

材料設計 鋼型孔 異式蝶

周 中 全 譯

重 工 業 出 版 社

簡 介

本書討論一般異型鋼材中預軋孔型的蝶式孔型設計法，並按每種產品舉例說明所述蝶式孔型設計法的實際運用。

本書可供工廠孔型工作者，軋鋼工程師以及軋鋼專業學生之參考。

異型鋼材蝶式孔型設計

РАЗВЕРНУТАЯ КАЛИБРОВКА
ФАСОНЫХ ПРОФИЛЕЙ

原 著 者： Д. Д. Старченко

原出版者：МЕТАЛЛУРГИЗДАТ

譯 者：周 中 全 校閱：崔 峯 編校：趙 香 苓

重工業出版社（北京西直門內三官廟11號）出版 新華書店總經售

25開本共 240 面 定價：26,000 元

冊 數 2,000 一九五四年八月旅大人民日報印刷廠印

序

在最近幾年來，由於蘇聯學者們的努力，壓力加工這門科學獲得了顯著的發展，但其中孔型設計這一部分，尤其是關於軋製型鋼的，迄今還停留在理論和實踐的研究探討中。

在我國（蘇聯）最近十年中，曾發表了關於縱、斜、橫軋製理論的、軋製生產技術的和軋鋼車間設備的各種書籍二十餘冊和大批的論文。其中可稱之為主要者有：С. И. 古卜肯的《金屬壓力加工原理》（1947年），А. И. 柴利克夫的《軋鋼機》和《軋鋼機械設備》（1946年），А. Я. 赫恩的《帶鋼和薄板的軋製法》（1941年），И. Т. 葉梅利揚英克的《斜軋和往復軋製原理》（1949年），Ир. М. 巴甫洛夫的《軋製原理》（1950年）。

其中關於孔型設計的，也就只有1950年的兩本：B. И. 巴赫契洛夫和 M. M. 西切歐夫的《工字鋼和槽鋼的孔型設計》和 A. И. 文洛格拉得夫和 Г. А. 文洛格拉得夫的《軋軋孔型設計》。

耐人尋味的是，就在這個時期，關於軋鋼和孔型設計問題在外國連一本重要的著作也沒有出現。

在蘇聯國內，或者在外國的科學技術定期刊物上，關於孔型設計理論和實踐的論文已出現了不少，但是，這些論文，對於孔型設計多半是敘述性的，或者只是解決其中的某一部分問題，而沒有給出全面性的綜合性的結論。但是有很多孔型是具有共通的原則和合理的設計方法的。型鋼中之一類如等邊和不等邊角鋼，正 „Z” 字和非正 „Z” 字鋼、槽鋼，以及類似 „Z” 形鋼和 „U” 形樁鋼等的孔型設計，是可以按照這種所謂蝶式的原則來完成的。

在用蝶式方法來設計型鋼孔型時，需要解決如下的問題，譬如根據軋鋼機傳動馬達的能力來選擇每個孔型的壓下係數，決定外餘角，腿的組成特點以及預軋孔型和成品前孔的構成，確定孔型的主要函

數，孔型在軋輥上的佈置，檢查吃鋼情況和檢查軋輥強度等。雖然，個別的尤其用在等邊角鋼上的問題，本國和外國的學者們曾經作過不少的討論，但蝶式孔型設計問題的全面性探討，還沒有人研究過。

在蘇聯，最早討論角鋼孔型設計之一的 Ир. М. 巴甫洛夫的著作，正確地批判了日茲 (Жес) 在決定角鋼孔型外餘角時只按照孔型的角度而沒有考慮到腿長與它的展寬中間的關係。

