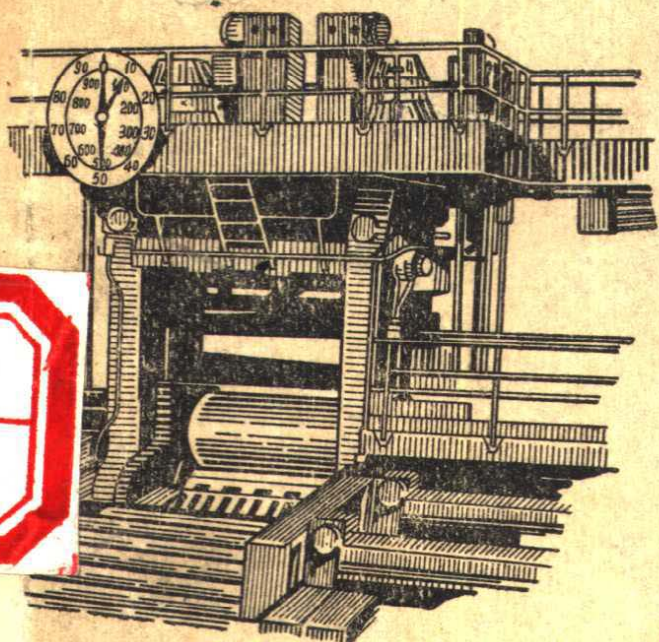


轧钢文集

第四辑



33-5

冶金工业出版社

孔明文集

· · ·



軋鋼文集

第 4 輯

冶金工业出版社

2369/64

軋鋼文集 第4輯

冶金工业出版社出版（地址：北京市灯市口甲45号）

北京市書刊出版业营业許可証出字第093号

西四印刷厂印 新华書店发行

—— * ——
1959年12月第一版

1959年12月北京第一次印刷

印数 3,012册

开本 850×1168 • 1/32 • 90,000字 • 印张4¹/₃₂ • 插頁8

—— * ——
統一書号 15062 • 1914 定价 ^{0.63}~~0.55~~ 元

IG 33-5/2(4)
12422

“軋鋼文集”第4輯包括四篇关于軋制理論和軋机及軋制力計算，三篇叙述寬腿工字鋼梁的生产工艺及介紹这种軋机的一种布置方式，和一篇关于美国 1958 年的軋鋼生产情况等十篇文章，可供我国軋鋼工作人員参考。

目 录

行星軋机的工作和計算原理.....	1
軋制时变形速度对单位压力分布的影响.....	15
有寬展軋制时的中性角和前滑.....	24
軋制寬腿鋼梁时作用于軋輥上的力.....	49
寬腿工字鋼的生产工艺.....	59
英国寬腿工字鋼軋机.....	70
提高橫列式大型軋鋼机的生产率.....	78
大型軋鋼机上圓鋼材产生皺紋的原因.....	88
捷尔任斯基工厂的管坯軋机.....	100
美国 1958 年軋鋼生产的情况	112

行星軋机的工作和計算原理

技術科学副博士 A. A. 柯洛列夫

行星軋机是一种新型軋机，其构造原理如下：

上、下行星輥两端支在軸承上，軸承安在側面的两个环形座圈内。行星輥环繞两个传动支承輥同步旋轉。因此，由外形看来，支承輥系統頗似沒有外圈的滾柱軸承系統；其中，支承輥相当于軸承內圈、行星輥相当于滾柱，軸承的滾柱两端設在夹圈内，內圈旋轉时，由于其摩擦作用，滾柱即环繞本身軸綫旋轉，此外，尙与夹圈一起繞內圈旋轉，行星輥的运动情况与此相同。

支承輥与行星輥一同設在普通的工作机架中；軸承座的位置可用压下和平衡装置沿高度調整，像在二輥式或四輥式机架中进行一样。为了保証上、下行星輥同步旋轉，其側面座圈設有嚙合着的齿圈。这样、每隔一定時間，就有一对行星輥（上面一个、下面一个）通过由两支承輥中心綫构成的垂直面。

