

金屬壓力加工原理

下 冊

(軋制原理部分)

H.E. 斯克羅霍多夫 編
壓力加工教研組 譯

北京鋼鐵工業學校
圖書館藏書

北京鋼鐵工業學院

1957

目 錄

第一章	金属軋入軋軋的条件和已建成軋制过程	(1 ~14)
第二章	“体积不变方程式和各种軋制系数”	(15~30)
第三章	軋制时的横变形(宽度架象)	(31~48)
第四章	軋制时的横变形(寬展現象)	(49~58)
第五章	軋制时的縱变形, 前滑和后滑现象	(59~77)
第六章	現代軋制理論的基础	(78~103)
第七章	單位压力在軋入弧上的分佈	(104~126)
第八章	在軋制时作用在軋軋上的力的方向	(127~138)
第九章	軋制时金属作用在軋軋上的压力	(139~165)
第十章	軋制时的作用力	(166~180)
第十一章	軋制时能量的消耗	(181~190)
第十二章	傳动軋軋所需之力矩	(191~205)

第一章 金屬軋入軋輥的条件和已建成軋制过程

- 內容:
1. 軋制开始时的作用力
 2. 軋輥軋入軋件所需条件
 3. 方程式 $H-h=D(1-\cos \alpha)$ 及其分析
 4. 金属填充变形区域的过程
 5. 剩余摩擦力及將其加以利用的途徑
 6. 軋入系数
 7. 各特征角間的关系

現在，我們以下列条件作为研究軋制理論的开端：軋輥是等直徑的柱形軋輥，兩輥均是傳動的，且轉数相同，也就是說該过程是和軋制線相对称的过程。

軋輥的圓週速度等于

$$v = \frac{\pi d n}{60} \text{ 米/秒}$$

軋輥与金属接触的弧 S 称为軋入弧(图1)。

对应于弧的中心角称为軋入角，軋入弧的長度为

$$S_{\alpha} = r\alpha_0 \quad \text{或} \quad S_{\alpha} = \frac{\pi d \alpha^{\circ}}{360^{\circ}} = \frac{\pi r \alpha^{\circ}}{180^{\circ}}$$

由軋入弧起点到軋件垂直軸这一部份称为变形区域。

軋入角及軋制前后的軋件厚度与軋輥直徑相互之間有一数学关系。往后我們再來說这一关系。

为了实现軋制过程，必須使軋輥能够軋入軋件，並且金属开始填充軋輥間隙。为此，就必须使軋入摩擦力大于軋入抗力。

把这些作用相反的力比較一下，就可以闡明軋入条件，現在我們着手研究这个问题。

用某一种方法把軋件移至軋輥跟前，並且施以一定的水平力 Q 把軋件压到軋輥上面，軋輥只通过 A, B 兩点来承受 Q 力(图2)。

因此， Q 力分解成两个分力 P ，两个分力各自通过金属与軋輥的接解点与軋輥中心，由 Q 力分解图得知

$$P = \frac{Q}{2 \sin \alpha}$$

在 P 力的作用下产生摩擦力 T_0 ， T_0 与 P 成 90° 角且作用在与軋輥轉动相反的切線方向上(图3)。送到旋动軋輥跟前的軋件压在軋輥上，由于有摩擦力的作用，軋件阻碍軋輥旋轉並企图制止住它們。

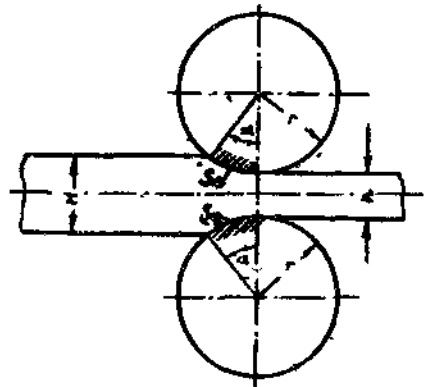


圖1 軋入角 α 和軋入弧 S_{α}

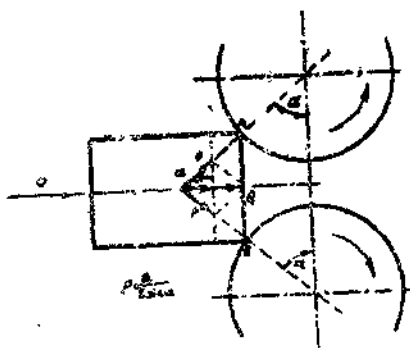


圖 2 Q力分解為向心力P

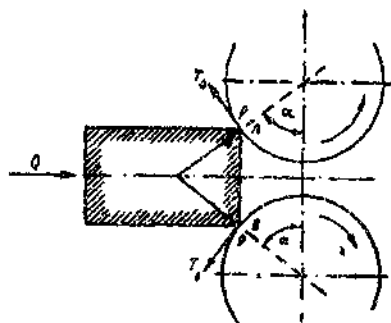


圖 3 在開始軋入時軋件對軋輥的作用

第三圖為軋件對軋輥的作用圖。

另一方面，按照力學的基本定律（牛頓）兩個物體相互間的作用力，總是大小相等方向相反且作用在同一直線上。因此承受軋件作用力 P 與 T 。于自身的軋輥也要以與此對應的壓力和摩擦力，反回來作用在軋件上。我們稱軋輥對 P 力的抗力為反作用力 R ，在反作用力 R 的作用下產生摩擦力 T ， T 力作用在軋輥轉動的方向上並企圖把軋件吸入軋輥的軋隙中（圖 4）。

軋件對軋輥的作用力圖和軋輥對軋件的作用力圖，須要很好的理解和牢牢记住，因為在軋制原理中分析的問題不同，採用的圖示也不同。例如在軋輥軋入軋件的問題中，必須取軋輥對金屬的作用圖（圖 4），也就是需要 R 和 T 。在研究金屬作用在軋輥上的壓力問題中必須取用軋件對軋輥的作用圖（圖 3）也就需 P 和 T_0 。

