

軋管機軋輥 及工具設計

Ю. М. 馬特維也夫 Я. Л. 瓦特金 著

李連詩 等譯

冶金工業出版社

軋管机軋輥及工具設計

Ю. М. 馬特維也夫 Я. Л. 瓦特金 著

李連詩 程榕南 陈兴德 合譯

冶金工業出版社

本書系根据苏联黑色及有色金屬科技書籍出版社出版的技术科学候補博士 Ю.М. 馬特維也夫和 Я. Л. 瓦特金所著 [軋管机軋輥及工具設計] 1951年莫斯科版譯出。

書中闡述了应用最广泛的軋管机和焊管机的工具設計方法。引証了关于新型軋管机和焊管机工具設計簡要的知識。敘述了与工具設計方法有連帶关系的無縫管和焊接管生产过程主要的理論概念。

本書乃供科学工作者、工程师——生产者（孔型設計者和工艺技师）之用，对高等学校軋管專業高年級的学生們也是有益的。

本書由北京鋼鐵工業学院李連詩、程榕南和鞍山鋼鐵公司陈兴德同志合譯。由李連詩、程榕南同志和楊尚灼教授校訂。

Ю.М.МАТВЗЕВ И Я.Л.ВАТКИН: КАЛИБРОВКА ВАЛКОВ
И ИНСТРУМЕНТА ТРУБНЫХ СТАНОВ
Металлургиздат (Москва—1951) .

軋管机軋輥及工具設計 李連詩 等譯

1957年2月第一版 1957年2月北京第一次印刷2,545册

850×1168•1/32•325,000字•印張 $12\frac{28}{32}$ •定价(10) 2.10元

冶金工業出版社印刷厂印 新華書店發行 書号 0545

冶金工業出版社出版(地址:北京市灯市口甲45号)

北京市書刊出版業營業許可証出字第093号

目 录

序言.....	6
---------	---

第一部分 無縫管和焊接管生产过程理論的一些知識

第一章 斜軋原理.....	8
§ 1. 斜軋过程运动学.....	8
§ 2. 金屬对軋輥滑移.....	11
§ 3. 穿孔工作時間.....	16
§ 4. 穿孔时孔腔的形成.....	24
§ 5. 穿孔因素对毛管質量的影响.....	28
§ 6. 穿孔能量消耗与工具設計的关系.....	36
§ 7. 穿孔能量消耗的計算.....	44
第二章 在圓和橢圓孔型中的軋管理論.....	50
§ 8. 軋管时变形区的几何特点.....	50
§ 9. 在圓和橢圓孔型中的軋管运动学.....	61
§ 10. 軋管时孔型磨損的因素——前滑.....	68
§ 11. 往复軋制理論部份.....	71
第三章 管的造形和焊接过程理論.....	80
§ 12. 造形过程.....	80
§ 13. 生产焊接管的焊接过程分类.....	84
§ 14. 压力焊接过程.....	85
§ 15. 熔合焊接过程.....	92
§ 16. 联合焊接过程.....	96

第二部分 軋管机工具設計

第四章 自动軋管机机組工具設計.....	101
§ 17. 机組类型及其种类.....	101
§ 18. 拟制軋制表的基本原則.....	109
§ 19. 軋制表計算方法.....	114