在加热爐与行星工作机架之間，沒有送料輥，承受由爐中一块紧接一块出来的热板坯，將它們稍許压縮，以一定（不大）的速度把金屬送（推）到行星輥运动軌道間的开度中去。在行星机架中軋过以后，帶鋼通过平整机架，然后卷成板卷（图 1）。

行星軋机的主要特征在于：直径不大的每一工作（行星）輥只順着咬入弧使金屬的薄层变形（輥压）；但因单位時間內有許多对行星輥（如 50—100 对/秒）通过变形区，故金屬在穿过工作机架一道次时总的变形量仍然很大，压縮率达 90—95%，延伸率达 10—20；若想用普通軋机达到这种变形程度，便需要軋制 10—15 道次。

行星軋机本身由其运动学特点决定的工作特征以及金屬用此軋机軋制时之变形理論，我国的書刊內尙未加探討。然而有些工厂

和科学研究单位的設計师們已对这种軋机做了一些較小的試驗模型，目前正在制造更大的軋机，这些軋机应该經過实验与工业試軋。因此，闡述这一范围内的某些理論問題，可能引起設計师們的兴趣，而将来，操作人員也可能对这些問題感到兴趣。

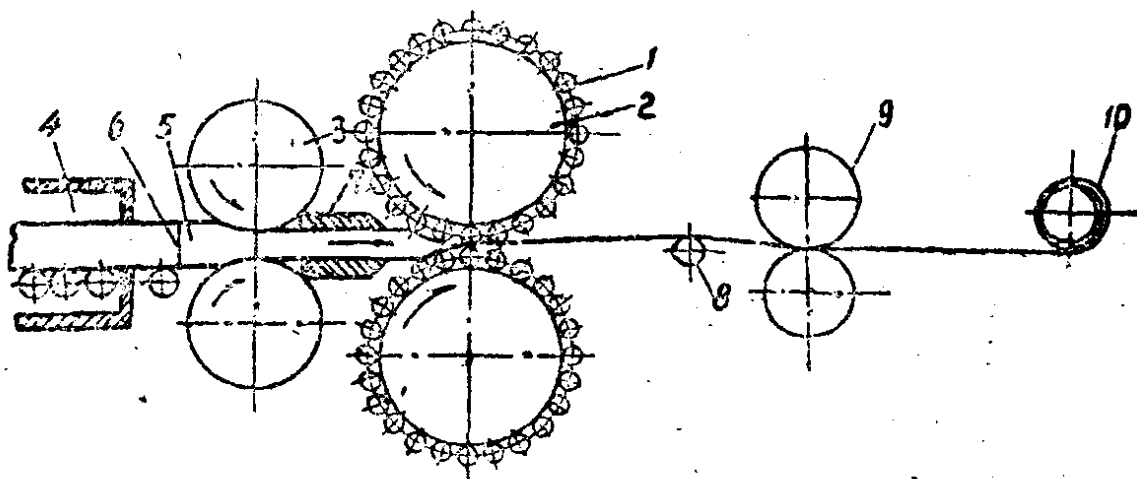


图 1 行星式軋机系統图

1—行星軋輥；2—传动支承輥；3—送料輥；4—加热爐；5—板坯；6—板坯
啮接处；7—导板；8—张力輥；9—平整輥；10—卷取机

1. 在变形区内行星輥的数量

研究行星軋机系統时，可以推测：金屬变形区内的行星輥越多越好，这样能够相对地减少每对行星輥的負荷。在变形区内，每面（上面和下面）可能同时有一个、二个或更多的輥子（图2）。

