

軋鋼原理與工藝

技術科學付博士、付教授 伊·卡·蘇沃洛夫講稿

鋼鐵壓力加工教研室整理

東北工學院

1957

苏联专家讲稿

軋鋼原理与工藝

技术科学付博士、付教授 伊·卡·苏沃洛夫講稿

鋼鐵压力加工教研室整理

——仅供内部参考——

东北工学院

—

本書为苏联莫斯科斯大林鋼鐵学院軋鋼教研室技术科学副博士И·К·苏沃洛夫在本院鋼鐵压力加工教研室任教期間講課記錄及部分講稿整理的材料。

全書共分四章，第一章为金屬压力加工原理，根据專題講課的記錄整理而成，主要闡述軋制过程中的基本原理。第二章講述各种鋼材的生产工艺过程及其特点。第三章闡述孔型設計的基本理論及其設計方法。第四章介紹軋制原理的實驗方法及其步驟。

本書可作为高等工業学校教学参考書，也可供工程技术人員和研究人員作为参考。

本書为收集專家的講稿和教研室中同志們的筆記經過翻譯和整理而成，由刘宝珩同志收集和初步編排。第一章由葉茂同志最終审校，其余各章由范宗荣和刘鳳圖兩同志最終审校。全書內容未經專家校閱，而整理和审校者業務水平和時間有限，錯誤难免，請于指正。本書中部分插圖縮小比例尺不一致，請讀者注意。

目 录

第一章 金屬压力加工原理

§ 1. 几种压力加工过程的特点	(1)
§ 2. 压力加工时金屬的不均匀变形及其对产品质量的影响	(13)
§ 3. 被加工金屬与加工工具之間的相互关系	(16)
§ 4. 超級压缩	(19)
§ 5. 前滑	(20)
§ 6. 軋件对軋輥的压力	(23)
§ 7. 軋制道数对寬展及能量消耗的影响	(32)

第二章 軋鋼工艺

§ 1. 軋鋼車間在冶金工厂組成中所佔的地位、軋鋼車間的組成、产品种类	(35)
§ 2. 軋鋼机的一般結構	(37)
§ 3. 軋鋼机的分类	(38)
§ 4. 半成品、型鋼、綫材、帶鋼、厚板、中板和薄板、鋼軌和鋼梁生产的 基本工艺过程	(40)
§ 5. 中型、小型鋼材和綫材生产的主要工艺过程	(42)
§ 6. 薄板和厚板的生產	(43)
§ 7. 窄的薄板卷和帶鋼的軋制	(46)
§ 8. 冷軋薄板及帶鋼的軋制	(47)
§ 9. 優質鋼和合金鋼的軋制	(49)
§ 10. 軋鋼机的生產能力	(51)
§ 11. 軋鋼机电力傳动的分类	(57)
§ 12. 傳动軋鋼机的电动机功率選擇	(59)
§ 13. 軋輥	(59)
§ 14. 軋鋼机的导衛裝置	(66)
§ 15. 軋鋼机的調整	(69)

第三章 軋輥孔型設計

§ 1. 緒論	(71)
§ 2. 孔型的分类及其一般性質	(72)
§ 3. 孔型的各个組成部分	(73)
1. 两个軋輥之間的軋縫、孔型的斜度	(73)
2. 孔型側壁斜度	(73)

3. 孔型的上压力与下压力	(74)
4. 軋軋平分綫、軋制綫, 孔型中立綫, 孔型在軋軋上配置的規則	(75)
5. 決定軋軋工作直徑	(77)
6. 孔型中的压下量	(77)
7. 变形系数, 決定变形系数的因素	(79)
8. 孔型中的寬展	(83)
§4. 开坯及延伸孔型	(86)
1. 箱形孔型	(86)
2. 初軋机軋軋孔型設計	(87)
3. 三軋开坯机軋軋孔型設計	(94)
4. 連續式鋼坯軋机軋軋孔型設計	(98)
5. 連續式鋼坯軋机的孔型設計計算程序	(100)
6. 連續式鋼坯軋机的标准孔型	(100)
7. 菱形孔型	(101)
8. 菱方孔型系統的軋軋孔型設計	(105)
9. 橢圓——方孔型系統	(108)
10. 其他延伸孔型系統	(111)
§5. 成品的孔型設計	(112)
1. 簡單断面孔型設計	(112)
2. 圓鋼孔型設計	(113)
3. 方鋼孔型設計	(116)
4. 扁鋼孔型設計	(118)
5. 角鋼孔型設計	(124)
6. 異形鋼材孔型設計	(129)
7. 工字鋼孔型設計	(133)
8. 槽鋼孔型設計	(142)
9. 鋼軌孔型設計	(146)
10. 結論	(153)

第四章 实 驗

一 实验的准备与安全技术	(154)
二 体积不变定律	(155)
三 軋件曳入問題	(157)
四 寬展	(158)
五 前滑現象	(160)
六 变形抗力的測定	(162)
七 軋机彈性变形	(164)
八 軋机效率的測定	(166)
九 不均匀变形	(170)
十 孔型內軋制	(172)

