

第三章 粉末冶金製程簡介

3-1 前言

粉末冶金是一門以金屬與非金屬粉末為原料，經適當比例調配混合後，於常溫或高溫之下採用模具壓製成形，再於控制氣氛下以低於金屬粉末熔點之溫度施予燒結 (Sintering) 或熱處理，使其成為堅固形體之冶金技術。而為了提高零件的精度，可在常溫下再做精確的整形和尺寸擠壓處理。

粉末冶金製成品，可隨不同混合物原料、密度、擠壓力及燒結溫度而獲得不同的機械性能。目前已大量使用並取代一些機械強度要求不高而結構較為複雜的機械零件，尤其是對於結構較為複雜的機械零件，粉末冶金工藝可大大降低製造成本。粉末冶金製品目前已廣泛應用於汽車、摩托車、機械化辦公設備、電動工具、家居廚房等設備。

粉末冶金法之主要特徵有：

- 
1. 成形體密度可在製程中加以控制。
 2. 比鑄造品之晶粒更細緻、組織更均勻。
 3. 材料利用率可高達 95% 以上。
 4. 可直接完成高精度與提昇生產速度之要求。
 5. 可自動化量產及產品成本低。

3-2 粉末冶金製程簡介

典型的粉末冶金製造流程如圖 3.1 所示。謹就其中主要施工單元闡述如後。

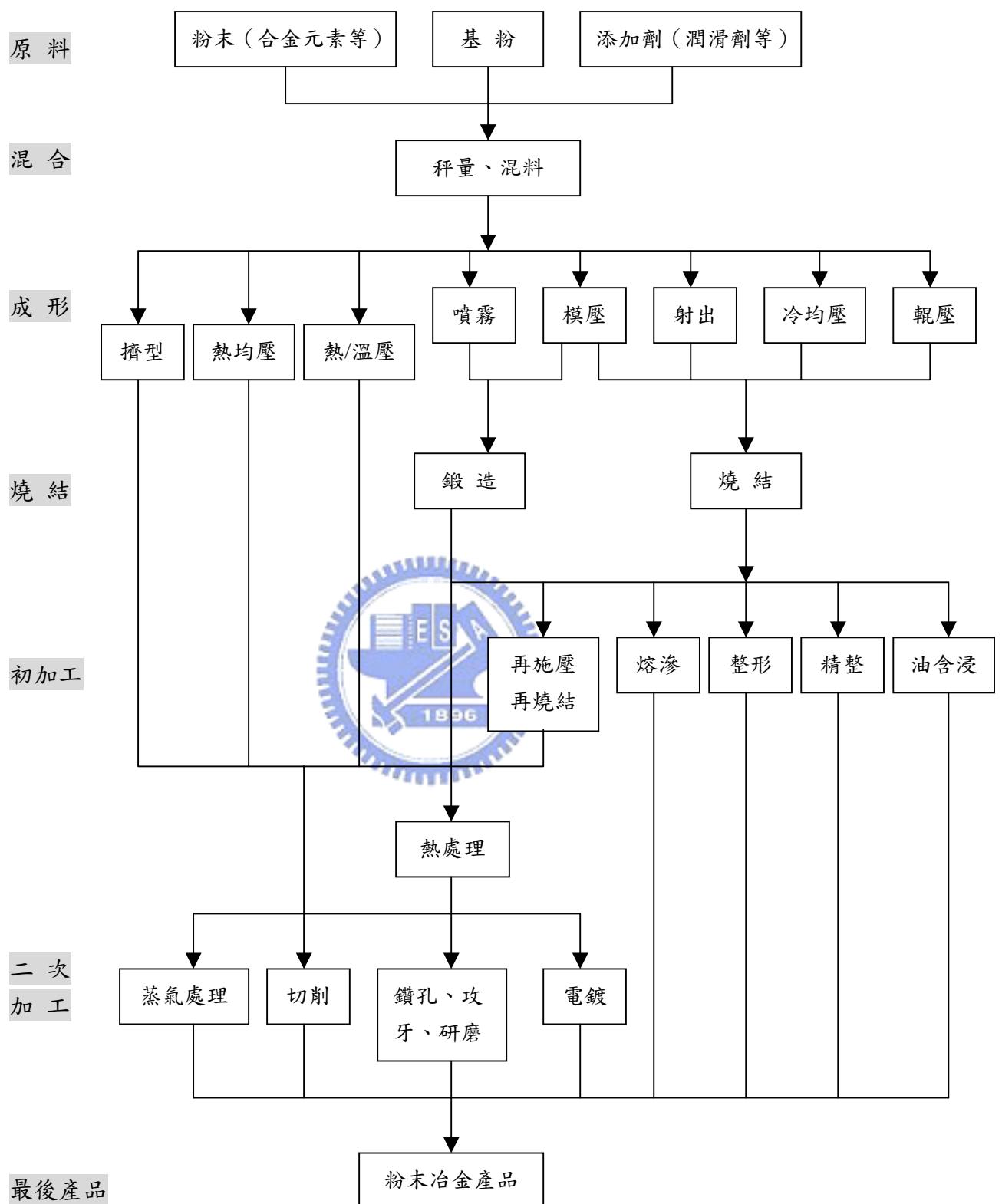


圖 3.1 粉末冶金基本製造流程

3-2-1 原料粉 (Powder)

