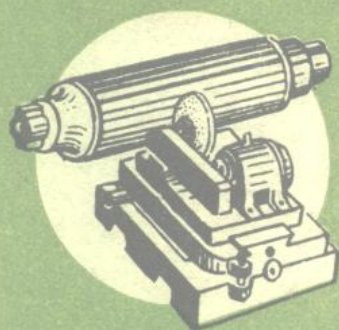


Л.И. 苏雅洛夫 著
黄先伦 曾 焱 译

钢板轧辊的 辊型设计和磨削



冶金工业出版社

鋼板軋輥的 輥型設計和磨削

Д. И. 苏雅洛夫 著
黃先倫 曾 焱 譯

冶金工業出版社

22466/08

Д. И. Суаров
ПРОФИЛИРОВКА И ШЛИФОВКА
ЛИСТОПРОКАТНЫХ ВАЛКОВ

鋼板軋軋的軋型設計和磨削

黃先倫 曾 焱 譯

— * —

冶金工业出版社出版 (北京市灯市口甲45号)

北京市書刊出版營業許可證出字第093号

冶金工业出版社印刷厂印 新华書店发行

— * —

1959年9月第一版

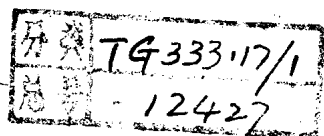
1959年9月京北第一次印刷

印數2,512册

開本 787×1092 • 1/32 • 42,000字 • 印張 6 $\frac{6}{32}$

— * —

統一書号 15062 • 1837 定价 0.27元



本書研究鋼板軋輥型的計算方法，描述軋輥磨床的結構和成型裝置的傳動系統。詳盡地闡述軋輥加工工藝與其形狀的檢驗方法以及軋輥管理的基本規程。

本書適用於軋板車間的工程技術人員，也可用作培訓軋輥磨床工人的教學參考資料。

目 录

第一章 鋼板軋輥型的計算.....	1
軋輥的弯曲.....	1
軋輥的热膨胀.....	6
軋輥的压扁.....	10
軋輥的磨損.....	11
板材横截面的形状.....	15
第二章 軋輥型在軋輥磨床上磨制.....	17
軋輥磨床成型裝置的传动系統.....	17
軋輥形状的檢驗.....	23
第三章 軋輥磨床的結構, 砂輪的选择及軋輥加工工艺.....	34
軋輥磨床的結構.....	34
砂輪及其固定和平衡.....	40
軋輥在磨床上位置的調准和成型裝置的調整.....	45
軋輥的磨削规范.....	53
第四章 軋輥的管理.....	60
軋輥的配套.....	60
軋輥寿命的統計.....	62
参考文献.....	66

第一章 鋼板軋輥輥型的計算

鋼板軋輥应具有能保證在軋制过程中它們之間的間隙一樣，因而也就是应具有能保證沿所軋板材整個寬度上的厚度相同的形狀。

軋輥滿足上述要求的形狀系按照輥型計算得到的。進行計算要考慮到軋輥因軋材作用力而發生的彈性變形和熱膨脹時輥型變化的各種理論公式。同時，軋輥的磨損以及在某些場合下根據工藝觀點所需的板材的微扁圓形橫截面也要予以注意。

軋輥的彎曲

軋輥在軋制力作用下彎曲，並在與軋材接觸的區域內被壓扁（圖1）。當單位壓力沿變形區均勻分布時輥身的壓扁以及輥頸的彎曲對軋材橫截面的形狀都不發生影響。所以在計算輥型時只考慮輥身的彎曲。

奈克〔1〕所作的計算表明，輥身的彎曲度可按下列近似公式確定：

$$y = Q \frac{1}{6\pi ED^4} [32L^2(2L+3l) - 8b^2(4L-b) + 15D^2(2L-b)] [1 - (\frac{x}{L})^2], \quad (1)$$

