

基本館藏

531

工字鋼與槽鋼 孔型設計

Б. П. БАХТИНОВ 著
М. М. ШТЕРНОВ

崔峰 · 陳澤皋 譯
高保康



4
8

重工業出版社

工字鋼與槽鋼孔型設計

Б. П. Бахтинов 著
М. М. Штернов

崔陳高 澤保 峰皇康 譯

鞍鋼編輯委員會印行

書中所採用的代表符號明細表

- F ——孔型總面積
 F_o 和 F_s ——開口腿與閉口腿的面積
 H ——孔型之總高度
 B ——孔型之總寬度
 h_o 和 h_s ——開口腿與閉口腿的高度
 b_o 和 b_s ——開口腿與閉口腿腿根的厚度
 a_o 和 a_s ——開口腿與閉口腿腿尖的厚度
 t ——腿的平均厚度
 d ——腰部厚度
 B_p ——切入孔型的寬度
 H_p ——切入孔型的高度
 α ——腿部內側兩壁的傾斜角（有時候代表嚙入角）
 ϕ ——腿部外側兩壁的傾斜角
 R ——腰與腿交界處的圓弧半徑
 r ——閉口腿尖端內側的圓弧半徑
 （以上這些符號上角加撇的，如 a' ， F_o' ，等；代表該未知數值。）
 D_k ——軋輥直徑
 K ——壓縮係數
 h_o, h_s 和 h_m ——開口腿閉口腿和腰部的壓縮係數
 λ_o, λ_s ——開口腿與閉口腿厚度上的壓縮係數
 λ_a 和 λ_b ——腿尖和腿根上的厚度壓縮係數
 η_o 和 η_s ——開口與閉口腿上的高度壓縮係數
 Δh ——壓下量（絕對值）
 Δb ——展寬值
 μ ——延伸
 f ——摩擦係數（按 Кирхберг 壓縮係數）
 z ——由於不平衡的壓縮，腿部中綫移動的數值

序

在最新式具有高度生產能力的軋鋼機上，進行大規模的生產時對任何斷面的孔型設計，不僅要保證軋出尺寸正確的製成品，還應滿足另外一系列的要求，其中最主要的是：軋製時能量消耗的最少；軋輥的磨損最小且便於車削修理；軋鋼機調整時容易而又迅速，且便於管理。

按作者意見，能滿足上述要求唯一可靠的方法，是使斷面上各部分均勻的變形。經驗證明，採用根據上述原則而設計的孔型，會大大的降低原動機的負荷，和軋鋼機零件損壞的次數和軋輥的磨損，因而提高了生產率，降低產品的成本。

某些關於孔型設計問題的專門文獻，已經陳舊，且完全滿足不了現代軋鋼生產的要求，現有帶摺緣型鋼的孔型設計方法，特別是由國外作者所提出，多是不科學的，雖然是建立在試驗的資料上，但仍與型鋼孔型實際軋製過程相脫節，因此不能作為孔型設計的根據。此外，文獻中所提出有關帶摺緣型鋼斷面孔型設計的知識，都限於設計方法的一般情況，因此對孔型設計的新手和學生，如僅僅利用這些一般情況而缺乏熟練領導的話，不可能獨立作出正確的孔型設計。

今日的勞動所得，產生了根據型鋼孔型中變形過程的理論分析，而創造出帶摺緣型鋼孔型設計的計算方法。這種方法在近代高度生產能力的軋鋼機操作經驗中，受到考驗和鞏固；它不僅要被專門的孔型設計者所接受，而且被任何的軋鋼工作者——工程師、技師、學生所樂於接受。

新孔型設計法問題的主要部份，係由 Б.П. Бахтинов 寫成，在本書的 § 4, 5, 6, 7, 8, 9 及 11 各節中敘述着，其他各節及孔型設計例題，由 М.М. Штернов 在 Б.П. Бахтинов 總的領導下寫就。

