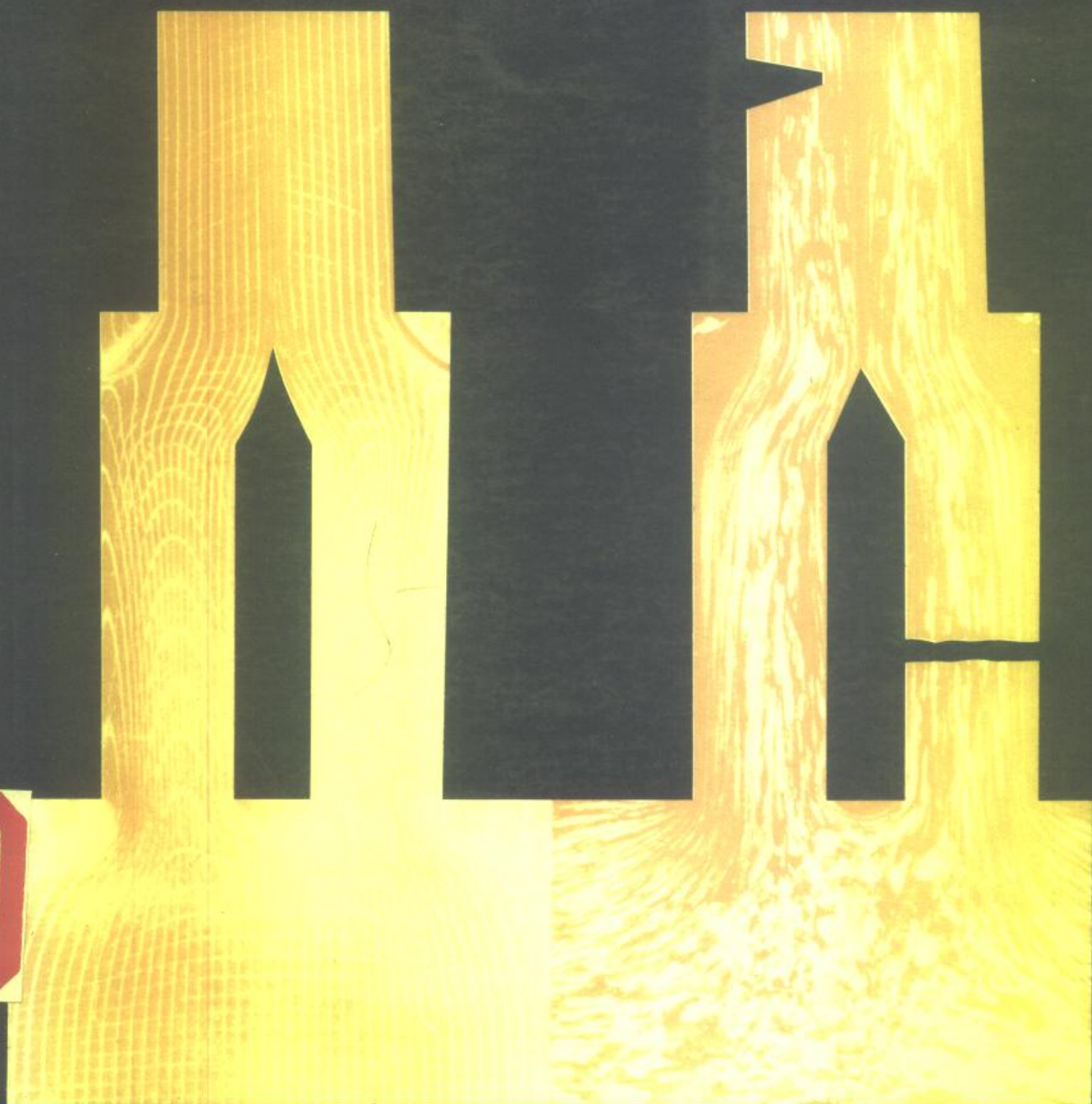


金屬塑性加工理論

林守儀 編譯

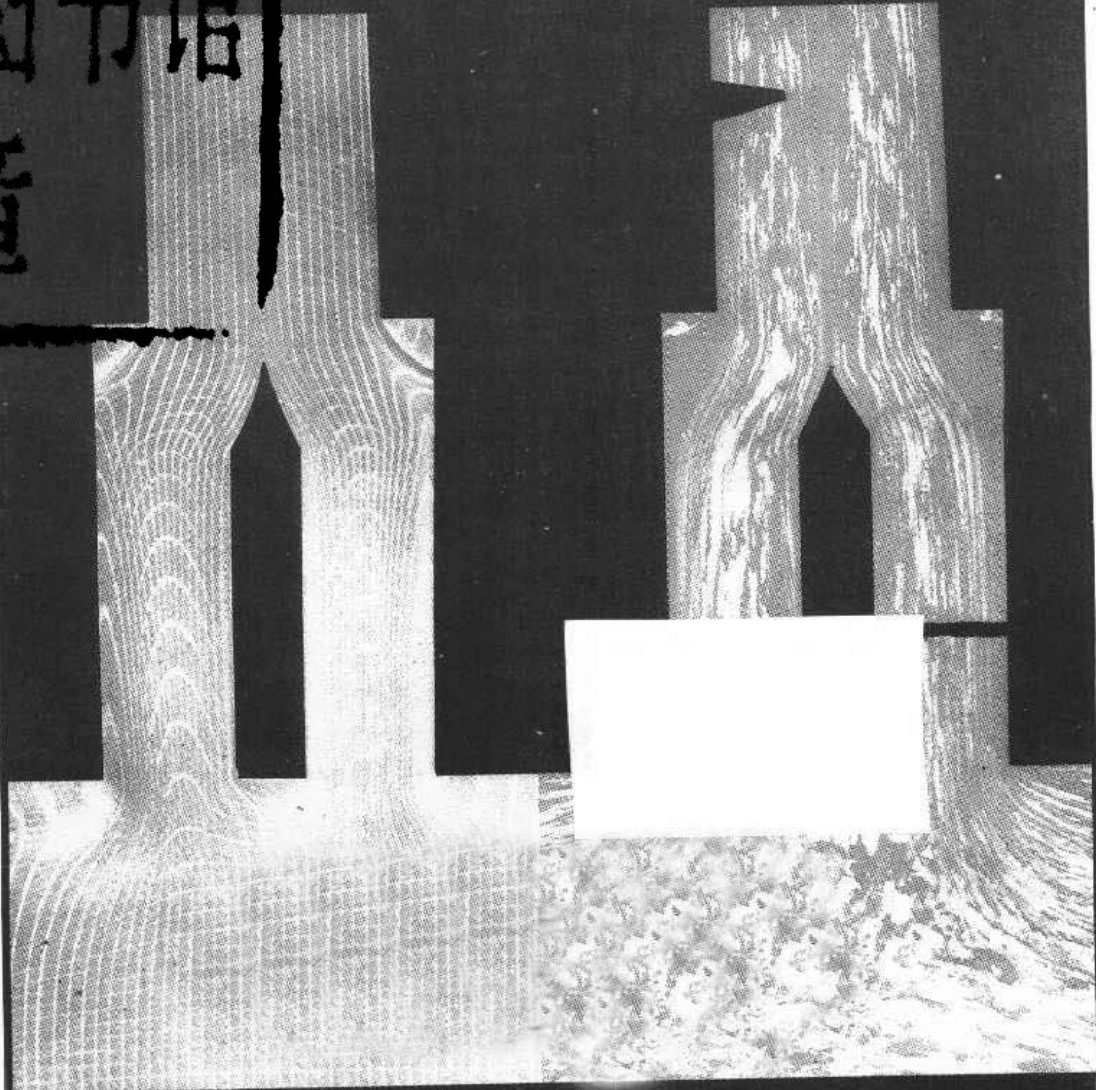


全華科技圖書股份有限公司 印行

金屬塑性加工理論

林守儀 編譯

學院圖書館
書章



全華科技圖書股份有限公司 印行

 **全華圖書**

法律顧問：陳培豪律師

金屬塑性加工理論

林守儀 編譯

出版者 全華科技圖書股份有限公司
地址 / 台北市龍江路76巷20-2號2樓
電話 / 5811300 (總機)
郵撥帳號 / 0100836-1號

發行人 陳 本 源
印刷者 華 一 彩 色 印 刷 廠

門市部 全友書局(黎明文化大樓七樓)
地址 / 台北市重慶南路一段49號7樓
電話 / 3612532 • 3612534

定 價 新臺幣 150 元
初版 / 76年11月

行政院新聞局核准登記證局版台業字第〇二二三號

版權所有 翻印必究

圖書編號 0211525

我們的宗旨：

**推展科技新知
帶動工業升級**

**為學校教科書
推陳出新**

感謝您選購全華圖書
