

## 第十章 金屬冷加工 Cold Work

所謂冷加工係指金屬在再結晶溫度以下所進行的滾軋、擠製與抽拉等加工操作。

金屬材料所能承受的冷加工最大限量，視其延展性而定，延展性高者，可承受的冷加工程度亦高，反之則較少；由於大結晶粒的金屬具有較佳的延展性，因此站在冷加工的立場，大結晶金屬優於細結晶者。

另外，當金屬經過冷加工而產生變形後，會產生應變硬化（Strain Hardened），並在內部建立起殘餘應力（Residual Stress），此一留存應力在外加負荷下，很容易使機件損壞。至於產生應變硬化的原因，一般可歸納為三種因素：

- 結晶內原子排列有所變異—差排（Dislocation）。
- 結晶內部碎散。
- 原子格子變形。

因此，為消除此應力，可將冷加工後的機件加熱到再結晶溫度範圍以下，或將之加熱到再結晶溫度範圍以內，以進一步恢復原有的狀態；但在此還是必須一提的是，殘餘應力的存在並不全然是有害的，有些機件如汽門彈簧，常用珠擊法（Shot Penning）加以處理以在表面建立殘餘壓力，增加彈簧的抗疲勞壽命。

一般而言，冷加工將產生下列的效果：

- 產生殘餘應力。
- 金屬晶粒易變形或碎散。
- 增加硬度與強度，但降低延展性。
- 改善機件表面的光平程度。
- 使鋼料的再結晶溫度提高。
- 可得到精密尺寸及公差。
- 冷加工費用較經濟且工作迅速，適用於大量生產。

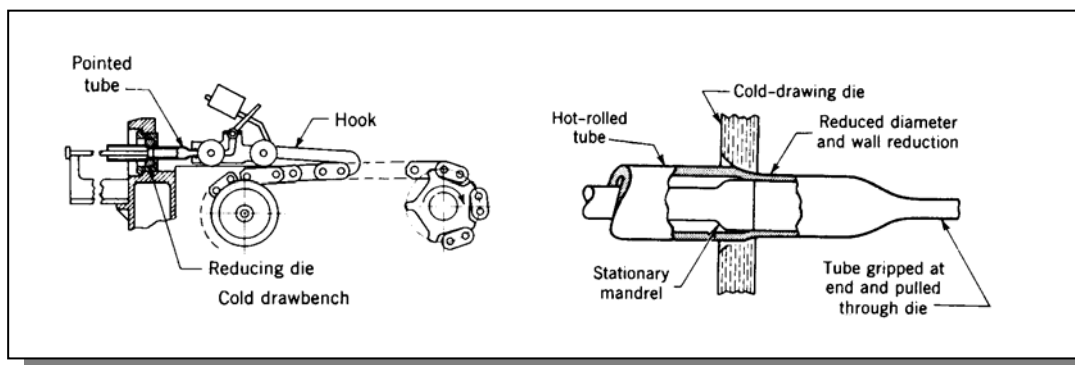
常見的冷加工方法有：

- 管的完成加工
- 金屬線的抽製
- 箔（Foil）的製造
- 金屬旋壓造形（Metal Spinning）
- 壓力旋壓造形（Shear Spinning）

- 拉伸造形 (Stretch Forming)
- 型鍛或冷鍛 (Swaging or Cold Forging)
- 凹凸壓印 (Hobbing)
- 壓花紋或壓凸印 (Coining or Embossing)
- 鉚釘結合或栽樁 (Riveting or Staking)
- 滾軋造形法 (Roll Forming)
- 板的彎曲
- 板的摺縫 (Seaming)
- 衝擊擠製法 (Impact Extrusion)
- 珠擊法 (Shot Penning)
- 高能量率造形法 (High Energy Rate Forming)

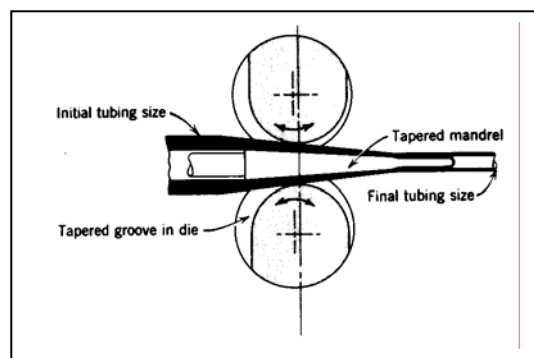
## 一、管的完成加工

下圖所示為管子的冷抽製示意圖，抽製前先用型鍛機 (Swaging Machine) 縮減其頭端的直徑，以便能通過模的開孔，然後用一種越拉越緊的特殊鉗子夾持之，鉗子鉤於鏈條上，由鏈條抽拉之。在操作中，管子通過較小直徑的模子孔，內徑由一固定的心軸控制之，而管子的內外徑同時受模孔與心軸直徑的限制，使得管壁厚度亦得以控制。



