



正文科技文庫

金屬材料學

姜雲鶴 著

正文書局印行

金屬材料學

姜雲鶴 編著

江苏工业学院图书馆
藏书章

正文書局印行

七十年七月一日出版

金屬材料學

每冊定價 一九五元

版權所有・翻印必究

出版者：正文書局

台北市重慶南路一段五十九號

編著者：姜 雲 鶴

發行人：黃 開 禮

印刷所：正文書局

發行所：正文書局

台北市和平東路二段三五—號

電話：〈02〉7081406

門市部：正文書局

台北市重慶南路一段五十九號

電話：〈02〉3813712

〈02〉3813713

〈02〉3813714

郵局劃撥帳號：5961

分銷處：各地各大書局

出版登記證：局版台業字六一八號

金屬材料學

編輯大意

- 一、本書係照部頒最新課程標準編輯而成，可供工業專科學校及高級工業學校職業訓練班金屬材料課程之教材，以及工業從業人員等之參考資料。
- 二、機械工業之進步與金屬材料之發展，是相互關連的，從事工業之工程人員，對金屬材料之性能與知識必須先能充分的了解，然後才能熟練的運用。但經考據坊間，深知時下能夠得上水準的教材，却是少之又少；不是內容空虛，支紙片言，就是雜亂無章，次序顛倒，或則自外書直譯而來。語句茸長坎坷難懂，至費盡思索不解其意。
筆者係據多年實際從業與教學之雙重經驗並參考中外多種專門出刊雜誌，添以最新之理論，以國人實用之標準語句，摒棄前述所有之缺點，編成此最新穎之教材。
- 三、本書所用之名詞悉遵部訂之標準，且附英文名詞以資核對，所用之度量均為公制，並附插圖甚多以便讀者領會，再則資料充分，內容豐富尤為特出之點。
- 四、本書計十五章，每週需教授二小時，一學期就可授畢。每章並附有練習題，以供學生復習之用。
- 五、本書編撰校對多為公暇。雖然多次校對，亦難免有所錯誤，願諸先進與同好勿吝指正，以為再版時之訂正。

