

製造工程學

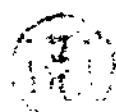
Production Engineering Technology

原著者：J. D. Radford and
D. B. Richardson

譯述者：徐 仁 勳

校訂者：劉 國 耀

科技圖書股份有限公司



本公司經新聞局核准登記
登記證局版臺業字第1123號

書名：製造工程學

原著者：Radford and Richardson

譯述者：徐仁勳

發行人：趙國華

發行者：科技圖書股份有限公司

臺北市博愛路185號二樓

電話：3110953

郵政劃撥帳號15697

六十七年一月初版 特價新台幣90元

原 序

本書編寫的主要目的是提供有關製造工程技術 (production engineering technology) 的簡單扼要說明，作為大專程度學生研讀之用。

書中涉及的項目，包羅衆多，遠超過已出版的類似書刊。但筆者相信，本書的內涵，能在一冊之內，將大專程度所需的資料搜集完整，這是第一次。

本書出版後因行銷順利，轉瞬刊印第二版，使吾們能乘機將最新發展的“材料成形法”以及最近幾年的標準試題及答案選集分別加入。有關塑膠的製造技術一章，係由同僚 R. S. G. Elkin 先生所撰寫。

吾們在此感謝對本書內容提出建議與指教的各位先生，以及參與本書前後兩版的撰寫準備工作同仁以及 G. Vine 夫人的打字工作。

T. D. Radford 雷特福

D. B. Richardson 里却生

於百里夫屯工技學院，1974

編輯者言

本書解說原料與分件在工廠內製造的主要程序，所用材料依其成形程序相關部份的性能加以討論，使其加工施力得以定量的或半定量的估定。分件的量度法亦作扼要說明。最近發展的機械工具的控制法亦加討論，因之本書的內容要比同樣的稱為機械製造法、機械加工法等書的內容，要新穎而充實得多。

在本書（第二版）中，塑膠一章係由 R. S. G. Elkin 氏依照最近資料全部重寫。新加入的資料有：有關材料成形方面的成形限界圖，金屬切削的討論，對車工與銑工作統一的瞭解。另列一部份近年來的新試題及其答案等，成為一本簇新的優良教科書。

編著者為英國百里夫屯工技學院（Brighton Polytechnic）的高級講師，曾著作「The mangement of production」一書而名噪一時。

科技圖書公司編輯部

目 錄

第一章 導論

第二章 金屬之機製性

2.1	金屬成形的程序	4
2.2	金屬的屈服	5
2.3	金屬的破壞	5
2.4	溫度對金屬加工的影響	6
2.5	完全塑性的材料	6
2.6	切削刀具與工作物間的磨	7
2.7	產生應變的速率	7
2.8	高速成形法	7
2.9	變形所需力量之計算	8
2.10	變形力量的求法(一)~計“功”法	9
2.11	變形力量的求法(二)~應力計算法	10
2.12	變形力量的求法(三)~“金屬流”法	10

第三章 塑性力學要點

3.1	導言	11
3.2	塑性應變	11
3.3	材料的屈服	12
3.4	屈司加與馮·米雪司法的比較	14
3.5	等量應變	15
3.6	受純剪時所作的功	16
3.7	平面應變	17
3.8	滑線場	18
3.9	亨蓋公式	18
3.10	加工金屬表面的滑線	20

3.11	速度的不連續	23
3.12	滑線場之繪製	24
3.13	上限解法	31

第四章 熱鍛與輥軋

4.1	鍛造	35
4.2	鐵工鍛造	36
4.3	閉模鍛造	40
4.4	端壓鍛造	42
4.5	輥軋	42
4.6	熱輥	43
4.7	冷輥	50
4.8	橫向楔狀輥軋	58

第五章 熱擠、管之製造與冷抽

5.1	熱擠	59
5.2	管之製造	66
5.3	線之抽拉	70
5.4	棒條的抽拉	75

第六章 金屬薄片成形與冷鍛

6.1	導言	81
6.2	胚料的沖剪	81
6.3	壓延、深拉抽、彎曲與拉延成形	87
6.4	高速成形	98
6.5	冷鍛成形	101
6.6	超塑性合金	118

