

薄帶軋制

A. B. 特列齊雅科夫 著

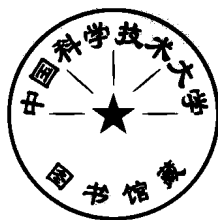
姜春陽 譯

冶金工业出版社

薄帶軋制

A.B. 特列齐雅科夫 著

姜春阳 譯



冶金工业出版社

А.В. Третьяков

ПРОКАТКА ТОНЧАЙШЕЙ ЛЕНТЫ

Металлургиядат (Москва, 1957)

薄 带 轧 制

姜春阳 译

冶金工业出版社出版 (北京市灯市口甲45号)

北京市书刊出版业营业许可证出字第093号

冶金工业出版社印刷厂印 新华书店发行

— * —

1959年11月第一版

1959年11月北京第一次印刷

印数 2,012 册

开本 $850 \times 1168 \cdot 1/32$ • 70,000字 • 印张 $3 \frac{8}{32}$ •

— * —

统一书号 15062 • 1898 定价 0.41 元

簡 介

本書敘述了軋制最薄帶鋼軋機的結構和操作方面的綜合經驗。介紹了多輥軋機各種結構方案的選擇。研究了多輥軋機的結構、軋制工藝流程、压下制度、測量帶鋼厚度的設備、軋輥壽命、冷卻和潤滑制度。

引出了軋制最薄帶鋼時計算金屬對軋輥壓力的簡化公式和為傳動軋機所必需的扭轉力矩的計算方法。

本書供設計人員及冶金和機械制造工廠工程技術人員用。

目 录

引言.....	1
最薄带钢的轧制特点.....	5
多辊轧机的结构.....	15
冷轧一般工艺.....	37
压下制度.....	41
机械性能的变化与压下量大小的关系.....	49
工作轧辊和支持辊.....	54
工艺润滑和冷却.....	59
带钢表面缺陷.....	62
带钢厚度的检查.....	71
金属对轧辊的压力.....	79
传动轧辊的扭转力矩.....	88
冷轧机的生产率.....	97
参考文献.....	100

引 言

鋼的冷軋在軋鋼生產中占有特殊的地位，當必須得到厚度小於3毫米的鋼板和帶鋼時一般採用冷軋。將冷軋與正確地選擇熱處理結合起來，就能夠製造出依金屬用途而決定的具有最好性能的帶鋼。

一般採用二輥（二重式）、四輥（四重式）和六輥軋機來冷軋薄板和帶鋼。近來為了冷軋最薄帶鋼開始採用十二輥和二十輥軋機以及傳動支持輥的四輥軋機和聯合式軋機。首先出現的是二輥軋機，其中一個輥放在另一個輥之上，在兩個水平軋輥之間實現軋制過程。在四輥軋機中，在兩個驅動的工作軋輥之間進行軋制，而該兩個傳動輥放置在空轉的支持輥之間。因此，這種軋機是一種二重式成雙軋機，其中每一個工作軋輥有一個支持輥，當工作輥徑不大時，它的用途是創造足夠堅硬的和堅固的結構。軋制薄板和帶鋼時廣泛地採用這種軋機。

六輥軋機是由兩個工作輥和四個支持輥組成的。這種軋機是四重式軋機的繼續發展。在操作中六輥軋機較四輥軋機不甚方便。因此，它沒得到很大地推廣。

在現有二輥、四輥和六輥軋機上軋制最薄帶鋼是很困難的，有時是不可能的，因為軋輥本身的彈性變形會同帶鋼厚度相抵消。其次在這種軋機上軋輥直徑容許的減小和軋輥彈性模量的增加不能解決軋制薄的和最薄的帶鋼問題，因為軋輥彈性變形還是相當大的。在軋制時所必需的傳動扭轉力矩條件下，工作輥直徑可能的減小受到軋輥輻強度的限制。

