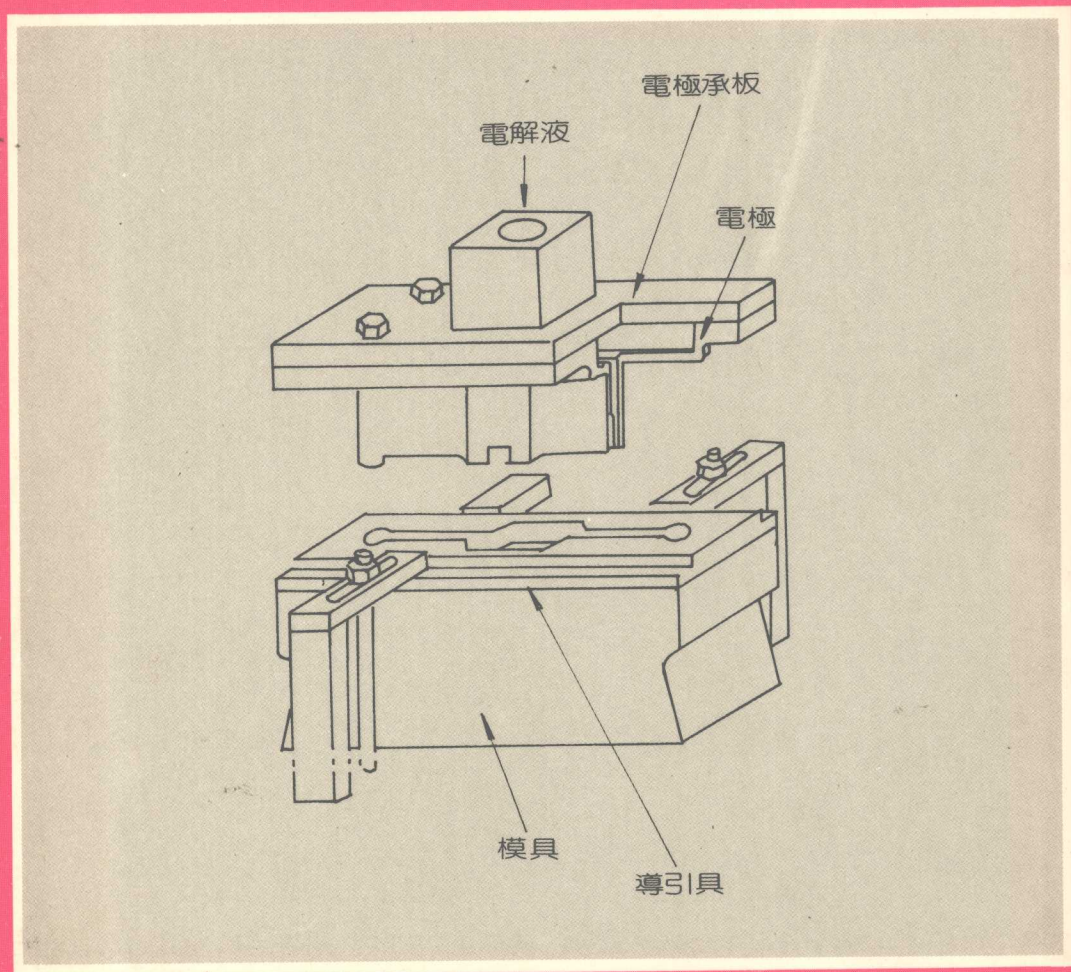


鍛模製造技術手冊



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

版權所有
不准翻印

中華民國七十九年五月初版

鍛造模具技術叢書之四

(全四冊)

第 四 冊

鍛模製造技術手冊

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

出售處：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

鍛模的種類繁多，特性互異，其差異性之大使模具所涉精度亦自 10^1mm 至 10^{-3}mm ，由於精度差異，使用設備及加工製程亦所涉極廣，不易詳述，因此本書乃針對鍛模加工中最常用之設備及技術加以說明，以求實用。

本書首章先述及各類鍛模的差異，用途及特徵，再就目前模具製造技術之走向予以略述，最後概述各類鍛造模具製造法，使讀者具有一廣泛概念。

第二章針對模具材料之特質及鍛造之特殊要求分別說明材料性質及種類，為求模具材料使用時能充分發揮其特性，因此也加入模具熱處理的說明，本章末為方便讀者之使用增列常用之日本廠家規格，以利鋼材選用。