但是，許多學者們研究腿的形成，只是依靠第一個角鋼孔型或是所有角鋼孔型中的軋件的簡單彎曲，而實際上許多實驗室和工廠裡關於在角鋼孔型中水平進鋼的變形研究中說明腿的形成，不只是憑靠着鋼坯的簡單彎曲，而主要是靠着開口或半開口的衝壓，此時危險斷面上內力和外力的力矩關係很容易確定出來，在按軋製順序的開始一二個角鋼孔型中，鋼坯厚度與寬度之比很大，腿的形成，主要是由於衝壓，以後的孔型是由於具有彎曲性的衝壓；純粹的彎曲是不會出現的。

事實上被吃入到角鋼孔型中的矩形坯，顯然是首先在邊上 a, b 兩點與上輥相接觸，中間 o 點與下輥相接觸（圖 I. a），按鋼坯逐漸進入軋輥，下輥凸出部分便逐漸切入鋼坯中，而鋼坯的兩邊則受上輥輥咬着，因此產生了彎曲的條件，同時，在鋼坯縱斷面的中央，發生與外力力矩相均衡的應力（圖 I，圖 I 的 I—I 斷面）。

分析的更簡化一些，略去彎曲區域以外的鋼坯前後端，在很短的一段鋼坯上的外力力矩之近似值很易列出，如果取其長度為一單位，那麼它的力矩就和雙支樑一樣（圖 I）：

$$M_{\text{нз}} = \frac{px}{2} (B_0 - 2x)。$$

外力彎曲力矩與內力力矩相均衡：

$$M = 2 \int_0^{\frac{h_0}{2}} \sigma h_x dh。$$

因為

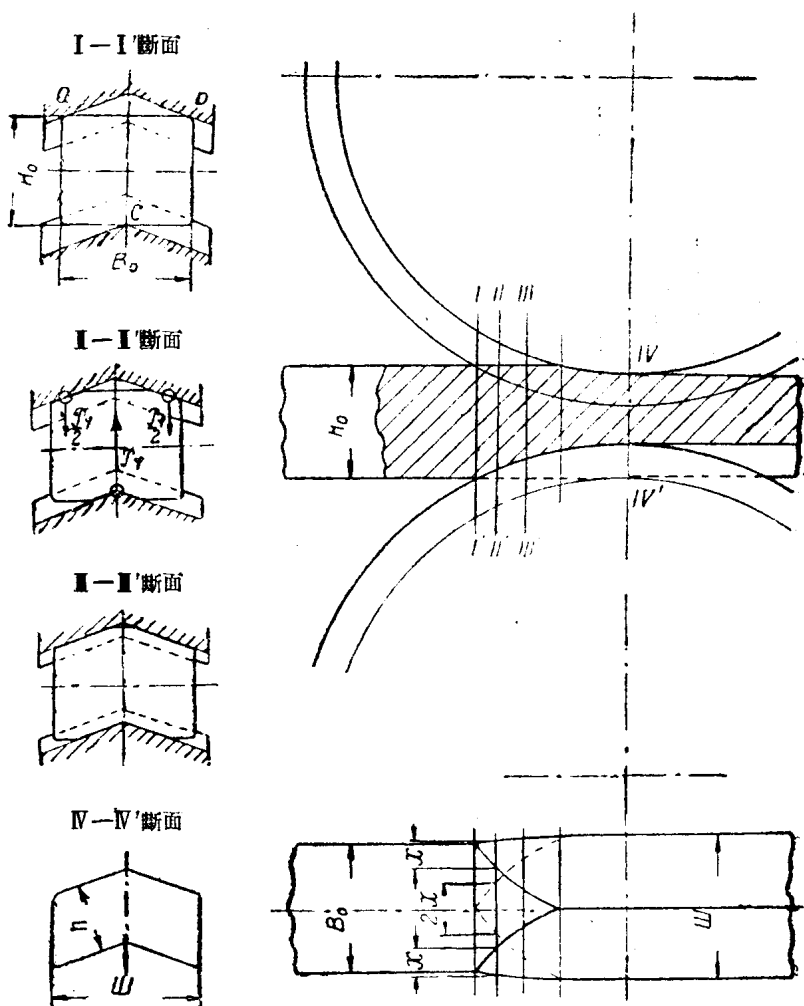


圖 1. 鋼坯平着送入等邊角鋼孔型中軋製的變形特點

$$h_{\varphi} = h + 2D \sin^2 \frac{\varphi}{2} \approx H_0,$$

所以在塑性彎曲的條件下，危險斷面中的 $\sigma \approx$ 常數，得：

$$M = \frac{\sigma H_0^2}{4}.$$

在角鋼孔型中，鋼坯的簡單彎曲，有如下之等式關係才能成立：

$$M_{\text{H3}} = M$$