此外，現有的二重式和四重式軋機，特別是軋輥直徑小的軋機，沒有那種剛性，而它是軋制具有精確公差的最薄帶鋼時所必

需的。因此，为了轧制薄的和最薄的带钢出现创造新型轧机的必要性，这种轧机的工作轧辊直径很小（50—10毫米），轧辊系统具有很大的刚性。在轧制理论方面，关于在小直径轧辊内金属变形问题差不多还没有研究，仅仅知道在小直径轧辊内轧制金属较在大直径轧辊内轧制具有相当多的优点：由于轧制时咬入弧的长度减小和轧辊弹性压缩作用变小，降低了金属对轧辊的压力；因为变形力只加在轧制金属不大的区域上，改善了金属的变形条件，因此，降低了所要求的轧制力矩和功率。这些理论上的认识在数学关系方面，在达到某种程度定形之前，只是证实了很早以前像大家所知道的在小直径轧辊内轧制的优点，这也就是在苏联和在国外出现十二辊和二十辊轧机之原因。

在1934年出现了第一批多辊轧机。当时比较少地用来轧制箔材。这类轧机类似四重式轧机，工作轧辊是传动的，而支持辊是空转的。近年来开始采用另一种方法传动轧辊，也就是在工作轧辊和主支持辊空转的情况下经过中间支持辊传动。在这种方法传动条件下，工作轧辊辊颈不传动扭转力矩，因此工作轧辊可以具有很小的直径。

多辊轧机主要优点在于：小直径工作轧辊减小了轧制时变形区的长度、变形阻力、压力和能量消耗，而轧机强度（轧辊系统刚性），以及相应地轧制精确度则用支持辊来保证，因为大直径支持辊与金属本身变形条件无直接关系。除此而外，多辊轧机的支持辊是承受弯曲应力的主要部份。

除多辊轧机而外，最近为了轧制最薄带钢，所谓的联合式多辊轧机（其中轧制过程在大直径轧辊和小直径轧辊之间进行），以及带传动支持辊和小直径工作辊的四辊轧机得到了推广。

对高碳钢、不锈钢和矽钢、具有特殊物理性质的合金、供仪表制造业、电气工业和通信工具用的铝和钽以及其它合金方面的

最薄带材的大量的需要，引起了解决一系列结构和工艺问题的必要性。

带钢按其厚度可分为以下几类：

薄带钢.....	从 0.5 到 0.15 毫米
最薄带钢.....	从 0.15 到 0.05 毫米
特薄带钢.....	从 0.05 到 0.002 毫米

轧制上述带钢时会遇到一系列困难。一些在轧制中厚和厚的软钢带时没有意义的因素，在轧制薄的、最薄的、特薄的硬合金带钢时却具有很大的意义。

轧制最薄带钢技术在美国和瑞典获得很大的发展。在美国作为解决轧制最薄带钢基础的是采用小直径工作轧辊的轧机。起初十二辊轧机是做为轧制 100—200 毫米窄带钢之用。随着轧制带钢宽度的增加，金属对轧辊的压力亦相应地增加。由于必需减少压力，便制造了二十辊轧机，因该轧机能够轧制窄的硬合金带。

由于在多辊轧机上轧制难变形的金属有效，便使这种轧机制造者们想起用它来轧制甚至是低碳钢。目前在美国已制造了几十台辊身长从 100 到 2000 毫米的多辊轧机。

在苏联于 1949 年根据机械制造部中央设计局的设计，中央工艺与机械制造科学研究所开始制造多辊轧机。目前苏联工厂内安装了若干台这类轧机并顺利的在使用着。

苏联的工业能够满足机械制造和仪表制造者对各种金属和合金的各种尺寸最薄带材的任何要求。应该指出，苏联的最薄带材多辊冷轧机在轧制速度方面超过了美国的类似的设备，按轧制铝箔的速度超过了安装在欧洲的轧机。

