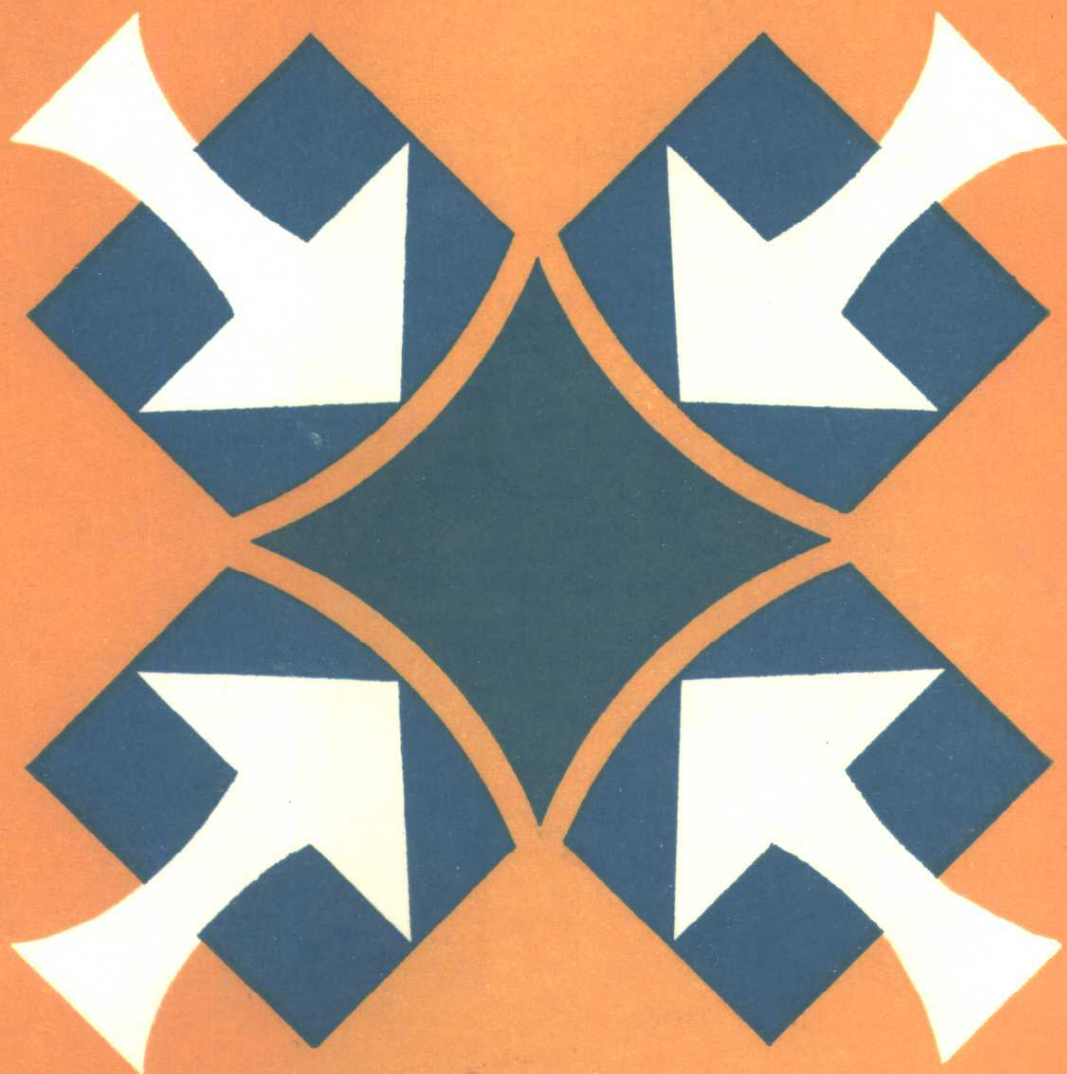


金屬高速率成型

HIGH-VELOCITY FORMING OF METALS



趙仲平編著 · 香港萬里書店出版

金屬高速率成型

HIGH-VELOCITY FORMING
OF METALS

趙仲平編著

香港萬里書店出版

EY65/34

金屬高速率成型

趙仲平編著

出版者：香港萬里書店
香港北角英皇道486號三樓
(P. O. BOX 15635, HONG KONG)
電話：H-712411 & H-712412

承印者：上海印刷有限公司
香港銅鑼灣謝菲道498號

定價：港幣四元五角

版權所有 * 不准翻印

(一九七二年一月版)

