

第九章 金屬熱加工 Hot Work

一般而言，鋼錠必須先經進一步加工，先製成各種桿、型或板材後，才能應用於各種製品的製造，但鋼錠在常溫下硬度高、韌性大，因此，為利於工作，常將之加熱到某一定的溫度以上，以達到完全軟化的狀態，再行加工，這就是所謂的熱加工。

熱加工係指加工溫度在金屬的再結晶溫度以上者，常見的熱加工方法有：

- 滾軋 (Rolling)
- 鍛造 (Forging)
- 擠製 (Extruding)
- 引伸 (Drawing)
- 熱錠壓 (Hot-Spinning)
- 溫熱鍛造 (Thermo-Forging)

優點：

- 可使金屬內部的孔隙減少。
- 金屬雜質經加工而破碎，呈現細粒狀而均勻分佈。
- 加工能量需求較小。
- 晶粒的細化有助於改進機械性質。
- 使金屬形狀作較大幅度改變。

缺點：

- 高溫操作不易。
- 易氧化生銹皮。
- 表面粗糙。
- 尺寸精度控制不易。

冷完成則先施行初步熱加工，使達到較接近的尺寸與形狀，再用冷加工來完成，以改進機械性質，並可獲得光平的表面與精確的尺寸。

塑性變形係指材料在固體狀態下，其結晶作某種形式的流動，但不會太大的改變其性質，而僅是形狀的改變。而金屬熱加工是在金屬的再結晶溫度以上進行，是塑性變形加工的一種，其雖然產生大量的塑性變形，卻不產生應變應化作用、不增加彈性限度與強度，且可降低降伏強度。

其中，再結晶溫度的高低，則依金屬不同而異，幾種常用金屬的再結晶溫度如下：

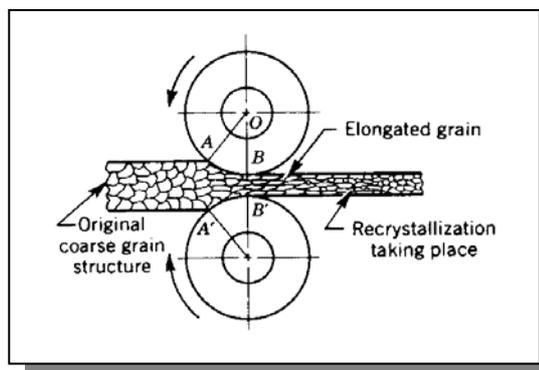
金屬材料	再結晶溫度 $^{\circ}\text{C}$
鋁	150
銅	200
金	200
鐵	450
鉛	室溫
鎂	150
鎳	590
銀	200
錫	200
鋅	室溫

一、滾軋 Rolling

滾軋的程序可以分成兩個主要階段：

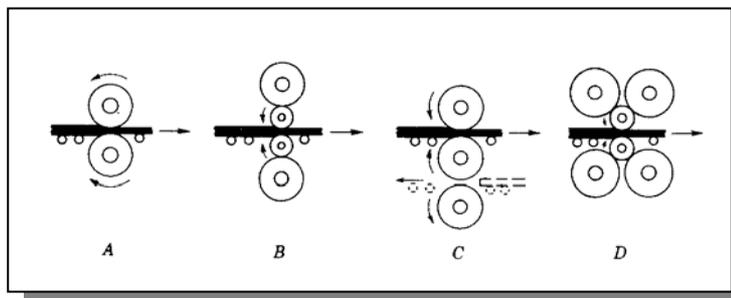
- 將鋼錠滾軋成中間形狀—中塊 (Blooms)、小塊 (Billets) 或扁塊 (Slabs) 等。
- 將上述中間製品軋製成板、片、桿、結構型材及薄片等。

右圖所示為熱軋中晶粒細化的過程；其中，晶粒因軋壓作用產生塑性變形，晶粒伸長，但因溫度甚高，再結晶的作用瞬間發生，使得各伸長的晶粒能在原處重新組合，至於碎斷者，則同時組成細小晶粒，而這也是熱加工能達成細化晶粒的原因。