所有行星輥的直径 d 均相同，它們沿着以 $R+d$ 为半径的外軌道运行。假定此时金屬由最初厚度 h_0 变形到最終厚度 h_1 ，在变形区内有三对行星輥与金屬接触（图2，a）。輥1在金屬上軋过以后，位于变形区出口处；輥2重复輥1的路綫，使金屬变形，輥2此时位于变形区中央；輥3已到变形区起点。这样，在以后任何时刻，都只有两个行星輥使金屬变形。

可以推测，在变形楔的任何断面上，水平速度的分配都不均匀：表面层的速度将比中间层的小。

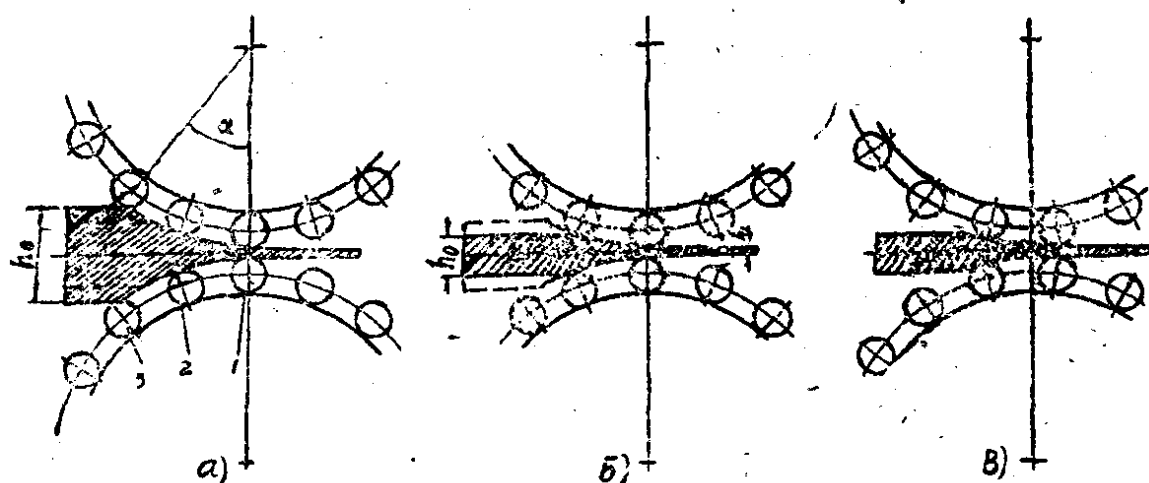


图 2 变形示意图

a—变形区内有 2—3 个行星辊；b—有 1—2 个行星辊；B—有 1 个行星辊

金属自入口断面到中央行星辊是以送料速度 V 移动的（图 3），此速度因中央行星的变形作用而增大；由于表面层的速度较小，楔面产生波纹：变形辊前将出现许多「半圆柱形」，像用擀面杖在桌上擀面时发生的情形一样。

现在假定变形区内有两个行星辊；此时，可能一个行星辊位于出口处，另一个位于变形区的起点（图 2，b）。很明显，在这种情况下，前面所有推论仍然有效。

再假定前面一对行星辊已经滚过出口处，后面一对还没有到达变形区，也就是说，在变形区内一对行星辊也没有。此时，因行星辊未与金属相接触，不对送料发生阻力，在送料辊的作用下，金属将向前移动一未知量。只要后面一对行星辊进入变形区内（图 2，B），便开始使金属变形；但如果金属移动量很大，行星辊会开始空转。行星辊座圈便停下来，不能进行轧制。」

