ 已凝固的钢锭，保证均热炉产量最高，而且输入的热负荷不会延续再结晶过程。

上述液芯锭加热法已经试验。现在，克里沃罗格厂、第聂伯罗捷尔任斯基厂、科姆纳尔斯克厂及耶纳基耶沃厂等已在应用此

法。年产400万t初轧厂采用此种加热制度，每年可节省20多万卢布。

结语

液芯钢锭加热制度是通过要保证均热炉产量最高，来确定钢锭装炉前的冷却速度和装炉后的加热速度。确定了钢锭表面和芯部的理想温差和未凝固锭装炉前均热炉的最佳状态。指出了能使用最大热负荷的钢锭含液芯量的范围。

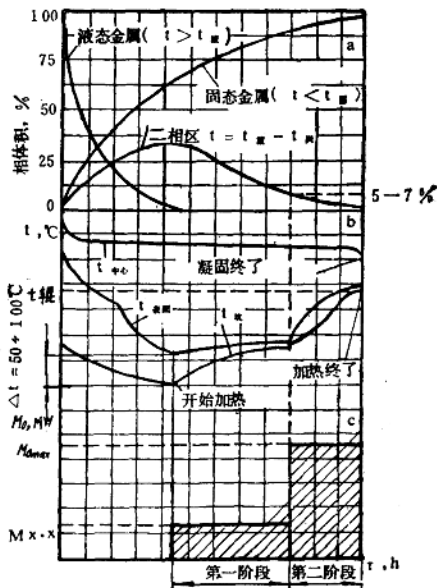


图4 钢锭加热曲线 (苏联发明者证书1186666)

a. 凝固动力曲线; b. 温度曲线; c. 热输入曲线

译自：美刊《Steel in the USSR》1987年11期

崔 萃 译 汪 桢 武 校

二、小方坯轧机平辊轧制的发展

【日本】Tadaaki Yanazawa 等

平辊轧制是轧制棒材的一项新技术，于1981年3月开始在川崎钢铁公司水岛厂的小方坯轧机上实际应用。已证实它对降低轧

制费用、提高轧机效率和节省能耗方面具有明显效果。以往虽然也曾报道过类似的试验，但都不是实际应用。

平辊轧制法，是使用象轧制板材时用的平辊，只少数道次用带槽的辊，将轧件成型成特定的产品形状。

棒材轧制与板材轧制主要不同之处是在压下时产生大的宽展。为此，在传统的棒材轧制中，通常所有道次都采用带槽的轧辊，同时控制轧件宽展和成型。如果使用平辊轧制棒材，轧件因为没有孔型侧壁的限制，易产生平形四边形变形和歪扭，克服该缺点至关重要。

采取下述措施，使平辊轧制技术获得成功：根据模型和实际轧机得到的数据，掌握了平辊轧制的特性；设计合适的孔型系统；安装新型导卫装置。

水岛厂小方坯轧机的布置及将 250mm 的方坯轧成 82mm 方钢和 $\phi 90-100$ mm 圆钢用的传统和平辊轧制的孔型系统示于图1。

通过采取新轧制技术，将 5 个机架 (R1, R2, F1, F2 和 F3) 带槽的轧辊改为平辊。

很大程度上依赖平辊的新轧制法，具有如下优点：

- 更换棒材规格所需更换轧辊和孔型的次数减少，因此提高轧机生产率；
- 由于有效利用辊身长度及减少和均匀轧辊磨损，延长了轧辊寿命；
- 轧辊易修磨，并且由于所需重磨量减少，研磨所需工时数减少；
- 采用平辊轧制 (图2a)，可避免在有槽情况下 (图2b)，因轧辊和导向装置不对中所产生的质量缺陷；
- 因为横向轧制力分布均匀及不稳定变形区较短，故轧件头尾缺陷少，因此能提高成材率；
- 由于限制引起的变形抗力减小，减少功率消耗。

