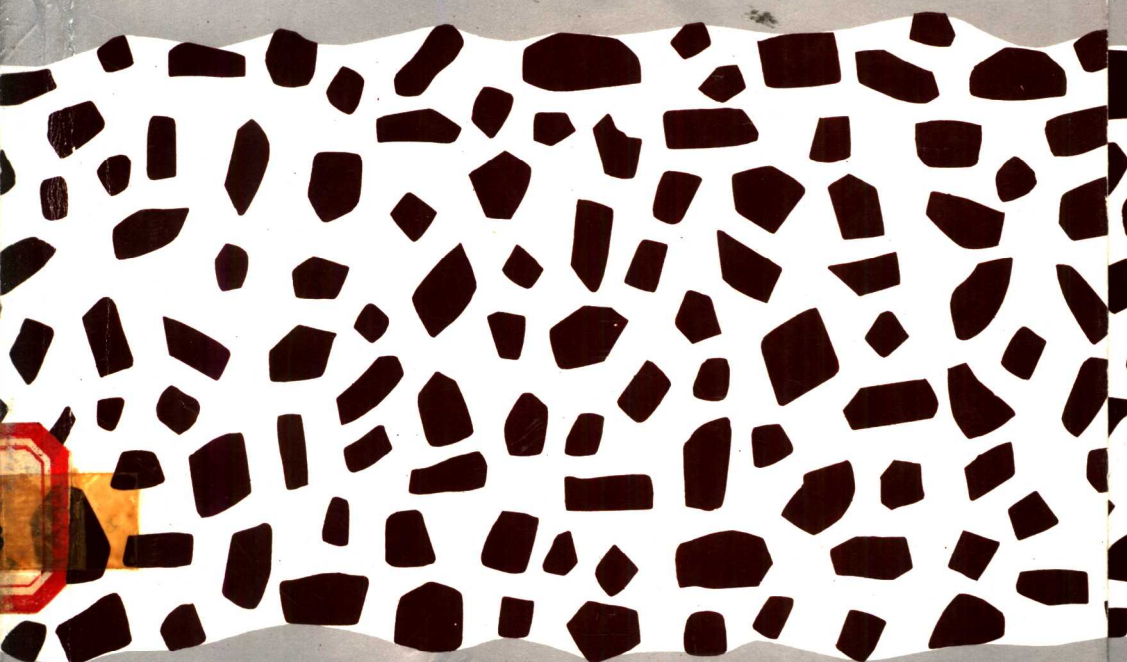


科技用書

複合加工技術

金屬加工之前瞻性工藝學
創新產品之必需性製造法
材料機械性必讀的新科技

複合加工研究会 編



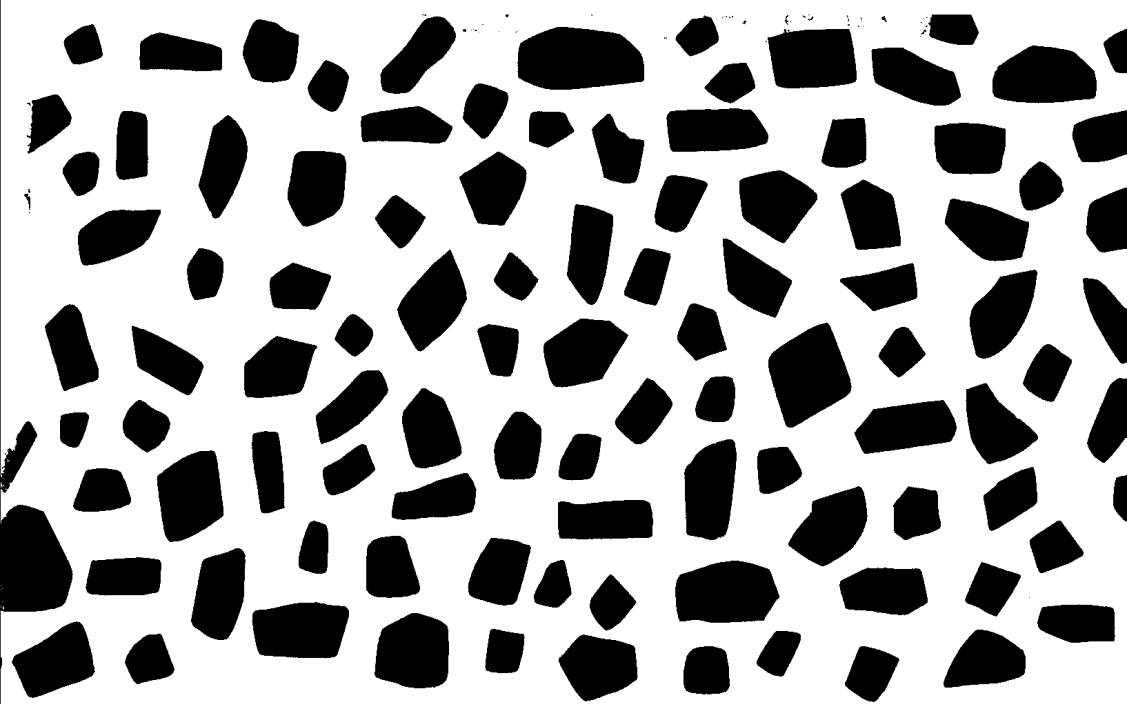
賴耿陽譯著

復漢出版社印行

複合加工技術

金屬加工之前瞻性工藝學
創新產品之必需性製造法
材料機械性必讀的新科技

複合加工研究会 編



賴耿陽譯著

復漢出版社印行

659413

中華民國七十二年七月一日出版

複合加工技術

原著者：複合加工研究会編

譯著者：賴耿陽

出版者：復漢出版社

地址：台南市德光街六五一號

郵政劃撥三一五九一號

發行人：沈岳林

印刷者：國發印刷廠

版權所有
翻印必究

B 平裝 一六〇元
精裝 二〇〇元

本社業經行政院新聞局核准登記局版台業字第〇四〇二號

序

科技的進步常常是每一分野互為激發的，當前機械工學的進步，亦如此，為合理利用資源、能源，積極研究開發各種材料。但是好的新材料乃須加工成目的形狀、尺寸的製品，才能發揮功能。不幸的是有獨特特性的新材料卻往往不易加工，無法以傳統的鑄造、鍛造、壓造加工、粉末冶金、熔接等加工。

而且對材料特性的要求愈來愈苛刻，金屬材料、非金屬材料單獨常不能滿足需要，有必要有機發揮兩者的良好特性。

在技術革新上，安全性也常為重大要求，比傳統技術更重視材料的可靠性、確實的安全係數。