由於管子的抽製施工甚為劇烈，且操作應力超過金屬的彈性極限，因此在實施多次抽製時，可在每次抽製後實施退火處理，而在抽製中，可於模內使用潤滑劑，以免擦傷，並減少磨擦阻力。

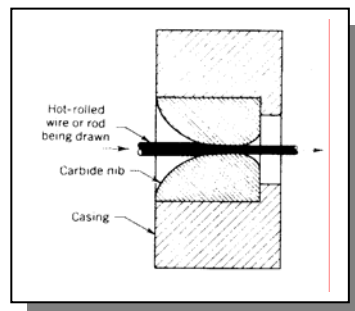
右圖所示為縮減管端的機器，此機器實際上為一滾軋機，軋子上有推拔式的半圓槽；在兩個軋子對轉至最大開孔時，將管子送入，使受到滾軋而縮小，並同時退出；然後將管子轉動 90°，此時軋子倒轉，再將管子帶入，如此週而復始，便可得到均勻縮減且無縫的管子。



## 二、金屬線的抽製

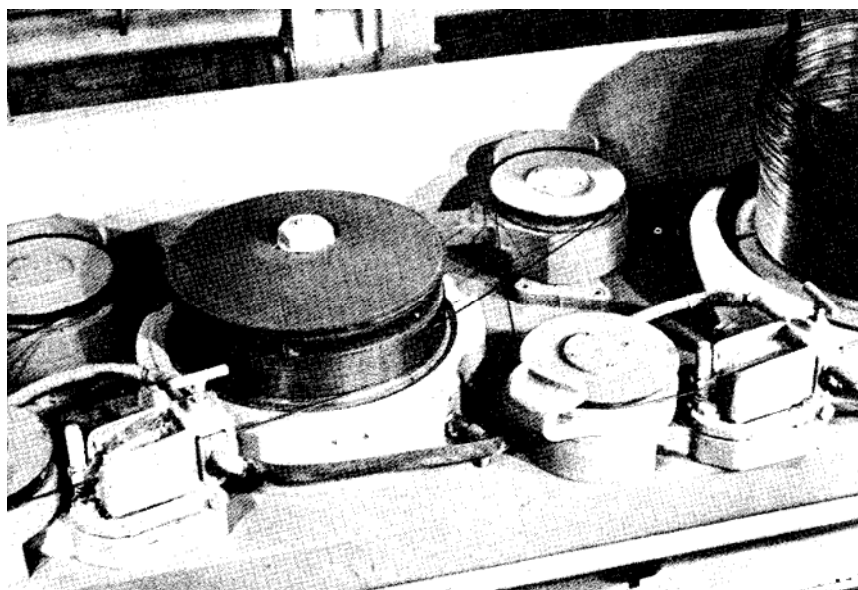
如右圖所示，係利用抽線模將熱軋（直徑減至 6mm）的桿條抽製成金屬線。

抽製的金屬線須通過酸洗以去除表面的銹蝕層，然後敷上一層具有防止氧化，中和餘酸的潤滑物質。



抽製的工作可以採：

- 單模間斷操作：將粗線捲繞在捲軸或架子上，令其縮減後的頭端通過抽線模，再用鉗子夾緊並鉤於抽拉機上，經抽拉至適當長度後捲繞於捲軸上，此後以捲軸旋轉抽拉細線，並繞捲成圈。對於需要更細的金屬線，可再更換細模，逐次抽製，直到最後尺寸；必要時，可在中間實施退火處理。
- 連續縮減法：下圖所示為一連續式抽拉機器，其中所裝置的模數量，視金屬或合金的種類與性質而異。