第一章 金属压力加工原理

§1 几种压力加工过程的特点

金属压力加工过程主要有以下四种：

1. 轧制。
2. 拉丝。
3. 挤压。
4. 锻造和冲压等。

现在研究一下这几种压力加工过程的主要特点。这四种压力加工过程中应用最广泛的是锻造，它几乎在各工厂中均可遇到。从日用品到机械零件，就产品种类和样式来看，锻造制品可估第一位。但是若以产品重量计算，则约有75~80%的金属需要经过轧制。所以说，轧制过程在压力加工生产上占有首要位置。其重要性不仅在于它所占的生产比重大，而且可用轧制方法生产各种加工所需的坯料。例如：拉丝、挤压等加工所需坯料几乎全是用轧制加工得来的。各种压力加工过程的共同点都是建立在金属塑性变形过程的基础上。但在研究变形特点及其对产品质量影响等问题时，则各种压力加工过程皆有其独特的应力状态和不同之点。

如以锻造和轧制为例，则可看到这两个加工过程是不同的。轧制是连续的，而锻造是不连续的加工过程。以前曾有人说：“轧制是锻造的积分”。这种看法不一定正确。在此问题上，苏联学者巴甫洛夫首先提出锻造与轧制还不如轧制与拉丝更接近些的看法，因为此二加工过程均为连续性的。

巴甫洛夫提出以下几种模型作比较（图1—1）：

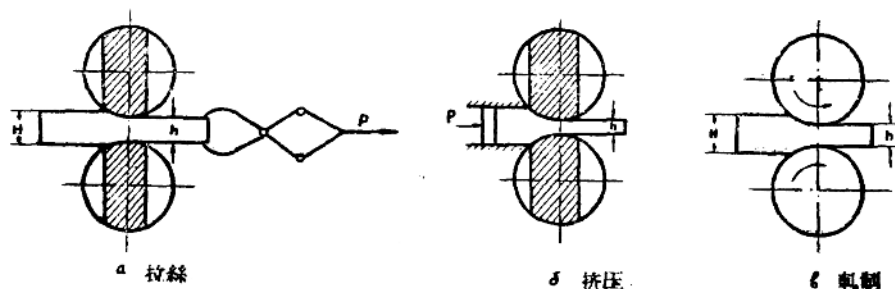


图 1—1

图1—1, b所示为轧制过程。如果轧辊不转动则转变成固定的模孔，在金属前端加以拉力即变成拉丝过程（图1—1, a所示）。如果将外力加在金属后端，并改为压力，

即金屬在模孔中以滚动摩擦代替了滑动摩擦，使 μ 值可由1.2~1.3增加到3~4或更高些。轉动式模孔的構造为在拉絲模的模孔上裝設有轉动的小軋，以保証金屬与模孔間的滚动摩擦。

拉絲過程中的应力状态为異号应力圖示，即如圖（1—2）所示， σ_1 、 σ_2 为压应力， σ_3 为拉应力，所以变形抗力較小。但此異号应力圖示由于摩擦力的影响則愈向金屬入口方面移动 σ_3 拉应力的影响則愈低，所以在金屬入口处 p 值較大，模孔磨損亦較严重。为了减少模孔入口处的变形抗力，在拉絲过程中可加以适当的后拉力。

拉絲过程不仅可以生产圓形綫材，也可以生产其他形狀的产品，並能制造管材。如冷拔鋼管等。

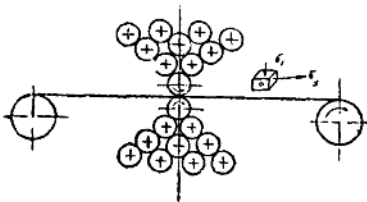


圖 1—3

制造薄板帶材常用拉伸—軋制过程，这是把拉絲与軋制过程联合起来的加工型式。此时工作軋是靠摩擦力来轉动，工作軋直徑可小到10公厘如，圖1—3所示。

2. 挤压过程分析

挤压过程也是連續的塑性变形过程之一，

此点与軋制及拉絲过程相同。这种加工方法对于金屬塑性变形有極良好的影响，可以得到最大的塑性，故挤压过程現已被广泛应用。例如，鋁鎂合金和黃銅合金在某些加工条件下显示出脆性，而用挤压过程加工則可得到良好的結果。

現在分析一下挤压加工工具与被加工金屬間的相互作用，如圖1—4所示，在aaa面上有金屬作用在工具上的压力（变形抗力为 σ ）及摩擦力 T 。在bbb及ccc面上也同样有阻碍金屬流动之摩擦力 T' 及 T'' 作用着，此外也有压力。由以上分析力的作用可知，变形区内主应力圖示为三向压缩，所以說明此种加工过程可得到較大的金屬塑性。但是，在三向压缩的主应力圖示条件下进行加工会使金屬变形抗力增大，故挤压一般均在高温下进行。