基於上述的理由，新材料不僅有新發展，且進而要求有機性發揮材料性能。所以開發複合加工技術。因目的多技術種類也多尚在開發過程，缺乏複合加工技術的解說書。但在競爭激烈的國際市場上，又不能不認識這些技術的現況及動向，尤其在工業升級的呼籲聲浪中，本書的出版有及時雨的功能。

本書由日本複合加工研究會編輯，各大學、工廠研究所專家、博士執筆，日文版於1982年10月30日出版。中文版的譯成不算太晚，願您開卷有益。

譯者 賴耿陽
成大工程科學系人

HW626/03

複合加工技術/目次

第 1 章 期待的複合加工技術..... 1

- 1.1 何謂複合加工技術..... 1
- 1.2 複合加工技術的目標..... 3
- 1.3 複合加工技術的現況..... 4

第 2 章 粉末鍛造法—複合粉末冶金與鍛造——..... 6

- 2.1 何謂粉末鍛造..... 6
- 2.2 粉末鍛造的方式與工程..... 7
- 2.3 原料粉..... 9
- 2.4 預成形體的成形與燒結.....13
 - 2.4.1 成形 13
 - 2.4.2 燒結 15
- 2.5 預成形體的鍛造.....17
- 2.6 粉末鍛造材的機械性性質.....20
 - 2.6.1 氣孔的影響 20
 - 2.6.2 介在物的影響 21
- 2.7 粉末鍛造的應用零件.....24
- 2.8 特殊的粉末鍛造法.....26
 - 2.8.1 Ospray 法 26
 - 2.8.2 DPC 法..... 26
- 2.9 結語.....27

