



大維叢書

工程材料基礎

—物理冶金學—

謝仁貴 編譯

目 錄

金屬性質簡介	1
金屬之機械性質	49
熱處理原理	71
鋼之實用熱處理	91
鑄鐵之實用熱處理	101
複習測驗	123
複習測驗答案	127

【 1 】

冶金學 (Metallurgy) 爲使金屬能適用於人類的一種技藝 (Art) 及科學 (Science) , 其製程 (Processes) 及技術 (Techniques) 已實用化了好幾世紀, 因此其技藝可說十分古老, 但其科學則很新。

【 2 】

現今所謂的金屬 (Metal) ; 雖舉目可睹, 但金屬冶金學則爲十分複雜的科學, 奠基於兩門基本科學——化學與物理學。

【 3 】

化學冶金學 (Chemical or process Metallurgy) 主要在處理礦物冶煉及熔融金屬之精煉, 由於大多金屬及其礦物均甚耐熱, 因此很清楚地欲冶煉及精煉金屬, 必須明瞭 (高 / 低) 溫之化學反應。

高

【 4 】

化學冶金學, 由上可知; 主要在處理礦物之 _____ 及金屬之 _____。

冶煉
精煉

【 5 】

物理冶金 (Physical Metallurgy) 主要在處理金屬之特性 (Nature) 或結構 (Structure) , 以及控制金屬行爲之因素 (Factor) , 而物理冶金爲本教材探討之主體。

【 6 】

前述吾人已談及冶金學爲很古老的 _____ 及很新穎的 _____ , 且可分爲 _____ 及 _____ 兩部份。

技藝、科學
化學冶金、物
理冶金

【 7 】

用於處理礦物冶煉及金屬精煉之冶金學稱為 _____，主要探討 _____ 溫度 _____ 反應。

化學冶金
高、化學

【 8 】

用於處理金屬 _____ 及控制金屬行為之因素者謂之 _____。

結構
物理冶金

【 9 】

為瞭解金屬特性，吾人須先考慮物質存在之三態 (State)：固態 (Solid)，液態 (Liquid) 及氣態 (Gaseous)。

【 10 】

通常材料 (Material) 存在之三態，主要決定於其狀態 (Conditions)，以水為例；低於 0°C 為 _____，介於 $0^{\circ}\text{C} \sim 100^{\circ}\text{C}$ 為 _____，高於沸點 (Boiling point) 100°C 為 _____。

固態
液態
氣態

【 11 】

冰為具有固定形狀及體積之水，亦具極限強度 (Limited Strength)。

冰熔解為水僅具固定體積，而無一定形狀，其形狀依容器而定，且強度甚低。

水氣化為水蒸氣 (Steam) 即無一定體積，亦無一定形狀，其形狀與大小完全視容器而定。

【 12 】

本教材之目的，即欲將這些量 (Qualities) 轉移到所有材料之處理，甚少例外。

【 13 】

現在我們就不看前述者，而快速地複習一下；所有物質（*Matter*）均具三態，即 _____，_____ 及 _____。

固態、液態、
氣態

【 14 】

材料具固定體積，而無一定形狀者為 _____。

材料無一定體積及形狀者為 _____。

材料具一定體積及形狀者為 _____。

液態
氣態
固態

【 15 】

氣體中原子之排列雜亂無章（*Random*），原子與原子間之距離很大，原子間相互之吸引力（*Attraction*）（鍵：*Bonding*）十分微弱。因此氣體容易壓縮，其形狀亦隨容器而變。

【 16 】

液體中，原子間距離比氣體中小得多，因此液體幾乎不可壓縮，原子間之鍵依然很小，因此原子可以在各原子間自由移動，這使液體容易改變其形狀。

【 17 】

固體中原子間距離很小，造成固體實際上之不可壓縮，但原子間之鍵（*Bonding*）則很強，故限制了原子間滑動，使原子排列型式固定不變。

【 18 】

其次，材料原子相距甚遠，引力甚小者為 _____，其形狀及體積（容易）/（不容易）改變。

氣體
容易

【 20 】

材料原子間距甚小，其鍵甚強，使原子有固定之秩序排列者為 _____，具不可壓縮性，其外形（容易）／（不容易）改變。

固體
不容易

【 21 】

原子之活性（Activity of Atom）受溫度（Temperature）及壓力（Pressure）之影響，吾人可利用冷卻（Cooling）或加壓（Compressing）使氣體液化（Liquefy），即加大 _____ 及降低 _____，此兩因素中，最重要的為 _____，因其容易控制。