或者是

$$\frac{px}{2}(B_0 - 2x) = \frac{\sigma H_0^2}{4}$$

經過整理之後得：

$$\left(\frac{x}{B_0}\right)^2 - \frac{x}{2B_0} + \frac{\sigma}{4p}\left(\frac{H_0}{B_0}\right)^2 = 0$$

當用 Z_{T3} 表示鋼坯厚度係數，即 $Z_{\text{T3}} = \frac{H_0}{B_0}$ ，

又以 y_{mn} 表示金屬與軋輥接觸的寬度係

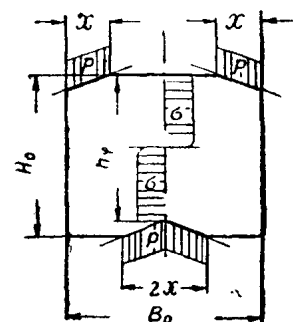


圖 I. 在等邊角鋼孔型中鋼坯塑性變形的分析

數，即 $y_{\text{mn}} = \frac{2x}{B_0}$ ，並假設 $\frac{\sigma}{p} \approx 1$ ，得圓的方程式 $Z_{\text{T3}}^2 + y_{\text{mn}}^2 - y_{\text{mn}} = 0$ 。其形式如

$$Z_{\text{T3}}^2 + (R - y_{\text{mn}})^2 = R^2$$

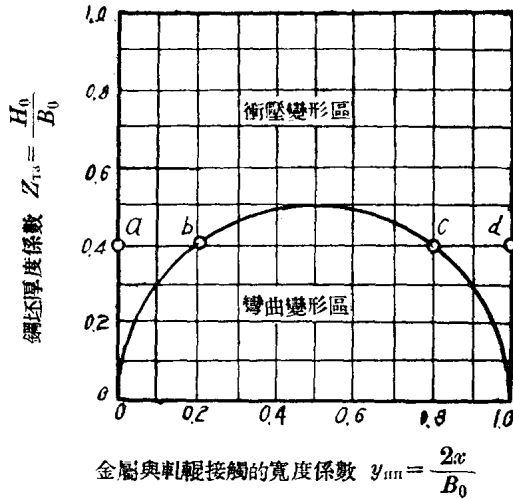
其半徑 $R = \frac{1}{2}$ ，此圓以橫座標為對稱軸，在座標原點上與縱座標相切。

鋼坯厚度係數的曲線決定於接觸面的寬度係數（圖 II），其方程式為：

$$Z_{\text{T3}} = \sqrt{y_{\text{mn}}(1 - y_{\text{mn}})}$$

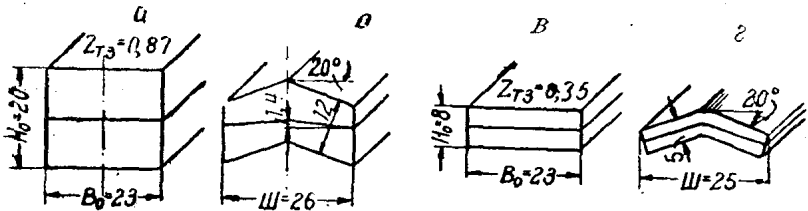
此曲線可稱為等邊角鋼孔型水平進鋼的塑性變形狀態曲線，橫座標與半圓曲線所包括的區域，便是彎曲變形區，半圓與縱座標所包括的區域便是衝壓變形區。