式中 Q ——軋制力（公斤）；
 E ——彈性模數（公斤/公厘²）；
 D ——輥身直徑（公厘）；

L ——輓身长度之半（公厘）；

l ——輓身边緣至軸承中反作用力着力点的距离（公厘）；

$2b$ ——軋制板的宽度（公厘）；

$\frac{x}{L}$ ——軋輓輓身部分的相对长度（輓身全长以 $2L$ 表示），此相对长度是根据弯曲的对称性从位于軋輓中部的坐标原点算起。

按公式 1 弯曲度不仅决定于弯曲力矩的作用，并且还决定于其影响由項 $15D^2 (2L-b)$ 計的各横向力的作用。对直径大、长度不大的軋輓，横向力作用引起的弯曲度达总弯曲度的 25~30%，而对长而直径不大的軋輓，此弯曲度則降至总弯曲度的 10~15%。

根据公式 1，輓身在其边部的弯曲度（当 $\frac{x}{L} = 1$ 时）

等于零，而在軋輓輓身长度的中部达到最大值（当 $\frac{x}{L} = 0$ 时）。从同一公式可見，其右端由两个相互无关的因子組成：第一个表示軋制力，第二个表示軋輓尺寸、軋材宽度和軋輓材料的机械性能。由于該軋輓的尺寸及其机械性能是恒定的，而板材的宽度可能各異，所以第一个因子可表示为軋材宽度的函数。

$$f(b) = \frac{1}{6\pi ED^4} [32L^2 (2L+3l) - 8b^2 (4L-b) + 15D^2 (2L-b)] \quad (2)$$

于是公式 1 可写成更简单的形式

$$y = 0f(b) [1 - (\frac{x}{L})^2] \quad (3)$$

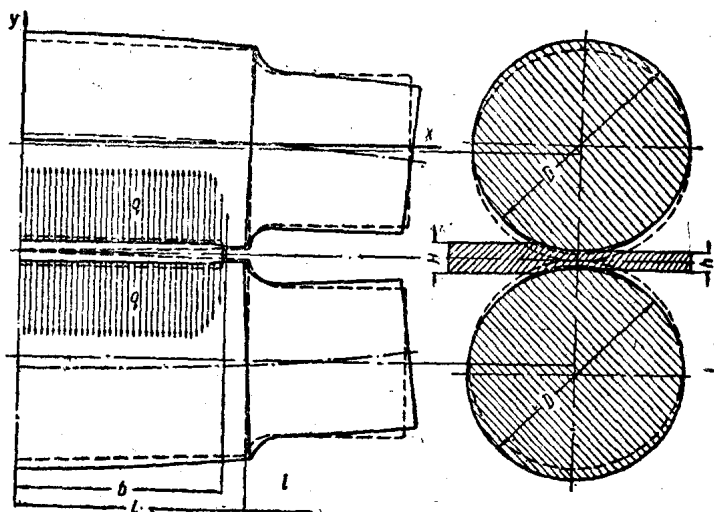


图1 鋼板軋輥的弯曲和压扁 (所示的軋制板厚度和軋輥弯曲度有所夸大)

为了說明二輥式軋机上軋輥弯曲計算的程序和結果，我們以直径 508 公厘的鋼軋輥 ($E=20600$ 公斤/公厘²) 軋制鋁合金板为例来进行研究^①。軋輥軋身长度 $2L=1220$ 公厘；軋身边緣至軸承中反作用力着力点的距离 $l=152$ 公厘。所采用的板材寬度等于軋輥軋身长度 ($2b=1220$ 公厘)，而容許載荷为 585 吨。

按公式 2 得

$$f(b) = [32 \times 610^2 (2 \times 610 + 3 \times 152) - 8 \times 610^2 (4 \times 610 - 610) + 15 \times 508^2 (2 \times 610 - 610)] \\ \frac{1}{6 \times 3.14 \times 20600 \times 508^3} = 0.658 \times 10^{-8}.$$

① 計算数据系借用奈克的著作 [1]。

按公式 3

$$y = 5.85 \times 10^5 \times 0.658 \times 10^{-6} \left[1 - \left(\frac{x}{610} \right)^2 \right],$$