第 3 章 熔液鍛造法—複合鑄造與鍛造——..... 29

- 3.1 何謂熔液鍛造法.....29
- 3.2 鑄物的缺陷——巢與氣泡.....29
- 3.3 加壓鑄造法.....31
- 3.4 熔液鍛造法.....31

3.4.1 柱塞加壓凝固法	32	3.4.3 間接擠入熔液鍛造	
3.4.2 直接擠入熔液鍛造法	32	法	33
3.5 熔液鍛造裝置	33		
3.6 熔液鍛造法的作業工程	33		
3.7 應考慮的技術要因	35		
3.7.1 加壓力	35	3.7.4 加壓保持時間	36
3.7.2 熔解、鑄入及金屬模溫度	36	3.7.5 熔解條件（特別是含有氣體）	36
3.7.3 加壓開始時期	36		
3.8 熔液鍛造法的特色	37		
3.8.1 除去收縮巢、巨視及微細巢	37	3.8.4 凝固組織的微細化	39
3.8.2 抑制殘留氣體的不良影響	37	3.8.5 改善機械性性質	40
3.8.3 均質化與高密度		3.8.6 偏析	41
3.9 適用分野	42		
3.10 開發例	43		
3.10.1 汽車用鋁輪圈	43	3.10.4 簡管凸緣	45
3.10.2 熱交換器零件	44	3.10.5 其他	46
3.10.3 機車用零件	45		
3.11 應解決的問題	47		
3.12 結語	48		

第4章 熔造法—複合熔接與鑄造— 49

4.1 熔造技術的概要	49
4.1.1 何謂熔造技術	49
4.1.2 熔造技術的歷史	50
4.1.3 熔造技術的現狀與今後的發展	52
4.2 熔造技術的原理與特色	53
4.3 中空製品的熔造	59
4.4 熔化接合熔造法	63

4.4.1 反覆熔化接合熔 造方法	63	4.4.3 連續熔化接合熔 造方法 (MWV)	66
4.4.2 植入式熔化接合			
4.5 移注熔造技術	68	4.5.2 全面移注型例	69
4.5.1 彎管的熔造例 ..	68		
4.6 合併熔造	70		
4.7 結語	71		

第 5 章 HIP (熱間靜水壓加壓法) —複合加壓、 壓縮與加熱、擴散—..... 12

5.1 HIP 技術的概要	72	5.1.4 HIP 目前的普及度	75
5.1.1 何謂 HIP	72	5.1.5 HIP 製品的市場預 測	76
5.1.2 HIP 技術的誕生	73		
5.1.3 HIP 技術的成長	74		
5.2 HIP 技術的應用	77	5.2.4 再生疲勞、潛變損 傷品	85
5.2.1 粉末的加壓燒結	77	5.2.5 擴散接合	86
5.2.2 除去燒結缺陷 ..	83		
5.2.3 除去鑄造缺陷 ..	84		
5.3 HIP 裝置的動向	86	5.3.3 HIP 裝置技術的未 來方向	91
5.3.1 HIP 裝置的概要	86		
5.3.2 HIP 的經濟性 ..	90		
5.4 結語	93		

第 6 章 旋轉加工法—交差輥軋、旋轉鍛造、滾製 的應用—..... 95

6.1 何謂旋轉加工法	95	6.2.2 交差輥軋的應用例	99
6.2 交差輥軋	96		
6.2.1 交差輥軋的加工 原理與加工品的		6.3.2 冷軋形加工	104
6.3 旋轉鍛造	102		
6.3.1 旋轉鍛造	102		

