

出版者的話

祖國正在進行着大規模的經濟建設，大量的新工人將要不斷地參加到工業建設中來，同時現有的技術工人，由於在舊社會沒有學習的機會，經驗雖豐富，但理論水平較低。為了使新工人能夠很快地掌握技術的基本知識，並使現有工人也能把實際經驗提高到理論上來，因此，我們出版了〔機械工人活葉學習材料〕。

這套活葉學習材料是以機器工廠里的鑄、鍛、車、鉗、銑、鉋、熱處理、鉗、鉚等工種的工人為對象的。每一小冊只講一個具體的題目，根據八級工資制各工種各級工人所應知應會的技術知識範圍，分成程度不同的〔活葉〕出版。

這本小冊子說明了拉深沖模在製造上的技術要求和怎樣達到這些要求。書中舉出拉深沖模的實例來講解製造時的加工方法。為了提高工具鉗工製造沖模的理論知識，並說明了有關金屬板拉深的各種必要的理論。

本書可供四級以上工具鉗工作為學習材料。

編著者：張蔭明

NO. 1124

1956年10月第一版 1956年10月第一版第一次印刷

787×1092¹/₃₂ 字數31千字 印張1⁷/₁₆ 00,001—10,000冊

機械工業出版社(北京東交民巷27號)出版

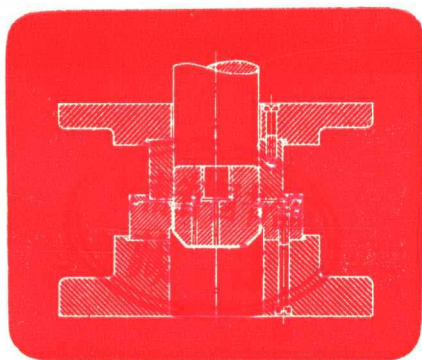
機械工業出版社印刷廠印刷 新華書店發行

北京市書刊出版業營業許可証出字第008號 定價(9)0.19元

機械工人活葉學習材料 270

張蔭朗編著

怎样制造拉深冲模



機械工業出版社

目 次

一 拉深工作的特点	3
二 拉深金屬的塑性变形性質	4
三 拉深冲模的一般結構	9
四 一般工件的拉深过程	13
五 拉深用机床	19
六 拉深冲模的技術条件	22
1 冲模材料(23)——2 表面光潔度(23)——3 加工精度(24)——	
4 凸模和凹模的圓角半徑(26)——5 凸模和凹模的形狀(28)——	
6 压料板的形狀和压力(31)——7 冲模的裝配精度和拉深工件的 缺陷(33)	
七 制造的实例說明	38

一 拉深工作的特点

金屬的拉深工作是冷冲加工方法的一种，它是用平板形狀的料坯，在冲床或專門的机床上，用拉深冲模（又叫压延冲模）把料坯冷压成各种立体的殼子形狀。如我們在車間飲水用的搪瓷水杯，就是应用这种加工的方法做成的，然后再焊上一个把手，成为有把的水杯。

拉深主要是利用金屬的延展性，使金屬在冲模的压力之下產生塑性变形[●]。这样就要求所用的金屬材料有充分的塑性变形能力，要求冲模和冲床有足够的力量，不然就达不到这个目的。

就拿水杯的拉深做例子來講，使用的料坯是一塊圓形鋼板，它的直徑是 D 。要拉成直徑是 d ，深度是 h 大小的水杯。使用的工具叫拉深冲模，如圖1上所表示的，1是凸模，2是凹模，3是料坯。当凸模慢慢地進入凹模去的时候，料坯就被挤压随着模子的形狀成为所要的水杯了。因为拉深以前的料坯是根据等面積的方法計算出來的，也就是說：水杯的全部表面積和料坯的全部表面積相等（指厚度不变的情况），所以做成水杯以后並沒有多余的材料；这样就比用其他的方法（比如焊接）制作來得經濟，材料和时间都節省而且質量要好。