进行的軋輥弯曲計算的結果示于表 1:

表 1

当 $Q = 585$ 吨和 $2b = 1200$ 公厘时 $D = 503$ 公厘的軋輥軋身的弯曲

軋輥軋身长度 x (公厘)	相对长度 $\frac{x}{L}$	弯曲度 y (公厘/100)
0	0.000	38.4
76	0.125	37.8
152	0.250	36.0
228	0.375	33.0
305	0.500	28.6
381	0.625	23.4
458	0.750	16.8
534	0.875	8.6
610	1.000	0.0

依照上述的計算，軋輥經加工后应在軋身中部具有 0.38 公厘的凸度。在这种情况下軋制板材时，当所有通过道次中的力始終一样（585 吨），而板寬等于軋身长度时，将无横向的厚度不均現象发生，因为軋輥的弯曲为其凸度所补偿。

讓我們来計算一下，当以理論上可能的最大寬度（1220 公厘）的板材軋制用的具有凸度 0.38 公厘的軋輥来軋制寬度較小的板材时，其厚度不均度将等于多少呢。

假設，板寬 $2b = 916$ 公厘，軋制力 $Q = 495$ 吨。按公式 2 可得

$$f(b) = [32 \times 610^2 (2 \times 610 + 3 \times 152) - 8 \times 458^2 (4 \times 610 - 458) + 15 \times 508^2 (2 \times 610 - 458)]$$

$$\frac{1}{6 \times 3.14 \times 20600 \times 508^4} = 0.764 \times 10^{-6}.$$

因而，軋輥的彎曲度等於

$$y = 4.95 \times 10^5 \times 0.764 \times 10^{-6} \left[- \left(\frac{x}{610} \right)^2 \right]$$

同樣地可求得軋制另一寬度如 610 公厘的板材時軋輥的彎曲度。表 2 所示，系軋制寬 1220、916 和 610 公厘的板材時軋輥的彎曲度。

根據表 2 所示的數據，可確定寬度小於輥型計算所規定的寬度（1220 公厘）的板材的橫向厚度不均度。

軋輥軋身長度的中部的凸度與其軋制寬 916 公厘的板材時的實際彎曲度之間的差為 $0.384 - 0.378 = 0.006$ 公厘，而在板邊（當 $\frac{x}{L} = 0.750$ 時）為 $0.168 - 0.165 = 0.003$ 公厘。因而，所得的寬 916 公厘的板材，其中部較邊部厚 $2(0.006 - 0.003) = 0.006$ 公厘。當軋制寬 610 公厘的板材時，橫向厚度不均度根據表 2 的數據將是 0.012 公厘。

表 2

軋制各種不同寬度的板材時軋輥軋身的彎曲

軋輥軋身 部分長度 x (公厘)	相對長度 $\frac{x}{L}$	彎曲度 (公厘/100)		
		當 $2b = 1220$ 公厘 $Q = 585$ 噸	當 $2b = 916$ 公厘 $Q = 495$ 噸	當 $b = 610$ 公厘 $Q = 420$ 噸
0	0.000	38.4	37.8	36.8
76	0.125	37.8	37.2	36.2
152	0.250	36.0	35.4	34.6
228	0.375	33.0	32.4	31.6
305	0.500	28.6	28.4	27.6
381	0.625	23.4	23.1	22.7
458	0.750	16.8	16.5	16.2
534	0.875	8.6	9.2	9.0
610	1.000	0.0	0.0	0.0

注：粗綫以上的數字屬於與軋制板材接觸的軋輥軋身部分。

这样，当輥型是按軋制最大寬度的板材計算的輥中，就可軋制寬度較小而无大的橫向厚度不均度的板材。为此只要求軋制力等于补偿輥輥在其等于軋制板材寬度的部分上的凸度所需的力。