右圖所示為各種滾軋機的構造：

- 二重連續式或往復式 (A)：工件往復運送中所產生的慣性作用必須克服。
- 四重式有背軋子 (B)：背軋子可用以支持實際工作，增加機器的滾軋能力。

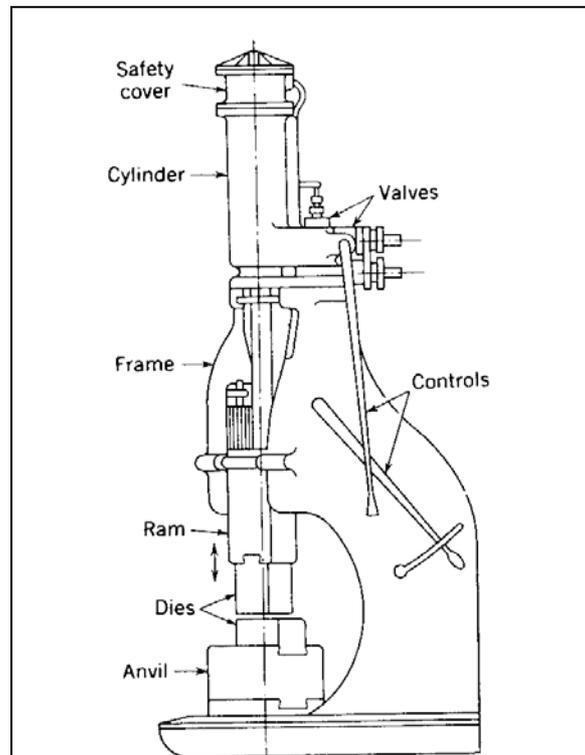


- 三重式可作前後兩方向滾軋 (C)：另備工件升降機構，可克服慣性作用的困難，產量高，機器設備費用低，但時間控制不易。
- 叢集式有背滾軋機 (D)：背軋子可用以支持實際工作，增加機器的滾軋能力。

二、鍛造 Forging

(一) 鎚鍛或打鐵 (Hammer or Smith Forging)

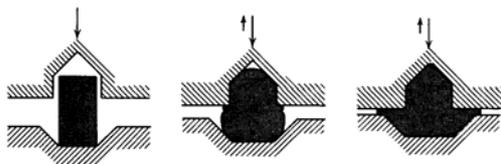
鎚鍛或打鐵所用的方式相同，係將工作物加熱到鍛造溫度，在平鎚及砧板之間加以鍛造；小件可用手工稱為打鐵；大件則須使用蒸氣鎚 (Steam Hammer) (如右圖上所示)，其中，工作物係放在砧板與平面鎚之間，至於蒸汽鎚的構造，則依鍛造容量而定，輕型者為單機架式，重型者為雙機架式。



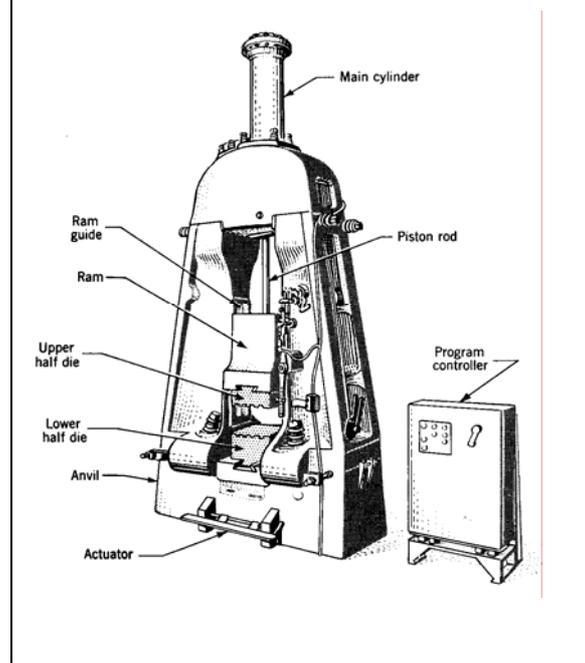
(二) 落鎚鍛造 (Drop Hammer Forging)

落鎚鍛造與平面鍛造的不同，在於落鎚鍛造的鎚有模穴，工作件在模穴中承受兩方面的壓力或衝擊力作用，進而依模穴的形狀作塑性變形。

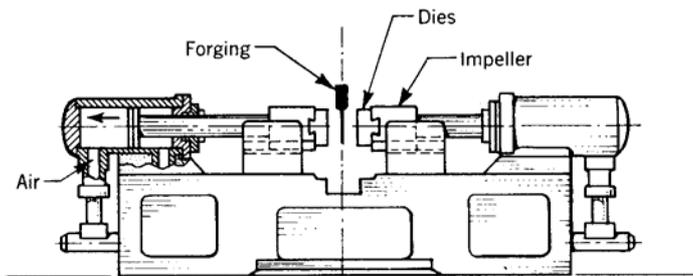
如下圖所示，為了使金屬的流動能確實而充份，往往將鍛造分成若干級次，每級的變化為漸進式，以利控制流動方向，至於級數的多寡，端視鍛件的形狀與大小，金屬的可鍛性及工件尺寸精度要求。