平辊轧制具有很多优点，但是要实际应用需解决下列问题：

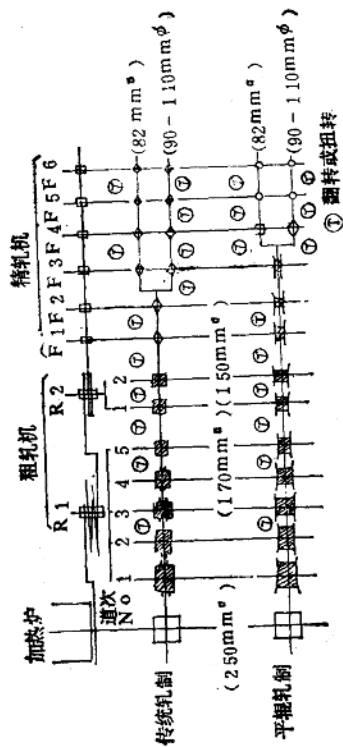


图1 传统轧制和平辊轧制孔型系统比较

- 因为平辊轧制无侧壁支撑，轧件断面易形成平行四边形，如果变形过大，将不能继续进行轧制。
- 由于轧件角部反复遭受平辊轧制，故比较尖锐，可能出现折叠。
- 因为轧机的精轧部分是连续式水平机架，轧件需在机架间扭转，因此，与导卫装置接融可能会出现划伤，使得上述讨论的问题更加严重。

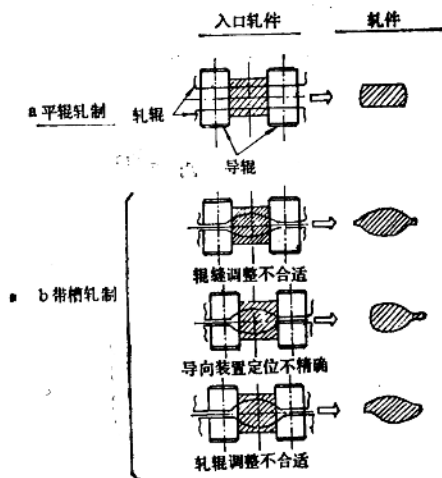


图2 平辊轧制在产品质量方面的优点

(一) 试验研究

为解决平辊轧制可能产生的问题，掌握平辊轧制的各种特性至关重要，即在宽度方向上的宽展、无轧制表面的情况和产生平行四边形的现象。通过塑料、铅模型试验和实际轧机的轧制试验，定量描述了这些特性。

在轧制中，轧件主要几何尺寸见图3（符号含义见专用符号表）。

1. 宽展特点

与钢板轧制不同，棒材轧制采用宽厚比约为1.0的钢坯，因此，能产生大的宽展。为设计孔型，必须有精确预测宽展的公式。

许多研究人员已提出了有槽轧制情况下轧件宽展的预测公式。其中，Shinokura公式预测精确、公式简单、通用性好。该公式能计算出宽展系数 β ， β 是轧前、轧后轧件的及轧辊的几何形状和尺寸的函数。

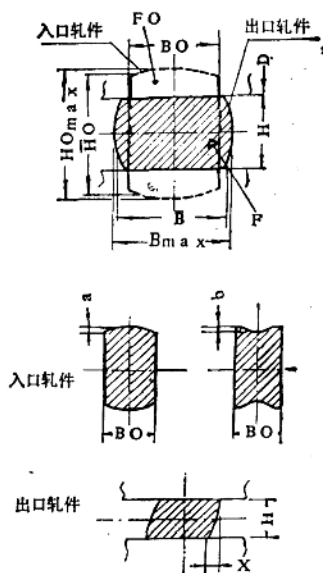


图3 平辊轧制轧件的几何形状

$$\beta = (1 + \alpha) \left(\frac{2 L d}{H_0 + 2 B_0} \right) \left(\frac{H_0 - H}{H_0} \right) \quad (1)$$

式中 α 根据轧制方法确定。

将方程1应用到求蜡泥塑料和铅试样的宽展特性，所得结果示于图4。两种试样出现斜率不同的线性关系，证实了方程1适用于平辊轧制。

在实际轧机上用平辊轧制的宽展特性示于图5。根据这些结果可推导出平均宽展系数 $\bar{\beta}$ 的预测公式（方程(2)）和最大宽展系数 β_{max} 的预测公式（方程(3)）。实际轧制的宽展特性和蜡泥塑料试样的宽展特性很一致。

$$\bar{\beta} = (1 + 0.80) \left(\frac{2\bar{L}d}{\bar{H}_0 + 2B_0} \right) \left(\frac{\bar{H}_0 - H}{\bar{H}_0} \right) \quad (2)$$

$$\beta_{\max} = (1 + 0.95) \left(\frac{2\bar{L}d}{\bar{H}_0 + 2B_0} \right) \left(\frac{\bar{H}_0 - H}{\bar{H}_0} \right) \quad (3)$$

