

迭轧薄板工艺基础

Г.Н. 舒 宾 著

王 廷 溥 译

冶金工业出版社

叠軋薄板工艺基础

Г. Н. 舒 宾 著

王 廷 溥 譯

冶金工業出版社

本書研究疊軋白鉄皮、屋面鉄、电机及变压器鋼板的工艺特征。著者引述了在确定鋼板軋軋合理使用条件方面的研究成果，闡明了改进軋制工艺及机械化过程的先进經驗。

本書供熱軋薄鋼板方面的工程技術人員閱讀。

Г.Н.ШУБИН: ОСНОВЫ ТЕХНОЛОГИИ ТОНКОЛИСТОВОЙ ПРОКАТ
КИПАКЕТАМИ МЕТАЛЛУРГИЗДАТ (СВЕРДЛОВСК-1955)

疊軋薄板工艺基础

王廷溥 譯

編輯：叶建林 設計：赵香荅 周广珍 責任校对：楊維琴

1957 年 8 月第一版 1958 年 9 月北京第二次印刷 1,034—6,033册

$850 \times 1168 \cdot \frac{1}{32} \cdot 96,000$ 字 · 印張 $3 \frac{24}{32}$ · 定价 (10) 0.66 元

崇文印刷厂印刷

新华書店發行

書号 Q686

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

緒論	4
第一章 薄板軋軋的特征	8
在單軋傳動的三軋軋機上的軋制過程	10
薄板軋制時的压下規程	19
軋型對軋制過程的影響	24
車削後軋軋表面的形狀及其檢查	29
軋軋時鋼板粘合的機構	36
第二章 鋼板軋軋及其使用的合理條件	45
白口生鐵軋軋的性質	45
軋機上軋軋的調整	51
軋軋使用的熱力規程	54
軋軋的人工冷卻	67
軋軋的預熱	75
軋軋在機架中的研磨	78
第三章 各種鋼板的軋制	81
屋面鐵的軋制	81
白鐵皮的軋制	84
電機和變壓器鋼板的軋制	90
第四章 鋼板軋機的機械化	98
加熱爐的機械化	98
金屬輸送的機械化	101
軋制過程中經過上軋傳送金屬的機械化	102
压下裝置的機械化	108
軋件折疊的機械化	111
軋型調整的自動化和機械化	113
鋼板生產的全盤機械化	115
參考文獻	119

緒 論

在二輥軋机上疊軋薄板已有約 300 年之久，這實質上是軋制過程應用於工業性鋼鐵加工的原始形式之一。由於具有平軋身的工作軋輥構造簡單，由於沒有用作傳動的齒輪机架，也由於基本的投資比較小，所以這種軋机適用於小型的工厂。只是後來由於對提高軋机生產力和對鋼板厚度的軋制精確度的要求，在軋制工藝、軋輥車削和增大傳動功率方面才引起一定的複雜性。

多年以來薄板的軋制只是依靠手工勞動。後來，當提出疊軋薄板必須機械化的問題時，由於疊軋在手工勞動條件下所形成的工藝特征，實行機械化產生了很大的困難。

在很多工厂為了使軋制過程機械化容易起見，實行荒軋和精軋工作机架專門化，這可以助成局部的機械化，也可使原料（薄板坯）的重量得以增加，而這種增加在軋机手工操作時是受到限制的。

採用連續軋机軋制鋼板，使機械化問題可以得到更徹底的解決。在連續軋机上，鋼板在熱的和冷的狀態下，以寬達 2500 公厘的長帶鋼的形式進行軋制。在軋制過程充分自動化的條件下，能夠在這些鋼板軋机上，以高生產力和高精確度進行軋制，便在新的先進地位的現代技術水平上解決了鋼板軋制機械化的問題。

但是在連續軋机上熱軋鋼板厚度不能小於 1.5 公厘，因此厚度小於 1.5 公厘的鋼板要由連續的或可逆式的冷軋机上得出。冷軋鋼板具有更光潔的表面，更精確的尺寸和更好的金屬機械性質，但冷軋鋼板的生產組織使基本投資加大，使工藝複雜化，因此在建立冷軋薄板軋机的同時，熱軋疊板還仍然有着工業的意義。

大量的白鐵皮、屋面板、電机和變壓器鋼板都由熱軋得來，這些鋼板在冶金工業產品中佔了很大的份量，並且在這些鋼板方面國民經濟的需要還正日益增長。

在共产党第十九次代表大会的指令中，对發展板材方面提出了很大的任务，要完成这些任务，就必须繼續改进对現有的鋼板軋机的利用。

在鋼板生产的發展过程中，也进行了設備和生产工艺的改进。压下規程大为强化，便保证了軋制週期的縮短和軋机生产能力的提高。

压下規程的强化是在生产工作者和学者的合作之下进行的。А. Ф. 戈洛文 (Головин) 教授的著作 [1], [2], Иг. М. 巴甫洛夫 (Павлов) 教授在塑性变形基础方面的著作和 В. А. 恰古諾夫 (Тягунов) 的著作 (依靠强化压下可以發掘生产的潛力) 对于軋制原理問題的研究有很大的影响。Г. К. 利沃夫 (Львов) 的著作 [4] 和 Б. Э. 別利斯基 (Бельский) 的著作 [6] 在改进工艺过程方面广泛地綜合了已有的成就。

由于採用电热軋輥及高强度加鎂生鉄来生产軋輥，便使断輥大为縮減，提高了鋼板軋机的生产能力。

由於进行了研究工作，由於學習和总结了先进工作方法，以及由於工厂生产單位和先进生产者的合理化活动，已經积累了很多經驗，並获得了薄板疊軋实际方面和原理方面的丰富資料。採用經過改进的工艺操作，保证了提高軋制精确度和改善鋼板的表面。同一塊鋼板各部分的厚度差，和同一批鋼板各塊間的厚度差都得到了減小。波浪、瓢曲及其他鋼板表面的缺陷大大減少了。也掌握了厚度到 0.1 公厘的变压器鋼板的热軋。但是薄板軋制的很多問題在文献中还没有充分的說明。疊板的黏結 (сварка) 引起大量的廢品，而关于粘結的機構 (Механизм) 就沒有統一的見解。軋輥工作的热力情况决定着輥型和所軋鋼板尺寸的精确度及其生产能力，但这方面也很少研究。

鑒於輥型的保持主要取決於其使用的热力情况，本書根据軋輥热平衡及其与热金屬和周圍介質的热交換，提出分析軋制过程的方法，對於軋輥的合理溫度規程問題 (这种溫度規程取決於輥型調整的技术)，給予了必要的答复。

这种分析軋制过程的方法，可以科学地論証为先进軋鋼工人們所採用的某些技术組織措施的作用。

例如，勻調的軋制过程和高軋制速度，今天在先进生产者的實踐中，已作为保証軋軋工作正常热力規程的主要条件而採用着。

为了調整軋型，在軋軋使用过程中採用人工冷却和加热並进行磨軋，对軋机的利用及其工作的合理化，开辟了广大的前程。

鑑於薄板热轧过程进一步强化以及減輕鋼板軋鋼工的劳动；闡明工厂在軋板生产机械化方面的經驗便具有很大的意义。

这一任务對於某些烏拉尔的老工厂尤为迫切，这些工厂需要改建其軋板車間，需要將設備現代化及改善軋制工艺。

解决这一重要任务最有效的方法，要算是在所有生产环节实现全盤机械化，根本改变鋼板軋机由於手工操作而复杂化了的軋制方式。

近些年来，很多工厂利用先进生产者有价值的首倡精神，以及在叠軋薄板軋机現代化的外国經驗，在軋板車間劳动过程机械化方面进行了並正在进行着巨大的工作。

但由於經驗交流不够广泛，虽然有些問題在很多情况下已在別的工厂得到解决，然而对个别工厂在解决这些軋制过程机械化的問題时却仍然發生困难。另一方面，个别被採用了的机械化方面的措施沒能和整个生产循环構成統一的整体，並不保証軋机生产能力大大提高，因而效果很小。並且，假如說在選擇鋼板軋机全盤机械化所需的設備方面已有了足够的經驗的話，那么在机械化軋机的軋制工艺方面，也还有很多与生产过程的繼續改进有关的尚未解決的問題。

尤其，在进行軋板車間改建設計時發生很多問題：關於在一个机架上兼軋薄板坯及叠板的合理性的問題；關於开坯軋机的工作制度和構造問題；關於叠板的重量和尺寸問題；關於大号叠板加热的速度問題等等。

因此，在本書中敘述了各工厂所採用的，荐用於实行薄板軋机全盤机械化的最有效的措施，也敘述了在改进薄板叠軋現有工

艺过程方面最重要的措施，即是根据在著者参与或指导下的，烏拉尔黑色金属科学研究所的軋鋼實驗室与工厂所共同进行的科学研究工作的成果，来改进应用于白鉄、屋面鉄、电机及变压器鋼板生产的工艺过程方面的措施。

共同参加研究工作的有工程师 П. Ф. 扎苏哈 (Засуха)，工程师 И. П. 科尔帕科夫 (Колпаков)，技术科学副博士 М. П. 列德涅夫 (Леднев)，技术科学副博士 Д. И. 苏雅洛夫 (Суяров) 及技术科学副博士 В. А. 沙德林 (Шадрин)。

~~Студента~~ ^{шадрин} ^{матрица} ^{Суяров}
Студента
Питанский
Питанский

第一章 薄板叠軋的特征

白鐵皮、屋面鉄、电机及变压器鋼板的热軋大都在下軋傳动的二軋式軋机上进行。这里軋机的工作机架（圖 1）由两个閉口牌坊，两个水平放置的軋輥及压下裝置所組成，这种压下裝置依压下螺絲的傳动形式之不同，可以有各种不同的構造。

在軋輥强制压下（Плотный нажим）时，这种机架的牌坊的剛性能保証軋件的最小厚度为 2—2.5 公厘。軋件厚度小於 2 公厘时，由於牌坊及軋机其他零件彈性变形，延伸实际上便停止了。由此便产生了叠軋的方法，即是随着軋件厚度的減小，把鋼板折叠或把几塊鋼板重叠在一起。軋件折叠以后成为叠板，其弯折的端部是閉合的，因此这种軋制方法称为「閉合叠板軋制」（Прокатка Закрытым пакетом）。

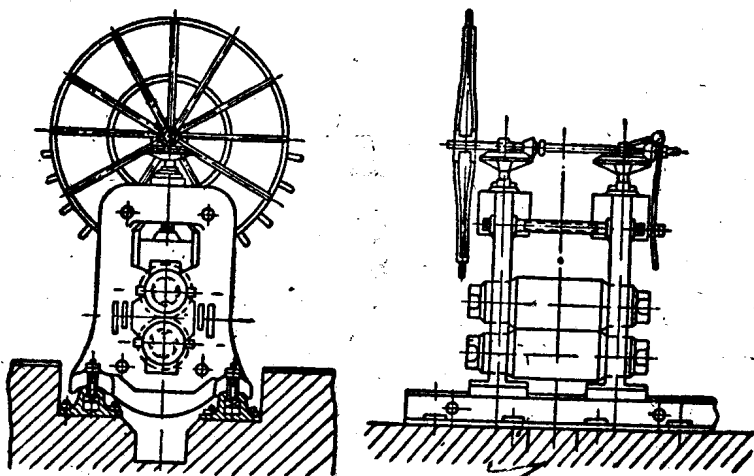


圖 1 二軋式鋼板軋机机架的一般形式

几塊鋼板随意叠放在一起的叠板，其兩端是自由开放的，这种情况下的軋制称为「开放叠板軋制」（Прокатка открытым пакетом）。

一疊中的鋼板塊數取決於鋼板的最終厚度及疊板的總重量。用手工送料時，疊板的重量由 30 到 50 公斤，其塊數由 4 到 8 塊，在軋制極薄的鋼板時可到 8 塊以上。在機械化的軋機上，可以隨鋼板種類之不同而增加疊板的重量。

由幾塊鋼板疊放而成的疊板的軋制，是在與一般縱向軋制不同的特殊情況下進行的。

上軋既未傳動，又受到頸部摩擦力的制動，只是在所軋疊板與軋軋間的摩擦力的作用下轉動着。因此可能的咬入角受到限制而為 6° — 9° 。所有的軋制功全由有傳動的下軋來完成，這便引起變形區的特殊的應力狀態。由於兩軋軋動作的差異遂使疊板中上下鋼板的變形也不相同。

各鋼板在強大的壓力下通過軋軋時彼此壓得十分緊，以致發生鋼板的粘合（слипание）及局部的粘結（сварка）。為了防止鋼板的粘結，採用了壓下規程和加熱工藝所規定的特殊措施。

和加熱一樣，疊板中鋼板的冷卻也是不均勻的，這使上下兩面的鋼板與中部的鋼板延伸各不相同。為了鋼板延伸更均勻，將軋軋預先加熱到 $400-450^{\circ}$ 的溫度再進行軋制。

由於高熱的軋軋使軋軋頸部變熱，當頸部潤滑劑成分不好時，潤滑劑便燃燒起來而放出煙氣。

由於軋軋工作部分體積中溫度的不均勻，軋軋的車削便必須特殊而要車成凹形表面。

軋軋受熱狀況的改變使軋軋身形狀及疊板寬度方面壓下量的分佈也有所改變。寬度方面的壓下量不均勻引起鋼板很多缺點，及引起斷軋，並在選擇壓下規程時必須小心謹慎。

為了造成壓下疊板時所必須的壓力，軋軋借助於壓下螺絲而互相緊密地壓着。這種軋制稱為「強制壓下」（натолтном нажиме）軋制。軋軋相壓的緊密程度決定着工作機架的彈性變形，決定着所軋疊板可能的厚度，因而也決定着成品鋼板的厚度。

所軋鋼板厚度方面的精確度取決於軋軋的形狀，軋軋相壓的緊密程度以及疊中鋼板的塊數。

机架須由 9—12 个工人所組成的小組照管。在工作机架的前面軋鋼工扒平疊板，並將其送入軋軋。軋后工由机架后面接住疊板，並將其經過空轉的上軋傳送到前面。操縱压下螺絲的操縱輪可以造成必須的压下緊密程度。

在這種軋制過程的條件下，由於多年實踐的結果制定出了每種薄板一定的軋制工藝，要改變這種工藝就不能不估計到軋制的特征及軋機工作的條件。

在單軋傳動的二軋軋機上的軋制過程

在一軋傳動一軋空轉的軋機上疊軋薄板情況示於圖 2。這種情況之下上軋通常是不傳動的，它置於下軋之上並無平衡裝置。在軋機空轉時上軋靠着摩擦被下軋帶動，當軋制時上軋也是由下軋靠着摩擦來帶動，其與空轉時不同之處在於軋制時是靠着压在兩軋間的鋼板或疊板來實現的。

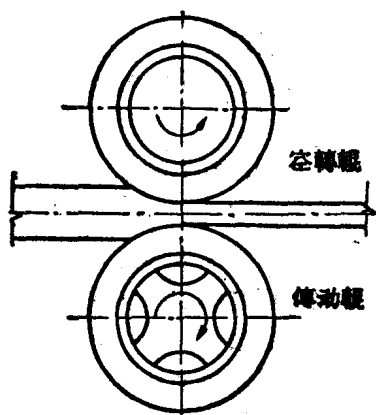


圖 2 一軋傳動一軋空轉的軋制圖

這種形式的鋼板軋機之所以被採用是由於其構造簡單（沒有齒輪机架），此外在這種軋機中不會因軋軋圓周速度不同對於疊板軋制產生有害的影響，而在別的軋機則由於軋軋在重車之後直徑常常不同，這種速度的差異是不可避免的。

軋制時金屬與每個軋軋沿咬入弧 AB （圖 3）相接觸，此弧所對的中心角 α 稱為咬入角。應該指出，在一軋空轉時所軋金屬的咬入條件大為變壞，因為咬入只靠下軋來進行。但這種情況通常並不限制薄板的軋制，因為其咬入角相當小（ $6^\circ—9^\circ$ ）。

在軋制厚的鋼板坯時，有時咬入角較大，上軋轆有平衡裝置，使金屬咬入容易。這種情況之下是靠着帶摩擦离合器的特殊齒輪傳動而使上軋轆轉動的。

軋件在軋軋中軋制時的綫變形用壓下量及寬展表示如下：

$$\Delta h = h_0 - h \text{ 公厘} \quad \Delta b = b - b_0 \text{ 公厘。}$$

由於疊板厚度與變形區長度通常比其寬度小得多，金屬在受壓時主要在長度方面流動，因此疊板的寬展幾近於無。

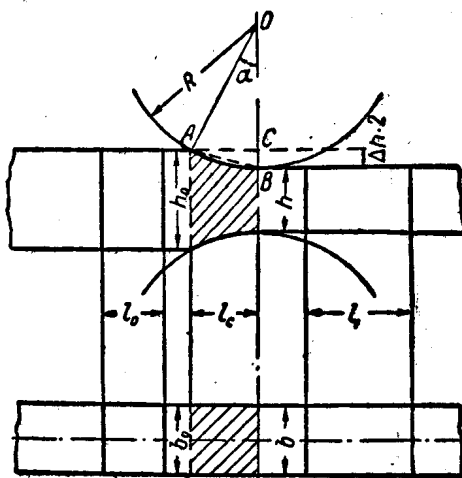


圖 3 變形區的縱切面和橫切面

軋制時金屬變形程度通常以下列主要系數來表示：

相對壓下量（%），即綫壓下量與疊板原始厚度之比

$$\varepsilon = \frac{\Delta h}{h_0} = \frac{h_0 - h}{h_0} \times 100,$$

延伸系數，即疊板軋制後的長度與其原始長度之比

$$\lambda = \frac{l_1}{l_0}。$$

因為軋制時軋件的斷面由於軋件延長而減小，故延伸系數常大於 1（通常 $\lambda = 1.1 - 2.0$ 以上）。

讓我們进一步来研究上軋空轉时軋制过程中受力情况的特征，为了說明軋机調整及疊板变形的特征，这是必要的。

如所週知，軋制时在变形区發生两种基本力：即电动机为完成軋制功在切綫方向所造成的圓周力，和軸承座所承受的使所軋金屬本身变形的徑向力 P 。

根据 А.И. 采利可夫 (Цельков) 的資料 [7]，在最簡單的軋制情况，当两个軋輥皆傳动且其直径与圓周速度相等，而所軋金屬以等速运动的时候，則作用於軋輥諸力的合力的方向是垂直的 (圖 4)。

按平衡条件，軸承之反作用力也應該是垂直的，並造成与軸承中摩擦力矩相等的力矩。

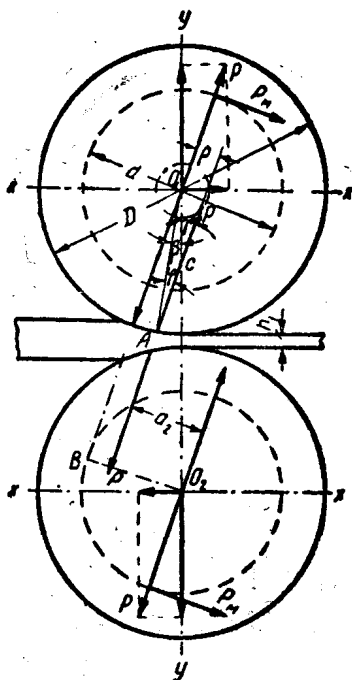
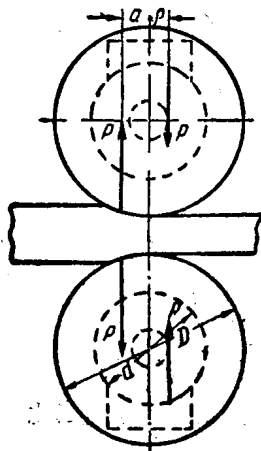


圖 4 普通軋制过程中合力的方向 圖 5 只有一个下軋傳动时力的方向

只有当軸承的反作用力等於金屬对軋輥的合成压力 P ，並且是与摩擦圓相切的垂直方向 (圖 4) 的时候，上述的条件才能成立。

在單軋傳动軋制的情况下，所軋金屬对上軋的作用力(用沿咬

入弧上的諸微分力表示之) 可呈一合力 P 的形式作用於 A 點, 估計到軋輥頸部的摩擦力, 這一合力系在摩擦圓的切綫方向 (如圖 5 所示)。而所軋金屬對下軋的合成壓力, 按平衡條件將與加於上軋之 P 力在一直綫上。

為了轉動兩個軋輥, 必須加於下軋的力矩為

$$M_2 = Pa_2 + P\mu \frac{d}{2},$$

式中 d = 頸部直徑;

μ = 摩擦係數;

a_2 = 力臂。

力臂 a_2 可以由下式得之

$$a_2 = BO_2 - \rho,$$

式中 BO_2 —— 由經過上軋中心並與 P 力平行之直綫至下軋中心的垂直綫;

ρ —— 摩擦圓之半徑。

若以 γ 表 P 力與兩軋中心綫之交角, 則 BO_2 段之長為;

$$BO_2 = (D + h_1) \sin \gamma.$$

由三角形 ACO 更得

$$\gamma = \beta + \varphi.$$

β 角由上軋之合成壓力作用點 A 確定之, 而 φ 角, 即由上軋中心至 A 點的半徑與 P 力之間的交角, 則可由下式求之

$$\sin \varphi = \frac{2\rho}{D} = \frac{d}{D} \mu,$$

故力臂 a_2 可由下式確定之

$$a_2 = (D + h_1) \sin (\beta + \varphi) - \rho.$$

以 a_2 之值代入下軋力矩方程式並注意到

$$\rho = \mu \frac{d}{2},$$

則轉動下軋所需力矩之方程式 (估計了兩軋輥頸部摩擦力) 為

$$M_2 = P (D + h_1) \sin (\beta + \varphi).$$

因而，單輥傳動的力矩約為雙輥傳動時每一輥輥所需力矩的兩倍〔7〕。

將 P 力分為垂直 (y) 與水平 (x) 二分力，則這些力將於輥輥及軸承上產生側壓力，並且這些側壓力方向各不相同：在上輥 x 分力順軋制方向動作，而在下輥則與金屬移動方向相反。

总的傾倒力矩的力將使机架有按金屬移動方向而傾倒的趨勢。

單輥傳動軋机上作用的力的方向在裝配机架時必須要考慮及之，以便正確選擇及安放側軸瓦，使輥輥有穩定的位置。

疊軋鋼板時軋制力的實驗研究及輥輥上實際壓力的測量有着很大的實際意義。

烏拉爾黑色金屬學院軋鋼實驗室在上伊塞特工廠 (Верх-Исетский завод) 軋制電機矽鋼片時，及在謝維斯基工廠 (Северский Завод) 軋制白鐵皮時，曾進行過這些研究^①。這些研究任務是測量輥輥的總壓力 P 及單位壓力 p (公厘/公厘²)。

為了測量壓力採用測壓儀，這測壓儀是根據利用電阻傳送器而設計的。УИМ (烏拉爾金屬學院——譯者註) 測壓儀的構造系一大杯形物，其表面與內部皆貼以由 0.03 公厘粗的鋼線合金棧。這種傳送器按不平衡電橋方式來接線。

這種測壓儀的重要的優點是其直線特性，這種特性既可用實驗來確定，又可以計算校核之。這便能夠可靠地把標尺開初部分所得的刻度結果外推到高壓區域，這種高壓在普通試驗機器上是不可能實現的。

測壓儀的電源用發電機來的直流電。量得的不平衡的電流為幾個微安培，這用一般的檢流表，靈敏度是完全足夠的。

由於軋制疊板時每道延續時間小，因而採用磁性示波器來記錄產生的壓力。測壓儀安裝在有水冷卻的底板上，因為上軸承座的溫度超過了 150°。

所有儀表的安裝圖及其在研究的測量過程中的相互聯系示於

① 研究者為Д.И. 茲雅羅夫，И.Ф. 扎茲哈及上伊塞特及謝維斯基工廠的工作人員。

圖 6。

研究的結果确定了每道軋制的实际力量並按下式計算了單位压力。

$$p = \frac{P}{bl_1},$$

式中 P ——軋輥上之总压力；

b ——叠板寬度；

l_1 ——变形区長度（考虑了軋輥的彈性压扁）。

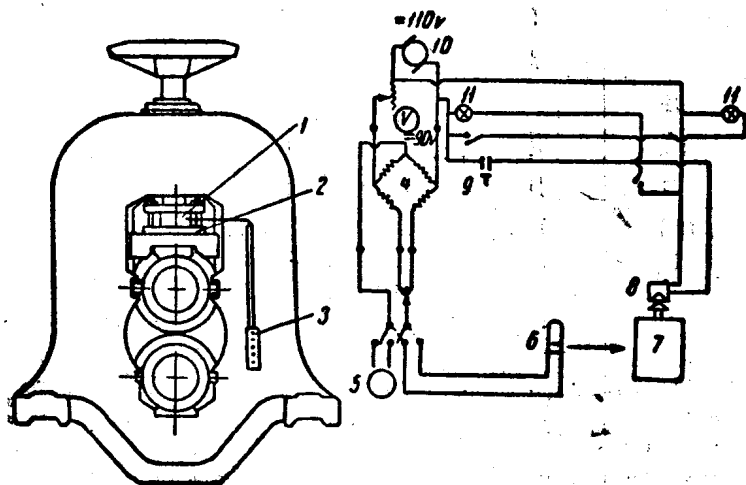


圖 6 測量軋制压力时仪表安置圖

1—測压仪；2—有水冷却的底板；3—控制盤；4—測压仪电桥；5—檢查徽安表；6—磁線；7—帶有感光帶的轉鼓；8—磁力接手；9—打开轉鼓縫隙並使其旋轉的按钮；10—供电的發電机；11—信号灯

热轧时在軋輥彈性压扁的影响下变形区的長度变化很少，因此可按下式确定之

$$l = \sqrt{R\Delta h},$$

式中 R ——軋輥半徑；

Δh ——絕對压下量；

考虑到轧辊的弹性压扁轧辊的实际半径按下式求之 [9]

$$R' = R \left[1 + \frac{2.3 P}{10^4 \Delta h b} \right],$$

式中 P ——轧制力;
 b ——叠板宽度;

轧制电机钢板及白铁皮时的总压力及单位压力之值彙於表 I 及表 2。

表 I

轧制尺寸为 $750 \times 1500 \times 0.5$ 公厘的电机钢板时压力测量的结果

工 序 号	工 序 名 称	道 次	厚 (公厘)		长 度 L_1 (公厘)	延 伸 系 数 (λ)	金 属 温 度 ($^{\circ}\text{C}$)	压 力 P (吨)	单 位 压 力 P (公斤/ 公厘 ²)	轧 辊 直 径 D (公厘)
			h_0	h_1						
1	单块薄板 轧制	1	7.00	4.52	380	1.55	870	1200	52	760
		2	4.52	3.35	515	1.35	845	975	62	760
		3	3.35	2.81	615	1.19	815	700	65	760
		4	2.81	2.40	720	1.17	780	630	67	760
		5	2.40	2.16	800	1.11	740	500	70	760
2	双块薄板 轧制	6	4.32	3.54	975	1.22	700	1050	82	760
3	折叠及加热	7	3.54	2.95	1170	1.20	—	—	—	760
4	单叠四層	8	5.90	4.44	780	1.33	850	1220	69	760
5	叠板轧制	9	4.44	3.49	990	1.27	815	975	69	760
		10	3.49	2.79	1115	1.13	775	780	64	760
		11	5.68	4.48	1400	1.25	740	1310	84	760
		12	4.48	3.85	1650	1.18	700	1200	97	760

应该指出, 在工艺的温度之内现有的关于各种钢号的叠板轧制时总压力与单位压力之值的计算资料, 与直接测量轧制压力的结果所得之值, 其间有很大的差别。

按 B. A. 恰古诺夫公式计算的单位压力其值远比测得者为小, 这可用薄板轧机轧钢机架工作的特殊条件来解释之。

在轧制过程中轧件送入轧辊, 上辊抬升到压下螺絲的端部, 发生猛烈的冲击。自然, 这种冲击会剧烈影响到测量压力的结果