右圖下為用活塞舉升鎚體的重力落鎚構造，其中，汽缸中所使用者可以是蒸汽，也可以是壓縮空氣。



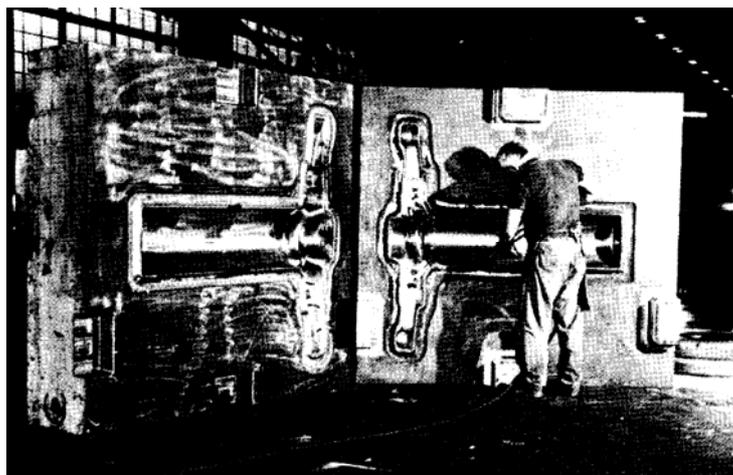
下圖為衝擊鍛錘機（Impacter Forging Hammer），其在水平面上有兩個相對的汽缸及活塞桿，各有一推進塊，而鍛造的模即裝在推進塊上，鍛造原料則置於兩模之間，在相互對擊下實施鍛造。至於，在對擊中於分界面上所被擠出的額外科（稱為飛邊），可移至剪邊壓床（Trimming Press）剪除之，然後再以酸液浸蝕、珠擊（Shot Peening）或滾磨（Tumbling）等方法，去除鍛件表面的氧化層。



相較於單相錘擊的鍛造機器而言，此種方式具有：機器結構相對減輕、基礎工程可縮減與工作能量較小等優點。

鍛造後的鍛造物品均被覆鱗皮，故必須去除，可利用泡在酸裡、珠擊處理（Shot penning）或滾筒打磨（Tumbling）。若鍛件有變形或扭曲的情形發生，則須進一步加以整形、矯正或伸直，因此，對於大型鍛件或截面不均的鍛件，必須嚴格控制冷卻速度，以免產生變形或內應力。

下圖為一飛機主要起落架的外氣缸鍛造模。



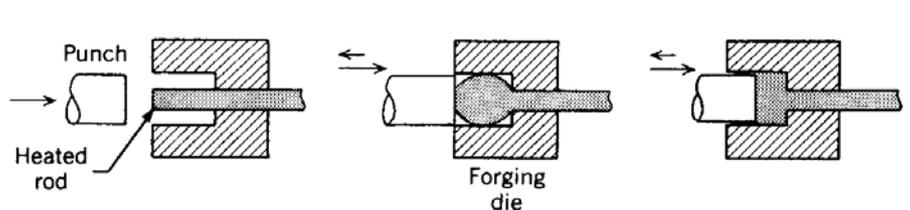
（三）壓力鍛造（Press Forging）

壓力鍛造是以慢速的壓力，使金屬在模內擠壓造形的鍛造法，由於金屬受力的時間頗長，擠壓作用不僅行之於鍛件表面，也及於工件的中心部份，因此，能達到內外均一的效果，其製品的品質亦較