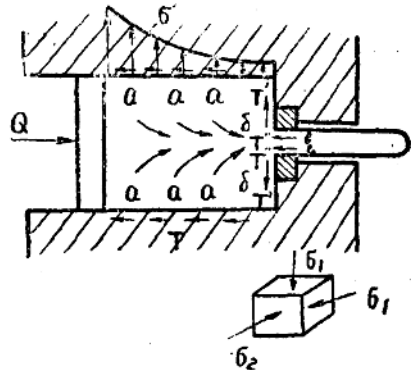


圖 1—4

挤压时金屬产生三向压缩的主应力圖示，这从塑性变形观点来看对变形金屬是有利的，

但从变形抗力及能量消耗的观点来看是不利的，所以这种加工过程並不适合于所有各种金屬，例如，在黑色金屬方面則很少应用，因为黑色金屬变形抗力高，为降低抗力必須增加温度（要达1100—1200℃），但在此种高温下加工工具强度則很成問題。对某些难熔的金屬也很少采用挤压加工过程。但它在有色金屬及某些低塑性合金的加工中已广泛采用。

最后應該指出，挤压过程变形区内的金屬均为三向压缩应力状态，这一点是共同的，但是在各部所受压缩程度則各有不同（即应力是不均匀分佈的），由于外摩擦的影

响是由表面層向金屬中心層方面逐漸減低，所以压缩应力也逐步減少，致使中心層的金屬容易流动。

挤压时各种变形区形状古布金 (Губкин) 归纳成三种情况 (如图1—5 I、II、III所示)。

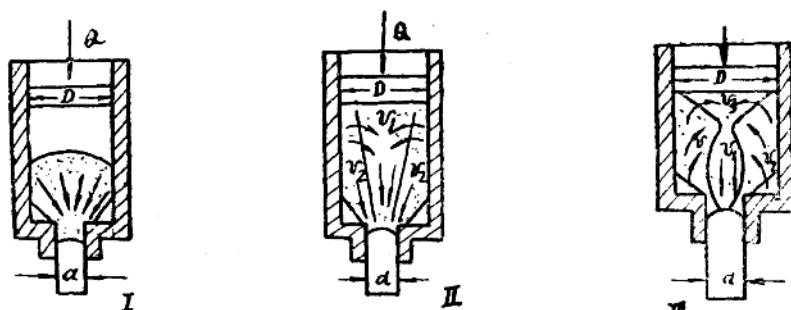


圖 1—5

1) 圖1—5. I 所示的第一种变形区并不是沿着金屬全部高度上产生的，而变形区只是普及到一部分。这种变形区形状在一般加工情况下很少遇到，只有当摩擦系数很小时才可能产生。

2) 圖1—5. II 所示的第二种变形区是实际上常见的型式，此时摩擦系数比前一种增高了， V_2 流域金屬流动阻力加大，所以多数金屬必流入 V_1 区域后，方可流出。

3) 圖1—5. III 所示的第三种变形区是在摩擦系数很大时才会出现，此时 V_2 区域金屬首先流入 V_3 区域，然后才可经 V_1 区域而流出。

挤压时影响变形区形状的，除摩擦因素以外，还有金屬之刚度 (Жесткость)。沿变形区横断面上金屬之刚度不同 (如外層金屬冷的快，則其刚度大)，則易产生后两种变形区形状。如各部分金屬的刚度均匀，則易出现第一种变形区。另外， D/d 比值愈大，則易产生第二、三种变形区。

以上，分析了三种变形区的型式，比较起来以第三种变形区最不好，所得产品之机械性能最差，並且挤余部分最大，浪费金屬最多。第二种变形区较好，第一种变形区最为理想。为了避免产生第三种变形区，可以采用润滑剂以减少外摩擦，或者采用反向剂压法 (圖1—6)。

如图1—7所示， h 为变形区高度，

第一种变形区时 $h = \frac{D}{2}$ 。在下角区域内

内变形过程中金屬不發生流动，此区域称为死区，死区一般說来是有利的，由于有死区可使产品表面光滑。在反向挤压中死区高度 h' 一般为 $(\frac{D}{8} - \frac{D}{4})$ ，当

摩擦系数很小，金屬塑性很好时，死区



圖 1—6

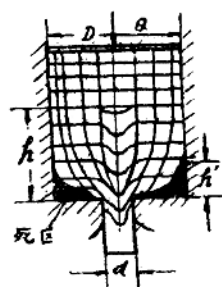


圖 1—7

可能消失。

总之，挤压时金属的流动情况是很复杂的，由于压缩率、外摩擦及机械性能等之不同，可以得到各种不同的金属流动图。但从经济观点及对产品品质影响来看，以第一、二两种变形区为宜（产品品质好，能量消耗少，金属消耗低），而第三种变形区应极力避免。

挤压过程可以得到很高的延伸率（ μ ），此点为其他压力加工过程所不及。就对产品性质影响来看， μ 值过低是不利的，因为 μ 小可使产品内外层的机械性能不均匀。当压缩率（ q ）达90%时，金属内外层性能可趋于一致，可以得到较高的产品品质。如图（1—8）所示。

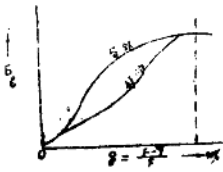


圖 1—8

挤压的动力设备为挤压机，它的能量消耗很大，挤压机的压力有 10,000 吨、5,000 吨、3,000 吨等，一般以 3,000 吨者最常用。

挤压过程所能制出的产品种类甚多，除常见的圆形棒材外，尚可制造各种异形断面之产品，如 S、L 等形状，这些产品用一般轧制方法是很难得到的。用挤压加工方法所得之产品品质较好，尺寸精确，表面也比较光滑。

