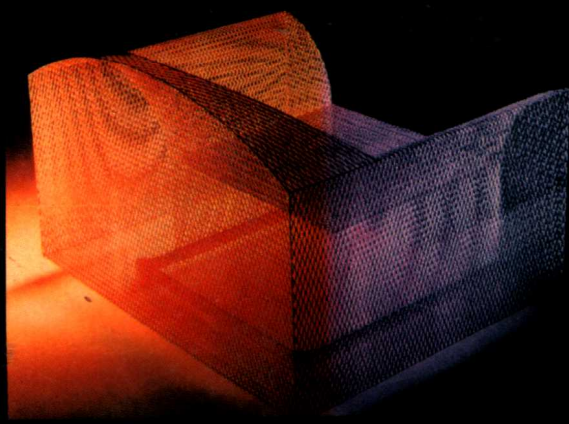
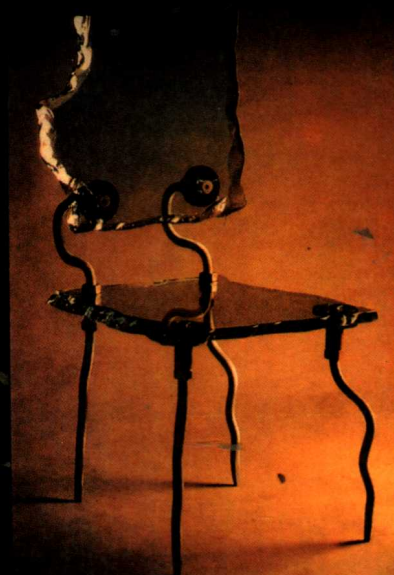


工藝材料概說

李隆盛 著



雄獅  美術

工藝材料概說

李隆盛 著

工藝材料概說

作 者 李隆盛
發行人 李賢文
美術設計 朱卓慧
出版者 雄獅圖書股份有限公司
地 址 台北市忠孝東路四段216巷33弄16號
電 話 (02)7726311~3
郵撥帳號 0101037-3號
打 字 華美照相排版有限公司
製 版 立全彩色製版公司
印 刷 正翔印刷有限公司
定 價 200元
初 版 中華民國七十八年二月
行政院新聞局登記證局版台業字第0005號
本書如有缺頁或裝訂錯誤，請寄回更換

版權所有•翻印必究

編輯大意

一、本書依據民國七十五年二月教育部公布之「工業職業學校工藝群課程標準」編定。適合高級中等學校工藝群甲、乙類美工科第一學年下學期專業科目「工藝材料概說」教學之用。

二、課程標準教材大綱所訂六項單元如下：

- | | |
|-----------|--------------|
| 1. 概說 | 4. 材料質感與加工方式 |
| 2. 工藝材料類別 | 5. 材料計算 |
| 3. 工藝材料屬性 | 6. 選材與取材 |

本書爲了使各種材料的介述與解說連貫，採下表之架構呈現教材內容：

三、本書專有名詞，以遵照民國七十年八月教育部公布之「材料科學名詞」（金屬部分・塑膠部分・陶瓷部分）爲準，並酌附英文以資對照。

四、本書之編撰曾參考或引用國內外有關書籍、資料（列如書末「參考書目」），謹向原著者及出版者致謝。

目錄

第一章 概 論	7
1.1 材料的種類	
1.2 材料的性質	
1.3 材料試驗	
1.4 工藝材料的範圍	
第二章 金屬材料	25
2.1 金屬材料的通性和類別	
2.2 鐵類金屬	
2.3 非鐵類金屬	
2.4 金屬材料的選用與識別	
2.5 金屬材料的加工概要	
第三章 聚合材料	61
3.1 木材	
3.2 竹材	
3.3 纖維材	
3.4 紙	
3.5 皮革	
3.6 塑膠	
3.7 橡膠	
3.8 粘着劑	
3.9 塗料	

第四章 陶質材料

111

4.1 陶瓷

4.2 玻璃

4.3 耐熱材料

4.4 磨料

4.5 石材

4.6 水泥

4.7 石膏

第五章 複合材料

139

5.1 顆粒型複合材料

5.2 纖維型複合材料

5.3 層疊型複合材料

附錄一 常用公英制單位換算

附錄二 化學元素週期表

參考書目

156

第一章 概論

材料不但是人類生活的必需品，也是社會文明的基礎。就前者說，人類日常生活中的食、衣、住、行隨時都和材料發生密切的關係（圖1.1）；就後者說，先民運用智慧，利用各種不同的材料來維持和改善生活，並創造各種工具（圖1.2）和用品，使人類克服了洪荒猛獸的侵襲，成為地球上的主宰。從人類進化史上石器時代、陶器時代、銅器時代和鐵器等時代的劃分，就足以說明材料利用和人類進化的緊密關聯。



圖1.1 材料和人類生活的密切關係



圖1.2 石鋸和石斧

地球上的生物和礦物是製成材料的基本原料。原料 (raw material) 是自然生成，未經加工的物質；材料 (material) 則是原料經過一種或一種以上層次的精選加工 (如選礦、精煉、合成) 而成的物質。經過不同層次加工後的材料會各有其特性，例如一般礦物經過選礦及粗煉後所得產品成份單純、結構簡單，常被稱為「素材」，素材經過精煉和加工後，性質即大為改善，可供製作工業製品之用。此外，應用上也常因為特殊需要而將兩種以上的材料組成另一種具特殊性質的合成材料。

本章將介紹材料的種類、性質、試驗以及工藝材料的範疇。

1.1 材料的種類

材料的種類繁多。依物理狀態分，有氣態材料、液態材料和固態材料三種。依化學機能分，有無機材料 (金屬、陶瓷、玻璃等) 和有機材料 (塑膠、木材、紙、纖維、皮革等) 兩種；依使用目的分，有機械材料、電氣材料、營建材料和工藝材料等多種。而依材料化學成分和組織結構則有下列四種 (圖1.3及表1.1)：

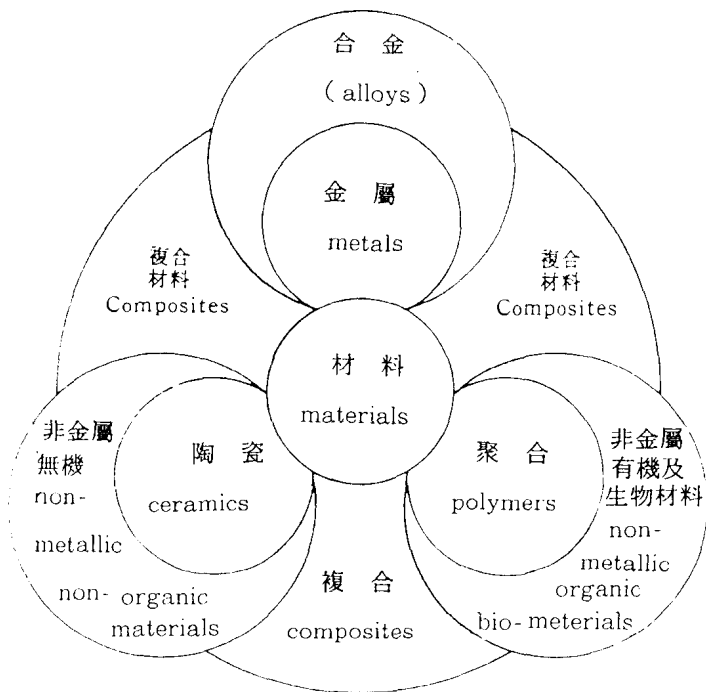
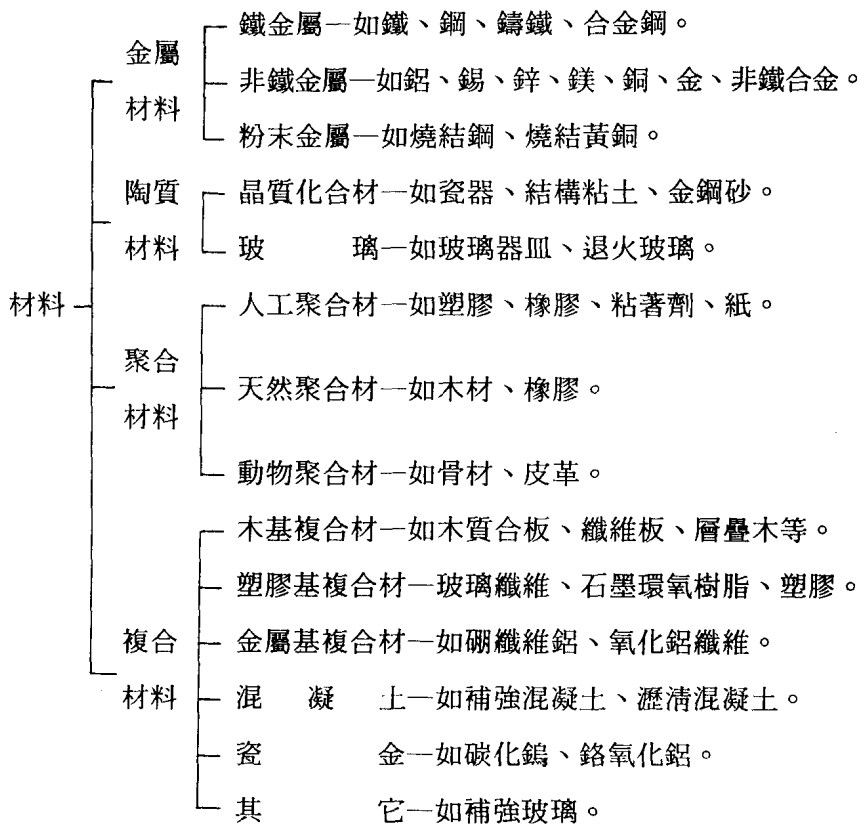


圖1.3

材料的分類——依化學成分和組織結構分

表1.1 材料分類的說明



一、金屬材料 (metallic materials)

金屬材料包括金屬 (metal) 和合金 (alloy)。例如銅、鐵、鉛、錫、鋁、鎂、鋅、鎳等許多純金屬和它們的合金都是金屬材料。一般都具有良好的導電和導熱性，相當高的強度、剛性、延性、塑性和耐震性。它們特別適合作為結構或荷重元件之用。由一種金屬和一種或一種以上的其它金屬或非金屬結合而成且仍具有金屬性質的結合體稱為合金。事實上，純金屬的用途較少，工業上通常調配金屬使成合金以達到特別的性質要求。因此，沒有特別指明時，「金屬」一詞包含純金屬和合金。

一、聚合材料 (polymeric materials)

聚合材料是指由大量的有機分子 (碳、氫等) 聚合而成的材料 (常被稱為高分子材料)，例如木材、橡膠、塑膠和粘著劑等都是。它們大多是農、林、漁、牧和石化業的產品，導電性和導熱性不良，強度低，不適於高溫下使用，但一般質輕，對腐蝕有很強的抵抗力。有

些聚合材料（如熱可塑性塑膠）有極佳的延性、塑性和耐震性，但也有些聚合材料（如熱硬化性塑膠）則有完全相反的性質。

三、陶質材料（ceramic materials）

陶質材料是指由泥土和砂石等土石原料（矽、氧、碳、氮等化合物）製成的材料，例如磚、玻璃和金剛砂等都是。導電性和導熱性都不佳；雖然強度和硬度很高，但延性、塑性和耐震性不良，所以在結構荷重元件方面的用途不如金屬。可是，有很多陶質材料對高溫 and 某些腐蝕介質有極佳的抵抗力，且有許多優良的化學、電氣和熱學性質。

四、複合材料（composite materials）

複合材料是由前述三種材料中的二種或二種以上不同材料所構成而產生任一單獨材料所無法獲致之性質的複合體。例如混凝土、夾板、玻璃纖維等都是。其性質依複合的目的和方式有很大的變異，如有質輕、堅固、延性佳且耐高溫的複合材料，也有質硬且耐震的複合材料等。

1.2 材料的性質

研究材料的主要目的是要瞭解各種材料的各種特性，以便使適當的材料用在適當的場所。所以探討材料的性質相當重要，本節先介紹一些有關材料性質的定義或術語（專有名詞）。

材料的性質通常可分為三大類加以討論，即：(1)物理性質（physical property）；(2)化學性質（chemical property）；和(3)機械性質（mechanical property）。分別敘述如下：

一、物理性質

物理是能量的科學，所以材料的物理性質是材料在電、磁、熱等能量作用下所表現的特性，如導電性、磁性和導熱性等，通常由物理係數（如電阻係數、導磁率和導熱度等）決定。實用上較重要的物理性質如下列各項：

1. 比重（specific gravity）

比重是物體之重量與同體積 4℃ 水之重量的比值。就同一材料而言，比重會因純度、溫度和加工程度等因素的不同而略有差異。例如

，同一金屬，受過軋、鍛者比受過鑄造者比重大。

2. 比熱 (specific heat)

比熱是 1 克物質的溫度升高 1°C 所需的熱量以卡 (calorie, cal) 表示之數值。水的比熱為 $1 \text{ cal/g}^{\circ}\text{C}$ ，是比熱最大的物質。

3. 導熱度 (heat conductivity)

導熱度是物質傳導熱量的能力，以物體內相距 1 cm 的兩平面間若有 1°C 溫度差時，由高溫面到低溫面每 1 cm^2 之斷面積在 1 秒內所傳導的熱量卡數表示。

導熱度較差的材料受熱時，溫度較難均勻分佈，容易發生材質脆弱而破裂的現象。

4. 膨脹係數 (coefficient of expansion)

膨脹係數是物質的溫度上升 1°C 時，其度量（如長度、體積）之增加量對原度量的比例。長度的增加率稱為線膨脹係數；體積的增加率稱為體膨脹係數。體膨脹係數約為線膨脹係數的 3 倍。通常，熔點愈低的材料，膨脹係數愈大。

5. 比電阻 (specific resistance)

比電阻是長 1 cm，斷面積 1 cm^2 之材料的電阻值以歐姆 (ohm, Ω) 表示者。比電阻愈低的材料，導電度愈高。

6. 磁性 (magnetism)

磁性是物質在磁場中被磁化的能力。物質的磁性通常可分為下列三大類：

(1) 強磁性或鐵磁性材料 (ferromagnetic materials)

接近磁石時，極易產生與磁石相反磁極而與磁石相互吸引的材料。如鐵、鈷、鎳等屬之。

(2) 常磁性或順磁性材料 (paramagnetic materials)

受磁極微弱吸引，磁效應只有強磁性材料數千至數百萬分之一者。如鋁、鉻、錳、鉑等屬之。

(3) 反磁性或逆磁性材料 (diamagnetic materials)

被磁極微弱排斥者。如金、銀、銅、銻等屬之。

二、化學性質

化學是物質的科學。所以材料的化學性質是材料因其他物質所引起化學變化的特性。材料和其它氣體物質常有氧化、腐蝕、吸濕、擴散等問題；和其它液體物質常有耐酸、耐鹼、潤滑、龜裂、吸水、擴散等問題；和其它固體物質則有接著、擴散等問題。

這些問題會因材料的不同而有很大的差異，所以不容易扼要地敘述。本書將在各分類材料的有關章節中分別介紹。

三、機械性質

材料的機械性質是材料在應力作用下所表現的各種特性，範圍很廣。但以強度、硬度、延性、韌性等較為重要。以下先說明有關的基本術語，再介紹重要機械性質的定義：

(一)有關的基本術語

1. 應力 (stress)

應力是材料受外力作用（圖1.4）後內部感應到的力，以單位面積所承受力之大小表示者（圖1.5），常以 σ (sigma) 為記號，單位有 kg/mm^2 (MKS制)、MPa (SI制) 和 Psi (FPS制)（本書常用單位之換算列於附錄一）等。且依作用力的型式別，有拉應力、壓應力、剪應力等之分。

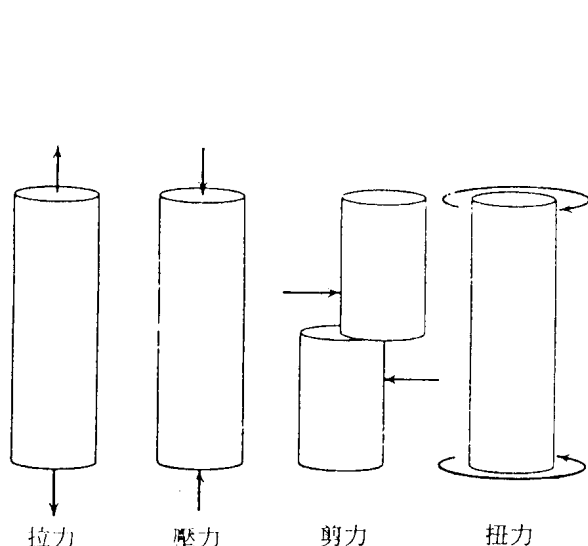


圖1.4 作用力的基本型式

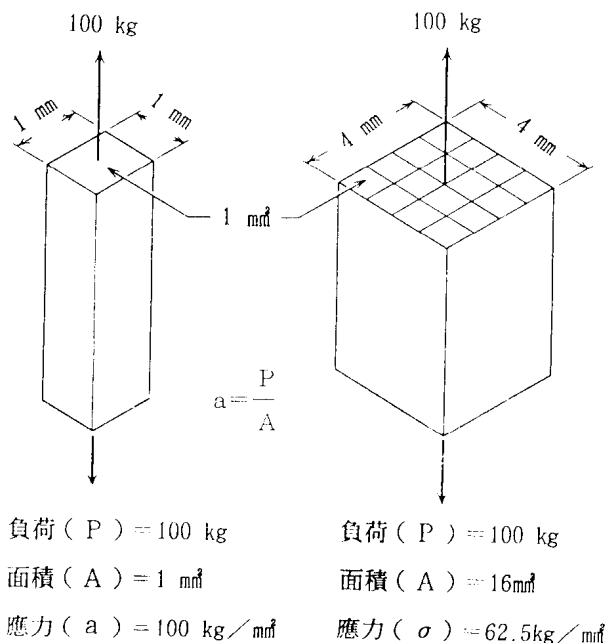


圖1.5 應力之示例

2. 應變 (strain)

應變是材料在外力作用下，度量上所發生的變化量或變化率。常

以 ε (epsilon) 為記號。表示法為每cm原長的變形量 (單位為 cm/cm 或無單位) 或是對原長的變化率 (單位為%)。表示式為：

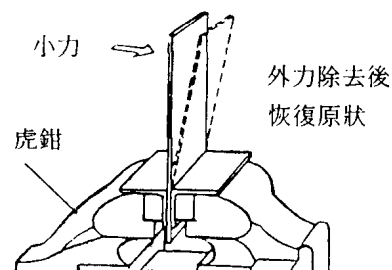
$$\varepsilon = \frac{\ell - \ell_0}{\ell_0}$$

ε : 應變
 ℓ_0 : 原長
 ℓ : 外力作用下之長度

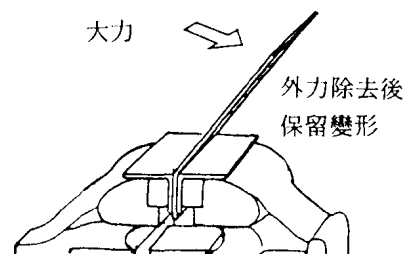
(二) 重要機械性質的定義

1. 彈性 (elasticity) 與塑性 (plasticity)

「彈性」是材料受外力作用變形後能恢復原狀的能力。和彈性相對的是「塑性」——材料受外力作用後發生永久變形的能力。大多數的材料在某定值應力下具有彈性，作用力超過該定值就失去彈性而表現塑性 (圖1.6)。對某一材料而言，承受外力後又能恢復原狀之應力的最大限制為該材料的彈性限 (elastic limit)。有些材料 (如鐵金屬) 的彈性限很明顯，有些 (如非鐵金屬) 則否。



(1) 彈性



(2) 塑性

圖1.6 彈性與塑性

2. 剛性 (stiffness)

剛性是材料在彈性限度下，對變形的抵抗能力。以彈性係數 (modulus of elasticity, 也稱楊氏係數——Young's modulus) 表示。所謂「彈性係數」，就是材料在彈性限度內，應力與應變的比值。彈性係數愈大的材料，剛性愈高。例如圖1.7，兩種尺寸相同但材料不同的桿材，各承受等重負荷，結果變形量相同。表示這兩種材料有相同的剛性或彈性係數。

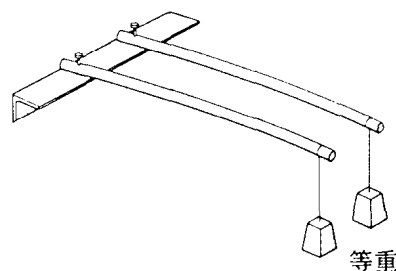


圖1.7 剛性釋例

3. 強度 (strength)

強度是材料對變形或破壞的抵抗能力。依受力型式的不同，而有下列數種：

(1) 抗拉強度 (tensile strength)：材料抵抗拉力造成變形或破壞的能力。常指材料在拉伸試驗中斷裂前的最大應力。

(2) 降伏強度 (yield strength)：使材料發生永久變形所需的最小應

力。

(3)抗壓強度 (compressive strength)：材料抵抗壓力造成變形或破壞的能力，常由抗壓試驗決定。

(4)抗剪強度 (shear strength)：材料抵抗剪力造成變形或破壞的能力。

(5)抗扭強度 (torsional strength)：材料抵抗扭力造成變形或破壞的能力。常由扭力試驗決定。

(6)疲勞強度 (fatigue strength)：材料抵抗反覆變力（如被反覆彎折中的鐵絲某一定點，周期性地承受反覆變化的拉力、壓力）造成破壞的強度，可由疲勞試驗決定。

(7)潛變強度 (creep strength)：材料在高溫下長時間承受定值靜力而發生的緩慢、持續變形，稱為潛變 (creep)。潛變強度就是材料對潛變的抵抗能力。可由潛變試驗決定。

(8)衝擊強度 (impact strength)：材料抵抗瞬間衝擊力造成破壞的能力。可由衝擊試驗決定。衝擊強度大的材料韌性也高。

4. 硬度 (hardness)

硬度是材料表面對穿透的抵抗能力（圖1.8）。硬度愈大的材料對磨耗、刮刻和壓傷等抵抗能力愈高。可由硬度試驗決定。

5. 延性 (ductility) 和展性 (malleability)

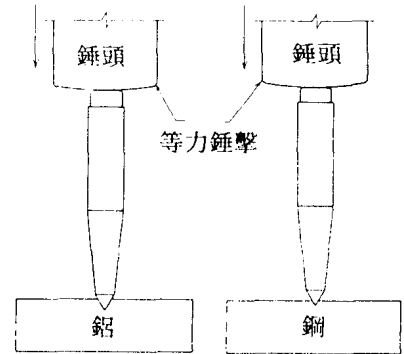
「延性」是材料在拉力作用下發生永久變形的能力，亦即被拉成細線而不破斷的能力。表示法有二：一為伸長率 (elongation)，一為斷面縮率 (reduction in area)，兩者定義詳見下節。

而「展性」則是材料在壓力作用下發生永久變形的能力，亦即被鎚成薄片而不破裂的能力。所以延性和展性都是塑性的一種，通常延性高的材料展性也大。

6. 韌性 (toughness) 和脆性 (brittleness)

「韌性」是材料在彈性限之後對破裂的抵抗能力，也可以定義為對衝擊的抵抗能力或對衝擊能量的吸收能力，和強度、延性兩者密切相關。可由衝擊試驗或由拉伸試驗所得到的應力—應變曲線決定之。

「脆性」則和「韌性」相反，是材料在衝擊負荷下發生破裂的傾



等力錘擊下，硬度低者壓痕較深

圖1.8 硬度釋例

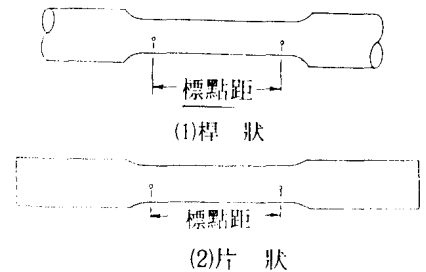


圖1.9 拉伸試樣示例

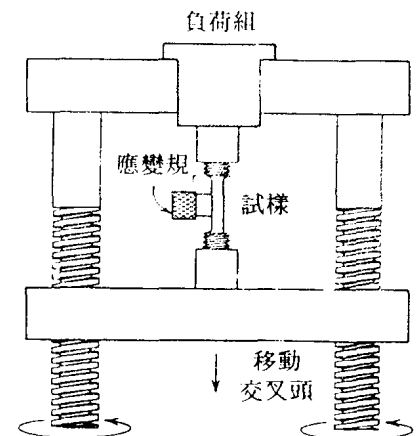


圖1.10 拉伸試驗機示例

向或在負荷下不會發生變形的性質。脆性愈大的材料通常塑性愈低。

1.3 材料試驗

材料試驗的主要目的在於測定材料的性質。因此對材料開發、生產者而言，材料試驗可用來判定產品的品質是否符合特定規範，達到品管上的要求，對材料消費、使用者而言，材料試驗可以確認材料是否合於選用或設計上的要求。因此，許多國家的政府機構或民間團體都制訂有各種材料試驗的標準，做為進行材料試驗時共同遵循的規範。較常見的有中國國家標準（Chinese National Standard, CNS），日本工業標準（Japanese Industrial Standard, JIS）、美國材料試驗學會（American Society for Testing of Materials, ASTM）規格、美國汽車工程師學會（Society of Automotive Engineers, SAE）規格和德國工業標準（Deutsche Industrie Norm, DIN）等。

本節僅介紹幾種測定機械性質的常見試驗法（各分類材料的重要試驗則分置各有關章節）。並依材料受試時是否遭受破壞，大分為破壞試驗和非破壞試驗兩類：

一、破壞試驗（Destructive Testing, DT）

1. 拉伸試驗

拉伸試驗是將受試材料加工成一定規格之試樣（specimen，圖1.9），置於拉伸試驗機（圖1.10，或萬能試驗機）兩夾頭中，然後沿試樣軸向由兩端逐漸施加拉力，直到破壞為止的試驗。此種試驗可以測定材料的彈性限、降伏強度、抗拉強度、伸長率和斷面縮率等，是一種非常重要的試驗法。

在拉伸試驗進行中須不斷記錄應力與應變值（應力之計算係以荷重除以試樣原截面積，而非除以逐漸縮小的面積，所以試驗應力小於真實應力；至於應變值則常以應變規測量）。試驗完成後，以應力值為縱軸、應變值為橫軸，即可畫出應力—應變曲線（stress-strain curve，新型試驗機有自動描圖裝置）如圖1.11所示。

圖1.11中，P點稱為比例限（proportional limit），是應力與

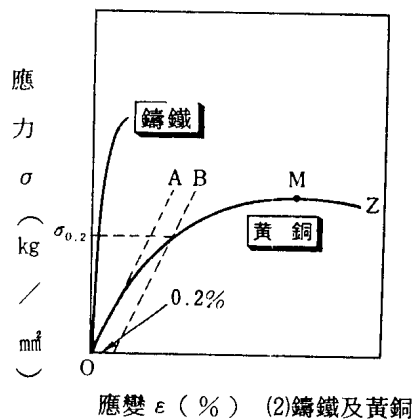
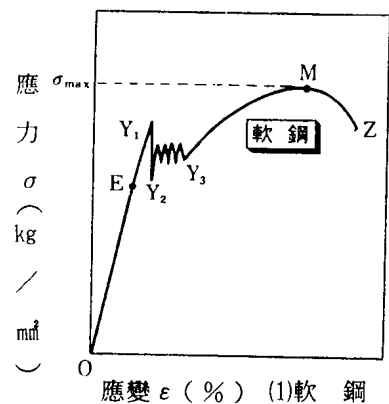


圖1.11 應力—應變曲線示例

應變維持正比的最大應力點，也是直線部份與曲線部份的偏離點（直線部份的斜率 $\Delta \sigma / \Delta \varepsilon$ 即彈性係數）。E點即為彈性限，當應力小於彈性限時，應力增大，應變雖會增加，但應力消除後，應變亦消失，材料恢復原狀；但應力超過彈性限時，應變即不再隨應力消除而完全消失，材料會發生永久變形。所以彈性限是材料不生永久應變的最大應力；由彈性限可以區分材料的彈性和塑性範圍（圖1.12）。有些材料（如延性金屬）的彈性限和比例限合而為一，有些（如脆性金屬）則否。

應力增到Y點時會發生應力未變而應變大增的現象，稱為降伏（yielding），隨後應力下降到Y點時又生等應力下的大應變，到Y₃點曲線才再恢復上升的趨勢。Y₁點稱為上降伏點（upper yield point），Y₂稱為下降伏點（lower yield point），一般以下降伏點所代表的應力為降伏強度，作為設計上的依據。有些材料（如高碳鐵金屬和非鐵金屬）沒有明顯的降伏點（如圖1.11(2)），而採用橫距法訂定其降伏點：在橫軸上取一點Q，使OQ值等於永久應變之某固定比率（如0.2%），然後自Q作直線QB平行於曲線直線部份OA，交曲線於C點，C點即訂為降伏點，其應力值訂為降伏強度。

圖1.11(1)中，曲線最高點M為極限抗拉強度（ultimate tensile strength, UTS），常簡稱為抗拉強度。Z點則為破斷點，材料到此點被拉斷。

伸長率和斷面縮率也可以由拉伸試驗決定。如圖1.13所示；伸長率（ δ , delta）為試樣拉斷後斷面再接合下的軸向標點距（L_f）與原標點距（L_o）之差與原標點距（L_o）的百分比。而斷面縮率（ ϕ , phi）則為試樣拉伸前原截面積（A_o）與拉斷後斷面積（A_f）與原截面積之百分比。

2. 衝擊試驗

衝擊試驗的主要目的在測定材料衝擊強度或韌性。其試驗原理是對試樣施以瞬間的衝擊作用力，依擊斷試樣所需的能量決定該材料的衝擊值（單位為kg·m/cm²等）。

常用的衝擊試驗法有夏比（Charpy）和易佐（Izod）兩種（圖

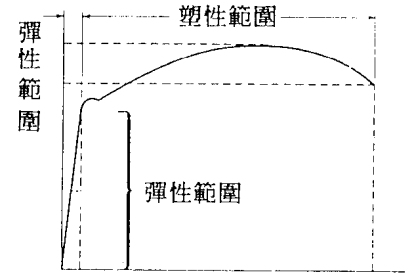
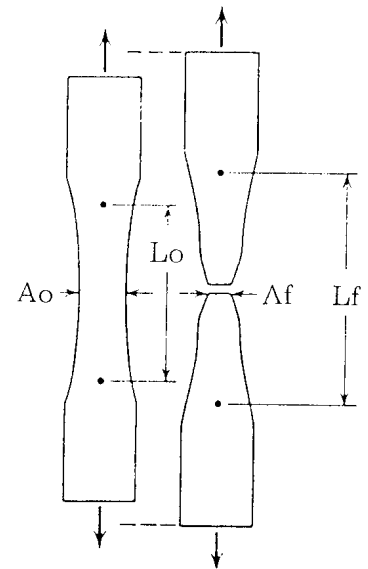


圖1.12 延性材料的彈塑性範圍



$$\text{伸長率: } \delta = \frac{L_f - L_o}{L_o}$$

$$\text{斷面縮率: } \phi = \frac{A_o - A_f}{A_o}$$

圖1.13 伸長率與斷面縮率