6.4 滾製.....	106
第7章 熔液直接加工法—將從熔液製得素形材的工程複合化—.....	110
7.1 何謂熔液直接加工.....	110
7.2 連續鑄造法.....	110
7.2.1 何謂連續鑄造	110
7.2.2 連續鑄造裝置的歷史與今後的動向	112
7.2.3 連續鑄造的設備	114
7.2.4 連續鑄造品的品質	117
7.2.5 鋁及鋁合金的連續鑄造	119
7.3 利用熔液直接軋箔法製造非晶質箔.....	122
7.3.1 熔液直接軋箔	122
7.3.2 熔液直接軋箔的裝置	123
7.3.3 熔液直接軋箔材的特性	125
7.4 金屬熔融紡絲法.....	127
7.4.1 金屬熔融紡絲法	127
7.4.2 金屬熔融紡絲的裝置	128
7.4.3 金屬熔融紡絲材的特性.....	129
7.5 無模抽線加工法.....	130
7.5.1 無模抽線	130
7.5.2 無模抽線的裝置	131
7.5.3 無模抽線材的特性	132
7.6 結語.....	133
第8章 今後的複合加工技術.....	134
8.1 利用固液共存特性的加工技術.....	134
8.1.1 流變鑄造法 (rheocasting)	134
8.1.2 搖變鑄造法 (thixocasting)	135
8.1.3 複合鑄造法 (compocasting)	135
8.1.4 BSR法	137
8.1.5 連續扁塊凹處前端的鑄片壓下法	137
8.1.6 半熔融加工法	137
8.1.7 半熔融擠出加工法	138
8.1.8 粒子強化複合材料的半熔融加工法	139
8.1.9 粒子強化積層材料	139

的半熔融直接接	8.1.10 固液相加壓燒結
合法140	法141
8.2 同時利用液相與固相之特性的加工技術.....	142
8.2.1 鑄鍛造法	142
8.2.2 鑄造凸出法	143
8.2.3 包覆鑄造法	144
8.2.4 積層泥狀物鑄造法	145
8.2.5 熔射成形法.....	145
8.3 以複合化技術製造複合材料.....	146
8.3.1 複合材料的製造	8.3.2 結語.....150
例	146

第1章 期待的複合加工技術

1.1 何謂複合加工技術

最近的新加工技術常提到複合加工技術，但一般人仍茫然無所知，它不只是開發中的新技術，性格也異於素來的固有加工技術（鑄造、鍛造、壓機加工、粉末冶金、熔接等），目前尚未定義何謂複合加工技術。

現在的加工技術大別有二

(1)機械加工

(2)金屬加工

機械加工為造成所定形狀、尺寸製品的切削加工、研磨加工、放電加工及雷射加工等的總稱。金屬加工是使材料起金屬組織變化，造成所定形狀、尺寸的技術總稱。鑄造、鍛造、壓機加工、粉末冶金及熔接等屬此。因而，機械加工、金屬加工的目的都在造成所定形狀、尺寸，不同的是材料有無金屬組織變化。

筆者把複合加工技術列入金屬加工技術的範疇，「複合」之名表示不是上述的固有加工技術，究竟是複合什麼？

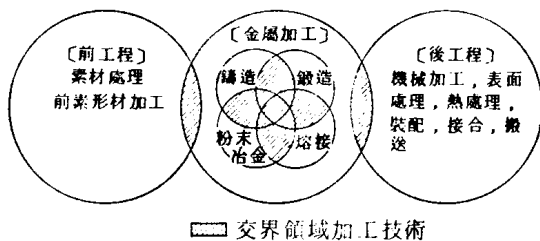


圖 1.1 交界領域加工技術

圖 1.1 為現在金屬加工技術的工程，前工程與金屬加工、或金屬加工與後工程複合者也可視為複合加工技術。但本書把金屬加工中複合固

有加工技術者稱為複合加工技術。圖中斜線部份——亦即前工程與金屬加工、金屬加工分野中各固有加工技術相互間、金屬加工與後工程的交界領域之加工技術總稱為「素形材交界領域加工技術」，其範圍稍異於本書定義的複合加工技術。