作者希望本書能夠對工廠內的生產者，學校教師和學生們有所幫助。

引 言

帶摺緣的型鋼孔型設計，是軋製理論中最複雜的部份之一，因為獲得這種斷面時，鋼料不單受到直接壓縮，並且受到側面壓縮，計算中想對它作正確的選擇，是相當困難的。

目前所有的帶摺緣型鋼孔型的設計法，大部情況是理論根據不足，他們根據一些經驗公式，從某些假定中得出一系列必要的中間孔型，這些方法大部由國外作者所寫成，使用於一些陳舊低生產能力的軋鋼機上，計算外國的產品規格。

在我們軋製生產蓬勃發展的今天，絕大多數的軋製品，是來自最新式高度生產能力的軋鋼機。而理論方面與實際軋製生產中間還有些脫節，其中最深切感到的要算孔型設計問題。此書在衛國戰爭以前就已出版，故沒有能反映出以後的10—15年中在我國工業方面顯著的成就，Кирхберг所提出之設計帶摺緣型鋼孔型的方法，使用頗為廣泛，在А.П.Виноградов教授的著作中，曾作了極全面的敘述，但缺乏本質上的批判，其實它完全不能適合現代要求的水平，並應該認為是不能令人滿意的。不久以前美國技術雜誌上刊載着的Лендл工字鋼孔型設計法，解決問題也極為勉強和片面。在本書中所敘述的孔型設計法，比Жез，Мец，Кирхберг，Лендл，以及其他國外作者的設計法，有許多優點；它不僅要獲得正確的斷面，而且還要使軋製時能量消耗的最小，軋輥消耗的最少。決定中間孔型尺寸的公式是根據分析方法，與實際情況非常相近，證明了這個方法中基本原理之正確性。

隨後要提醒一下，設計新孔型時，應該對已有的或計劃中的軋鋼機所有的特點，作充分的估計，即使孔型在別處使用的很好，也不能機械地將它從一個軋鋼機搬到另一個軋鋼機上去，必須考慮到新軋鋼機的特點，適當的變通一下設計方法，採用更合理的壓下規程、最

適合的孔型數目及其他可變數值，使更適合於這新的軋鋼機；所有這些問題下面都作了充分的闡述，本書中討論了兩種最典型的帶摺緣的型鋼——工字鋼和槽鋼，若加以適當修正的話，也可以使用到其他同類型的斷面上去。

內 容 簡 介

書中闡述輻性電弧爐快速煉鋼方法，寫出了烏拉爾機器廠煉鋼工 C. A. 葉列謝耶夫優秀小組的斯達哈諾夫工作經驗。同時指出煉鋼工人們怎樣為節約鐵合金、電極和電能而鬥爭。

本書適用於冶金工廠和機器製造廠的煉鋼工作者。

目 錄

書中所採用的代表符號明細表	03
序	04
引言	05

1. 工字鋼孔型設計

1. 概論	1
2. 孔型開口與閉口部分的變形過程	2
3. 工字鋼的軋製方法	10
4. 斷面上各部分區域的劃分及其尺寸符號	12
5. 現有的各種工字鋼孔型設計方法的概述	13
6. 斷面上各部分不均勻的變形對腿高的拉縮和 增長的影響	23
7. 腿高的增長和拉縮取決定於孔型內軋面速度的差別	27
8. 在平衡情形下腿部軸綫的移動	31
9. 確定未知孔型的腿部尺寸	33
10. 寬展	35
11. 圓角弧度半徑	39
12. 軋製工字鋼時的變形係數	41
13. 關於三軋式軋鋼機上的工字鋼孔型設計之特點	48
14. 切入孔型	51
15. 16號工字鋼的孔型設計舉例	67
16. 孔型最終尺寸的決定（尺寸的修正）	87
17. 33號工字鋼的孔型設計舉例	96

II. 槽鋼孔型設計

18. 概論.....	121
19. 幾種不同的槽鋼孔型設計法.....	121
20. 槽鋼控制腿高的孔型.....	124
21. 變形係數.....	126
22. 假腿.....	130
23. 寬展和鋼料插入軋槽的情況.....	131
24. 關於槽鋼孔型的計算方式.....	133
25. 16號槽鋼孔型設計舉例.....	136
附錄.....	154