原料粉之性質與製造過程，和粉末冶金製品有相當密切的關係。粉體性質包含了視密度 (Apparent Density)、流動率 (Flow Rate)、壓縮性 (Compressibility)、生胚強度 (Green Strength) 及粉末變化率等。其中視密度直接影響壓形模具的設計；流動率較差的粉末會導致模穴充填緩慢且不均勻；粉末的壓縮性可預估欲得到的壓結密度所需之壓結壓力；生胚強度為決定壓胚在燒結維持一定型狀及尺寸的能力。

目前業界最常用的原料以鐵系與銅系粉末為主，其中又以鐵系粉末所佔的比例最大，其依製造方式的不同可分為還原鐵粉、電解鐵粉和霧化鐵粉三大類。還原鐵粉是利用鐵礦粉還原而成，形狀不規則且內部多空孔，俗稱海綿鐵粉 (Sponge Iron Powder)；其視密度較低、成形性良好、燒結性佳且生胚強度高，但壓縮性稍差。

電解鐵粉一般是從硫酸鐵、氯化鐵等的水溶液電解析出而成。純度極高，具有優異的壓縮性及壓胚強度；同時因其硬度低，對模具損耗少，適合高密度燒結件之製作。而其缺點為製程相當昂貴。

霧化鐵粉係利用水為噴霧媒，將熔融鐵液或銅液打碎粉化後，再經還原退火處理製成。其形狀較規則，視密度高，壓縮性良好，但生胚強度較弱。

3-2-2 成形 (Forming)

粉體之成形法甚多，有鋼模冷壓、均壓加壓、粉末滾壓、粉末擠壓、粉末鍛造等。其中鋼模冷壓成形法在應用上最為普遍，亦稱為傳統粉末成形。其過程係分為填料、加壓及退模或頂出三個步驟，如圖 3.2 所示。