可以看出。被吃入角鋼孔型的鋼坯的 $Z_{\text{T3}} > \frac{1}{2}$ 時，變形只是憑靠着衝壓。當 $0 < Z_{\text{T3}} < \frac{1}{2}$ 時，在 ab 段內，從金屬與軋輥接觸開始和以後，鋼坯的變形是由於衝壓。之後，鋼坯繼續吃入到 bc 變形範圍內，便發生彎曲變形，當接觸面寬度繼續增加，彎曲變形就困難起來了，最後，乃完全停止。在 cd 段內，重新開始了衝壓變形週期，鋼坯軋製週期是到金屬離開軋輥為止。



圖Ⅲ. 鋼坯在等邊角孔型內的塑性變形圖

上述的分析，已用軋製鉛質雙層平板或多層立板樣品的試驗充分證明了。在第一種情況下，當被吃入角鋼孔型中的鋼坯厚度係數相當大的時候（圖Ⅳ，a，б），兩層平板的水平接觸面幾乎沒有彎曲。



圖Ⅳ. 在等邊角鋼孔型中軋製厚度係數很大和很小的鉛質雙層平板樣品

但鋼坯的上下兩層依據孔型形狀而產生了強烈的變形。當厚度係數小的時候（圖Ⅳ B, з），上下兩層間的接觸面的彎曲程度幾乎與上下兩層的金屬相同。

當在等邊角鋼孔型中軋製相當厚的多層立板合成的鋼坯時（圖Ⅴ），受到最大衝壓的是邊上第1、第7兩條與上軋接觸的地方和中間第4條與下軋接觸的地方。

其他各條 2, 3, 5 和 6 的衝壓變形，上部是從兩邊到中間逐漸減少，而下部是從中間到兩邊逐漸減小。

因此可以說：

1) 在軋製次序的第一、二個等邊角鋼蝶式孔型中，當 $\frac{H_0}{B_0}$ 比值較大，即等於或不顯著的小於 $\frac{1}{2}$ 時，腿的形成，不只是由於展寬，而多少也是由於孔型幾何圖形的變化。

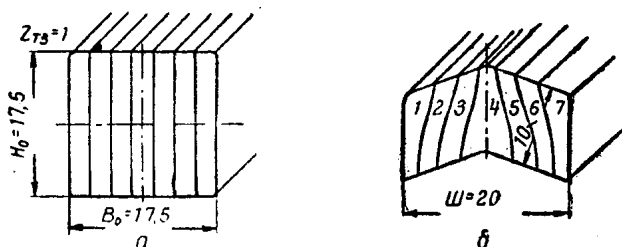


圖 7. 在等邊角鋼孔型中軋製具有較大厚度係數的多層立板時的情形

2) 在任何實際可能的的外餘角之條件下，軋製後的等邊角鋼的寬度總是比進入孔型的坯子的寬度為大。

應用到另外形狀的蝶式孔型中之衝壓和彎曲變形的分析是比較複雜的。但是軋製經驗證明它的正確性，不但是對於等邊角鋼而且對於不等邊角鋼、Z 字鋼和槽鋼也是正確的。

目 錄

序

第一章 異型鋼材蝶式孔型設計的一般基礎

1. 壓下係數的選擇.....	1
2. 壓下係數與軋製迴轉力矩的關係.....	3
3. 軋輥強度的審查.....	9
4. 軋製時金屬與軋輥接觸面的分析求法.....	15
5. 異型孔型的數目和腿外餘角.....	23
6. 異型孔型的中性線的分析求法.....	29