I 工字鋼孔型設計

1. 概 論

凡型鋼的橫斷面上各組成部分，其軸綫彼此是以某種角度（一般為 90° ）相交的，叫做帶摺緣的型鋼，這類的型鋼計有 1. 工字鋼，2. 槽鋼、3. 鋼軌，4. T 字鋼、5. 柱殼鋼等等（圖 1）。



圖 1

軋製帶摺緣的型鋼，想要使用扁平（矩形）鋼坯或鋼錠，像軋扁鋼、方鋼等簡單的形狀那樣，將它作均勻的壓縮而成，是不可能的。

然而，在正確的設計中，軋製帶摺緣的型鋼並非每個孔型都具有無法避免的不均勻變形，而不過是僅僅存在於最初幾道，因為在那個時候鋼料的溫度高，變形的阻力小，且可塑性比以後各道都好，而在以後各道次中就必需運用均勻的壓縮，因為唯有這樣才可能使消耗的能量最少，軋輥的磨損最輕，從而獲得外形精確，內應力很小的製成品。

另外，軋製帶摺緣的型鋼時，孔型個別部分受着側面壓縮，這個特點的重要性，不次於前者。從斷面的特點可以看出，較高而薄的腿部（即摺緣部分）；僅能在特別的孔型裡軋出，這種孔型必須具有相當大的側面壓縮，才能將腿部擠薄並防止其縮短。

由於腿部內側兩壁的傾斜角可逐漸增大，則這種利用腿部側面壓縮的孔型可更有效的使用，因為上面所指的傾斜角越小，則側面壓縮量越小；所以帶摺緣的型鋼，其孔型設計的基本方法是根據鋼坯受壓而收縮的規律，從毛軋孔到成品孔逐漸減小兩腿內側平面的傾斜角以形成摺緣部分。

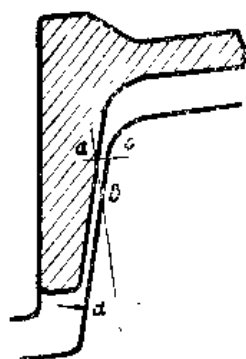


圖 2

關於在孔型的開口部分腿部的側面壓縮，它的特點由圖 2 可以清楚的看出，腿部厚度上的壓縮 ac 是由於軋輥垂直向下移動了 ab 的距離，因而

$$ac = ab \cdot \tan \alpha$$

隨着 α 角的增大，側面壓縮和軋輥的垂直移動量的比值也逐漸增大， α 角很小時， ab 的值可數倍於 ac ，所以腿部的壓縮比腰部要開始的很早，這樣便使得孔型內金屬分子流動的過程更加複雜，這些情況將在以後闡述（第 6）。

應該注意，腿部的側面壓縮，僅在介於兩輥之間的孔型開口部分存在的（圖 3）。鋼料通過孔型時，開口腿（1）的槽壁彼此漸漸接近，形成了鋼料所需要的側面壓縮。閉口腿（2），孔型僅刻在一個軋輥上，槽壁不能相對的移動，所以這一部分僅能在腿尖上加壓，給以高度上的壓縮。

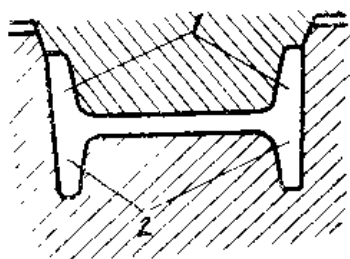


圖 3

2. 孔型開口與閉口部分的變形過程

上面已說明了，軋製帶摺緣的型鋼孔型中，各部分有着非常複雜而性質不同的變形。

帶摺緣的型鋼中最典型的例子要算工字鋼，以後以它為考慮一切基本問題的對象。

斷面上各部份的軋輥工作直徑不相等，這是決定這種孔型變形性質的最重要因素。由於這一點，同一斷面的腰部與腿部在孔型中以不同的速度被軋軋。因為腰部的接觸面對整個工字鋼影響最大，假若不