## 三、箔（Foil）的製造

箔是用各種純金屬或合金經冷滾軋製而成，厚度可薄至 0.0020mm，除用於一般包裝用途外，電氣與其他高級產品亦見其用途。

箔的製造程序為：

- 利用鑄造法將熔化的金屬自容器中加壓，使其通過石棉基的噴嘴，及水冷卻的軋子之間，凝結

成板。

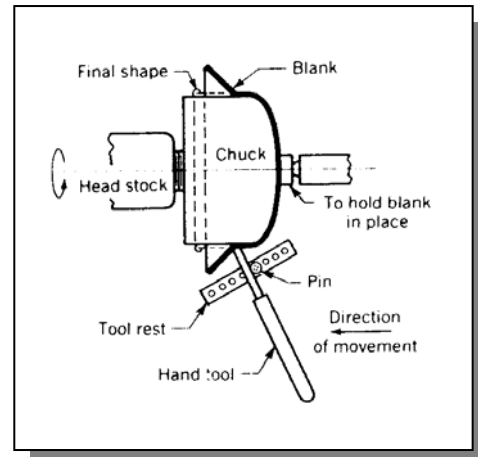
□再經過若干級軋子滾軋成薄片。

箔的厚度係由滾軋與抽拉二者合併作用而成，大多數為兩面光平，若以兩片疊合滾軋，則在分開後僅有一面光平，對合之面為毛面。

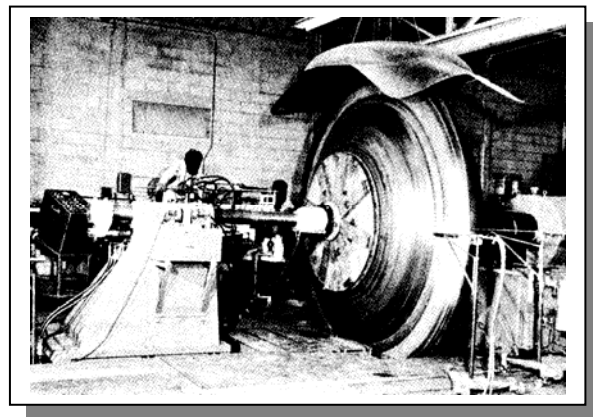
#### 四、金屬旋壓造形 Metal Spinning

如右圖所示，此法係利用簡單構造的車床，以車床夾頭夾住模子，並用尾座將圓盤原料壓在模子上，隨模子旋轉，再利用一個鈍頭工具或小軋子加壓在工件物上，使其隨模子作金屬流動，造成與模形狀相同的外殼。

為了減少工具頭端與工作件間的摩擦阻力，必須使用適當的潤滑劑，包括肥皂、蜂蠟、白鉛及亞麻仁油等。且由於金屬旋壓為冷加工的一種，加工程度有一定的限制，必要時可實施一次或多次的退火。

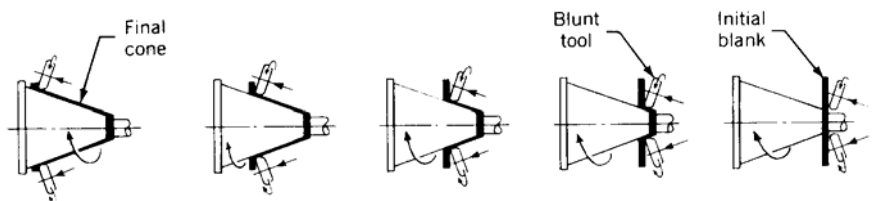


右圖為利用金屬旋壓造形法製造直徑 3m 的飛彈頭。



#### 五、壓力旋壓造形 Shear Spinning

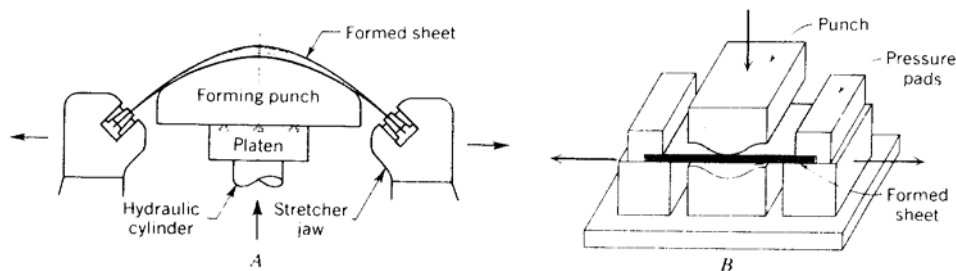
若旋壓的工件為細而深或面積頗大，則所使用的盤料直徑必須很大，大直徑的坯料在旋轉時，可能造成某種困難，加上由大直徑減縮到小直徑的過程，有加工過度的問題。為了便於工作，於是有所謂的壓力旋壓造形法（如下圖所示），此法改用直徑較小而厚度較大的坯料，並採用由動力帶動的軋子，以取代手工操作的鈍頭工具。