第二章 等邊角鋼孔型設計

I. 等邊角鋼孔型尺寸的求法和孔型的構成

7. 等邊角鋼成品孔型和送入此孔型的軋件.....	35
8. 等邊角鋼的蝶式孔型.....	38
9. 軋製等邊角鋼時鋼坯的形狀和尺寸.....	44

II. 等邊角鋼孔型在軋輥上的配置

10. 等邊角鋼孔型的中性線.....	46
11. 孔型的軋製輥徑.....	48
12. 軋輥咬入金屬的情況.....	50

III. No. 22 等邊角鋼的孔型設計

13. 軋機的性能和其他預知的數據.....	51
14. 孔型尺寸的計算.....	53
15. 鋼坯尺寸的決定.....	65
16. 軋輥對金屬咬入情況的審查.....	65
17. 軋輥強度的審查.....	65

IV. No. 6.5 等邊角鋼的軋製試驗

- | | |
|--------------|----|
| 18. 軋機的性能 | 74 |
| 19. 試驗的方法和結果 | 74 |

第三章 不等邊角鋼的孔型設計

I. 不等邊角鋼孔型基本尺寸的決定和孔型的構成

- | | |
|-------------------------|----|
| 20. 不等邊角鋼的成品孔型和送入此孔型的軋件 | 83 |
| 21. 不等邊角鋼的蝶式孔型 | 87 |
| 22. 鋼坯尺寸 | 90 |

II. 不等邊角鋼孔型在軋軛上的配置

- | | |
|------------------|----|
| 23. 不等邊角鋼孔型的中性線 | 90 |
| 24. 不等邊角鋼孔型的軋製軛徑 | 93 |
| 25. 軋軛咬入金屬的情況 | 93 |

III. No. 9 不等邊角鋼的孔型設計

- | | |
|------------------|-----|
| 26. 軋機的性能 | 94 |
| 27. 孔型尺寸的計算 | 94 |
| 28. 鋼坯尺寸的決定 | 107 |
| 29. 軋軛對金屬咬入情況的審查 | 107 |
| 30. 軋軛強度的審查 | 108 |

第四章 正Z字鋼的孔型設計

I. 正Z字鋼孔型基本尺寸的決定和孔型的構成

- | | |
|-------------------|-----|
| 31. 成品孔型和送入此孔型的軋件 | 116 |
| 32. Z字孔型的數目 | 120 |
| 33. 正Z字蝶式孔型 | 121 |
| 34. 鋼坯尺寸 | 124 |

II. 正Z字孔型在軋軛上的配置

- | | |
|---------------|-----|
| 35. 正Z字孔型的中性線 | 124 |
|---------------|-----|

36. 正Z字孔型的軋製輥徑	124
37. 金屬被咬入的情況	127

Ⅲ. No. 6 Z字鋼的孔型設計

38. 孔型尺寸的計算	128
39. 鋼坯尺寸的決定	142
40. 軋輥對金屬咬入情況的審查	142
41. 軋輥強度的審查	142
42. No. 6 Z字鋼的軋製試驗	150

第五章 非正Z字鋼和類似Z字鋼的孔型設計

I. 非正Z字鋼孔型尺寸的決定和孔型的構成

43. 軋件各部分壓下係數的選擇	153
44. 成品孔型和送入此孔型的軋件	154
45. 非正Z字鋼和類似Z字鋼的孔型數目	156
46. 非正Z字鋼的蝶式孔型	157
47. 鋼坯尺寸	161

II. 孔型在軋輥上的配置

48. 非正Z字孔型的中性線	162
49. 非正Z字孔型的軋製輥徑	165
50. 金屬被咬入的情況	167

Ⅲ. 非正Z字鋼的孔型設計

51. 孔型基本尺寸的計算	169
52. 鋼坯尺寸的決定	183
53. 金屬被咬入情況的審查	183
54. 軋輥強度的審查	183

第六章 槽鋼蝶式孔型設計

I. 概 論

55. 問題的本質	191
-----------	-----

56. 槽鋼蝶式孔型的形狀和次序·····	192
57. 槽鋼孔型的數目·····	192

I. 槽鋼孔型基本尺寸的決定和孔型的構成

58. 槽鋼成品的基本尺寸·····	193
59. 槽鋼成品孔型和送入此孔型的軋件·····	194
60. 槽鋼半蝶式成品前孔和送入此孔型的軋件·····	196
61. 槽鋼設計順序第一個蝶式孔型·····	197
62. 槽鋼蝶式預軋孔型·····	200
63. 鋼坯尺寸·····	203
64. 槽鋼蝶式孔型中金屬的充填情況·····	203
65. 槽鋼孔型的構成·····	203