一九八一年六月

姜雲鶴 於台北

金屬材料學 目 錄

編輯大意

第一章 緒 論 1

1 ~ 1 金屬材料對工業發展之重要性 1

1 ~ 2 使用金屬材料需符合之條件 1

第二章 金屬材料之性質 3

2 ~ 1 金屬材料之一般通性 3

2 ~ 2 金屬材料之機械性質 5

2 ~ 3 金屬材料之組合性 8

2 ~ 4 金屬材料之相與平衡圖 26

第三章 金屬材料之實驗與驗查 53

3 ~ 1 機械性質試驗 53

3 ~ 2 潛變試驗 65

3 ~ 3 無破壞試驗 68

3 ~ 4 組織檢驗~金像觀察 72

第四章 鋼鐵與其合金之分類 75

4 ~ 1 以不同之化學成分區分 75

4 ~ 2 以應用方法分 76

4 ~ 3 以性相之不同分 77

2 金屬材料學

4 ~ 4	以熱處理所得之組織分	78
-------	------------	----

第五章 鐵 81

5 ~ 1	生鐵	81
-------	----	----

5 ~ 2	鑄鐵	86
-------	----	----

5 ~ 3	熟鐵	98
-------	----	----

5 ~ 4	純鐵	102
-------	----	-----

第六章 碳 鋼 105

6 ~ 1	碳鋼之分類	105
-------	-------	-----

6 ~ 2	碳鋼之煉製	106
-------	-------	-----

6 ~ 3	碳鋼材料之製造與加工	109
-------	------------	-----

6 ~ 4	碳鋼之性質	113
-------	-------	-----

6 ~ 5	碳鋼之用途	118
-------	-------	-----

第七章 碳鋼之熱處理 127

7 ~ 1	退火	127
-------	----	-----

7 ~ 2	淬火	130
-------	----	-----

7 ~ 3	回火	137
-------	----	-----

7 ~ 4	冷卻與變態之關係	140
-------	----------	-----

7 ~ 5	恒溫變態	142
-------	------	-----

7 ~ 6	恒溫變態之應用	144
-------	---------	-----

7 ~ 7	表面硬化	155
-------	------	-----

第八章 合 金 鋼 165

8 ~ 1	合金鋼之定義與特性	165
-------	-----------	-----

8 ~ 2	合金元素對合金鋼之影響	165
8 ~ 3	合金鋼之組織與其平衡圖	168
8 ~ 4	合金鋼之分類與用途	169
8 ~ 5	合金鋼之熱處理	197
第九章	鋼鐵材料之編號	203
9 ~ 1	中國國家標準編號	203
9 ~ 2	美國自動化工程學會 (S. A. E) 及美國鋼鐵學會 (AISI)	215
第十章	輕金屬與其合金	231
10 ~ 1	鋁及其合金	231
10 ~ 2	鎂，及其合金	265
第十一章	銅及其合金	273
11 ~ 1	銅之存在	273
11 ~ 2	銅之煉製	273
11 ~ 3	銅之性質與用途	273
11 ~ 4	銅合金	275
第十二章	鉛、錫、鋅及其合金	297
12 ~ 1	鉛及其合金	297
12 ~ 2	錫及其合金	303
12 ~ 3	鋅及其合金	309
第十三章	其他金屬與其合金	319

4 金屬材料學

13 ~ 1	鎳及其合金	319
13 ~ 2	錳之特性及用途	324
13 ~ 3	銻之特性與用途	326
13 ~ 4	鉻之特性與用途	326
13 ~ 5	鎢之存在與製取	327
13 ~ 6	鈾之特性與用途	328
13 ~ 7	鈦之特性與用途	328
13 ~ 8	鈷之特性與用途	330
13 ~ 9	釩之特性與用途	331
13 ~ 10	鉍之特性與用途	331
13 ~ 11	鉬之特性與用途	332
13 ~ 12	鎳之特性與用途	332

第十四章 貴重金屬與其合金

335

14 ~ 1	金與其合金	335
14 ~ 2	鉑與其合金	337
14 ~ 3	銀與其合金	338
14 ~ 4	銥與其合金	341
14 ~ 5	鈳與其合金	342

第十五章 金屬腐蝕之預防

345

15 ~ 1	金屬之腐蝕	345
15 ~ 2	金屬腐蝕之預防	348

金屬材料學

第一章：緒 論

1 — 1 金屬材料對工業發展之重要性：

工業發展與國勢強弱有密切之關係，視觀今日世界之強國，無不為工業高度發展之國家。該等國家常以其高度精密之工業，製成精良之產品，行銷國內外，使其國民之所得逐年增加，國勢愈行強大。欲求一國高度之工業化，首須發展者為基本工業，而基本工業中又以材料工業為要，尤其金屬材料。

金屬材料工業主為鋼鐵工業，與鋁、銅、鉛、錫等非鐵金屬工業。一般工業中之機器工業，電機工業，電器工業，造船工業，運輸工業等其所需之原料等等全部為鋼鐵與非鐵金屬，故欲求發展該等工業，首須發展金屬工業與自供金屬原料。否則原料祇賴進口，勢將受制於人，而工業之發展亦難速於成長。