第七章 切削刀具幾何性與材料

7. 1	導言	119
7. 2	切削刀具各部名稱	119
7. 3	切削移動的方向	120
7. 4	切削形成	123
7. 5	黏附 刀緣的連續式切削	124
7. 6	切削刀具用材料	126
7. 7	切削刀具材料對切削角度的影響	129

第八章 金屬之切削

8. 1	正交切削	130
8. 2	滿慶得氏切削理論	131
8. 3	李與希弗氏理論	133
8. 4	克利司多佛生、屋克司萊與派而滿氏切削理論	135
8. 5	金屬切削的摩擦	138
8. 6	切削液	139
8. 7	金屬切削的力量（大切屑削法）	140
8. 8	刀具磨損與刀具壽命	147
8. 9	表面光平度	151
8. 10	鑽製圓孔所需的轉矩	152
8. 11	切削工作的精密度	153

第九章 銑切與拉切

9. 1	銑切	156
9. 2	拉切	167

第十章 金屬移除之經濟學

10. 1	影響旋轉切削的經濟因素	169
10. 2	不易切削加工的金屬材料	179
10. 3	銑切的經濟原則	180

第十一章 磨削

11.1	磨削是利用非金屬的堅硬磨料晶粒	182
11.2	輪磨	182
11.3	搪磨	198
11.4	外圓的超級精磨	198
11.5	研磨	198

第十二章 金屬加工技術的新發展

12.1	導言	200
12.2	超音波加工法	200
12.3	電化加工法	204
12.4	放電加工法	208
12.5	電積造形法	211
12.6	化學銑切	212

第十三章 焊接、硬焊與黏接

13.1	導言	213
13.2	熔接與熔切	213
13.3	固態熔接	224
13.4	硬焊與軟焊	227
13.5	黏接	228

第十四章 鑄造

14.1	鑄造方法	231
14.2	熔融金屬的凝固	239
14.3	鑄件的凝固	241
14.4	鑄件的熱量損失	243
14.5	冒口設計	245

14. 6	冒口的佈置	247
14. 7	鋼鑄件冒口數據應用於其他金屬鑄件	247
14. 8	鑄件的澆注	248
14. 9	鑄件內的氣體	251
14. 10	燒結金屬的應用	253
14. 11	金屬粉末的製造	253
14. 12	金屬粉末在壓實成形前的處理	255
14. 13	金屬粉末壓實成形法	255
14. 14	燒結系統	258

第十五章 塑膠

15. 1	製造塑膠的一般步驟	261
15. 2	塑膠的主要製法	262
15. 3	塑膠零件的固定、連接與組合	280
15. 4	表面鍍層與印刷	282
15. 5	塑膠廢料的回收	284

第十六章 工作母機之控制

96

16. 1	導言	285
16. 2	數位顯示系統	286
16. 3	栓盤程式控制	286
16. 4	數值控制	287

第十七章 量度學

17. 1	導言	295
17. 2	長度的量度	295
17. 3	角的量度	302
17. 4	形狀的檢驗	311
17. 5	螺紋的量度	312

17. 6	齒輪的量度	319
17. 7	表面精光度	328
17. 8	圓度的量度	333
17. 9	極限尺寸與極限量規	333
17. 10	大尺寸的對準試驗	336
17. 11	雷射干涉儀	339
17. 12	量度系統的精密度	340

附 錄

附錄一	固體內之熱擴散	342
附錄二	平面應變壓縮試驗	348
附錄三	經濟切削速率求法	350
附錄四	測驗習題	353
附錄五	參考資料	359
附錄六	參考書目	363

第一章

導 論

絕大多數的金屬產品，由材料製造成半成品或成品的過程中，有若干種施工方式依序進行。圖 1-1 (a) 中列舉五種產品的成形過程。圖 1-1 (b) 簡略表示出金屬成形的主要工作程序。在圖 1-1 (b) 的右方，顯示出鑄造；燒結與模製三種成形法。有時需經過機製成形才成成品。但有時亦可不必經

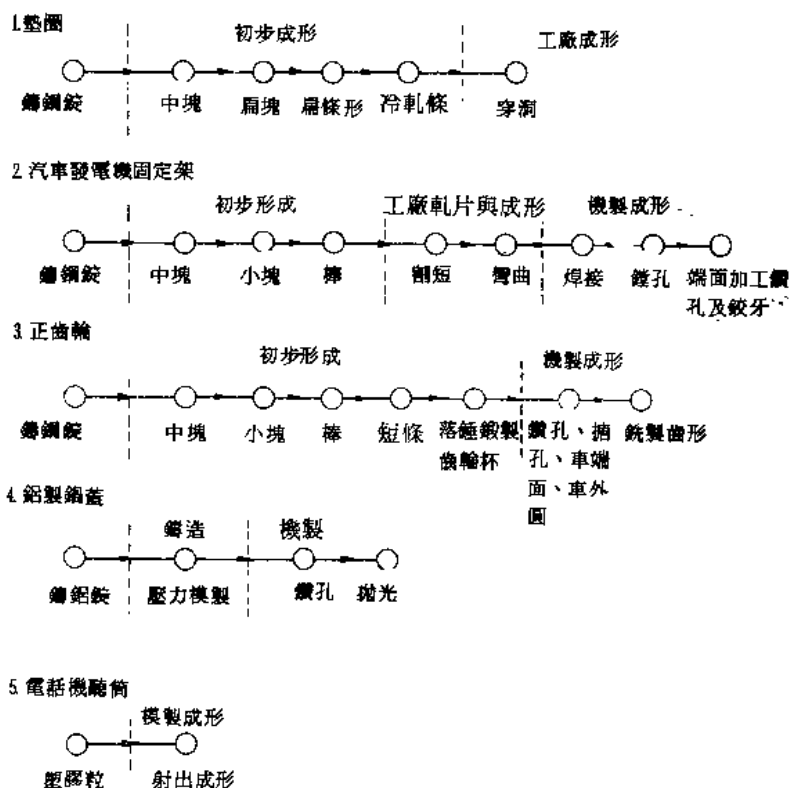


圖 1-1 (a) 成形過程之舉例

2 製造工程學

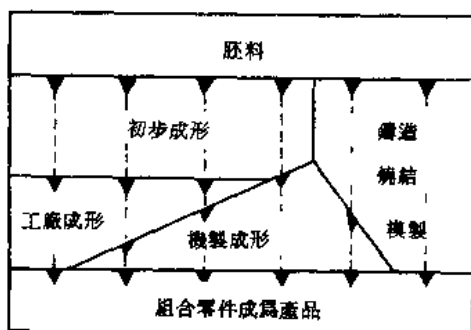


圖 1-1 (b) 金屬成形之主要工作項目

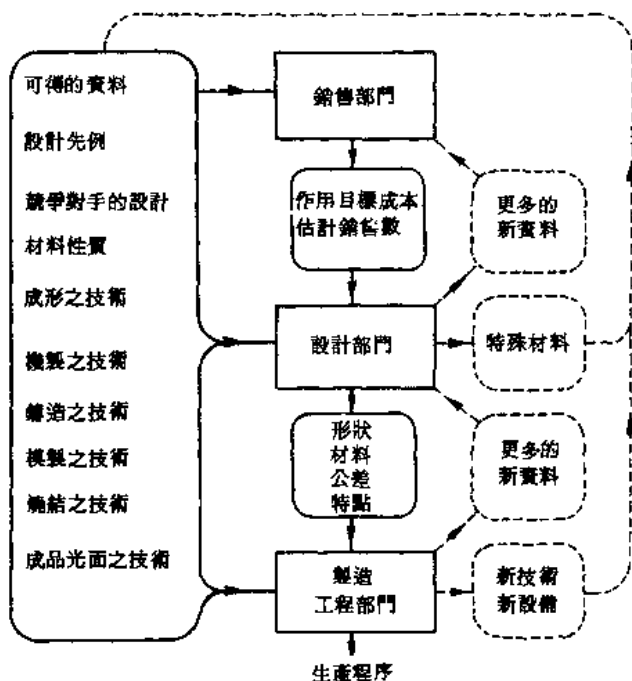


圖 1-2 生產程序的各階段

過機製成形的加工，其製品即可直接當作成品，作為市場的交易貨品。又在圖 1-1 (b) 左方，初步成形，可製成鍛造品、棒狀、板狀、條狀等初級產品，再經過工廠成形或機製成形成為產品。圖中亦顯示，此類初級產品，有時在經過工廠成形後尚須經機製，才完成產品。

由圖 1-1 (b) 所示，主要的金屬成形方法，可作更詳細的分類，有些方法可推溯到人類古老時期便已使用的傳統方法，有些方法則是近代科技的創新發明，有些是基本的技術，其操作需要相當經驗與技巧。另一方面，卻是極為複雜的過程，通常是用自動控制。

產品或機件用材料，對於製造方法的選擇有很大的影響，大部份材料均可用數種方法製造成形，但亦有部份材料僅可使用一種或少數方法製造成形。一般而言，依據材料的性質，可定出數種適用的加工方法。決定此種選擇的主要因素，為產品的形狀、尺寸、表面光度、製造公差與製造數量等。另外，在選擇製造成形的方法時，固然要考慮到各種加工技術的水準與能力，更重要的是要考慮製造成本。圖 1-2 表示擬定工作方法時需考慮的重要因素及其相互間的關係。

製造工程師及設計師均需具備機械製造中有關各種成形方法、細節及成形原理的知識。本書即針對此種需要編寫。並在第十二章與其他各章中隨時介紹新近發展的成形方法與理論。但因科技的進步一日千里，自不能由本書或其他同類書刊所能及時涵蓋齊全。將有賴讀者隨時不忘進修研習，始能適應工作需要。本書盡可能介紹各種成形程序的定性及部份定量部份，希望欲進入工業界的學生們，對目前製造業能有一整體的認識。

圖2-1 金屬成形之主要程序：雙線方框示冷作過程

構微粒化。反之，在需要光滑的產品表面及高度的尺寸精確度時，則宜採用冷作法。雖然越來越多的元件可直接由原料或初級產品，經過連續的變形過程而完成產品。但本書仍以基本的金屬成形方法為主要單元，分別詳述之，因為這些基本的金屬成形方法非但是製造如鋼棒、鋼板等初級產品的方法，更是一貫作業中不可缺少的過程。圖 2-1 是說明各種金屬成形的主要過程。

2.2 金屬的屈服

欲使金屬發生永久變形，所加的外力須超過該金屬材料的彈性限強度。圖 2-2 示出鋼的應力與應變的對數值的關係，其初屈服點為曲線上的 A 點。

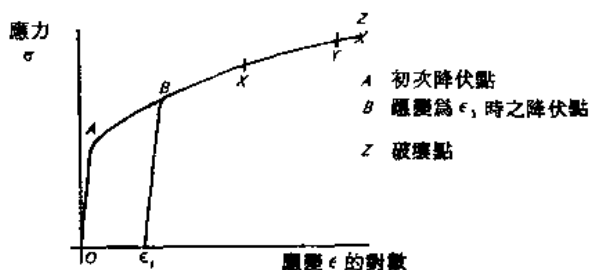


圖 2-2 鋼之應力-應變曲線

由於金屬成形時，形狀變化很大，使用對數應變（或稱真應變、自然應變） $\int dl/l$ 要比通常使用的應變 $\frac{l-l_0}{l_0}$ 更為方便，至於應變與通常使用的應變 $(l-l_0)/l_0$ 間相互關係，將於第三章第二節內再予討論。

大多數的金屬成形，在過程中的應力變化是很複雜的，因此基本材料力學中所述金屬承受簡單的拉力或壓力達到破壞時的應力，並無直接利用的價值。實際上，應力的分析必須考慮到三度空間中所有三軸向的主應力與六個成對的剪應力所共同產生的合應力，本書為求討論簡化起見，有關應力計算，均解析成三度空間中三個主應力的效應。至於由合應力所產生的屈服，則常使用經驗理論，本書採用 Tresca 與 von Mises 兩位專家的理論，將於第三章內作討論。

2.3 金屬的破壞

當金屬成形過程中的溫度低於該金屬的再結晶溫度時，因為金相組織的逐漸調整，使有“加工硬化”（work harden）的效果。故進一步的加

6 製造工程學

工成形便比先前困難些。此種“加工硬化”的特性，可由圖 2-2 中應力 - 應變曲線上的傾斜部份看出。“加工硬化”會增加材料的屈服應力，不然卻會減少其延展性，使材料更易破壞。

一般加工成形所用的外力為壓力。壓力對材料的變形與拉力不同，即材料破壞前可承受的應變比使用拉力時大得很多。事實上，脆性材料如鑄鐵等，若使用特殊的液壓機擠壓成形時，亦可如延性材料一樣，擠壓成形。（參看第六章 6-5.6 款）。

2.4 溫度對金屬加工的影響

大尺寸工作物的金屬加工過程，其加工溫度一般均高出再結晶溫度很多。此種加工過程稱為“熱加工”（hot working），或稱“熱作”。熱作（hot working）可大量降低材料變形時的屈服強度。但若得到理想的表面光度，就一定要除去表面污垢，再加冷作（cold working）、或機製（machining）。由於再結晶的關係，熱作通常表現出一個特徵，亦即沒有「加工硬化」的現象；由於再結晶的速率取決於溫度，工作溫度一定要超出再結晶所需的最低溫度，而且要超出一個足夠的範圍。變形的速率也很重要，因為如果變形太快，便沒有足夠時間產生再結晶的退火效果。事實上，如果熱作使金屬快速變形，然後急速冷卻就會硬化。另一方面，如果變形太慢，由於顆粒的生長，會使工作物強度降低，又是我們所不希望的。

2.5 完全塑性的材料

在金屬成形加工時，將工作物視為完全塑性的材料（圖 2-3），可使設計簡化。亦即，對金屬成形的整個過程中，彈性應變佔總塑性應變的極

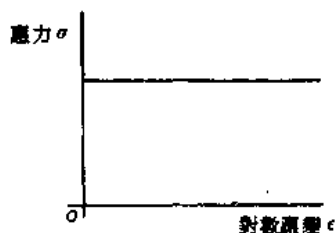


圖 2-3 完全塑性之材料的應力應變關係曲線

小部份，因而略去不計，並簡化如圖 2-3 所示。如此，工作物在達到屈服應力以前，可視為不變形，在屈服後，即視為不需加大應力即可增加應變。如此，在加工過程中便沒有“加工硬化”的現象。實際上，材料為完全塑性的假設，對於熱加工是很合理的，並且亦可適用於材料已受有相當的“加工硬化”後的冷加工。意即，圖

2-2 應力-應變曲線上的X點至Y點變得更為水平的部份。

2.6 切削刀具與工作物間的磨擦

在大多數冷加工過程中，正在進行塑性變形的材料與模具或刀具間的磨擦係數較低，可適用庫倫（Coulomb）磨擦定理，即磨擦力與所施的外力（正壓力）成正比。但在熱加工時的磨擦係數較高，而且材料因在高溫下，其屈服應力也較冷加工時為低。結果，熱加工時材料表層有達到其“剪力流應力”（shear flow stress）使成形的金屬表面有一薄層會黏附在模具或刀具上。在此情形下，磨擦力與正壓力無關，決定於加工金屬的剪力流應力（參閱3-10-4款）。

2.7 產生應變的速率

加力在材料的屈服點上方，作快速的塑性變形，其變形速率對工作物的影響，至今未被完全明瞭。一般言之，製造過程中應變速率的影響與溫度所產生的影響兩者有不可分的關係。機製過程與高速成形過程時傳導出的熱量很少。而且高變形速率，會增高材料的屈服強度。但是，由於“熱軟化”（thermal softening）的效果至少會抵消部份屈服強度的增高。

對於工業上最常用的金屬材料——鋼而言，變形速率與溫度兩者所生的綜合效應，是提高鋼的最初屈服點。但當應變愈大，屈服強度的增高量便愈少。因此，鋼的應力-應變曲線顯示出應變硬化的速率減低且接近完全塑性的性質。

不幸，由於以上關於變形速率與溫度的影響。要由材料資料中想精確計算出切削力量，成為不可能。

2.8 高速成形法

加工成形與沖壓成形的發展趨勢，是高速成形（high velocity processes），亦即變形速率高達 $6 \sim 300 \text{ m/s}$ （ $20 \sim 1000 \text{ ft/s}$ ），而傳統的變形速率則僅達 2 m/s （ 6 ft/s ）。高速成形法的應用計有三種：

(a) 錠塊的成形，(b) 沖壓成形與剪割成形，(c) 板金的成形。

鋼若預熱至 300°C 後再行加工，因此時屈服強度降低甚多容易成形，