壓力、溫度
溫度

【 22 】

將液體變為固體，吾人必須（增加）／（降低）溫度，除此以外你能在加壓上有所作為嗎？ _____。

降低
不能

【 23 】

吾人前述；金屬原子有秩序之定型排列，此定型排列謂之晶體排列（Crystalline Arrangements）。

【 24 】

因此吾人可說（固體）／（液體）／（氣體）金屬之結構為晶體（Crystalline）

固體

【 25 】

許多非金屬材料（Nonmetallic Material）固化無原子之秩序排列，吾人稱之為非晶質材料（Amorphous Materials）。

【 26 】

材料原子之排列決定其為_____或_____材料。

非晶質、晶體

【 27 】

晶體（固體）中原子仍快速運動，但是在固定位置上以振動（Vibration）發生。

【 28 】

無論如何，雖然固體原子在固定點振動，但金屬晶體原子經過一段時間亦會緩慢移動到另一與其接觸金屬晶體，這種現象謂之擴散（Diffusion）。

【 29 】

幾年前，倫敦造幣廠曾將兩塊完全乾淨的金塊與鉛塊夾放在一起，四年後把它們分離，檢驗時鉛塊中在距離介面 $\frac{5}{16}$ 吋處發現金，鉛中之金之所以能達到此點，主要由於_____之故。

擴散

【 30 】

所有金屬皆為單原子（Monatomic）構成，因此其晶體結構是由個別原子組成而非分子（Molecules）。

【 31 】

金屬（是） / （不是）由分子組成。

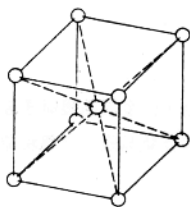
不是

【 32 】

固體金屬之原子之三度空間對稱排列（Symmetrical three-dimensional arrangement）謂之空間格子（Space Lattice）。

【 33 】

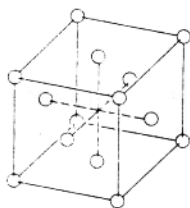
固體金屬之空間格子有四種不同型式，我們要探討的第一種爲由八個原子組成立方體，第九個原子置於立方體中心者，此即吾人所稱的體心立方格子（Body-Centered Cubic Lattice）。



【 34 】

第二種空間格子，也是由八個原子組成立方體，且其他六個原子分佈於六個面之中心。因此吾人稱此爲_____立方格子。

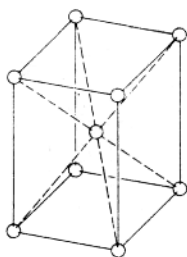
面心



【 35 】

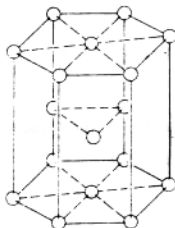
第三種空間格子，就如前述所提及第一種，在每個角落均有一個原子及中心有一個原子。但其一邊長度大於其餘相等之兩邊長，形成四方體（Tetragon），吾人稱其爲_____四方格子（Body centered tetragonal lattice）。

體心



【 36 】

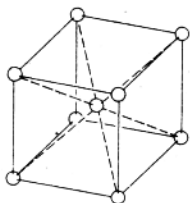
第四種空間格子，即非立方亦非四方。它即吾人所稱的六方密集格子 (Close-Packed hexagonal lattice) 。



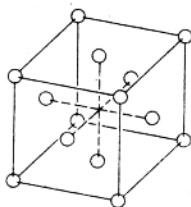
【 37 】

在此教材中，吾人主要將談及下示兩種格子，即_____立方格子及_____立方格子。

體心
面心



(a)



(b)

【 38 】

體心或面心立方格子，也可稱為單位胞 (Unit Cells) 或單位格子 (Unit lattice)。單位胞之尺寸 (邊長) 謂之格子常數 (Lattice parameters)。