在本例中所忽略的这些力的計算，可按專門的文献[1,2]中引述的各公式进行。

对四輥式軋机說来，輥輥的輥型是按支撐輥的弯曲計算的，而忽略工作輥的存在，因工作輥仅传递金屬压力，并不产生重大的弯曲抗力。

支撐輥的弯曲計算通常按公式3进行。此时要考虑載荷沿支撐輥长度上的分布的特殊性質。关于这个問題存在两种观点。

根据第一种观点，工作輥是将軋制压力均匀地传给支撐輥的整个表面，而与軋制板材寬度无关。所以在按公式3計算支撐輥的弯曲时，应以工作輥輥身的长度代替板材的寬度。

按照第二种观点，支撐輥仅在軋制板材寬度上承受工作輥传给軋制压力，因而板材寬度在計算弯曲时应加以考虑。

計算結果在这种情况下与按П.И.格魯杰夫方法[3]所得的数据近似。他提出把工作輥看作安装在弹性基座上的梁，这种提法最符合于輥輥在四輥式軋机机架中的实际載荷条件。

根据計算結果，或使两工作輥具有凸度或使其中之一具有总的凸度。支撐輥一般磨削成圓柱形。

輥輥的热膨胀

軋制时輥輥发热，結果其尺寸增大。

如果輥輥直径的增大在整个长度上是一样的，这就不会

影响軋身的形状。但是在軋制时軋軋的軋身获得較其軋頸大得多的热量。所以在大多数情况下軋軋軋身中部的溫度較其边部为高，因而軋軋軋身中部的热膨胀較其端部的热膨胀大。这种情况在計算軋軋軋型时必须予以考虑。

在計算軋軋的热膨胀时作出以下的假設：a) 溫度按拋物綫的規律沿軋軋表面上变化；b) 軋軋在中心和表面上具有相当于該截面同样的溫度。

应当指出，关于溫度在軋軋橫截面中均匀分布的假設远不是經常符合于实际的。例如，在（白鉄皮和屋面鉄迭軋用）二軋式軋机的軋軋中溫度分布的研究〔4〕表明，在軋軋中部的截面中所测定的表面与中心間的溫度差为35~40°C，在个别情况下竟达100°。对于軋軋軋身边部的截面，溫度差在15~30°C范围内变动，而軋軋表面上的溫度亦較其中心的溫度为高。上述情况会阻碍軋軋的热膨胀。

在A.П. 捷克瑪列夫领导下进行的四軋式軋机工作軋的研究〔5〕表明，軋軋的热凸度可按其表面的溫度計算，但要引入顧及到中部阻碍影响的修正系数（0.9）。

对于其它类型軋軋和軋制条件的修正系数还不知道，所以在計算軋軋的軋型时不得不采用材料的溫度膨胀系数，不加任何修正，从而使热膨胀值稍有夸大。

考虑到所作的关于溫度在軋軋的軋身中的分布特性的假設，其热膨胀可用下列公式〔1〕表示：

$$y = \alpha R \Delta t \left[\left(\frac{x}{L} \right)^2 - 1 \right], \quad (4)$$

式中 $\alpha R \Delta t$ ——軋軋在軋身中部的热膨胀；

$\frac{x}{L}$ ——自坐标原点算起并位于軋輥中部的軋輥軋身部分的相对长度。

由公式 4 可見，軋輥的热膨胀和弯曲度一样是以拋物綫方程式表示的。但是公式 4 中的因子 $\left(\frac{x}{L}\right)^2 - 1$ 决定負值 y 。因此用来补偿弯曲的軋輥凸度必須減以热膨胀值。

由于决定軋輥加热和冷却的因素很多，軋輥中部和边部間的溫度落差 Δt 的計算是困难的和不准确的，虽然它具有显著的理論价值（8）。所以落差是根据实践数据确定。在迭軋軋机上溫度落差为 $80 \sim 100^\circ\text{C}$ ①，而在冷却軋輥的二輥式和三輥式軋机上則为 $25 \sim 30^\circ\text{C}$ ；在連續式热轧軋机上軋輥軋身中部和边部的溫度差約为 30°C ，在連續式冷轧軋机上則为 20°C 。支撑輥，正如 M.M. 沙弗因的研究〔6〕所表明的一样，在其軋身全长上具有近似于同样的溫度，因而它的形状在受热时不发生变化。

