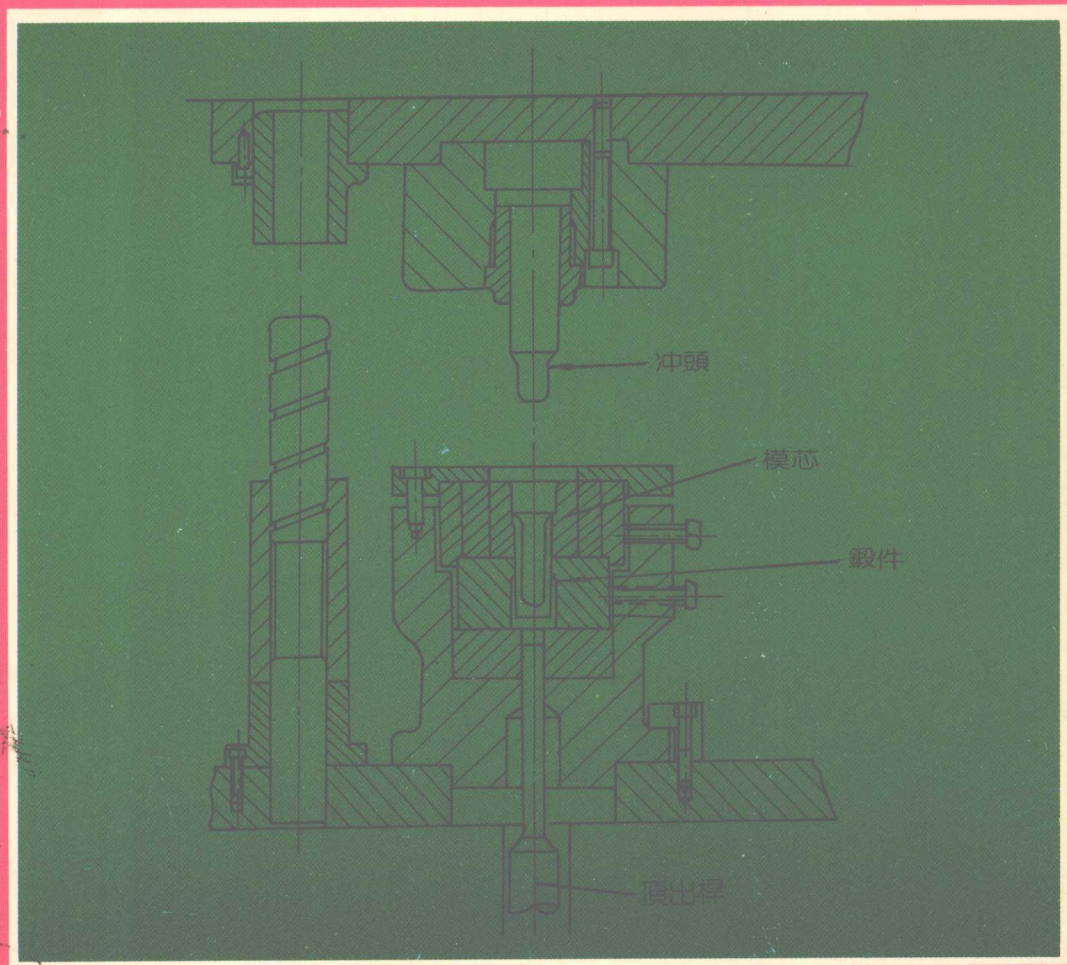


鍛造模具技術叢書之二

冷鍛模具設計手冊



經濟部中小企業處補助經費

金屬工業發展中心編印

中華民國七十九年五月初版



中華民國七十九年五月初版

鍛造模具技術叢書之二

(全四冊)

第 二 冊

冷鍛模具設計手冊

補助經費：經濟部中小企業處

台北市復興南路一段368號3F

編印者：金屬工業發展中心

高雄市楠梓區高楠公路1001號

經售處：金屬工業發展中心·機械設計組

高雄市楠梓區高楠公路1001號

電話：(07)3513121 分機 285、286

FAX：(07)3 5 2 1 5 2 8

郵政劃撥：戶名：金工編輯委員會

帳號：0 4 3 3 6 1 5 一 0

印刷者：佳興印刷局企業有限公司

高雄市前鎮區一心一路172號

電話：(07)7712516·7718363(代表)