1 — 2 使用金屬材料需符合之條件：

欲發展工業，首須建立基本工業，基本工業又以材料為主，尤金屬材料最為重要，金屬工業所需之材料除符合適用外，尚應具備如下之條件。

(1) 品質需合於標準：

我國家標準局，對各種用途之金屬材料。為確保品質優良，均已

2 金屬材料學

訂其標準，故凡金屬材料之品質與規格，均須符合其標準，才能使用。

(2) 價格便宜：

金屬材料之價格昂貴，必將影響使用金屬工業之製造成本，致於國際商場上難與外貨競爭。為期工業之迅速發展，金屬材料之供應，勢必價格便宜。

(3) 可以大量供應：

金屬材料為重工業之基本材料，需用數量甚大如能充分供應，方合於工業發展之基本條件，若所需之材料祇賴進口，難有輝煌之成就。

習 題

1. 試述金屬材料工業與工業發展之關係。
2. 金屬材料如合於標準尚應具備什麼條件？

第二章 金屬材料之性質

2 — 1 金屬材料之一般通性

1. 比重：金屬材料之比重一般恒大於 1。通常其比重在 1 ~ 4 間者，謂之輕金屬 (Light metal)；比重在 4 以上者，謂之重金屬 (Heavy metal)。
2. 色彩與光澤：一般金屬之新磨光面，均有反射光線之能力，與耀目之光澤。通常金屬中除金與銅之色澤較特殊外，餘均呈銀灰色。
3. 常溫時之狀態：金屬中除汞外，常溫時皆為固體。
4. 固態金屬熔點之差異：固態金屬高溫時，均能熔解，但溫度差異甚大。純金屬之熔點恒為定值。一般金屬中，鎢之熔點最高，為 $3,410^{\circ}\text{C}$ ；錫之熔點最低，為 231.89°C 。
5. 金屬對電與熱的影響：一般金屬均為電與熱的良導體，但其導電與導熱率之高低，則以其本身之性質而異。且溫度之高低，常影響其導電率；即溫度高時，導電率較低。
6. 重要純金屬之一般物理性質 (表 2 — 1)。
重要金屬元素物性比較表 (表 2 — 1)。