緒 論

超音速噴射飛機要靠能量巨大的噴射發動機來推進。人造衛星的發射是要靠衝力特強的火箭來推動。而噴射發動機和火箭的主要組成部分是燃燒室 (Combustion chamber) 和噴口 (Jet nozzle)。壓縮空氣在燃燒室內與燃料混合發生燃燒時，產生了高溫和高压，高溫的膨脹氣體，從室內高速地向噴口衝出，擔負這樣重大任務的燃燒室和噴口，形狀是很特別的。燃燒室是一個略呈「凸肚」形的圓筒，而噴口各段直徑都是變動的。在普通五金工業中對這類型製件的衝壓，是使金屬板料沿徑向拉伸，將空心件或管狀毛料向外擴張而成型的。通常，公模可用橡皮作凸模，用分塊凸模由楔狀心塊將它分開或者用液體代替凸模，靠液體壓力將板料壓向凹模邊緣。凹模要能分開以便毛料成型後取出。使用鐵粒或砂子等填充物用來壓製，使毛料貼向凹模的方法亦有採用。對毛料進行局部加熱（變形區加熱）能顯著地增大變形程度。對大型的空心零件亦有採用液體壓製的方法，由於製件的龐大，故不用壓床而用液壓裝置。這些都是金屬脹形件的衝壓方法。這對軟薄而細小的五金件或不銹鋼咖啡壺之類的「凸肚」件是沒問

題的。但對燃燒室、噴口那些不但要耐高溫高壓，還需應付連續不斷的燃燒(這無異要應付連續不斷的爆炸作用)的零件。而且它不是一般的金屬片料或普通鋼板料，而是由具有**高強硬度、韌度並能耐高溫的鈦、鋳**等元素合金所製成。面對這類形狀、這類材料以及一大堆特殊而嚴格的工藝要求之下，怎樣去製造呢？與傳統的工藝製造方式去生產？但它不是三幾件或少量，就以一具普通的噴射引擎為例，已不單只一個燃燒室，而是多件地組合起來，況且它並非細小的零件，噴口這件圓筒形零件也相當大。火箭及高速飛機的體殼及內部，都有不少大型或超大型，用特種合金板料製成，且需符合很多「花樣」的技術要求的零件。單是圓艙筒壁和頭部錐形筒大端的直徑，就可大至30呎。

在原子能動力方面，核子燃料的生產、同位素的分離和原子反應堆中，都有各種特殊形狀和要求的容器板零件。面對這些奇形怪狀，能耐高溫、高壓，抗腐蝕，無縫(不能由一件以上併件合成)，不漏，材料極硬、極韌的特種合金或特殊材料以及龐大零件的生產，是科技人員必須迅速而有效地去解決的問題。從理論的研究及試驗的進行，終於創造出一種爆炸成型(Explosive forming)的工藝方法。應用高速率法來成型製件，目前世界各國掌握這種技術還不算普遍，中國則已採用，且有新的發展。

爆炸成型就是利用爆炸瞬時放出的巨大能量，造成壓力波，通過傳力介質(通常是水)，把力傳遞到金屬坯料上，迫使金屬坯料壓向凹模腔壁，形成所需形狀。

炸藥爆炸時是極短速的。只不過百萬分之幾秒的時間，製件就可成型。至於炸藥的分量，則要看製件的大小和炸藥種類而定。若用黑色火藥，比較緩和，爆炸時體積增大很多倍，壓力急劇增高，可達500~5,000個大氣壓。壓力波速可達100~500米/秒。若用烈性炸藥(TNT)，其爆炸過程並非急劇燃燒，而是瞬時的化學分解，因此爆炸時更急劇且壓力更強，壓力波速更高，可達8,000米/秒，幾乎等於人造衛星的速度。