生产最薄带的工艺过程具有一系列特点，这些特点在每种情况下都必须要考虑到。

由于缺少轧制最薄带钢方面的综合资料，作者利用了苏联各

工厂有关多輥軋机使用情况的資料，以及最近試驗工作的結果和在文献內发表的一些資料，試图闡明一系列与生产帶鋼有关的問題。

最薄帶鋼的軋制特点

在軋制最薄的硬合金帶鋼時，變形阻力是很大的。在一般四重式軋機上獲得最薄帶鋼是不可能的。這是由於工作軋輥輥徑及與其有關的金屬對軋輥壓力很大，因而軋輥本身有很大的彎曲和彈性變形之故。

眾所周知，隨著工作輥徑的減小，不論是依靠接觸面積的減小，或是磨擦力的減小，軋制壓力和彈性變形皆會減小。由於對最薄的合金鋼和其它不易變形的合金的帶材的需要增加了，促使設計人員提出各種形式的多輥軋機，其中規定工作輥徑要盡最大可能的減小。

現在來研究一下通常供軋制薄的和最薄帶鋼的多輥軋機示意圖。圖 1 即是十二輥和二十輥軋機示意圖。這類軋機具有二個工作輥，其中每一個由二個中間支持輥支持着。為了提高容許載

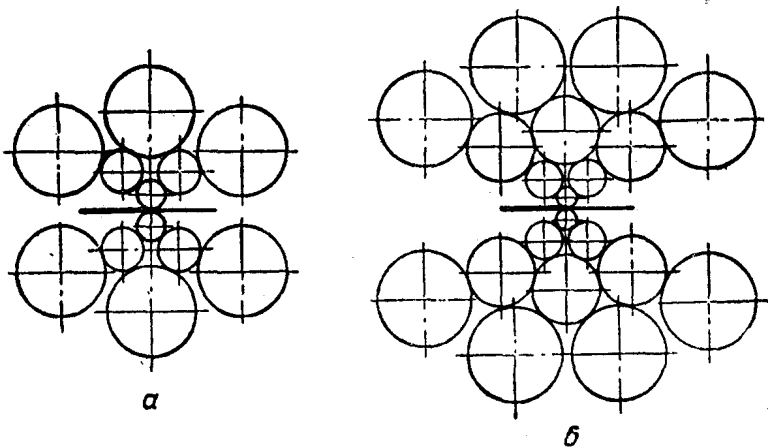


圖 1 多輥軋機示意圖

a—十二輥的；b—二十輥的

荷，后者每对又另外支持在三个大直径的支持輓上。支持輓一般做成带有一組滾子的軸狀，就像是有很多支点的梁。从二十輓軋机示意图看来，这三个支持輓同样地是中間輓，支持在外面的四个支持輓上。經過中間支持輓实现扭轉力矩的传动。

多輓軋机較四輓軋机有以下主要优点：

1. 随着工作輓径的减小，無論是金屬对輓輓的压力，或是作用在軋机所有零件上的磨擦力都减小；

2. 輓輓弹性变形减小，因而每个軋程（即在退火之間）总压下量增加；因此，小工作輓径的軋机对于高变形阻力的材料特别方便，例如不銹鋼和其它高合金鋼；

3. 在多輓軋机上，不論是沿帶鋼寬度方面，或是沿其长度方面，厚度偏差較在四輓軋机上为低，这是因为輓輓系統具有高刚性之故；

4. 帶鋼寬展减少，正因为这样某些材料出現边裂趋势降低；

5. 整个軋机尺寸减小，因而所占的生产面积亦减小。

除所列举的优点而外，还必须指出多輓軋机的某些缺点。

从理論上講小直径工作輓可以采用大的压下量——每道为45—60%。但是实际上这个可能性是不能实现的，由于制造軋机部件和零件精度上的限制，因而在大压下量下要将工作輓輓調整到所要求的精确度便是不可能的。在大压下量的情况下，輓輓很小的傾斜和不均匀的弯曲会引起金屬沿寬度方向变形的不均匀性并造成帶鋼厚度不均。因此，实际上在多輓軋机上每道最大压下量限制为25%。