其次從加工素材的狀態考慮複合加工技術，圖1.2以加工素材的狀態分類素來的金屬加工技術，圖示其狀態與固有加工技術的關係，圓框中，固有加工技術是利用物質一個狀態特性的技術，例如，鑄造是利用物質的液態特色——亦即易流的性質與降溫時凝固的性質，使熔化的金屬流入有所定空洞的鑄模，凝固成所定形狀、尺寸。對固態施加外力，使之變形，變形達某程度以上時，會保持變形後的形狀，鍛造即利用此性質。

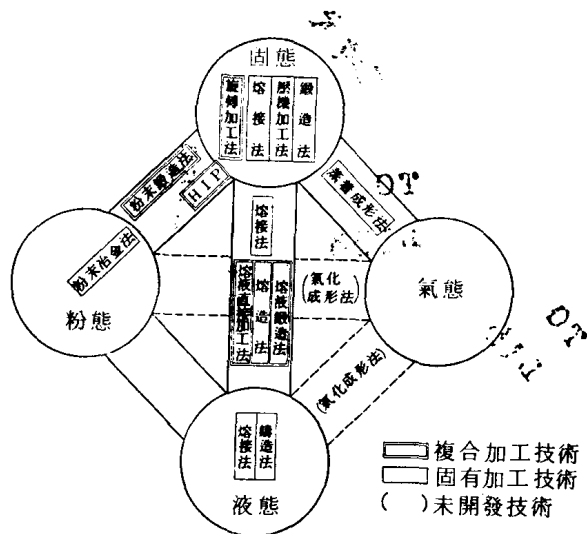


圖1.2 考慮4態的金屬加工技術

複合加工技術是圖1.2各態連結線上的技術，有機性利用2個以上「態」的特色。換言之，在空間、時間上集約2個以上的固有加工技術，彌補各種固有加工技術的短處，合理組合長處，造成所定素形材。例如複合加工技術之一的熔液鍛造法複合鑄造與鍛造，將液態金屬流入鑄模，同時從外部施加鍛壓力，造成所定形狀、尺寸，使材質緻密而無氣孔巢。

1.2 複合加工技術的目標

複合加工技術最近才問世，人們熱烈研究。這是由於技術革新，盛行開發新機器或裝置，這些機器使用的材料或素形材要求嚴格的特性，傳統的固有加工技術無法達成目的，所以重視複合加工技術，極端言之，這是供給支持技術革新之材料或素形材的加工技術。

例如燃燒產業廢棄物，以其熱發電時，產業廢棄物中含有氯化化合物、硫化化合物或熔融塩等腐蝕金屬者。實際上又不易分離它們，因而，以金屬製造產業廢棄物發電用機器或裝置時，接觸這些腐蝕性氣體或塩類之處很快會蝕剝，只好用氧化鋁等陶製零件，但它無韌性，容易機械性損傷，所以考慮以活用金屬與陶瓷特色的新素形材製造零件。但是，現在的金屬加工技術未能造成充分滿足此目的者，最好開發在加工工程使金屬與陶瓷一體化，作成有機活用各特色的素形材。

此為複合加工技術的目標之一，例如鑄造時，對其心型熔射數mm氧化鋁，對此鑄入含鋁的鋼，以鑄入的鑄鋼之熱，充分凝結氧化鋁，同時，充分密着於鋼。如此作成的鑄鋼內面以氧化鋁包覆，接觸腐蝕性氣體或塩類也不被侵蝕。但是，氧化鋁與鑄鋼加熱時的膨脹程度不同，在反覆使用中，氧化鋁包覆層會發生龜裂。此時，鋼中的鋁進行選擇氧化（只合金中的特定元素氧化），成為氧化鋁（alumina），自己修復氧化鋁包覆層，不會從龜裂部腐蝕。

在素來的熔射、鑄造等固有加工技術加上合金的選擇氧化現象成複合加工技術，滿足新需要。

複合加工技術的任務之一是不拘泥素來的固有加工技術，有機活用它們，創製滿足技術革新的新材料或素形材，圖1.3表示開發新式多機能素形材時，複合加工技術的地位。

複合加工技術的第2目標是對技術革新所開發的新材料確立加工技術，亦即，滿足苛刻要求的材料大都為難加工性，為將之用為零件，須加工成所定形狀、尺寸，複合加工技術即對應於難加工性材料的新加工技術。

