

TF8-2/C2

中等專業學校教育用書

有色金屬學

В. Н. 維索茨卡婭 著
А. И. 契比任柯

李 子 群 譯

冶金工業出版社

2/52 蘇聯中等專業學校教學用書

有色金屬學

B. H. 維索茨卡婭 著
A. H. 契比仁柯
李 子 群 譯

冶金工業出版社

本書為蘇聯有色冶金中等專業學校的教科書，書中闡述了有色金屬與合金的性能和應用範圍，討論了二元合金狀態圖，介紹了三元合金的一般概念及合金熱處理的基本方法。

全書分為兩篇：第一篇討論金屬學的基本理論；第二篇詳細討論各種合金的結構、性能與用途。

本書可作為大專學校有色冶金專業及其他有關專業的教學參考書，並可供有色金屬與合金的冶煉、加工、使用等部門的工程技術人員參考。

В. Н. Высоцкая и А. И. Чипиженко

МЕТАЛЛОВЕДЕНИЕ

Металлургиздат. Москва 1956

有色金屬學

В. Н. 維索茨卡婭

А. И. 契比仁柯 著

李 子 群 譯

編輯：王 忠 義 設計：周廣珍、韓晶石 校對：劉 馥 芸

1959年3月第1版

1959年3月北京第1次印刷 6,800冊

850×1168 · 1/32 · 370,000 字 · 印 張 10 $\frac{28}{32}$ · 定 價 1.40 元

旅大日報印刷廠印

新華書店發行

書 號 1 2 5 8

冶金工業出版社出版（地址：北京市燈市口甲45號）

北京市書刊出版業營業許可證出字第093號

序 言

本書係根據蘇聯有色冶金工業部教育司制訂的教學大綱、爲有色冶金中等專業學校學生而編寫的。本書適於有色金屬及合金的壓力加工，有色金屬鑄造，重金屬、輕金屬及稀有金屬冶煉，硬質合金生產等專業使用。因此，除了有色金屬合金外，本書對目前具有重大意義的、以稀有金屬爲基體的合金予以很大的注意。