希望本書能滿足您求知的慾望

「圖書之可貴，在其量也在其質」，量指圖書內容充實，質指資料新穎夠水準，我們本著這個原則，竭心盡力地為國家科學中文文化努力，貢獻給您這一本全是精華的“全華圖書”

為保護您的眼睛，本公司特別
採用不反光的米色印書紙！！

誌 謝

對於提供本書之圖表的所有人員以及允許本書再次使用
插圖之下列廠商，本人由衷感謝：

Rasselstein A. G. (Neuwied),	Plate I
Birmetals Ltd (Birmingham),	Plate IIa and Plate Vb
Formtecnic Machine Tools Ltd (Alcester)	Plate IIb
Paul Granby & Co Ltd (London) and	
Maschinenfabrik Hasenclever GmbH (Düsseldorf)	Plate III
ASEA Ltd (London)	Plate IV
Fielding & Platt Ltd (Gloucester)	Plate Va
W. E. Norton (Machine Tools) Ltd (Sheffield)	Plate VIa
Hi-Draw Machinery Ltd (Romsey)	Plate VIb

同時對於 Dr. J. A. Schey 與 McGraw - Hill 書局允許使
用圖 1.2 亦表感激。

原序

在工業生產與發展中各種不同的金屬加工扮演著重要角色，但是很多技術仍然仰賴作業人員長期之經驗。完整的理論則可以減少對瞭解各種加工方法所需之時間。理論也可對工具與製程提供最佳之選擇，使能量與材料得到最有效之運用。某些例子顯示出改善加工方法可減低公害，進而改善工業環境。

有些金屬加工分析起來似乎很難，但是對大多數的理論很少採用到高等數學，本書中所用之數學沒有超出六次微積分者，這些在大專課程中都已學習過了。本書以另一書「工業金屬加工程序之原理」為基礎，並提供理解金屬加工程序所需之所有基礎理論。應力分析、滑線場理論與上界限技巧均詳加說明，並指出其優、劣點。

多數的例題均附解答，因此本書可用於自修，有一整章是描述滾軋、鍛造、抽拉、擠製與切斷之各種實驗。這些可在完整的實驗設備或簡易的設備下進行。實驗包含力之量測、工具之選擇與過程之觀測。宜確實要求學生執行上述種種事項，期使理論與實際相結合。