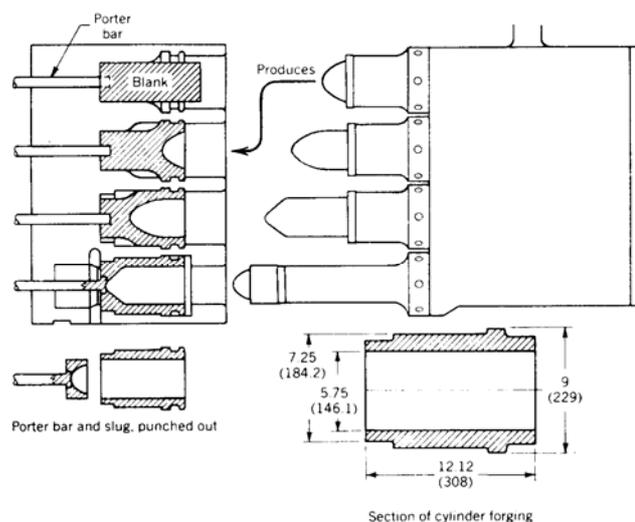
鉋鍛者為佳。

(四) 鍛粗或端壓鍛造 (Upset Forging)

鍛粗或端壓鍛造通常是針對一均勻長桿的一端欲進行鍛粗或造形而來，如下圖所示。將長桿在模子內夾緊，其一端加熱至高溫，並順其軸向，再該端加壓，使其鍛粗或造形。

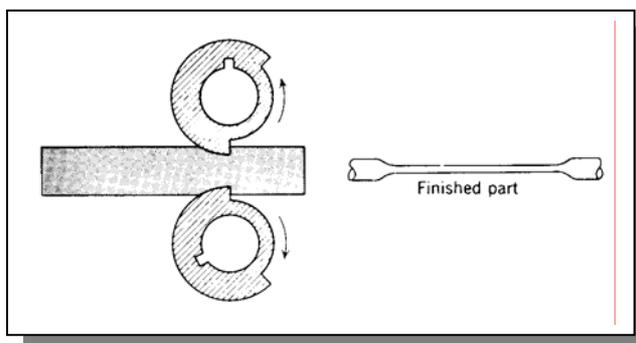


下圖所示，為在端壓機上使用分段穿孔 (Progressive Piercing) 的鍛造方式來製造星型發動機汽缸的加工順序。

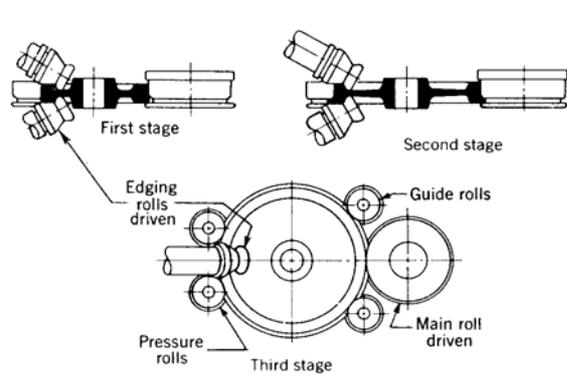


(五) 滾軋鍛造 (Roll Forging)

右圖所示為滾軋鍛造的原理。其係以兩個非百分之百為圓形的軋子 (有 25~75% 的直徑縮減率，其餘部份可依需要切成槽形)，將桿料送入其間並夾持之，而後繼續轉動，使桿料受軋壓，使直徑縮減並向前推送；當軋子再轉到開口位置時，可將桿料抽回到原來的位置，以備次一循環軋滾，或送到另一溝槽作另一種施工。



下圖所示為粗鍛的輪子毛坯，在數個軋子的滾軋下製成輪子的情形，其中，輪子一方面旋轉，直徑一方面加大外，輪緣及輪輻亦同時減薄，直到軋至規定尺寸，再置於模內，以壓力機壓平或作矯正。



三、擠製 Extruding

擠製的原理類似擠牙膏，係將金屬置於一壓力缸內，自一端加壓推擠，由另一端經有孔的模擠出，而模孔的形狀，即為擠製品的截面形狀。常見的應用例包括：圓桿、管子、裝璜緣條、結構型材、黃銅彈殼與電纜的鉛覆層等。

擠製機大多為水平式，且以液壓操作。

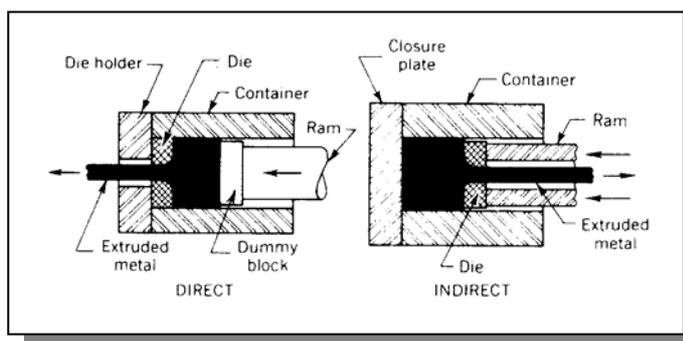
此法可產製各種形狀的型材，具有強度高、精度高、表面光平與模費用低等優點，至於缺點則為其產品必須具有均一的截面，生產速度不及滾軋法。