第3目標在改善素形材的可靠性，今後開發的機器及裝置因其特性而要求比以往更高度的安全性，為此須改善所用素形材的可靠性。

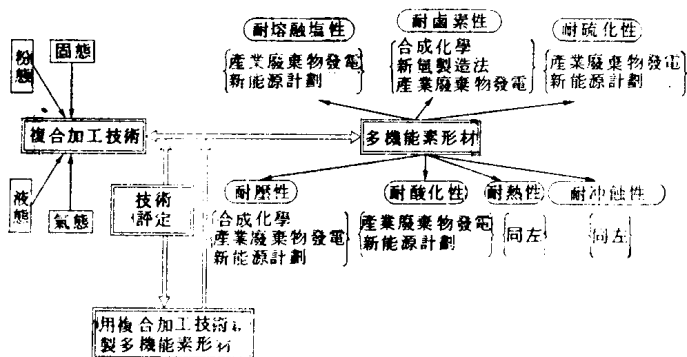


圖 1.3 複合加工技術與多機能素形材的關係

在此須注意的是複合加工技術為新技術，可發生意外的反衝擊，在開發過程，須常進行技術評估。

1.3 複合加工技術的現況

(1) 粉末鍛造法

這是複合粉末冶金與鍛造技術。粉末冶金法是一舉作成尺寸精度高的製品，但是，粉末冶金製品的密度比（與熔製品的密度之比）小，製品中有小氣孔，抗拉強度之類靜性強度雖與熔製品差不多，衝擊值、疲勞強度之類動性強度却較差。所以，粉末冶金技術加鍛造技術，消除此缺點。此方法廣用於製造要求高密度比的製品——例如汽車用連桿（connecting rod）等。

(2) 熔液鍛造法

複合鑄造與鍛造，製造緻密而無鑄巢的素形材。這是在凝固的過程妥善利用壓力的技術，亦即在靜水壓下凝固的技術。此技術廣用於鋁合金，最近開始用於銅合金，並試製複合材料。

(3) 熔造法

這是複合熔接與鑄造的技術。熔接是以微視鑄造成形接頭的方法。熔造法則是更巨視地進行微視性鑄造而成形的技術。亦即用電熔渣（electro slag）熔接的熔解方法——用在熔渣中熔解的技術，在同一金屬模內，進行熔解、注液、冷却成形的加工技術。此方法可得無氣孔（blow hole）或收縮巢，組織微細化、品質良好者。用於製造管、

曲軸素材、歧管構造。

(4) HIP

Hot Isostatic Pressing的縮寫，稍異於前述三種複合加工技術，同時對被處理體施加高溫與高壓，加壓、壓縮、加熱、擴散，使素形材緻密化。目前主要用於超硬合金製造，將來可望用於特殊的粉末燒結品，super-alloy 等的鑄造品。

(5) 旋轉加工法

利用固態特性的加工法，使工具或棒、管、板等素材旋轉，造成所定形狀的素形材，亦即，以模或模的滾子等工具壓潰素材表面，在素材表面形成凹凸的塑性加工，複合壓縮加工與旋轉的連續加工。加工原理異於冷間鍛造、熱間鍛造等壓縮加工。廣用於製造螺桿、齒輪、階梯軸、栓槽軸等。

(6) 熔液直接加工法

從熔融金屬直接製造鋼片、箔軋軋材、細線等一次素形材的加工法，近似 direct process。將素來的造塊、分塊軋軋、熱間、冷間軋軋、型砧、抽線等工程整理成1個新工程，不只省能源、省工程，也產生空前的新材料特性。此加工法廣用於淨靜鋼連續鑄造鋼板，也開始製造非晶質箔、金屬熔融紡絲等。