从圖1上看：料坯的表面積既然需要和工件的表面積相等，

- 塑性变形——金屬受了外來的力量以后，必然要沿着外力的方向產生变形。如果外來的力量取消了，变形也随着消失，这种变形叫彈性变形；当外力太大的时候，变形也加大，超过了材料本身的彈性，就產生了永久变形，这种变形是当外力取消以后也不会消失的。塑性变形是包括这两种情况的，彈性变形和永久变形同时產生。外力取消后，也就是拉深的工件从冲模中脫出后，彈性变形消失，留下来的是永久变形。

那么从計算上和經驗估計上都可以看出來，水杯的深度 h 必然比 h_0 要大。也就是說明了这样一个問題：假如料坯的外圍可以被分为兩部分的話，一部分是直接弯曲上去的金屬，如料坯圖中的 a ；一部分是被挤压变形了的金属，如料坯圖中的 b 。但是实际上当板狀的料坯从凹模和凸模之間的空隙里被挤压下去的时候，並不是这样很顯然地被分为兩部分，而是一律地被挤压。料坯在圓周方向上要縮短，在半徑方向上要伸長，这样就使得料坯的外圍部分產生了塑性变形，从圓环的形狀变为圓筒的形狀了。

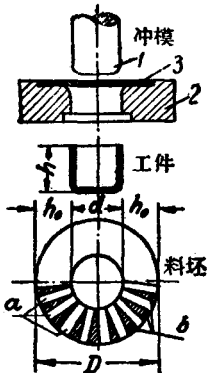


圖1 拉深的例子——水杯。

二 拉深金屬的塑性变形性質

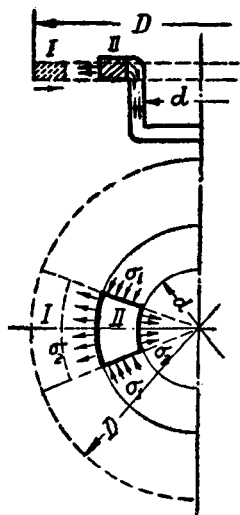


圖2 水杯拉深時，料坯的變形情況。

金屬在被拉深的时候究竟是發生怎樣的變化呢？我們必須對它有了認識，才能体会拉深工作的特性，做出合用的拉深冲模來。

讓我們還从第一節的例子說起，当拉深水杯的时候，料坯的外圍 (h_0 部分) 的变形可以由圖2來說明。金屬平板料坯的直徑 D 是比凸模的直徑 d 大得很多的。当凸模進入凹模以后，从凸模的外徑开始，金屬因为有了模的限制，必須变成所要的直徑 d 那样大，在料坯的圓周方向就產生了收縮。这样一来，水杯的壁就必须变厚才能適應金屬的收縮。可是凸模和凹模之間所留的間隙是和料坯的厚度相同的，不允許金屬变厚，於

是必然要向半徑方向伸長，來適应收縮的金屬。這兩種作用同時合併產生，就引起了金屬結晶體內部的應力，也就是所謂內應力[●]。如果我們採取在凹模入口處的任意一塊小扇形面積來看，就如圖2中所表示的：在圓周方向產生壓縮內應力 σ_1 ，在半徑方向產生伸張內應力 σ_2 。

在拉深的過程當中，扇形面積Ⅰ在沒有受力以前的大小和厚度如圖上虛線所表示的樣子。拉深開始以後，它就沿着箭頭所指的方向往凹模的口部移近，這時候它所受的力量是圓周方向的壓縮力大於半徑方向的伸張力，就使它的厚度增加了。當這塊扇形金屬走到凹模口附近的時候，就變成了圖中Ⅱ所表示的大小。金屬的體積並沒有改變，而形狀改變了，厚度比料坯原來的厚度增加了。