【 39 】

我們關心金屬格子排列 (Metallic lattice arrangements)，因為鑄造人員可改變其形狀與尺寸。

【 40 】

在純金屬中加入合金元素將改變晶體格子尺寸 (稜長)，甚至於改變格子之型式。

【 41 】

合金元素在空間格子之位置；及其改變單位胞_____與_____之事實十分重要，因其決定了合金之性質 (property)。

尺寸
型式

【 42 】

合金元素進入純金屬之空間格子，而合金之性質部份取決於空間格子中合金元素之（量）／（位置）。

位置

【 43 】

剛提及之三因素：即合金元素在空間格子之_____，單位胞之_____及_____決定了金屬的熱處理（Heat treatment）反應。後面吾人將談及。

位置

尺寸、型式

【 44 】

少許物質溶入其他物質之中者謂之溶質（Solute），而溶解其他物質者謂之溶劑（Solvent）。

【 45 】

因此，當吾人將糖加入咖啡時，咖啡扮演_____角色，而糖扮演_____角色。

溶劑

溶質

【 46 】

同樣地，當吾人在純金屬中加入合金元素，則合金元素為_____，純金屬為_____。

溶質

溶劑

【 47 】

溶質及溶劑並不一定是氣體或液體，固體金屬一樣可以溶入其他固體金屬中，這一事實對冶金學者十分重要。

【 48 】

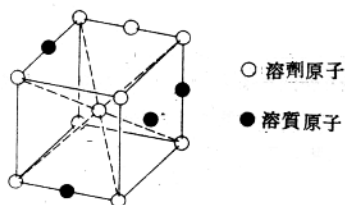
在固溶體（Solid solution）中，添加之_____元素即溶質，使純金屬即_____之_____產生變化。

合金

溶劑、單位胞

【 49 】

在固溶體中，溶質（合金）原子常佔有原空間格子內之位置，其情形有如圖示。

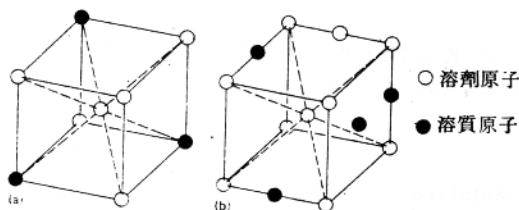


【 50 】

在此情形中，溶質移入溶劑空間格子之原子間（ Interstics or in-ter-sti-siz ）。吾人稱其為插入型固溶體（ Interstitial Solution ）。

【 51 】

無論如何，溶質原子通常取代了溶劑原子在空間格子中之位置，因其置換了溶劑原子，故吾人稱其為置換型固溶體（ Substitutional Solution ），就如下圖 _____ 所示，圖(b)則說明 _____ 固溶體。



(a)
插入型

【 52 】

這很好記，因“插入”意味為“介於”之意，“置換”則意味著“取代”之意。故若溶質原子介於溶劑原子之間，則其為_____固溶體，若溶質原子取代溶劑原子，則其必為_____固溶體。

插入型
換置型

【 53 】

金屬固溶體不是插入型即為置換型，但無論如何，有時插入型單位胞（空間格子）會改變成置換型，反之亦然。

【 54 】

單位胞經由變化過程，可改變為許多不同之形式（Forms），這種能力吾人稱為改變同分異構（Change polymorphism）其變化稱為同分異構變化（Polymorphic Change）。