第三章針對傳統性加工雕模設備，及使用於模具加工時的必要知識加以說明，除針對模具製造程序之安排法則外，亦略述各式加工設備之使用技術。

第四章為非切削性加工方法，亦為鍛模生產最常用之設備—放電加工及線切割技術。由於此類加工技術所涉技巧及知識極廣，不易詳細說明，故儘可能摘取常用且實用部份予以說明，並希望能以較淺近之說明協助讀者快速了解技術重點。

第五章為未來複雜模具製造之主流 NC 加工與 CAD/CAM 應用。首先提及 NC 加工之特性，再針對使用 NC 機械前應做之準備工作序以說明，再就 NC 程式撰寫及 NC 機能碼之種類予以概述。繼之對模具具有三次元形狀時，以 CAD/CAM 系統如何構成曲面及曲面種類予以說明及自由曲面以 CAM 如何製作刀具路徑進行曲面雕刻。

本書應屬鍛模製造之入門書，其中包含之資料盼亦能成為讀者可用之工具，編輯倉促且資料繁多取捨時恐有不全之感，若有疏失之處尚祈各位先進多予指正，是幸。

鍛模製造技術手冊

目 錄

1. 鍛造模具總論及模具製造法	1
1.1 鍛造模具種類及用途特徵	1
1.2 模具製造精度及未來動向	1
1.3 模具製造法概要	8
2. 模具材料及熱處理	23
2.1 鍛造用模具必備之性質	23
2.2 鍛造用模具材料之種類	26
2.3 鍛造用模具鋼之熱處理	28
2.4 依日本廠家規格	37
3. 傳統雕模設備與製造工程	41
3.1 模具製造程序	41
3.2 一般雕模用加工機械	43
4. 模具之放電加工及線切割	55
4.1 放電加工原理	55
4.2 雕模放電加工機的構造	57
4.3 放電加工之基準計測基準	62
4.4 放電加工技術探討	65
4.5 線割放電加工	81
5. NC加工與 CAD/CAM	86
5.1 切削加工之 NC 特性	86
5.2 加工前準備	88
5.3 NC 程式計劃	89
5.4 自由曲面構成	92
5.5 自由曲面之 CAM	99
附錄一、工具鋼規格對照表	103
附錄二、台灣工具鋼材料進口商	121

1. 鍛造模具總論及模具製造法

1.1 鍛造模具種類及用途特徵

鍛造模具依加工方式，鍛件形狀及製程方法不同而有數十種以上之分類，各種模具又因形狀及精度要求互異而致加工方法上之差異性亦極大，例如，熱間有毛邊閉模鍛造用模具因熱鍛產品公差要求約在 0.3~1mm 左右，故其模具加工精度亦大略各在 0.1~0.5mm 左右。其模具重點要求則在於曲面形狀之平滑圓順；但冷間前擠製鍛造或後擠製鍛造之產品要求在 0.02~0.1mm 左右，因此對於模具精度之要求亦相對較高，約於 0.01~0.05mm 左右，且模具之表面粗度亦要求甚高，通常均需要 0.6S 以下而至鏡面程度。

模具又依其用途而對材質、尺寸、形狀、精度、壽命、組合及運動機構等有不同之要求，加工法也須慮及各要求之程度而採用最適合之加工法，才可以高速率，低成本製造合理而可用之模具。模具由於常是單件生產或少量生產，故成本之降低、品質之保證與加工方法的選擇息息相關，模具製造者應多方評估各種加工法之特性，審慎安排加工製程。

圖1-1 為各種鍛造製程之示意說明及模具特色。

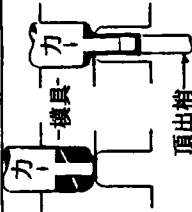
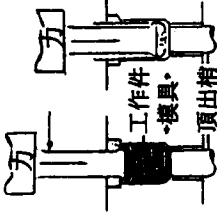
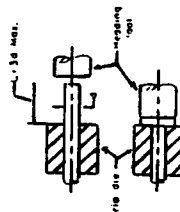
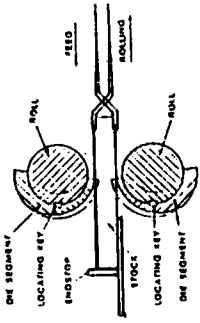
以往模具的製造只依賴模具技術工人的經驗及長久累積的熟練度，但近來產品要求日益走向高精度、短生命期，相對而言、模具亦必須走向高精度、高性能，模具開發週期之縮短同時也迫使模具製造法採用機械化、自動化、高速化。同樣的，加工方法從以往的切削加工發展而為 NC 切削中心、鑄造製模、塑性加工、物理、化學加工等新技術。設計及管理方面由於電腦科技的普及使模具自動設計、加工製程管理及彈性製造系統成為可能，各種模具應用軟體亦逐步上市與實用化。