上輥在孔型開口部分腿尖的速度也應該為 $88\%V_m$ 。

下軋在開口腿腿根部份的半徑為：

$$R + \frac{d}{2} = 400 + \frac{8.7}{2} = 404.3 \text{ mm}$$

$$\text{速度比為 } \frac{404.3}{395.6} \cdot 100 = 102\%。$$

下輥在孔型開口部分腿尖的半徑為：

$$R + \frac{H}{2} = 400 + \frac{102}{2} = 451 \text{ mm}$$

$$\text{與 } V_m \text{ 的速度比為： } \frac{4.50}{395.6} \cdot 100 = 114\%。$$

因為實際上斷面上各部分前進的速度是一致的，且設為 100% ，則下腿（閉口腿）在軋製當中顯然速度將比與它接觸的槽壁為快；這部分槽壁的速度為 $88-100\%V_m$ 。在腰部的影響之下，下腿將被引拔且對槽壁有 $0-12\%V_m$ 的相對速度。進入孔型閉口部分的断面愈厚，來自腰部而加在閉口腿上的拉力就愈大，正如事實所證明的它在高度上的收縮也愈大。因此我們必需使進入孔型閉口部分的腿厚薄一些，讓它只受到高度上的壓縮。

在孔型開口部分的軋製過程則又是另一個模樣，該處進入孔型的腿部，落在一個平面和一個斜錐面形成的輥槽裡，平面是以 $102-114\%V_m$ 的速度運動着，而斜錐面則以 $100-88\%V_m$ 的速度運動，腿部進入這個越來越窄的三角形空間，經過最狹窄的部分時，受到了必需的側面壓縮，並增加了一些高度。

在軋製帶摺緣的型鋼時，上述孔型開口部分的特點，是用以輥薄了腿部的厚度並增加它的一些高度。所以以後開口腿與閉口腿先後交替地使用，這樣一來，上腿與下腿都可受到厚度上的加工。

上面所引用 Грум-Гржимайль 的關於孔型各部分速度不等對開口腿及閉口腿部變形特性的影響之說明，是極為可貴的。很有助於帶摺緣的型鋼孔型之設計；然而作者却没有留下任何運用上述理論所得出的實際孔型設計時數量關係上的計算。後面我們利用這些理論根據，將得出求腿部高度上收縮及增長的數量公式。那時候我們再指出極為

重要的而為 Грум-Гржимайло 所遺漏的事情。

在孔型開口部份表面上不同兩點的平均速度，無疑地將大於腰部的出槽速度 $100\% V_{\text{ш}}$ ，因上腿腿根部份的平均速度為

$$V_{\text{ср}} = \left(\frac{102 + 100}{2} \right) \% V_{\text{ш}} = 101\% V_{\text{ш}} *$$

上腿腿尖部分的平均速度為：

$$V_{\text{ср}} = \left(\frac{114 + 88}{2} \right) \% V_{\text{ш}} = 101\% V_{\text{ш}}$$

如取任意兩點，祇要它們到腿根或腿尖的距離相等，都會得出同樣的結果。

開口腿與腰部速度的差別，初看起來似乎並不重要，但隨着離開成品孔的程度，這個差別在顯著增加，而在毛軋孔裡，可能達到一個相當百分率。因為閉口腿部的速度較腰部為小，因而引起它本身的拉縮，自然亦可認為開口腿部的速度大，將引起它本身腿高的增長，而且開口腿部與腰部的速度差愈大，腿高的增長也越大。

為了更充分地說明工字鋼的軋製過程，我們把 16 號工字鋼毛軋中的一個孔型拿來做例子，分析它各不同部份變形的情形。該孔型的尺寸如圖 5 所示；而進槽的鋼料斷面如圖 6。