元 素	原 子 量	比 重 (20°C)	熔 点 °C	沸 点 °C	比 热 20°C (cal/g·°C)	溶解热 (cal/g)	膨胀系数 (10 ⁻⁶ /°C) (20~100°C)	热导率 cm ² /sec (20°C)	电 阻 20°C (μΩ·cm)	线 胀 系 数 (1/g·mm ²)	晶体格子 (20°C)	格 子 常 数	
												a	b c或轴角
Al	26.97	2.699	660.20	2,060	0.215	94.50	23.50 (10~100°C)	0.530	2.655	6.300	面心立方	4.0491	2.8620
Si	28.085	2.329	1,414	2,355	0.16	148.0	12.0~14.0 (20~60°C)	0.145	35.0	2.6	斜方六面体	4.5065	2.9040
Fe	55.84	7.87	1,538	2,870	0.11	80.4	12.0~14.0 (20~60°C)	0.145	10.0	11.7	体心立方	3.646	
Co	58.93	8.80	1,495.0	2,900	0.0990	58.40	12.30	0.165	6.24	21.0	六方密	2.5671	1.0606
Ni	58.69	8.80	1,453.0	2,900	0.0920	50.60	16.50	0.141	1.673	11.2	面心立方	3.6153	2.5560
Cu	63.54	8.960	1,083.0	2,600	0.0920	50.60	16.50	0.141	1.673	11.2	面心立方	3.6153	2.5560
Zn	65.37	7.13	419.5	907.0	0.093	101.6	16.10	0.170	2.350	8.120	面心立方	4.0780	2.8820
Pb	207.2	11.34	271.0	917.0	0.0312	6.80	34.20	0.057	8.370	1.100	面心立方	4.5040	3.2500
Sn	118.7	7.31	150.4	444.0	0.0570	6.80	34.20	0.057	8.370	1.100	面心立方	4.5040	3.2500
Bi	208.98	9.80	271.5	675.0	0.0307	6.80	34.20	0.057	8.370	1.100	面心立方	4.5040	3.2500
As	74.92	5.72	363.0	630.5	0.0307	6.80	34.20	0.057	8.370	1.100	面心立方	4.5040	3.2500
Sb	121.75	5.72	363.0	630.5	0.0307	6.80	34.20	0.057	8.370	1.100	面心立方	4.5040	3.2500
Te	127.6	5.72	363.0	630.5	0.0307	6.80	34.20	0.057	8.370	1.100	面心立方	4.5040	3.2500
Mo	95.94	10.22	2,610	5,260	0.0307	6.80	34.20	0.057	8.370	1.100	面心立方	4.5040	3.2500
W	183.84	19.3	3,422	5,690	0.0307	6.80	34.20	0.057	8.370	1.100	面心立方	4.5040	3.2500
Re	186.21	21.0	3,180	5,690	0.0307	6.80	34.20	0.057	8.370	1.100	面心立方	4.5040	3.2500
Os	190.23	22.4	3,300	5,690	0.0307	6.80	34.20	0.057	8.370	1.100	面心立方	4.5040	3.2500
Ir	192.22	22.4	3,300	5,690	0.0307	6.80	34.20	0.057	8.370	1.100	面心立方	4.5040	3.2500
Pt	195.08	21.4	3,300	5,690	0.0307	6.80	34.20	0.057	8.370	1.100	面心立方	4.5040	3.2500
Au	196.96	19.3	1,063	2,855	0.0307	6.80	34.20	0.057	8.370	1.100	面心立方	4.5040	3.2500
Ag	107.87	10.49	960.5	2,210	0.0559	32.00	19.60	0.100	1.500	7.700	面心立方	4.0860	2.8880
Cd	112.41	8.650	320.0	765	0.0550	13.20	29.80	0.220	6.83	5.600	六方密	2.9787	5.6170
Hg	200.59	13.54	377.0	630.0	0.0307	6.80	34.20	0.057	8.370	1.100	面心立方	4.5040	3.2500
Ca	40.08	1.55	842.0	1,484	0.120	104.00	8.41	6.000	42.000	11.760	面心立方	3.9310	2.7750
Mg	24.305	1.74	650.0	1,250	0.120	104.00	8.41	6.000	42.000	11.760	面心立方	3.9310	2.7750
Na	22.989	0.97	97.8	883.0	0.237	148.0	12.0~14.0 (20~60°C)	0.145	35.0	2.6	斜方六面体	4.5065	2.9040
K	39.098	0.86	63.5	774.0	0.175	101.6	16.10	0.170	2.350	8.120	面心立方	4.0780	2.8820
Rb	85.468	1.47	39.0	688.0	0.075	50.60	16.50	0.141	1.673	11.2	面心立方	3.6153	2.5560
Cs	132.905	1.93	28.5	671.0	0.075	50.60	16.50	0.141	1.673	11.2	面心立方	3.6153	2.5560
Ba	137.327	3.51	727.0	1,290	0.075	50.60	16.50	0.141	1.673	11.2	面心立方	3.6153	2.5560
La	138.905	6.91	912.0	1,350	0.075	50.60	16.50	0.141	1.673	11.2	面心立方	3.6153	2.5560
Pr	140.908	6.91	912.0	1,350	0.075	50.60	16.50	0.141	1.673	11.2	面心立方	3.6153	2.5560
Nd	144.24	6.91	912.0	1,350	0.075	50.60	16.50	0.141	1.673	11.2	面心立方	3.6153	2.5560
Sm	150.36	6.91	912.0	1,350	0.075	50.60	16.50	0.141	1.673	11.2	面心立方	3.6153	2.5560
Eu	151.964	6.91	912.0	1,350	0.075	50.60	16.50	0.141	1.673	11.2	面心立方	3.6153	2.5560
Gd	157.25	6.91	912.0	1,350	0.075	50.60	16.50	0.141	1.673	11.2	面心立方	3.6153	2.5560
Tb	158.925	6.91	912.0	1,350	0.075	50.60	16.50	0.141	1.673	11.2	面心立方	3.6153	2.5560
Dy	162.50	6.91	912.0	1,350	0.075	50.60	16.50	0.141	1.673	11.2	面心立方	3.6153	2.5560
Ho	164.930	6.91	912.0	1,350	0.075	50.60	16.50	0.141	1.673	11.2	面心立方	3.6153	2.5560
Er	167.259	6.91	912.0	1,350	0.075	50.60	16.50	0.141	1.673	11.2	面心立方	3.6153	2.5560
Tm	168.930	6.91	912.0	1,350	0.075	50.60	16.50	0.141	1.673	11.2	面心立方	3.6153	2.5560