§ 20. 穿孔机軋輥設計.....	121
§ 21. 穿孔机心棒設計.....	127
§ 22. 穿孔机軋板設計.....	137
§ 23. 蘑菇型和盤型穿孔机工具設計.....	143
§ 24. 自动軋管机軋輥和廻送滾設計.....	145
§ 25. 自动軋管机心棒設計.....	149
§ 26. 均整机軋輥、心棒和軋板的設計.....	153
§ 27. 軋制表計算例題.....	159
§ 28. 某些工厂工具設計数据.....	163
第五章 往复式軋管机机組工具設計.....	197
§ 29. 机組类型及其种类.....	197
§ 30. 拟制軋制表的基本原則.....	200
§ 31. 軋制表計算方法.....	201
§ 32. 往复式軋管机机組的穿孔机工作軋輥設計.....	206
§ 33. 穿孔机方向軋設計.....	209
§ 34. 穿孔机心棒設計.....	211
§ 35. 往复式軋机軋輥設計.....	219
§ 36. 軋制異形管的往复軋輥設計.....	230
§ 37. 往复式軋机及棒桿設計.....	238
§ 38. 往复式軋机导板設計.....	239
§ 39. 管熱定徑及熱矯正的工具設計.....	245
§ 40. 某些工厂工具設計数据.....	246
§ 41. 軋制表格計算例題.....	247
第六章 連軋机机組之工具設計.....	262
§ 42. 長心棒連軋机类型及其种类.....	262
§ 43. 軋制表計算方法.....	264
§ 44. 七对軋連軋机的穿孔机軋輥和心棒設計.....	268
§ 45. 連軋机軋輥孔型設計.....	270
§ 46. 連軋机軋輥 [橢圓孔型設計] 計算例題.....	281
§ 47. 連軋机軋輥新的孔型設計.....	286
§ 48. 連軋机心棒.....	292
第七章 減徑机軋輥孔型設計.....	294
§ 49. 軋机类型及其种类.....	294

§ 50. 二輥式減徑机工具設計	299
§ 51. 二輥式減徑机輥孔型設計計算例題	310
§ 52. 三輥式減徑机輥孔型設計	313

第三部分 焊管軋机的工具設計

第八章 簡述爐焊搭接管設備之工具設計	320
§ 53. 設備类型及其种类	320
§ 54. 決定管坯尺寸	322
§ 55. 搭接管軋机工具設計	324
§ 56. 坯料軋机工具設計	325
第九章 爐焊对接管設備之工具設計	320
§ 57. 設備类型及其种类	330
§ 58. 爐焊对接管鏈式軋机之喇叭口設計	333
§ 59. 爐焊对接管之連軋机輥孔型設計	336
§ 60. 爐焊对接管時管坯尺寸決定	346
§ 61. 爐焊对接管設備的工具設計	349
第十章 管坯造形工具設計	362
§ 62. 設備类型及其設計方法分类	362
§ 63. 造形机輥設計	370
§ 64. 造形机輥設計計算例題	385
§ 65. 造形压力机工具設計	389
第十一章 电焊管軋机工具設計	394
§ 66. 設備类型及其种类	394
§ 67. 選擇坯料寬度	400
§ 68. 电阻焊管軋机工具設計	402
§ 69. 熔剂層下輥式焊管軋机工具設計	404
§ 70. 原子氬焊管軋机工具設計	405
§ 71. 电焊管冷定徑机之輥孔型設計	407
参考文献	410