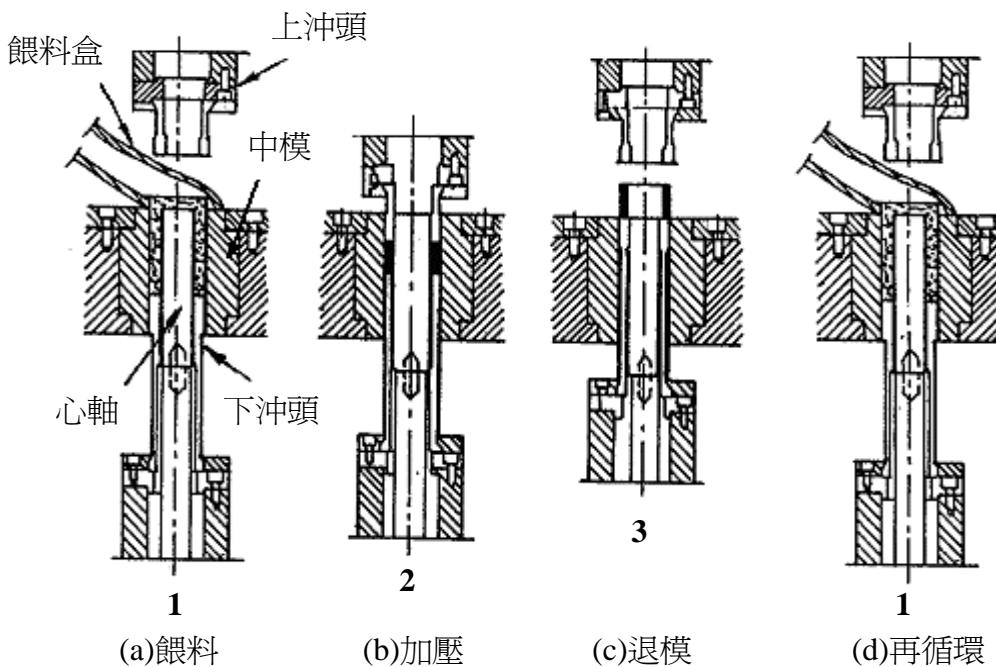


圖 3.2 成形步驟示意圖（摘錄自粉末冶金技術手冊[8]）

粉末冶金用之模具一般包含上沖、中模（外棒）、芯棒、下沖，如圖 3.3 所示。而粉末便在模具間組成的封閉空間內被加壓成形，模具設計時需考量所選用粉末之變化率、零件形狀和尺寸。

成形技術廣泛涵蓋了粉末填充行程、成形機驅動系統、成形體脫模力、成形模具等。其中脫模力之大小影響模具之磨耗、出模後壓胚之完整性以及加壓過程之順暢性，故脫模力為成形過程中一絕對不可忽視之因素。影響脫模力大小的原因有：

- (1) 施加潤滑劑之方式
- (2) 潤滑劑之種類及用量
- (3) 加壓壓胚之高度
- (4) 加壓壓胚之密度

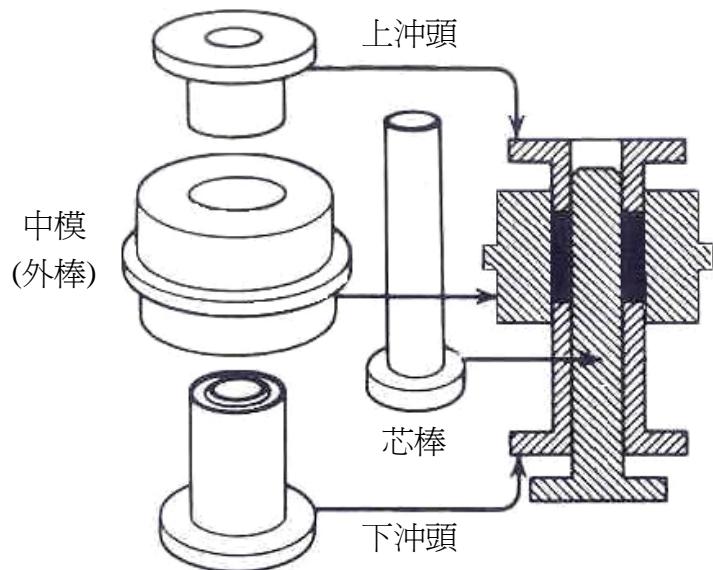


圖 3.3 簡易模具組裝示意圖（摘錄自製造程序[9]）

3-2-3 燒結 (Sintering)