## 六、拉伸造形 Stretch Forming

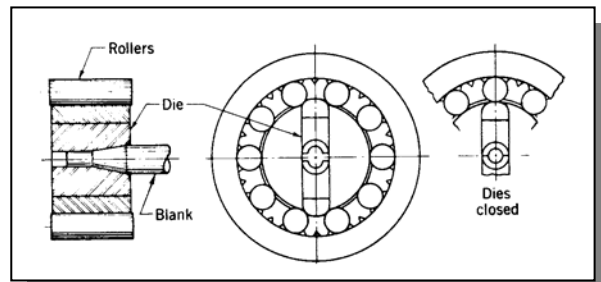
對於薄板、大面積，有對稱形狀及雙曲度面的製品，固然可用壓力機與模子壓製來完成，但因壓力機與模子太大，仍以拉伸造形法為宜。如下圖 A 所示，此法是將造形模固定於液壓缸的平臺上，其上放置金屬薄板，兩側用夾持器夾緊。操作時，液壓缸作垂直運動，夾持器作水平運動，使工件物隨模型作塑性變形。

由於工件在拉力解除後，會有彈回（Spring Back）的現象，因此模型的設計必須考慮此項矯正因素。下圖 B 所示為拉伸與抽製（Stretch-Draw）的組合，此法的最大缺點是在夾持部份會產生廢料。

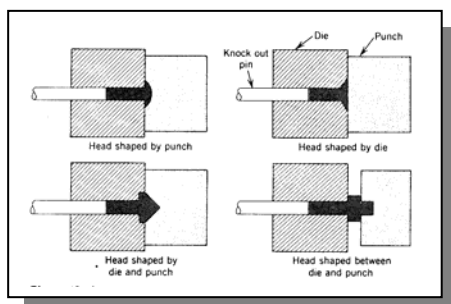


## 七、型鍛或冷鍛 Swaging or Cold Forging

所謂型鍛或冷鍛是利用壓力或衝擊的力量，以冷加工的方式使金屬依模的形狀而變形，其中，模內的金屬並不是完全受到模的限制，而是受到順力的作用，作某一方向的流動。右圖為旋轉型鍛（Rotary Swaging），用以縮減圓桿或管子端的直徑，工作時，兩旋轉中的型鉗（Swages）由離心及軛子的作用作迅速分開與閉合動作，並產生壓力與衝擊作用，使工作物的頭端成為推拔形或縮減其直徑；常用於自動鉛筆、金屬家具腿及傘柄等。