III. 槽鋼孔型在軋輥上的配置

66. 槽鋼孔型的中性線·····	205
67. 槽鋼孔型的軋製輥徑·····	208
68. 金屬被軋輥咬入的情況·····	209

IV. No. 12 槽鋼的孔型設計

69. 產品的已知尺寸·····	210
70. 槽鋼成品孔型和送入此孔型的軋件·····	211
71. 槽鋼半蝶式成品前孔和送入此孔型的軋件·····	213
72. 槽鋼設計順序第一個蝶式預軋孔型·····	214
73. 槽鋼其餘各個蝶式預軋孔型的計算·····	214
74. 鋼坯尺寸的決定·····	218
75. 金屬在孔型中充填情況的審查·····	218
76. 槽鋼孔型的中性線·····	220
77. 槽鋼孔型的軋製輥徑·····	222
78. 金屬被軋輥咬入情況的審查·····	223
79. 軋輥強度的審查·····	225

參 考 文 獻

第 一 章

異型鋼材蝶式孔型設計的一般基礎

1. 壓下係數的選擇

孔型設計，無論是對於簡單的或者複雜形狀的產品，其設計基礎主要是在於正確地選擇延伸係數、壓下係數和其他一些有關的，根據一定的軋製條件或各種不同的理論見解而來的塑性變形係數。

合理地選擇每道的變形係數是會影響到產品的質量，軋製時動力的消費，軋輥的耐磨程度，軋鋼設備的正確運用以及一系列的勞動組織，技術上的和技術經濟定額等因素。因此我們應明確一個堅定的目標，即必須進行各樣軋製工作的研究，去找出一種客觀的、合理的、決定每道的延伸係數的方法。然而直到現在，關於選擇變形係數的問題還沒有得到令人滿意的解決。

逐道的延伸係數或壓下係數的選擇或決定，首先是要考慮在這種溫度和變形速度下，金屬的塑性變形能够保證金屬不致發生破裂現象。格魯木-格日馬依洛 (Грум-Гржимайло) [1] 和後來的庫沙克維奇 (Кушакевич) [2] 已經證明，在現在的軋製工作中，人們還遠未完全充分的利用金屬的可塑性能，庫沙克維奇軋製炭素軟鋼和有色金屬的合金時，在通過一道當中，採用的延伸係數從 1.84 到 4.6 而壓下係數則由 2.25 到 11.2，在軋製的試驗品上並沒有任何外部的缺陷或質量上的不良現象。這次試驗的結果，推翻了基赫別格 (Кирхберг) 的關於在軋製一次時，金屬的可塑性允許的極限延伸係數為 2 的荒謬結論。

利用金屬豐富的塑性變形能力 (在一定的溫度、變形速度和一定的壓力加工過程的可塑性) 的可能性已由白俄羅斯科學院院士 С. И. 古卜肯 [3] (С. И. Губкин) 的《金屬工藝變形能力》一書開闢了新的