本書內容相當於莫斯科有色冶金中等專業學校所講授的金屬學課程的範圍。

在學習本課程前，學生應已學完金屬工藝學和冶金理化原理，並即將學習金屬壓力加工和鑄造生產等專業課程。

第一章到第五章和第八章到第十五章係由 В. Н. 維索茨卡婭 (Высоцкая) 執筆，第六、七章係由 А. И. 契比仁柯 (Чипиженко) 執筆。

目 錄

序言

緒論.....	1
---------	---

第一篇 合金理論

第一章 純金屬的結構與性能.....	4
--------------------	---

§ 1. 原子結構.....	4
----------------	---

§ 2. 非晶質和晶質.....	8
------------------	---

§ 3. 研究金屬與合金的現代方法.....	16
------------------------	----

1. 顯微鏡法	16
---------------	----

2. 電子顯微鏡法	23
-----------------	----

3. X射綫法	27
---------------	----

4. 電阻法	32
--------------	----

5. 膨脹法	34
--------------	----

6. 磁化法	35
--------------	----

7. 熱分析法	37
---------------	----

第二章 合金的結構.....	43
----------------	----

§ 4. 基本概念.....	43
----------------	----

§ 5. 二元系.....	51
---------------	----

1. 兩組元在液態和固態時都完全互溶的狀態圖（形成連續的固溶體）	51
--	----

2. 兩組元液態時完全互溶，固態時完全不互溶的狀態圖.....	55
---------------------------------	----

3. 兩組元液態時完全互溶，固態時部份互溶的狀態圖.....	58
--------------------------------	----

4. 包晶狀態圖	61
----------------	----

5. 形成穩定化合物的狀態圖	64
----------------------	----

6. 兩組元形成不穩定化合物的狀態圖	67
--------------------------	----

7. 兩組元液態時有限溶解，固態時不互溶的狀態圖	69
--------------------------------	----

§ 6. 三元系.....	70
---------------	----

1. 三元系中合金化學成分的確定	71
2. 三組元液態時完全互溶，固態時不互溶的狀態圖	73
3. 在液態和固態時均完全互溶的三元系狀態圖	82
第三章 金屬與合金的物理化學性質	83
§ 7. 純金屬的物理化學性質	83
§ 8. 合金的狀態圖與機械性能，物理性能之間的 關係	84
第四章 金屬與合金的結晶過程	89
§ 9. 液態金屬與合金的性能	89
§ 10. 純金屬的結晶理論	91
§ 11. 合金的結晶曲綫及其與狀態圖的關係	93
§ 12. 實際情況下的結晶過程	94
§ 13. 收縮及縮孔的形成	100
§ 14. 偏析	104
§ 15. 氣體在金屬中的溶解與氣孔	106
§ 16. 壓力結晶	109
§ 17. 有色金屬的鑄錠	110
第五章 金屬及合金機械性能試驗的基本方法	115
§ 18. 拉力試驗	115
§ 19. 壓縮試驗	122
§ 20. 金屬硬度的測定	122
§ 21. 金屬沖擊彎曲試驗	132
§ 22. 扭轉試驗	134
§ 23. 剪力試驗	134
§ 24. 耐久試驗	135
§ 25. 蠕變試驗	137
§ 26. 磨損試驗	138
§ 27. 工藝試驗	139
第六章 塑性變形理論的基本概念	144
§ 28. 單晶體塑性變形的機理	144

§ 29. 多晶體物質的塑性變形	145
§ 30. 塑性變形時金屬與合金的組織與性能的改變	149
§ 31. 不同類型的塑性變形	150
第七章 合金熱處理	156
§ 32. 退火	156
§ 33. 相變重結晶	162
§ 34. 淬火	166
§ 35. 回火	167
§ 36. 化學熱處理	169
第八章 金屬與合金的腐蝕	171
§ 37. 腐蝕的一般概念與分類	171
§ 38. 化學腐蝕	171
§ 39. 電化學腐蝕	176
§ 40. 合金的腐蝕	182
§ 41. 金屬的鈍化	183
§ 42. 金屬的防腐	184

第二篇 工業用合金

第九章 鐵及鐵合金	187
§ 43. 鐵碳狀態圖	187
1. 滲碳體狀態圖	189
2. 石墨系狀態圖	192
3. 鐵碳合金的分類	194
§ 44. 雜質對鋼鐵的性能與組織的影響	195
§ 45. 鋼的壓力加工	198
§ 46. 生鐵及其熱處理	200
§ 47. 鋼的熱處理	204
1. 鋼的退火	205
2. 鋼的淬火	210
3. 鋼的回火	215

4. 鋼的化學熱處理	219
§ 48. 熱處理實踐	222
1. 熱處理爐	222
2. 加熱氣氛	226
3. 加熱與冷卻速度	227
§ 49. 特殊鋼	228
1. 合金元素的影響	228
2. 合金鋼的分類	230
3. 鎳鋼	232
4. 鉻鋼	235
5. 鉻鎳鋼	235
6. 鎢鋼	238
7. 錳鋼	240
8. 具有特殊物理性能合金	241
✓ 第十章 銅及銅合金	244
P § 50. 有害雜質的影響	245
§ 51. 銅基合金	250
1. 黃銅	250
2. 青銅	260
第十一章 鎳及鎳合金	273
§ 52. 雜質的影響	273
§ 53. 鎳合金	275
第十二章 鋁及鋁合金	281
§ 54. 雜質的影響	281
§ 55. 壓力加工鋁合金	282
1. 鋁錳合金	283
2. 鋁鎂合金	283
3. 鋁銅合金	285
4. 鋁-硅化鎂合金	285
5. 鋁-銅-鎂三元合金	286

6. 杜拉鋁 (硬鋁)	287
7. 耐熱鋁合金	289
§ 56. 鋁合金熱處理	290
1. 淬火	290
2. 時效	291
§ 57. 鑄態鋁合金	292
第十三章 鎂及鎂合金	295
第十四章 鋅、錫、鉛及其合金	299
§ 58. 鋅、錫、鉛的性能及其應用範圍	299
2 ✓ § 59. 軸承合金	300
1. 巴氏合金	301
2. 銅基合金	304
3. 鋅合金與鋁合金	305
§ 60. 焊料	307
2 ✓ 第十五章 難熔稀有金屬及其合金	309
§ 61. 鎢及鎢合金	309
§ 62. 鉬及鉬合金	317
§ 63. 鈮、鈮及其合金	320
§ 64. 鈦及鈦合金	325
§ 65. 鈳及鈳合金	335
參考文獻	339