例如1安士重的強力炸藥，就能放出約一百萬吋/磅的能量。在鍛造(Forge)工作上，工具(錘頭或衝頭)的質量(m)和速度(V)都很重要，由公式： $E(\text{動能}) = \frac{1}{2}mV^2$ 的關係可知，若工具質量不變，提高工具運動速度就能獲得更大的能量，或能量固定，速度提高則可減少工具質量。從爆炸成型氣體壓力的波速，可知極其微小的質量就會發出極大的動能來。這是和傳統式衝壓成型機床靠衝模或落錘時的質量工作完全不同。所以爆炸成型又稱為高速率成型。

由爆炸成型技術的發展而引出幾種非炸藥性的高速率成型方法，計有可燃混合氣體爆燃法、電液效應法、電磁波效應法及氣力機械操作法等。這幾種方法都是以高速率取勝的。以下列出的各種近似速率，可看出習用機械和高速率法的比較，液力壓床每秒0.10呎，摺板壓床每秒0.10呎，機械壓床每秒0.1~2.4呎，落鍛錘每秒0.8~14呎，爆炸(成型)法每秒31~1,500呎，電流法與磁波法每秒

90~750呎，氣動機械操作法每秒8~270呎。

很多金屬和合金材料具有高的強度、硬度、彈性和衝擊韌性的。用普通機械不能加工的材料，可用高速率法成型即能解決。高速率成型能加工鋁 (Aluminum) 及其合金、不銹鋼 (Stainless steel)、鎂 (Magnesium)、鎂鋁和鈾 (Thorium) 合金、鈦 (Titanium) 及其合金、鋁與鈮 (Vanadium) 和錳 (Manganese)、銅及其合金；甚至難熔而堅硬的金屬如鉬 (Molybdenum)、鎢 (Tungsten)、鈮 (Niobium) 等亦可解決。

炸藥可由幾安士至幾磅，例如 2 安士球形炸藥用於 5 呎直徑水箱中成型圓拱時能產生 1,000 噸的液壓，而 5 磅炸藥則可製成一非常龐大的凹碟形工件，為現時任何衝壓設備所不能做到的。

目 錄

緒 論	I
一、炸藥爆炸成型	1
1. 「離」式和「接觸」式爆炸成型	1
2. 爆炸成型所用介質	3
3. 爆炸成型所用爆炸物	3
4. 爆炸成型的水箱	5
5. 錐體和凹形空心件的成型	6
6. 管件的膨脹	8
7. 爆炸整形	10
8. 幾種減低製造成本的實例	10
9. 爆炸成型的模具和設備	13
二、「接觸」爆炸的應用	23
1. 「接觸」爆炸法的多種應用	23
2. 金屬粉塊的壓製	23
3. 爆炸鉚接	27
4. 爆炸焊接	28
5. 金屬表面硬化	31
三、爆炸成型資料數據	35

1. 「離」式爆炸成型能量資料	35
2. 壓力波	35
3. 氣泡	40
4. 多式多樣的水中爆炸成型	42
5. 「接觸」式爆炸成型能量資料	43
四、幾種高速率成型系統	52
五、可燃混合氣體成型	53
1. 可燃混合氣體爆炸成型	53
2. 可燃混合氣體的燃燒反應	55
3. 可燃混合氣體和供氣系統方面的要點	59
4. 混合室（燃燒室）等設備方面的要點	60
5. 混合氣體爆炸成型實例	61
六、電氣液力成型	63
1. 電氣液力成型	63
2. 電能、電容和電壓	65
3. 電力供應設備	66
4. 充電系統	67
5. 電壓率	68
6. 高速開關	68
7. 電液效應的能	69
8. 爆脹線	70
9. 爆炸線的力量	71
10. 成型所需力量	74
11. 電液成型模具	74