我們利用上述的計算补偿軋輥因軋制力而发生的弯曲所需的凸度一例中的数据，来确定軋輥的热膨胀。当溫度膨胀系数（对于鋼） $\alpha = 11.9 \times 10^{-6} \text{ } 1/^\circ\text{C}$ 和軋輥中部与边部間的溫度差 $\Delta t = 25^\circ\text{C}$ 时可得：

$$y = 11.9 \times 10^{-6} \times 254 \times 25 \left[\left(\frac{x}{610} \right)^2 - 1 \right]。$$

軋輥軋身在其各不同截面內（每边）的热膨胀計算結果归納于表 3 中。

① 在某些工厂中二輥式軋机机架的軋輥軋頸冷却至 $100 \sim 150^\circ\text{C}$ 。溫度差此时达 120°C 或更多些，因而軋輥的凹度值作成較一般的大得多。

表 3

当 $\Delta t = 25^{\circ}\text{C}$ 时 $D = 503$ 公厘的軋輥軋身的热膨胀

軋輥軋身部分长度 (公厘)	相对长度 $\frac{x}{L}$	热膨胀值 y (公厘/100)
0	0.000	7.3
76	0.125	7.2
152	0.250	6.8
228	0.375	5.3
305	0.500	5.5
381	0.625	4.5
456	0.750	3.2
534	0.875	1.7
610	1.000	0.0

根据表 3，因軋輥热膨胀而产生的凸度为 0.073 公厘，所以补偿軋輥弯曲所需的凸度需减以 0.07 公厘左右。

直径较大且工作时軋身长度上温度差大的軋輥，可能具有比补偿弯曲的凸度更大的热膨胀。由于这样軋輥应具有的 不是凸形，而是凹形。

讓我們来研究下例。热送軋白鉄皮用的生鉄軋輥 ($\alpha = 12.8 \times 10^{-6} \text{ } 1/^{\circ}\text{C}$) 的直径等于 700 公厘；軋輥軋身边部与中部间的温度差为 85°C ；軋制力 950 吨； $E = 17000$ 公斤/公厘²； $2L = 680$ 公厘； $2b = 545$ 公厘； $l = 125$ 公厘。

按公式 4 进行軋輥軋身中部热膨胀的计算，可得

$$y = 12.8 \times 10^{-6} \times 350 \times 85 \times 1 = 0.39 \text{ 公厘。}$$

而按公式 1 軋輥的弯曲等于

$$y = 950000 [32 \times 340^2 (2 \times 340 - 3 \times 125) - 8 \times 273^2 \times (4 \times 340 - 273) + 15 \times 700^2 (2 \times 340 - 273)]$$

$$\times \frac{1}{6 \times 3.14 \times 17000 \times 700^4} = 0.04 \text{ 公厘。}$$

可見軋輥的弯曲并不大。所以必須使軋輥成凹形，其凹度值應等於 $0.39 - 0.04 = 0.35$ 公厘。

由于沿軋身长度上的实际溫度差不能准确地得知，而公式 4 又基于一些假設，所以热凸度的計算是近似的。但是，計算誤差可在軋机工作时用改变軋輥溫度的方法来修正，軋輥的溫度由送往其上的冷却液量調节。如軋輥无液体冷却时，則为了实现軋輥輥型的溫度調整，可向軋輥送空气、蒸汽，或者安装煤气噴灯〔8〕。