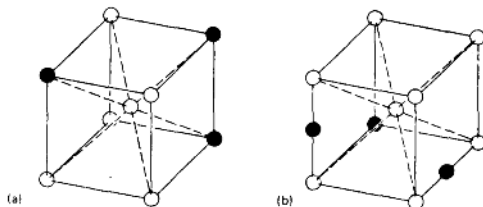
【 55 】

圖(a)說明_____固溶體之單位胞。

圖(b)說明_____固溶體之單位胞。

若固溶體之單位胞由(a)變為(b)，或反向變化，則其產生_____變化。

置換型
插入型
同分異構



【 56 】

熱處理 (Heat treatment) 經由前述之 _____
變化以增進鋼鐵之性質。

同分異構

【 57 】

同分異構變化，由金屬之 _____ 處理產生。

熱

【 58 】

若單位胞結構之同分異構變化，可經由改變溫度反向發生，則單位胞所表現者稱為同素異形性 (Quality of allotropy)。

【 59 】

一金屬單位胞結構可經由熱處理改變，是為 _____
變化，若單位胞結構可經由改變溫度使其由其他變化回到原始形式，則此金屬具 _____ 性。

同分異構

同素異形

【 60 】

例如，於緩慢加熱時，鐵將由體心立方格子於 910°C 變化為面心立方格子，然後於 1400°C 再變回體心立方格子。這說明此金屬具 _____ 性，當此金屬冷卻時，此金屬之變化反向，因此其亦具 _____ 性。

同分異構

同素異形

【 61 】

金屬像水一樣，經由冷卻而固化 (Solidify)，但其溫度較高。冷卻速率決定於有多少熱量經由與金屬熔液相接之界面 (模子或空氣) 移除。熱量移出得越多，則冷卻速率越 (快) /
(慢)。

快

【 62 】

與熔融金屬相接之界面溫度低於金屬，熱量_____，因此此界面之冷卻速率較（快）／（慢）。

移出
快

【 63 】

當金屬冷卻時原子間之吸引力（鍵），使原子之相對位置固定成原子格子，因此形成晶體（Crystals）。

【 64 】

冷卻過程中，第一個晶體形成之阻力甚小，因此，在各方向之成長大小約略相等，因此晶體各軸向幾乎相等，而稱此晶體為等軸晶體（Equiaxed Crystals）。

【 65 】

金屬晶體亦稱為晶粒（Grains），當固化時，這些晶粒成長直到與模壁或其他_____或晶體相接觸為止。

晶粒

【 66 】

晶粒間相接之處謂之晶界（Grain boundaries）。

【 67 】

_____大小與晶界對金屬性質影響極大。

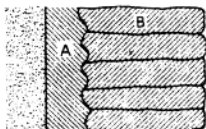
晶粒

【 68 】

當熱量經由熔融金屬之界面移除時，熔融金屬將固化，此界面通常為模壁或與空氣接觸的敞開部份。

【 69 】

當金屬冷模壁凝固時，其餘部份之金屬以至於模穴中央均仍為熔融狀，因此新形成之晶粒必須沿此方向形成，而晶粒成柱狀（Columnar），就如同圖示 _____ 部份，其餘部份則為 _____ 晶粒。



B
等軸

【 70 】

因為模壁之溫度較熔融金屬為低，因此柱狀晶粒成長方向（指向）/（背向）熔融金屬之質量中心。

指向

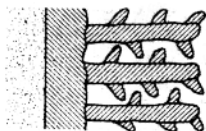
【 71 】

當冷卻過程繼續進行，最後模穴中央部份之熔融金屬必成等溫，晶粒成長必不具方向性，因此模穴中央部份，必與模壁一樣形成 _____。

等軸晶粒

【 72 】

有些金屬，在等軸晶粒之後形成具方向性晶體並非柱狀，而成樹枝狀（tree-like），如圖示。此結構稱為樹枝晶（Dendrites）。（當然由等軸晶粒到樹枝晶變化，並非僅如圖示區別）。



【 73 】

當樹枝晶成長時，有些熔融金屬將被陷於其枝節間，而仍保持液態，一直到溫度下降達 _____ 或 _____ 溫度為止。

固化、凝固

【 74 】

樹枝晶很少直接成長到模穴中央，通常均在熔融部份形成而漂浮於其上，逐漸成長以至於金屬完全凝固。

【 75 】

純金屬於固定溫度凝固（固化），這也就是說於 1000°C 凝固者，它恰在 1000°C 凝固，不高亦不低。

【 76 】

相反地，合金之凝固有一溫度範圍，這也就是說，在 1000°C 開始凝固之金屬，可能要冷到 800°C 才能完全凝固。

【 77 】

以下為兩不同金屬之冷卻圖，其澆鑄溫度均於 A，於 B 溫度處開始凝固，於 C 溫度處完全凝固，試問純金屬之冷卻圖為 _____，合金則為 _____。

(b)

(a)