因此，如果变形区内只有一对行星辊，行星轧机便产生脉动工作方式：当一对辊子已经滚出变形区，另一对刚刚进来时，即

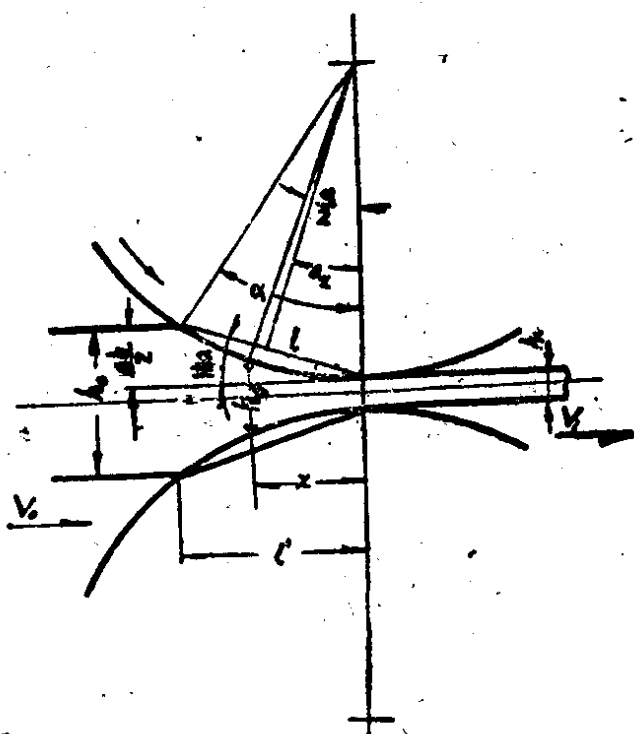
$$l \approx 2t \approx (R+d) \alpha \quad (1)$$

式中 α ——变形区的中心角。

利用此值，可算出该行星轧机的最大压下量。由图4可得出：

$$\frac{\Delta h_{\max}}{2} = l \sin \frac{\alpha}{2} \quad (2)$$

图 4



变形区的中心角一般不超过 $15-20^\circ$ ，因此可取 $\sin \frac{\alpha}{2} \approx \frac{\alpha}{2}$ ，结果 $\Delta h_{\max} = l\alpha$ 。将式(1)中的 l 值代入此式，可得

$$\Delta h_{\max} = (R+d) \alpha^2 \quad (3)$$

当一个支承辊的行星辊数为 Z 时，变形中心角 $\alpha = 2 \frac{360}{Z}$
 $= \frac{4\pi}{Z}$ 。将此值代入式(3)，可得

$$\Delta h_{\max} = (R+d) \left(\frac{4\pi}{Z} \right)^2 = \frac{16\pi^2}{Z^2} (R+d) \quad (4)$$

因为通常 $R=4 \sim 5d$ ，故最后

$$\Delta h_{\max} \approx 800 \sim 950 \frac{d}{Z^2} \quad (4a)$$

由上式可以得出結論，行星軋机上金屬的最大變形程度乃取決于軋机本身的幾何參數，即取決于行星輥對數及其直徑。

如前所述，若行星軋机工作輥迅速旋轉，則金屬在通過工作机架一道時，因受多次的小量壓縮而獲得很大的總壓縮率。軋件軋一道後，其厚度通常減小到只為原厚的 $\frac{1}{15} \sim \frac{1}{20}$ ，或者更小。因 $\Delta h = h_0 - h_1$ ，而 $h_0 \gg h_1$ ，為便于估計軋机的能力起見，假定 $\Delta h \approx h_0$ ；式（4）就變成下述形式：

$$h_{0\max} = \frac{16\pi^2}{z^2} (R+d) \approx 800 - 950 \frac{d}{z^2} \quad (45)$$

這樣，該軋机所用原始板坯便有一定的最大厚度；如果厚度過大，需要很大的軸向力送料，難以進行軋制。而厚度過小時，由於壓下量不大，軋机產量就很低。例如，當軋机有26對直徑50毫米的行星輥，且支承輥直徑為500毫米時，最大壓下量為：

$$\Delta h_{\max} = \frac{16\pi^2}{26^2} (250+50) \approx 70 \text{ 毫米}$$

若軋件最終厚度 $h_1 = 4$ 毫米，則板坯原始厚度將為74毫米，變形程度 $\varepsilon = \frac{\Delta h}{h_0} = \frac{70}{74} = 0.947$ ，即94.7%，而軋件延伸率