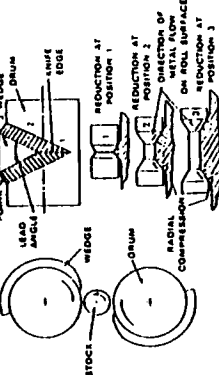
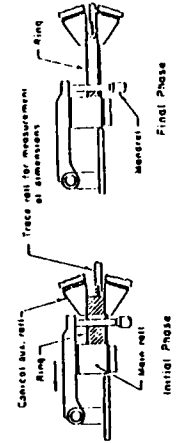
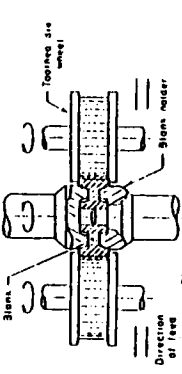
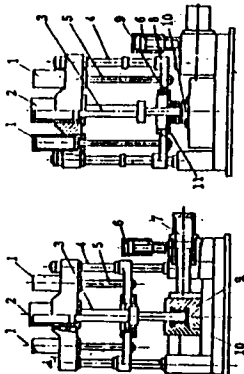
1.2 模具製造精度及未來動向

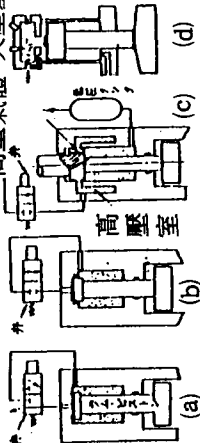
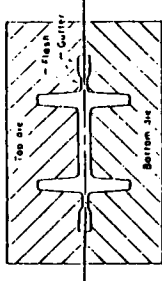
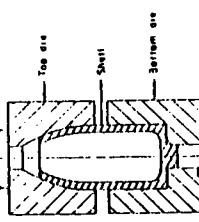
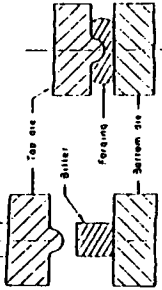
模具各項精度要求愈趨嚴格時，模具之加工費用將會依精度等級而激增，故應切實明瞭模具重點及使用目的，於適當部份安排及要求適當精度。一般而言，熱鍛模具其加工公差約於 0.03mm 左右，加工面粗糙度 1.2S 以下，模具耐用壽命自 5000~10000 以上，依使用情形及鍛造設備而不同。冷鍛模具之尺寸公差要求則約於 0.05mm 上下，加工面粗糙度 0.6S 以下，模具耐用壽命常

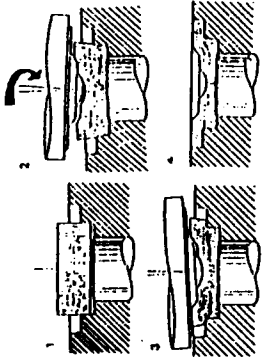
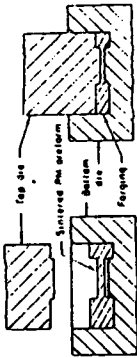
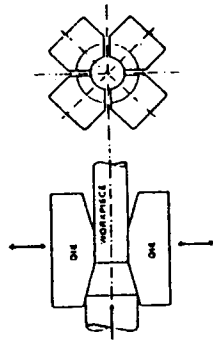
圖 1-1 各種鍛造製程之示意說明及模具特色

鍛造製程	示意圖	鍛造材料	鍛造設備	模具特色
無毛邊閉模鍛 (Closed-die forging without flash)		碳鋼及合金鋼 銅合金、鋁合金	液壓式壓床 機械式壓床	此類模具所受應力極大，故常有二、三層壓力套環之組合，常用於冷鍛，模具精度高，用於熱鍛時則限於簡單形狀。
有毛邊閉模鍛 (Closed-die forging with flash)		鋁合金、鎂合金、鈹合金、銅合金、碳鋼及合金鋼、不銹鋼、鎳合金、鈦及鈦合金、鋁及鋁合金、鈦及鋁合金。	對擊式鍛鍛機 機械式、液壓式、螺桿式壓床。	為一般最常見之鍛造方式，常用於熱鍛，模具精度不高，但因形狀常較複雜，膨脹時曲面應力求圓滑，模穴較重曲面。
壓印 (Coining)		碳鋼及合金鋼 不銹鋼、耐熱合金、銅合金、錫合金。	壓床 鍛鍛機	此類模具常為淺模，但具有精細之花紋模穴。微細加工及模具精光表面為主要特色。
電極端鍛 (Electro-upsetting)		碳鋼及合金鋼 鈦	電極端鍛機	模具常不具形狀或僅具簡單形狀，模具製作較單純。