挤压过程不仅能生产实心产品，同样也可以生产空心产品，如管材等。制管的挤压方式有两种，如图（1—9）所示。

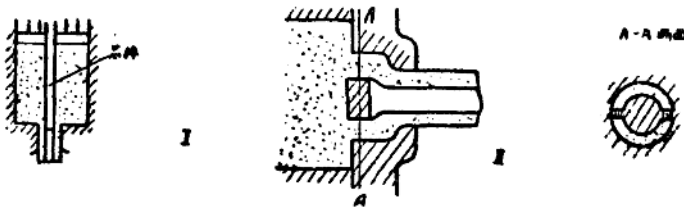


圖 1—9

挤压过程现在已愈来愈广泛的用于金属压力加工上，在开始时只用于有色轻金属，现在也用于有色重金属方面。今后尚待进一步研究，以求更广泛的采用。

对挤压问题的研究开始较晚，世界上最早对此问题进行研究的算是苏联学者古布金和他的学生们。他们对挤压生产及工具强度等问题都进行过研究，巴甫洛夫对挤压产品断面上产生裂纹问题作了较详细的研究。但应当指出，关于挤压方面尚有许多问题有待今后研究。例如，在变形区内金属流动的情况，断面上各处的不均匀变形以及加工工具等问题。

世界上有关挤压方面的参考书籍很少，第一本书为苏联学者依斯托民（Истомин）所著（1937年出版，以后曾有再版），近年来古布金和他的学生们在杂志刊物上曾发表了一些研究资料，可以作参考。

3. 轧制过程分析

1) 纵向轧制

所謂軋制過程就是金屬從兩個旋轉的軋輥間通過，金屬受軋輥的軋軋使其高度（或斷面）減少，而長度增加的加工過程。它是金屬壓力加工的主要方法之一。軋制的方式很多，此處僅就縱軋、橫軋與斜軋的加工過程加以分析，首先研究最常見的縱軋過程（以下簡稱為軋制過程），如圖 1—10 所示。軋制過程的變形特點是：金屬為連續的變形過程，即沿長度方向各斷面的變形情況相同，這與擠壓及拉絲是一致的。在軋制原理中所討論的問題目前一般尚只停留在簡單軋制情況上，對其它軋制情況的研究尚較少。

所謂簡單軋制情況必須遵守下列條件：

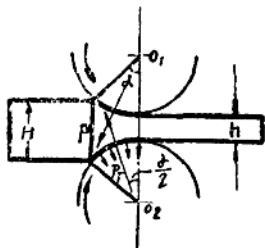


圖 1—10

(1) 兩個軋輥的直徑相同，皆有動力傳動，且其角速度相同；上下兩輥為同一材料制者，表面情況一樣，軋輥是平的；軋輥的彈性變形可以忽略。

(2) 軋件在軋制前是方形或長方形斷面，並且沿長度方向各處橫斷面相等；軋制前後在軋件寬度上各處高度相同，坯料體積內部各處具有同一的物理機械性質。

(3) 在遵守以上條件下，軋件在每個軋輥上之壓下量及上下兩輥接觸面上之摩擦力也相同，並認為軋件變形是均勻的。

應當指出，以上所說的簡單軋制情況是理想的情況，是假設的，在實際生產上這種情況並不存在。例如，由於有上壓或下壓的採用，使上下軋輥直徑不可能相等；兩個軋輥磨損情況也不會相同；軋制時軋輥的彈性變形也一定會產生（當研究特殊問題時應考慮此點）；軋件內部各處性質也很難完全一樣等等。但是為了研究問題方便起見，有這些假設條件也是完全必要的。當然從理論上看是要產生一定誤差。雖然如此，由簡單軋制情況出發所得到的結果，對指導實際而言還是足夠可靠的。