在解決任何一個軋制問題時取 R 和 T_0 或 P 和 T ，都是不對的，如果這樣取法，那麼就可能在理論上和實踐中犯很大的錯誤。我們已經指出了基爾赫培爾格（Кирхберг）關於延伸極限數值的錯誤。基爾赫培爾格的錯誤就是把軋件對於軋輥的作用和軋輥對於軋件的作用混淆起來的結果（圖 5）。

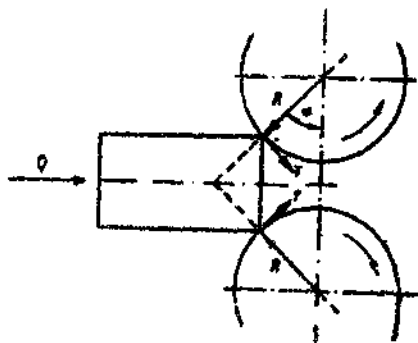


圖 4 在開始軋入時軋輥對軋件的作用

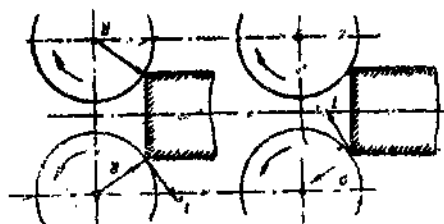


圖 5 開始軋入時力的錯誤作用圖

有關軋制的參考文獻中還可以碰到這樣的錯誤，我們在研究軋制理論的問題時必須注意到此點，以便力與其相互關係取得正確。

現在我們來說明如何使軋輥軋入軋件的問題。可能有兩種情況：

1. 或是由于摩擦力，轧辊轧入轧件，轧件进到轧隙間。
2. 或是如果摩擦力不够大、轧辊要空轉、也就是轧辊在金属上面滑动。

对于一个轧辊，此摩擦力等于： $T=fR$ ，

但 $P=R$ ，因此 $T=Pf$ ， $P=\frac{Q}{2\sin\alpha}$ ，因此 $T=\frac{Q}{2\sin\alpha}\cdot f$ (1)

为了比較 T 和 R 的作用，必須在一个共同的方向上来研究此作用，因此把 T 和 R 投影在相应的坐标軸上(图6)。

这样在轧入时轧辊对金属的作用可归结为四个力 R_x ， R_z ， T_x 和 T_z 。

R_x 和 T_x 作用在垂直方向上，当考虑到两个轧辊的作用时，就看到轧件是从兩端受到压缩，也就是说，这些力是压缩轧件的。

R_z 反抗金属进入轧辊，而力 T_z 在轧制方向上吸引金属。

如果 $R_x > T_x$ 不可能轧制

如果 $R_x = T_x$ 力互相平衡，不可能自然轧入。

如果 $R_x < T_x$ 能够轧制。

一个轧辊的曳力等于：

$$T_x = T \cos \alpha, \quad \text{但 } T = \frac{Q}{2\sin\alpha} \cdot f$$

$$T_x = \frac{Q}{2\sin\alpha} \cdot f \cdot \cos \alpha$$

$$T_x = \frac{Q}{2\operatorname{tg}\alpha} \cdot f$$

对于两个轧辊来说：

$$2T_x = \frac{Q}{\operatorname{tg}\alpha} \cdot f$$

因此把轧辊曳入轧件的水平力 T_x 的大小首先要决定于 Q 力、轧件被压到轧辊上面愈强，曳入摩擦力便愈大。除此以外， T_x 与摩擦系数成正比而与轧入角成反比。

轧入角愈大，水平曳入力愈小。

如果 $\alpha=90^\circ$ 則 $T_x=0$ 。

$$\operatorname{tg} 90^\circ = \pm \infty, \quad \text{因此 } 2T_x = \frac{Qf}{\operatorname{tg} 90^\circ} = \frac{Qf}{\infty} = 0$$

按照轧入角减小的程度，摩擦力 T_x 渐渐接近于 T 值，当轧入角接近于 0 时，則

$$T_x \cong T$$

我們指出，当 $\alpha \cong 0$ 时 T_x, T, P, R 急剧增加，这点由对于一个轧辊的等式中可以看出。

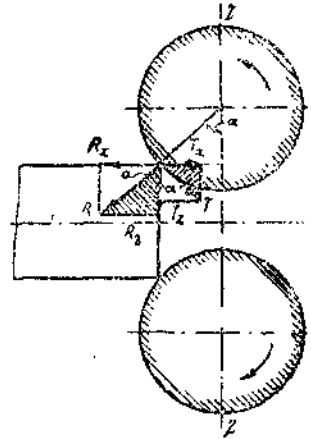


图6 上轧辊对轧件的垂直和水平作用力

$$T_x = \frac{Qf}{2 \operatorname{tg} \alpha} = \frac{Qf}{2 \operatorname{tg} 0^\circ};$$

$$T = \frac{Qf}{2 \sin \alpha} = \frac{Qf}{2 \sin 0^\circ}$$

$$P = R = \frac{Q}{2 \sin \alpha} = \frac{Q}{2 \sin 0^\circ}$$

現在我們求阻止軋件進入軋軋的 R_x

$$R_x = R \sin \alpha \text{ (圖 6)}$$

$$R_x = R \sin \alpha = \frac{Q}{2 \sin \alpha} \cdot \sin \alpha = \frac{Q}{2} \quad \boxed{R_x = \frac{Q}{2}}$$