(一) 直接擠製法 (Direct Extrusion)

如圖左所示，是將一塊加熱過的金屬圓柱體置於能承受高壓的圓筒內，筒的一端為擠壓模，另一端放入墊板。當衝柱受液壓驅動前進時，將金屬推擠通過模孔，然後鋸斷擠製品，取出筒內餘料。

(二) 間接擠製法 (Indirect Extrusion)

如右圖所示，與直接擠製法相似，只是流出的方向相反。此法的優點在於原料直接受壓擠製，摩擦力較小，可節省動力，但其缺點則為擠出件無法立即獲得支持，加上衝柱必須為中空，機器構造較為複雜。



(三) 衝擊擠製法 (Impact Extrusion)

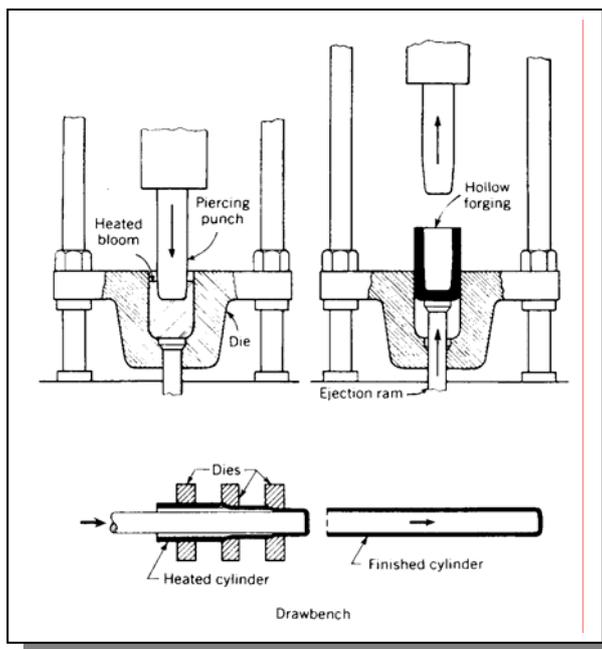
此法是將一塊富有可塑性的金屬置於容器之內，用一衝子直接以高速衝擊的力量，迫使金屬圍繞其週圍的空隙上升，造成管子的形狀。

四、引伸 Drawing

右圖所示為圓管的引伸製造法，此法係將原料加熱至鍛造溫度，置於壓力機的模式內，再以穿孔衝子壓入，使材料形成一頭端閉合的無縫管子（中空的鍛造件）。鍛造件自模中取出後，再加熱至鍛造溫度，而後置於引伸機上，經過若干次引伸後，長度增加，管徑與厚度皆行縮減。引伸後的管子或圓管，必須再行加熱並繼續引用普通抽拉法伸長。

若為製造管子，則先切去封閉端，再援用前述的穿孔法完成加工。

若為製造類似氧氣瓶的容器，則開口端可用型鍛法（Swaging）或熱鍍壓法（Hot-Spinning）縮小其頭部，再作其他必要的加工。



五、熱鍍壓 Hot-Spinning

此法係利用構造簡單的车床，以车床夹头夹住模子，并用尾座将圆盘原料压在模子上，随模子旋转，再利用一个钝头工具或小辊子加压在工件物上，使其随模子作金属流动，造成与模形状相同的外壳。

此法在开始时为低温，但在加工过程中，因摩擦生热，使金属确实是处在可塑状态的温度下造形，故仍称之为「热鍍壓」。

六、温熱鍛造 Thermo-Forging

温熱鍛造是金属鍛造的一种，其鍛造温度是在冷加工与热加工之间，因此鍛造后并不会像高温鍛造一般，产生表面氧化或锈皮脱落的现象。但过程中相关的温度、压力与速度必须严加控制。