鍛造製程	示意圖	鍛造材料	鍛造設備	模具特色
前擠製鍛造 (Forward extrusion forging)		碳鋼及合金鋼 鋁合金、銅合 金、鎂合金、 鈦合金。	機械式及液壓 式壓床	常用於冷鍛，模具承受應力極大，材料流動接觸部位尺寸要求嚴格，且表面光度對鍛件影響極大。
後擠製鍛造 (Backward extrusion forging)		碳鋼及合金鋼 鋁合金、 銅合金、 鎂合金、 鈦合金。	機械式及液壓 式壓床	與上項相同。 此類模具所受應力大，故各部位之圓角應切實加工，由防止殘留應力及應力集中情形發生。
端 鍛 (Upset ting)		碳鋼及合金鋼 不銹鋼、所有 可鍛金屬	錘鍛機、端鍛 機、機械式、 液壓式、螺旋 式壓床	此類模具亦分開放式與密閉式，開放式所受應力小，模具通常精密度要求亦較低。完全密閉式模具，因材料成形最終將完全充滿模穴，故模穴加工精細。
滾 軋 鍛 造 (Roll forging)		碳鋼及合金鋼 、鋁合金	滾軋鍛機	此類模具因加工精度通常較低，若僅用於體積分配等前工程，則加工精度要求低。若用於製坯鍛，即鍛製完成鍛件，則需注意模穴形狀之加工，因模穴分佈於軋子之扇形面，常採仿削加工。

鍛造製程	示意圖	鍛造材料	鍛造設備	模貝特色
交叉軋鍛 (Cross rolling)		碳鋼及合金鋼 鋁合金	交叉軋鍛機	此類模貝大到與上項相同，各楔條之尖端形狀為此類模貝重點。
環鍛 (Ring rolling)		碳鋼及合金鋼 鋁合金、鈦合金、鎳合金	環鍛機	模貝較單純，鍛件亦常需後加工處理，故模貝製造上要求不高。
齒輪滾鍛 (Gear rolling)		碳鋼及合金鋼	齒輪滾鍛機	各輓子上齒形部位製作不易為加工重點。
溶湯鍛造 (Liquid metal forging)		碳鋼及合金鋼 鋁合金、銅合金	液壓式壓床	模貝之耐熱，散熱為其重點，由面加工及分模面加工亦為模貝之特色。

鍛造製程	示意圖	鍛造材料	鍛造設備	模貝特色
高能率成形 (H.E.R.F.)	 高壓室 (a) 高壓氣體 (b) 火屋塞 (c)	碳鋼及合金鋼、不銹鋼、耐熱鋼、鋁合金、銅合金	高能率鍛造機	模貝受冲击力，故需要强度高，加工時應防止殘留應力及應力集中。
恆溫鍛造 (Isothermal forging)		鈦合金、鋁合金	液壓式壓床	模貝材料常因需耐高溫而採用超合金，加工不易，影模困難
(Noising)		碳鋼及合金鋼、鋁合金、鈦合金	機械式及液壓式壓床錘鍛機	模貝面之光滑度為其重點
開模鍛造 (Open die forging)		碳鋼及合金鋼、鋁合金、鈦合金所有可鍛金屬	液壓式壓床錘鍛機	此類模貝常形狀簡單加工精度要求低

鍛造製程	示意圖	鍛造材料	鍛造設備	模具特色
迴轉鍛造 (Orbital forging)		碳鋼及低合金鋼、不銹鋼、鋁合金、黃銅所有可鍛金屬	迴轉鍛造機	迴轉頭之製作較困難，模具之光滑度要求亦高。
金屬粉末鍛造 (Powder metal forging)		碳鋼及合金鋼、不銹鋼、鋁合金、鈦合金、鎳基合金	液壓式及機械式壓	模具常具複雜形狀，尺寸精度及表面光滑度要求均高
輻射鍛造 (Radial forging)		碳鋼及合金鋼、鈦合金、鋁、高溫超合金	輻射鍛造機	模具形狀要求通常較單純，常為鍛件製造時之中間工程，或前工程。

於25,000以上，具冲桿及模芯之硬度要求亦常於 HRC58~62 度之間。模具各種製造法及其特色如表1-1。各種不同加工法所獲精度如表1-2。加工尺寸精度要求與加工費用提高間之關係大致如圖1-2所示。