對於兩個軋軋來說， $2R_x = 2 \cdot \frac{Q}{2} = Q$ 。

因此軋軋在水平方向上的反作用力，就其數值而言總是與送軋件進軋軋的力相等，且方向與其相反。

因此送軋件進軋軋之力愈大，反作用也愈大，另一方面，曳入 T_x 力也與送入力 Q 成正比地增加，因此得出以下的結論，增加 Q 力其實並沒有改善軋入條件。

我們用以下例子說明。

設 T_x 和 R_x 之間有某一定比例關係，此比例等於，

$$\frac{T_x}{R_x} = \frac{\frac{Qf}{2 \operatorname{tg} \alpha}}{\frac{Q}{2}} = \frac{f}{\operatorname{tg} \alpha},$$

就是說此比例並不直接決定於送入力 Q ，而僅僅決定於摩擦係數與軋入角。

但是在軋制的生產實踐中，我們都知道強力地把軋件壓入軋軋便能改善軋入條件。這是什麼緣故呢？這現象是由于當壓入時（或衝擊軋件的后端）軋入端的邊緣要發生壓皺和磨損，從而減小了軋入角，

（圖 7）。因此增加送入力可促進軋入，

但並不是由于增加了不足的水平曳入力所造成的，而純粹是由于軋件端頭在進入軋軋孔隙時受到了壓皺。

現在我們研究摩擦係數和軋入角之間的關係，我們研究 T_x 和 R_x 相等時的情況。

$$\frac{T_x}{R_x} = 1 \quad \text{就是說} \quad \frac{f}{\operatorname{tg} \alpha} = 1 \quad \text{或} \quad f = \operatorname{tg} \alpha$$

從上式我們已經看到，當 $T_x = R_x$ 時不可能軋入，為了能軋入，必須使 $T_x > R_x$ 。

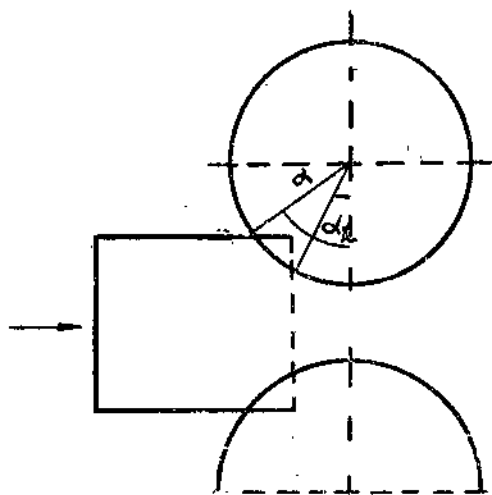


圖 7 軋件邊緣的壓皺和磨損使軋入角減小

使 $\Delta h = \text{常数}$ ，显然在增加轧辊直径时，轧入角要减小（图9）。由此得出，当增加轧辊直径时在摩擦系数相同的条件下可以改善轧入条件（因为 $\tan \alpha < f$ 是轧入条件）。

使 $D = \text{常数}$ 我們得到 $\Delta h = c(1 - \cos \alpha)$

当增加轧入角时， Δh 增加，使轧入条件变坏。因此在相同直径下增加轧入角时，压下量便增加（图10）。

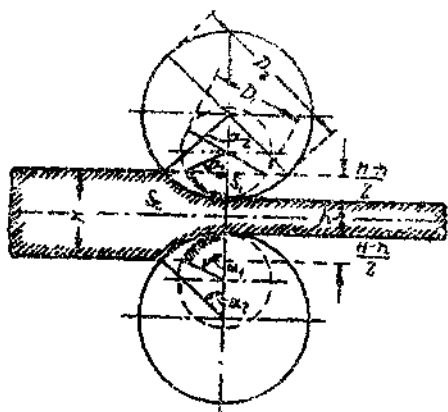


圖9 压下量不變時軋軋直徑的增加

$$\begin{aligned} D_2 &> D_1 \\ \alpha_1 &> \alpha_2 \\ S_2 &> S_1 \end{aligned}$$

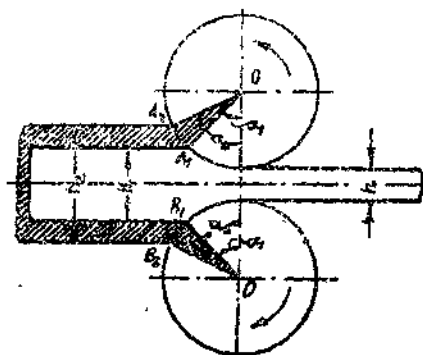


圖10 軋軋直徑一定時压下量與軋入角間的關係

應該注意到在大軋入角的条件下，对增加压下量來說，每一度都起很大的作用，反之在大軋入角的条件下，压下量降低，对于軋入角的减小並沒有多大的影响。在孔型設計时要記住这一点。