这就有必須創造一种新的联合式多輓軋机，工作輓輓直径相差悬殊是它的特点(图2)。这种軋机較一般多輓軋机简单而且軋制过程較稳定。軋机示意图上部份有二个輓輓：工作輓輓和支持輓，也就是同一般四輓軋机的一半相类似。下部份是十二輓軋机

示意图之半 (图 2a), 而在某些情况下是二十辊轧机之半 (图 25)。这样不对称的联合式轧机方案的主要优点是在任何压下量情况下轧制制度可以是稳定的。这是由于工作轧辊之一采用了大的直径, 因此在按 OO_1 线的垂直平面上不要求工作轧辊中心线精确的安装, 举例说明如图 3 之示意图。在轧制薄带钢时, 在变形区域部份上大轧辊表面弯曲半径 (R_2) 大大地增加 (由于轧辊弹性压缩时表面弯曲的减小), 但由于有第二个小半径工作轧辊 (R_1), 因而接触长度是非常小的。因此可以认为, 在直径有显著差别的工作轧辊之间的轧制过程达到某种程度之前, 是与借助一个轧辊在平面 ($R_2 = \infty$) 上轧制钢板过程相类似的。大家知道, 考虑到轧辊弹性压缩在内的咬入弧的长度是用下面公式 (1) 确定的:

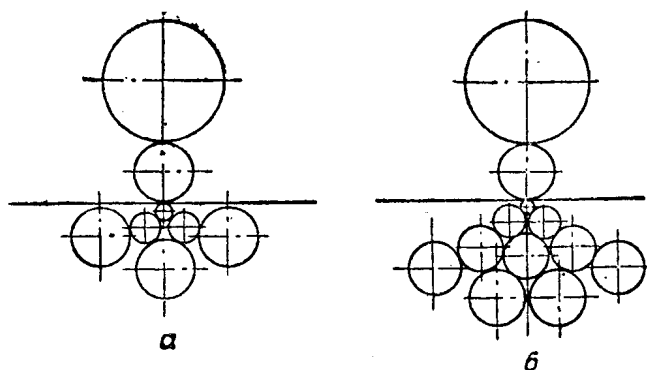


图 2 联合式多辊轧机

$$l_c = \sqrt{R \cdot \Delta h + x_0^2} + x_0. \quad (1)$$

在这个公式中, x_0 代表轧辊压扁值并按下式计算出

$$x_0 = \frac{P_{cp} R}{9500}, \quad (2)$$

式中 P_{cp} ——平均单位压力，公斤/平方毫米；

R ——工作轧辊半径，毫米；

Δh ——绝对压下量，毫米。

从所引用的公式应该认为，轧辊半径越大，则轧辊压扁亦越大。因之，在不对称轧制方案的情况下，大工作轧辊弹性压缩较小轧辊为大。但同时要考虑到大轧辊接触表面同小轧辊应该大约相等，而小轧辊具有不大的弹性压缩，总接触表面不应该很大。

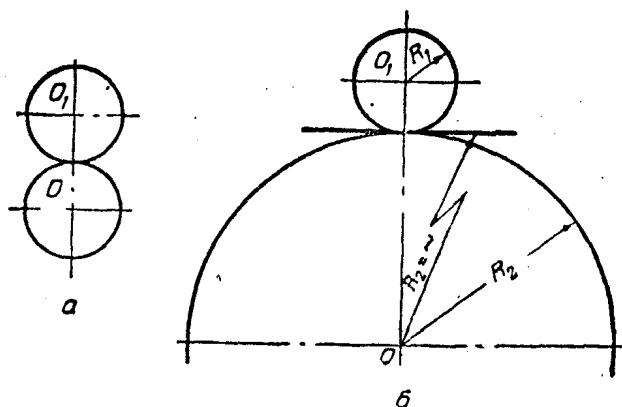


图 3 在联合式轧机中轧辊稳定性很大的工作轧辊配置示意图

应该指出属于不对称轧制方案的优点：由于有小直径的下工作轧辊，在较大压下量情况下有可能得到薄的和最薄的带钢。除此而外，不论是借减少接触面积或是平均单位压力，小直径工作轧辊均能减小金属对轧辊的总压力。确定轧制时金属对轧辊总压力的公式如下：