Yb	173.054	6.91	912.0	1,350	0.075	50.60	16.50	0.141	1.673	11.2	面心立方	3.6153	2.5560
Lu	174.967	6.91	912.0	1,350	0.075	50.60	16.50	0.141	1.673	11.2	面心立方	3.6153	2.5560
Sc	44.955	2.98	1,535	2,835	0.175	101.6	16.50	0.141	1.673	11.2	面心立方	3.6153	2.5560
Ti	47.88	4.54	1,668	3,260	0.175	101.6	16.50	0.141	1.673	11.2	面心立方	3.6153	2.5560
V	50.94	6.00	1,910	3,350	0.175	101.6	16.50	0.141	1.673	11.2	面心立方	3.6153	2.5560
Cr	51.996	7.19	2,180	3,680	0.175	101.6	16.50	0.141	1.673	11.2	面心立方	3.6153	2.5560
Mn	54.938	7.43	1,246	2,180	0.175	101.6	16.50	0.141	1.673	11.2	面心立方	3.6153	2.5560
Fe	55.845	7.87	1,538	2,870	0.11	80.4	12.0~14.0 (20~60°C)	0.145	10.0	11.7	体心立方	3.646	
Co	58.933	8.80	1,495	2,900	0.099	58.4	12.30	0.165	6.24	21.0	六方密	2.567	1.0606
Ni	58.693	8.80	1,453	2,900	0.092	50.6	16.50	0.141	1.673	11.2	面心立方	3.6153	2.5560
Cu	63.546	8.96	1,083	2,600	0.092	50.6	16.50	0.141	1.673	11.2	面心立方	3.6153	2.5560
Zn	65.38	7.13	419.5	907	0.093	101.6	16.10	0.170	2.350	8.12	面心立方	4.078	2.882
Ga	69.723	5.91	30.0	924	0.075	50.6	16.50	0.141	1.673	11.2	面心立方	3.6153	2.5560
Ge	72.630	5.32	938	1,210	0.075	50.6	16.50	0.141	1.673	11.2	面心立方	3.6153	2.5560
As	74.922	5.72	363	630	0.0307	6.8	34.20	0.057	8.37	1.1	面心立方	4.504	3.250
Se	78.96	4.79	221	685	0.0307	6.8	34.20	0.057	8.37	1.1	面心立方	4.504	3.250
Br	79.904	3.12	265	588	0.0307	6.8	34.20	0.057	8.37	1.1	面心立方	4.504	3.250
Kr	83.80	3.70	120	175	0.0307	6.8	34.20	0.057	8.37	1.1	面心立方	4.504	3.250
Rb	85.468	1.47	39	688	0.075	50.6	16.50	0.141	1.673	11.2	面心立方	3.6153	2.5560
Sr	87.62	2.64	777	1,382	0.075	50.6	16.50	0.141	1.673	11.2	面心立方	3.6153	2.5560
Y	88.906	4.67	1,523	2,730	0.075	50.6	16.50	0.141	1.673	11.2	面心立方	3.6153	2.5560
Zr	91.224	6.01	1,855	3,550	0.075	50.6	16.50	0.141	1.673	11.2	面心立方	3.6153	2.5560
Nb	92.906	6.07	2,071	3,550	0.075	50.6	16.50	0.141	1.673	11.2	面心立方	3.6153	2.5560
Mo	95.94	10.22	2,610	5,260	0.0307	6.8	34.20	0.057	8.37	1.1	面心立方	4.504	3.250
Tc	98.906	11.62	2,917	5,630	0.0307	6.8	34.20	0.057	8.37	1.1	面心立方	4.504	3.250
Ru	101.07	12.01	3,000	5,627	0.0307	6.8	34.20	0.057	8.37	1.1	面心立方	4.504	3.250
Rh	102.91	12.41	3,000	5,627	0.0307	6.8	34.20	0.057	8.37	1.1	面心立方	4.504	3.250
Pd	106.42	12.02	3,000	5,627	0.0307	6.8	34.20	0.057	8.37	1.1	面心立方	4.504	3.250
Ag	107.87	10.49	960.5	2,210	0.0559	32.00	19.60	0.100	1.500	7.700	面心立方	4.0860	2.8880
Cd	112.41	8.650	320.0	765	0.0550	13.20	29.80	0.220	6.83	5.600	六方密	2.9787	5.6170
Hg	200.59	13.54	377.0	630.0	0.0307	6.80	34.20	0.057	8.370	1.100	面心立方	4.5040	3.2500
Al	26.97	2.699	660.20	2,060	0.215	94.50	23.50 (10~100°C)	0.530	2.655	6.300	面心立方	4.0491	2.8620
Si	28.085	2.329	1,414	2,355	0.16	148.0	12.0~14.0 (20~60°C)	0.145	35.0	2.6	斜方六面体	4.5065	2.9040
Fe	55.84	7.87	1,538	2,870	0.11	80.4	12.0~14.0 (20~60°C)	0.145	10.0	11.7	体心立方	3.646	
Co	58.93	8.80	1,495.0	2,900	0.0990	58.40	12.30	0.165	6.24	21.0	六方密	2.5671	1.0606
Ni	58.69	8.80	1,453.0	2,900	0.0920	50.60	16.50	0.141	1.673	11.2	面心立方	3.6153	2.5560
Cu	63.54	8.960	1,083.0	2,600	0.0920	50.60	16.50	0.141	1.673	11.2	面心立方	3.6153	2.5560
Zn	65.37	7.13	419.5	907.0	0.093	101.6	16.10	0.170	2.350	8.120	面心立方	4.0780	2.8820
Pb	207.2	11.34	271.0	917.0	0.0312	6.80	34.20	0.057	8.370	1.100	面心立方	4.5040	3.2500
Sn	118.7	7.31	150.4	444.0	0.0570	6.80	34.20	0.057	8.370	1.100	面心立方	4.5040	3.2500
Bi	208.98	9.80	271.5	675.0	0.0307	6.80	34.20	0.057	8.370	1.100	面心立方	4.5040	3.2500
As	74.92	5.72	363.0	630.5	0.0307	6.80	34.20	0.057	8.370	1.100	面心立方	4.5040	3.2500
Sb	121.75	5.72	363.0	630.5	0.0307	6.80	34.20	0.057	8.370	1.100	面心立方	4.5040	3.2500
Te	127.6	5.72	363.0	630.5	0.0307	6.80	34.20	0.057	8.370	1.100	面心立方	4.5040	3.2500
Mo	95.94	10.22	2,610	5,260	0.0307	6.80	34.20	0.057	8.370	1.100	面心立方	4.5040	3.2500
W	183.84	19.3	3,422	5,690	0.0307	6.80	34.20	0.057	8.370	1.100			