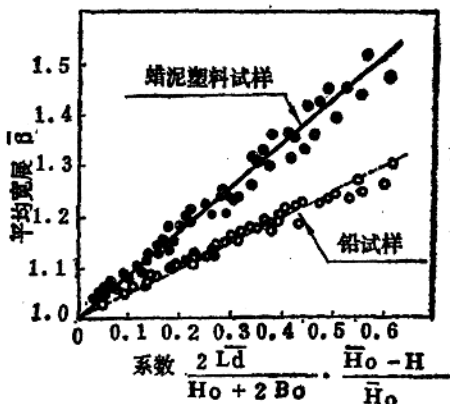


图4 蜡泥塑料和铅试样平辊轧制的宽展特性

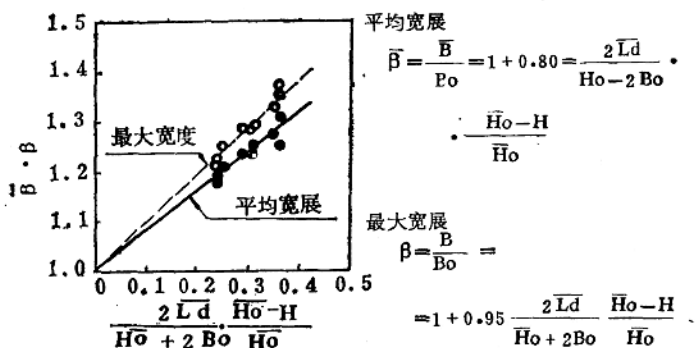


图5 实际轧机采用平辊轧制的宽展特性

2. 自由表面的变形

与钢板轧制不同，在棒材轧制中坯表面在轧制力的约束下轮流被轧。在这种情况下，没有轧制力作用的表面(自由表面)，会对轧制稳定性和产品质量产生大的影响。因此，必须掌握自由表面金属流动特性，以便在孔型系统设计中加以考虑。

自由表面的几何形状呈单鼓形或双鼓形，这取决于轧制条件。通常当压下比、宽度比和厚度比最大时，往往出现单鼓形。Yanagimoto 采用压下比、宽度比和厚度比的乘积来研究自由表面金属流动特性。利用同样方法研究实际轧机数据的结果示于图 6。方程 (4) 给定出界于产生单鼓和双鼓形之间的临界压下比。

$$\frac{\bar{H}_0 - H}{\bar{H}_0} = \frac{0.22}{\left(\frac{B_0}{\bar{H}_0}\right)\left(\frac{D}{\bar{H}_0}\right) - 1.5} \quad (A)$$

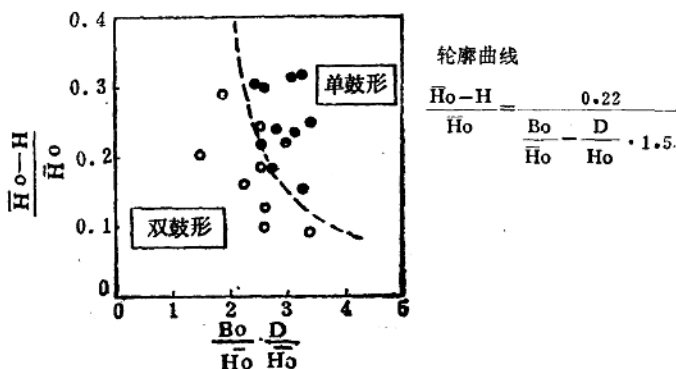


图6 轧制条件对实际轧机轧件变形形状的影响

3. 产生平行四边形现象

产生平行四边形现象涉及许多可变的因素，难于定量描述。

本项研究通过试样的试验，分析了对产生平行四边形现象具有最重要影响的轧制条件的作用。

宽度比 $B_0/\bar{H}_0$ ，单鼓形比 β_a 和双鼓形比 β_b 对平行四边形比 $X/\bar{H}$ 有显著的影响。根据图 7 和图 8 可得出结论：宽度比越大， β_a 或 β_b 越小，则平行四边形比越小。而图 9 表明，压下比 $(\bar{H}_0 - H)/\bar{H}_0$ 和厚度比 $D/\bar{H}_0$ 产生的影响较小。