燒結是將緊密堆積的金屬粉末，在該金屬熔點以下的溫度加熱使之收縮並緻密化，從而得到具有一定性能的過程，其驅動力主要來自粉體表面自由能的降低，使粒子相結合，達到預期之機械強度，燒結後的物體稱為燒結體。燒結具有下列特色：

1. 燒結溫度低於主要金屬成分的熔點。
2. 較一般的鎔鍊及鑄造方法節省能源。
3. 對部分極高熔點的材料，如鈇、鉑、陶瓷材料等，往往是唯一能製造產品的方法。

高溫燒結時，壓胚的收縮是燒結過程的主要現象，它反映了顆粒間接觸的增加和內部孔隙的減少，實際上由於燒結過程中發生吸附氣體的解析、氧化物的還原、擴散、流動、再結晶等一系列物理和化學變化過程。因此隨著燒結的過程，將帶來燒結體各種性能的變化，如

化學上純度的變化，物理上密度、電阻、表面能的變化，或機械性能上抗拉強度、延伸率、硬度的變化等等。燒結體的物理化學性能變化受粉末性能、壓胚密度、以及燒結溫度、時間、氣氛等因素影響，因此，深入研究前述各種因素對燒結過程的影響，掌握其規律性，對於改善產品品質，合理地規劃燒結製程將具有重大意義。

3-2-4 銅熔滲 (Infiltration)

銅之熔點較鐵為低，利用控制燒結溫度之方式，可將銅熔滲於鐵基之零件中，以提高其機械強度及密度，而且具有封孔之效果，以便電鍍處理。本製程將詳述於第四章。

3-2-5 再加壓 (Repressing)、精整 (Sizing) 和整形 (Coining)

壓胚體經燒結後，均有收縮或膨脹的現象，因此，對於表面粗度、精度、密度及強度要求較嚴格之軸承或精密機械零件，均需再置入壓模中加以整形或精整。

再加壓、精整和整形，都牽涉燒結件的塑性變形。此三種製程方式間的差異可說明如下：

- 再加壓之目的為在最後的燒結階段前，增加預燒結體密度（約 5% 到 20%）。其塑性變形量非常大，且再加壓操作所需之沖壓設備的噸數，與成形加壓過程中使用之沖壓成形設備的噸數相同。
- 精整可得高尺寸精度，補正燒結過程中，所產生的翹曲或其它尺寸缺陷。此外其塑性變形小，精整時精整設備所需施加之力也不大。
- 整形不僅尺寸精度可如同精整般改善，且藉著大噸數的沖壓設備之使用，工件密度也能像再加壓一般獲得增加。由於整形過程中產生相當的應力硬化，工件的拉伸強度和硬度增加而延伸率則減少。

3-2-6 热處理 (Heat Treatment)

粉末冶金零件原則上可和一般傳統鐵系零件一樣做材質硬化、表面硬化及析出硬化等熱處理。如淬火、回火、滲碳處理及高週波處理等，以增加表面硬度及強度，提高其機械性能。一般粉末冶金零件經熱處理後，硬度均以維克式 (Vickers) 或洛式 (Rockwell) 之表面硬度測定。

3-2-7 二次加工

一般而言，結構零件經燒結後已有最後形狀精度和尺寸精度，並不需要更進一步加工，但也有一些例外，譬如橫孔 (Cross Bores)、螺紋、細溝或槽，這些和壓結方向垂直的外形，並不能夠以粉末冶金技術成形，必須透過二次加工來完成。例如切削、鑽孔或攻牙，以及研磨去除毛邊和表面電鍍處理等。



3-3 影響成品尺寸的因素

鐵系燒結件尺寸精度一部份決定於尺寸的方向性，一部份決定於後面的加工處理，若製程的最後步驟為精整或整形，則尺寸誤差將可減小。如果製程的最後步驟為燒結或熱處理，則尺寸精度就會降低。控制或預測尺寸變化，在粉末冶金製程上是非常重要的。製程參數對尺寸精度及物理性質之關係如圖 3.4 所示。

