

機械工作法

龔肇鑄譯

上冊

BEGEMAN
AMSTEAD

MANUFACTURING PROCESSES

Sixth Edition

東華書局印行

機械工作法

上 册

著 者

MYRON L. BEGEMAN B. H. AMSTEAD

譯 者

龔 肇 鑄

東華書局印行



版權所有・翻印必究

中華民國六十二年五月初版

中華民國六十六年十月六版

**大專
用書 機械工作法**

上冊 定價 新臺幣六十元整

(外埠酌加運費滙費)

編譯者	龔 肇 鑄
發行人	卓 鑫 森
出版者	臺灣東華書局股份有限公司 (臺北市博愛路一〇五號)
印刷者	中環印刷廠股份有限公司 (臺中市公園路三十七號) 合興印刷廠 (臺北市和平西路三段二〇七號)

行政院新聞局登記證 局發登業字第零柒貳伍號

(010/5)

序 言

作者以審慎之態度完成此書，專供大專有關科系及高級工業職業學校學生之課本，或正在研習中工程師參考之用。內容係根據工程上的基本原理，說明各種工業材料及加工方法，以期各生能對理論及實際貫通瞭解。本書若用為教材，可作為講課或實驗資料。書中對材料，工作法及設備等提供相當完整之資料，為設計，檢驗及生產管制工程師等之理想參考讀物。

由於新的材料，機械化，自動化等迅速發展，致令製造方法，愈越複雜。譬如電子技術不僅仍用於傳統式的舊有製造方法上，同時也用到數年前為聞所未聞的，非傳統式的，新的製造方法上。各種材料的加工，可能有數種方式，但是各種方式之得失，影響與效果，亦各不相同，一個設計工程師對於這些複雜的關係，應該有徹底的認識和瞭解，這是非常重要的。為了發揮設計和製造的競爭能力，所以在設計及製造方向，應慎加選擇，比較其優劣。這一點和設計時預定其公差數值有相同的重要性；因為公差不但影響成品的品質，且對於成本的高低亦屬重要也。為了瞭解日趨複雜之製造及裝配方法，並滿足這種需要起見，工程師與科學家們應該共同合作，在實驗室裏走向研究發展之路，以期精益求精。

為了使讀者對於製造方法基本理論有更廣博的概念起見，書中有若干章是專論材料結構的基本學識及其物理或機械性質之變化。每一專題的討論，皆注重其基本觀念，扼要加以說明。盡量採用以前各版原有之線圖及照像，以利說明。各種表格，亦經慎為選擇，以發揮其最大使用效能為原則。每章之末皆附有問題若干則，且有若干章並附有使用數據計算之習題。

本版新增各章有：非鐵金屬之生產，工具機之基本單元（或構件），電氣造型及特殊加工法，及旋轉加工機器等；後者為前版中車床，六角

2 機械工作法（上）

車床及自動車床各章合併而成者。重寫者有塑膠，熔接及接合，數據控制等各章，皆經加入適當數量之新資料。其他各章亦皆經重新修訂，並特別注重現代非傳統性製造方法之發展。

作者：M. L. Begeman
B. H. Amstead

目 錄

第 一 章	製造程序.....	1
第 二 章	材料性質.....	17
第 三 章	鐵金屬材料之生產	38
第 四 章	非鐵金屬材料之生產	68
第 五 章	鑄造	86
第 六 章	特殊鑄造法	132
第 七 章	熱處理	165
第 八 章	粉末冶金.....	194
第 九 章	檢驗及品質管制.....	215
第 十 章	金屬之熱加工	269
第十一章	金屬之冷加工	296
第十二章	壓床工作.....	329
第十三章	工具機之基本構件	362
第十四章	數據控制.....	384