FAX：(07)7 7 1 7 8 6 7

序

螺栓螺帽以及汽機車、腳踏車、家庭用品、事務機械等小型大量零件的自動化生產上，冷間鍛造（簡稱為冷鍛）成為不可或缺的製造方式。冷鍛係一種無屑成形加工技術，具備不少優點，因此能由各種加工方法中脫穎而出，成為上列各種產品主要生產方式。

但，從另一角度來說，各種成形加工技術中，很少像冷鍛，在素材、模具、製品上各種特性或金相機構等各領域，需要配合理論解析與體驗實績的技術。而事實上這些訊息，大部份仍得依據實驗來加以說明。也因此需要累積大量的具體實例。

除此之外，冷鍛技術是一種聚集冶金材料、包括熱處理、製品設計、模具設計與製作、冷鍛製程、鍛機以及前後處理等各方面知識的整合技術，相輔相成，不可缺一。

本册份量有限，自無法涵蓋上述所有訊息。惟相信，本册可提供冷鍛正確觀念、設計必備概要，以及不少實例可供參考，不但可作研習資料，也可供實地應用。

藉此謹向提供資料之先進致萬分謝意。

陳毓彬 誌

冷鍛模具設計手冊

目 錄

1.概 要	1
1-1 沿革	1
1-2 冷間鍛造特點	2
2.基本冷間鍛造	4
2-1 基本加工法	4
2-2 變形所需力量及能量	6
3.加工界限	20
3-1 限制加工界限的因素	20
3-2 工業上的加工界限	23
3-3 形狀的影響	52
4.冷間鍛造模具	64
4-1 模具基本設計	64
4-2 模具材料與熱處理	74
4-3 模具構成	80
4-4 模具損耗與對策	85
4-5 超硬合金模具	90
4-6 模具加工法	95
5.冷間鍛造用材料	96
5-1 冷間鍛造用素材	96
5-2 熱處理與其影響	109
5-3 素材的準備	115
5-4 素材準備上的影響	119
6.潤滑劑	122
6-1 冷間鍛造用潤滑處理特點	122
6-2 潤滑處理管理	126
7.加工件物理特性	129
7-1 物理性質的變化	129

7-2 各種鋼材的特點與問題點	132
7-3 加工檢驗方法	132
8.加工工程設計	135
8-1 成形工程設計方針	135
8-2 基本成形模式	135
8-3 製品標準形狀	136
8-4 二次以上工程標準成形工程	140
8-5 贅軸的利用	141
8-6 工程合理化	142
8-7 成形所導致之缺陷與對策	144
8-8 實用零件的成形工程	146
9.加工機械	154
9-1 一般必需條件	154
9-2 冷間加工用機械	155
9-3 利用自動化裝置的加工例	161
9-4 多段模具實例	163
10.量產管理	167
10-1 管理要點	167
10-2 安全管理	170
中英日名辭對照表	173

冷鍛模具設計手冊

1. 概 要

1.1 沿 革

鋼料的冷間鍛造加工（以後簡稱冷鍛），於第二次世界大戰後，發展於歐美，嗣後引進於日本，而從1950年開始普及於各種行業。乃屬一項新興加工方法。

宏觀日本冷鍛之變遷，可歸納為如表 1 所示。回顧初期之利用手動小型衝

表 1 日本冷間鍛造之變遷⁽¹⁾

年代 項目	1950~1955	1955~1960	1960~1965	1965~
經 過	引進 Maypress、 利用於零件工業、 小規模工業化	專業鍛造業的創業 、引進於熱間鍛造 業者	與切削加工業併用 、普及於汽車工業	普及於機械工業全 般
用 途	自行零件（小件）	機車零件、輕型汽 車零件	汽車小零件、電機 零件、軸承	汽車大零件、照相 機零件、建設機械 、高壓容器
目 的	節省素材費用、降 低成本（替代車製 加工）	配合增產、汽車產 業的自由化	節省加工工程、替 代熱間鍛件	利用冷間鍛造效果 之加工工程合理化
材 質	低碳鋼（S10C~ S25C）	高碳鋼（S45C~） 低碳合金鋼（SCM 415,SCr420）	高碳合金鋼（SCM 435,SCr440） 軸承鋼（SUJ2） 低碳13Cr不銹鋼	高碳工具鋼（SK 3~5）耐腐蝕、高 強鋁合金（5052、 5056、2014、2024）
重 量	<100g	100~300g	300~500g	500g~2kg
鍛 機	<200 ton 肘節鍛機	400ton 肘節鍛機、 曲柄鍛機	600 ton 肘節鍛機	800~1,000 ton 曲柄鍛機、高速油 壓鍛機
加工法	鍛粗、後方擠壓	後方擠壓、前方擠壓	複合擠壓	複合加工法