網版圖的例子已廣泛地被使用，對於所有採用此法者，本人甚為欣慰，並對吾妻與家人在本書出版期間之關愛表示感謝。

G. W. R

1978

譯者序

本書原著 Geoffrey W. Rowe 是英國伯明罕大學教授。書中內容雖然以理論為主，但引用實例作說明，使理論與實際得以相互配合。

本書對於塑性加工理論之敘述分爲兩大部份。第一部引用力學的方法來解說。第二部份是提出兩種基本方法：滑線場理論與上界限法。對建立塑性加工理論頗有助益。

坊間有關塑性加工理論之中文書籍仍屬有限，但願本書能有拋磚引玉之效。本書倉促成稿，疏漏之處在所難免，敬請讀者不吝指正。

譯者 林守儀

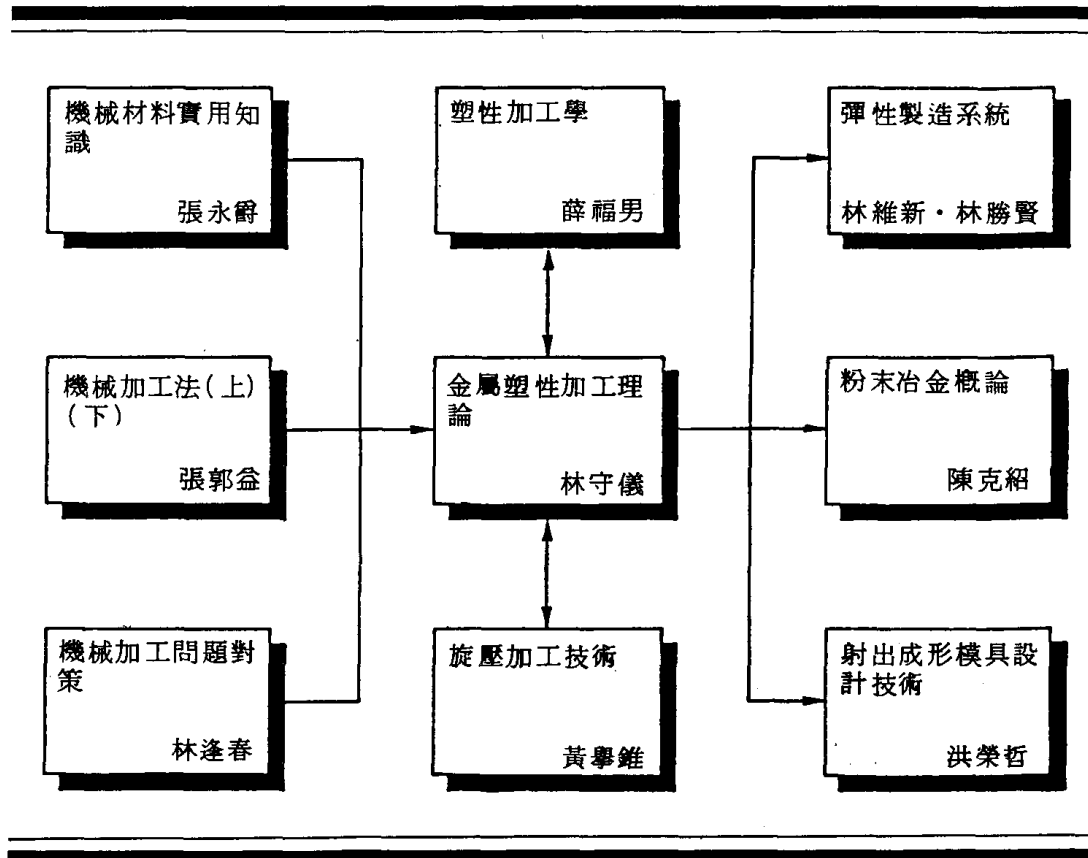
編輯部序

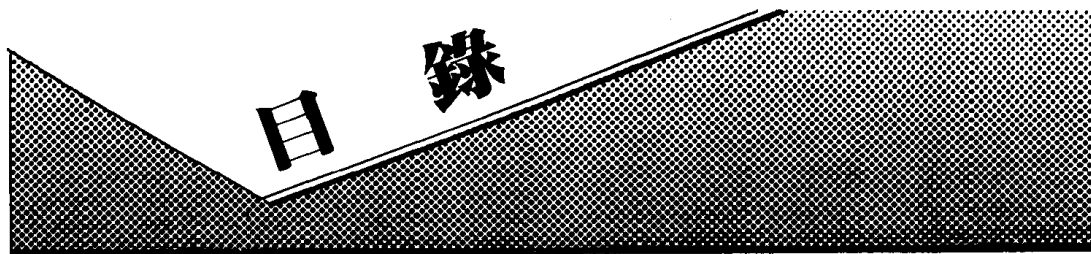
「系統編輯」是我們的編輯方針，我們所提供給您的，絕不只是一本書，而是關於這門學問的所有知識，它們由淺入深，循序漸進。