這小塊扇形金屬再繼續被拉深，它就開始進入凹模，在凹模的口上它受到最大的外力，相應的產生了激烈的變形，半徑方向的伸張力大於圓周方向的壓縮力，金屬被拉長了，沿着凸模和凹模的間隙做成了水杯的圓筒形牆壁。

再進一步研究被拉深的金屬在沖模里各個地方的情況，是對於我們認識拉深的特性有幫助的。我們從圖3上看。這是一個用帶有壓料板的拉深模來拉成圓筒形工件的情形。在料坯進入凹模以後，全部金屬都受到了不同大小不同方向的外力（沖壓力），於是金屬內部也就隨著外力的情況產生了大小和方向不同的內應力和變形。

● 金屬材料是由許多金屬原子依照一定的組織形式排列成為結晶體的。當它受了外力以後結晶體的組織被迫發生了變形，或者伸長、或者縮短、或者歪曲。而這些變化都是使它們的原子和原子之間的關係位置改變，它們要反抗這種改變，於是就使得原子和原子之間產生了互相牽制的力量，這力量的方向是和外力的方向相對抗的。因為是金屬結晶體內部產生的，而且是和外力的大小、方向相應產生的，所以叫做內應力。

· 如果用一個立方體來代表各個部位的金屬結晶粒[●]。用箭頭來表示它們所產生的內應力和變形的方向，那麼我們可以把被拉深的料坯分成五個不同的部分。在圖3中， σ 表示應力的方向， e 表示變形的方向。我們看：

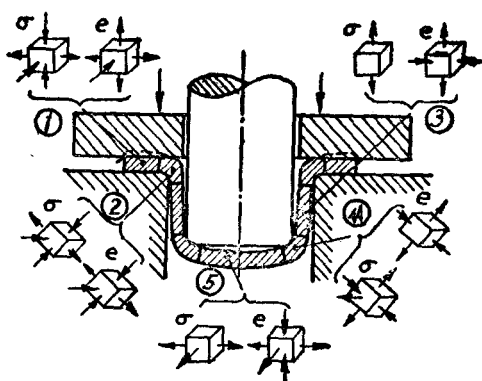


圖3 金屬結晶拉內應力和變形的方向。

1. 在凹模口附近的料坯邊緣部分① ——由於圓周方向的收縮、半徑方向的伸長、和厚度方向的增加同時產生，應力和變形都是在三方向同時發生的。這是因為料坯由大的直徑向小直徑減縮了，同時又被凸模向下的力量拉入凹模，必然發生這樣的應力和變形，很容易体会的。

2. 在凹模口的部分②——這部分的金屬起着激烈的變化，它要通過凹模口的圓弧面把平板的料坯變為直立的圓筒，所受的力量很大，但是情況是和上面說的相同，也是應力和變形在三方向同時產生的。

3. 在凸模和凹模的間隙內的部分③ ——這一部是只受凸模向下的壓力，使金屬伸長。應力是主要在半徑方向上的，而變形却是在半徑方向和厚度方向同時產生。因為金屬的體積不變，它被拉長了以後，必然要減薄的。

4. 凸模的轉角部分④——這一部分的金屬受力的情形，和凹模

● 金屬結晶粒 金屬的結晶是正方形的組織，一個結晶體是許多結晶粒組成的，結晶粒是構成結晶的最小組織單位。

口上是一样的，所以內应力也是三方向同时產生的。但是这一部分的金屬是最先接受凸模的压力的，它很容易並且很早就被拉長了，所以沒有增加厚度，反而減薄了，变形只有在半徑方向和厚度方向上產生。

5. 凸模的底面⑤——这一部分是受四周金屬拉力的影响，直徑略微增大而厚度略微減薄，但是因为四周的拉力不是很大的，所產生的变形是在金屬的彈性限度以內，不会得到永久变形，所以当工件脫模以后，变形就消了，实际上厚度並不減少。只有半徑方向的应力，而变形是發生在半徑方向和厚度方向上的。