道路。

金屬的工藝變形能力 (Технологическая деформируемость металла) 係決定於雙指標法 [4, 5] 的平均機械變形係數，根據 С. И. 古卜肯的意見，在各種不同的壓力加工過程中，金屬的工藝變形係數的近似值可以求之如下：

$$A_r = \frac{aA' + b}{B}, \quad (1.1)$$

式中 A_r ——各種不同的壓力加工過程的金屬工藝變形係數；
 A' ——在實驗室中根據雙指標法所求得平均機械變形係數。

譯者註：雙指標法的平均機械變形係數 (Средняя механическая деформируемость по методу двух показателей) 是白俄羅斯科學院院士 С. И. 古卜肯所提出的決定金屬的平均變形係數的方法；就是在實驗室中將金屬試樣作直線方向的拉長試驗和壓縮試驗，這兩個試驗的單位變形的平均數就稱之為雙指標法的平均機械變形係數。由下式表示：

$$A' = \frac{D_p + D_c}{2}$$

式中 A' ——雙指標法的平均機械變形係數；
 D_p ——作拉長試驗時的單位機械變形係數；
 D_c ——作壓縮試驗時的單位機械變形係數。

詳細情形可以參考1953年出版的 ДЕФОРМИРУЕМОСТЬ МЕТАЛЛОВ 一書中的第一章。

a, b, B ，——係數，決定於金屬壓力加工的方式。

在孔型中軋製金屬時： $a=1.5, b=1, B=2.5$

在平軋中軋製金屬時： $a=2, b=1, B=3$ 。

但是，延伸係數的決定不只是依據於金屬的工藝變形能力，而且決定於對所軋製的產品尺寸的準確性和表面光滑程度等的要求，以及軋軋的工作情況，如它的耐磨程度和金屬的咬入情況，軋軋強度，軋鋼機部件承擔最大負荷的能力，傳動馬達的功率等等。換句話說，金屬的工藝變形能力雖然是很重要，可以說它是決定變形係數最主要

的根據，但是它並不是唯一的根據，尤其是在軋製型鋼時。

因此，很明顯的，在生產中根據經驗所得到的一些延伸係數，仍然能在很長時期內保有一定的意義。雖然如此，但是我們應該多方面的研究在軋製工作中使用超級壓下的可能性和條件，尤其是在軋製比較簡單的斷面和扁鋼、帶鋼、薄板等，並且建立關於加重軋製中金屬變形的科學根據和研究高生產率的堅強的軋鋼設備。

根據文件和經驗的數字，壓下係數 $\lambda = \frac{H}{h}$ 和延伸係數 $\mu = \frac{Q}{q}$

在軋製等邊和不等邊角鋼中採用下列數值：

成品孔型 $\lambda = 1.05 \sim 1.30$ 而 $\mu = 1.05 \sim 1.25$;

成品前孔 $\lambda = 1.10 \sim 1.50$ 而 $\mu = 1.10 \sim 1.40$;

預軋孔型 $\lambda = 1.20 \sim 2.00$ 而 $\mu = 1.10 \sim 1.80$ 。

這些係數同樣可採用於Z字鋼和類似Z字鋼，但在槽鋼蝶式孔型設計中暫時還沒有實際可靠的數字。

對於條鋼機中最大產品的開頭幾個異型孔型，應該審查傳動馬達的功率和轉動力矩，以及軋輥吃入金屬的情況和軋輥強度等適合於所選擇的壓下係數。

2. 壓下係數與軋製迴轉力矩的關係

在平軋中進行軋製時，金屬變形所需的功率可以根據蘇聯科學院通訊院士 И. М. 巴甫洛夫 (И. М. Павлов) [6] 的公式計算：

$$N = p b D_0 v \alpha_s \operatorname{tg} \frac{\alpha_s}{2}, \quad (1.2)$$

式中 N ——金屬在軋輥間變形所需功率，公斤公尺/秒；

p ——金屬在軋輥間的平均單位壓力，公斤/平方公厘；

b ——金屬在變形區域內的平均寬度，公厘；

D_0 ——軋輥軋製直徑，公厘；

v ——軋輥迴轉線速，公尺/秒；

α_s ——吃入角，以弧度計算。

在孔型中進行軋製時，由於金屬與槽環和槽壁間的摩擦力的影響，所需的功率，將比沒有這一摩擦力的條件下有所增加。當金屬

與槽環接觸面之縱向投影與金屬和軋輥的基本接觸面，或更正確的說，與基本接觸面的水平投影之比值越大時，功率的增加更為顯著，單獨計算金屬在孔型中與槽環的摩擦力對功率的影響，在目前是很困難也是不易準確的。