七、管的製造

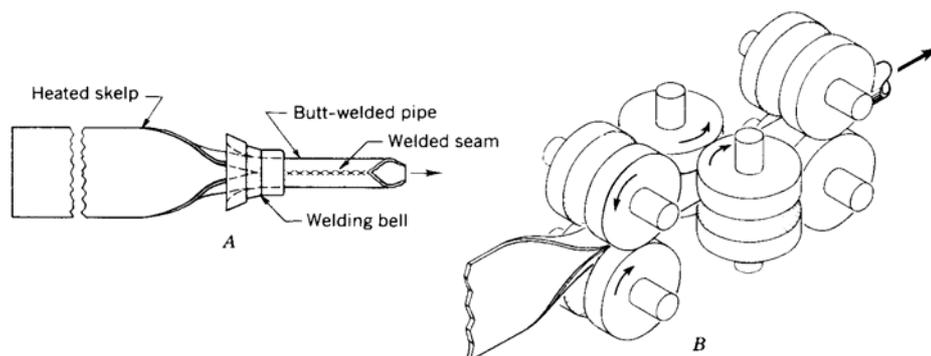
- 無縫管：高溫高壓用途，用來輸送氣體及化學液體。
- 一般管（有縫管）：造價低，低壓用途，作為立柱、結構架，用來輸送水、一般氣體。

（一）對頭熔接法（Butt Welding）

所謂對頭熔接是指管子縫的接合是用對接的方式，在熔接溫度下加壓令其熔接。

此種熔接法，可以是一根一根管子單獨製造，也可以是成捲的板條（Skelp）連續不斷的製成管子，前者稱為間斷熔接法（Intermittent Welding），後者稱為連續熔接法（Continuous Welding）。兩者所使用的材料皆在邊緣作成斜角，以便在彎成圓管後，兩邊得以精確相遇成為無間隙的縫。此外，溫度、操作時間與壓力的控制必須相當嚴格，以免出現部份未熔接的現象。

下圖所示分別為經過熔接鐘的熔接法（A）與經過若干組軋子的熔接法（B）；在間斷熔接法中，板條的一端剪切成V字形，置於爐內加熱至熔接溫度，再以特殊的鉗子通過熔接鐘，一邊夾住V形端，另邊接於鏈條上，再由鏈條迅速抽拉。而在連續熔接法中，成捲的板條兩側也作出利於熔接的形狀，並在通過加熱爐，以火燄直接噴射在邊緣上，使其溫度達到熔接溫度，再通過圖B所示的一連串水平與垂直軋子。



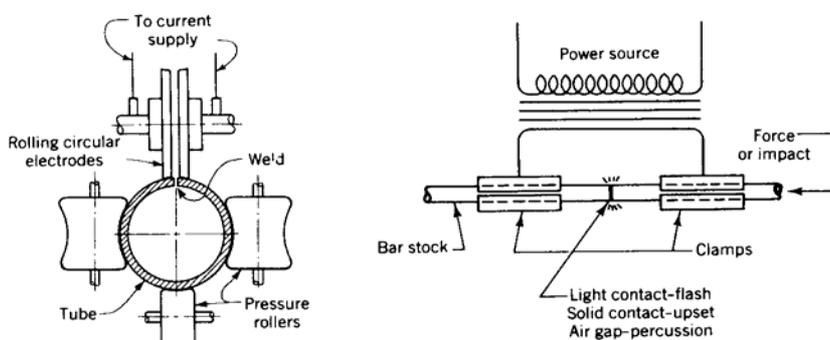
熔接完成的管子，須再經過矯正及完成施工的滾壓機，以期能得到正確的尺寸，並去除銹皮。

(二) 電氣對頭熔接法

電氣對頭熔接的方法與前述方式頗為相似，不過熔接工作係在管子造形完成之後才進行，而且加熱的方法是使用電力而不是直接火焰。

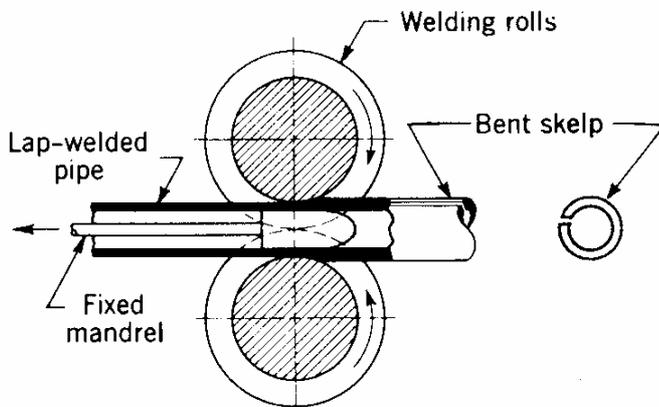
下圖所示為電阻熔接法，共有三個軋子，其中兩個是壓力軋子，使對頭互相壓緊，另一個是中心軋子，用以保持工作物在中心位置。另外有兩個傳導電流的軋子，稱為電極軋子（Electrode Rollers），通以極高的電流來完成對頭熔接。