本書對於塑性加工理論之敘述分爲兩大部份，第一部份引用力學的方法來解說，第二部份則提出兩種基本方法：滑線場理論與上界限法，對建立塑性加工理論頗有助益，書中另一特色是對於每一種塑性分析法均先研討理論，再說明其在塑性加工中之應用，尤其對於滾軋、鍛造、抽拉、擠製均有詳細的研討，是現場製造、加工工程人員之最佳參考用書。

同時，爲了使您能有系統且循序漸進研習機械方面叢書，我們以流程圖方式，列出各有關圖書的閱讀順序，以減少您研習此門學問的摸索時間，並能對這門學問有完整的知識。若您在這方面有任何問題，歡迎來函連繫，我們將竭誠爲您服務。

流程圖





第一章 材質之決定	1
1.1 應力流曲線	2
1.2 以拉伸試驗決定應力流曲線之簡易法	3
1.3 平面應變壓縮	4
1.4 環形壓縮	6
1.5 扭轉試驗	6
1.6 高應變率試驗	7
1.7 由硬度試驗得到近似降伏應力曲線	8
第二章 合成應力下之降伏	11
2.1 平面應力之摩爾圓	11
2.1-1 摩爾圓用於二維應力，參考主軸	14
2.2 三維應力之摩爾圓	16
2.2-1 摩爾圓用於二維應力，參考主軸	16
2.3 降伏準則	16
2.3-1 Tresca 最大應剪力假設(1864)	17
2.3-2 Von Mises 最大剪應變能量學說	17
2.3-3 拉伸降伏應力 Y 與剪降伏應力 K 之關係	18
2.3-4 平面應變下之降伏	19
第三章 藉著應力之考慮來決定抽製與鍛造負荷	21
3.1 簡 介	21
3.2 對等向性變形之加工公式	21

3.2-1	線軸拉功的公式	22
3.2-2	抽拉加工功公式之應用例：在一次製程中 最大面積縮減之決定	24
3.2-3	棒之擠製	24
3.3	由局部應力來估算桿及線抽拉荷重	25
3.3-1	圓柱桿於錐形模中之抽拉	25
3.3-2	圓柱桿的無摩擦抽拉（ Y 為常數）	28
3.3-3	在桿抽拉中所容許的應變硬化	29
3.3-4	桿、線與板條抽拉、每次通過之最大面積 縮減	29
3.4	以應力來估算薄壁管之閉式抽拉	30
3.4-1	錐形模具中之閉式柱塞抽拉	31
3.4-2	錐形模具中之閉式心型軸抽拉	34
3.4-3	圓形輪廓模具之柱塞抽拉	34
3.5	管子引伸	35
3.6	由局部應力估算鍛造荷重	36
3.6-1	良好潤滑時薄板條之平面應變鍛造	36
3.6-2	具有高摩擦的薄板條之平面鍛造	39
3.6-3	平面潤滑圓盤之鍛造	39
第四章 滾軋荷重與能量之估算		41
4.1	以估算局部應力來決定滾軋壓力	41
4.1-1	微分方程的推演與其解	42
4.1-2	無外拉伸的滾軋	46
4.1-3	具有前向與後向拉伸的滾軋	48
4.1-4	每級最大減縮	49
4.2	平坦滾軋之裕度；厚度極限	50
4.2-1	希奇可克方程式	50
4.2-2	滾軋薄板條之極限厚度	52