（來源）澤邊：日本塑性加工學會，冷間鍛造分科會資料，No.44-4

2 冷鍛模具設計手冊

床，以低碳鋼進行汽車小零件加工，如今確實已達成長足進步。以往被認為難以加工各種鋼料，目前逐次變成可能。製品亦日益大型化。尤其於複合成形等，擺脫冷鍛範疇而與其他加工法結合成為複合加工法，被認為具有擴大冷鍛適用範圍的意義。

最近趨勢，傾向於大零件化。以汽車相關零件為例，已能進行素材直徑50 mm 以上，鍛後長度 1m，重量達 3 至 5kg 之大軸擠壓成形。多段聯製式橫型油壓鍛機即利用於此種加工，並附設後續加工，探傷檢驗等裝置，以利自動化的進行。不規則形狀冷鍛亦日趨複雜化，高準確度化。包括齒輪、栓槽軸等，非對稱形零件冷鍛也已進入實用化階段。

目前冷鍛雖已相當普及，基本問題大致得以解決，但尚有不少因素，自從普及初期即被提出而迄今仍然直接對於作業相關人員構成問題。其中若干者，或許以設備的改善、工程的增加、製品形狀或材質的變更等方法得以解決，但尚有若干問題，由於企業經濟性、銷售等關係，迄今仍不易解決。

冷鍛，必須由：素材的調整、潤滑處理的良否、模具材料及其熱處理、製品規劃、加工技術等所有事項皆得以順利進行之後，始能達成穩定生產。任何一項不順利，都會導致加工上致命傷。因此，冷鍛可謂係一項綜合技術，就素材而言，必須與鋼鐵及其他材料供應廠商，就潤滑處理而言，必須與金屬表面處理技術人員，就模具而言，必須與鋼鐵公司及熱處理技術人員，就製品設計而言，必須與終端使用者，就加工面而言，必須與冷鍛相關人員及鍛機製造商，就製品而言，必須與冶金技術人員等等，幾乎與所有技術人員，彼此間須要建立密切而強有力的合作研究體系才行。

1.2 冷間鍛造特點

冷鍛，係將金屬材料（素材或坯料），於常溫或材料再結晶溫度以下溫度，利用工具施以壓力，順著工具形狀加以擠壓或充滿，使其形成為所求形狀之一種加工方法，其特點即在加工進行於冷間，因此變形阻力遠大於熱間鍛造，尤其於擠壓加工，素材大部份在剛性工具的拘束下進行變形，加工所需加壓力特別高出其他衝壓加工。因此，工具與機械所承受負荷亦大，於實際加工方面仍然發生不少問題與限制。其中，最大限制即為工具的破損與摩耗，以及素材的斷裂。如果妥為選擇適當加工方式以及模具工具的合理設計，這些缺陷應能加以克服。

冷鍛可分為若干不同加工方式，必須依個別加工方式就加工壓力與變形特性、加工壓力與工具壽命等等方面分別加以解析檢討。於模具設計時，必須先行檢討所有相關因素之後，加以選定最合理加工方式並決定加工工程。通常，冷鍛設計原則係素材經加工後，其變形主應力應成為壓縮應力。因此可列舉各項特點如下：

- (1)冷鍛不同於拉伸應力加工方式，一次可給予較大變形，而不致產生局部收縮、欠料、破斷等缺陷。尤其於加工中，素材受工具拘束程度愈高，素材內所產生靜壓（三主壓縮應力之平均）即愈高，材料之延性愈增高。
- (2)材料承受大變形之後，由於材料發生加工硬化，製品會提高強度。切削性亦會提高若干程度。在高靜壓下變形之材料，不易產生內部缺陷，並且不致於損失延性。因此可得強韌製品。
- (3)即使工具形狀較為複雜，亦可將工具尺寸、形狀、表面粗度等相當準確地複製於製品上。
- (4)由於上述各項理由，素材得以選自廣泛種類與品質。並且強度大，可減少製品剖面厚度，素材形狀也較為自由。
- (5)另一方面，由於施加工具上壓縮與摩擦應力相對地上升，為提升工具強度（有時包含彎曲強度）、耐磨性以及鍛機能力，必須設法解決甚多技術上困難問題。