第 一 章

製 造 程 序

自從機器被採用為製造的工具以來，即有一種穩定而漸進的趨勢，那就是使其更為有效及具備更多的技術，以資節省時間及勞力。為了滿足此種要求，其設計與控制乃更趨複雜。自動化或全自動化，亦相繼成為若干種機器構造之特色。這種技術性的發展，不但提高了生產速度及降低了生產成本，而且更重要的是，滿足了各階層人士享受高生活水準的願望。

與生產機器發展改良的同時，品質方面亦被重視。高的品質及精確度，有賴於製造時尺寸的精密控制。精度高的成品，具有高度的互換性，也增加了使用方面的利益。在大量生產制度下，每一件皆必須能滿足裝配時配合上的要求；也就是相同各件皆可互換裝置。零件的互換性，縮短了整體機器組合的時間，降低成本和簡化了修理維護的工作。但為了精密度能得到嚴格的控制，必須加強檢驗的工作。

為了達到經濟的生產目的，必須具備下列三個原則：

1. 具有美觀而簡單之功能的設計。
2. 材料的選擇，要在其物理性質、外觀、價格及加工性或切削性之間能表現出最好的協調作用。
3. 製造方法的選擇，原則上是以最低的單價，製造出合於要求的精度和表面的光平度即可。

產品設計

產品設計的重要原則，是在選用材料，製造方法，及存儲費用等以

愈低愈好，這樣才可在市場上發揮其競爭能力。任何一種產品，固然可選用強度較高，耐蝕性較強或壽命較久之材料，但考慮到價格問題時，工程師們有責任在生產經濟上，採用折衷方式。例如一種設計寧可選用價廉而較重之材料，以代替強而貴者。

製造高精度之產品，需要價格昂貴之工具機及操作費用，高級的技術工人，剔除件當然也相對的增多。所以製品的精度，在設計上不可超過所需要的程度。另外，一個好的設計，也要考慮到它表面的光平程度或電鍍油漆等處理，這是因為製品的外觀與其功能有相同的重要。所以有若干產品，選用顯明而多彩的塑膠為原料，吸引了購買者的視線，往往有很高的銷售量。但是無論如何，設計原則仍然以功能為主。特別是遇到需要高強度，耐腐蝕或重量受到限制等情形，更為重要；因為這些因素無法用外表顏色以代替也。

大量生產件之設計原則，必須合於採用大量生產的機器，且其特殊的工具準備和裝置，要減至最少。產品在加工過程中，每件在機器上都要經過裝置，拆卸，運送，下一步到另外一部機器上，又要經過這些步驟，這樣所增加之生產費用，並無益於製品本身價值，所以在施工計劃上要盡量減少這些時間。現代設計的一種趨勢，是產品的外形最好能為直線，或用數學方法能表達出來的一種曲線，以便能用數據控制的機器加工。

工程材料

設計及製造一種產品，設計者對於材料及製造方法之瞭解，有其相同的重要性。各種材料之物理性質，加工性能，造形方法，以及使用壽命等，大有不同。設計者應該將這些因素詳加考慮，選擇一種最合於經濟原則的材料和製造方法。材料之種類，在基本上有金屬及非金屬兩大類；而後者又可分為無機物及有機物二種。由於此兩大類材料中所含有材料之種類何止千萬，所以各有關人員應當有適當的認識與瞭解，以便

能在千萬之中作適當的選擇。

工程材料中有若干種為自然界中存在者，例如金屬氧化物，硫化物及碳酸鹽等，在進一步加工之前，必先經過分離或精製。分離後之原子結構，在常溫情形下非常穩定，歷久而不變。金屬工作物中，鐵可能是自然元素中最重要者。純鐵在工業上少有用途，但合併其他元素所成之各種合金，則為工程用金屬材料中之首位。此類材料稱之為鐵金屬。非鐵金屬中有銅，錫，鋅，鎳，鎂，鋁，鉛及其他，皆在吾人經濟結構中，佔一重要席次，且各有其特殊的性質及用途。