緒 論

金屬學是研究金屬及合金的性能、成分和結構之間的關係的科學。

金屬學是理論冶金學中一個部分，19世紀時成為獨立的學科，稱為金相學。

1831年，П. П. 安諾索夫 (Аносов) 首先用顯微鏡來觀察鋼的組織。1868~1869年間，Д. Ч. 切爾諾夫 (Чернов) 在彼得堡的一個工廠製造大砲時，發現在鋼中存在有臨界點（與鐵的多形性有關），他指出這一發現對於鋼加工的意義，並用顯微鏡來觀察鋼的結構。

П. П. 安諾索夫和 Д. К. 切爾諾夫兩人杰出的發現，實際上就是金屬學這門科學發展的開始。1869年 Д. И. 門捷列夫 (Менделеев) 所發現的元素周期律確定了元素性質與其結構的關係，也大大促進了金屬學的發展。此外，Д. И. 門捷列夫首先提出在鋼中加入少量其他元素以改良鋼的性質，此即為現代合金鋼生產的基礎。

1887年 Д. К. 切爾諾夫創立了鑄錠的結晶理論。А. А. 惹紹達爾斯基 (Ржещотарский) 繼承 Д. К. 切爾諾夫的工作，於1895年第一次在俄國建立了擁有當時最新技術裝備的金相實驗室。

20世紀初葉，Н. С. 庫爾納柯夫 (Кушноков) 確定了二元合金的成分與其物理性質的基本關係，因而就有可能確定合金中所發生的變化；並建立了研究具有一定性質的合金所需要的方法。知道臨界點就可能正確地進行零件的熱處理而獲得一定質量的鑄件。

1899年，由於 Н. С. 庫爾納柯夫的倡議，在俄國技術協會下成立了金相學會，由 Н. С. 庫爾納柯夫擔任主席。學會按計劃在彼得堡的礦業學院、工業大學（從1903年起）和科學院（從1915年起）的實驗室中進行了研究工作。一些有名的俄國學者，

如 С. Ф. 惹姆楚日內 (Жемчужный), Н. А. 斯杰潘諾夫 (Степанов), Г. Г. 烏拉佐夫 (Уразов) 等都在這三個實驗室中開始了自己的工作。於1918年又成立物理化學分析研究所。

隨着安諾索夫和切爾諾夫的發現後，金屬學的研究工作在國外也開始發展。一些有名的學者，如馬爾杰斯 (Мартез, 1878年)，阿斯曼 (Осман, 1885年)，呂·查得里 (Ле-шателье, 1895年) 等也致力於顯微結構分析的改善。呂·查得里又提出用鉑—鉑銻 (10% 銻) 合金熱電偶測量高溫，這一發明對於熱分析法的發展起了巨大的作用；熱分析法曾為許多俄國學者和外國學者，如羅別爾茨—奧斯丁 (Роберте-Аустен), Н. С. 庫爾納柯夫, С. Ф. 惹姆楚日內, Г. А. 達曼 (Тамман) 等人所研究。

吉布斯 (Гиббс) 在1873—1876年間建立了多相平衡法則 (非均一系中的平衡) 及相律，這些對於金屬及合金的物理化學分析的發展，具有重大的意義。相律學說為化學和冶金的發展創造了新的紀元。

現代金屬學的成就是與科學院院士 А. А. 巴依科夫 (Байков), С. С. 斯坦別爾克 (Штейнберг), Г. В. 庫爾久莫夫 (Курдюмов), Н. Т. 古得佐夫 (Гудцов), 以及其他學者們的工作分不開的。

博士 А. М. 包契瓦爾 (Бочвар) 教授的工作確立了有色金屬學的發展，他在耐磨合金方面的著述已為全世界所公認。

在本世紀30年代中，А. М. 包契瓦爾教授在莫斯科創立了金屬學派，並領導此學派從事有色金屬及合金金屬學問題的研究。他的學生和繼承者 А. А. 包契瓦爾院士、А. Г. 斯巴斯基 (Спаский) 教授, С. М. 瓦羅諾夫 (Воронов) 教授等人對於各個工業部門所用的有色金屬合金進行了鉅大的研究工作。現在，根據蘇聯共產黨20次代表大會的決議，在蘇聯掀起了鉅大的技術高潮。