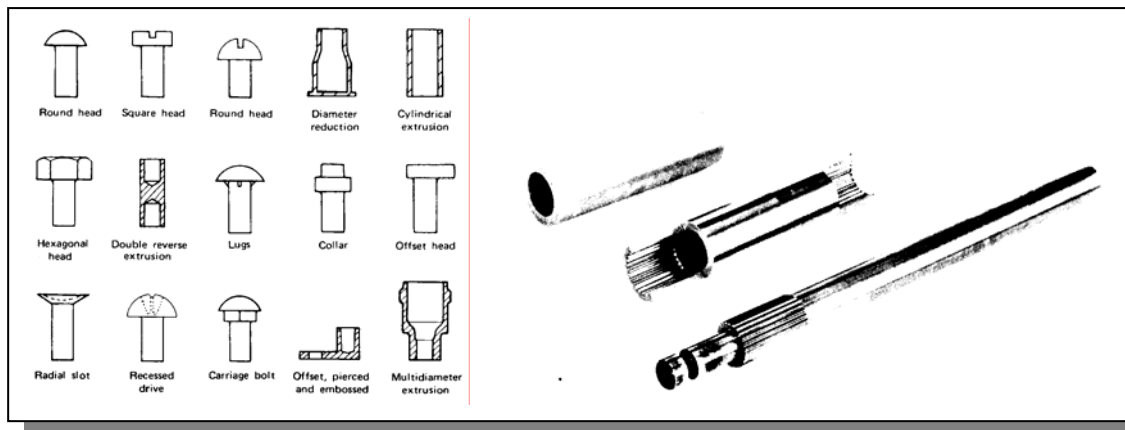


右圖為冷鍛頭機的一種，用來製作平頭鉚釘；其係將成捲的鋼線經過若干對矯正軛子矯正後，截取適當長度，並送入各種鍛模中。下圖為各種冷鍛頭模。



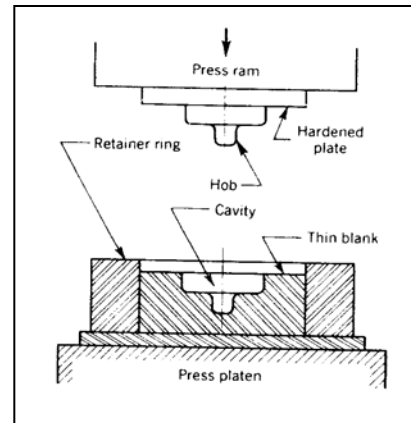


下圖左所示為由金屬線用冷鍛頭法所製作的典型製品。下圖右所示為利用內孔造形法所作出。



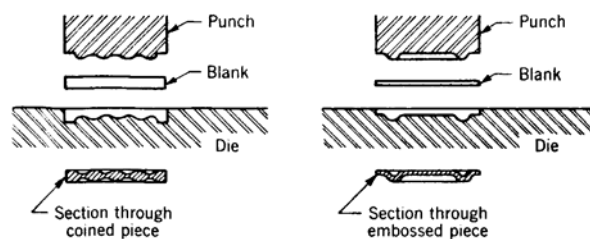
### 八、凹凸壓印 Hobbing

模中的穴是用硬鋼的凸出部份或轂 (Hob) 壓入鋼中而成 (右圖)。轂是用鋼料車製而成，其尺寸與模製工作物的尺寸完全相同，車製後經適當的熱處理，以加強硬度與強度，俾能承受壓入軟鋼時所產生的壓力。此法甚適合用於塑膠及壓鑄模的製造。

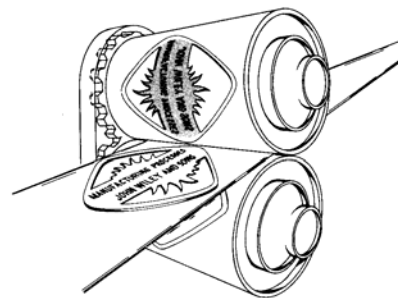


### 九、壓花紋或壓凸印 Coining or Embossing

所謂壓花紋 (右上圖左) 是使金屬在模穴中受側方流動的限制，並在上下兩模間承受壓力時，讓淺的花紋在平面上壓印出來。此法用於硬幣的製造，因所需壓力甚高，所用機器皆為特殊設計的壓機。



所謂壓凸印 (右上圖右) 是在工作物厚度不變下，在模內施以微量的抽拉工作，使其向一面凸出。其中，衝頭上製成凸出的部份。此法用於名牌、獎牌、證件、識別證及金屬薄片上各種精美圖案的製作。

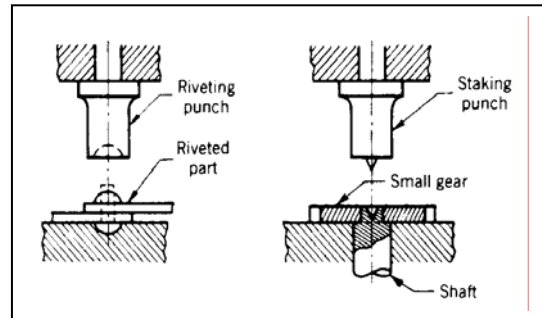


右下圖所示為利用兩個旋轉輥子作薄金屬條帶或金屬箔的壓凸印，廣用於罐頭或商品容器的製造。

## 十、鉚結或栽樁 Riveting or Staking

鉚結或栽樁皆是結合作物的方式。

鉚結（右圖左）是使用一實體鉚釘貫穿被結合件的孔，其伸出的頭端用一種有模穴的衝頭壓成穴的形狀。此法一方面使鉚釘有脹粗的作用，使其與孔內徑作緊密配合，二方面使鉚製的頭受軸向壓力，將結件壓緊。至於空心的鉚釘，則在結合時將其頭端的邊緣向外捲曲，使其壓於被結合件上，效果與鉚釘頭相同。