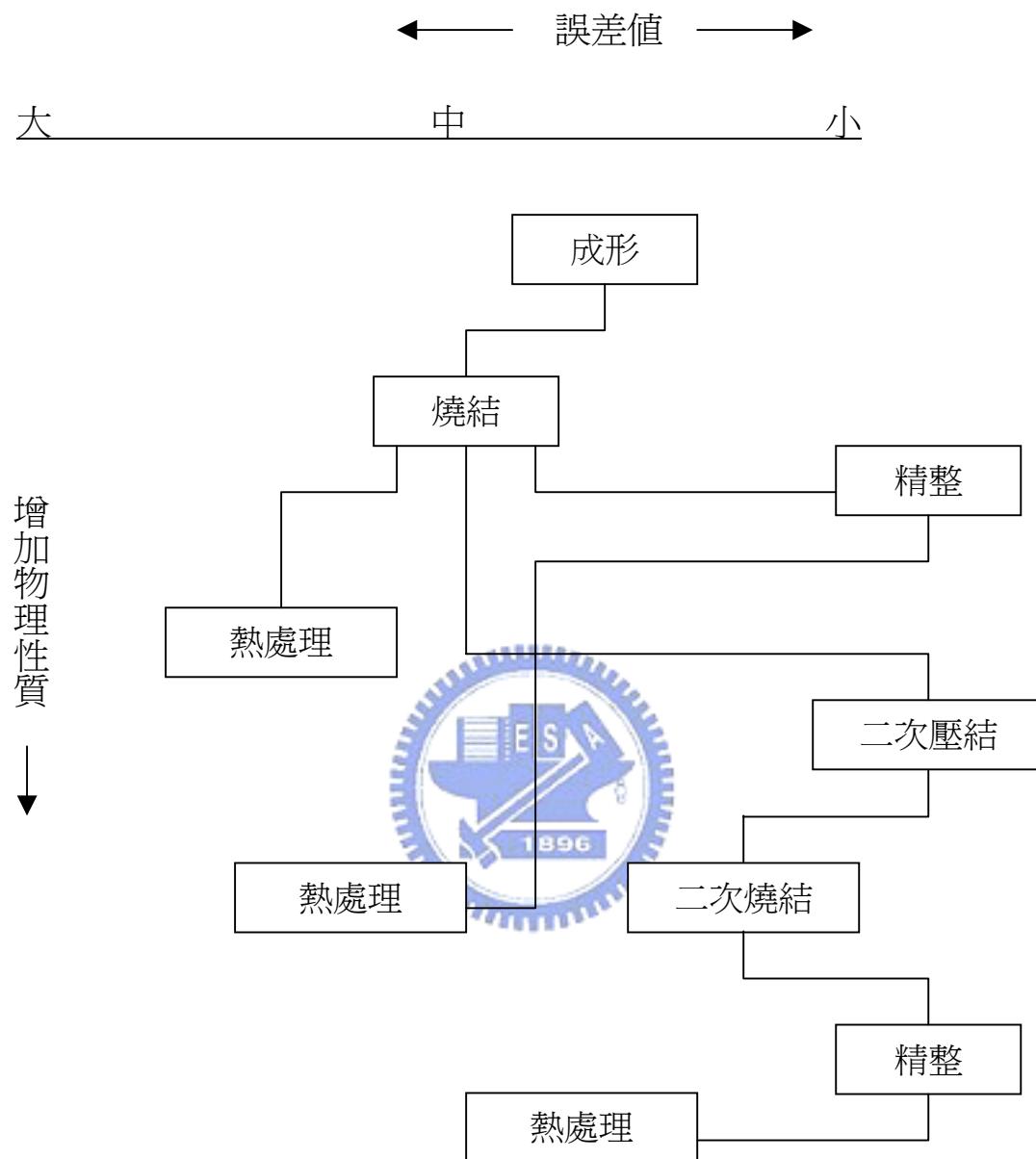


圖 3.4 製程參數與尺寸精度關係圖