序 言

在蘇維埃政權年代中，軋管生產方面獲得了很大的成就。鋼管工業的設備能力增加到十倍以上；舊的設備得到了改建和機械化，並建立了新型高度生產能力的設備。

革命前的俄國，鋼管工業發展非常緩慢。由於對鋼管的需要不多，甚至有些工廠沒有充分發揮作用。

偉大的十月社會主義革命後，顯著地改變了鋼管工業情況。國民經濟各部門蓬勃地發展，特別是石油，汽車和航空工業，化學機械製造業，動力和公用事業要求大力增加鋼管生產。

共產主義偉大建築工程，巨大水道的建設，沒有大量鋼管供應是不可想像的。

軋管生產不斷地擴大和改進，其設備能力逐年增加。鋼管工業一年年獲得愈來愈高的生產指標。

由於無縫管和焊接管生產的現有設備生產率激烈的增加和新型高度生產率的設備的開工，軋管生產獲得了增漲。

除了數量指標增長之外，鋼管工業在質量上也獲得了很大的改進。軋管廠愈來愈多地裝備了最現代化的設備：往復式軋機，電焊管軋機等。

我國鋼管工業已經掌握了各種不同斷面形狀和尺寸的普通和合金鋼管的生產，也已經掌握了大尺寸的不銹鋼及耐熱鋼的鋼管，特殊計器管，特別薄壁的不銹鋼管等的製造。

設計了軋管機更現代化型式的軋輥及工具：穿孔機，往復式軋機，減徑機等。掌握了用新鋼號生產軋管機高度耐久性的工具。

很多蘇聯學者在鋼管生產的各方面進行了新的、創造性的研究促使鋼管生產成功的發展。

蘇聯學者的研究，首先是 А.П. 維諾葛拉多夫教授，蘇聯科學院通訊院士 И.М. 巴甫洛夫，烏克蘭科學院院士，技術科學

博士 A. П. 切克馬略夫教授等的研究，对孔型設計科学的發展起了卓越的作用。

應該特別指出的，烏克蘭科学院通訊院士，技术科学博士 П. Т. 叶明揚宁科，對於鋼管軋制和鋼管軋机工具設計科学的創建和發展起了很大作用。

苏联学者技术科学博士 A. И. 柴利可夫教授，B. C. 斯米勒諾夫教授及其他科学工作者和生产工程师：С. И. 保力索夫，Н. В. 巴紐斯金，A. A. 謝夫欽科，M. Г. 皮沙宁科，И. A. 伏米切夫，И. В. 杜波罗夫斯基，Л. И. 馬特拉赫夫，A. M. 茲伏亞根柴夫及很多其他学者的研究同样是很著名的。

虽然關於鋼管生产各种問題进行了很多的研究，但是还未总结出工厂和研究者所积累的關於軋管机和焊管机軋輥及工具設計方面的經驗。

不同的工厂，在同一类型的設備上，常常採用不同的方法来決定工具尺寸及断面形狀。

本書中根据鋼管生产的理論和实际，闡明了軋管机及焊管机軋輥和工具的設計方法。

由於工具設計与設備和軋制过程的工艺紧密联系的緣故，在某些情况对工艺过程及設備特性給于簡要的說明。

同时著者認為有必要在本書前面簡要的敘述一下，關於在斜軋軋机上穿孔和圓孔型中軋制，管的造型和焊接这些理論的現代情况。

本書仅敘述我国鋼管工業广泛發展的以及有發展前途的，或者至少是还能長期存在的生产方式的工具設計方法。

書中未討論与冷拔管生产紧密联系的冷轧及冷拔管軋机的軋輥及工具設計問題，因为關於这些問題的知識有專門的参考文献。

作者希望，本書对科学工作者，生产工程师、技术員和鋼管專業的冶金大学生在他們实际工作中有所帮助。

第 一 部 分

無縫管和焊接管生产过程理論的一些知識

第一章 斜 軋 原 理

§ 1. 斜軋过程运动学

軋輥和心棒的外形对穿孔坯料的速度和金屬对軋輥滑移情况有很大影响；归根到底它决定了斜軋机的生产率，工具的耐久性和其它技术过程的指标。

一般情况斜軋机軋輥的形狀，是两个或者几个截面圓錐体組合而成，而中間是圓柱体。軋輥彼此傾斜一定角度，並在同一方向上旋轉。軋輥对穿孔坯料軸的傾斜保證了坯料一面旋轉运动和一面前进运动。

斜軋机軋身表面上任一点之圓周速度 U_x 用公式 (1) 决定：

$$U_x = \frac{\pi D_x n}{60}, \quad (1)$$

式中 D_x —— 所討論的 x —— x 截面的軋輥直徑，公尺；

n —— 軋輥每分鐘轉數。

把圓周速度向量 U_x 分解为沿着穿孔軸方向和垂直穿孔軸方向的兩個分向量（圖1），那么可以得到軋輥表面任一点运动速度之分量：在軸向方向 —— 移动速度 v_x 和在旋轉方向 —— 旋轉速度 v_y ，他們各等於：

$$v_x = U_x \sin \alpha; \quad (2)$$

$$v_y = U_x \cos \alpha_0 \quad (3)$$

把公式 (1) 中的 U_x 值代入方程式 (2) 和 (3), 即得:

$$v_x = \frac{\pi D_x n}{60} \sin \alpha; \quad (4)$$

$$v_y = \frac{\pi D_x n}{60} \cos \alpha, \quad (5)$$

式中 α —— 穿孔軸对軋輥軸之傾斜角。

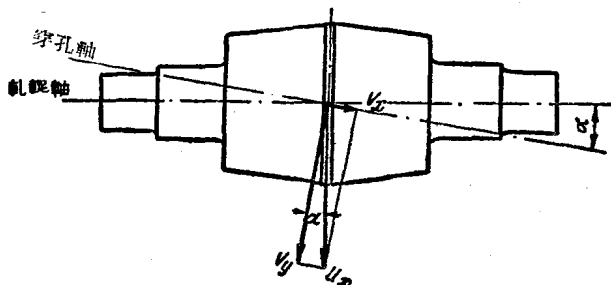


圖 1 圓周速度向量分解圖

从公式 (4) 和 (5) 可得出, 移动速度 v_x 和旋轉速度 v_y 決定於軋輥軸对軋制軸的傾斜角和軋輥尺寸。設計的任务就是要把这些数值選擇得最合適。

坯料的轉数和坯料轉一周或半周的軸向位移值 (亦就是通常所稱的螺距) 都是斜軋过程的运动参数, 这些参数在設計軋管机的工具时具有实际的意义。考虑到金屬沿軋輥的滑移, 並使坯料轉数具有足够实用的准确度, 要根据軋輥表面上某一点的旋轉速度等於坯料相对应点的速度这一条件, 来决定坯料的轉数; 这可以用方程式表示之:

$$\frac{\pi D_x n}{60} \cos \alpha = \frac{\pi d_r n_r}{60} \eta_r \zeta,$$

由此

$$n_r = \frac{D}{\xi_r d_r} n \cos \alpha \eta_r, \quad (6)$$

式中 n_x ——坯料某截面每分鐘的轉數；

d_x ——坯料某截面的直徑，公尺；

η_r ——在切線方向上的滑移系数（向坯料旋轉方向的）；

ξ_r ——某截面的橢圓度系数。

为了决定斜軋时的螺距数值，可利用塑性变形时，体积不变的条件：

$$F_0 v_0 = F_1 v_1 = \dots = F_x v_x = \dots = F_r v_r, \quad (7)$$

式中 $F_0; F_1; \dots F_x$ ——坯料橫截面的面积，公尺²；

F_r ——毛管橫截面的面积，公尺²；

$v_0; v_1; \dots v_x$ ——变形区相当截面的坯料前进速度，公尺/秒；

v_r ——金屬从軋軋出来的前进速度，或毛管速度，公尺/秒。

毛管出口的速度和毛管出口处軋軋表面上的速度不同，因为金屬对軋軋發生了滑移。这可以用一个比值来表示：

$$\frac{v_r}{v_s} = \eta_0, \quad (8)$$

式中 v_s ——毛管出口处軋軋表面上的前进速度，公尺/秒；

η_0 ——軸向滑移系数。

因之，

$$v_r = v_s \eta_0. \quad (8a)$$

利用上述的关系，可得到变形区任一截面金屬前进速度：

$$v_x = \frac{F_r}{F_x} v_s \eta_0. \quad (9)$$

把毛管出口处軋軋表面上点的前进速度值代入式子 (9)

中，即得：

$$v_r = \frac{\pi D_s n}{60} \sin \alpha \frac{F_r}{F_x} \eta_0, \quad (10)$$

式中 D_s ——毛管出口处的軋軋直徑，公尺。

不計坯料每轉一周之移动速度的变化，並認為坯料旋轉角速

度为常数，坯料每轉一周时期，所選擇的穿孔坯料截面之軸向位移（或另言之，螺距）可以近似決定。这时从圖 2 可得出：

$$s_x = v_x \tau_x, \quad (11)$$

式中 τ_x ——坯料轉一轉的时间，秒。

$$\tau_x = \frac{60}{n_x} = \frac{60}{\frac{D_x}{\xi_x d_x} n \cos \alpha \eta_x}. \quad (12)$$

把 v_x 和 τ_x 值代入等式 (11) 得到：

$$S_x = \pi d_x \operatorname{tg} \alpha \frac{F_r D_b}{F_x D_x} \cdot \frac{\eta_o}{\eta_x} \xi_{x0}. \quad (13)$$

用橢圓度系数決定坯料的橢圓度，橢圓度系数等於橢圓弧長和內接在橢圓中的圓周長之比。測量軋住坯料的样品表示出，對於各种孔型設計的橢圓度系数变化範圍： $\xi_x = 1.014 - 1.023$ ，而且小值適合於長的穿孔錐，大值適合於短的穿孔錐。