$$(\text{不考慮寬展率}) \quad \lambda = \frac{h_0}{h_1} = \frac{74}{4} = 17.6。$$

如果軋制不是沿三個行星輥（由兩個輥子軋制）間的弦進行，而是沿兩個行星輥間的弦進行，即金屬在任何時刻都只由一個行星輥軋制（如圖3的上方所示）；則 $\alpha = \frac{2\pi}{z}$ ， $l \approx t \approx \frac{2\pi}{z} (R+d)$ ， Z 仍然相同。

$$\Delta h_{\max} = \frac{4\pi^2}{z^2} (R+d) \approx 200 \sim 240 \frac{d}{z^2} \quad (4B)$$

也就是說，軋机生產能力減小了 $\frac{3}{4}$ 。

可見變形區內經常應有兩個行星輥，即變形楔的弦 l 可在 $1 - 2t$ 之間；因此，如果該軋机有直徑 d 的行星輥 Z 對，它能

軋制的板坯厚度

$$h_0 \approx 200 \sim 950 \frac{d}{z^2}$$

3. 支承輥与行星輥直徑之比

为了使金屬楔的变形更加均匀，必須使行星輥的数目尽量多一些；由此观点看来，行星輥間可能有的空隙應該最小方合理想。但因在側面座圈內布置輥頸軸承有結構上的困难，故实际上行星輥間的空隙为行星輥半径值的40~80%。空隙 δ 与輥子半径 r 之比用 ψ 表示（ $\psi = \frac{\delta}{r}$ ； $\delta = \psi r$ ），列出确定經過行星輥中心的圓周长度所用方程式：

$$2\pi (R+r) = (2r)z + \delta z = zr (2 + \psi)$$

由此

$$\frac{R}{r} = z \frac{2 + \psi}{2\pi} - 1 \approx \frac{z}{2.5} \quad (5)$$

对于前面研究过的例子，取 $\delta = 0.6r$ ，即 $\psi = 0.6$ ，則得
 $\frac{R}{r} = 9.8$

支承輥与行星輥的直径，根据支承輥的圓周速度和传来的扭矩、按結構确定之。其直径比按式（5）决定。

4. 金屬在变形区内滯留的时间

前面已經提到，金屬在行星軋机上的水平移动速度变化規律比用普通軋机軋制时要复杂。但是，根据变形楔任何断面上金屬用量不变定律并同时使金屬移动速度变化与楔的厚度变化成比例，便可确定金屬在变形区内的滯留時間及其在任何断面上移动的平均速度变化性質一次近似值。

与变形区金屬出口中心綫相距 X 的变形楔任何断面厚度等于（图4）：

$$h_x = h_1 + 2x \operatorname{tg} \frac{\alpha_x}{2} \approx h_1 + 2x \frac{\alpha_x}{2} = h_1 + x \alpha_x$$

因为 $\alpha_x \approx \operatorname{tg} \alpha_x \approx \frac{x}{R+d}$, 故

$$h_x = h_1 + \frac{x^2}{R+d} \quad (6)$$

将变形区任何断面上金属每秒用量不变的条件写成下式:

$$v_0 h_0 = v_1 h_1 = v_x h_x \quad (7)$$

变形区任何断面上的金属平均速度相等, 这一点像两个传动轧辊间轧制一样

$$v_x = v_0 \frac{h_0}{h_x} = v_1 \frac{h_1}{h_x} \quad (8)$$

实际上, 速度变化性质与按式 (8) 算出的略有出入, 这是因为金属变形特殊的缘故 (金属不是沿整个楔面变形, 只有行星辊下的部分才变形, 像用狭窄的锤头打铁时发生的情形一样), 但惟有根据相应的试验方能加以必要的修正。