另有下述研究中的複合加工技術

(1) 利用固態與液態共存狀態之特性的複合加工技術

在固液共存的狀態，不只比固態容易軋軋、擠壓等，也可防止以往的缺陷，此種狀態者可鑄造，也可造成有特殊機態的素形材。此種技術有BSR法、半熔融加工法、rheocasting法、thixo casting法、compocasting法等。

(2) 同時利用固態與液態之特性的複合加工技術

這是在時間上或空間上同時複合素來的鑄造與鍛造、鑄造與熔射等技術。目的在從加工技術創製順應新需要的素形材，增高素形材的可靠性。此種技術有鑄鍛造法、cast bulging法、包覆鑄造法、積層slip鑄造法、熔射成形法等。

第 2 章 粉末鍛造法

— 複合粉末冶金與鍛造 —

2.1 何謂粉末鍛造

1964 年 GM 公司發表鍛造鐵粉 preform，試作汽車引擎用連桿。當時，GM 公司內剛新設連桿的鑄造生產線，未將粉末製零件付諸生產。但已在世界粉末冶金工業興起震撼，其影響也波及鍛造工業。

此時期的粉末冶金技術為量產性良好、成本低的機械零件製造技術，用於汽車等工業，急速成長。但製成的零件在鐵系為有氣孔 20～13% 的多孔質材，或使銅系合金熔滲氣孔而成無氣孔化材料。不適於要求衝擊特性或疲勞特性的材料。這些特性會因數% 的殘留氣孔而顯著降低，若欲製造無氣孔的低合金鋼，在技術上、經濟上都困難，要求新式高密度化技術，GM 將此種粉末冶金技術連結鍛造技術，汽車工業界對此高密度化技術有很大的期望。

鍛造粉末的技術並不新穎，中非北喀麥隆地方的 Mandara 山中有延續數百年的鐵器製作記錄，當地人民從沖積礦床或河川收集磁鐵礦，以木炭還原成鐵粉，將粉末封入粘土製坩堝中，在木炭炎中加熱、燒結，打破坩堝，取出燒結體，直接以木炭炎加熱，以石槌鍛造。反覆加熱與鍛造，作成農機具或裝飾件。另有西元 300 年頃作成的 Delhi 鐵柱，鎚打 6 噸的燒結鐵而作成。

近代粉末冶金技術導入鍛造的一例為鎢及鉬線的製造工程，對壓粉體直接通電而燒結的燒結材用 swaging machine 加工。二次大戰中，嚐試鍛造鐵系燒結材，雪佛蘭（Chevrolet）的技師 Herman Tormyn 首用於鋼材切粉的燒結體。1942 年 GM 的 R.P. Koehring 報告鐵粉預成形體的鍛造。

此高密度燒結機械零件製造法稱為粉末鍛造 (Powder Forging) 法，又稱燒結鍛造 (Sinter Forging , P / M Forging)、熱間成形 (Hot Forming) 等，以此方法將粉末成形、燒結成預成形體 (preform)，在熱間以1行程將之鍛造成製品，比起從來的鍛造法，有下示的特色。

- (1) 溢料損失 (flash loss)、切削留量少，材料利用率高。
- (2) 製品的表面狀態或尺寸精度良好。
- (3) 工場噪音低。

(1) 關連預成形體的設計，預成形體是將粉末注入金屬模，加壓成形，形狀及尺寸可接近製品。粉末可高精度秤取一定質量，預成形體的質量不均度少，在溢料鍛造也可使溢料止於最小限度。(2) 是預成形壓粉體在保護氣氛中燒結，鍛造終了前，接觸大氣的時間只數秒鐘，可避免生成厚氧化皮所致的表面粗劣或尺寸精度差。1行程鍛造對(3)有很大的效果。

2.2 粉末鍛造的方式與工程

粉末鍛造大別有圖2.1所示的三種方式，例如製造圖示有突轂的製品時，(a)式預成形體垂直加壓軸的方向尺寸約略等於衝模及下衝頭突轂部的直徑。鍛造使預成形體在加壓方向收縮而高密度化，但無法增大材料的塑性流動，密度比達不到1，常殘留數%氣孔。此方式稱為 Hot Coinning 或 Hot Repressing 法。粉末冶金是在常溫壓印燒結體，增高密度和硬度，改善機械性性質。Hot Coinning即擴張此技術，改