假如在公式 (13) 中，採取 $F_x = F_r$ 和 $D_x = D_b$ ，並不考慮坯料的橢圓度和金屬對軋輥的滑移，可得螺距的式子如下：

$$S_x = \pi d_x \operatorname{tg} \alpha. \quad (14)$$

公式 (14) 仅对坯料出口截面（也就是軋制过程終了了的截面）求出螺距的近似值（不考慮滑移）。因此应用公式 (14) 是不合理的。

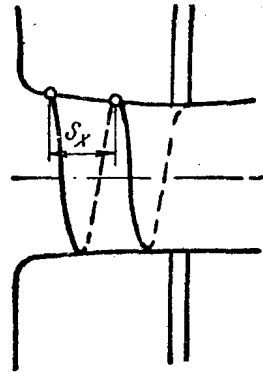


圖 2 每轉一周坯料截面
軸向位移圖

§ 2. 金屬對軋輥滑移

在斜軋机上，金屬對軋輥表面的滑移是不可避免的，這是由單位時間內通過變形區不同截面的金屬的體積為常數的條件下而得出的。

利用方程式 (7) 可寫出：

$$F_o v_o = F_r v_r; \quad (15)$$

由此

$$\frac{F_o}{F_r} = \frac{v_r}{v_o} = \mu_{\Sigma}, \quad (16)$$

式中 F_o 和 F_r ——坯料和毛管的橫截面面积，公尺²；

v_o 和 v_r ——金屬进口和出口的前进速度，公尺/秒；

μ_{Σ} ——总延伸系数。

在斜軋机上穿孔时，延伸系数在 $\mu_{\Sigma} = 1.5 \sim 4.5$ 之間变化；因之，沿着变形区長度，金屬前进的速度也应该有相同倍数的变化。但是由於适应於沿軋身長度軋軋直徑的变化，軋軋傳給穿孔坯料的前进速度〔方程式 4〕，在軸向方向上的变化范围，不大於 5—8%，因此金屬实际的移动速度，同軋軋表面的移动速度不相符合。因而在金屬和軋軋之間必定發生滑移。

金屬对軋軋的滑移對於斜軋机上穿孔过程有很大的影响。穿孔工作時間，能量消耗和工具的耐久性随着滑移数值而变化。为了拟定合理的穿孔机工具設計，必須研究滑移現象和影响滑移的因素。苏联在这方面进行过很有价值的研究。

П. Т. 叶明揚宁科（在作者参加之下）曾全面的研究过穿孔鋼錠的滑移，而 Н. П. 別茲克魯濱科，А. И. 柴利可夫和 Н. Д. 羅馬金，С. П. 葛拉諾夫斯基，О. А. 波利亞茲可夫斯基，А. А. 謝夫欽科等人，对穿孔坯料进行过全面的研究。

在 1938 年，本書作者在出口側帶有兩個焊接軋端的軋軋上作过穿孔鋼錠的實驗（圖 3）。在軋住的鋼錠上（圖 4），在穿孔部分殘存着焊接軋端的兩個相平行的螺旋線痕跡。測出在毛管上所得到的痕跡間之距离，与在穿孔鋼錠的軸向上相对应的軋軋焊接軋端之間距离，相互比較的結果指出，在任何情況下，出口区域都發生金屬后滑，后滑值从 5% 到 7%。

分析上面列举的實驗可以作出以下的結論：

1. 滑移值随着被穿孔坯料的直徑的增加而增加。
2. 穿孔速度的增加，使滑移也增加，这可以用金屬和軋間

的摩擦系数的减少来解释。

3. 金属温度增加时，摩擦系数就降低；这就引起滑移的增加。但是此时金属塑性提高了，因而减小了心棒的反作用，而造成滑移降低。所以为了减小滑移，希望在高温下进行穿孔。

4. 轧辊的调整和心棒的位置都可以改变滑移值。例如，心棒的尖端过份的移出压缩线后，对穿孔增加了阻力，因而提高了滑移。轧辊相靠近，增加了压缩量，因而减小了金属对轧辊的滑移。