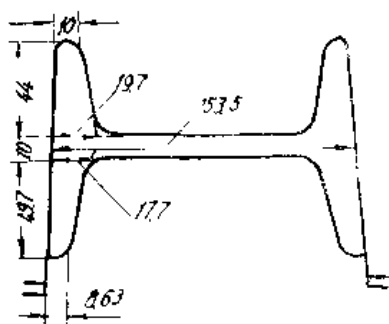


圖 5

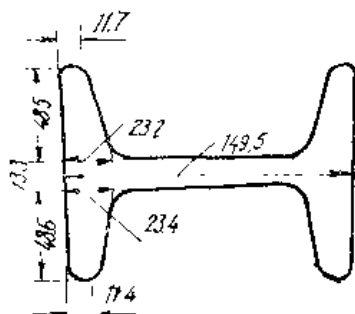


圖 6

為了更好的觀察斷面形狀和尺寸連續變化的情形，我們沿嚙入弧

* 下軋在開口腿根的速度為 $102\% V_{\text{ш}}$ ，這一點 Грум-Гржимайло 不曾考慮。

截取一系列的平面，使它們平行於兩軋的軸綫，並按投影幾何的規則，在各截面上找出鋼料與孔型的位置（圖7）。

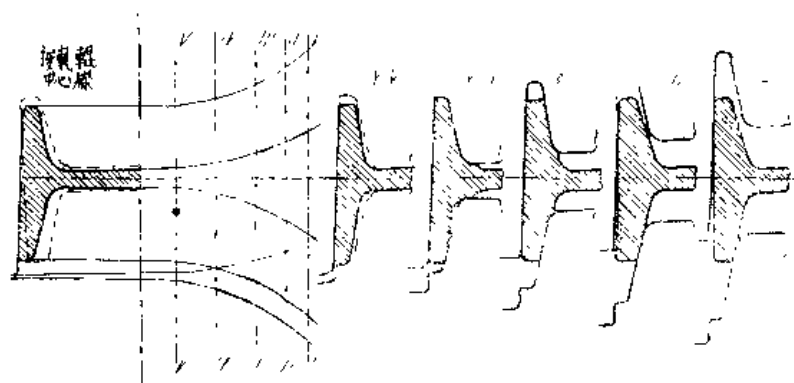


圖 7

如圖所示，鋼料在遇到孔型的瞬間，一腿的外側在孔型水平軸上面一點與閉口軋的槽壁相接觸，在摩擦力與鋼料運動的慣性作用下，上腿受到彎折，並按着鋼料向前運動的程度，它的外側沿着上軋的槽壁滑動，逐漸插入閉口的溝槽裡去。

就在同時，孔型開口部分的內壁，也和鋼料的另一腿內側相接觸，增強了牽引鋼料的摩擦力，這時候摩擦力在二個軋輥上都已存在（斷面 I—I）。進入孔型開口部份的鋼料腿部，被拉入越來越窄的軋槽內，受到了扭彎曲並且逐漸被靠攏的兩軋槽壁所壓縮（斷面 II—II）*，孔型開口部分內側，腿與腰相接界處的下軋圓角和鋼料的下腿相切，並推着下腿的一層金屬向腰部移動（斷面 III—III）。這時候鋼料的另一腿，已將全部插入孔型閉口的溝槽內，並給予推動鋼料向閉口腿這方面來移動的開口軋輥一個阻力。

在這同時，由於鋼料的上部已幾乎全部與閉口溝槽的軋面相接觸，腰部也受到一些拉力，同時，由開口的下軋圓角所推來的一層金屬，就促成了腰部的展寬。

* 腿部的彎曲，主要是在剛被嚥入的一瞬間，當嚥入後正常的壓延過程中，腿部在進入孔型前，由於已進入孔型那部分鋼料的影響，預先就彎曲了。

開口腿部的壓縮繼續增長，迫使上腿完全插入閉口的溝槽裡去，此後藉直接壓力，開始壓縮它的高度，圖 7 中壓縮大約開始於斷面 IV—IV，而在兩軋軸線所在的平面上終了，腰部約在斷面 V—V 才被軋子咬住，並且很快的被壓到所要求的尺寸。

這樣一來，由圖上可以清楚看出，腿部的壓縮開始比腰部早得多，在接觸弧大部分弧綫上，鋼料在孔型中的位置，是按照作用於鋼料之上腿與下腿的力量大小對比而定，也就是鋼料在孔型中所佔有的位置，應該是在上腿與下腿所受的作用力相等，而且互相平衡的地方。作用於上下腿的力量是和該腿部的變形大小成正比，故而我們可以說：鋼料在孔型中的位置，決定於上腿與下腿的變形係數之間的關係，它們可以藉移動腿部中綫與孔型中和軸綫的相對位置自然地達到平衡。