从一个拉深实例的測量，可以証明金屬料坯的变形情形。如图4是一个用3公厘厚的平板料坯拉成的盆，从盆底的中心开始測量，直到盆的外緣，厚度的变化情形用百分数來表示。最大的厚度減縮在凸模的轉角部分，达到27.5%；最大的厚度增加在料坯的外緣部分，达到10%。

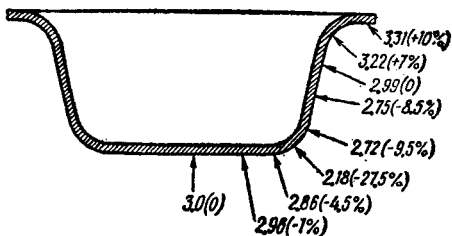


圖4 拉深零件厚度的变化。

另外一方面，随着板料的变形，必然有在半徑方向上的伸長，伸長的大小也是各部分不相同的。我們用像圖5的方法來試驗拉深时的伸長情形，在圓形的平板料坯上画成許多等距离的同心圓，並且按相等的度数画許多半徑線，在料坯

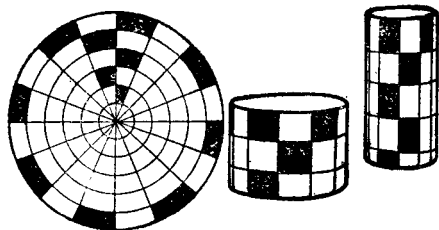


圖5 試驗拉深零件伸長的方法。

上就形成了許多扇形平面。用这个料坯在拉深冲模里進行拉深，就造成如圖 5 中所表示的，扇形平面在拉深以后变成矩形的平面了。拉得越深，矩形的長度就越大。

如圖 6，就是用上述的方法在料坯上画出線來以后，在冲模內拉成的和圖 4 一样的盆。未拉以前的料坯上画了每隔 5 公厘一道的同心圓，拉成以后这些同心圓的距离增大了，增大的情形如圖 6 上所表示的。最大的伸長是在盆壁的中

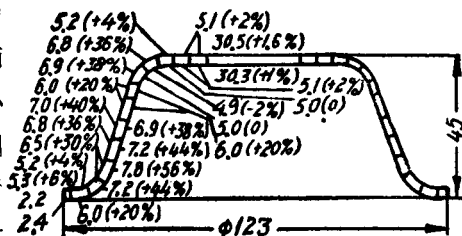


圖 6 拉深零件厚度变化的另一个例子。

部，达到40%（外面）和56%（内面），而在凸模的轉角部分，内面有縮短的現象發生，达到2%。

由以上的兩個圖例（圖 4 和圖 6）說明了以下几个問題：

1. 在凸模的轉角部分，金屬有顯著的減薄，而且外面伸長，内面縮短，和普通的板料弯曲情况相同。
2. 在凸模的底面，金屬的变形很微小，不值得注意。
3. 在圓筒形的壁上，也就是凸凹模之間，金屬有很大的伸長。
4. 在凹模口上和凹模口外的附近，金屬有較大的伸長和增厚。

因为各部分的变形不同，内应力也不同。变形大的部分，内应力也就越大。如果料坯的强度小於拉深时候所產生的内应力，就会造成破裂和其他的缺陷。在料坯的外圍所受的圓周方向的压縮力最大。對於較厚的料坯，能够随着直徑的縮小而增厚；對於較薄的料坯，压縮内应力远超过了材料的强度和收縮能力，就会產