4.3	滾軋彎曲與軋延彈回	53
4.4	軋延機能量	53
4.4-1	滾軋扭矩	53
4.4-2	軋延機能量	54
第五章 基本滑線場理論		55
5.1	引言	55
5.2	簡易壓縮之變形	56
5.3	用滑線估算應力	58
5.4	以滑線之旋轉來決定靜水壓	59
5.5	塑性體邊界上之滑線與應力	62
5.5-1	自由面	63
5.5-2	無摩擦界面	64
5.5-3	含有庫侖摩擦 ($\mu = \text{常數}$) 之界面	64
5.5-4	完全粗糙界面	64
5.6	滑線場於靜態系統之應用。平坦無摩擦壓板之 平面應變衝壓	65
5.6-1	板條厚度等於壓板寬度 ($h = b$)	66
5.6-2	壓板寬度為板條厚度的整數倍 ($b/h =$ $2, 3, 4$ 等等)	66
5.6-3	壓板寬度較板條厚度為大	66
5.6-4	板條厚大於壓板寬 (h/b 在 1 與 10 之間)	67
5.6-5	半無限大金屬塊之單衝頭衝壓 ($h/b \sim \infty$)	67
5.6-6	Brinell 硬度試驗	70
5.7	金屬流動之速度	70
5.7-1	速度圓之構成	71
5.7-2	滑線與速度圓的正交性	72

第六章	滑線場理論之應用、鍛造、擠製與抽拉	73
6.1	含滯留摩擦之兩壓板間平面應變壓縮的滑線場	73
6.1-1	滑線場之構成 ($b/h = 3.6$)	73
6.1-2	速度圓之構成	75
6.1-3	由滑線場來決定應力 ($b/h = 3.6$)	76
6.1-4	含滯留摩擦之平行壓板的通解 ($b > h$)	77
6.2	具有中等摩擦值的壓縮	77
6.3	平面應變衝壓或衝孔之滑線場解	78
6.3-1	平面衝動的衝壓 ($h > b$)	78
6.3-2	平面衝頭之深衝壓	81
6.3-3	半無限大物體之楔形衝壓	81
6.4	板條、線與桿之抽拉	81
6.4-1	板條抽拉	81
6.4-2	線與桿抽拉	83
6.5	平面應變擠製	83
6.5-1	2 : 1 後向擠製, 180° 模具角	84
6.5-2	面積大縮減之擠製	86
6.5-3	非對稱與多孔模具之擠製	86
6.6	擠製時之金屬流線	87
6.7	軸對稱與應變硬化材料滑線場	89
6.8	金屬切削滑線場	90
第七章	上界限解	95
7.1	上界限分析之原理	95
7.2	擠製率為 2 : 1 之上界限解	96
7.3	衝壓上界限解	98
7.4	深衝壓之上界限解	99
7.5	平滑壓板壓縮時之上界限解	100

7.6	應用上界限技巧於軸對稱	101
7.7	金屬切削之簡化近似法	102
第八章 一些建議性的實驗研究		107
8.1	滾平	107
8.2	滾軋的附加實驗	109
8.3	由變形格子模型繪出滑線場	109
8.4	滑線場模型上的附加實驗	113
8.5	擠製	114
8.6	擠製時的附加實驗	114
8.7	鍛造與斷面滾軋	115
8.8	線抽拉	115
8.9	抽拉之附加實驗	116
8.1	金屬切斷	117
8.1	切削附加實驗	118
例題		119
解答		128



1

材質之決定

Determination of Material Properties

橋樑或航空器的設計，最需注意的是確保所受之力不會引起任何永久變形。所有的彈性變形於外力除去之後，將完全恢復原有之形體。金屬加工剛好相反，其主要目的則在造成永久或塑性變形，例如 30 公厘厚的小鐵塊，經由滾軋加工成 0.8 公厘的板條。

由彈性轉移至塑性變形過程，可經由下列程序很容易證明，將一退火後直徑為 0.5 公厘的銅線，用虎鉗夾住，然後用鉗子拉伸之，輕微的拉無顯著的影響，但是用力拉則產生永久性的伸長，同時使銅線變得僵硬與挺直。事實上彈性銅線的彈性變形在 0.1% 以下，且荷重除去之後即消失，其在大多數的金屬加工中無多大意義，通常將其忽略，而假設金屬之變化是由完全剛性至完全塑性。

較嚴謹地說，塑性變形的開始是以某種降伏應力（力除以斷面積）來定義。這在理論與實用上都十分重要。無論如何，在塑性變形過程，材料的強度隨應變硬化而增加，其含意即為降伏應力隨應變（長度變量或斷面積）增加。因此以降伏應力—應變曲線來表示材料的機械性質，十分方便。通常參考應力—應變或應力流曲線。

1.1 應力流曲線 (Flow-stress curves)

傳統的拉力試驗，在很多書上有詳細的說明，由於在小小的應變時破斷的發生，導致拉伸的不穩定，此種試驗於金屬加工中的價值有限。除此之外，公稱應力（力量除以原來斷面積 A_0 ）及公稱應變（伸長量 $L - L_0$ 除以原來長度）無物理意義。在金屬加工中具有大塑變，使用真應力 σ 較合意。其定義為力量 P 被作用中的面積 A 所除，而真應變 ϵ ，為一種增量的定義。因此

$$\sigma = \frac{P}{A}; \quad d\epsilon = \frac{dL}{L} = -\frac{dA}{A} \quad (1.1)$$

後者的出現是一致的，因為塑性變形是一種剪的過程，以及體積不變。此點直到高應變均已被證實，且經常於理論中被假設。

$$dV = AdL + LdA = 0; \quad \frac{dL}{L} = -\frac{dA}{A} \quad (1.2)$$

因此

$$\epsilon = \int_{A_0}^A -\frac{dA}{A} = -\ln \frac{A}{A_0} = \ln \frac{A_0}{A} \quad (1.3)$$

大部份金屬於退火狀態，其應力流可用冪次律（power law）適當且準確地表示，即

$$\sigma = \sigma_0 \epsilon^m \quad (1.4)$$

這對於功之分析頗為方便，但對於應變硬化金屬，可再加以化簡，假設降伏應力隨應變直線增加，超過任何限制範圍考慮為

$$\sigma = Y + B\epsilon \quad (1.5)$$

1.2 以拉伸試驗決定應力流曲線之簡易法

(A simple method for determining a flow-stress curve from a tensile test)

在拉伸試驗中於拉伸不穩定時，荷重達最大值，通常視此紀錄為極限或最大拉伸應力 (ultimate or maximum tensile stress) , P_u/A_0 。

$$\frac{dP}{d\epsilon} = 0; \quad \sigma \frac{dA}{d\epsilon} + A \frac{d\sigma}{d\epsilon} = 0 \quad (1.6)$$

因為 $P = A\sigma$

但 $d\epsilon = -(dA/A)$ ，因此 (1.6) 式成爲

$$-A\sigma + \frac{A d\sigma}{d\epsilon} = 0; \quad \frac{d\sigma}{d\epsilon} = \sigma \quad (1.7)$$

σ 以 (1.4) 式代入， ϵ_u 替代最大荷重點的應變項 (ϵ)

$$m\sigma_0\epsilon_u^{m-1} = \sigma_0\epsilon_u^m; \quad m = \epsilon_u \quad (1.8)$$

因此，應變硬化指數 m ，可經由在此荷重時之斷面積求得，對圓柱形試片

$$A_u = \frac{\pi}{4} d_u^2;$$

$$m = \epsilon_u = \ln \frac{A_0}{A_u} = (d_0/d_u)^2 \quad (1.9)$$

求 σ_0 ，用 (1.4) 式及求 P_u

$$\sigma_u = \frac{P_u}{A_u} = \sigma_0\epsilon_u^m \quad (1.10)$$

在 $\ln \sigma$ 與 $\ln \epsilon$ 關係圖中，經過 (σ_u, ϵ_u) 點，繪一斜率 $m = \epsilon_u$ 之直線，這是很方便的， $\ln \sigma$ 與 $\ln \epsilon$ 之關係如 (1.4) 式

$$\ln \sigma = \ln \sigma_0 + m \ln \epsilon \quad (1.11)$$