$$P = F P_{cp}, \quad (3)$$

式中 F ——接触面积平方毫米。

对于简单的轧制情况，在相同直径轧辊之间接触面积

$$F = b \cdot \sqrt{R \cdot \Delta h}, \quad (4)$$

式中 b ——帶鋼寬度，毫米；
 R ——軋輥半徑，毫米；
 Δh ——絕對壓下量，毫米。

如果工作軋輥直徑彼此間有很大的差異，那末接觸面積按以下等式計算

$$F = b \sqrt{\frac{2 \Delta h}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}}}, \quad (5)$$

式中 R_2 和 R_1 ——大的和小的軋輥半徑，毫米。

當 $R_2 \gg R_1$ 和 $R_2 = R$ 時，從比較公式 (4) 和 (5) 看出，在第二種情況下接觸面積對下面關係上較少

$$\frac{2}{\frac{R_2}{R_1} + 1}.$$

但是應該指出，在聯合式不對稱軋機上軋制時，接觸面積和金屬對軋輥壓力較在二個小直徑軋輥的多輥軋機上軋制時為大，這從以下的分析可看出。如上面已指出過的，如果在這種軋機上軋制的情況下，大軋輥的半徑可稍帶假設地取為無限大， $R_2 = \infty$ ，則方程式 (5) 有如下形式

$$F = b \sqrt{2 R_1 \cdot \Delta h} = 1.41 b \sqrt{R_1 \cdot \Delta h}. \quad (6)$$

當 $R = R_1$ 時比較公式 (4) 和 (6) 不难看出，按公式 (6) 計算的接觸面積大約高 41%。因而，當 P_{cp} 相同時，在大的和小的軋輥之間軋制時金屬對軋輥的總壓力較在二個小直徑軋輥之間軋制時高 41%。因為在多輥軋機上軋制時金屬對軋輥的總壓力

較在类似用途的四重式軋机上少很多倍，在联合式軋机上上述的增加的压力对于多輓軋机是无关重要的，因为这个压力較在一般形式的四重式軋机上还是相当的小。

根据工作軋輓直径有显著差别的軋制方案的优点，有理由認為这个方案对于軋制薄的，和在某些情况下軋制最薄的帶鋼是完全可以采用的。按照这个方案从新装备現有的四輓軋机并利用它軋制薄的和最薄的帶鋼是很容易的〔2〕。

除所叙述的方案而外，目前开始制造支持輓传动的小直径工作軋輓的四重式軋机。

早在二十世紀二十年代曾制造过試驗室用的四重式軋机，其中支持輓是传动的，而工作軋輓是借摩擦力而轉动，在必要时可以取出工作軋輓。这样一来，四重式軋机变成二重式軋机，其中支持輓即是工作軋輓。但是到目前为止这类軋机沒有得到特別的推广，而且仅仅現在才发现有設計类似軋机之趋向。

現在不來談由于采用小直径工作軋輓而很明显的軋机优点，而來談談它的缺点。

当改变压下量时，金屬对軋輓的压力与压下量的平方根成正比关系而变化，而传动工作軋輓的扭轉力矩与压下量成正比。由此可以認為，采用这种軋輓传动方法时，只是在平均压下量范圍內可以保證軋机正常的工作。在这种四重式軋机上用很小和很大压下量工作是不可能的，这是因为在任何情况下为了轉动工作軋輓所必需的很大的摩擦力不充分所致。四重式軋輓系統剛性較多輓軋机为小，因此只是在軋制不大寬的帶鋼条件下可以采用它。当軋輓长度大于 $6D$ 时，軋制薄而寬的帶鋼應該在多輓軋机上进行。从传动最大扭轉力矩可能性观点出发，采用支持輓传动的合理性可以按下面公式确定：