設 $\alpha = \text{常数}$ 在該条件下压下量与軋軋直徑成正比

$$\Delta h = D(1 - \cos \alpha) \quad (\text{图11})$$

改善軋入条件的办法有兩個。

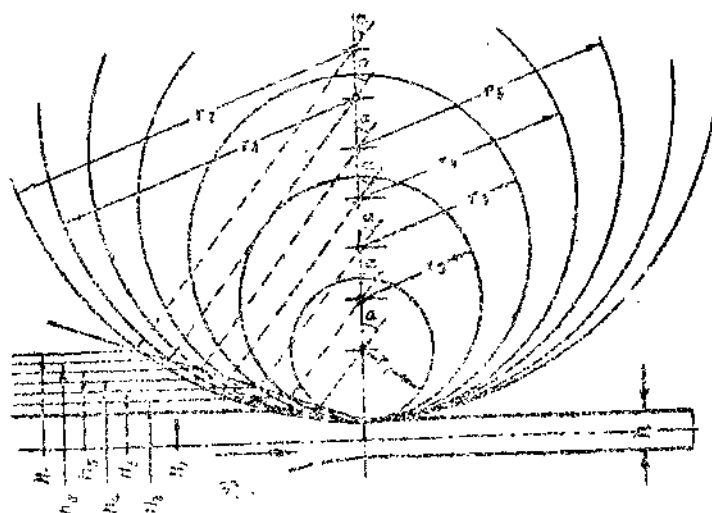


圖11 軋入角一定時压下量與軋軋直徑成正比的圖示

1. 减小轧入角
2. 增加摩擦系数

第一个办法可按以下的方法来实现。

- a) 增加轧辊直径;
- 6) 减小原始厚度 H ;
- B) 增加最终厚度 h 。

6 和 B 兩方法均使压下量减小 ($H-h=\Delta h$)，这不是我們所希望的，因为减小了一道中的变形，当然要减低生产率。

改善轧入条件的第二个措施稍后一些再来研究。

说明轧入条件时，我們所作的这些結論，可以用“摩擦角”的概念来简化它。

当物体沿着某平面开始滑动时，此平面的傾斜角称为摩擦角，此时沿着此平面的重力分力等于与它作用相反的摩擦力 (图12)。

摩擦角是这样一個角，此角的正切等于摩擦系数。如果有力 R_x 作用着，同时引起摩擦力 T_x ，那应当合成 R_x 和 T_x 时得到合力 F 。

R_x 与 F 之間的角就是摩擦角— β

$$\text{由图 (12)} \quad \operatorname{tg} \beta = \frac{T_x}{R_x} = \frac{R_x f}{R_x} = f$$

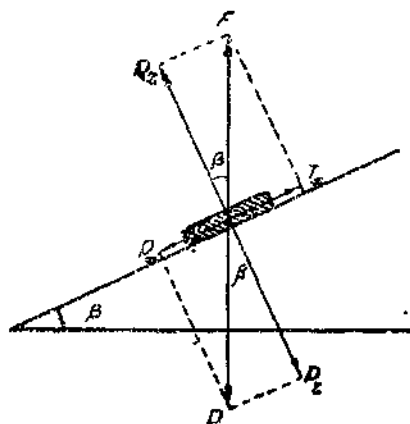


图12 在斜面上滑动时的摩擦角

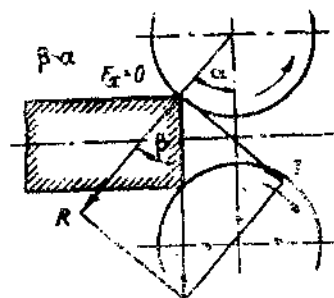


图13 摩擦角等于轧入角时的情况

現在我們开始講軋制图，有三种情况：

1. 如果 $\alpha = \beta$ (图14) 則合力的方向是垂直的，不可能自然軋入；
2. 如果 $\alpha > \beta$ (图14) 則 F 指向軋軋外部，不可能軋入；
3. 如果 $\alpha < \beta$ (图15) 則 F 指向軋軋內部，能够軋制。

如果 $\alpha = \beta$ 則 F 力不能分解为两个分力 F_x 和 F_y ，在此条件下 $F_x = 0$ 及 $F_y = F$ ，如果 $\alpha = \beta$ ，則 $\operatorname{tg} \alpha = \operatorname{tg} \beta$ ，由此 $f = \operatorname{tg} \alpha$ ，也就是上面我們得到的結論。

如果 $\alpha > \beta$ ，則 $\operatorname{tg} \alpha > \operatorname{tg} \beta$ ，由此 $\operatorname{tg} \alpha > f$ ，在这种情况下 $F_x < 0$ ，但是它作用在与軋制过程相反的方向上，就是說阻止軋件进入軋軋。

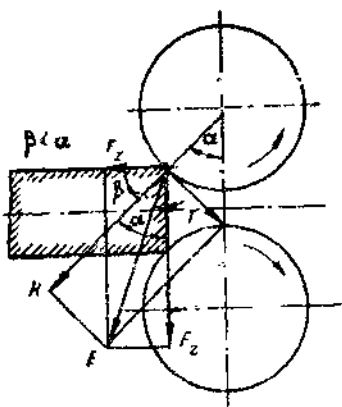


圖14 摩擦角小于軋入角時的情況

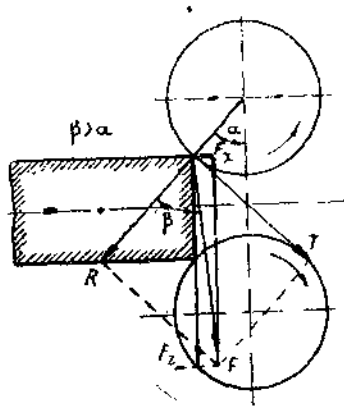


圖15 摩擦角大于軋入角時的情況

如果 $\alpha < \beta$, 則 $\operatorname{tg} \alpha < \operatorname{tg} \beta$ 即 $\operatorname{tg} \alpha < f$ 。

力 $F_x > 0$ 而且与軋制的方向一致。

从以上的叙述看到, 摩擦系数有多么大的意义。我們还可以用数值上的例子来说明它的意义。

假使用直径为 950 公厘的軋軋进行热轧。如果軋軋是在 180 公厘到 100 公厘的压下量条件下軋入軋件: 我們求其摩擦系数 f ?

我們采用公式 $\Delta h = D(1 - \cos \alpha)$ 求軋入角。

$$80 = 950(1 - \cos \alpha): \quad \cos \alpha = 1 - \frac{80}{950} = 0.9158$$

由此 $\alpha = 23^\circ 40'$ 。

已知 $\operatorname{tg} \alpha = f$, 得 $f = \operatorname{tg} 23^\circ 40' = 0.438$

現在我們求: 如果 $f = 0.3$, 軋軋直径 $D = 1000$ 公厘那么可將 180 公厘的軋件压缩到怎样的数值?

