

塑性加工學

林文樹・劉曉嶺・王文樑・王良泉 著
梁銘儉・翁世樂・黃登淵・蔡幸甫



學 工 加 性 塑

林 文 樹

國立成功大學礦冶系冶金組
畢業
金屬工業發展中心工程師

梁 銘 儉

國立成功大學機械工程系畢
業
金屬工業發展中心副工程師

劉 曉 嶺

國立成功大學礦冶研究所冶
金及材料組碩士
金屬工業發展中心工程師

翁 世 樂

國立成功大學礦冶系冶金組
畢業
金屬工業發展中心工程師

王 文 樑

國立成功大學礦冶研究所冶
金及材料組碩士
金屬工業發展中心副主任

黃 登 淵

國立臺灣大學機械研究所碩
士
高雄工專模具工程科講師

王 良 泉

國立成功大學礦冶系冶金組
畢業
旭博實業股份有限公司總經
理室專員

蔡 幸 甫

國立成功大學礦冶系冶金組
畢業
工研院工業材料研究所研究
員

三 民 書 局 印 行

© 塑性加工學

作者

林文樹 劉曉鎮 王文樑 王良泉
梁銘儉 翁世樂 黃登淵 蔡幸甫

發行人

劉振強

出版者

三民書局股份有限公司

印刷所

三民書局股份有限公司

地址／臺北市重慶南路一段六十一號

郵撥／〇〇〇九九九八一五號

初版

中華民國七十六年五月

編號

S 44070

基本定價 拾肆元

行政院新聞局登記證局版臺業字第〇二〇〇號



編 者 序

本書遵照教育部所規定之「塑性加工學」教學標準而撰，專供工業專科學校機械科、模具科等高年級教科書之用，亦可供為有志從事此行業之專技人員參考。

全書共計八章，第一章到第三章著重熱間鍛鍊、楔鍛造工程及鍛造模具設計，第八章著重於鋼鐵之冷間鍛造工程及非鐵之冷鍛冷衝擊成形，此四章皆偏重於大量塑性變形 (Massive Plastic Deformation)。第四、五、六、七章則著重於初級加工 (Primary Fabricated)，線材、管材、片及板狀材等之另件冷作成形，係屬於少量塑變之另件冷作成形，改變原胚料厚度與長度較少。由於塑性加工範圍極廣，故部份特請各類專長專家執筆完成，俾使本書更能提供專業人員參考。

本書大致以 ASM Hand Book, "Forging and Casting"、"Metal Forming" 為藍本，再參考先進國家之專業書籍文獻並配合國內現況而編撰。機械名詞悉採用官方公佈及工程上通用辭句，文中有關中英對照表並附於書末可資參考，章末並附有習題供學生作業之用。

本書第一、二、三、八章內容曾在高雄工專試教，足夠供一學期三個學分教學份量。全書亦可略去目錄中有 * 記號者不教而做為一學期三個學分教材之用。

本書係在研究工作之餘編輯，內容應能維持程度需求，惟因倉促成書及個人才疏學淺，錯誤疏忽之處在所難免，尚祈先進賢達前輩指正，至感深謝。

林 文 樹 謹序

民國 75 年 4 月

塑性加工學 目次

編 者 序

第一章 鍛造概論

第一節 鍛造設備之種類及特性·····	林文樹·····	1
一、閉模鍛造落錘·····		1
二、高速高能鍛造機·····		10
三、摩擦壓床或螺旋壓床·····		13
四、機械壓床·····		14
五、液壓壓床·····		24
六、壓扁或鍛粗成形機·····		26
* 七、多滑塊壓床·····		31
八、迴轉鍛造·····		32
* 九、電氣端鍛粗機·····		48
* 第二節 鍛造附屬設備種類·····	林文樹·····	50
一、材料切斷設備·····		50
二、表面清除設備·····		55
三、自動化搬運設備·····		56
四、閉模鍛造之補助成形設備·····		57
第三節 閉模鍛造落錘及壓床之選擇·····	林文樹·····	62
一、鍛造機之滑塊速度·····		63
二、曲柄式壓床之選擇·····		65
* 三、螺旋壓床之選擇·····		68
四、落錘鍛機之選擇·····		71
五、液壓床之選擇·····		79

2 塑性加工學

六、鍛造機之選定	81
第四節 鍛模及其材料	翁世樂 91
一、鍛造用模具必備之性質	91
二、閉模鍛造用模具材料	92
三、熱間端鍛用模具材料	105

第二章 鍛造方法

第一節 自由鍛造	林文樹 113
一、模具及工具	113
二、鍛造或鍛鍊成形比	119
三、自由鍛造加工法之分類及成形實例	119
第二節 落錘閉模鍛造模具設計原理及鍛造作業	林文樹 131
一、落錘鍛造模形狀	131
二、鍛胚設計及其模穴設計	136
三、鍛品設計圖之作成	164
四、粗鍛胚形狀之決定及其模具設計	165
五、鍛造模面各成形模穴之排列	171
* 六、鍛造模圖面之作成	172
* 七、剪緣模設計	172
* 八、連桿鍛件及落錘鍛造模具設計例	173
九、鍛造作業	177
第三節 壓床閉模鍛造及模具設計	林文樹 178
一、機械鍛造壓床之模組	180
二、壓床之鍛件分類及其工程設計之特徵	183
三、壓模鍛模及其工程設計之特徵	187
四、壓床鍛造作業	188
五、鍛造工程設計	189
* 六、完全密閉鍛造	198

* 七、擠壓鍛造	208
* 八、溫間閉模鍛造	212
* 第四節 鍛造軋輥	林文樹 218
一、軋輥方法	219
二、輥模之形狀及模具材料	219
三、軋輥模設計步驟	223
第五節 環形輥鍛	林文樹 229
一、環鍛輥模材料及公差	229
二、環鍛之胚料準備及其實例	229
三、環狀件成形方法選擇及金屬流向	234
第六節 熱間端鍛粗鍛造	林文樹 236
一、打擊之荷重計算	238
二、熱間鍛粗之法則	239
三、端鍛粗及沖孔	248
四、偏位端鍛粗	252
五、管狀之端鍛粗	253
* 第七節 鍛造潤滑	林文樹 254
一、熱鍛或溫鍛潤滑劑要求之特性	254
二、鍛模之潤滑	255
三、鍛模潤滑劑種類	258
四、溫間鍛造之潤滑	260
五、鍛材之潤滑	262

第三章 特種金屬之鍛造

第一節 不銹鋼之鍛造	林文樹 269
一、鍛造方法	269
二、不銹鋼之可鍛性	270
三、各種不銹鋼系列之鍛造性質	273

4 塑性加工學

四、鍛造設備與模具	282
五、不銹鋼之鍛造加熱技術	284
六、模具之預熱與潤滑作業	286
七、剪緣模具材料及作業	287
八、清洗	287
第二節 耐熱金屬鍛造	林文樹 288
一、鐵基耐熱合金之鍛造	290
二、鎳基耐熱合金之鍛造	294
三、鈷基耐熱合金之鍛造	300
四、鍛造設備及鍛模	302
五、耐熱合金之鍛造作業	303
第三節 鋁合金鍛造	林文樹 305
一、鍛造用鋁合金及其鍛造溫度	306
二、鍛造方法	309
三、可鍛性	324
四、健全之鍛造品製造	328
五、鋁合金鍛造實例	332
第四節 鈦及鈦合金之鍛造	林文樹 335
一、鈦合金分類及其特性	335
二、鈦及鈦合金之鍛造性質	341
三、鍛造對其機械性能之影響	343
四、鍛造作業應注意事項	348
* 第五節 鎂合金之鍛造	林文樹 349
一、鍛造用鎂合金種類及鍛造溫度	349
二、鎂合金鍛造件設計依據為	351
三、鎂合金鍛造件之應用例	353
第六節 銅及銅合金之鍛造	林文樹 357
一、鍛銅合金種類	358

二、鍛造設備及模具	359
三、鍛造作業	360

第四章 冷作成形概論

第一節 壓床及其輔助設備	梁銘儉	365
一、動力來源		365
二、機架的種類		371
三、滑塊作動的方法		373
四、作動滑塊的數目		379
五、壓床精確度		380
六、壓床之容量		383
七、機械式壓床之離合器及制動器		388
八、壓床附屬設備		391
九、壓床輔助設備		394
第二節 金屬片成形之壓床選用	梁銘儉	399
一、分析零件的特性		399
二、使用工具的決定		402
三、機械壓床的選用		403
四、油壓壓床的選用		406
第三節 金屬片成形之潤滑選用	梁銘儉	407
一、選擇潤滑劑的方法		409
二、壓造嚴苛性之分等		410
三、低嚴苛性壓造過程之潤滑劑		412
四、中嚴苛性壓造過程用潤滑劑		412
五、高嚴苛性壓造過程用潤滑劑		413
六、最高嚴苛性壓造過程使用之潤滑劑		414
第四節 各種成形模具材料的選擇	劉曉嶺	416
一、冷間擠型用模具材料		416

6 塑性加工學

二、下料加工用工具材料的選擇·····	419
三、冷打用模具材料的選擇·····	424
四、冷間壓床成形用材料的選擇·····	425
五、深引伸用模具材料的選擇·····	427
六、壓印加工模具材料的選擇·····	427

第五章 鋼片、鋼帶及鋼板之成形法

第一節 剪切、冲孔及下料·····	黃登淵	431
一、剪切過程·····		431
二、金屬板剪斷面之形狀·····		432
三、冲頭離隙對於剪斷面之影響·····		433
四、剪切力與能量計算·····		435
五、冲孔·····		437
六、下料·····		444
第二節 壓印·····	黃登淵	449
一、壓印加工之過程·····		449
二、典型的銀幣加工程序·····		449
三、壓花加工·····		450
第三節 壓床彎摺·····	黃登淵	451
一、彎曲時，冲床能力之計算·····		45 ¹
二、彈性回復·····		452
三、展開長度之計算·····		453
四、彎曲半徑之限制·····		454
五、彎曲用之胚料一般工作原則·····		455
第四節 摺床彎摺·····	黃登淵	455
一、摺床彎摺所須能力·····		457
二、摺床常用之模具·····		457
三、特殊摺床模具·····		458

第五節 壓床成形·····	黃登淵·····	462
一、引張凸緣成形·····		462
二、壓縮凸緣成形·····		463
三、孔凸緣·····		463
四、孔凸緣的等線值·····		464
第六節 多滑塊機成形·····	黃登淵·····	467
一、單滑塊機之運動·····		469
二、多滑塊機之運動·····		469
第七節 引伸成形·····	黃登淵·····	470
一、引伸加工中材料的變形過程·····		470
二、材料的受力情形與板厚度的變化·····		470
三、引伸製品料片尺寸的求法·····		472
四、引伸率·····		477
五、引伸模具·····		478
六、圓筒引伸模具設計例·····		481
七、反向引伸·····		483
八、角筒引伸·····		484
九、其他容器之引伸·····		489
第八節 旋壓成形·····	黃登淵·····	492
一、旋壓成形設備·····		492
二、旋壓成形的方·法·····		493
第九節 橡皮墊板成形·····	黃登淵·····	495
一、利用橡皮模具之冲剪加工作業·····		495
二、橡皮模具成形加工作業·····		496
第十節 外形輥成形·····	黃登淵·····	499
一、成形品剖面形狀·····		500
二、成形過程·····		500
三、成形機械·····		503

第十一節 三輥成形	黃登淵	505
一、金字塔型		506
二、挾鉗型三輥成形		506
三、設備選擇		507
四、輥子撓曲		507
第十二節 落錘成形	黃登淵	508
一、落錘成形的優缺點		508
二、銑製程序		508
第十三節 爆炸成形	黃登淵	509
一、壓力大小之控制參數		509
二、爆炸成形是合適成形作業		509
第十四節 電磁成形	黃登淵	510
一、電磁成形基本原理		510
二、製品材料		512
第十五節 成卷片帶剪切	黃登淵	512

第六章 棒材、管材之成形加工

第一節 圓棒與型棒之彎曲成形	王文樑	519
一、彎曲加工用機械		520
二、模具		522
三、潤滑		523
第二節 管材之彎曲成形	王文樑	524
一、彎曲加工方式之選擇		524
二、模具		524
三、有內心模桿做管材彎曲		527
四、不用心模桿之管材彎曲		530
五、機具		530
六、熱彎曲		531

七、管材·····	533
八、薄管之彎曲·····	534
九、潤滑·····	535
第三節 管材之旋壓推擠成形·····王文樑·····	536
一、管材旋壓推擠成形之方式·····	536
二、被加工材之成形性·····	538
三、設備·····	538
四、模具·····	539
五、管壁厚度之限制·····	541
六、實例·····	541
七、機械設備變數之影響·····	543
八、成品之表面品質·····	543
九、速率及進給·····	544
十、旋壓加工對管件性能之影響·····	544
十一、管材之旋壓性·····	546
第四節 棒材、型材與長件之矯直·····王文樑·····	547
一、人力矯直·····	549
二、藉加熱之矯直·····	549
三、壓床矯直·····	550
四、平行輥子組之矯直·····	550
五、旋轉矯直·····	552
六、拉伸矯直·····	555
第五節 管材之矯直·····王文樑·····	556
一、形管材料之影響·····	557
二、矯直壓力之控制·····	557
三、壓床矯直·····	558
四、平行輥矯直·····	558
五、雙輥式旋轉矯直·····	558

六、多輥式旋轉矯直·····	559
第六節 棒材及管材之旋鍛成形·····王文樑·····	560
一、用途·····	560
二、材料在旋鍛時之內部流動·····	562
三、旋鍛機·····	563
四、旋鍛模·····	566
五、送料速率之影響·····	569
六、鍛模槽斜形部斜角之影響·····	569
七、表面污雜之影響·····	569
八、潤滑·····	569
九、熱旋鍛·····	570
十、旋鍛作業之問題及解決·····	570

第七章 特種金屬之成形

第一節 不銹鋼之成形·····蔡幸甫·····	573
一、合金之選擇·····	577
二、潤滑·····	580
三、各種成形法·····	582
第二節 耐熱合金之成形·····蔡幸甫·····	594
第三節 鋁合金之成形·····蔡幸甫·····	596
一、成形性·····	596
二、設備、模具及潤滑·····	598
三、下料及沖孔·····	599
四、摺床成形·····	601
五、外形輥成形·····	601
六、深引伸成形·····	603
第四節 銅合金之成形·····蔡幸甫·····	606
一、合金·····	606

二、加工硬化特性	606
三、銅合金之成形性	609
四、設備與模具	609
五、潤滑	610
六、深引伸	610
第五節 鈦合金之成形	蔡幸甫 612
一、反彈特性	612
二、工具材料及潤滑劑	612
三、冷作成形	614
四、熱作成形	614

第八章 其他冷間成形

第一節 冷打頭	林文樹 619
一、冷打頭材料	619
二、冷打頭機械	623
三、冷打頭工具及材料	625
* 四、冷打頭成形實例	629
* 五、冷打頭材料之熱處理	631
* 六、冷打頭材料之潤滑處理	633
第二節 冷擠	林文樹 634
一、鋼之冷間鍛造性	636
二、冷鍛鋼材之檢驗	646
三、擠壓比	648
四、冷擠成形設備及成形力	652
五、冷鍛模具設計應注意事項	660
* 六、後方擠壓鍛造之模組構成	663
* 七、後方擠壓模具設計	664
* 八、擠壓鍛品形成及設計	668

第三節 非鐵金屬之冷間衝擠.....	林文樹.....	670
一、鋁及鋁合金衝擠成形.....		672
* 二、銅及銅合金之冷間擠壓或衝擠.....		682
* 三、鉛合金之冷間衝擠成形.....		684
* 四、鎂合金之衝擠成形.....		685
第四節 珠擊法.....	王良泉.....	687
一、珠擊行爲.....		687
二、噴珠的形式和大小.....		688
三、珠擊設備.....		690
四、珠擊變數的控制.....		694
五、珠擊的用途.....		698
六、珠擊法的限制.....		700
七、珠擊後處理.....		701

專有名詞英中對照表

第一章 鍛造概論

第一節 鍛造設備之種類及特性

鍛造所使用之落錘及壓床成形設備概可分為自由鍛造或開模鍛造（Open-Die Forging, 或 Free Forging）設備及閉模鍛造（Closed-Die Forging）設備等二大類。當然以閉模鍛造設備亦可做自由鍛造，以自由鍛造設備亦可做少量而形狀簡單之閉模鍛造件，然此並非正統之作法。二種或二種以上之鍛造設備亦可連接使用來鍛製特別形狀之另件。譬如可用自由鍛落錘之上下平坦模（Flat Die）做扁薄狀（Pancaking）之自由鍛件，然後再利用閉模鍛造壓床或落錘做閉模鍛件。

閉模鍛造之主成形設備分類概如表 1-1 所示。本文僅介紹一般較常見者之閉模鍛機，茲分別說明如下：

一、閉模鍛造落錘

閉模鍛造落錘除相擊落錘外，通常落錘包括有較重之滑塊（Ram）做上下垂直衝擊運動，當滑塊向下打擊時，會對落錘底座之固定砧（Anvil）產生打擊力。上模固定在滑塊上，下模固定在砧蓋（Anvil Cap）上。金屬胚料放置在下模上，當上模及滑塊向下打擊時，胚料在模具內發生塑性變形，如此連續打擊以達到成形目的。由表 1-1 可知閉模鍛造落錘概可分為自由落下落錘（Air Lift Gravity Drop Hammer）、動力落下落錘（Power Drop Hammer）及相擊落錘（Counter Blow Hammer）等 3 種，分別說明如下：

A. 自由落下落錘：

自由落下落錘亦叫自由落體落錘，即打擊力完全藉助於活塞桿（Piston Rod）及滑塊之自由落體重量，並沒有受到額外之加壓力。較常見之此種設備計有落板落