2 — 2 金屬材料之機械性質：

所謂金屬材料之機械性質，是指該材料對於作用力之諸性質而言：如強度 (Strength)、硬度 (Hardness)、韌性 (Toughness) 及塑性 (Plasticity) 等是。

1. 強度：

對於使金屬變形之外力所生之抗力，稱為金屬之強度，由於作用之外力不同，故所生之強度亦異，其中最重要者有如下數種：

(1) 拉力強度：(Tensile strength)：

拉力強度又稱抗拉強度，即金屬於被拉斷以前，單位面積上所生之最大抗力。金屬最大之拉力有時並非拉斷時之拉力。如具有韌性之材料，像鋼鐵等。其最後拉斷時之拉力，反較未拉斷時之最大拉力為小。但硬脆之材料，如生鐵等，其拉斷時之拉力，即最大拉力。

工程上應用之材料，其受力不能使達到最大拉力，通常保持在彈性限界 (Elastic limit) 以內，如超過此限，材料即生變形，雖再將外力除去，亦不能恢復原形，是謂之“永久變形”。故一切設計恒以彈性限度為準。為安全計、通常將彈性限度再除以安全因數 (Safety factor) 做為“實際設計”，以防超過常態之外力對材料造成變形。

(2) 壓力強度：(Compressive strength)：

一般所謂之壓力強度，是謂當試材受到壓力而未被壓變形前所有之最大抗力，故亦稱抗壓強度。一般材料之抗壓強度與抗拉強度大致相同，亦有抗壓大於抗拉強度者，如生、鑄鐵材料等然。