生褶皺，如圖 7 的情形了。

內應力和變形的大小，和甚么有關係呢？主要是：

1. 拉深後的直徑和料坯的直徑的比例。也就是圖 1 中 d 和 D 的比例，我們管它叫拉深系數，用 m 來代表

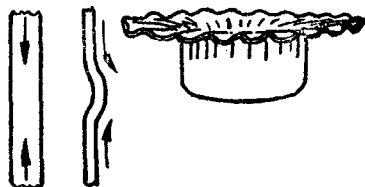


圖 7 薄壁零件所產生的褶皺。

$$m = \frac{d}{D}。$$

如果 m 的數值太小，也就是料坯直徑大而拉成後的直徑小，就會使內應力大大地超過了材料的強度而發生拉裂現象。

2. 凸模轉角和凹模口處的圓稜半徑的大小，直接影響料坯在變形時所發生的內應力。圓稜半徑越小，內應力就越大，會造成破裂。而圓稜半徑過大，當料坯在進入凹模口時候，受圓周方向壓縮力的範圍增大，造成褶皺。

3. 拉深的速度也影響變形的進行。如果拉深的速度太快，內應力很快的產生了而變形不能相伴着發生，就造成料坯的破壞。

所以對於拉深沖模的設計和製造，必須首先考慮這些方面。如果考慮的不適當，就一定會失敗。

當金屬發生了塑性變形以後，由於結晶粒之間發生了位置的移動，使硬度增加，延展性降低。所以一度拉深過的料坯，在進行第二次拉深之前，必須經過一次熱處理，使畸變了的結晶恢復到原來的正常狀態，不然就會造成破裂。

三 拉深沖模的一般結構

拉深沖模一般可以分成有壓料板和無壓料板的兩類。無壓料板的拉深沖模如圖 8。1 是凸模，在凸模上鑽有氣孔 5。因為當

凸模把料坯拉深成为杯形以后，凸模和工件之間沒有空气存在，同时又有滑潤剂，工件不容易从凸模上脫下來，必須留下進空气的气孔。2 是凹模，在凹模的下面留有脫料頸 4，当工件从凹模的口向下伸出的时候，由於工件的彈性变形的消失，使工件向四外膨脹，和脫料頸相撞，把工件从凸模上脫下來，落到下面。3 是料坯定位板，料坯放在定位板所限制的范围以內，保證位置正确。

这类拉深冲模的拉深过程如圖 9 所表示的。起初，凸模向下接触到平板的料坯，拉深过程开始了。凸模進入凹模以后，料坯的四周就向上翹起來，同时發生皺褶，这些皺褶随着凸凹模的間

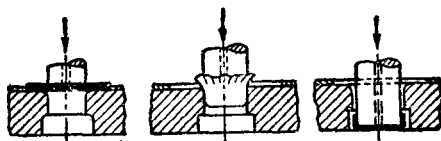


圖 9 無压料板拉深冲模的拉深过程。

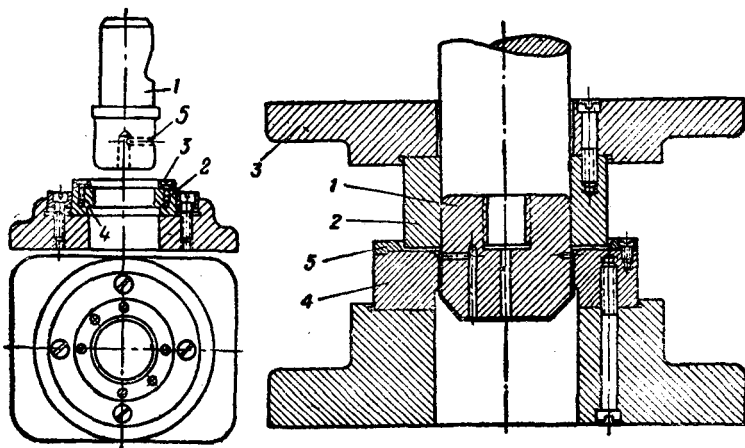


圖 8 無压料板的拉深冲模。

圖 10 有压料的拉深冲模。

隙的挤压，和金屬的塑性变形，就消失了。最后全部料坯从凹模通过，完成了拉深工作。料坯从凹模的下面脫落了。

無压料板的冲模適用在料坯的厚度較大而拉深的深度較小的工作上，模的結構簡單。

有压料板的拉深冲模如圖 10。1 是凸模，2 是压料板，3 是压料板座，4 是凹模，5 是料坯定位板。結構基本上和無压料板的相同。在料板的作用是防止工件產生皺褶。