由於各種模具使用條件，生產條件以及產品要求不同，模具之成本結構亦

表1-1 模具各種製作法及其特色

模具製作法	適用區分			加工 精度	必要技術	適用上的問題	後加工 (細磨)
	連底	貫通	備考				
(A)鑄造法							
1. 鋅合金	○	○	多種少量 (試作)	普通	鑄造法	鑄造模型	無
2. 低融合金	○		"	"	"	"	無
3. Shaw-process	○			"	"	"	鑄肌原態
4. 鍍銅	○			"	"	"	無
5. 合成樹脂	○			"	"	"	無
(B)切削法							
1. 一般工作母機	○	○		普通	熟練		鉗工
2. 精密工作母機		○		精	"		無
3. 仿削彫模機方式	○	△		精	操作法	仿削模型	鉗工
4. 彫刻機	○			普通	"	"	鉗工
5. Counter-machine		○		粗	"		鉗工
6. 數值控制	○	○		精	"	紙帶的做成	鉗工
(C)特殊加工法							
1. Cold hobbing	○			精		hob (模型)	無
2. 超音波加工	○	○		精		工具 (模型)	鉗工
3. 放電加工	○	○		精		電極 (模型)	鉗工
4. 化學加工							
4.1 電解加工	○	○		粗		電極 (設計作成)	鉗工 (除膜)
4.2 電解研削		○		精		成形模型	無
4.3 電鑄	○			精		模型 型	無
4.4 腐蝕	○			普通		圖面模型	無
(D)簡易模具製作法							

8 鍛模製造技術手冊

表 1-2 加工法與精度

加工法	可能精度 (mm)	經濟精度
仿 削 雕 模	0.02~	0.1
N C 加 工	0.01~	0.02~0.03
仿 削 研 磨	0.005~	0.01
工 模 搪 孔	0.002~	0.01
放 電 加 工	0.005~	0.02~0.03
電 解 彫 模	0.05~	0.1~0.5
電 解 研 磨	0.02~	0.03~0.05
工 模 研 磨	0.002~	0.00~0.01
線切削放電	0.005~	0.01~0.02

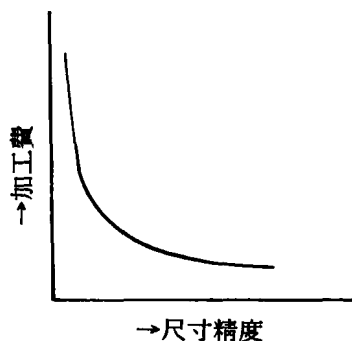


圖1-2 尺寸精度與加工費

有所不同，一般而言，模具的工資約佔製品價格的40%左右，同時模具製作也是技術密集、經驗導向的一種工藝，為了減低成本及縮短開發時程，自動化、機械化、省力化，乃是今後發展的方向。

目前模具製造部門多半已導入放電加工、仿削加工，甚至部份業者已進步至 NC 加工及 CAD/CAM 技術，而目前模具製作中以母模或稱原型模 (master model) 製造和模具拋光作業為最大之製造瓶頸，均需以手工製作，自動化或程式化較為困難，最近陸續有以 CAD/CAM 技術克服原型模製作及以特殊機械臂施行拋光之趨勢。

1.3 模具製造法概要

模具應用於不同之製程之中，如鍛造、鈹金成型、鑄造、橡膠模、玻璃模、陶瓷模和射出成形模等。隨著製造技術與產品要求的逐漸提昇、原本以切削等方式生產之方法逐步走向以模具生產。由於模具為大量生產之母體，一組模具至少生產數千至數萬件，以鍛件而言模具生產為絕對必要之方法，由模具依道次生產而得之鍛件其鍛流線，金相組織所導致之強度提昇亦為鍛件最重要之特質。因此模具之成功與否不盡影響鍛件是否能順利成形亦決定了鍛件本身精度是否合格，故選擇最適切之生產方法製造模具不但涉及模具品質亦影響了相對之製造成本。本章即針對不同之加工方法略述各類加工之基礎。