12. 電液成型設備·····	76
七、磁波成型·····	80
1. 電磁波成型·····	80
2. 磁波成型的原理·····	83
3. 磁波成型的應用實例·····	87
4. 磁波成型的設備·····	94
5. 磁波成型線圈·····	97
八、氣力機械高速率成型·····	102
1. 氣力機械高速率成型·····	102
2. 氣力機械的構造和原理·····	102
3. 氣力高速率機械能量、速度與力量的分析·····	104
4. 能量轉變的分析·····	106
5. 速度的轉變·····	109
6. 力量·····	109
7. 氣力高速率鍛造機的使用要點·····	113
8. 高速率鍛造模具的設計要點·····	114
9. 氣力高速率成型機的主要應用·····	118
10. 高速率鍛造·····	119
11. 高速率擠壓·····	122
12. 高速率沖孔成型·····	122
九、各種高速率成型方法的比較·····	129
十、普通方法和高速率法的比較·····	135
1. 製件形狀對加工方法的選擇·····	135
2. 形變速度·····	140

3. 材料特性·····	142
4. 應變分佈狀態·····	144

一、炸藥爆炸成型

1. 「離」和「接觸」式爆炸成型

龐大平板坯料如要製成拱形、筒形或凸緣件，可用「離」式成型法。圖1—1A是這種方法的原理；爆炸物與工件和模件有一段距離，通常是在藏於平地的水箱內進行。爆炸時，壓力波由水作介質傳至坯料表面。工件上的頂峯壓力由每方吋幾千至幾十萬磅，時間則以千分秒計算，坯料成型時金屬位移速率約每秒數百呎。

由於製件龐大，炸藥需離開坯料和模件，且端部要開放，故可使用高力炸藥。有水作傳力介質，成型力就比較均勻，對減小爆炸聲響和吸收爆炸能量，使保障工作的安全進行，起着重要的作用。

爆炸操作時，能量急劇放出，一條向高空噴射的水柱，可見其威力之大。這方法具有危險性，爆炸力足以摧毀所有工具設備，爆成碎片飛入雲霄。所以對炸藥的運輸、存放和操作上的安全定則、措施等，都十分重要，此法不適宜在工廠內進行。

與「離」式爆炸成型法差異較大的是「接觸」式爆炸

法。圖1—1B是這種方法的原理。兩種方法——「閉」端與「開」端都可用此成型複雜的圓筒件或凸肚件。使用閉式系統，適宜採用低爆力炸藥來成型細小圓筒件。由於爆炸時立即接觸工件本身，內部壓力高達每方吋幾百萬磅，距離過近，會使震波在金屬本身發生，這樣就會使坯料發生破裂、塑性流、金屬變硬或其他效果，所以不適宜用高爆力炸藥（圖1—1A）。