将金属移动速度作为时间一次导数, 可得

$$v_x = \frac{dx}{dt}, \quad t = \int_0^l \frac{dx}{v_x} = \frac{1}{v_0 h_0} \int_0^l h_x dx = \frac{1}{v_0 h_0} \int_0^l \left(h_1 + \frac{x^2}{R+d} \right) dx$$

解积分后, 即得确定金属在变形区自入口断面移到出口断面这段时间 (轧制时间) 的公式:

$$t_{np} = \frac{l}{v_0 h_0} \left[h_1 + \frac{l^2}{3(R+d)} \right] \quad (9)$$

因按式 (1), $l = \frac{\Delta h}{\alpha} = (R+d) \alpha$, 代入后, 即得

$$t_{np} = \frac{(R+d)\alpha}{v_0 h_0} \left(h_1 + \frac{\Delta h}{3} \right) \quad (9a)$$

对于前面的例子而言, 当向轧辊送料的速度 $v_0 = 1$ 米/分, 变形楔中心角 $\alpha = \sqrt{\frac{\Delta h}{R+d}} = \sqrt{\frac{70}{300}} = 0.482$ (相当于 $\alpha = 27^\circ 30'$) 及 $l = 144.6$ 毫米时, 可得

$$t_{np} = \frac{144.6}{74 \times 1000} \left(4 + \frac{70}{3} \right) \times 60 = 3.2 \text{ 秒}$$

金屬脫輥速度

$$v_1 = v_0 \frac{h_0}{h_1} = 1 \times \frac{74}{4} = 17.6 \text{ 公尺/分}$$

当帶鋼寬 $b_1 = 300$ 公厘时，軋机的生产能力

$$Q = h_1 b_1 r v_1 = 0.004 \times 0.3 \times 7.8 \times 17.6 \times 60 = 9.8 \text{ 吨/小时}$$

5. 行星輥的運動学

如果滾柱軸承的外圈固定，而內(支承)圈以圓周速度 v_B 和角速度 $n_B = \frac{60v_B}{\pi D}$ 旋轉，則滾柱座圈(夾圈)以行星速度 v_n 繞內圈旋轉，此行星速度等于圓周速度 v_B (見圖3)之半，即 $v_n = \frac{1}{2} v_B = \frac{\pi D n_B}{2 \times 60}$ 。座圈對於內圈旋轉軸綫之角速度(行星速度)

$$\omega_n = \frac{v_n}{R+r} \text{ 或}$$

$$\begin{aligned} n_n &= \frac{30v_B}{\pi(D+d)} = \frac{n_B}{2} \times \frac{D}{D+d} \\ &\approx \frac{n_B}{2.2} \left(\text{在 } \frac{d}{D} = 0.1 \text{ 的条件下} \right) \end{aligned} \quad (10)$$

因为 $D \gg d$ ，故可大致認為座圈角速仅及內圈角速的 $\frac{5}{11}$ 。

滾柱對於本身的旋轉軸綫之角速度 $n_p = \frac{60v_n}{\pi d}$ (在 $v_n = v_p$ 的条件下)，即滾柱每分鐘轉数較內支承圈每分鐘轉数的一半大 $\frac{D}{d}$ 倍：

$$n_p = \frac{n_B}{2} \times \frac{D}{d} \quad (11)$$

但由于下述原因，这些推論不完全适用于行星軋机的工作系統：

1) 实验表明，行星輥与金屬之間有滑动存在；

2) 变形楔金属表面层的速度沿楔长而不同, 此速度方向与行星辊旋转速度方向相反, 也就是说, 它促使行星辊沿金属相对地滑动(表面层下的金属层以更大的速度朝出料方向移动);

3) 实验还表明, 在传动支承辊与行星辊之间没有滑动(或者只有很小的滑动)。

这样, 实际圆周(线)速度与角(行星)速度将为:

$$v'_n = v_n (1-S) = \frac{v_n}{2} (1-S); \quad (12)$$

$$n'_n = \frac{60 v'_n}{\pi (D+d)} = \frac{n_n}{2} \times \frac{D}{D+d} (1-S) \approx \frac{n_n}{2.2} (1-S) \quad (13)$$