選擇一種最適合的模具加工方式端賴於模具幾何形狀、尺寸、表面狀況要求以及模具材料而定。圖1-3為鍛造模具之不同加工方法。

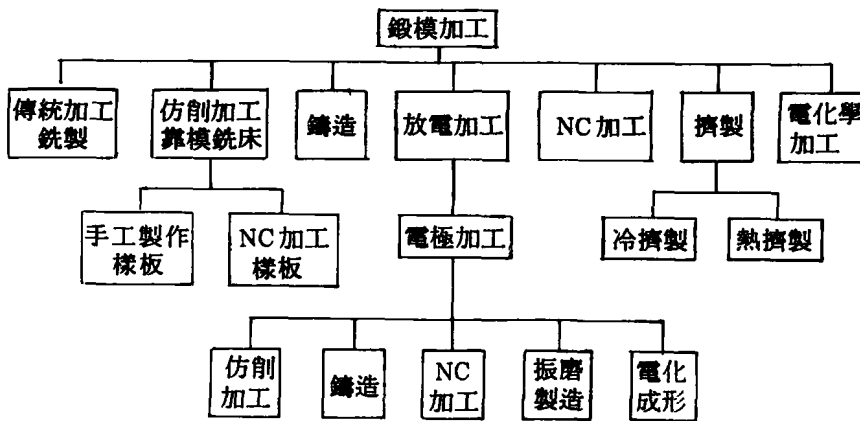


圖1-3 鍛模加工法

(1)傳統加工

所謂“傳統加工”，乃指以手工操作之銑床銑削模塊。通常以藍色顏料將模塊中模穴部位之外廓描出，再將模穴之縱截面以模板做出，依模穴各部應有深度裕留少許尺寸進行粗切，粗切後將已做成之縱截面樣板依截面位置放置於模穴中，察視其裕留深度，逐步銑削而至樣板完全吻合為止。一般模穴之尺寸為鍛件尺寸乘某一收縮比而成。銑削後之模穴再以手工研磨至模穴表面合於要求之光度為止。

通常而言，手工彫模較適於生產淺模穴之模具（此處指模穴深度較寬度小者而言）。此外手工製作因精度控制不易故較適於普通級精度要求者，而且以一次製作不再重製為原則，此乃因手工製模單次生產和多次生產價格幾乎相同，不似 NC 機械之生產重現性佳，較適於重複性之生產工作。

及至目前為止，仍有極大部份的模具使用傳統式銑削加工，尤其一些小型模具廠無 NC 加工機具之設置者，仍依賴傳統方式行模具生產，但傳統式加工之最大缺點為依賴人員之經驗與技能，在年長之技術員工逐漸退去之後，新一代的員工因社會之變遷不願再投入較辛苦的機械製造業，因而造成傳統技藝的大量流失。

(2)靠模加工

銑床若加設靠模裝置則可以快速而經濟地複製複雜地模具形狀如圖1-4所示，靠模探頭循著標準模型的表面移動，經由油壓或電子控制系統傳送信號至銑刀頭之主軸，使主軸頭之位置與探頭相同或放大或反轉等。信號傳送的控制系統有機械式、油壓人力複合式、電子人力複合式、油壓自動式、電子自動式、電子火花接觸式或光學感知式等。