从这两个类型的拉深冲模看來，一般拉深冲模的基本組成零件就是凸模、凹模、压料板三件，其余的都是輔助零件。我們在制造拉深冲模的时候，也是主要的对这三种零件進行精細的加工。現在我們對於这三种零件，根据拉深工作的要求來研究它的制造技術条件。

1 凸模 凸模是直接傳達冲床的冲压力到料坯上去的工具。它要能承受全部的拉深力量，所以必須有足够的强度，否則就会折断或弯曲。而且凸模和冲床滑塊的結合关系也要注意。一般無压料板的拉深冲模是不装在上板座上的，就直接装在冲床的滑塊上，它必須能適合於滑塊的艙孔和平面，才能安裝牢穩。

凸模是拉成工件的內徑的标准，所以它的尺寸必須正确。虽然拉深以后的工件也会由於彈性变形的消失而脹大一些，但是相差很少。拉深过程完了以后，工件必然抱住凸模的外面，为了使工件从凸模上容易脫落，一般应当留一些錐度。

凸模的硬度和光潔度也是很主要的条件。因为料坯在進入凹模口以后，被下模的向內約束的結果，有很大的力量压在凸模的表面，如果硬度不够，就会被料坯挤出許多凹痕來（因为經過塑性变形以后的料坯，表面硬度增加了）。而且光潔度低也影响到表面的强度和脫模的力量。

凸模的气孔是必須要有的，为的是使料坯的兩面气压相同，脫模容易。

凸模的圓稜是影响拉深效果很重要的地方，这一点以后有專門討論。

2 凹模 凹模是直接承受拉深力和压料力的，所以应当有足够的强度。太薄或太小的凹模，容易在拉深过程中裂开或弯曲变形。而太厚或太大了，不但浪费材料，而且使用起来不方便，增加了不必要的重量。

凹模的模口和模面，要求有高的硬度和光潔度，特别是模口圓稜部分。因为板料在模口部分產生最大的变形力量，如果硬度不够，不能承受金屬板从表面滑过去的压力和摩擦力，就被压和磨成一条条的凹痕，而且影响了工件的平整，引起皺褶的發生。凹模的寿命主要是指模口部分的光滑平整性的保持，当模口部分失去了平整性和光滑性，就不能再使用了。

凹模的形狀一般是环形的，而且有許多孔，面積也較大，所以在热处理上比較困难，一切变形、軟点、淬裂等等的缺陷都不能有。

凹模的尺寸是决定工件的外周輪廓尺寸的，也必須准确。

3 压料板 压料板的作用是增加料坯和凹模面之間摩擦阻力，以达到限制料坯的自由变形，防止發生皺褶的目的。因此，压料板要求平整、光滑、强度高、硬度高，和凹模差不多的。

压料板不平，会引起料坯的入模不均匀，使工件一边高一边低，一边薄一边厚，因此使上模受力过大而發生弯曲。压料板的光潔度不均匀，也会發生同样的結果。压料板的硬度不够，在接近模口的部分会磨損出深溝來，使拉深出來的工件有皺褶。

除此以外，其他的輔助零件也有一定的要求条件。

从总的來說，每一套拉深冲模必須符合以下的要求：

1 强度 無論主要零件，輔助零件，以及上下座板、導柱套筒等等，必須有足够的强度。不允許有过大的弹性变形。这一点当然是主要从冲模的設計上來考慮，然而在制造冲模的时候，對於材料的選擇和檢查，對於加工时的內部伤損（如鍛造坯料时的鍛裂），也应当注意到。