因為扁鋼和類似扁鋼——蝶式角鋼、Z字鋼、槽鋼等孔型的側壁面積與槽底面積相比較，為數不大，所以在解決問題時可以略去側壁的摩擦力的影響。

公式 (1.2) 的關係可以根據 (圖 1) 作進一步的理解，當以

$$\operatorname{tg} \frac{\alpha_s}{2} = \frac{H-h}{D_0 \sin \alpha_s}$$

和軋輥迴轉線速

$$v = \frac{v_h}{1+s},$$

式中 v_h ——軋製過程中金屬出槽的速度，公尺/秒；

s ——前滑。

當功率乘上軋件通過的時間

$$\tau = \frac{l}{v_h},$$

就得出金屬通過一次時，在軋輥之間變形所需的功量。

$$A = pV \frac{H-h}{h} \times \frac{\alpha_s}{(1+s) \sin \alpha_s}。$$

因為

$$\frac{\alpha_s}{(1+s) \sin \alpha_s} \approx 1,$$

所以可以寫成：

$$A = pV \frac{H-h}{h}, \quad (1.3)$$

或者改用壓下係數表示：

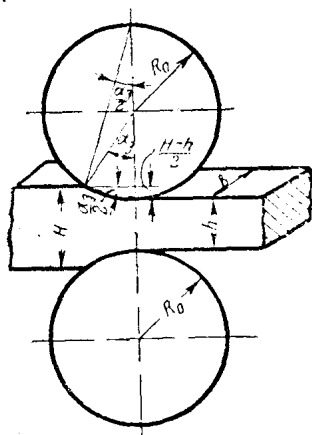


圖 1. И. М. 巴甫洛夫的軋製功量的求法

$$A = pV(\lambda - 1) \quad (1.3a)$$

其實，在軋製扁鋼或簡單的蝶式異型鋼時 $\lambda \approx \mu$ ，變形所需之功量可以寫成：

$$A = pV(\mu - 1), \quad (1.4)$$

式中 A ——金屬變形所需之功量，以通過一次計算，公斤公尺；

V ——軋製金屬的體積，立方公分；

λ 和 μ ——壓下係數和延伸係數，以通過一次計算。

因此，軋件通過一次所需的變形功量的計算，可以根據巴甫洛夫的公式 (1.2)，同樣也可以根據加夫利菱柯 (Гавриленко) 的公式 (1.3)，(1.3a) 或 (1.4)。

組成軋製功量的另一部分，是由於金屬在軋輥間的壓力致使輥頸產生摩擦力所作的附加功，可以按下式求之：

$$A_m = 2Pf_m l \frac{d}{D_0}, \quad (1.5)$$

式中 A_m ——輥頸摩擦力所產生的附加功，公斤公尺；

f_m ——輥頸的摩擦係數；

l ——軋件軋製後的長度，公尺；

D_0 和 d ——軋製輥徑和輥頸直徑；

P ——一個軋輥上所受的全部壓力，公斤。

對於矩形和近似矩形斷面來說：

$$P = pb\sqrt{R_0(H-h)} \quad (1.6)$$

以 P 之值代入公式 (1.5)，整理之後得：

$$A_m = A \frac{f_m d}{\sqrt{R_0 h} (\lambda - 1)} \quad (1.7)$$

或者寫成另一種形式：

$$A_m = A \frac{f_m d}{R_0 \alpha_s} \quad (1.8)$$

從公式 (1.7) 和 (1.8) 顯然看出由於按軋製順序減少吃入弧的弦 $\sqrt{R_0 h}(\lambda - 1)$ 或吃入弧 $R_0 \alpha_s$ 的結果，就改變了變形功和摩擦附加功的比例關係，即在等式的左邊的 A_m 將相對地增加起來。