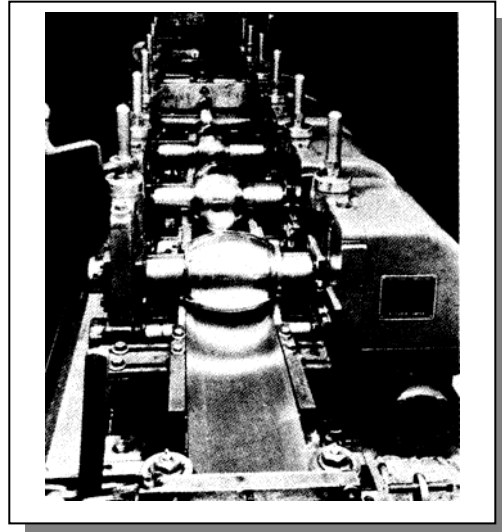
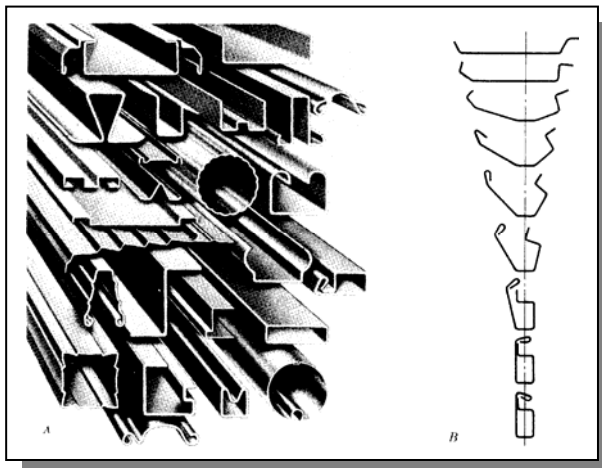


栽樁（右圖右）的操作與端鍛或鍛粗法相似，不過其壓粗的部份不能自由發展，因此，使得結合件得以緊密配合，不生鬆脫。其中，所使用的端壓衝子頭上有一個或兩個突出部份，也可能作成如鑿子刀口的圓環，在衝頭下壓時，迫使樁端側向擴張，而與孔的內面壓緊。

## 十一、滾軋造形法 Roll Forming

此法所使用的機器（如右圖上所示）是由一系列的造形軋子所組成，將金屬板條逐漸壓成管子形狀，然後在其終端以電阻熔接法，連續的熔接成有縫鋼管；其中，所使用的軋子數目，則視工作物的形狀而定，也就是說，除了圓管外，亦可滾製成其他形狀的製品。

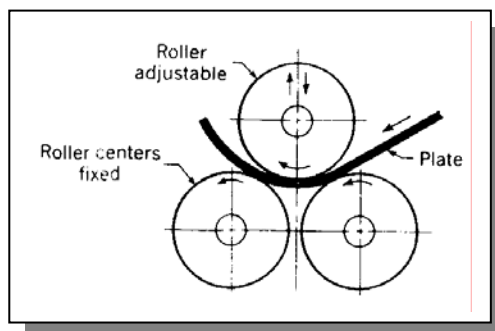
下圖所示為各種典型的滾壓製型材，右側的線圖為窗櫺的滾壓程序。



## 十二、板的彎曲

右圖所示，是利用滾捲機器（Roll-Bending Machine）來處理板的彎曲及將板條捲成圓筒。

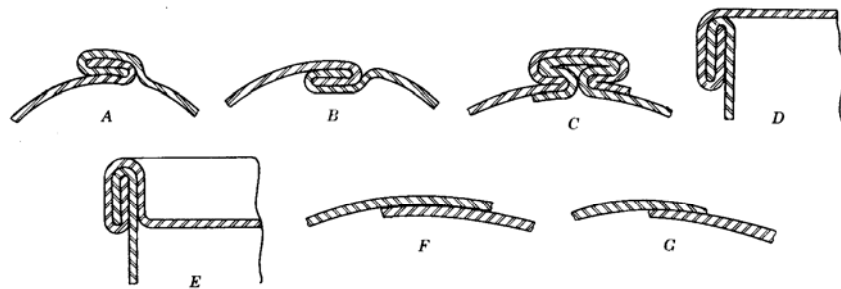
此機器是由三個直徑相同的輥子所組成，其中兩個固定在一定的位置，第三個可以調整以控制滾捲的直徑。



## 十三、板的摺縫 Seaming

摺縫法常用於金屬殼、筒、罐頭及其他薄金屬容器的結合處。圖示為各種常用的摺縫方式：

- 縱向外鎖摺縫（A）：用於不需要絕對緊密之處。製造時先滾製成圓筒，摺邊，扣鎖後，再加壓使其密封貼實。
- 縱向內鎖摺縫（B）：用於不需要絕對緊密之處。製造時先滾製成圓筒，摺邊，扣鎖後，再加壓使其密封貼實。
- 複合縱向摺縫（C）：有較高的強度及密封性，適宜存放較細的粉粒。
- 平底雙摺縫（D）：必須在罐尚未加蓋時，以工具伸入罐內壓實之，故僅限於罐的一端採用。
- 凹底雙摺縫（E）：完全在罐外面施工，係先作成凸緣，捲曲，然後壓平。
- 黏結頂接縫（F）。
- 電阻熔接縫（G）。