考慮上述各項特點，並於進行加工時，須要加以注意下列各點。

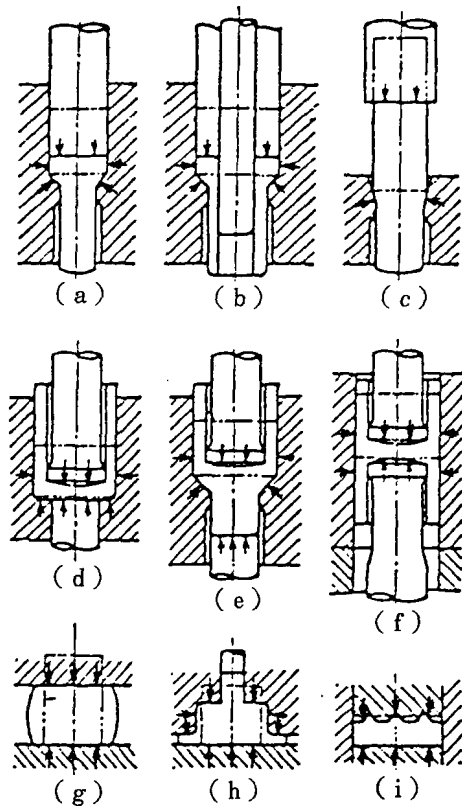
- (1)如欲降低加工壓力，則應妥為選擇素材、製品及工具的形狀，並決定工程，以便儘量減少素材變形、工具沿面變位、素材內部不必要之變形（例如附帶剪斷變形、方向變化、逆流）等。
- (2)如欲降低加工壓力，則應將工具設計成為僅予素材以最低必要限度的拘束。工具表面應施光滑加工並施適當潤滑。
- (3)如欲保持加工中或加工後材料之延性，與上項適反，須增加工具的拘束程度，並增高靜壓。
- (4)如欲提高製品強度，則應使素材全體發生同樣大變形，並避免發生局部激烈變形、素材纖維之斷裂、或激烈彎曲。

於實際加工，必定經常遭遇矛盾，一方面希望增加材料延性與製品強度，但另一方面希望降低加工壓力。因此必須妥為考慮上列各點，並善加利用。

2. 基本冷間鍛造

2.1 基本加工法

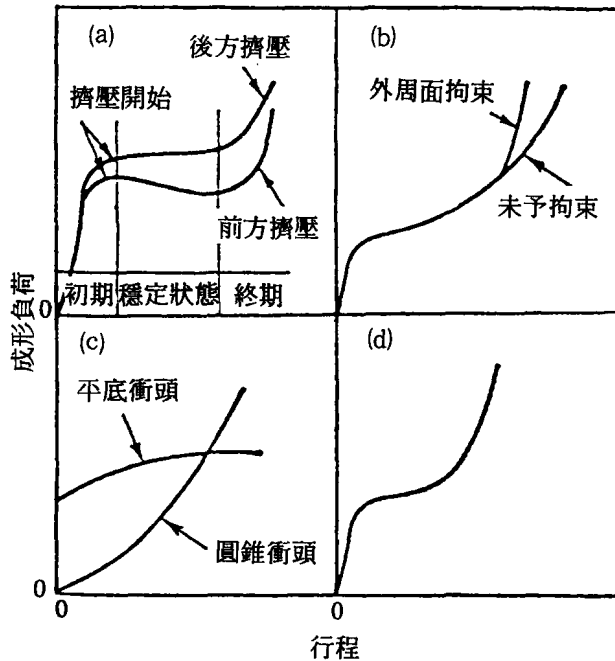
於冷鍛，一般所採用的基本加工方式，如圖 1 所示，隨著加工形式之不同，其力量施加法、材料流動等變化頗多，因此需要能因應加工形式的模具設計與加工材料特性。由塑性變形過程可知，這些加工方式，隨著素材的變形，所



(a) 前方擠壓 (b) 前方擠壓 (空心體)
 (c) 擠縮 (d) 後方擠壓 (e) 前後方擠壓
 (f) 對向擠壓 (g) 鍛粗 (h) 鍛細 (i) 壓印

圖 1 冷鍛基本加工法 (鎖線係坯料形狀)