塑膠，粉末金屬，瓷質，甚至若干種新創的奇特材料，用途亦日見增加，以代替過去使用木材，鋼，銅，錫，鋅，鋁等之地位。晚近利用高能量作動力之生產，推動及製造的方式，又創造了新的材料，如高強度及耐火材料等，以應這種工作法之需要。

有關各種常用材料之說明及其加工方法，將於後文中加以解釋，而特別着重其優劣各點。

機器或工作法之選擇

製造需要工具及機器，而二者又必須是合於經濟的製造費用及精確的尺寸。欲得合乎品質要求的產品而又合於經濟的原則，與機器或製造程序的選擇有甚大的關係。當然，這些選擇與產量的多少也有莫大的關係。大凡一種機器，最適合於某一數量的產量，方合經濟原則。例如少量或試造零星工作，使用普通機器如車床，鑽床刨床等最為合適。因為此類機器有高度的改裝適應性，購置價格低，維護費用少，適合工場中改變情況之彈性。特種機器只適合於大量標準化零件之製造。一種機器係專為某項工作或運用而建造者，如活塞磨床或汽缸蓋平面磨床等，對於其專職工作是既快而好，費用亦低，且僅需半技術工人即可勝任。

此類特種機器之不同於普通機器者，是將操作者的技術因素亦建立在機器之內。例如一個簡單螺栓，一方面可用普通車床車製，另一方面

亦可用自動螺絲車床車製。但前者工作人員不但要瞭解車製螺栓之原理，而且要有操作機器之技術。自動機器之動作次序及工具的移動，皆由各種凸輪或停止器操作之，先後完全相同。這種“技術的轉移”是將操作工人的技術，轉移到機器上，而自動爲之，故只需要技術程度較低之工人即可。但在監督及維護方面，則需要較高級的技術。有時若令機器完全自動化，機器本身價格太高，在經濟上反而不合算。

對於一種產品選擇最適當的機器及工作法，需要各種生產方法的廣泛知識。所考慮到的因素有產量，品質，及各種設備的優點及限制。不可過度重視一種產品可能有多種製造方法的事實，應該承認在一般情況下只有一種是最經濟的方式。所以在選擇加工方式上，應特別加以考慮。

金屬材料加工法，可依照其加工程序而分類，其中有若干種若稍加修改，亦可用到非金屬材料方面。

製造程序之分類

A. 改變材料形狀加工法

1. 由礦中提煉
2. 鑄造
3. 熱加工及冷加工
4. 粉末冶金 (powder metallurgy)
5. 模壓塑膠製品

B. 切削成規定尺寸加工法

1. 傳統式的屑片切除法
2. 非傳統式切除法

C. 表面層加工法

1. 除去金屬表面層
2. 拋光

3. 塗敷覆蓋層

D. 機件或材料連結法

E. 改變材料物理性質加工法

改變形狀 絕大多數的金屬產品，都是由礦物還原或提鍊後鑄造成錠。鑄錠時係將熔融金屬澆入金屬或石墨模內凝結成適當形狀及尺寸，以備進一步的加工。

金屬材料初級的改變形狀加工法，可依其施工方式之不同，詳細的分類如次：

- | | |
|--------------------------------------|---------------------|
| 1. 鑄造 (casting) | 2. 鍛造 (forging) |
| 3. 擠製 (extruding) | 4. 軋軋 (rolling) |
| 5. 抽拉 (drawing) | 6. 壓擠 (squeezing) |
| 7. 軋碎 (crushing) | 8. 穿孔 (piercing) |
| 9. 型砧鍛造 (swaging) | 10. 彎曲 (bending) |
| 11. 剪割 (shearing) | 12. 旋轉成形 (spinning) |
| 13. 伸拉成形 (stretch forming) | |
| 14. 軋軋成形 (rolling forming) | |
| 15. 火炬截割 (torch cutting) | |
| 16. 爆炸成形 (explosive forming) | |
| 17. 電液壓成形 (electrohydraulic forming) | |
| 18. 磁力成形 (magnetic forming) | |
| 19. 電積成形 (electroforming) | |
| 20. 粉末金屬成形 (powder metal forming) | |
| 21. 模壓塑膠 (plastics molding) | |