靠模加工之一些重要特點如下：

(a)靠模加工需要製作標準模型，但卻較傳統的銑削加工彫模需要較少之

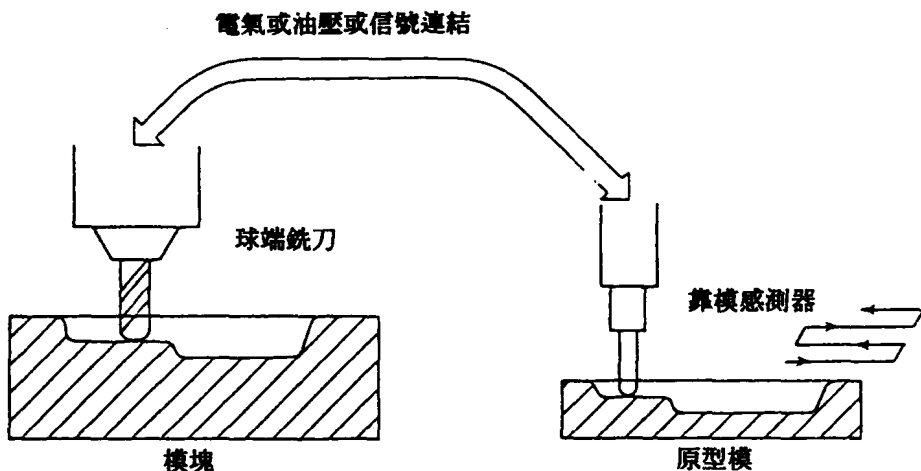


圖1-4 靠模裝置與銑刀頭關係簡圖

個人技藝。

- (b)傳統銑削彫模耗時極久，若無多軸銑切則重新再製一付模具所需的時間與彫第一付模具相差無幾。靠模加工則可以快速地重覆彫出相同之模具。
- (c)由於靠模加工乃直接以端銑刀銑切模塊，因此彫模時模塊之硬度受限於 HRc36~40 度，但最近之發展，靠模機本身可將公形自動轉換為母形則可將標準模型轉為電極或凹模模塊。
- (d)使用靠模銑削後之銑切刀痕需靠高度技術的鉗工進行研磨拋光。
- (e)除非毛邊與毛邊溝的部份也由靠模加工與模穴一起銑削出來，否則重覆加工後毛邊與毛邊溝之深度控制將略有差異。

一般做為靠模標準模型的材料常為鋁合金、硬木、熟石膏和樹脂。其中環氧樹脂為最常用的材料，因其有易澆鑄、收縮率小、耐潮溼等特性。樹脂之硬化需要加入氨基化合物之硬化劑，此種硬化劑能加速樹脂之硬化外，更能強化固化後的樹脂。目前亦有將樹脂中加入石膏或其他粉末者以增加樹脂模型之切削性，使模型於固化後可以部份修改以應實際需要。

模型之製造依據模型之大小及其幾何形狀以及採用何種模型材料而定。若採用可澆鑄材料製作模型，則模型型穴可用實體式或以斜架支撐合板殼作成。實體式型穴常使用於中小型件，合板殼式則常用於大型件。於澆鑄之前需於公型表面噴覆離型劑。

(3)放電加工 (EDM)

放電加是以具備模穴形狀之石墨或金屬電極為刀具經放電火花移除模穴金屬之一種加工製程。放電過程中以垂直於模穴加工表面之方向間歇進給。直流脈沖穿透隔於電極與模具間之絕緣液而造成火花，火花集中於模塊與電極間隙最小處使放電能量瞬間熔燒模塊與電極之金屬，逐步熔燒之後的結果即將電極之形狀反印於模塊上。圖1-15為放電加工機之原理示意圖。圖1-16為兩次元及三次元放電加工之情況。

由於 NC 化之後放電加工機之動作也由單純之垂直運動擴充而至可進行迴旋運動（如圖1-7）。傳統式之放電加工電極必須完全依產品模穴形狀製作，當經過長時間放電之後，電極消耗至無法保持原產品形狀時，則必需重新製作電極以繼續放電工作。經 NC 化後可行迴旋運動之放電加工機，其迴遊偏心量