在孔型中軋制型材現在已廣泛採用，對此種軋制情況下的變形問題有些人已作了不少研究工作，這可參看塔爾諾夫斯基著的“金屬塑性加工時的變形”一書及雜誌上的一些論文。

現在分析一下在平軋上及孔型中軋制的特点。

1) 在平軋上軋制

軋輥曳入金屬的條件。只有實現軋輥曳入金屬才能完成軋制過程，關於自然曳入的條件可分為兩種情況：

i. 開始曳入的條件： $\alpha < \beta$ (α —曳入角； β —摩擦角)；

ii. 軋制形成階段使軋件保持繼續前進的條件： $\alpha \leq 2\beta$ 。

曳入角 α 增大可增加壓下量，提高軋機生產能力，但是 α 角的增加受到摩擦角 β 的限制，並且壓下量加大變形抗力也增加，這也聯系到能量消耗及軋機另件的強度問題。

在軋制形成階段 α 角未採用等於 2β ，此時會有剩餘摩擦力產生，這即構成軋件的前滑（Опережение）現象。

變形區內軋件的速度變化。根據體積不變的定理可寫出下式：

$$H \cdot B \cdot l_1 = h \cdot b \cdot l_2$$

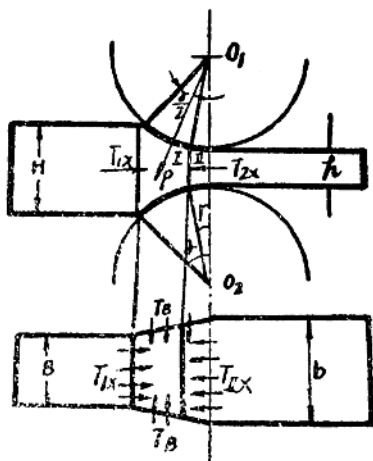


圖 1—11

由曲線上可看出在后滑区軋件速度落后于軋件水平分速度，而在前滑区则正与此相反。在后滑区軋件沿軋輥产生向后滑动，而在前滑区軋件则沿軋輥向前滑动。在对应于 \$\gamma\$ 角的断面上，軋輥水平分速度与軋件前进速度相等，此断面叫作临界面或中立面，此 \$\gamma\$ 角叫作临界角或中立角。

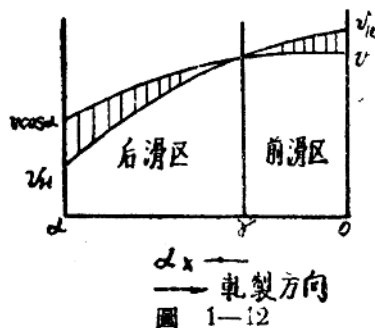


圖 1—12

在等式兩边除以軋制時間 \$t\$ 得：

$$\frac{HBL}{t} = \frac{hbl}{t}; \quad \therefore HB V_h = h_b V_b;$$

$$\text{因此: } V_h = \frac{HB}{h_b} \cdot V_b = \mu V_b;$$

式中：\$V_h\$ 与 \$V_b\$ —— 軋件进入及軋出变形区时的速度。

由上式可知軋件进入及軋出变形区时的速度是不同的，並且由数学分析及实验测量都可得到軋輥水平分速度与軋件速度也不相同，(勿論在 I 区或 II 区) 即：

$$V \cos \alpha > V_h \quad (\text{在入口断面上});$$

$$V < V_h \quad (\text{在出口断面上}).$$

以上结果可用圖 (1—12) 充分表示出：

在变形区内为何軋件会产生加速度及前滑，前已提到这是由于剩余摩擦力所引起的，此力就是 \$T_{1x}\$ 与 \$P_{1x}\$ 之差值，其方向与軋制方向相同。

軋制时的变形力学圖示。由变形区内金属受力情况分析 (圖 1—11) 可知軋制时应力状态圖示 (或主应力圖示) 为三向压缩，其主要变形圖示则根据不同情况而异。归纳起来軋制时的变形力学圖示 (主应力圖示与主变形圖示的組合) 有三种情况，圖 (1—13)。

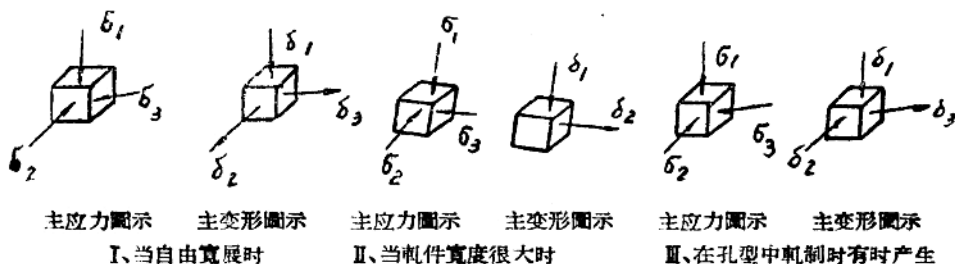


圖 1—13

应当指出，軋制时主应力圖示为三向压缩是指一般情况而言，实际上並不能完全符合于各种情况。例如沿軋件宽度上来研究，在边部其寬展較自由，故在该处实际上可

能产生拉应力；在孔型中轧制也可能在个别部分受拉应力作用。

对变形力学图示必须完全了解，因为它能影响许多问题，如金属变形分佈，变形抗力，金属塑性等等。

中立角的确立。在轧制形成阶段轧件等速向前运动，此时变形区内水平分力之总和为零。（即 $\Sigma x = 0$ ）。

$$\therefore T_{1x} = p_x + T_{2x}; \text{ 而 } T_{1x} = f p (\alpha - \gamma) \operatorname{Reos} \frac{\alpha + \gamma}{2} \approx p R (\alpha - \gamma);$$

$$p_x = p \alpha R \sin \frac{\alpha}{2} \approx p R \cdot \frac{\alpha^2}{2}; T_{2x} = f p R \operatorname{Reos} \gamma \approx p R \gamma; \quad (\text{设 } B_1 = B_2 = 1)$$

$$\therefore \beta (\alpha - \gamma) = -\frac{\alpha^2}{2} + \beta \gamma;$$

$$\text{最后得: } \gamma = \frac{\alpha}{2} \left(1 - \frac{\alpha}{2\beta} \right)$$