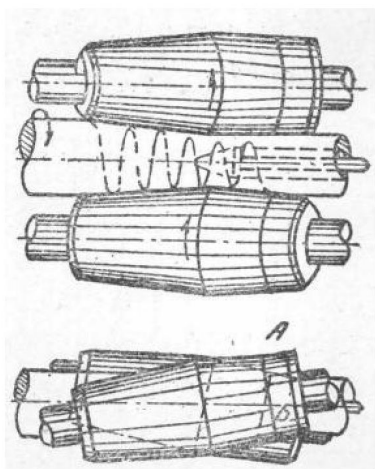


圖 3 帶有焊接軋端的軋軋
(供研究滑移用)
A 和 B—軋端

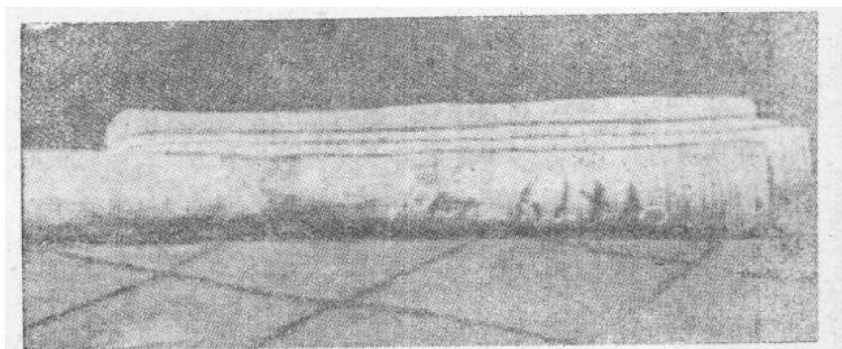


圖 4 有軋端（軋端焊接在軋軋头上）痕跡的毛管

5. 毛管的壁厚對於金属对軋軋的滑移影响不大。

6. 加大軋軋傾斜角可以减小滑移，这可用移送力加大来解释。

對於沿变形区滑移系数分佈的實驗研究，O. A. 波利亞茲可夫斯基曾做过特殊的实验。

在穿孔机軋輥上，沿軋身長度刻有鑽心的標記（圖 5），這樣的標記在軋住的坯料上遺留了印跡。

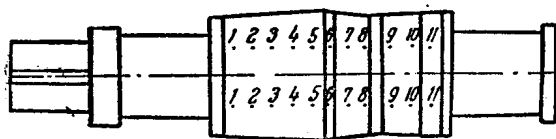


圖 5 鑽心在穿孔机軋輥上佈置圖

把根据公式（4）求出的軋輥每个截面的移送速度与測量印跡之間的距离所得到的金屬实际速度 v_{Φ} 相比較，並計算出滑移系数：

$$\frac{v_{\Phi}}{v_r} = \eta_0. \quad (17)$$

这个系数对变形区任一截面都小於 1，亦就是沿着軋輥整个長度，金屬对軋輥表面上任一点都發生后滑。

在 O.A. 波利亞茲可夫斯基的實驗基础上可以做出結論，即表示金屬后滑的平均滑移系数（圖 6 水平直線 1, 2, 3）近似的等於軋輥出口部分的滑移系数。如此，估計不同設計时，利用軋輥出口部分之滑移系数，可以相当近似的应用到变形区任何部分。

在切線方向上，滑移分佈的特点（根据几个實驗的数据）表示在圖 7 上。軋輥長度的絕大部分發生后滑，而仅在軋輥前端約为軋輥長 $\frac{1}{6}$ 的部分，金屬对軋輥表面相对应的区域是前滑。切線滑移系数之平均值与在軋輥出口处之滑移值相符合，且其值近於 1。