在蘇聯共產黨20次代表大會關於發展國民經濟第六個五年計劃的指示中，充分地反映了不僅要大力發展黑色冶金，而且還要大力發展有色冶金。例如，低合金鋼生產要增加到17倍，耐熱鋼要增加到 6 倍。要大量生產鈦和稀有金屬，如鎳、鈷、鈮、鉭

等。

蘇聯共產黨20次代表大會對冶金工作者提出許多重大的科學技術問題：如鋼的真空冶煉和真空鑄錠，掌握高純度的有色金屬及稀有金屬的生產（用以製造電子學和無綫電等方面的特殊合金）等。

在現代科學成就的基礎上，採用新技術生產、運用優秀生產者的先進經驗、使理論密切聯繫實際，就可能完成這些任務。

本書闡述了合金的研究方法，二元合金的結構，有色金屬及合金的性質和應用範圍，稀有金屬和鐵合金的性質和用途等。此外，還涉及腐蝕和熱處理問題。這些基本知識可以指導我們正確而有意識地來選擇鑄造、鍛造、沖壓、焊接和熱處理等工藝過程中所需要的材料和條件。

科學地對待這些問題，便能提高勞動生產率、節約貴重的金屬、合理使用金屬材料、改善金屬和金屬機械零件的生產工藝過程。

第一篇 合金理論

第一章 純金屬的結構與性能

§1. 原子結構

現在已經確定，金屬的性質取決於原子的結構及原子在空間排列位置（金屬的結晶格子）。金屬的性質，如導電性，導磁性及所有的其他性質都取決於原子的結構。偉大的俄國學者 M. B. 羅蒙諾索夫 (Ломоносов) 敘述了物質原子結構的概念，他認為物體是由極細微而不可再分的、化學性質相同的小質點組成，此小質點稱為原子。原子的大小在 $1\sim 5$ 埃⁰ 之間。

雖然原子是如此微小，但却是一個複雜的體系。它是由原子核和圍繞原子核旋轉的電子所組成。

原子核的體積僅有一個原子的萬億分之一，但却具有原子全部質量的 99.98% 左右。原子核由質子和中子組成。質子是荷正電的質點，其質量為 1.6727×10^{-24} 克，荷電 $+1.602 \times 10^{-19}$ 庫侖。中子也是與質子相似的質點，但不荷電；中子質量為 1.6749×10^{-24} 克。

環繞原子核運動的電子，即使與質子比較其質量也是很小的，僅有 9.109×10^{-28} 克；約為質子質量的 $1/2000$ 。電子荷負電，荷電 -1.602×10^{-19} 庫侖。電子運動速度約為 2000 米/秒或更高。

不同元素的原子，其質子及電子數各不相同。因為整個原子是中性的，故質子及電子數相等。下面指出，電子數和與其相等的質子數可以由 A. И. 門捷列夫的週期律來確定，因為元素的原子序數就表示了電子或質子的數量。

⁰ 1 埃 (Å) = 10^{-8} cm。

以高速圍繞原子核旋轉的電子只能沿着一定的軌道運動。而這些軌道與原子核之間的距離也各不相同。電子在上面旋轉的球體共分爲數層，每層上只有幾個電子旋轉，而不能超過一定的電子數；此數目可由 $N=2n^2$ 公式算出（式中 N =電子數； n —距原子核的層數）。這樣，原子核外面第一層中的電子數不得多於2個，第二層不得多於8個，第三層不得多於18個，第四層不得多於32個。在每一電子層中又分電子組，各組以字母 s, p, d, f 表示之。在電子組 s 中電子不得多於2個，電子組 p 不多於6個，電子組 d 不多於10個，電子組 f 不多於14個。若以數字 1,2,3,4……表示電子層的順序，而各電子組中的電子以指數形式表示，則電子的分佈將有如下的順序：

$$1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^{10} 4s^2 4p^6 4d^{10} 4f^{14}$$

但是，充填在某些元素中的電子層却不是按這種順序排列；即當前面的電子層尚未填滿時，電子就填到下一電子層中。這種現象可以在全部所謂過渡元素（鐵、鈦、鈮、鉍等）中發現（表1）。這種反常的電子組分配情況，使得這些元素具有不同於其他金屬的特性。