假若在這種情況下，增加進入孔型閉口部分的腿厚（圖 8），則鋼料腿的中心綫將向開口孔這一面移動，腰的下面首先和下軋軋面相接觸，並產生一對偶力，將使腰部移向閉口腿的一方面去，結果使閉口

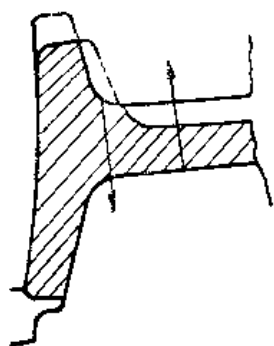


圖 8

腿縮短（從表面上看來，這好像是因為它收縮的現象增強了的結果），使開口腿加長，甚而可能使孔型的這部份充填的過滿。

以後在適當的篇幅裡，詳細的再在數量上敘述這個問題。

腿部和腰部不在同一時間內被壓縮的第二個結果是：在型鋼內部引起部份金屬的遷移。為了明確上述問題，

我們來研究一下工字鋼變形的兩個不極端的情形。

首先談一下僅在鋼料腿部給予壓縮而在腰部沒有壓下的情形，在這種情形下，受壓縮而得到了若干延伸的腿部，當離開軋軋時，力圖使其長度大於腰部（圖 9）。但是這僅在腿部和腰部毫無關係的情況下才為可能，實際上由於金屬間存在着結合力，鋼料離開軋軋時，各部份

的長度應該是一致的。由於腿部延伸的影響，腰部亦或多或少地被拉伸，結果它的長度也增加了；腰部所得到的延伸不可能等於腿部的延伸，因為腰部材料對拉伸的反抗，使腿部延伸受到阻力，故而縮減了腿部的延伸，結果由於腿部的延伸及腰部的阻礙，鋼料的共同長度將較腿部單獨延伸的長度為短，而較不受壓力的腰部長度為長（見圖 9 中的虛線）。

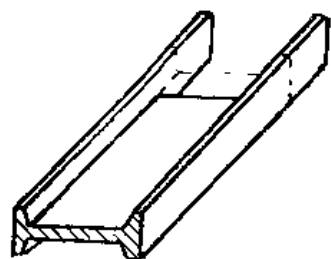


圖 9

腿部被壓縮的金屬，部份流去供給腰部的延伸，一部分增加了腿的高度。又因為腰部的延伸，一方面也是由於腰部厚度的減少，所以自腿部流向腰部的金屬的多寡，是由腰部受拉而延伸的難易而決定，腰部越易被拉延伸，則腿部流向腰部的金屬就越少；反之，伸長越困難（例如腰部處於低溫狀態），則腰部伸長所需的金屬，大部份將由腿部供給。

由此看來，鋼料的最後長度，及流向腰部的金屬數量，決定於一系列的因素，其中最主要的是：壓下量，斷面上腿和腰部的面積比和它們的形狀，金屬的可塑性（這也決定於鋼料的溫度，鋼的性質，所具的化學成份及其他因素）。腰部與腿部的溫度差，摩擦係數等等。

如果腰部的面積大大的超過了腿部，或在另一情況下小於腿部，那麼鋼料的共同長度在前一種情況下將小，而在後一種情況下大；在前一種情況下，腰部對拉伸的反抗，抵消了很大一部分腿對腰的拉力，使大部份金屬由腿部流向腰部，以形成共同的延伸。

腰部與腿部的溫度差，對於金屬的流動的影響也是如此，腰部比腿部溫度低，因此也就比較硬，也就是說腰對腿的拉力較少順從，結果也將增加金屬由腿部流向腰部。

至於分析其它因素的影響，意義較少，故而從略。

現在讓我們再看一下另外一種相反的情形：僅僅是腰部受到壓縮，而腿部則已沒有壓縮，這時腰部力圖延伸到相當於它的壓下量的