沿着全部变形区存在着很大的滑移是工具很大磨損的原因之一。所以合理的設計任务在於作出保証金屬沿着軋輥有最小滑移的工具形狀。

已經指出过，以滑移系数来表示的滑移根据一系列的因素而定。实际上通常所利用的滑移系数一般是根据式子（17）或用下一关系来决定：

$$\frac{T_r}{T_{\Phi}} = \eta_0, \quad (18)$$

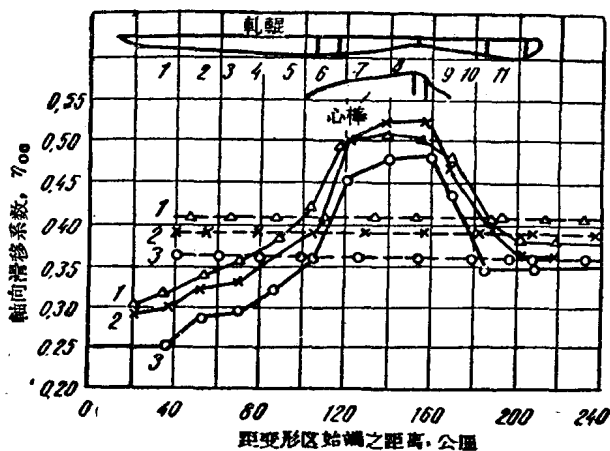


圖 6 滑移系数沿变形区之分佈

1, 2, 3——各該实验的数据

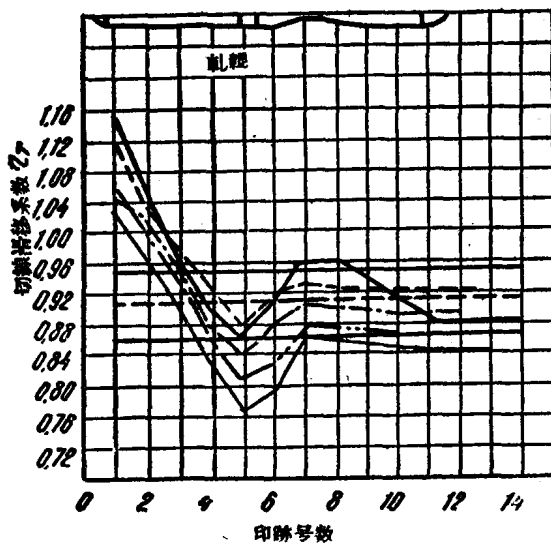


圖 7 切線滑移系数沿变形区的分佈

式中 T_r —— 不考虑滑移的理论穿孔时间, 秒;

T_ϕ —— 实际穿孔时间, 秒。

滑移系数 (各研究者的数据) 根据穿孔的条件波动在很大范围中。对于大概的决定滑移系数可以推荐下面公式:

1) 穿孔钢锭时 (轧辊倾斜角 $3^\circ - 5^\circ$, 轧辊圆周速度 1—2 公尺/秒):

$$\eta_0 = 0.9 - 0.035 \sqrt{D_0 - 300}; \quad (19)$$

2) 穿孔轧制的坯料时:

a) 轧辊倾斜角为 10° , 轧辊圆周速度为 4—5 公尺/秒;

$$\eta_0 = 0.9 - 0.0015 D_s; \quad (19a)$$

б) 轧辊倾斜角为 8° , 轧辊圆周速度为 5—6 公尺/秒;

$$\eta_0 = 0.8 - 0.0011 D_s; \quad (19б)$$

в) 轧辊倾斜角为 8° , 轧辊圆周速度为 4—5 公尺/秒:

$$\eta_0 = 0.85 - 0.001 D_s, \quad (19в)$$

式中 D_0 —— 钢锭平均直径, 公厘;

D_s —— 坯料直径, 公厘。

切线方向上的滑移系数现在研究的还不够。按照不同学者的实验, 由于穿孔条件不同, 切线滑移系数变动很大。根据 Н.Д. 罗马金的实验, 当穿孔直径为 114—219 公厘的管子的坯料时, 此系数变化范围如下:

$$\eta_r = 0.612 - 0.922,$$

而根据 О.А. 波利亚兹可夫斯基的实验, 切线滑移系数接近于 1:

$$\eta_r = 0.96 - 0.97.$$

§ 3. 穿孔工作时间

穿孔机是生产无缝管设备中主要的机械。所以减少坯料穿孔时间是首要的任务。穿孔机每小时的生产率 P_v 按照下式决定:

$$P_v = \frac{3600G}{T} \text{ 吨/小时}, \quad (20)$$