已知 $f = 0.3; \operatorname{tg} \alpha = f = 0.3, \alpha = 17^\circ, \cos \alpha = 0.9563$

$\Delta h = D(1 - \cos \alpha) = 1000(1 - 0.9563) = 43.7$ 公厘 (代替了在前一情况下的 $\Delta h = 80$ 公厘) 当摩擦系数为 0.3 时, 即使在大直径的軋軋条件下我們也不能把軋件压缩得超过 43.7 公厘。

金屬填充軋軋間隙過程的研究

我們已經看到, 在軋入时产生了作用于軋件上的水平力和垂直力。垂直力对金属起鍛压的作用。在这兩迎面鍛压力的作用下, 金属受到压挤。如果水平拉入力大于推出力; 则金属被拉入軋隙間。我們用 δ 表示軋件入軋时, 其前端与中心線所成的角。

按照軋件进入軋軋的程度, δ 一直是在减小 (图16), 在完全填充时, 角 $\delta = 0$ 。

金属和軋軋的接触表面一直是相应地增加。

金属对軋軋的压力和軋軋的反作用力决定于沿整个变形区域金属变形抗力的总和。

因此按照金属填充軋隙的程度, 軋入时的力的平衡受到了破坏, 这是因为合力 P

(以及 R) 已不作用在 α 角处。而是作用在靠近中心線的某处。

当金属完全填满軋隙时我們取合力 P (以及 R) 总作用在金属与軋軋接触弧的中心, (以后我們証明之)。

因此按照金属进入軋軋的程度, 合力 P 要移动, 逐渐接近于金属完全填满軋軋时的位置。

合力 P 的作用角的变化由 $\frac{\alpha+\delta}{2}$ 确定, 按照金属填满軋隙的程度, 該角由 α 角 (当 $\delta=\alpha$ 时) 变化到 $\frac{\alpha}{2}$ (当 $\delta=0$ 时已建成过程)。

合力 P 向軋軋中心整个角度的位移为

$$\frac{\alpha+\delta}{2} - \frac{\alpha+0}{2} = \frac{\alpha}{2}$$

在金属进入軋軋到某一中間位置时合成 R 与 T 力, 指定 R 与合力 F 之間的角度为 β (图17)。

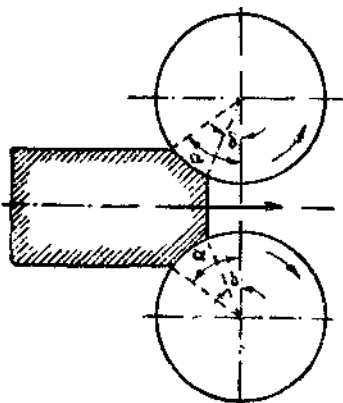


圖16 S角逐渐减小到零

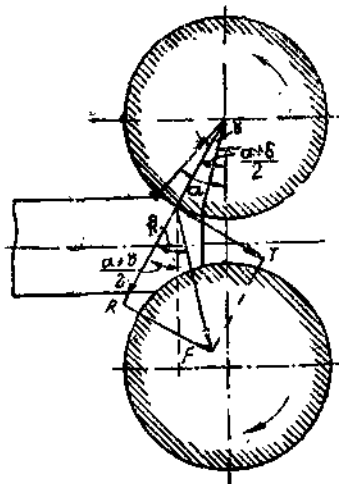


圖17 金屬填充軋隙的階段水平曳入力剩餘的情况

如果該角 β 符合于自然軋入情况, 則合力 F 离开垂直方向向軋制方向傾斜。

其次, 按照填充的情况, 角 $\frac{\alpha+\delta}{2}$ 要繼續减小 (同时它始終應該是与同一不变的 β 角相比較) 因此合力 F 愈来愈向軋制的一方面傾斜。

按照金属进入軋軋的程度, 摩擦力的工作条件逐渐向有利的一方面变化, 因而軋軋在金属上滑动的可能性不断地减小。

比值 n 与軋入角 α 的某种比例关系要适合任意一个中間角 $\frac{\alpha+\delta}{2}$ 。

$$n = \frac{\alpha}{\frac{\alpha+\delta}{2}} \text{ 这里总是 } n \geq 1$$

$$\begin{aligned} \delta = \alpha \text{ 时 } n &= 1 \\ \delta = \frac{\alpha}{2} \text{ 时 } n &= \frac{4}{3} \\ \delta = 0 \text{ 时 } n &= 2 \end{aligned}$$

$$\frac{\alpha+\delta}{2} = \frac{\alpha}{n}$$

因而:

可把此角代入曳入力与抗力的平衡条件中(见图18): $\frac{\alpha + \delta}{2} = \beta$, 或 $\frac{\alpha}{n} = \beta$ 就是 $\alpha = n\beta$.

开始轧入时 $n = 1$, 也就是 $\alpha = \beta$ 。

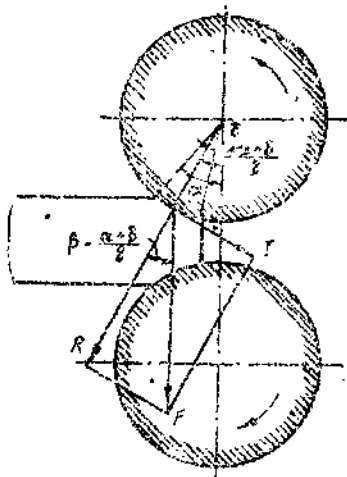


图18 金属填充辊隙的阶段时水平力成平衡

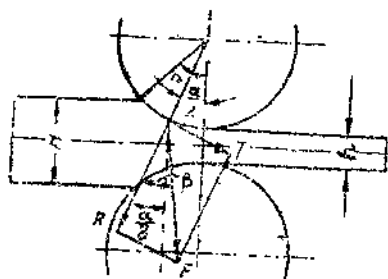


图19 可能轧制的情况: $\beta > \frac{\alpha}{2}$

对中间的某一瞬间 $n = 1.1$, 则 $\beta = 0.9\alpha$, $\alpha = 1.1\beta$,

在金属完全填满变形区域时, 我们得到:

$$\delta = 0; n = 2, \beta = \frac{\alpha}{2} \quad \boxed{\alpha = 2\beta}$$

以上所述证明: 在已建成过程中当 $\beta > \frac{\alpha}{2}$ 时, 摩擦力将要超过推出力(见图19)。

如果 $\beta < \frac{\alpha}{2}$, 则发生轧辊在金属上的滑动(见图20)。

如果 $\beta = \frac{\alpha}{2}$ 是平衡的情况(见图21)。

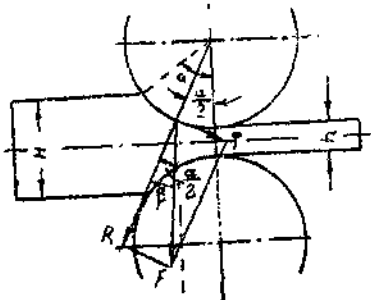


图20 不可能轧制的情况 $\beta < \frac{\alpha}{2}$

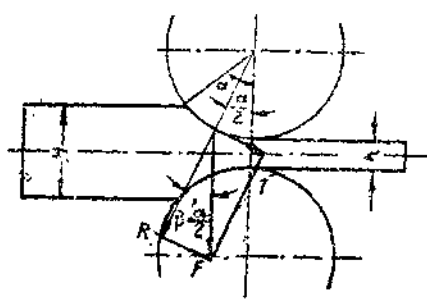


图21 平衡的情况 $\beta = \frac{\alpha}{2}$

根据某些作者的看法, 金属作用在轧辊上的单位压力分布是不均匀的(关于这一点, 我们以后要谈到), 并且从入口到出口方向逐渐地减小。

在这种情况下, 合力 P 作用于 $\frac{2}{3}\alpha$ 的位置上, 这是应该记住的, 显然在这种情况下, 在已建成过程中 $\beta = \frac{2}{3}\alpha$ 或 $\alpha = 1.5\beta$ 。

根据以上的分析可以确定，从开始轧入到已建成轧制过程改变轧制条件的因素为合力 T 与垂线（与轧辊中心）所成的倾角，此角从 α 到 $\frac{\alpha}{2}$ （或 $\frac{2}{3}\alpha$ ），而倾角减小的发生是由于金属充填变形区域的结果。轧入角 α 本身是不变的，在实际中 β 角（摩擦系数）也是不变的。

在研究轧制过程时，不应该把起始的轧制过程条件和已建成的轧制过程条件混淆起来，某些作者由于混淆了这些条件而犯了严重错误。

柯德龙（Codron）根据已建成过程的关系 $f = \operatorname{tg} \beta = \operatorname{tg} \frac{2}{3} \alpha$ 来确定在不同摩擦系数条件下的可能的压下量 $\Delta h = H - h$ 数值，其数据如下：

f	0.1	0.2	0.3	0.4
$\Delta h = H - h$	0.015R	0.06R	0.135R	0.24R

这里 R 为轧辊半径。但可能的压下量数值是受着轧入条件 $\beta \geq \alpha$ 的限制，而不是受已建成过程条件的限制：应由 $f = \operatorname{tg} \beta \geq \operatorname{tg} \alpha$ 的关系来决定，这样得出如下的数值：

f	0.1	0.2	0.3	0.4
Δh	0.00978R	0.0388R	0.08402R	0.14346R

柯德龙的结果超出 1.5 倍。

魏列沙金（Верещаин）和维诺格拉多夫（Виноградов）教授也犯了同样的错误。这一类的错误在实际问题是极其严重的。

由以上所讲的可得出怎样的实际结论呢？

我们已确定，为了用转动的轧制轧入金属，唯一的条件是要使摩擦角 $\beta \geq \alpha$ 。然而在金属充填变形区以后，轧制过程本身所需要的摩擦力只是轧入时所需要摩擦力的 $\frac{1}{2}$ 或 $\frac{2}{3}$ 因此在已建成过程中获得了剩余的摩擦力，同时它们一直是一道一道地逐渐增加，这是因为压下量随着轧入角相应地减小而减小的缘故。在轧制过程中剩余摩擦力可能增大到十倍。

不可避免地会提到这样两个问题，是利用剩余摩擦力来增加压下量呢？还是防止产生剩余摩擦力呢？前者可用某种人为喂进法，后者则是采用比较光洁的轧辊使金属变形抗力大为减小（ $p = ak + q$ ）金属对轧辊的总压力减小及能量消耗降低。

利用已建成过程剩余摩擦力的方法有以下几种：

1. 以锥形或尖头的钢锭送进轧辊，使 α 角和压下量逐渐地增加。
2. 自然轧入后使两轧辊间距离减小。

3. 借某种另外的机构将轧件压入轧辊，以代替自然轧入。施行上面所指出的措施可能使生产率增加很大，生产率的增加可由 $\alpha = \beta$ 和 $\alpha = 2\beta$ 或 $\alpha = 1.5\beta$ 间的差别来决定；也就是说在 β 一定的条件下，由轧入角 α 增加二倍或一倍半来决定。

例如，假设 $f = \operatorname{tg} \beta = 0.3$ ； $d = 800$ 公厘； $h = 100$ 公厘，

1. 求在軋件軋入軋輥的条件下軋件前端的厚度 H_1 ?