最后所得之公式表示出 α , β , γ 三角度间之关系，是轧制原理中很重要的一个关系式。现讨论如下：

(1) 当 $\alpha = \beta$ 时: $\gamma_{\text{макс}} = \frac{\alpha}{4} = 0.25\alpha$ ，即如果设宽展为零，当自然曳入时 γ 角最大，其值等于 0.25α 。

(2) 当 $\gamma = 2\beta$ 时: $\gamma = 0$ 。即在此时没有前滑产生，但在自然曳入时不会发生此情况，只有人为的曳入时才会产生此情况（如用楔形轧件作实验时可得到 $\gamma = 0$ ）。

(3) 当 $\alpha = \beta$ ，而 $\beta = \infty$ 时: $\gamma = \frac{\alpha}{2}$ ，此为 α 角理论上的极大值。

以上所研究之曳入条件及前滑等问题皆假设宽展为零，但实际上并不为零。如果考虑宽展之影响，则可得到：

i. 轧制形成阶段之曳入条件为 $\alpha = (1.5 \sim 2)$ ，当然也应注意到此式中已包括了压力不均匀分佈等因素的影响。

ii. 中立角是， $\gamma = K_1 \frac{\alpha}{2} \left(1 - \frac{\alpha}{2\beta} \right)$ ，式中 K_1 为系数。

影响前滑之因素很多。实际上是很复杂的，例如: $\Delta b = \psi(f)$ ；而 $\gamma = \psi(f)$ ，但是 Δb 增大则前滑减少，所以应分别情况加以具体研究。

2) 在孔型中轧制

上部分所讨论之问题是属于简单轧制情况者，即建立在许多假设基础上，然而实际情况常与假设条件不符，所以作为科学研究还有进一步讨论在其他情况下轧制特点之必要，苏联学者巴甫洛夫在八年前对 H_a 及 h_b 不为常数时的轧制情况曾进行了研究，其研究结果早已公佈。

轧制图示 (Схема прокатки) 巴甫洛夫对许多种轧制过程进行分析之后，将其归纳成以下四种轧制图示 (1—14 圖)。

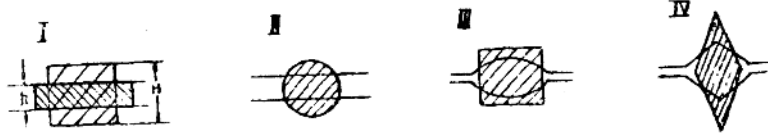


圖 1—14

I 圖示是在平軋輥上軋制方形或矩形斷面的軋件，其特点是沿軋件寬度上 μ 、 $d+h$ 、 d 、 H 、 h 、 α 皆等於常數（ d 為軋輥徑），此種情況即屬於以前分析過的簡單軋制情況。

II 圖示是在平軋上軋制圓形斷面的軋件，其特点是沿軋件寬度上 μ 、 $d+h$ 、 h 是不變的，而 H 與 α 是變化的。

III 圖示是在橢圓孔型中軋制方形或矩形軋件，其特点是沿軋件寬度上 μ 、 $d+h$ 、 H 是不變的，而 d 、 h 、 α 是變化的。

IV 圖示軋件與軋輥全不是平的，其特点為沿軋件寬度上 μ 、 $d+h$ 不變，而 d 、 H 、 h 及 α 是變化的。

以上四種情況不能只看作是圖形所表示的軋制情況，其他某些情況也可包括在此四種圖示之中，如圖1—15所示即屬於圖II示情況。



圖 1—15

巴甫洛夫所提出的四種軋制圖示，其歸納並不是很完善的，它未能概括全部縱軋情況，因為所提出的四種情況皆為軋件形狀與垂直及水平軸線對稱，但實際上常常遇到上下左右均不對稱的軋件形狀（如軋制特殊型材時即如此），故此為其缺點。雖然以上軋制圖示尚存在缺點，但是巴甫洛夫的首創工作給我們指示出歸納各種軋制過程之方向，因此科學工作者們以後應進一步研究此問題，以求能提出更好的軋制圖示，它能包括全部軋制情況與各種因素（例如：上下兩軋輥直徑不同）。

以上四種圖示中無論那種圖示均至少包含兩個不變化的因素，即 μ 與 $d+h$ ， $d+h$ 不變是表示上下軋中心軸線距離沿軋件寬度上是不變的，即兩軋彼此平行。 μ 是不是改變的，此問題尚待研究，現在許多學者尚有不同意見。

由實驗與理論研究皆可以認為無論沿軋件寬度上變形是否均勻，由於金屬的完整性使 μ 沿寬度上是保持不變的。

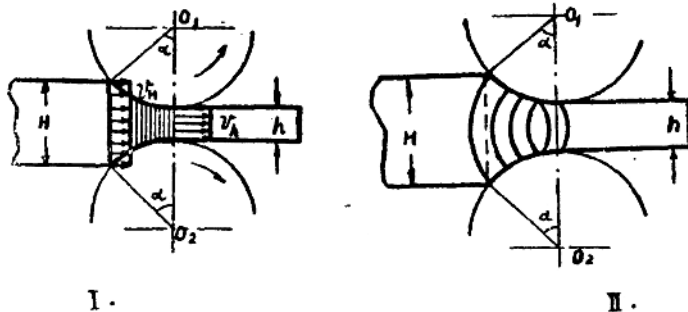


圖 1—16

沿寬度上 $\mu = \frac{L_h}{L_H} = \frac{v_h}{v_H} = \text{常数}$, $\therefore v_h = \text{常数}$ $v_H = \text{常数}$ 。