再則材料之橫應力 (Transverse stress) 衝擊力 (Impact)，與韌性等大者其抗壓強度亦較大。

(3) 剪力強度：(Shearing strength)：

剪力強度概分兩種：一爲扭剪 (Torsional shearing)。一爲純剪 (Pure shearing)。如將材料一端固定，他端施以外力，做軸向之旋轉，謂之扭剪，材料所生之最大抗扭力，謂之扭剪強度，扭剪強度又與其扭轉角度之大小有關。故材料之韌性大者，能承受之扭角亦大，則其強度亦大。通常材料之扭轉試驗是以扭至折斷所能轉之角度爲準。將材料做上下交錯之施壓，所生之剪力，謂之純剪。故材料硬度大者，抗剪力亦大。

(4) 疲勞強度：(Fatigue strength)：

當材料所受之外力是一拉一壓之交變時，其所據之強度將因之銳減，拉壓速率之變換愈大，材料所受之影響亦愈大，雖所施之外力不及彈性限度，組織本身亦因之變形或至斷裂。材料受一定交變之外力下，其單位面積上所能承受最大不變形之力量謂該材料之疲勞強度。

2. 硬度：

硬度即材料對局部變形之外力，所能抗拒之程度。

硬度在工程之應用上極爲重要。通常純金屬之硬度較低，合金之硬度較高，合金中加入之成分元素，不一定較原金屬爲硬亦可使硬度增高，如錫較銅硬，但銅中加入 5 % 以上之錫時，所成之青銅，則較純銅硬二倍。金屬混合物之硬度，與其混合比例成直線之變化，固溶體成倒 U 字形之變化，即溶質濃度達某值時，硬度最大，於此值前其硬度因溶質成分之增加而增加，過此值因溶質成分之增加而減少。金屬化合物之硬度最大，一般其硬度大者強度則強，韌性則低。故應用上則視其需要而兼顧。

3. 韌性與脆性：

韌性與脆性適爲其反。即韌性大之材料縱然所受之拉力超過其彈性限度，不論其作用力爲漸增或突增材料僅生永久變形，不致突然斷破。故韌性之大小多以伸長率 (Elongation percentage) 及斷面

縮率 (Reduction of area percentage) 表之。

伸長率即通常所謂之延性 (Ductility)，斷面縮率即通常所謂之展性 (Malleability) 其計算公式分為以下兩式：

$$E_l = \frac{\ell_2 - \ell_1}{\ell_1} \times 100 \% \quad \cdots \cdots \cdots \textcircled{1}$$

$$E_A = \frac{A_1 - A_2}{A_1} \times 100 \% \quad \cdots \cdots \cdots \textcircled{2}$$

E_l ：伸長率。 ℓ_1 ：材料原長。

ℓ_2 ：材料拉後之長度。 E_A ：面積縮率。

A_1 ：原材料斷面積。 A_2 ：材料縮後斷面積。

凡上述伸長或縮小率大之材料，即為韌性好的材料。

不論金屬或合金，熱至將近熔點 (Melting point) 然後放冷，均會變脆，如保持其溫度長久不變，則其晶粒將變為粗大，外表亦行氧化，是種現象謂之過燒 (Burnt)。過燒之金屬冷卻之後極為脆弱，於工程上毫無用處。因之金屬熱處理時，所至之最高溫度與停留於該溫度之時間，均應嚴予控制，如偶有不慎使材質過燒，將變為脆弱，失去效用。

一般純金屬之韌性均高，若其中含有不純物時，韌性即銳減，雖不純物含量極少，致脆之效力仍大。如銅中鉍之含量為 0.25 % 時，則其變脆之程度甚高。故一般合金之硬度及脆性均較純金屬為高。

4. 塑性：

當作用於物體之力，超過其彈性限度時，該物體即生永久變形，如是之現象即謂之塑性。一般金屬均有是等性質，故金屬均可以機械加工。如錘擊、壓輾、抽絲等，製成各不同形狀。塑性有如韌性，有延性與展性（展性與縮性實屬異趣而同功）兩種：延性可使金屬抽成絲。展性可使金屬錘成片。一般塑性好之金屬，延、展性亦好。但