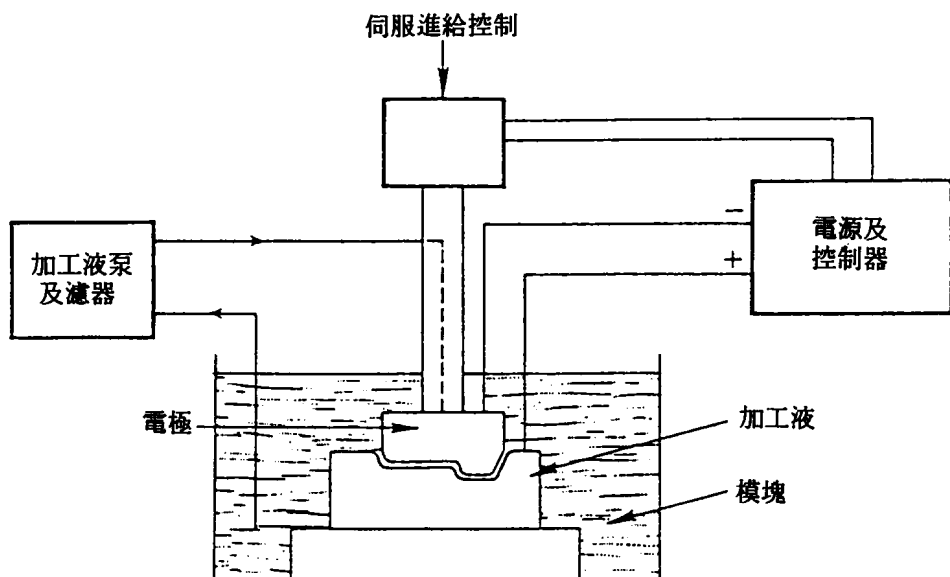


圖1-5 放電加工機原理簡圖

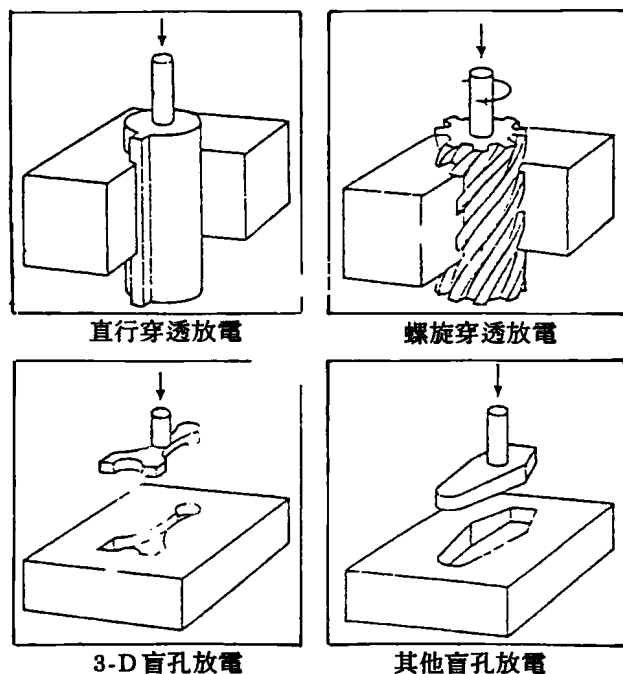


圖1-6 放電加工之四種不同情況

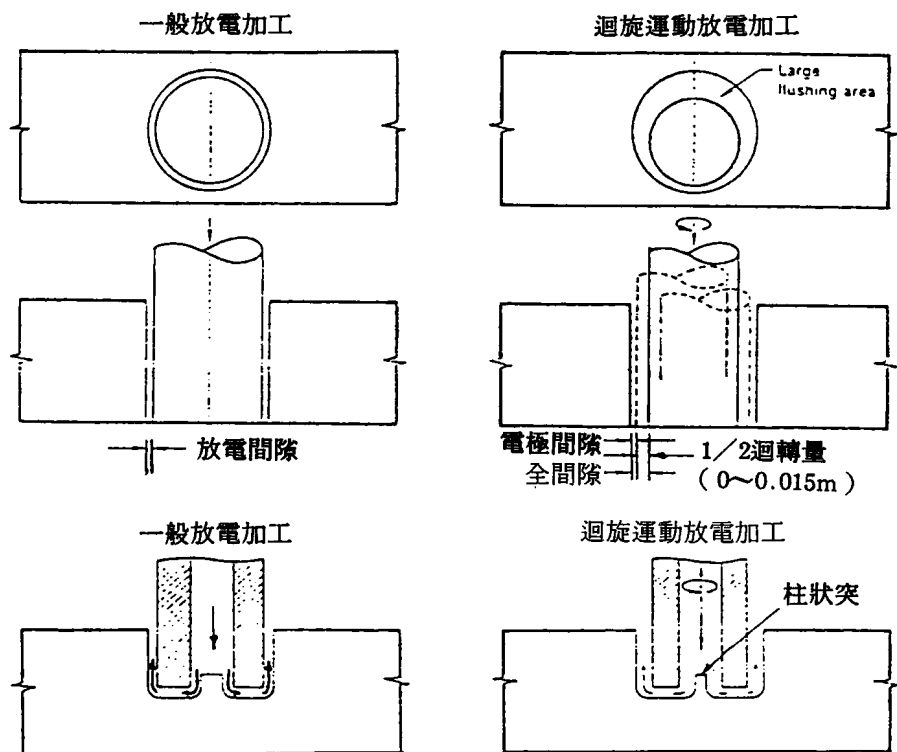


圖1-7 一般放電加工與具迴旋運動之放電加工兩者之比較

可輕易調整，故當電極消耗後，可調整迴旋偏心量以行補償，因此可有效減低電極製作之成本。

另外具迴旋運動之放電加工機於進行管狀電極放電加工時，不但能減小管心部殘留柱之量外，亦能改善噴流或吸流之效果，減低電極之消耗，增加放電效率。若管心部較細，迴旋運動甚至可完全消除心部之放電殘留柱。

(4)線割放電加工 (WEDM)

線割放電加工與放電加工原理相似，但電極為不斷滑過工件之銅線，有如鋸割一般。線割放電加工一般皆使用於切割二次元之輪廓形狀，NC化之後線割放電加工亦可用於切割三次元之輪廓形狀。線割放電加工機通常具有一個直柱懸垂臂。作為電極之銅線由懸垂臂導正，穿過工件上預設之穿線孔而至電解液槽內之下導引頭，切割時工件依輪廓線之位置逐步移動，直到輪廓完全割完