2 平直度 要求凸模能正确地進入凹模，不發生偏斜歪曲的結果，對於每一个零件加工时的几何偏差，必須特別注意。因为冲模是由許多件板形的零件組成的，如果每一件板形零件的上下平面不平行，裝配的結果，就造成向各方面傾斜的冲模，使得凸模的軸線和凹模的軸線不一致，压料板和凹模不平行，就不会拉成好的工件。

3 裝配的牢固性和可靠性 虽然每一件冲模零件的加工都很好了，但是往往由於裝配的操作方法不合適，造成不可靠（裝配尺寸关系不正确）。造成零件和零件的結合不牢固，經不起巨大的拉深震动力，工作的时候会發生松脫螺釘，跑模子，跑料等等的缺点。

4 重量 全套冲模的重量，要求在强度足够的条件下越輕越好。这一点当然也是由設計时考慮的，但是制造上也应当注意。因为一般的工厂里，對於冲模类的設計都是尽量採用标准化了的零件的；同时有些簡單的冲模，根本不須設計制圖，由工人自己來做的时候很多。

四 一般工件的拉深过程

用拉深方法制造的工件，它的基本形狀不外圓筒形、帽形、圓錐形、卵形、半球形、四方形等几种。其中最簡單而用途最廣

的是圓筒形和帽形。

無論什么样的形狀，在拉深過程中，主要是根據料坯的大小和拉深以後的大小來決定用幾次拉成的。因為每一次拉深的深度受到材料塑性能力的限制，不能夠拉得很深，不然就會發生拉裂的現象而造成了廢品。

從圖 11 上可以了解，要拉深像漏斗形狀的圓錐體，必須經過六次拉深，每一次的形狀都不相同。因為料坯是一塊平板，如果直接用圓錐形的上模去拉，必然會把料坯頂破一個洞而四周起很多的皺褶的。為了使料坯不被頂破，就要使料坯各處半徑方向的伸長和圓周方向的收縮都不超過金屬的變形能力，這樣就選用了如圖 11 的拉深過程，分成六個工步。第一次先由平板拉深成為圓筒形，第二次把直徑減小，並且為了使圓筒形底角部分不發生過度的減薄，上模做成斜稜角。第三次拉成階段形狀的圓筒。第四和第五次是逐步把階段增加到三段和四段，這時它的形狀已經和圓錐形相似了。第六次就可以用圓錐形的上模把階段拉平，成為所要的形狀了。每兩次之間都要經過熱處理，使變了形的金屬晶粒恢復成原來的正常組織，免得發生拉裂的危險。

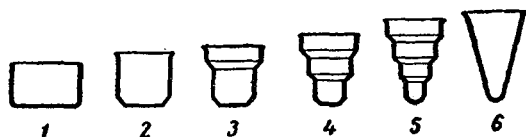


圖11 圓錐體的拉深過程。

在前面說過的拉深係數 $m = \frac{d}{D}$ ，是用圓筒形工件作為代表的。實際上對於各種不同形狀的工件，也可以看做和圓筒形狀相似。

拉深係數的大小，是和拉深用的材料有關係的。塑性變形能

力大的金屬，拉深系数也大。拉深系数的計算，从圖 12 甲中可以看出。工件的尺寸是直徑 52.7 公厘，深 105 公厘，毛坯直徑 158 公厘，分四次拉成。

第一次由直徑 158 公厘的料坯拉成直徑 108 公厘，深 31 公厘的盆形，拉深系数 $m_1 = \frac{d_1}{D} = \frac{108}{158} = 0.62$ 。

第二次由第一次拉成的盆形，再拉深成直徑 83 公厘，深 54 公厘的淺圓筒形，拉深系数 $m_2 = \frac{d_2}{d_1} = \frac{83}{108} = 0.7685 \approx 0.77$ 。