需負荷亦變化。圖 2 表示，不同加工法的負荷—變形特性之示意曲線。圖中(a)表示擠壓加工特性，於變形過程初期，負荷激烈上升，這是素材與模具間隙之充滿過程，達到所定負荷後即開始擠壓。於擠壓終期，素材厚度變薄時，負荷再度激烈上升，在中間則為穩定狀態之擠壓加工。圖中(b)表示鍛粗、(c)表示壓窟、(d)表示壓印及密閉模具的成形。(d)項中相對於變形量的負荷上升情況，遠激烈於(a)項。



(a) 擠壓 (b) 鍛粗 (c) 壓窟
(d) 密閉鍛造或壓印

圖 2 一般成形壓力特性線圖

於實際加工，受零件形狀，模具工具條件、潤滑條件，以及素材特性等影響，會呈示複雜情況，但皆可認為這些基本特性的複合形態。不論任何情況，必須加以考慮所要求的準確度、強度、生產量、加工設備等，並特別加以檢討彈性變形與模具工具的疲勞強度。我們必須瞭解，製品性質乃得自加工方法，

亦即必須具備基本知識，以便對於所需製品能夠選擇最適當加工方法。

2.2 變形所需力量及能量

2.2.1 變形過程之影響因素

冷鍛製程中有擠壓、鍛粗、壓印等各種加工方法，其中已建立最有系統性研究的是擠壓，其次是鍛粗。這兩項也是冷鍛的最基本加工方法，有關此兩項影響因素之知識，也共通地可利用於其他加工法。在此，主要討論擠壓與鍛粗之工具形狀與摩擦對於加工力及材料變形之影響。雖然加工熱與加工硬化等條件也相當重要，但本文並未加以討論。

2.2.1(A) 穩定狀態之擠壓

通常，穩定狀態之變形，乃指被加工材料內所設想之流線形狀，隨著時間發生穩定變化者。在此，以前方擠壓加工為例，加以討論。若素材長度充分較長於容器直徑，即有一段時期發生穩定狀態變形如圖 3 所示。

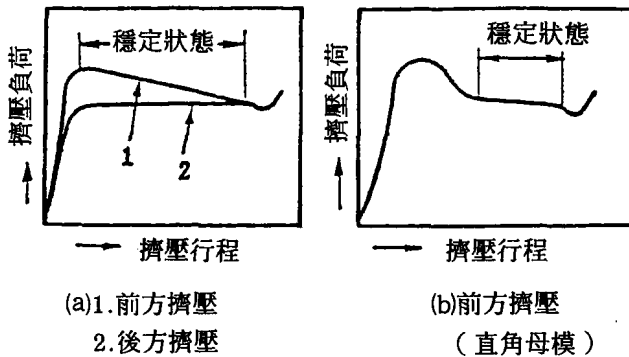


圖 3 各種形式之擠壓負荷行程曲線

圖 4 表示，穩定擠壓加工時的材料變形情況以理論求得結果⁽¹⁾，(a)係未予考慮摩擦時的情況，其變形圖形不論前方擠壓或後方擠壓皆有共通性。如果摩擦係數約在0.05以下時，其變形圖形大致同於(a)。(b)與(c)係作用高摩擦力時之情況，(b)係前方擠壓，而(c)則後方擠壓。隨著摩擦應力作用方向之不同，塑性變形領域形狀差異甚大。例如在(b)，滯流金屬覆蓋所有母模全面，而相對地，在(c)則完全沒有產生滯流金屬。但這些圖是剖面減少率約在70%時之情形，

如果減少率增加，即使在後方擠壓，母模與容器的角落部即行產生小部份滯流金屬（但摩擦並非零，亦未發生膠著時）。(b)、(c)係膠著摩擦時的情況，但摩擦係數超過約0.2以上時，也開始發生類似如此的變形。

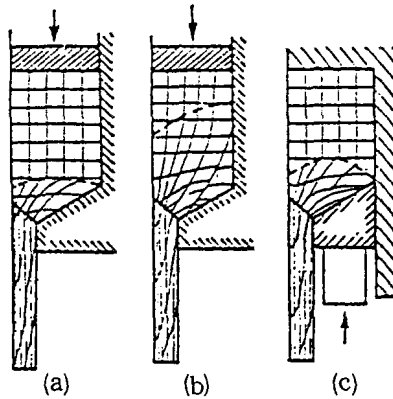


圖4 平面變形穩定擠壓加工的材料變形

母模角度出口處設有圓弧時，如果摩擦小，圓弧愈大，於出口附近變形即愈呈劃一，而降低加工力；如果摩擦大，圓弧愈大，由於加大剪斷變形，加工力則反而增加。

2.2.1 (B) 非穩定狀態之擠壓

於長素材擠壓加工終期，或於短素材擠壓加工時，材料即發生非穩定性變形。在此非穩定變形過程中，經常會發生所謂“塌陷”的空洞，因此素材剩料或擠壓餘料將成為製品的一部份時，必須瞭解有關此過程方面的知識。