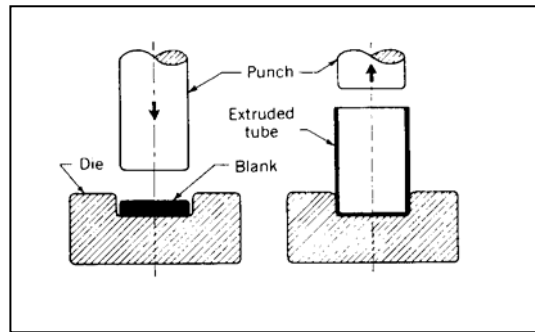


Seams used in container manufacture: A, Longitudinal outside lock seam. B, Longitudinal inside lock seam. C, Compound longitudinal seam. D, Double seam for flat containers. E, Double seam for recessed-bottom containers. F, Adhesive-bonded top seam. G, Resistance-welded seam.

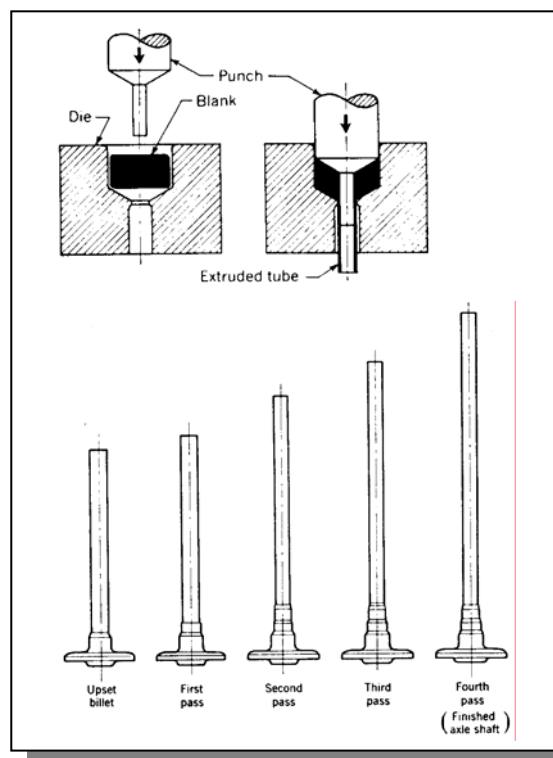


## 十四、衝擊擠製法 Impact Extrusion

右圖所示，在擠製時，衝頭以適當的力作一次衝擊使材料圍繞衝頭，自模與衝頭間的縫隙噴出，其中，管的外徑與模的內徑相同，其厚度則由衝頭與模間的空隙控制之；此外，管的頭端可以是平頭，也可以使模底與衝頭間有不同的設計，以製成不同的形狀。



此法常用於牙膏、刮鬍膏、油漆與顏料等可捏壓的管子，因其管壁甚薄，可由一小塊的金屬擠製而成；此外，以此法製作若干特殊用途的管子時，為了避免管中裝料與管子金屬起某種化學作用起見，管內經常需要一層與裝料不起作用的襯裏，此襯裏可在管子製作時，先將襯料貼於坯料上，再行衝擊，使襯料在管內自然形成。



右圖上所示稱為胡克法（Hooker Process），也是專門用來製作小管子或彈殼，所使用的原料也是一小塊金屬，只不過其部份的材料是經由模孔下方擠出。

右圖下所示為利用高速冷擠製機器所製的車輪軸，其製作過程是先用手工握持已將頭端鍛粗的毛坯，放置於裝料倉中，然後經過四個加工站，逐步的用壓力擠製，使軸徑變小，長度加長。

## 十五、珠擊法 Shot Penning

所謂珠擊法是利用一陣多如雨點和高速進行的小鋼珠密集的打在工作物的表面，並在金屬表面上建立起一層內在的壓應力，以增加對疲勞的抵抗，其中，鋼珠的噴出可以高壓空氣的噴流，或機械式的旋轉離心力為之。珠擊法除了可增加表面的強度與硬度，消除局部的應力集中因素外，也可以使金屬表面產生粗獷的美感。但是，必須注意的是：過度的珠擊反而會使金屬變脆。