以上所舉金屬變形之加工方式，僅係專為製造某一特定機件之初級加工程序。但其中亦有若干種製品可以直接當作成品，作市場上的交易貨品，例如旋轉成形之件，冷軋軋之軸料，壓鑄件 (die casting)，伸拉成形之金屬板製品，及抽拉之金屬線等。其他各種，無論其尺寸及外表

情況皆不合乎完全成品之要求，所以只能說是一種半成品，尚待進一步的加工。最後三種即電積，粉末金屬及模壓塑膠等，雖含有鑄造法的功用，但不能視為是鑄件。電積成形之件是利用金屬的電解，聚積到有導電性之模型(pattern)上。純金屬桿為陽極，模型為陰極，二者共同置於電解液內，通電後陽極金屬經過電解液而聚積到模型上。此法所製之件，對於厚度的控制，有高度之精確性。用粉末金屬法以製造機件，主要為一種壓力的應用。製造時將適當的金屬粉末置於金屬模內，再以高壓使其密合成形。此法的絕大多數皆需要進一步加熱處理，以幫助各金屬粉粒間之膠合。模壓塑膠是將塑膠原料置於模內加熱或加壓，或二者同時實施，塑膠即依模穴之形而成形。至於爆炸，電液壓及磁力成形法三者，皆為高速度的能量施放，產生極高壓力，在極短時間內加壓於金屬板片而使其成形。

切削加工 產品的製造，有甚多機會是需要切削加工者，加工方式可分類如下：

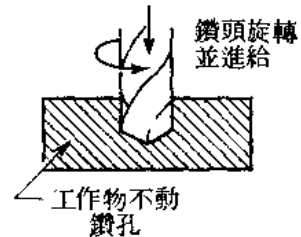
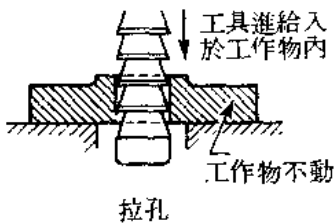
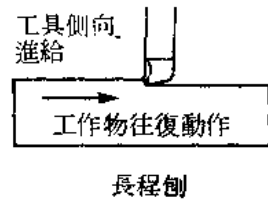
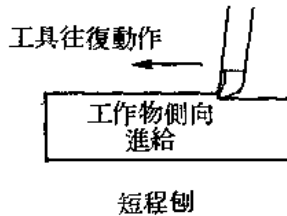
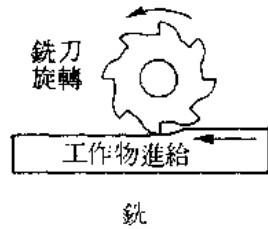
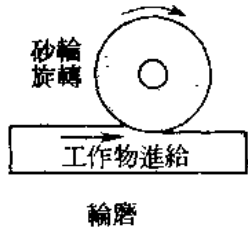
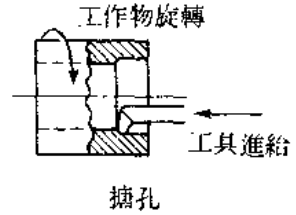
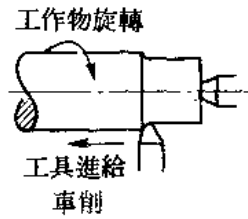
A. 傳統式的屑片切除法

- | | |
|-------------------|-------------------|
| 1. 車削 (turning) | 7. 鋸斷 (sawing) |
| 2. 長程刨削 (planing) | 8. 拉孔 (broaching) |
| 3. 短程刨削 (shaping) | 9. 銑 (milling) |
| 4. 鑽孔 (drilling) | 10. 輪磨 (grinding) |
| 5. 搪孔 (boring) | 11. 滾銑 (hobbing) |
| 6. 絞孔 (reaming) | 12. 切槽 (routing) |

B. 非傳統式切削法

1. 超音波法 (ultrasonic)
2. 放電切削法 (electrical discharge)
3. 電弧法 (electro-arc)
4. 雷射光法 (optical lasers)
5. 電氣化學法 (electrochemical)

6. 化學銑切法 (chem-milling)
7. 磨料噴射切割法 (abrasive jet cutting)
8. 電子束切割法 (electron beam machining)
9. 電漿 (電弧電離氣) 切割法 (plasma arc machining)



第1-1圖 傳統式切削至規定尺寸之加工法

產品的第二步加工，是切除金屬材料成為細小之屑片，以期成為精確之尺寸。此類工作，大都在動力驅動之工具機上完成之。其工作方式不外是綜合旋轉及往復動作兩個原則；也就是說工具或工作物作往復或旋轉的動作，如第 1-1 圖所示。龍門刨床 (planer) 的長程刨削工作方式，是工具不動而工作物作往復移動，通過工具之下。牛頭刨床 (shaper) 的短程刨削，則為工作物不動，而工具作往復移動。以上二者為往復動作之示例。至於旋轉動作，可舉車床與鑽床為例，前者為工作物旋轉工具固定，而後者為工具旋轉。

超音波加工法是液體中混以磨料顆粒，磨粒以極高之速度衝擊到金屬表面上而將其除去。高速度之產生，是由一種超音波發生器而來。放電法及電弧法二者，皆是利用一種特殊電弧以切削可以導電材料之加工法。雷射光是一高度集中之光（量）子束，可以產生極高溫度以切割或熔接金屬。化學加工可以直接利用化學劑的侵蝕，除去一部份金屬，亦可用反電鍍法為之。

表面層加工 表面層加工的目的，在產生一種光平之表面，精確的尺寸，美觀的外表，或有保護作用的表面層。其工作方式有：

1. 拋光 (polishing)
2. 磨料帶打磨 (abrasive belt grinding)
3. 滾筒打磨 (barrel tumbling)
4. 電鍍 (electroplating)
5. 搪磨 (honing)
6. 研磨 (lapping)
7. 精磨 (superfinishing)
8. 金屬噴射 (metal spraying)
9. 無機物敷層 (inorganic coating)
10. 磷酸防蝕 (parkerizing)
11. 陽極氧化 (anodizing)

12. 滲鋅法 (sheradizing)

此類處理對於機件尺寸之影響極微，初步目的只在能使其外表改觀而已。以磨料加工之法有輪磨，搪磨，研磨及拋光等，皆屬同類加工方法。其中輪磨係磨去其表面層，改變其尺寸，但同時亦可得精光之面。搪磨，研磨及拋光三者，僅將前此加工所留之擦痕除去，極少改變其尺寸。精磨亦為金屬表面施工法之一種，除去無用之金屬碎片，露出平實之金屬晶粒。電鍍及其類似處理法，不但可得到防蝕表面，同時也增加了美觀，而實際上並不改變其尺寸。

連接 產品需要兩件或兩件以上組合而成者，可用下列各種方法之一連接之。

- | | |
|-------------------|----------------------------|
| 1. 熔接 (welding) | 5. 壓接 (pressing) |
| 2. 軟焊 (soldering) | 6. 鉚接 (riveting) |
| 3. 硬焊 (brazing) | 7. 螺紋件接合 (screw fastening) |
| 4. 燒接 (sintering) | 8. 黏接 (adhesive joining) |

熔接為利用熱或壓力或熱與壓力同時使用，令兩金屬件熔融而接合之。軟焊及硬焊與上述方法頗相似，只是被接合之兩主體金屬並不溶化，而係用另一種不同金屬，溶化後介於二者之間接合之。燒接係對金屬顆粒加熱，使其互相熔接起來。黏接材料有粉狀，液體，固體，或一種帶形，廣用於金屬，木材，玻璃，布匹及塑膠等之接合。

改變物理性質 利用升高金屬溫度，及迅速或重覆之應力，而改變金屬材料之性質或結構之法頗多。下列數種為常用之方式：

- | | |
|-------------------------|-----------------------|
| 1. 熱處理 (heat treatment) | 3. 冷加工 (cold working) |
| 2. 熱加工 (hot working) | 4. 珠擊法 (shot peening) |

有若干種熱處理方法皆可改變金屬之物理性質及結構。熱加工及冷加工之最初目的為改變金屬之形狀，但對於其物理性質及結構亦有相當的影響。珠擊法大都以小件者為對象，以增加其對疲勞應力之抵抗，如

彈簧等常作此處理。

基本工業

以產量分類 工業分類之方式頗多，但甚難決定以何種方式為最優。一般講來，依產量的多少可分為下列三種：

1. 大量生產 (mass production)
2. 中量生產 (moderate production)
3. 零星生產 (job lot production)

所謂大量生產者，係指任何一種產品，在較長時間內作連續不斷的大量製造之謂也。有若干權威人士認為每年產製十萬件以上，即可稱之為大量生產，但此種說法似乎限制太嚴。此種生產方式，大都適用於銷售市場已經建立了良好的基礎，產製的速度不因各別定貨之多少而變。所用機器皆經特別選擇，大都不宜於作其他工作。單位價格減至最低。火柴，瓶蓋，鉛筆，汽車，螺帽，螺栓，墊圈，球形電燈泡，金屬線等，皆為一般認為大量生產之產品。

中量生產之件，亦有較大的產量，而且可能是連續不斷的產製方式，但較大量生產者有較多的變化，且多少與定貨的情形有關。此種產量所用之機器，似乎應該為多目標機器。但產品如較為特殊者，雖然市上之需要量或銷售量不若大量生產者之多，但大都仍以特殊機器為之。每年產量由 2,500 至 10,000 件，視外在因素而異。此類產品較易舉例如：書籍，飛機羅盤，無線電發射機等。

零星生產較具彈性，每批產量大都以定貨或希望推銷之量而定。所用機器設備更具彈性和多目標能力。無論是製造或裝配，所僱工人皆須有較高的技術。每批數量通常由 10 至 500 個，製造經過由原料至成品。每一廠家產品之種類，普通僅三數種，產製的次序及數量，視外界的需要而定。由於各項產品之利潤有高低不同，是以有時亦常常視情況

而變更之。零星生產之產品有：飛機，舊型汽車之零件，油田之各種管子閥，電氣特種儀表，人體義肢等。

產品分類 工業的另一種分類法，為產品的分類：

1. 食品及食品加工 (food and food processing)
2. 電氣及電子 (electrical and electronics)
3. 汽車及運輸 (automotive and transportation)
4. 五金，管及管路零件，冷暖設備 (hardware, plumbing, heating and cooling equipment)
5. 建築 (construction)
6. 傢俱及木製品 (furniture and woodwork)
7. 石器，貝殼，陶器及玻璃製品 (stone, shell, clay and glass products)
8. 金屬原料等 (primary metal, etc)

上述任何一種工業，在其製造過程中可能包括了所有的機械的（或非機械的）製造程序。茲以電氣及電子工業為例，凡本書中曾經直接或間接加以說明之製造方法，幾乎皆與其有關，今分條說明如下，即可見其一般：

鐵屬及非鐵金屬材料之生產中有：特殊性質之金屬線；各種合金；貴重金屬；雙金屬 (bimetals)；蓄電池材料；軋軋之金屬板，片及桿料。

鑄造有：馬達及渦輪機零件；壓鑄件；測定儀器；各種部份件。

熱處理有：杼；硬面接觸點；軸；工具；非磁性沃斯田鋼。

熱加工有：鍛；片狀材料；肘節開關柄；鉛包層電纜；軟焊鐵；各種鍛造件。

冷加工有：細金屬線的抽拉；管狀銷子；彈簧；場地線網；柵極；