

機械工作法叢書

無型鍛造

斯達特著

曾廣壽譯



科學技術出版社·1952

總號: 0033 分號: 4-08 定價: 15,000 元

版權所有 不准翻印

原著版本說明

書 名 Freiformschmiede

作 者 A. Stodt

出 版 者 Verlag von Julius
Springer, Berlin

版 次 第二版

出版年月 1934 年

著者: 斯達特(德) 譯者: 曾廣壽

特約責任編輯: 譚惠然 文字編輯: 曾一平 校對: 婁燕翔

1951 年 6 月發排(合作) 1951 年 12 月付印(星光)

一九五二年 一 月初版

北京造 0001—7000 冊

科學技術出版社 北京燈市口甲 46 號

中國圖書發行公司總經理

出版者的話

所謂無型鍛造就是不用模子的鍛造法，也就是憑手藝來鍛造。本書是從德國 Werkstattbücher 譯出的，全書分爲三編，即‘鍛工工藝’、‘鍛法舉例’和‘鍛工設備’。

第一編的主要內容，是解說鍛造方法的許多基本動作和決定鍛件尺寸的方法，並且還在前面講了一些鍛造方面的基本原理，以及鍛造對於鋼料的影響。從鍛工方面來說，是比較近乎理論的一部分，但這也正是工人同志們所缺乏的東西，也是工場管理人員所不可缺少的常識。

第二編是根據第一編裏面所講的原則而列舉的例子。

第三編敘述鍛工場的各種設備，對於各種爐子、動力錘、水壓機、吊車等，都有詳細的介紹。

本書原版本爲1934年出版，雖然內容老了一些，但對於我國現場工作的技術員工來說，還是一個很好的參考材料。

1951年5月

目 次

第一編

一	鍛造的原理	1
1	鍛造的定義	1
2	可塑性變形的一般情況	1
3	鍛造所引起的變形過程	6
4	原理方面的計算	11
二	鍛工場所用的材料	15
1	鋼料	15
2	鍛製和熱處理	22
3	熱處理	24
4	鋼料的分類	28
三	鍛造工藝	31
1	推擠法	31
2	伸展法	33
3	壓短法或鍛粗法	41
4	鑿孔法和開縫法	42
5	鑿截法	47
1	分段法	52
7	彎曲法	57

8 扭轉法	63
9 鑲接法	67
四 適合施工原則的鍛件設計法	74
1 原料的選擇	75
2 鍛造工件的精確度	76
A. 加工尺寸	76
B. 施工的精確範圍	78
3 適合工場實際情況的鍛件設計法	81

第二編

一 鍛造方面的一般要點	89
二 常用的中小型鍛件鍛造法舉例	92
1 關於工具表的說明	92
2 關於鍛製程序圖的說明	95
三 不常用的大型鍛件特種鍛造法舉例	130

第三編

一 鍛工場所用的燃料及其來源	149
二 燃燒的過程	153
三 鍛工場的爐火設備	157
1 簡單的爐竈	157
2 各種鍛工爐子	159
A. 燃用固體燃料的爐子	160
B. 發生爐式煤床的爐子（半煤氣式爐子）	160
C. 燃用煤粉的爐子	165
D. 燃用油料的爐子	167
E. 燃用煤氣的爐子	170
3 廢氣熱量的利用	173
4 爐子管理法	179

5 爐子的種類和用途	183
四 鍛工場所用的機器和工具	189
1 動力錘	189
2 蒸汽錘	193
3 水壓機	202
A. 純粹水壓式水壓機	202
B. 蓄力器	206
C. 蒸汽水壓式水壓機	208
D. 蒸汽水壓式水壓機和純粹水壓式水壓機的比較	215
4 蒸汽錘與水壓機的比較	216
5 掌握工件和翻動工件的工具	219
五 材料輸送路線對於鍛工場佈置的影響	224
譯名對照表	250

第一編

一 鍛造的原理

1 鍛造的定義

鍛造 (Schmieden) 是一種機械的加工手續，直接用壓或打的方法，使高溫的金屬，改變形狀。

這種加溫以後再使金屬材料改變形狀的方法，要使工件在可塑性 (Bildsamkeit) 最大的情況下，化費最少的能量，變成所需要的形狀，並且因此可以改善材料的性能。