圖4中，以點線表示塑性變形領域境界，由於這點線即為滑移線，因此沿著此線會作用最大剪斷應力。圖4乃表示穩定變形，如果加工進行到加壓板十分接近變形領域時，則開始發生非穩定性變形。於非穩定變形過程中，材料沿著加壓板面發生流動，此面之摩擦條件對於擠壓力及材料變形給予若干影響。如果，作用於加壓板面的摩擦屬於膠著摩擦，非穩定變形即自加壓板面接觸於穩定狀態塑性變形領域時開始發生。而如果加壓板面摩擦條件良好，加壓板面接觸於穩定塑性變形領域以前，即行開始進行非穩定變形。這時候，即使塑性

變形領域稍為擴大，由於沿著加壓板面摩擦小，整體而言，能夠以低於穩定時擠壓力之力量進行加壓。如上所述，加壓板面尚未接觸穩定塑性變形領域前即行開始非穩定變形之情況時，由於加壓板已經十分接近穩定塑性變形領域，即使認為加壓板接觸於該領域之後開始非穩定變形，時期之推測上不致於發生太大的錯誤。

加壓板面的摩擦條件良好時，進入非穩定過程之後，擠壓力即行急速降低。即使作用高摩擦力時，隨著加壓板的進行，變形體積即行減少，同時容器面間接觸長度也減少，因此擠壓力會降低。但過程繼續進行，素材長度變短時，變形所引起工具面摩擦的拘束變成強大，而導致擠壓力的上升，最後在素材尾端面中央會產生空洞。空洞或凹陷與穩定過程無關，完全係另一現象，於使用短素材時，於加工開始即行發生此現象。

2.2.1(C) 容器內面之摩擦

擠壓加工於超過最初的擠壓力高峯之後，以穩定狀態繼續進行加工。於此過程中，由於素材未變形部長度愈短，與容器壁間之摩擦力愈小，因此負荷愈輕。Pugh⁽²⁾等將容器面摩擦考慮在內，導出擠壓力計算式如下：

$$P_2 = Y + (p_1 - Y) \exp\left(4\mu \frac{l_2 - l_1}{D}\right) \quad \text{但 } l_2 > l_1$$

在此， l_1 係稍長於產生穩定變形所需最小素材長度， p_1 係 l_1 時之擠壓力， D 係容器直徑， Y 係素材的壓縮降伏點應力。若已知摩擦係數 μ ，並加以測定 p_1 ，即可算出 l_2 時的擠壓力 p_2 。反之，若能測得 p_1 與 p_2 ，即可算出 μ 。經鋼料擠壓實驗結果，據稱與剖面減少率幾乎無關，大約在 $\mu = 0.04 \sim 0.069$ 。此時所施潤滑，係磷酸鋅皮膜加以 Bonderlube 235 處理。

2.2.1(D) 模具形狀之影響

已由多數研究者提出各種擠壓問題的滑移線解析，也有對於庫侖摩擦作用於工具面之解析。這些滑移線解析皆屬於有關楔形模具或衝頭之擠壓加工者，就楔角度對於擠壓力與摩擦之影響加以研究其相關性，並對於由經驗所得實際擠壓加工最適當角度（在固定剖面減少率之下，可使擠壓力為最少的模具角度），給予理論上的依據。例如於楔形母模的前方擠壓，若剖面減少率固定而無摩擦時，角度愈小，擠壓力愈低。反之，如果作用高摩擦力時，角度愈小，擠壓

力愈高。由此可知，最適當角度乃視剖面減少率與摩擦條件而定。表 2 表示平面變形穩定擠壓加工之最適當角度⁽³⁾。由此表可歸納，摩擦係數愈低，以及剖面減少率愈小，最適當角度愈變小。這趨勢大致符合經驗結果。

表 2 平面變形穩定擠壓加工的最適當角度

 $\alpha^\circ/2$ (半角)