閉端成型，低力度的爆發，使震波可維持一段較長的時間，使壓力集中於筒內以利坯料的充分成型。這方法適用於薄壁筒件的加工。傳力液體是儲存於封閉室內。

對厚壁筒件的成型，可用高爆力炸藥。由於爆炸力強烈，為了避免過度集中起見，需用「開」式方法，令端部通開（圖1—1B），圖1—2是雙凸筋爆炸成型件和模具。

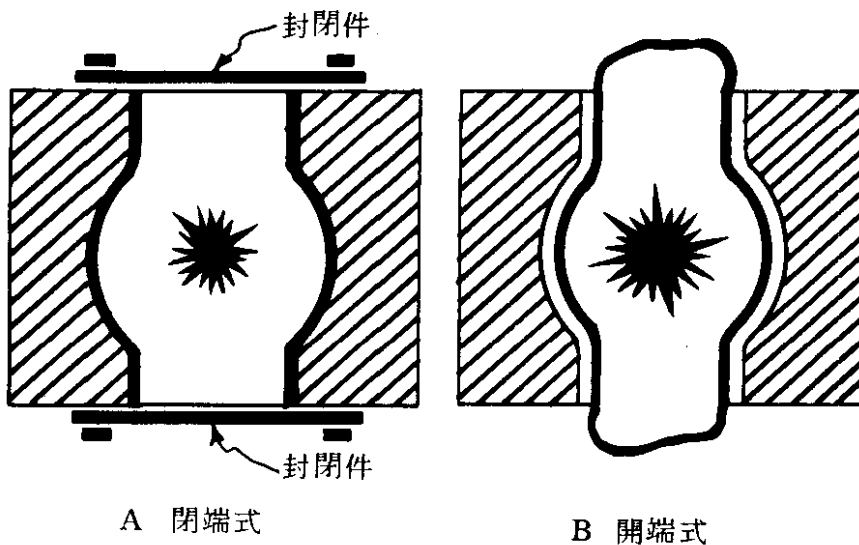


圖 1—1 接觸式爆炸成型

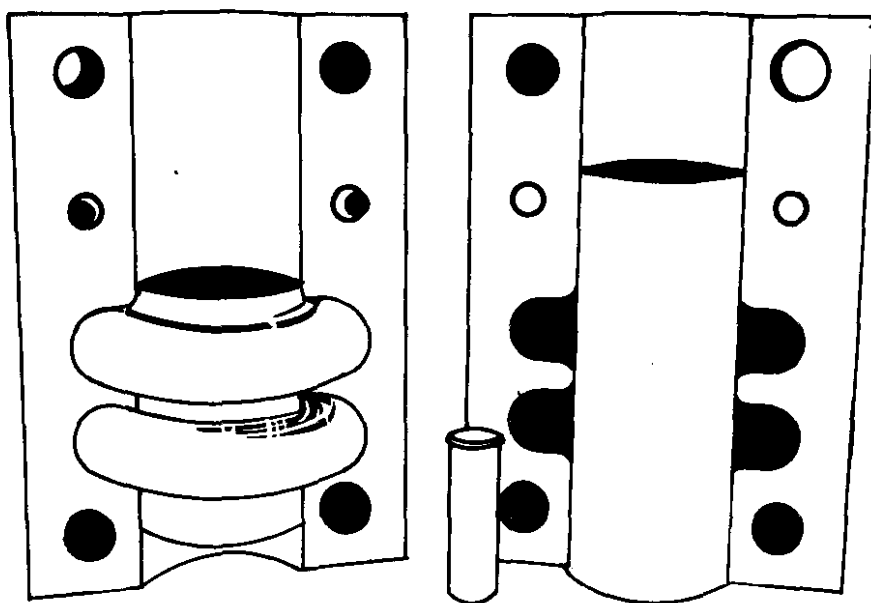


圖 1—2 雙凸節爆炸成型件和模具

2. 爆炸成型所用介質

傳遞震波的介質不一定要用水，以熔鹽、熔金屬、砂、油或其他物質作為熱成型的介質，均能抵受一定的成型溫度。空氣亦可作為介質。但大型工件如採用冷成型加工，在成本和便利上說，水和空氣是最適宜的，而水由於減少（或沒有）壓縮性，所以比空氣更勝一籌。

3. 爆炸成型所用爆炸物

各種炸藥或化學爆炸品及液態爆炸品都可採用。製件材料的物理性質和大小對炸藥強度的選擇有關係，過高的

爆震速度對製件來說並無好處。爲了適應各種成型情況，炸藥可製成片狀、球狀、條狀或其他各種形狀，以配合成型件的幾何形狀和達到「柔順」性的目的。

成型所用的炸藥可分爲兩種，一種的藥性是比較緩和的，如低力炸藥或普通炸藥；另一種是烈性炸藥，爆炸時所產生的能量比普通炸藥大得多，爆炸時間也更短促，所以稱爲高力炸藥或烈性炸藥。

低力炸藥是利用爆炸時所發生龐大的氣體進行成型工作，而高力炸藥則須將動能轉變成一種衝擊波去完成工作。

低力炸藥一般都採用粉末炸藥，如黑色火藥、硝酸纖維火藥（Nitrocellulose-pulver，是一種爆炸快速但力弱的炸藥）和硝脈（Nitroguanidin）等。這些都是熱量較低而產生較大氣體體積的炸藥。對一些強烈軍用炸藥，如軍用硝基炸藥（Ammonit），過氯酸鉍炸藥（Amoniumperchlorat）等亦可採用。