已知: $\beta = \arctg 0.3 = \alpha = 17^\circ$; $H_1 - h = d(1 - \cos 17^\circ)$

由此: $H_1 = 100 + 800(1 - \cos 17^\circ) = 135$ 公厘

2. 在已建成过程中, 确定相当于錐形軋件开始滑动时的厚度 H_2

我們取: $\alpha = 1.5\beta, \alpha = 1.5 \times 17^\circ = 25^\circ 30'$

$H_2 = 100 + 800(1 - \cos 25^\circ 30') = 178$ 公厘

压下量差为: $178 - 135 = 43$ 公厘。

利用剩余摩擦力的第二种方法——在軋制过程中增加压下量, 此法对所有軋鋼机都具有很大的前途。现在此方法广泛地应用于冷轧板材与帶材。这个方法的应用向設計师提出了解决关于制造适合的压下裝置的机构問題。

第三种方法——强迫喂鋼法, 根据以下情况, 軋件压入軋輥时, 前端受到压皺与磨損, 这时形成一定的接触弧, 合力移近垂線, 同时 $\frac{\alpha + \delta}{2}$ 减小, 减小到等于 β 角时, 就能够使軋件軋入。

用試驗方法决定最大軋入角和摩擦係数

用以下的方法求出 α_{max} 。

把上軋輥压在下軋輥上, 並把試样送到軋輥前; 然后开始渐渐提升上輥。

按照軋輥提升的程度, h 增加及軋入角 α 减小, 最后达到軋件开始震盪的时期, 此时軋輥愈来愈激烈地咬住試样, 最后軋入軋件。

这样的时期正与 $\alpha = \beta$ 相符合。其次是計算 α , 並按照 $\tg \alpha = \tg \beta = f$ 式求 f 。

你們將在實驗室里做这项实验。

对于光輥而言, 最大軋入角的数据为 $\alpha_{max} = 22^\circ \sim 24^\circ$

对于孔型軋輥而言, $\alpha_{max} = 30^\circ \sim 34^\circ$

軋輥的表面状态对軋入角数值的影响很大。

在軋輥有刻痕或鋸紋的时候, 与光面輥相比 α 角大大地增加。这是很明显的, 由于增加了摩擦系数, 因而增加了 β 角。刻痕与鋸紋的办法在实际中被广泛地采用。同时当然應該注意到軋制品表面良好的問題, 刻痕与鋸紋的深度应以不致影响成品表面的質量為限。

現在我們在本章中还要研究一个数值——軋入系数 $\frac{H-h}{d}$ 。

压下量大小与軋輥直徑的比称为軋入系数。

如果在方程式 $H-h=d(1-\cos \alpha)$ 里給出了軋入角, 那么数值 $(1-\cos \alpha)$ 为一定值, 而給予我們一个数值

$$\frac{H-h}{d} \text{ 或 } \frac{0.5(H-h)}{r}$$

这个公式很方便, 因为在摩擦系数为定值时, 可用它根据軋輥直徑确定压下量。

对光面輥而言在

$$\alpha = 22^\circ \sim 24^\circ \text{ 时 } \frac{H-h}{d} = \frac{1}{12} \div \frac{1}{13},$$

对有孔型的或有刻痕的轧辊，在

$$\alpha = 30^\circ - 34^\circ \text{ 时 } \frac{H-h}{d} = \frac{1}{7.5} \div \frac{1}{6}$$

在有孔型的轧辊上，孔型壁有很大的作用。

冷轧时的轧入系数：

1. 用磨光如鏡經潤滑的轧辊冷轧

$$\alpha = 3^\circ \div 4^\circ ; \quad \frac{H-h}{d} = \frac{1}{730} \div \frac{1}{410}$$

2. 一般轧辊的冷轧

$$\alpha = 5^\circ \div 6^\circ ; \quad \frac{H-h}{d} = \frac{1}{262} \div \frac{1}{182}$$

3. 粗糙轧辊的冷轧

$$\alpha \approx 10^\circ ; \quad \frac{H-h}{d} = \frac{1}{65.8}$$

以上的叙述表明，在已建成轧制过程中所产生的摩擦力。約有一半是剩余的，显然應該在另一方式下消耗掉。也許在已建成轧制过程中水平轧制力具有某些其他特性。

詳細的分析（关于这点以后再談）表明，剩余摩擦力是用于形成前滑。

$$S_n = \frac{V_n - V}{V} \cdot 100\%$$

式中 S_n ——前滑以%表示

V_n ——轧件出轧辊的速度

V ——轧辊的圓周速度

显而易见，变形区域中发生前滑的部份，摩擦力要阻碍金属运动，而仅在由轧件入口到成 γ 角的某切面所佔的变形区部份是有效摩擦力。

該切面称为临界切面， γ 角是临界角。

在临界切面以前轧辊速度大于轧件速度，在临界切面內二者速度相等，在临界切面以后轧辊速度小于金属速度。

具有前滑时，轧制力的平衡条件是： $T_{xI} - R_x = T_{xII}$ （图22），此关系指出剩余摩擦力消耗于发生前滑了。

可以近似地認為， $f = \tan \beta \approx \beta$ ； $\sin \frac{\alpha}{2} \approx \frac{\alpha}{2}$ ，並且不將切力与水平力加以区别，假定 T_{xI} ， R_x 与 T_{xII} 系用以下关系确定（对于 $\beta=1$ 而言）

$$T_{xI} = \left(\frac{1}{2} - \gamma \right) P \beta \quad R_x = P \alpha \sin \frac{\alpha}{2} = P \frac{\alpha^2}{2}$$

$$T_{xII} = P \gamma \beta \text{ 則可以写为 } (\alpha - \gamma) P \beta - P \frac{\alpha^2}{2} = P \gamma \beta$$

由此

$$\alpha - 2\gamma = \frac{\alpha^2}{2\beta} \text{ 或 } \gamma = \frac{\alpha}{2} \left(1 - \frac{\alpha}{2\beta} \right)$$