第三次由第二次拉成的圓筒形，再拉深成直徑 60 公厘，深 39 公厘的深圓筒形，拉深系数 $m_3 = \frac{d_3}{d_2} = \frac{60}{83} = 0.723$ 。

第四次是拉成工件所要的尺寸，拉深系数 $m_4 = \frac{d_4}{d_3} = \frac{52.7}{60} = 0.878$ 。

圖 12 乙的例是拉深一个圓錐形工件的拉深过程，从毛坯到成品經過七次拉深一次修整而成。拉深系数的計算是按每一次拉深时候直徑發生变化的数字來算的。

$$\text{第一次拉深系数 } m_1 = \frac{d_1}{D} = \frac{86}{111} = 0.774$$

$$\text{第二次拉深系数 } m_2 = \frac{d_2}{d_1} = \frac{66.7}{86} = 0.775$$

$$\text{第三次拉深系数 } m_3 = \frac{d_3}{d_2} = \frac{47.6}{66.7} = 0.713$$

$$\text{第四次拉深系数 } m_4 = \frac{d_4}{d_3} = \frac{31.7}{47.6} = 0.665$$

$$\text{第五次拉深系数 } m_5 = \frac{d_5}{d_4} = \frac{22.2}{31.7} = 0.70$$

$$\text{第六次拉深系数 } m_6 = \frac{d_6}{d_5} = \frac{15.8}{22.2} = 0.71$$

$$\text{第七次拉深系数 } m_7 = \frac{d_7}{d_6} = \frac{11.1}{15.8} = 0.70$$

對於圓錐形、圓球形、卵形的拉深，为了避免起皺紋和拉裂，一般要选用較多的工步，拉成和成品形狀近似的階段圓筒形，最后用成形的模拉成所要的形狀。階段的決定有兩方面要考慮，一方面是拉深系数，另一方面是階段的形狀和成品的形狀的关系。

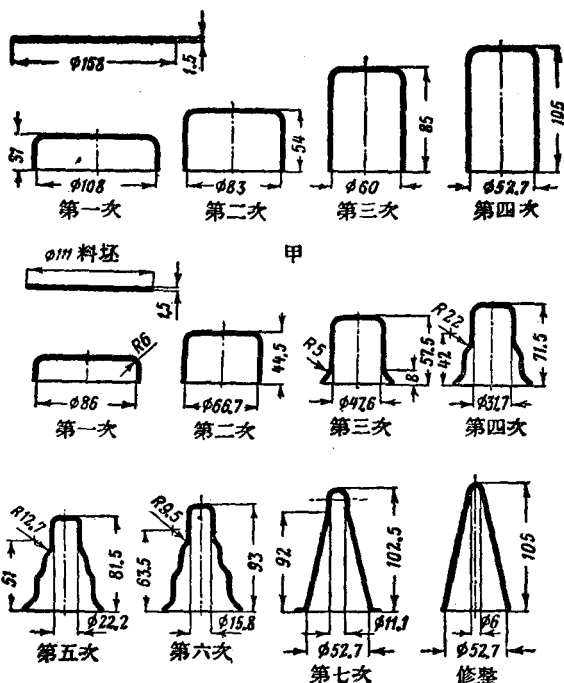


圖12 圓筒形和圓錐形工件的拉深過程的實例。

拉深系數的決定，主要根據兩方面：1) 金屬板料的厚度和毛坯直徑的比例數；2) 金屬的種類。

從金屬板料的厚度 S ，和料坯的直徑 D 的百分比來看（就是 $\frac{S}{D} \times 100\%$ ），對於同樣大直徑的料坯，板越厚，拉深的能力就越大，也就是拉深系數越小。對於圓筒形的拉深系數由經驗得出如表 1 的數值。

從拉深所用的金屬的種類來看，對於各種不同的金屬，適當的拉深系數範圍如表 2。

對於不同材料的拉深，可以從表 1、表 2 兩個表來決定每一