所以鍛造的手續，對於各種材料，凡是在高溫下能夠發生極大的可塑性變形現象 (Bildsame Formänderung)，但是它的分子組織不致因而損壞的，都能適用。在工業方面有價值的金屬，以及它們的合金，例如：銅、青銅、紫銅、紅銅、鋁等，都屬於這類材料；其中尤其重要的，就是各種鋼料，也就是鐵的合金。

2 可塑性變形的一般情況

定義和說明 要明瞭可塑性變形的情況，和工業上用來改變材料形狀的各種方法，例如鍛、壓、軋、拉等手續，以及機械工程、土木工

程方面，關於材料強度、持久度和安全度 (Sicherheits) 等等問題，對於可塑性變形的過程，一定要有清楚的概念。

在力學裏面，關於物體的三種狀態，即固態、液態和氣態，都有詳盡的敘述，可是在金屬方面，我們還可以碰到一種介於固態和液態之間的狀態，這就是所謂可塑狀態 (Bildsamer Zustand)。

在材料強度學裏，對於金屬彈性變形 (Elastische Formänderung) 的各種規律，已經知道得很多，可是對於可塑性變形，還沒有充分了解；最近幾年來，因為研究得很積極，同時在物理學、金相學、鍊鋼學的協助之下，才有了些眉目。

這裏，對於可塑性和可塑性變形的定義，預備先講一講；把很複雜的過程，儘可能地用一種普通工場管理人員能夠了解的方式寫出來，引用的公式，也儘可能地力求簡單。

上面已經講過，對於有可塑性的物體，我們可以把它看成介於固體和液體之間的中間形態，在高溫下，同時又有壓力或拉力作用的時候，尤其可以把它看成一種黏度很高的液體，那末關於液體運動和變形的一切定律，都可以引用過來了。



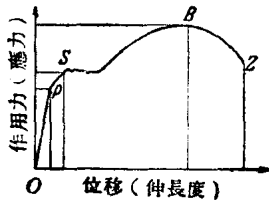
圖 1

拉力試驗 (Zugversuch) . 材料強度 (Festigkeit) 和伸長度 (Dehnung) 要說明可塑性變形的過程，應該從拉力試驗說起。

假如有一根長度是 L ，斷面大小是 F 的圓棒，兩頭由作用力 P 拉緊 (圖 1)，這根圓棒，就受到拉力的作用。假定作用力平均地分配在整個斷面上，使每一個單位面積都受到同樣大小的拉力作用，那末這個拉力的大小 σ (讀如雪格馬)，就可以用公式 $\sigma = P/F$ 算出來。 P 代表圓棒所受到的總作用力，用 kg 做單位； σ 是單位面積上的作用力，叫

做應力(Spannung)。

作用力 P 不斷地增加，圓棒的形狀慢慢地起了變化，它的長度變大，斷面變小。我們用長度或者斷面的改變情形，作為橫座標，應力的



大小作為縱座標，把在各種應力下面變形的大小，繪成曲線，那末對於圓棒的變形情形，就能夠得到一個準確的概念了。通常多用長度的改變和應力的大小，繪成曲線，稱為力量-位移曲線(Kraft-Weg Schaubild)。

圖 2 應力及伸長度曲線

圖 2 是用熔鋼做成圓棒，根據試驗結果所繪成的曲線形狀。用來執行試驗的圓棒長度，有規定的標準大小，叫做計量長度(Messlänge)；變形以後，量出圓棒伸長多少，把伸長的數量，用計量長度來除，得到的數字，叫做伸長度，也就是單位長度的改變量。

圖 2 的應力-伸長度曲線 $OPSBZ$ ，顯示韌性材料，例如熔鋼之類的長度改變過程，曲線的各段，表示各種應力範圍以內的材料性能。開始的時候，曲線成為直線的形狀，和應力座標作成一個很小的角度，這就表示，應力增加的時候，長度的改變很小，而且在同一應力增加量之下，材料長度的增加量也相同，這就是說：應力和變形成正比。在這個時候，如果去掉圓棒兩頭的作用力，它就會恢復原來的長度，這種變形的現象，完全是有彈性的，因此，能夠維持這種情況的最大應力，就叫做彈性限度(elastische grenze)，用 σ_p 來代表。假如作用力 P 繼續增加，到應力超過 σ_p 的時候，長度的改變，就比較顯著了，而且如果去掉作用力，變形的情形，依然存在。在應力的大小增加到 σ 以後，曲線成為水平的形狀，若干情況下，還要向下傾斜一些，

這就表示，雖然作用力沒有繼續增加，可是長度依然繼續改變；這個時候，作用力所做的機械工作，已經完全化在變形方面，有的時候，這種機械工作，還不足以使應力維持現狀，所以材料就像液體一般地流動起來，等到應力和作用力達到一種新的平衡狀況以後，方才停止流動，這樣，材料又能夠承受更高的應力了。發生流動現象的時候，材料內部所存在的應力，叫做流動限度 (Fließ grenze)，用 σ_s 來代表，相當於圖 2 裏面的 S 點。

作用力繼續增加的時候，除了長度改變以外，同時也發生了斷面縮小的現象，可以從圓棒上某一點向裏收縮的情形看出來；這個時候，材料的斷面雖然縮小，可是還能夠承受更高的作用力，它的材料強度，反而因此增加了。這種狀況，一直維持下去，到斷面減小太多，材料的凝聚力不能夠和應力維持平衡的時候，材料就發生分離的現象，圓棒被作用力拉成兩段。我們根據這個作用力的大小，和圓棒原來的斷面 F ，可以算出一個應力，把它叫做破裂應力，又叫做破裂強度，用 σ_B 來代表，材料性質的好壞，就可以用 σ_B 的高低來判斷。這種分離的現象，只有用脆硬的材料來做試驗的時候，才是突然發生的；如果用變形性能比較好的材料來做試驗，大多首先發現比較強烈的局部斷面收縮現象，應力逐漸降低，然後才慢慢地斷開。總括上面所講的，我們可以把材料在整個拉力試驗中的演變，劃分成下面幾個過程：

一種材料，因為受到不斷增加的作用力，漸漸拉斷的時候，整個過程可以分成三個完全不同的應力範圍：

1. 彈性變形的應力範圍，從 σ_0 到 σ_p ；
2. 可塑性變形的應力範圍，又稱為流動範圍，從 σ_p 到 σ_s ；

3. 發生加強作用的應力範圍，從 σ_s 到 σ_B 。

可塑性變形 要明瞭鍛造的過程，對於流動範圍以內所發生的可塑性變形現象，必須先要研究清楚，這種可塑性變形和鋼料突然流動的現象，究竟是什麼原因。要解說金屬的可塑性變形，必須從金屬的組織說起。我們可以想像，金屬是由許多小的結晶體堆砌而成的；在發生可塑性變形的時候，可能是結晶體本身發生變形，也可能是結晶體相互間的位置，起了變動；事實上，這兩種現象的確是同時產生的。

關於結晶體產生變形能力的道理，可以這樣解說：就是結晶體本身，能夠沿它的滑動表面(Gleitfläche)而移動；這種滑動表面，就是結晶體相互之間的接觸面，按金屬結晶的情形，和結晶軸(Kristallachsen)成一定的角度。我們可以想像，可塑金屬的結晶體，在受到壓力或熱力作用以後，排列成許多薄層，在到達可塑狀態的時候，就沿了一定的方向和表面，發生相對的移動現象；可是這種流動的方向，不一定是直的，這種流動的表面，也不一定是平的。我們也可以想像，金屬結晶的抗切強度(Schub festigkeit)，沿滑動表面最小，因此當外界作用力所產生的應力，超過滑動表面上的抗切強度時，結晶體就沿這種滑動表面，發生移動。我們可以用計算的方法，根據和作用力方向成各種角度的滑動表面，求出它們的抗切強度。結果發現：和作用力方向成 45° 交角的滑動表面上的抗切強度最小。金屬受到力量的作用時，因為本身由許多結晶體雜亂堆成，所以在進入流動範圍的時候，只有滑動表面偶然和作用力方向成 45° 角的結晶體，發生移動的現象，可是受到周圍結晶體的限制，移動還是很小；作用力增加到相當大小以後，位置比較好的結晶體也起了移動，才有強烈的變形現象；作用力

繼續增加，參加滑動的結晶體也不斷地加多，結果全部結晶體都開始移動，在作用力的方向，就有材料流動的現象表現出來。

除了組織的結晶以外，變形的能力還和力的作用速度以及溫度的高低有關係；加熱以後，結晶體的組織比較鬆動，所以流動性比較大，流動現象也發生得比較早。

拉力作用所產生的各種現象，上面已經很詳細地解說過了，這種解說的方法，同樣可以引用到其他受力的情形上（例如壓、彎、扭等）；因為材料的流動過程，或引起可塑性變形的，總是這些結晶體，所以關於其他受力情形，就沒有多講的必要了。

3 鍛造所引起的變形過程

鍛造的手續，主要地是用一連串不斷的打擊組合而成，因而引起的變形現象，發生在兩個方向。變形所需要的力量，由打鐵工具傳到工件上，在工具和工件接觸的表面上，有摩擦力存在，因此作用力所能產生的變形作用受到很大的阻礙。

自由立置的物體受到壓扁(Stauchен)作用以後的變形情形 假如摩擦力完全不存在，又沒有任何阻礙的作用，那末一個自由立置的物體，在受到壓扁作用以後，因為物體的分子平行移動，變形以後的形狀，應該和原來的形狀相似（圓柱體依然是圓柱體，立方體依然是立方體）。但是事實上在工件和工具的接觸面上，有摩擦力存在，阻礙了這種純粹的平行運動，所以工件的內層，對於或多或少地被接觸面上的摩擦力所固定了的外層，發生相對移動，因而產生的阻力，就叫做內部摩擦力(innere Reibungskraft)。它的作用，就是使物體的變形，需要化費更多的功（參考下文）；因此一個圓柱體或立方體，在有

阻力的情況下變形以後，就變成圖 3 所假定的形狀了。

在圖 3 裏面，材料上可以分爲三個區域：區域 I 在上下接觸面的附近，是受到摩擦力的作用移動受阻礙的部分。區域 II 是主要的變形部分，愈近中央，變形的情形愈強烈；並且區域 II 有一部分伸入工件的角上，這是因爲這一部分材料受到特別大的切力作用，所以在壓擊的力量太大的時候，靠近工件接觸面的側面部分，有捲向接觸面的現象。在側面區域 III 之內，整個高度上的變形，大致相同，可是這裏有拉力作用，使材料的組織變鬆；如果工件的側面上有一條裂縫，在工件壓扁以後，裂縫就會變得很大，這就是有拉力作用的證明。

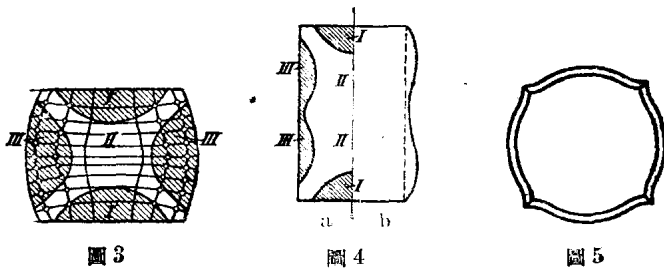


圖 3—5 圓柱形和方形物體受到壓扁作用以後的變形

假如工件的高度和斷面比較起來，顯得很大，那末分區的情形就稍有不同（圖 4a），材料流動的情形也不相同。在開始的時候，工件側面靠近上下兩頭的地方，首先突出，經過不斷地壓擊以後，方才變成中間突出的樣子。物體受到壓扁作用以後，它的斷面由兩頭向中央逐漸增加，可是整個體積，依然和原來一樣大小。圓柱形的物體，受到壓扁作用以後，斷面仍舊是圓的，可是方形的物體，在壓扁以後，它的斷面就不再是方形的了。它的周邊本來是直線形的，現在中間突出，接近圓形，可是尖角部分，無法完全消失；材料冷卻愈快；材料的可塑性愈小，尖角部分愈不易消失。圖 5 是方形物體受到壓扁作用以後，從上

面看下來的形狀。

側邊是直線形狀的物體，經過鍛造的手續，就變為桶形；假如打擊的力量太大，物體就會壓碎。這種事實，有人用一種叫做“滑動圓錐律”的理論(Rutschkegel Theorie)來解釋它；這種理論就是說：圓柱體受到壓扁作用以後，在上下接觸面上，生成一個不發生變形現象的圓錐部分。以後經過實驗證明，接觸面上的摩擦力，的確在工作內部生成這樣的一個滑動圓錐。所以要物體達到完全變形的目的，並且不致產生滑動圓錐和側面突出的現象，可以在接觸面上加以適當的潤滑，或者把接觸面的附近，做成圓錐的形狀。

圖 3 所表示的樣子，可以代表變形時發生滑動圓錐的大概情形，所不同的是：材料內部變形的情形，是從一個區域，漸漸地進入另外一個區域的，並不像圖裏面的樣子，有清晰的界線；而且接觸面附近所生成的圓錐部分，也有變形的現象存在。根據新近的試驗結果，證明工件的各部分，都有變形的現象，不過變形的大小種類，各不相同而已。

材料受到伸展作用 (Strecken) 以後的變形情形 伸展作用是由依次鄰接的作用在長桿上的一連串壓擊動作而成，在每一次壓擊的時候，因為材料的兩旁有尚未受到壓力作用的部分存在，所以材料裏面的變形區域和上下接觸面附近的組織形狀，都和上面所講的情形不同。

在這種情況下，材料內部的應力分

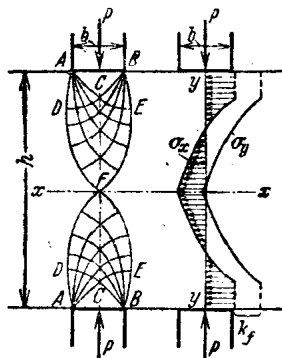


圖 6 用狹小的工具接觸面施行壓擊時，在材料內部所引起的流動曲線(左)和應力曲線(右)

配情形，非常複雜，應力的大小，也是到處不同，很難準確地求出；可是我們可以利用假定的條件，把情況加以簡化，計算出材料裏面的最大應力；並且能夠設法把應力分配的情形，用機械的方法表現出來，使我們可以用眼睛去考察它。

圖 6 (左) 是根據理論方法所繪成的應力曲線，表示用狹小的壓頭來進行伸展手續以後，在一根方形鋼料裏面所引起的應力；繪的時候，已經照顧到接觸面上有摩擦力及接觸面兩旁有未受壓力作用的材料而發生的影響。作用力 P 推動接觸面 AB 的時候，材料的分子就發生流動的現象。圖中的流動曲線，就代表分子流動的方向；假如我們把它看成立體，那末它所代表的就是許多分子的流動層。曲線互相交截成一定的角度，成為對垂直線 $c-c$ 及水平線 $x-x$ ，對稱的一族曲線羣。最靠外面的兩根界限線 AOF 和 BEF ，就是可塑性變形區域，和彈性變形區域的分界線，從 A 和 B 出發的許多曲線，事實上有若干是伸到彈性變形區域裏面去的；面積(或空間) ABC ，代表流動現象受到摩擦力阻礙最強的一部分材料。

圖 6 (右) 是根據流動曲線羣所計算出來的應力曲線。水平應力 σ_x ，作用在通過作用力中央的垂直平面裏；靠近接觸面的地方，是大小相等的受壓應力 (*Druckspannung*)；由此逐漸減小到零值(參考圖中 σ_x 曲線)，再變成受拉應力，逐漸增加，到水平中線 $x-x$ 而達到其最大值。在同一平面之內，垂直應力 σ_y 是到處相等的(參考圖中 σ_y 曲線，用 σ_x 曲線做基線而繪成)，它的大小等於作用力 P 被接觸面 F 除，我們用 k_f 來代表它。