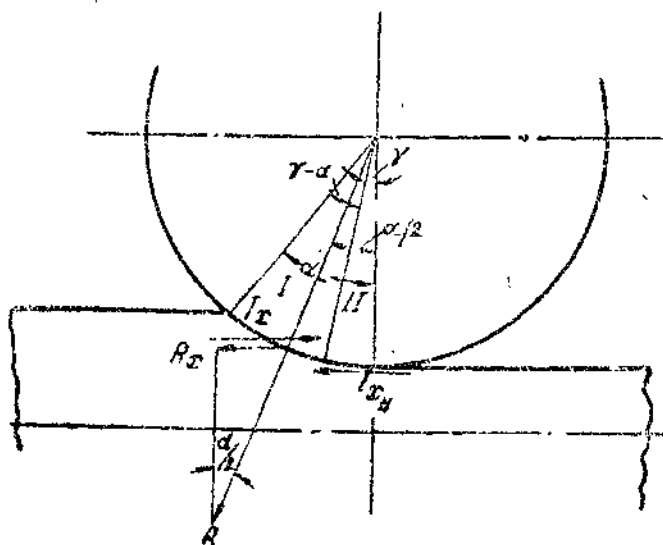


圖22 水平軋制力的平衡圖

此式是軋制的基本关系式，表示三个特征角：軋入角；摩擦角 β ；与临界角 γ 之间的关系。

我們看出，当剩余摩擦力很大时，比值 $\frac{\alpha}{2\beta}$ 变得很小，且 γ 角趋近于它的最大限度 $\gamma_{\max} = \frac{\alpha}{2}$ 。

若在 $\beta = \alpha$ 的条件下发生軋入，则在已建成过程中

$$\gamma = \frac{\alpha}{2} \left(1 - \frac{\alpha}{2\beta} \right) = \frac{\alpha}{2} \left(1 - \frac{\alpha}{2\alpha} \right) = 0.25\alpha = 0.25\beta。$$

这样，由軋入 ($\alpha = \beta$ 条件下) 过渡到已建成过程时解放出一半摩擦力，并且决定了在变形区四分之一部份发生前滑。最后，如果將数值 $\beta = \frac{\alpha}{2}$ (已建成过程条件) 代入基本关系式中得出，沒有前滑存在。

$$\gamma = \frac{\alpha}{2} \left(1 - \frac{\alpha}{2\beta} \right) = \frac{\alpha}{2} \left(1 - \frac{\alpha}{2 \cdot \frac{\alpha}{2}} \right) = \frac{\alpha}{2} \cdot 0 = 0，$$

此式清楚地指出，剩余摩擦力，都耗費于形成前滑。

在前滑区中摩擦力轉变成摩擦阻力的这一现象也同样証明基尔赫培尔格关于极大延伸是 2 的錯誤論証。

在以下几章里將对前滑现象作更为詳細的研究。

参 考 書

И.М. 巴甫洛夫 “軋制原理” 1950 年版 383 页 § 25。

И.М. 巴甫洛夫 “軋制原理與金屬塑性變形原理” 1938 年版第四章。

Б.П. 巴赫基諾夫 Бахтинов 和施捷爾諾夫 Штернов 著 “軋軋孔型設計” 1953 年版第一章 § 1, 2, 3, 4, 5。

第二章 “体积不变方程式和各种轧制系数”

內容: 1. 各种轧制系数間的关系

2. 引起轧制进程中变形降低的原因

3. 变形在各道次分佈的方法

4. 对于基尔赫培尔格和也茲 (жез) 的变形在各道次分佈方法的批判

5. 轧制中的总延伸率, 局部延伸率和平均延伸率

在塑性变形原理的几章里, 我們已經研究过关于金属塑性变形时体积不变的定律, 在数学上可將該定律写成如下的几个形式:

$$\textcircled{1} V_1 = V_2$$

$$\textcircled{2} HLB_1 = h/B_2$$

$$\textcircled{3} \mu\beta\gamma = 1$$

$$\textcircled{4} \ln \frac{h}{H} + \ln \frac{b}{B} + \ln \frac{l}{L} = 0$$

$$\textcircled{5} \delta_1 + \delta_2 + \delta_3 = 0$$

运用該定律, 我們能把变形前后的尺寸連系起来, 並且能够进行許多很重要的計算。

在本章內, 我們便是根据体积不变定律来研究关于用軋軋軋制的方法使金属变形的几个重要理論。

我們已經知道, 高度变形 $\frac{H}{h}$ 用

$$\frac{H}{h} = \frac{B_2}{B_1} \cdot \frac{L_2}{L_1}$$

式子与縱变形和橫变形連系起来。在变形双曲線上巴甫洛夫 (Павлов) 已給出了縱变形和橫变形間的关系, 我們並且知道, 是反比例的关系。

軋制的目的就是要金属在向長度上延伸, 因此寬展是不利的, 因为軋件宽度增加, 就要减小它的延伸率。因此縱軋时必需采取减少寬展的措施。

軋件的延伸率用三种方法决定。

$$\mu = \frac{L_2}{L_1};$$

$$\mu = \frac{HB_1}{hB_2};$$

$$\mu = \frac{H}{h} \left(\text{当 } \frac{B_2}{B_1} = 1 \text{ 时} \right)$$

这些問題都是我們已經知道的, 为了重新記憶起它們, 我們把这些問題再簡要地复习一遍。

現在我們来討論軋制中表示变形的几种数值。

高度上的線壓縮和相对變形

假設在軋入角一定时, 我們得到的压下量为 $H-h=20$ 公厘。

若軋制两个軋件, 第一个軋件的高度 $H_1=200$ 公厘, 第二个軋件的高度 $H_2=40$ 公厘, 軋制后我們相应地得到高度 $h_1=180$ 公厘和 $h_2=20$ 公厘。

在寬展 $\Delta b=0$ 时; 延伸率为: