

科學圖書大庫

機械製造學

(合訂本)

譯者 奚東生 江耀宗

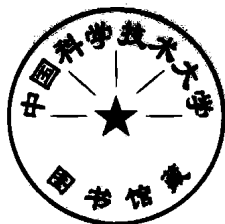
徐氏基金會出版

科學圖書大庫

機械製造學

(合訂本)

譯者 奚東生 江耀宗



徐氏基金會出版

徐氏基金會科學圖書編譯委員會
監修人 徐銘信 發行人 王洪鎧

科學圖書大庫

版權所有



不許翻印

中華民國六十八年三月二十日初版

機械製造學

(合訂本)

基本定價 5.50

譯者 奚東生 國立成功大學機械工程碩士
江耀宗

本書如發現裝訂錯誤或缺頁情形時，敬請「刷掛」寄回調換。謝謝惠顧。

(67)局版臺業字第1810號

出版者 財團法人臺北市徐氏基金會 臺北市郵政信箱53-2號 電話 7813686 號
7815250

發行者 財團法人臺北市徐氏基金會 郵政劃撥賬戶第15795號

承印者 大興圖書印製有限公司 三重市三和路四段一五一號 電話9719739

原 序

本書不僅可作為大學及專科課程的教科書，亦可作為職業工程師及技術人員最主要的參考書，其價值，由本書的前六版已可窺知。

教科書的用途，應不僅限於講授，亦應適合實作。本書對於材料、製程、及設備等，均有詳細的介紹，是設計師、檢驗員、製造和規劃工程師、及學生的理想參考資料。

製造學是進一步研究工業技術的基礎。根據本書提供的各種觀念，可以建立複雜的科技知識。但是，有許多人學習製造程序的目的却不在此；而是在其本性、事業、或職業之外，作一廣泛的涉獵。理工科以外的學生，若能作此種廣泛而隨意的學習，則可在科技及社會方面有更深入的了解，並增加其個人的內涵。

由於新材料、機械化、及自動化等方面之不斷發展，使得製造程序亦日趨複雜。故工程師必須接受訓練，以了解工程材料的各種加工方法，以及加工法對材料性質的影響。工程師若要設計或製造出能與旁人競爭的產品，必須深知製程的各種優點及限制，並能預估其公差。研究及發展機構的工程師與科學家，也有必要了解製造及裝配時的各種複雜方法。

為了使讀者能夠深入了解製造程序，本書加入了若干章有關材料結構、及變更材料物理性質之方法等基本知識。同時為便於清晰的觀察，書中大量地採用了第一手的線圖及照片，各種圖表也經謹慎選擇，使具有最大效用。本版在每章末尾增加了一倍的問題及問答題，以及自由作答的範例研究，有助於讀者明瞭並分析其對製造法的了解程度。

本版另一重要的改進，是在原有的英制系統之外，又加入了公制系統。由公制取代英制，是一種必然的趨勢，本版的每一公制值之後，均用括弧附註其公制值，以填補這一段改制的過渡時期。例如，“A之直徑為1.7吋(43 mm)”。此種標註法，配合單位之說明，使學生、技術人員、及工程師等，對此兩套量度系統，均能使用。

各章若有重大且能持久的新發展，本書均予列入新的內容。每章的開頭

，均附有一張具有歷史意義的照片，以指出製造方式之歷史及演進，顯然學生們對於歷史背景，亦有漸增的興趣。

學習製造程序的技術與原理的學生，其就業機會甚多。無論是在商校、技術學校、高工、專校、或大學接受教育，其職業幾乎無限制——機械操作員、製造或裝配之領班、工程資料管理、設計工程師、製造工程師、研究員、業務經理、工商管理、廣告及操作手冊之編輯、以及公共關係等，不勝枚舉。

作者要感謝許多公司提供了本版所需的圖表，書中均註明了提供的公司名稱。

本書每一頁均有故教授 Myron L. Begeman 的貢獻，以其職業而言，沒有人有比他更高的成就。其貢獻包括教學、研究、顧問、講授、設廠管理、及著作等。自然，其不朽的貢獻是以其研究之所得，作為製造學之前驅，以及本書之編就，使之保持常新、正確、實際、且實用。

B. H. AMSTEAD
PHILLIP F. OSTWALD

Austin, Texas
Boulder, Colorado

譯者序

近年來由於機械工業的急速發展，在機械製造方面頗多改進，而坊間的機械製造教科書，內容方面不能配合日新月異之製造技術。本書為1977年之新版，內容新穎，包羅廣泛，實為機械從業人員及工科學生之必備參考資料。

本書有三個特點：(一)所有尺寸單位，除以英制表示以外，並於括弧內註明其相對的公制單位。英制尺寸之繁瑣，早為工業界所垢病，我國雖以公制為標準單位，但民間工廠，單位之制度仍相當混亂，此實為工業進步之一大障礙。有鑒於此，制度之標準化，實為當務之急。本書的單位制度明確，可提供良好的單位概念。(二)本書除了列出必備的參考資料外，每章最後並有詳盡的問答題及問題，以及工廠實際發生的一些範例，增加讀者對課文的瞭解，並培養處理實際問題的能力。(三)本書大量採用了各種新式工廠設備的照片，配合詳細的構造圖，及若干材料斷面的金相圖，使讀者對各種製程能有清晰的認識。

本書各種機械名詞，均依據教育部所頒定的「機械工程名詞詞典」。各種塑膠名稱及少數化工名詞，則根據「化工名詞詞典」。其它無據可循者，譯者均加以適當翻譯，並附註英文原名以備查考。本書力求與原著吻合，惟掛一漏萬，誤謬之處在所難免，盼讀者先進不吝賜正。

奚東生 謹識
江耀宗

六十七年元月於台北南港

目 錄

(上 冊)

原 序

譯者序

第一章 基本製造程序..... 1

- 1-1 簡 史..... 1
- 1-2 經濟性生產之準則..... 2
- 1-3 產品設計..... 3
- 1-4 工程材料..... 3
- 1-5 機器或製程之選擇..... 3
- 1-6 基本工業..... 9
- 1-7 製造之趨勢..... 10
- 1-8 自動化及數值控制..... 11
- 1-9 英制及公制之互換..... 12
- 1-10 單位轉換及捨位之規則..... 13

第二章 材料之性質..... 16

- 2-1 材料之分類..... 16
- 2-2 材料之來源..... 19
- 2-3 金屬之結構..... 21
- 2-4 晶粒形成..... 22
- 2-5 顯微檢驗..... 23
- 2-6 金屬及合金之凝固..... 24
- 2-7 材料之性質..... 26

第三章 鐵屬金屬之生產 ..

- 3-1 生鐵之生產..... 37

- 3-1 生鐵提煉爐..... 39

- 3-3 精煉爐及容器..... 49

- 3-4 鐵屬金屬..... 52

- 3-5 化學元素對鑄鐵之影響..... 64

第四章 非鐵屬金屬之生產

- 4-1 非鐵屬金屬..... 71
- 4-2 鋁之製造..... 72
- 4-3 鎂之製造..... 73
- 4-4 銅之製造..... 74
- 4-5 鉛之製造..... 76
- 4-6 非鐵屬材料之鑄造..... 77
- 4-7 熟合金..... 79
- 4-8 壓鑄合金..... 80

第五章 鑄造法..... 86

- 5-1 砂模鑄造之種類..... 86
- 5-2 造模步驟..... 87
- 5-3 澆口、冒口、及凝固特性..... 92
- 5-4 模 型..... 93
- 5-5 活動模型之製作..... 97
- 5-6 消散模型之製作..... 99
- 5-7 鑄 砂..... 100
- 5-8 砂樣試驗..... 101
- 5-9 整砂設備..... 104

5-10	型 心	106	9-3	特殊粉末之製備	209
5-11	型心製造機	108	9-4	成 型	210
5-12	機械造模設備	109	9-5	燒 結	216
5-13	鑄件之澆注及清理	112	9-6	熱壓法	217
第六章	特殊鑄造法	118	9-7	火花燒結法	217
6-1	利用金屬鑄模之鑄法	119	9-8	流程圖	217
6-2	電熔渣鑄法	127	9-9	加工程序	218
6-3	離心鑄法	128	9-10	優點及限制	220
6-4	精密鑄法或包模鑄法	132	9-11	金屬粉末製品	221
6-5	連續鑄法	138	第十章	塑膠	227
第七章	熱處理	144	10-1	塑膠材料	227
7-1	鐵與碳化鐵平衡圖	145	10-2	熱硬化化合物	230
7-2	晶粒尺寸	147	10-3	熱塑性化合物	231
7-3	恒溫變態圖	151	10-4	加工方法	274
7-4	硬 化	151	10-5	塑膠所用之型模	250
7-5	回 火	155	第十一章	量度學	255
7-6	退 火	157	11-1	量度之觀念	255
7-7	正常化及球化處理	159	11-2	尺寸及公差	259
7-8	表面硬化	159	11-3	品質管制	260
7-9	感應硬化法	162	11-4	管制限之計算	263
7-10	火燄硬化法	163	11-5	量度儀器	263
7-11	析出硬化法	163	11-6	量度儀器之分類	266
第八章	焊 接	168	11-7	長度測定儀器	267
8-1	軟焊及硬焊	170	11-8	角度量度	270
8-2	焊接接頭	173	11-9	表面量度	271
8-3	焊接法	174	11-10	量規之分類	278
第九章	粉末冶金	207	11-11	量 規	278
9-1	金屬粉末之重要特性	207	11-12	電子量規設備	283
9-2	粉末之製法	208	11-13	機器量度	287
			11-14	非破壞性檢驗	288

第十二章 金屬之熱作..... 297

- 12-1 塑性變形..... 298
- 12-2 滾軋法..... 299
- 12-3 鍛造法..... 301
- 12-4 擠製法..... 308
- 12-5 各種製管法..... 310
- 12-6 衝伸法..... 313
- 12-7 熱旋轉成型法..... 304

12-8 溫鍛法..... 314

12-9 特殊熱作法..... 315

第十三章 金屬之冷作..... 320

13-1 冷作之效應..... 320

13-2 冷作之方法..... 322

13-3 高能率成型..... 340

13-4 其他方法..... 344

目 錄

(下 冊)

第十四章 壓床工作	352	16-8 高等數值概念	419
14-1 壓床之型式	353	16-9 優點與缺點	421
14-2 壓床之驅動機構	365	第十七章 金屬切削	424
14-3 壓床之操作及工具	366	17-1 金屬切削刀具	425
14-4 特種模具與成型法	367	17-2 切削性與表面光製	437
14-5 進給機構	374	17-3 切削速率與進給	440
第十五章 工具機之基本構件		第十八章 車 床	446
15-1 切削機構之結構	386	18-1 車床之型式	446
15-2 機架	389	18-2 基本車床	447
15-3 基本構件	392	18-3 轉塔車床	450
15-4 驅動裝置	394	18-4 車床操作	454
15-5 夾持工件之方法	395	18-5 自動車床	464
15-6 裝卸工件之方法	402	18-6 自動螺釘機	467
15-7 控制方法	402	第十九章 鑽床與搪床	478
第十六章 數值控制	407	19-1 鑽 頭	479
16-1 數值控制工具機	407	19-2 鑽頭性能	484
16-2 操作次序	409	19-3 鉸 刀	488
16-3 控制之型式	410	19-4 鑽床之分類	492
16-4 直角坐標	413	19-5 搪 床	498
16-5 打孔帶	414	19-6 搪 刀	500
16-6 點至點之程式計劃	415	第二十章 銑床與銑刀	506
16-7 連續動路之程式計劃	417	20-1 銑刀之型式	507

20-2	銑刀齒·····	510
20-3	銑床之分類·····	512
20-4	銑床之型式·····	512
20-5	機製中心·····	517
20-6	特種銑床·····	518
20-7	指度頭·····	523
20-8	切削速率·····	527
20-9	切削進給·····	528

第二十一章 牛頭刨床與龍門刨床····· 533

21-1	牛頭刨床之分類·····	533
21-2	臥式牛頭刨床·····	534
21-3	龍門刨床·····	538
21-4	龍門刨床的分類·····	539
21-5	刀具與工件之夾持裝置·····	542

第二十二章 鋸床與拉床····· 546

22-1	金屬鋸刀·····	546
22-2	往復式鋸床·····	547
22-3	圓鋸床·····	550
22-4	帶鋸機·····	553
22-5	拉床·····	556
22-6	拉床之型式·····	556
22-7	刮削之優點與限制·····	557
22-8	拉床之種類·····	558
22-9	刮削工具·····	563

第二十三章 磨床····· 569

23-1	輪磨·····	569
23-2	磨擦加工·····	570
23-3	磨床·····	571

23-4	外圓磨床·····	571
23-5	內圓磨床·····	575
23-6	平面磨削·····	576
23-7	刀具磨床·····	577
23-8	表面光製·····	580
23-9	磨料帶磨削·····	584
23-10	大量媒體光製法·····	585
23-11	雜項光製操作·····	587
23-12	磨料·····	588
23-13	磨輪的製造·····	590
23-14	磨料結合法·····	590
23-15	磨輪的選擇·····	591
23-16	塗層磨料·····	593
23-17	大量媒體光製所用之磨料·····	597

第二十四章 齒輪及切齒機 601

24-1	齒輪的各部名稱·····	602
24-2	齒輪之節距·····	603
24-3	齒輪速率·····	605
24-4	齒輪的種類·····	605
24-5	齒輪製造法·····	608
24-6	齒輪之光製操作·····	620

第二十五章 螺紋及螺紋切製

25-1	螺紋的型式·····	628
25-2	螺紋製造法·····	630

第二十六章 特種製造法····· 643

26-1	特種加工法·····	643
26-2	低溫加工法·····	653
26-3	電積成型·····	658
26-4	金屬噴敷·····	662
26-5	金屬塗層·····	664

第一章 基本製造程序

1-1 簡史

此書每章均以一幀舊木刻或印刷品、透視圖、場景、或機器的照片為開始，將現代的製造程序與過去的製造程序作一比較。由這些圖可看出其演進的部分，例如圖 1.1，是一間 100 年以前的機工場；雖然製程已經改進，但仍可辨識出早期的機器。

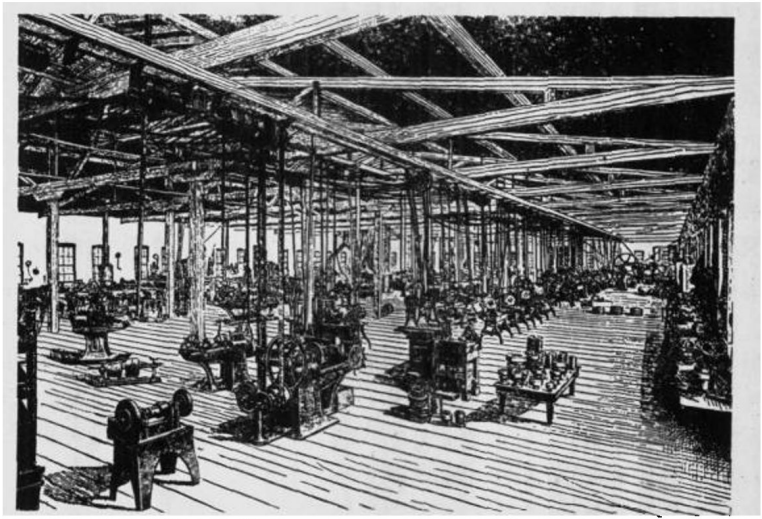


圖 1.1 機工場之內部，100 × 300 呎（30 × 90 m），使用高架帶輪傳動，約 1885 年

現代機械製造的開始，可歸功於 Eli Whitney 及其軋棉機，或可互換之製造，或十九世紀初期的銑床，或同時期的任何其它發展。南北戰爭及其

2 機械製造學（上）

影響，給予美國的製造業一種衝擊。製造程序的實驗及分析之起源，大半得力於 Fred W. Taylor，他所發表有關金屬切削技術之論文，是 Whi they 以後一世紀中關於此種製程之科學基礎。其他例如已故之 Myron L. Bege-man 等人，是製造學方面各種新發展之謹慎觀察、研究及報告的學者，並致力於將材料介紹給工業界。

動力機器如水輪、蒸汽機、及電動馬達等之發明，使機械大量取代了人力。各種鐵屬、非鐵屬材料及塑膠的發展，由於可多樣成型為可用產品之特性，使人類在技術方面更邁出了一大步，對於飛球調速器、凸輪、電力、電子、及計算機之瞭解及使用，使人類更能控制機械製程。

1-2 經濟性生產之準則

產品成本之計算，基於原料、機械、工資、營業量、儲存、及一般開支等費用。機器及勞工的費用具有不可改變之關係，與原料的費用三者形成產品成本之主要部份。材料選定後，其製程及使用的機器，即自動被限定；反之，若有一現成可用之機器，則原料的種類即受限制。經濟性生產之目的，就是要生產有利潤的產品，亦即成本必須合理，且具競爭性；同時必須對此產品有需求量，否則，也必須製造出一種需求量。

自從發明工具機以來，一直有一種緩慢而穩定的趨勢，藉著合併各項操作及給機器設計更多技巧，使機器更有效率，因此減少時間及勞力。為達到此種要求，工具機之設計及控制均更形複雜，許多機器裝有自動裝置，有些則為完全自動。此種技術性之發展，使工業能達到一高度生產率，同時降低勞工成本，此為任何社會欲達高度生活水準之發展基礎。

隨著機器之發展，對製造品質之要求亦為之加強。要達到製造時之品質與精確度，需要保持精密之尺寸控制，使生產之零件能互換，且具最佳之效用。對大量生產而言，批量中的任一零件，必須能裝配於固定的某一總成中。互換性零件之產品，可迅速安裝、成本較低、且容易修理。為保持此種尺寸控制，必須備有適當的檢驗設備。

經濟性生產有三項基本準則：

- 1 產品須功能良好、設計簡單、且具有美感。
- 2 材料的選擇，必須是物理性質、外觀、成本及加工性或切削性之最佳協調。
- 3 製造程序之選擇，應使所生產的產品不會有高於要求的精確度或是表面加工程度，且須維持可能的最低單位成本。

1-3 產品設計

爲使產品能夠競爭，其設計必須使材料、製造、及儲存的費用儘可能降至最低。任何一種產品均可能有更強韌、更能耐蝕、或是壽命更長的材料，但工程師有責任在經濟生產的準則中取得協調。一項設計爲了要少用一點強度較大但較貴的材料，可能需要多用一點重而價廉的材料。

生產精確度較高之零件，需要採用價昂的工具機及機器操作法、較高技術之勞工、且遭退貨的零件亦較多。故產品之設計，其精確度不可超過使用所需之要求。一件優良的設計，常須考慮加工或塗料等操作，因爲產品除了功能及操作外，尚要求其外表之美觀。許多如彩色塑膠或其它特殊材料製成之產品，常因其外表之美觀而更易銷售，但大多數情況下，仍以零件的功能爲其主要的決定因素。要求高强度、耐磨、耐蝕、或重量受限制之零件，此點更爲真確。

大量生產之零件，其設計必須配合所用之機器型式，使機器只需要作最少量的調整。零件每次被拆卸、儲存、再重新安裝到另一機器上時，所增加的成本，對零件本身之價值並無增益。

1-4 工程材料

設計及製造一項產品時，對材料之瞭解與對製程之瞭解同樣重要。各種材料的物理性質、加工特性、成型方式、及可能的使用壽命等，均有甚大之差異。設計師在選擇一最適於產品要求的經濟材料或製程時，均須考慮這些因素。材料有兩種基本分類，即金屬（metallic）與非金屬類（nonmetallic）。非金屬材料可再分爲有機材料及無機材料。由於非金屬材料、純金屬材料、與合金材料等種類繁多，故選擇適用的材料需要有相當的研究。

工業上所用之少數材料，係以元素形態存在於自然界，例如金屬之自然化合物，如氧化物、硫化物、碳化物等，在進一步加工前，必須經過分離或重煉的手續。分離後之金屬，其原子結構，須能在常溫下長期保持穩定。金屬的各種加工中，鐵可能是最重要的自然元素。純鐵之工業用途甚小，但與其它元素化合成合金時，則成爲最佳之工程金屬。非鐵屬金屬，包括紫銅、錫、鎳、鎂、鋁、及鉛等，在今日經濟體系中，均佔重要地位；每一金屬均有其特殊之性質及用途。

1-5 機器或製程之選擇

製造所用之工具及機器，須能經濟而精確地製造產品。經濟與否，主要視機器或製程之選擇，是否能製成令人滿意之加工產品。此種選擇，又受到產品數量的影響。通常總有一種機器，能夠最適合某種產品之生產。在少量或零工式生產時，最好使用泛用機器（general-purpose machine）如車床、鑽床、刨床等，因為此等機器易於調整、最初費用較低、所需之維護較少，且具彈性，可適合工廠之各種需要。但大量製造或是標準化之產品，則須使用專用機器（special-purpose machine）。這是專為一種型式之工件或操作而製造之機器，例如活塞磨床、或是汽缸頭平面磨床等，操作時性能優良、迅速、費用低廉、且只需半技術之操作工。

許多專用機器或工具與一般標準型式機器不同之處，在於已將若干操作員之技術製造於機器之內。例如一簡單之螺栓，可用車床製造，也可用自動螺絲機製造，但車床操作員不僅要瞭解如何製造螺栓，亦須具備足夠之車床操作技術。在自動機器上，則操作之順序與刀具之移動，均由凸輪與停止器控制，同時每件製成之產品，均與前一件完全相同。將技術轉移於機器內，使得可雇用技術較差之操作員，但需要較高的管理及維護技術。完全自動化之機器，並不經濟，因其成本提高甚鉅。

要選擇製造某一產品所需之最佳機器或製程，需要先對所有可能之製法有一瞭解。必須考慮的因素，有產品的數量、加工產品之品質、以及各種能夠製造此產品的設備型式的優點及限制。不能過份強調每種零件均有數種製造方法，而須注意通常僅有一種最經濟的方式。

金屬加工可依照製程的型式而分類，其中若干種經調整後，亦可適用於大多數的非金屬材料。

製造程序之分類

A. 用以變更材料形狀之方法。

1. 由礦石提煉。
2. 鑄造。
3. 熱作及冷作。
4. 粉末冶金成型。
5. 塑膠模製。

B. 將零件切削至一定尺寸之方法：

1. 傳統之機器切削法。
2. 非傳統之機器切削法。

C. 表面精度加工之方法：

- 1 除去表層金屬。
- 2 拋 光。
- 3 塗 層。

D. 接合零件或材料之方法。

E. 改變物理性質之方法。

1.5.1 形狀變更 大多數金屬產品之製程，均由礦石還原法或是礦石提煉法所製成之鑄錠開始。熔融金屬澆注到金屬或石墨之鑄模中，成為大小與形狀適合之鑄錠，便於進一步加工。

主要用來變更金屬形狀之製程，包括下列諸種：

- | | |
|----------------------|---|
| 1 鑄造 (casting) | 13. 伸展成型 (stretch forming) |
| 2 鍛造 (forging) | 14. 滾軋成型 (roll forming) |
| 3 擠伸 (extruding) | 15. 氣炬爆割 (torch cutting) |
| 4. 滾軋 (rolling) | 16. 爆炸成型 (explosive forming) |
| 5. 拉抽或衝伸 (drawing) | 17. 電子液壓成型 (electrohydraulic forming) |
| 6. 擠壓 (squeezing) | |
| 7. 軋碎 (crushing) | 18. 磁力成型 (magnetic forming) |
| 8. 穿孔 (piercing) | 19. 電積成型 (electro forming) |
| 9. 型鍛 (swaging) | 20. 粉末金屬成型 (powder metal forming) |
| 10. 彎折 (bending) | |
| 11. 剪切 (shearing) | 21. 塑膠模製 (plastic molding) |
| 12. 旋製 (spinning) | |

材料經由上列製法，變成欲製零件之原始形態。有些製法中，零件已經適當地加工，可直接作商品之用，例如金屬旋製、軸件之冷軋、壓鑄件 (die casting)、板金之伸展成型、及拉抽之金屬線等。另一些製法則其尺寸及表面加工度，均不能作為最後之成品。而需要對零件進一步加工。須注意最後三項製法，電積成型、粉末金屬成型、及塑膠模製，並非由鑄件開始加工。電積成型之零件，是將金屬以電解液沉積到模型導體上而得。金屬由電解液中析出，而以純金屬棒作用為陽極。由此法可製出厚度可控制、且精度高的零件。粉末金屬零件，其製法主要是加壓操作，將金屬粉置於一金屬模中，並以高壓壓緊密。大多數粉末金屬製品並需要一道加熱手續，使分子能結合。塑膠之模製，須加熱及 / 或加壓，以符合鑄模的形狀。爆炸成型、電子液壓成型、及磁力成型，均為高能率之製程，零件可在極高壓下迅速成型。

1.5.2 機器加工 製造任何產品時，常有若干項機器加工操作，其分類如下：

A. 傳統之有切削加工法：

- | | |
|---------------------|--------------------|
| 1. 車削(turning) | 7. 鋸削(sawing) |
| 2. 刨削(planing) | 8. 拉削(broaching) |
| 3. 刨削小平面(shaping) | 9. 銑削(milling) |
| 4. 鑽削(drilling) | 10. 磨削(grinding) |
| 5. 搪削(boring) | 11. 銑齒(hobbing) |
| 6. 鉋削(reaming) | 12. 刮深(routing) |

B. 非傳統之機器加工法：

1. 超音速法(ultrasonic)
2. 放電法(electrical)
3. 電弧法(electro-arc)
4. 光學雷射法(optical lasers)
5. 電子化學法(electrochemical)
6. 化學銑削法(chem-milling)
7. 磨料噴射切割法(abrasive jet cutting)
8. 電子光束加工法(electro beam machining)
9. 電漿電弧加工法(plasma arc machining)

此類二級操作，對於甚多需要精密尺寸精確度之產品而言，甚為必要，金屬可自零件上以小切屑去除。此類操作在工具機上完成，包括各種動力驅動機器，以切除金屬。所有此等操作均依往復式或旋轉式原理：刀具或工件，作往復或旋轉運動，如圖1.2所示。例如龍門刨床是一種往復式機器，工件往復通過刀具，而刀具則夾持於定位。另一類如牛頭刨床，則工件固定而刀具往復運動。旋轉式機器，可以車床為例，工件旋轉而刀具固定。直立鑽床則是刀具旋轉。

超音速加工法是利用磨料顆粒除去金屬，顆粒在液體中以高速衝擊工件表面，其高速由一超音速發生器所造成。放電加工及電弧加工法，則是產生特殊之電弧，用來切削任何導體材料。光學雷射，為一強烈之光子束，用以產生極高溫度而切割或熔接金屬。化學加工法，以化學劑腐蝕金屬，或以電鍍法除去金屬。