圖 7 是一個實際試驗的結果，把一根方形長桿，用分級增加的力量，在不同地點施行壓擊，再用弗利氏酸侵法 (*Ätzung nach Fry*) 把

變形區域和流動曲線羣顯示出來。由此可見，變形區域的形狀和理論方面所得的結果，十分相像；而且壓力愈大，它的滲入範圍也愈廣，結果可以使變形區域合而為一，它的流動曲線已經不能夠一根一根

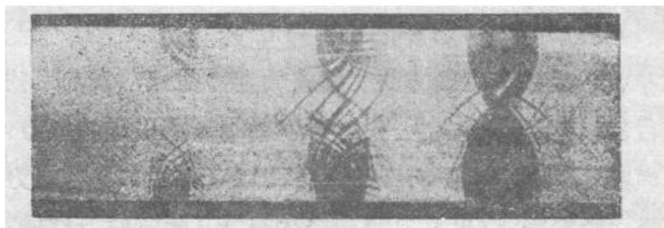


圖 7 用狹小的壓頭所做壓擊試驗的結果（用弗利氏酸侵法顯形）

地辨別出來；可是變形區域的中央部分，仍舊是狹小的，這個缺點，可以改用寬闊的壓頭來免除它，圖 8 就是這樣試驗的結果。根據上面所講的種種推想和試驗，可以得到一個在工場實施方面非常重要的結論：要把一個工件，完善地鍛到它的中心部分，必須應用足夠強大的

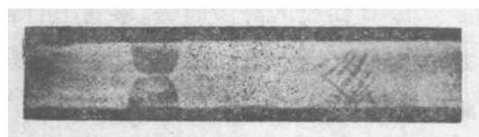


圖 8 用寬大的壓頭所做壓擊試驗的結果（用弗利氏酸侵法顯形）

壓力和相當寬闊的工具接觸面（和工件的高度比起來）。接觸面過於狹小的時候，非但不能充分地把工件鍛透，而且會沿縱長方

向在工件的中心部分，引起強大的受拉應力，這種應力，就是發生裂紋的原因。根據其他推論和試驗的結果，我們知道，如果壓頭太寬，也會發生不良的後果，工件內部不能充分變形的部分，非常寬大，發生強烈的受壓應力（Druckspannung），必須多費鍛製的手續，因而損失鍛製方面的加工費用。所以在整個鍛製過程中選擇汽錘（或稱汽錘頭）或水壓機的大小，以及選擇壓頭和抵鐵的寬度，是一件非常重要的事情。

由試驗又知，在壓力相當強大的時候，變形區域能夠超過接觸面的寬度很多；進行伸展的時候，一部分材料向前推移，圖 9 就是根據上面的推論繪出的，在方鋼裏因此產生的滑動層(Gleitschichten)。

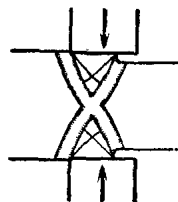


圖 9 伸展時所產生的滑動層

上面所舉的推論和試驗結果，只適用於未曾加熱，而可塑性並不很大的材料上，但它的基本性質，是可以引用到高熱的受鍛工件上的，並且可以用來幫助解說在鍛製方面所發生的各種現象。

4 原理方面的計算

材料可塑性變形所需能量的計算 材料發生可塑性變形時，需要一定的力和能量，我們可以按照最簡單的情形，把它們計算出來。所謂最簡單情形，就是一個斷面是方形或圓形的物體，自由立置，用打擊的方法，使它壓扁。假如要使計算的結果十分準確，那末還要把摩擦力略去不計，這種摩擦力，就是打壓的力量，在工具和工件的接觸面上所引起的。

以下，我們首先略去摩擦力，假定物體在受到壓扁作用以後，依然保持着相似的基本形態(側面突出的現象，完全是摩擦力的結果)，它的斷面，按照高度減小的情形而增加。

在沒有摩擦力的情況下，自由立置的物體，因受壓扁作用而縮短的時候，可以用下面的公式，把所需要的力量計算出來：假如 F 是工件的斷面，用平方公厘 (mm^2) 做單位， k_f 是材料的變形阻力，用公斤/平方公厘 (kg/mm^2) 做單位，那末壓扁時所需要的力量為：

$$P = F \cdot k_f \quad [\text{kg}] \quad (1)$$