軋輥的压扁

軋板机各軋輥压扁的計算都是以赫芝的理論为依据的，其理論中假設各軋輥正如工作輥与支撐輥之間一样是直接接触的。

根据赫芝的理論〔7〕，由于軋輥弹性压扁的結果材料在其中的压入深度等于：

$$s = \frac{8q}{\pi E} \sqrt{R(H-h)} ; \quad (5)$$

式中 q ——单位軋制压力 (公斤/公厘²)；

R ——軋輥半径 (公厘)；

$(H-h)$ ——在所研究的通过道次中材料的压下量 (公厘)。

根据公式 5，压下量、軋輥半径和单位軋制压力愈大，材料压入軋輥的深度也就愈大。由于在板材边部上的单位軋制压力較其余部分上的为小，所以軋輥在相应处的压扁值亦

較小，以致出現板材邊緣變薄的現象（圖 1）。

我們來求一下軋制鋁合金板材時鋼軋輥 $D=508$ 公厘的壓扁值。

設某一通過道次中寬 610 公厘的板材的壓下量在軋制力 420 噸時為 0.5 公厘。在此情況下單位軋制壓力將為 61 公斤/公厘²；在板材的邊部它約降低 $3/5$ ，即等於 24.3 公斤/公厘²。

按公式 5，在板材邊部軋輥的壓扁值將為

$$s = \frac{8 \times 24.3}{3.14 \times 20600} \sqrt{254 \times 0.5} = 0.034 \text{ 公厘。}$$

在板材其餘部分上的壓扁值為

$$S = \frac{8 \times 61.0}{3.14 \times 20600} \sqrt{254 \times 0.5} = 0.086 \text{ 公厘。}$$

由於在板材邊部與其中部處的軋輥壓扁值各異，造成板材邊部變薄，其值等於：

$$(0.086 - 0.034)2 = 0.104 \approx 0.1 \text{ 公厘。}$$

按 И.М. 巴甫洛夫和 Я.С. 卡乃依的數據〔7〕，邊部變薄在板材寬度方向上擴展的距離，主要與軋輥直徑有關。這已為作者在實驗室用和工業生產用軋機上軋制板材時所得的數據所証實，茲引述于下：

軋輥直徑（公厘）.....	100	270	450	700
變薄邊部的寬度（公厘）...	3~5	10~15	20~25	40~50

當對板材尺寸的準確度提出高的要求時，要進行切邊，這在確定原始毛坯尺寸時應該考慮。

軋輥的磨損

圖 2 所示系二輥式機架軋輥在軋制同一寬度（545 公厘）

的白鉄皮迭板后的磨損。

正如图 2 所示，由于磨損的結果，在軋輥表面上形成了「沟道」，其寬度大約相当于被軋迭板的寬度。軋輥的原始凹度在各地，除「沟道」的边部外，仍旧如前一样。所述的磨損性質証明，軋輥表面的磨損，是与单位軋制压力沿軋件寬度的分布成比例地发生的。如果軋輥的輥型是正确的，即能保証压力沿軋件整个寬度均匀分布，則軋輥的磨損，除相应于軋件边部的部分外，将均匀的发生。

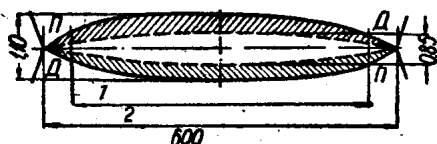


图 2 热轧白鉄皮时軋輥磨損的性質
 A—軋輥的底端部分；B—軋輥的冒口端部分
 ①迭板寬度；②軋輥軋身工作部分的长度

在新軋輥中軋制时，仅与其弹性压扁有关的板材边部的減薄会因軋輥表面的磨損而逐增。板材边部便开始起波紋，以致軋制过程变得难于进行。

为了增长換輥之間軋輥的使用期及提高板材尺寸的精确度，在国外生产中常按軋輥的磨損来减小迭板的寬度。因此在标准中板材的寬度規定有 2~3 种尺寸，相互間約差 50 公厘左右。

图 3 所示系（两个工厂中）在連續式热轧机最后机架中軋輥的磨損。根据图 3，軋輥的磨損正如在迭軋时一样，是按照单位压力沿軋件寬度均匀分布发生的。在第二个工厂中軋制时，軋輥在「沟道」边部非一般的增大磨損，可能是由于为了使边部減薄最小而軋件边部受垂直輥（立軋輥）压軋甚重所致。