亦有例外，如鉛僅能輾成片，而不能抽成絲。不過一般純金屬之塑性均較其合金為大。

2—3 金屬材料之組合性

1. 純金屬材料之組合性質：

金屬種類甚多，但性質各異，然於其不同性質之中亦可得其同點，如顏色、光澤、導熱、導電、延性、展性等性質者然。雖其中亦有例外但為數甚少。

世間存有之金屬約六十餘種，於工業上佔重要地位且可供吾人常用者則僅有鐵、銅、鎂、錳等二十七種（詳如表 2—1）。

純金屬在工業上用途不多，除電器裝置之用銅、用鋁或裝飾用之金、鉑、銀等是屬純物，一般均使用合金。合金是於一種金屬中加入別種金屬所成之另一種金屬合成物，以其加入種類之多少有二元、三元與多元合金之分。其名稱以加入合金之名稱而得，如鋼中加入鎳則為鎳合金鋼。加入鉻，則稱鉻合金鋼。加入鎳鉻則稱鎳鉻合金鋼等是。有關合金及近一步之知識，後將以專章敘述。

2. 金屬材料之組織與構造：

金屬材料是指能供工業應用之純金與合金而言。純金屬是一種微粒子之集合。合金是二種以上微粒子之集合。純金屬與合金之結晶粒外形並不規則，但依據原子排列的程序而結晶（Crystal）故稱結晶粒（crystal grains）。金屬係由晶粒或無數之結晶所組成。該晶粒又分純金屬、化合物、與固溶體等數種，以其種類之不同，其內部結晶之分佈亦異，且元素之狀態，結晶之形狀，晶粒之粗細均為影響材料性質之重要因素，茲再將其詳述如次。

(1) 金屬原子之構造：

以 x 射線之廻折現象，研究結晶體原子之排列，決定金屬之晶形。固態金屬原子，於空間之排列有一定之規則，每微晶內之原子排列規則可以空間格子 (space lattice) 表之。沿空間同晶軸方向，任何相鄰兩原子間之距離恒相等，該項距離稱為格子常數 (Lattice constant)。結晶之格子型式與格子常數，可用 x 射線繞射法 (x-ray diffraction method) 求得之。

常用金屬元素格子之排列：分為面心立方格子 (Face-centered cubic lattice, 簡稱 F.C.C.)、體心立方格子 (Body-centered cubic lattice, 簡稱 B.C.C.)、鑽石格子 (Diamond cubic lattice)、六方晶系格子 (Hexagonal close-packed lattice, 簡稱 H.C.P.) 與斜方晶系格子等多種。圖 2-1 為各金屬原子排列之形狀。

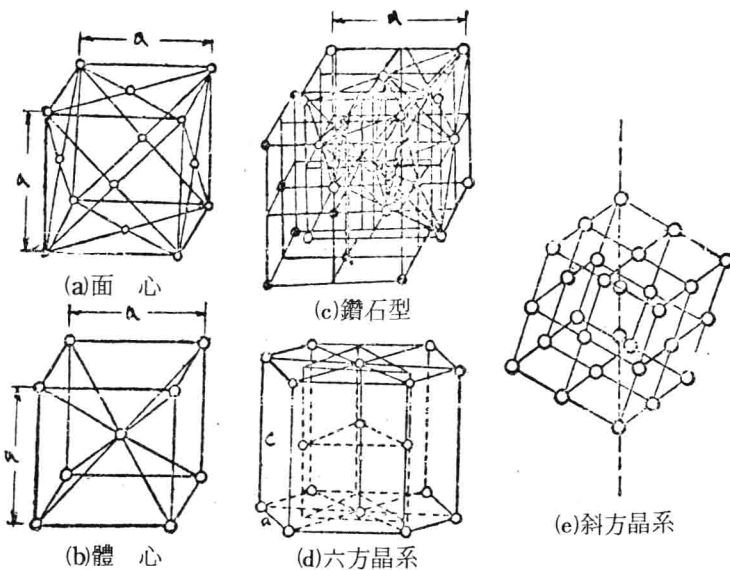


圖 2-1 各金屬原子排列之形狀