由于入口与出口断面上軋件运动速度沿寬度上是常数, 故可知在变形区内各断面也不应發生弯曲 (如图1—16. I 所示), 因为它们受入口与出口兩端限制, 由此可得出結論: 变形区内各断面沿高度上速度相等。

上述观点是巴甫洛夫提出的, 它受到一部分人的拥护, 但有另外一些学者並不贊同他的見解, 認為在变形区内各断面产生弯曲, 就是在入口与出口处也是如此 (圖1—16 II), 所以認為各断面沿高度上速度不等。致于說那个观点正确, 最好由精確的實驗来証实。

現在研究一下在孔型中軋制几个理論問題 (如曳入、前滑等) 的特点。曳入条件对圖1—14中 II, III, IX, 圖示來說, 只能就 $\alpha_{\text{макс}}$ 处的 $\alpha_{\text{макс}}$ (圖1—17所示) 来研究。开始曳入时为 $\alpha_{\text{макс}} \leq \beta$, 但在軋制形成阶段 $\alpha \leq 2\beta$ 的关系則不能应用于此种情况。这是因为其軋件与軋軑的接触面积与圖1—14中 I 圖所示的不同。对前滑問題茲分別討論如下:

圖1—17所示的軋制情况, 由于出口处軋件速度 v_h 沿寬度上是不变的, 所以沿軋件寬度上 γ 角与前滑值並不改变,

$$S = \frac{v_h - v}{v} 100\% = \text{常数}。$$

但是 $r = \frac{\alpha}{2} \left(1 - \frac{\alpha}{2\beta}\right)$ 关系式並不能适用于此种情况, 因为合力作用点与簡單軋制情况时不同, 故一般只能近似的應用。

圖1—18所示为圖1—14 III 圖示的軋制情况, 此时 γ 角沿寬度上是变化的, 因为 v_h 是常数, 而 v 是变化的 (由于軋軑工作直徑不同), 而 $S = \frac{v_h - v}{v} 100\%$, 所以前滑值是变量。

如果其变化較大时則可能形成如图1—18 虛綫所示那样, 此时沿軋件寬度上有些地方前滑为負值。

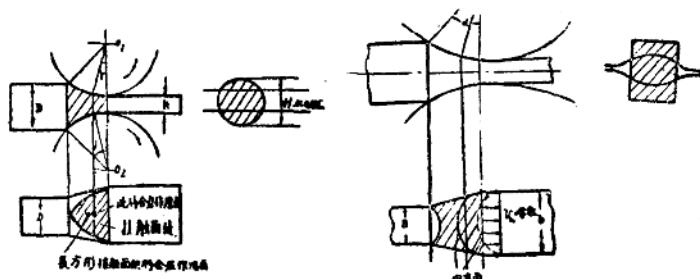


圖 1—17

圖 1—18

圖1—14中 IV 圖示的情况由于 α 角的变化使前滑的变化与以前討論过的情况有所不同, 使問題愈趨复杂化。

总结以上討論可得結論: 由圖1—14中的 I 圖示过渡到 IV 圖示使軋制情况逐渐复杂

化，对于研究如： Δb 、 S 、 P ，等各理論問題更感困难。对于Ⅱ、Ⅲ、Ⅳ圖示的研究，虽然現在有些进展，但还很不夠，此为今后研究的方向。

2) 橫向軋制与斜向軋制

如圖 1—19，Ⅰ所示，縱向軋制特点为两个軋輥互相平行並其旋轉方向相反，而軋件延伸方向与軋輥运动方向相同。如果將上軋輥繞垂直軸綫轉180度角时則变成橫軋(圖 1—19，Ⅱ) 此时各軋輥轉动方向相同，而軋件只有轉动运动，並且其轉动方向与軋輥相反，軋件延伸方向与軋輥軸綫平行。如果將縱向軋制的上軋輥繞垂直軸綫轉动小于180度角(如 156°)时，則变成斜向軋制。斜軋特点是軋輥軸綫不在同一平面內，彼此相交成一定角度，因此軋件既有橫軋的轉动性質，也有縱軋的向前运动性質。