$$\frac{P}{D} \geq 0.05 \frac{\sigma}{\mu} D, \quad (7)$$

式中 P ——金屬对軋輥总压力，公斤；

D ——軋輥半径，厘米；

σ ——軋輥頸容許的單位扭轉应力，公斤/平方厘米；

μ ——工作輥和支持輥間的摩擦系数。

为了軋制薄的，最薄的和特薄的，具有一定机械性能的帶鋼，在任何特殊情况下，为了正确的选择軋机某种机构方案，必須首先确定工作軋輥直径和在該軋机方案內的軋輥总数。在选择在其上可得到的所要求的最薄的帶鋼厚度的工作軋輥直径时，一般是根据工作軋輥直径 D 和厚度 h_1 之間的通用关系式。

$$D \leq 2000 h_1. \quad (8)$$

这个关系式是最大的，而且在这个关系式条件下得到最薄帶鋼是很困难的，得采用某些中間退火和多道次軋制。为了选择合理的軋制制度和达到正常的生产率，宜于采用下面关系式

$$D \leq 1000 h_1, \quad (9)$$

在这个关系式条件下，为了軋制 0.1 毫米厚的帶鋼，工作軋輥直径應該不大于 100 毫米；而对于 $h_1 = 0.01$ 毫米，則工作軋輥直径不大于 10 毫米。但是，这两个关系式时常在很寬的範圍內改变着，因为軋輥直径由一系列因素而决定的，并非一个帶鋼厚度因素。为了合理地选择軋輥直径可建議采用下面公式〔3〕

$$D = \frac{0.98 E h_{\text{мин}}}{\mu (k - \sigma_{\text{cp}})}, \quad (10)$$

式中 D ——工作軋輥直径，毫米；

E ——軋輥弹性模数，公斤/平方毫米；

$h_{\text{мин}}$ ——帶鋼最小厚度，毫米；

μ ——軋制时摩擦系数；

$k=1.15\sigma_s$ ——假設的屈服点, 公斤/平方毫米;

$$\sigma_{cp} = \frac{\sigma_0 + \sigma_1}{2},$$

其中 σ_0 ——后张力, 公斤/平方毫米;

σ_1 ——前张力, 公斤/平方毫米。

按公式 (10) 确定工作軋輥直径不仅考虑到带鋼厚度, 而且考虑到金屬机械性能、带鋼张力、軋輥弹性模量和摩擦系数。因为摩擦与軋制速度有关, 所以在这种情况下間接地考虑到軋制速度。

工作軋輥軋身长度依軋制带鋼最大寬度和經驗数值 a 来选择:

$$L = B_{\max} + a, \quad (11)$$

式中 a ——与带鋼寬度有关的各种不同值;

当 $B_{\max} < 200$ 毫米时, $a \approx 50$ 毫米; 而对于最寬带鋼 $a = 100 - 200$ 毫米。知道了軋輥直径和軋身长度, 就可以决定軋机机构方案, 对于这个軋制情况本方案要求按照表 1。

表 1

軋制薄的, 最薄的和特薄带鋼的軋机机构方案

軋机	軋輥軋身长度与軋径之比 l/d *	支持軋径与工作軋径之比	所軋带鋼可能的寬度与其最小厚度之关系 $h_{\max}$, 毫米
二軋	0.5—3	—	500—2500 $h_{\max}$
四軋	2—7	2—6	1500—6000 $h_{\max}$
六軋	2.5—6	2—2.5	2000—5000 $h_{\max}$
联合式	—	2—3	5000—15000 $h_{\max}$
十二軋	8—14	3—4	7000—12000 $h_{\max}$
二十軋	12—30	5—7.5	10000—25000 $h_{\max}$

* 对于小直径軋輥采用最小 l/d 值。