摩擦係數	剖面減少率 (%)	60	70	80	90
		0.05	前方擠壓 後方擠壓 穿 孔	25~30 25 25	35~40 35 35
0.10	前方擠壓 後方擠壓 穿 孔	30~35 35 35	40 40 40	55~60 55 45~60	60~70 65 >75
膠著摩擦	前方擠壓 後方擠壓 穿 孔	>45 50 >60	>45 55 >75	60 70 90	>75 75 90

用於實際加工的衝頭或母模，於擠壓口部份通常設有少許圓弧，接著圓弧，再設有所謂“台地”的平行部份。楔形母模出口部圓弧半徑愈大，擠壓力愈低，但作用高摩擦力時，擠壓力反而增高。利用心軸的空心材擠壓加工，由於摩擦表面積大，擠壓力之增加特別高。

表 3 表示，圓錐形母模之前方擠壓最適當母模角度⁽⁴⁾。這些數據，大致相同於同樣摩擦係數與剖面形狀之平面變形穩定擠壓最適當母模角度(表 2)。表 3 數據係於穩定變形過程終期之擠壓力比較中所求得者。擠壓力最大值出現於擠壓初期，其大小不僅受素材長度關係，也受潤滑膜中斷或滯流金屬產生

表 3 圓棒的前方擠壓加工最適當母模角度

剖面減少率 (%)		<25	50	75	84	92	96
最適當母模 半角 $\alpha^\circ/2$	$\mu=0.05$	<15	15	25	30	35	40
	$\mu=0.10$	15	20	30	35	45	60

之影響。能使此最大擠壓力成為最小的母模角度，乃較大於表 2 數據。最適當角度大約在於，潤滑條件良好時約大 10° 左右，潤滑條件不良時宜接近直角。

2.2.1(E) 鍛 粗

平行平面模具的圓柱形素材之鍛粗，經常被利用於實際冷鍛作業。如果模面沒有摩擦時，空心圓柱素材宛如實心圓柱之一部，其材料粒子會往外流動；如果有摩擦時，視高度及內外徑比率，材料內部可能產生中立面，以此為境，材料會往內外向流動。這是起因於，由於端面摩擦，使材料減少高度所需能量或力量而言，分別流動於內外兩側者即較低於全體流動於外側者的緣故。

如圖 5 (a) 所示，模具形成凸形時，加壓力呈現複雜變化⁽⁶⁾。亦即對於相同尺寸比 d/h 而言，沒有摩擦時，角度 α 愈小，加工力愈大；作用大摩擦力時，呈示相反趨勢。於中等摩擦，視尺寸比，有一角度，加壓力變為最小。另一方面，如圖 5 (b) 所示凹形時，即使潤滑良好，但會形成覆蓋模面之滯流金屬，角度愈大，以及摩擦愈大，滯流金屬愈多。因此，摩擦大，斜角大時，加壓力即甚受素材尺寸比的影響。

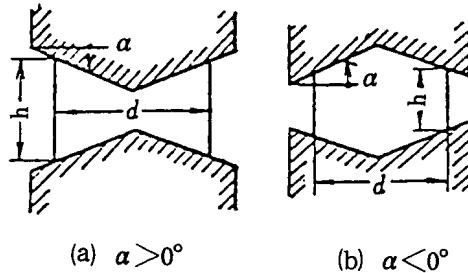


圖 5 V 形模具的壓縮加工

如上所述，單純壓縮成為鍛粗的基本，但於實際冷鍛加工，很多是屬於半密閉或密閉模的鍛粗，或者鼓高等成形，這方面的舉動更為複雜。

半密閉模鍛，係利用飛邊的舉動，使材料充滿於模具內，而獲得所需形狀製品的加工，因此，關鍵在於飛邊及模腔間相關尺寸與加壓力間關係之探索。於壓印最終階段，材料已大致充滿於模腔內，於此階段，使材料充滿於模腔內的材料流動極少，因此於計算加壓力，可假設材料已完全充滿於模腔內，而僅

加以考慮飛邊的流動即可。依此構想之下，軸對稱半密閉模鍛的完工階段，可簡化為單純鍛造如圖 6 所示⁽⁶⁾。圖中鍛造加壓力近似值，即可由高度 h 、直徑 d 圓板加以壓縮所需力量求得。