熔接完成的管子，須再經過尺寸及形狀矯正。



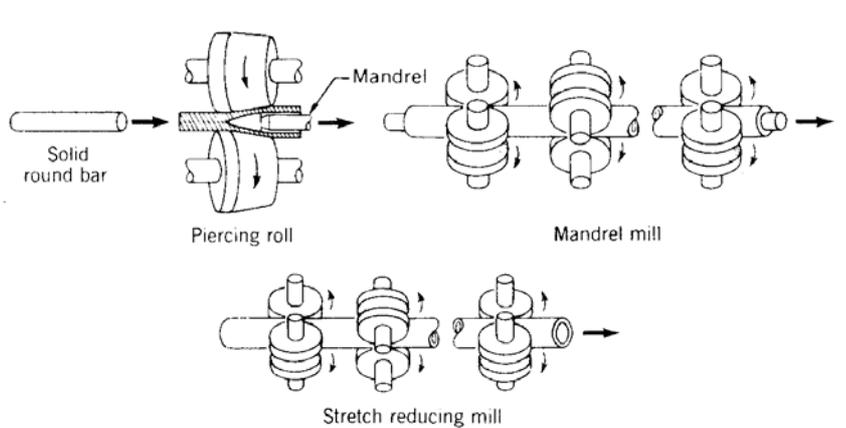
(三) 搭接熔接法 (Lap Welding)

所謂搭接熔接是指接縫處相互疊置成雙層，再行熔接。其中，板條在造形之前，先作適當準備以造成有利於熔接的形狀，然後經過抽模或軋子造成管形（邊緣成為搭接縫），加熱至熔接溫度，再置於圖示的滾壓機上，經軋子與心軸的壓力而接合。



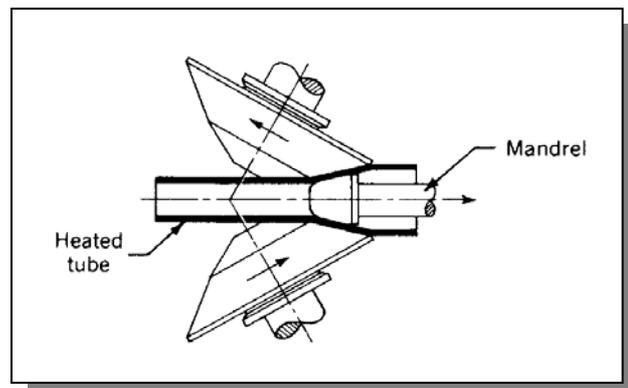
(四) 穿孔法 (Piercing)

圖示為無縫鋼管的穿孔法加工過程：



- 實心圓柱體的頭端先用衝子衝製出一孔。
- 加熱至鍛造溫度。
- 送入兩個軋子之間，藉由其帶動而轉動前進，得到壁厚頗大，形狀與尺寸欠正確的無縫鋼管坯料；其中，交互的軋軋與擠壓作用，將使中間自然衝刺成孔，而孔的直徑即為心軸的直徑。
- 送入第二道有槽的柱塞軋機 (Plug Rolling Mill)，其中，心軸裝有一尺寸正確的短柱塞，可使管子長度增加，內徑尺寸與管壁厚度得到修正。
- 繼續進入捲軸機 (Reelers)，以矯正直度、壁厚與直徑，並使管子表面得到光平的程度。
- 最後進入完成加工。

上述加工法僅適用於較小徑的管子，若要得到更大的管子，則必須再穿孔之後加以第二次的類似穿孔加工，使孔徑加大，右圖所示的旋轉滾軋機 (Rotary Rolling Mill) 即可用來加大管徑，但加工前必須重新加熱，而後再用捲軸機及尺寸矯正軋子作完成加工。



(五) 擠製法

右圖所示為擠製管子最常用的方法，其係將原料加熱到適當溫度後，置於擠製機的加壓缸內，以壓力機推動心軸，穿過原料塊的內孔並使原料在心軸周圍與模子間擠製成管，再由心軸的前方輸出。