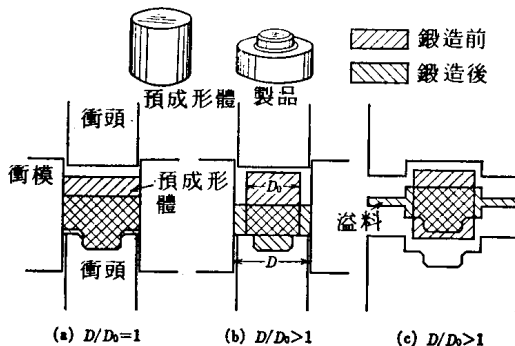


圖 2.1 粉末鍛造方法

善諸性質。(b)方式為素來的精密鍛造方式，預成形體為無突轂的圓柱狀，直徑 D_0 。比衝模徑 D 十分小。鍛造中，預成形體在加壓方向收縮而在直徑方向擴大，往突轂部擠壓。有時將突轂部設於上衝頭，進行上方擠壓。藉鍛粗與擠壓，使材料大幅塑性流動，氣孔也承受剪斷應力而消滅。(c)的預成形體同(b)，鍛造時如圖發生溢料，材料的塑性流動比(b)大，可得無氣孔材。

密閉型鍛造的(a)(b)方式在自動化時，須管理預成形體的質量。質量小於規定量的話，製品的尺寸或密度不足；過大的話，會導致尺寸超過或使衝模過荷重、甚至使衝模破損。在以粉末為原料的預成形體，質量不均度較小，通常抑制為 $\pm 0.5\%$ 。(c)的方式以溢料吸收質量不均度，不需嚴密的質量管理，但加上溢料除去工程，製品尺寸精度也比前二者差，失去用粉末的特色。

圖 2.2 是以此高密度化技術製造製品的工程例，以製造鐵系零件的場合為例說明。原料粉有鐵粉混合數種合金成分粉者或合金鋼粉混合石墨粉者。各粉末篩分，使粒度分佈固定，主成分的鐵粉或合金鋼粉常用噴霧法作成，有視密度因粒度而異者。亦即，將粉末注入壓模而壓縮成形時，壓粉體質量關連粒度分佈變化，鍛造工程有上述問題。

成形時的潤滑劑用金屬硬脂酸塩類，有將其 $0.2 \sim 1.0\%$ 混入金屬粉而使用的場合與溶於有機溶媒而塗佈於衝模壁的場合。工業上常用前者。潤滑劑有阻害燒結的傾向，在燒結前須藉加熱充分除去。預成形體的成形除了一般的金屬模成形外，也進行常溫靜水壓壓縮成形，此時不需潤滑劑。

預成形壓粉體在保護氣氛中燒結後鍛造，工程有將燒結體一度冷卻為常溫，塗佈石墨而再加熱的場合〔I〕與從燒結爐取出的高溫燒結體

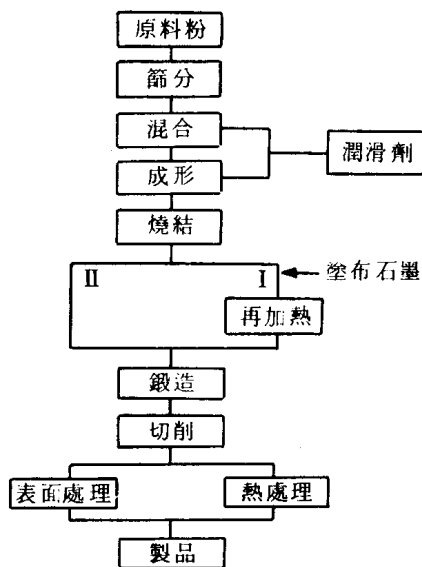


圖 2.2 粉末鍛造工程圖