## 十六、高能量率造形法 High Energy Rate Forming

高能量率造形法簡稱為 HERF，所使用的方式很多，但總括來講，其是利用甚高的壓力（加力的速度很快），在極短時間內達到造形的目的。

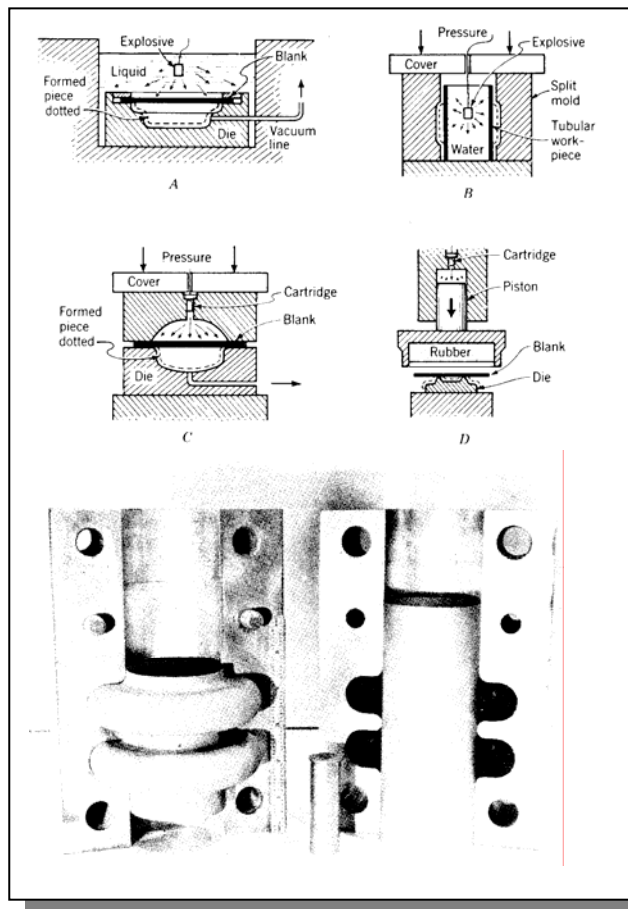
### (一) 爆炸力造形法 (Explosive Forming)

右圖上為已發展成功的各種爆炸造形法：

- 液壓直接造形法 (A)
- 圓筒鼓脹法 (B)
- 氣壓直接造形法 (C)
- 氣動落錘法 (D)

其中，不管炸藥是放在空氣中或液體中，爆炸所產生的強力震動波皆能在瞬間通過介質而達到工件物上。爆炸造形雖然已超過彈性限度，但仍必須注意工作物彈回的作用。

右圖下所示為利用爆炸成型法所製成的蛇腹管。



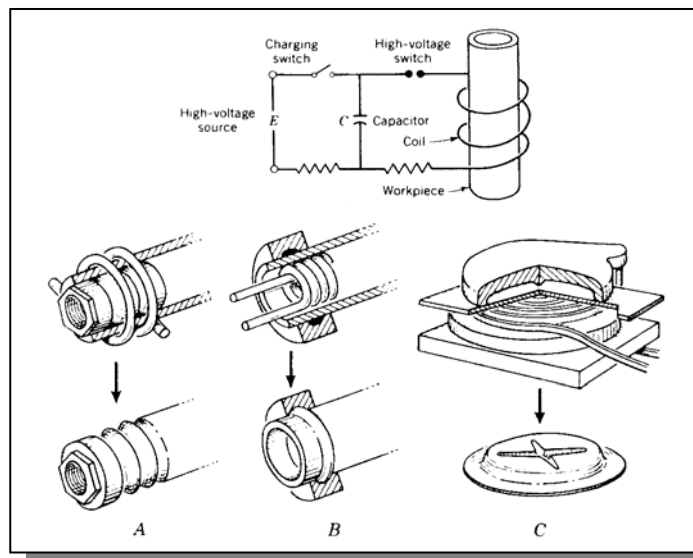
### (二) 電氣液壓造形法 Electrohydraulic Forming

電氣液壓造形法又可稱為電火花造形法 (Electrospark Forming)，其係先用直流電將一組蓄電器充電至適當高壓，而後再浸入非導電性液體介質內，使兩電極間隙間放電。放電作用將產生高速的幅射方向運動的震波，此震波能產生必要的壓力迫使工作物成形。

### (三) 磁力造形法 (Magnetic Forming)

磁力造形法是由電能直接轉變成有效的工作，以達到造形目的的一種方法。右圖所示為電磁力造形的簡單迴路；其中，線圈的設計則因工作物形狀不同而異，包括：

- 型鍛收縮法 (A)
- 膨脹法 (B)
- 壓凸印或下坯料法 (C)



此外，由於線圈與工作物間的作用力是相對的，所以線圈的設計應考慮到反作用力的問題，因此，在設計上可分成：

- 伸縮式：在承受作用力時，允許某種程度的伸縮。
- 固定式：必須考慮線圈本身及絕緣的強度。