但，隨著鍛造過程的進行，從模腔部份，材料次第地溢出到飛邊橋部份，摩擦條件也次第惡化。

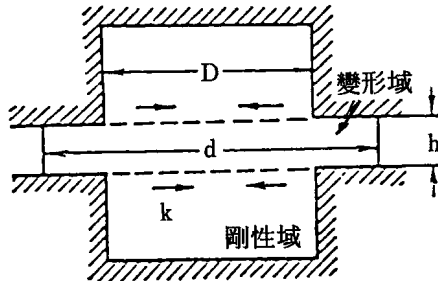


圖 6 半密閉模鍛最終階段

飛邊橋前端若屬自由，而於軸對稱鍛造時，所溢出飛邊材料外緣，其圓周方向產生拉伸應力，而半徑方向產生壓縮應力，如果壓縮繼續進行，在此部份即行發生挫曲。

2.2.2 剖面減少率

剖面減少率 ϵ_s （鍛粗時即為高度減少率 ϵ_h ），直接影響於所需要之加工壓力與加工界限。由於冷鍛成形主要以壓縮變形為主體，除黃銅、鎂合金等低延性材料不算，大部份成形受限於工具強度界限之情形多於受限於被加工材料缺陷所導致之成形界限情形。減少率愈苛刻，成形負荷愈增大，並導致工具的激烈摩擦與破損。因此必有適合量產的經濟變形量，其取捨乃製品設計初期階段中極為重要之事項。

經考慮工業性與經濟性，目前被認為合理的剖面減少率 ϵ_s （或高度減少率 ϵ_h ），依加工方式分別為如下（參考圖 7）。

$$(1) \text{前方擠壓（實心體） } \epsilon_s = \frac{A_0 - A_1}{A_0} \cdot 100 = 50 \sim 75\%$$

$$\text{擠縮或鍛細時 } \epsilon_s = 24 \sim 28\%$$

(2)前方擠壓 (空心體) $\epsilon_a = \frac{A_1 - a_1}{A_0 - a_0} \cdot 100 = 50 \sim 75\%$

(3)後方擠壓 $\epsilon_a = \frac{A_0 - (A_0 - a_1)}{A_0} \cdot 100 = \frac{a_1}{A_0} \cdot 100 = 40 \sim 70\%$

(4)鍛 粗 $\epsilon_b = \frac{h_0 - h_1}{h_0} \cdot 100 = 50 \sim 60\%$

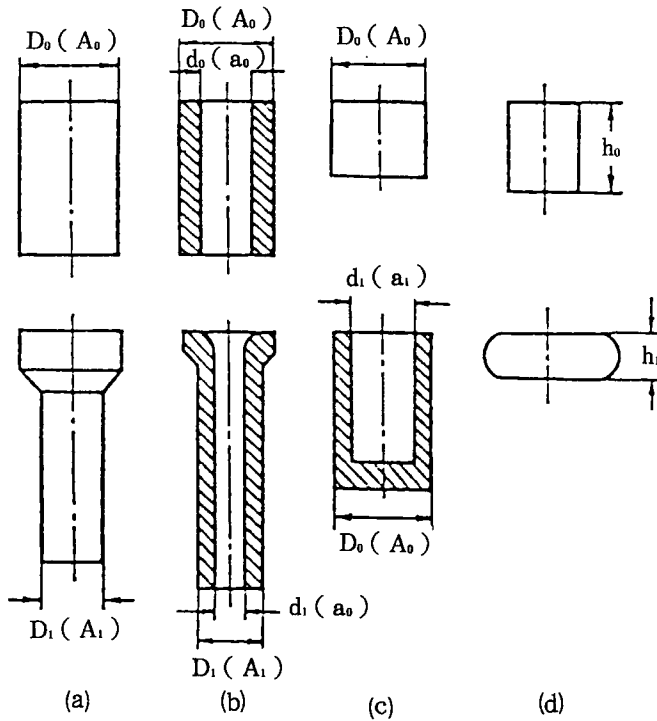


圖 7 基本加工形狀

關於剖面減少率，將於第 3 章另行詳加說明。以上數據係針對含碳量 0.4% 以下低鋼或低合金鋼等，較易進行冷鍛的材質者，適合於量產之前提下所訂的變形率。隨著含碳量與合金元素的增加，通常變形阻力也增加，加工增加困難，自然須要減小剖面減少率，也增加成形形狀限制。

通常剖面減少率加以減小後，加工壓力會減少，可減輕模具負荷。但於後方擠