式中 S ——考虑到由于行星辊沿金属滑动以致座圈损失速度之系数; 英国的行星轧机工作经验表明: $S=0.02-0.05$ 。

当 $S=0.05$ 及 $d=0.1D$ 时, 可得 $n'_n=0.43 n_n$, 即座圈旋转速度几乎只为支承辊旋转速度的40%。

行星座圈绕支承辊旋转一周所需时间为:

$$t_n = \frac{\pi (D+d)}{v'_n} = \frac{2\pi (D+d)}{v_n (1-S)} = 120 \frac{D+d}{D n_n (1-S)} \quad (14)$$

若 $S=0.05$ 及 $d=0.1D$, 则得 $t_n = \frac{140}{n_n}$ 。对前例而言, 当 $n_n=500$ 转/分时, 座圈转一周的时间 $t_n=0.28$ 秒, 而座圈的行星角速度 $n_n=216$ 转/分。

为了判定行星辊对金属的单位压缩(部分压缩)次数, 现在计算, 每秒进行单位压缩的行星辊有多少对

$$z' = \frac{n_n}{60} \times z = \frac{z}{t_n} \quad (15)$$

此例中, 行星辊数目为26对, 座圈转一周的时间为0.28秒, 故得

$$z' = \frac{26}{0.28} = 93 \text{ 对/秒}$$

即每秒将有93对行星辊经过变形区的金属入口断面。

金属在变形区内滞留的时间按式(9a)计算。在此时间(轧

制时间)内,与金属相接触的行星辊对数:

$$z_{np} = z' t_{np} \quad (16)$$

将 z' 和 t_{np} 之值代入此例,即得 $z_{np} = 93 \times 3.2 = 297$ 对。

6. 金属在轧制时的部分压下量和压力

一对行星辊对金属的单位(部分)压下量

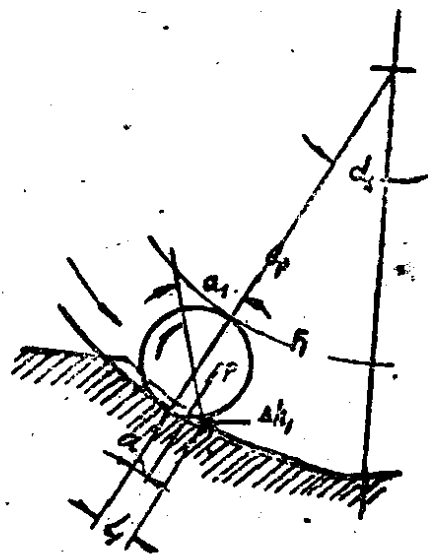
$$\Delta h_1 = \frac{\Delta h}{z_{np}} \quad (17)$$

在此例中, $\Delta h_1 = \frac{70}{297} = 0.236$ 毫米,即每对工作辊每道使金属原始板坯厚度变形 0.236 毫米。

在变形区入口断面上行星辊对金属的咬入角(图 5):

$$\alpha_1 = \sqrt{\frac{\Delta h_1}{r}} \quad (18)$$

图 5
金属对行星辊与支承辊的
压力计算图



在此例中

$$\alpha_1 = \sqrt{\frac{0.236}{25}} = \frac{0.485}{5} = 0.097$$

即行星辊对金属的咬入角 $\alpha = 5^\circ 32'$ 。由于进行热轧且行星辊转速甚大时,金属与辊子间摩擦系数 μ 将为 0.25—0.35,故咬入条件 ($\mu \geq \alpha_1$) 可以保持,因而摩擦力还有很大的余量。

进入变形区的一个行星辊对金属的咬入弧长度

$$l_1 = \sqrt{\Delta h_1 r} = 2.3 \text{ 毫米}$$