斜軋的应用很广，比橫軋为普遍。橫軋与斜軋所用坯料皆为圓形或近似圓形。

孔腔生成理論。如圖 1—20所示，橫軋时軋件受 P 力作用使之变形，並由于表面上摩擦力之作用使之随軋輥旋轉，待軋好后軋件則如圖 1—20 Ⅰ所示那样被取出。

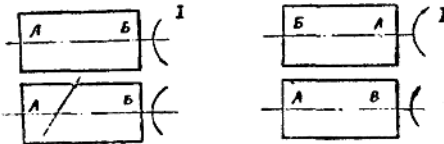


圖 1—19

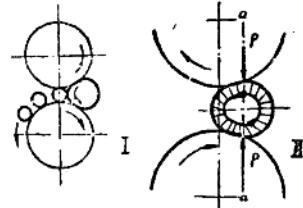


圖 1—20

橫軋时由于軋件上轉动力的作用点經常变化使金屬內应力状态非常复杂，由于此复杂力交替作用的结果，在軋件內部將引起小裂口，而逐漸形成孔腔。

孔腔生成的理論很多，但对孔腔生成的原因都不能給出完滿的解釋。很久以前有些人認為孔腔生成是由于切应力(τ)作用的结果，如圖 1—21所示。但是这个理論的提出不是根据实验資料，而是出于想象，即認為当外力作用后金屬質点必沿虛綫流动而使中心产生很大切应力，此力达到一定值后使金屬裂开。現在經過实验証明此观点是錯誤的，如圖 1—22所示，金屬受压力后外層已經变成橢圓而中心部分組織仍是原来的圓形，这証明塑性变形並未深入到中心部分，而首先产生于外層金屬，所以中心部分切应力不能是最大的。在目前苏联学者中已无人拥护这一理論了，而一般都認為孔腔是由于拉应力作用的结果。

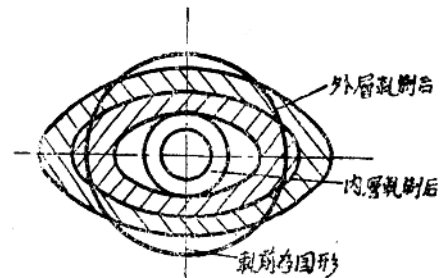


圖 1—21



圖 1—22

如圖 1—20 Ⅱ所示，当金屬受力作用后，最外層产生了塑性变形使圓周長度增加，而中心層並未变形，其情况好象硬蕊子外面套

上管子受压时一样。如图1—23所示，若管子套在硬蕊子上轧制时，由于管子产生塑性变形使其直径增加，最后使蕊子很容易抽出。这样由于外层金属变形而内层金属未变形，外层金属必对内层金属给以拉力作用，由于轧件旋转结果使中心处形成放射状拉应力（如图1—23，II所示）。当拉应力达到一定值时使金属破裂而成孔隙。

中心部分金属除了受放射状径向拉应力之外，沿长度方向上（轧辊轴线方向）也是受拉应力作用。如图1—24所示，外层金属产生塑性变形，使轧件长度增加，但其内层金属（阴影部分）未变形，长度不变，结果内层金属受外层给以拉力作用。

由分析的结果可得结论：横轧时内层金属是处于三向拉应力状态下，使该部金属塑性降低，因而易生成孔隙。

以上所讨论的是横轧过程，而斜轧过程孔隙生成的原因也与此相同。最后应当指出，对于横轧与斜轧过程中金属变形方面的一些理论问题实验研究尚不多，故有许多现象尚无实验与理论上的论证。

斜轧与横轧不是完全相同的，轧件虽然都是圆的也是旋转的，但轧辊布置与形状则完全不同。斜轧的两轧辊轴线相交成一定角度，一般为 12° （图1—25所示）。

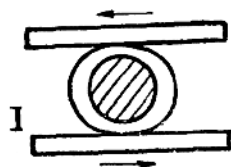


图 1—23

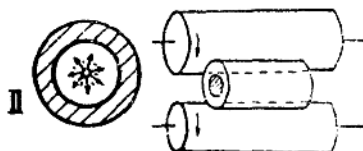


图 1—24



图 1—25

当然这种相交不是在一个平面上的相交。斜轧轧辊是鼓形，如图26所示，恰为两个截锥体所组成。金属从前锥（曳入锥）送进之后，随着变形而使中心部分生成孔隙，借芯头之助而将内壁压平，由轧辊轧出后即成荒管。

现在分析一下斜轧过程中轧件前进与旋转运动的产生。如图1—27所示，由于 x 力使轧件向前运动，而 y 力使之旋转，设若只有 x 力则变成纵轧，而只有 y 力则变成横轧。 x 力比 y 力小很多，靠它使轧件曳入。在斜轧中也有剩余摩擦力，故也有前滑产生，但其值很小，因为它被芯头之摩擦阻力消耗了一些。斜轧中有另一现象是纵轧中没有的，即由于变形区内轧辊直径是变化的，故其速度不同，因之使轧件前端对后端产生扭转。所有这些问题尚待我们进一步研究。

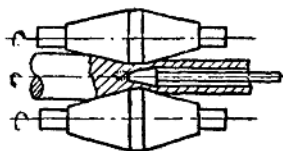


图 1—26

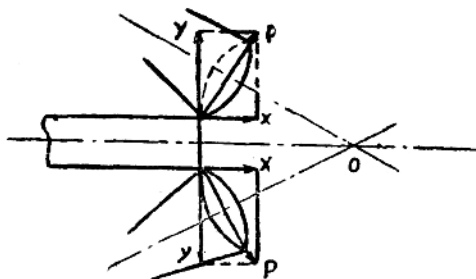


图 1—27