高力的烈性炸藥有TNT、帶南滅（Dynamit）、四醇異戊四硝酸酯（Nitropenta）和環形三次甲基三硝胺（Hexogen）等。

也有在普通炸藥中摻入烈性炸藥，從而提高爆炸速度的。因此，所用炸藥很難有顯著的區別。而成型工作中之所以要使用炸藥，主要是取其最大壓力方面與及壓力升高和時間的關係。

4. 爆炸成型的水箱

倘若用混凝土箱，通常是在箱的內表面鑲以鋼板，以防止爆炸的損傷。但亦可用熟鐵板焊成圓桶水箱，並使它藏入地裏。新用的水箱，當經過最初數十次的成型後，箱外土地會出現擠壓和沉聚現象。

爲了減少箱壁爆炸時所生的應力，可用充氣膠管沿着桶壁內表面，以螺旋狀將它圍繞。或者用「氣泡簾障」造成一道氣泡牆，這樣亦可減少水箱的應力。發出氣泡簾的

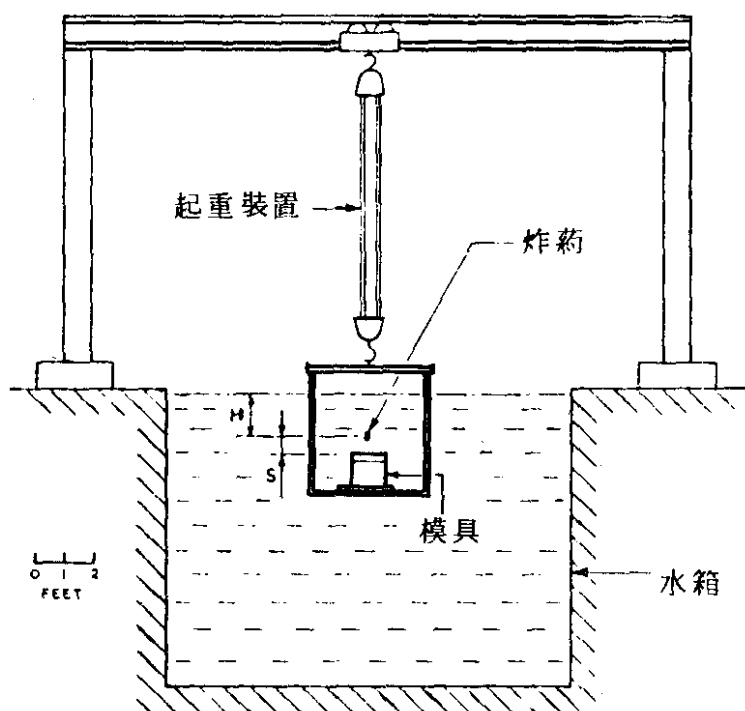


圖 1—3

通氣管，可用2吋或3吋直徑的金屬管代替，在每隔2~3吋間鑽有透氣的小孔，這是最實用而簡單的方法。

圖1—3中是採用整體懸掛法，使模具、坯料連同炸藥一起，以一大靜液頭（Hydrostatic head，即圖中H，水平面與炸藥的高度）加在炸藥之上，這樣在爆炸時氣泡就不致立即從表面逸出，並且沒有強大的水柱噴出，如採用這樣的裝置，爆炸成型可在戶內進行。

較小的爆炸成型在真空箱內操作的，亦可在戶內進行。用真空箱成型可使爆炸響聲減至極小。

5. 錐體和凹形空心件的成型

圖1—4是用爆炸法將平板坯料成型為錐體空心件的方法。將圓形坯料放在模口上，用塑料圍繞坯料的周邊封固。錐的小端接真空管道，炸藥分量的多少可影響成型件的錐體深度。圖1—5是按分量的增加而增長的熟鐵片料製件，改變襯件的方法，可在一件模腔中製成多種形狀，使模具的用途擴大和減輕製造成本。圖1—6A 列舉的是三種模型的襯件。圖1—6B 是用二次爆炸法使製件有更均勻的厚度，先用環形炸藥(a)炸成初坯，繼用球形炸藥(b)作最後成型。圖1—6C 是加熱成型法，先將坯料放置工具上，然後在工具和頂箱內再熱，加熱的傳遞物可用沙。