在生产中，利用导卫和其它装置防止产生平行四边形变形至关重要。更重要的是设计出一种孔型系统，在特定的轧制条件（特别上述特性）下，能得到最小的平行四边形变形。

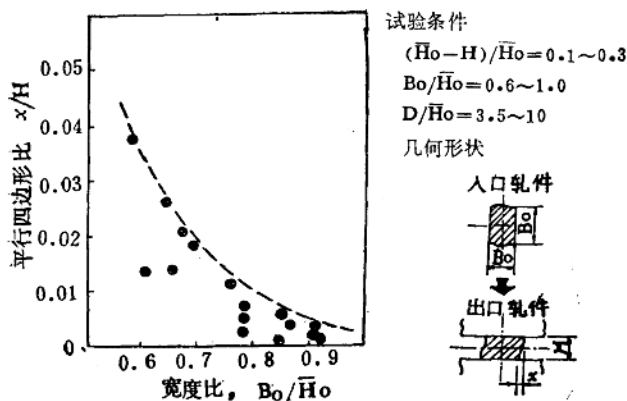
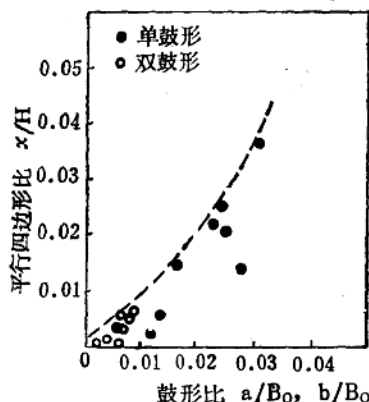


图7 蜡泥塑料试样入口宽度比和轧后平行四边形比之间的关系



试验条件

$$(\bar{H}_0 - H) / \bar{H}_0 = 0.1 \sim 0.3$$

$$B_0 / \bar{H}_0 = 0.6 \sim 1.0$$

$$D / \bar{H}_0 = 3.5 \sim 10$$

几何形状

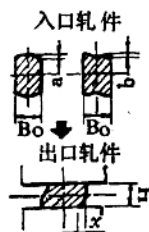


图8 蜡泥塑料试样进口单鼓形比和轧后平行四边形比之间的关系

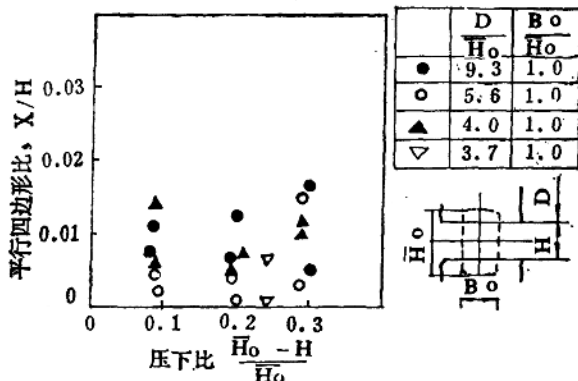


图9 蜡泥塑料试样压下比、厚度比和轧后平行四边形比之间的关系

4. 金属流动

轧制棒材时，在产品质量方面要求表面缺陷减到最少和出现均匀化的脱碳层和沸腾层。为此，用蜡泥塑料试样进行了试验，以比较平辊和带槽辊轧制的金属流动情况。

将60mm方的层状蜡泥塑料试样轧两道成45mm方的轧件，以确定表面层厚度变化分布情况（见图10）。采用平辊轧制的轧件表面层厚度变化分布情况比方一椭圆孔型的均匀，与方一菱形孔型的不相上下。因为一般认为，表面层厚度分布均匀有助于减少表面裂纹，因此，可以认为平辊轧制对产品质量比带槽辊轧制更有利或同等。

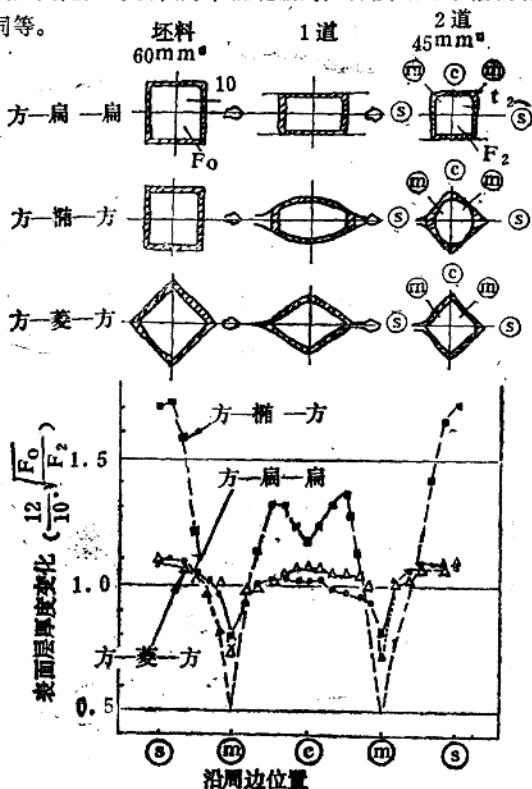


图10 用蜡泥塑料试样比较采用平辊轧制和带槽轧制时轧件表面层厚度变化情况