現在知道，金屬的性質完全取決於外層電子的結構。因此，凡外層電子結構相同的元素，都具有同樣的性質。在 A. И. 門捷列夫週期表中同一族的元素，其外層電子結構相同，或者說在外層軌道上具有同樣數目的傳電子。但是應該指出：在週期表中的每一個週期裡，元素性質隨其電子序數的增加而不同，並且有週期的反覆性，如元素的硬度、熔點（以絕對溫度表示）。原子體積等等都有這種週期的反覆性。

在外層軌道上的電子或金屬的傳電子能够容易地脫離自己的原子，而從一個原子的外層軌道轉到另一原子的軌道上去。

能從一條軌道上轉移到另一軌道上去的電子稱爲游離電子。這種游離電子的流動形成所謂電子氣，它在金屬原子的正電子之間運動。

游離電子從一個原子的電子軌道上轉移到另一原子軌道上去

表 1

電子在化學元素的原子中按電子層和電子組的分佈

元 素 的 原子序數	元 素	電 子 層			
		1	2	3	4
		電 子 組			
		0	0 1	0 1 2	0 1 2 3
		電子組的字母名稱			
		s	s p	s p d	s p d f
1	H	1			
2	He	2			
3	Li	2	1		
4	Be	2	2		
5	B	2	2 2		
6	C	2	2 3		
7	N	2	2 4		
8	O	2	2 5		
9	F	2	2 6		
10	Ne	2	2 6		
11	Na	2	2 6	1	
12	Mg	2	2 6	2	
13	Al	2	2 6	2 1	
14	Si	2	2 6	2 2	
15	P	2	2 6	2 3	
16	S	2	2 6	2 4	
17	Cl	2	2 6	2 5	
18	Ar	2	2 6	2 6	
19	K	2	2 6	2 6	1
20	Ca	2	2 6	2 6	2
21	Sc	2	2 6	2 6	2
22	Ti	2	2 6	2 6	2
23	V	2	2 6	2 6	3
24	Cr	2	2 6	2 6	5
25	Mn	2	2 6	2 6	5
26	Fe	2	2 6	2 6	6
27	Co	2	2 6	2 6	7
28	Ni	2	2 6	2 6	8
29	Cu	2	2 6	2 6	10
30	Zn	2	2 6	2 6	10
31	Ga	2	2 6	2 6	10
32	Ge	2	2 6	2 6	10
33	As	2	2 6	2 6	10
34	Se	2	2 6	2 6	10
35	Br	2	2 6	2 6	10
36	Kr	2	2 6	2 6	10

續表 1

元素的 原子序數	元 素	電 子 層									
		1	2	3	4		5		6		7
		電 子 組									
		—	—	—	—		0 1 2		0 1 2		0
		電 子 組 的 字 母 名 稱									
—	—	—	s p d f			s p d		s p d		s	
37	Rb	2	8	18	2 6			1			
38	Sr	2	8	18	2 6			2			
39	Y	2	8	18	2 6 1			2			
40	Zr	2	8	18	2 6 2			1			
41	Nb	2	8	18	2 6 4			1			
42	Mo	2	8	18	2 6 5			1			
43	Tc	2	8	18	2 6 6			2			
44	Ru	2	8	18	2 6 7			1			
45	Rh	2	8	18	2 6 8			1			
46	Pd	2	8	18	2 6 10						
47	Ag	2	8	18	2 6 10			1			
48	Cd	2	8	18	2 6 10			2			
49	In	2	8	18	2 6 10			2 1			
50	Sn	2	8	18	2 6 10			2 2			
51	Sb	2	8	18	2 6 10			2 3			
52	Ti	2	8	18	2 6 10			2 4			
53	J	2	8	18	2 6 10			2 5			
54	Xe	2	8	18	2 6 10			2 6			
55	Cs	2	8	18	2 6 10			2 6		1	
56	Ba	2	8	18	2 6 10			2 6		2	
57	La	2	8	18	2 6 10			2 6 1		2	
58到71	稀土金屬	2	8	18	2 6 10 1 到 14			2 6 1		2	
72	Hf	2	8	18	2 6 10 14			2 6 2		2	
73	Ta	2	8	18	2 6 10 14			2 6 3		2	
74	W	2	8	18	2 6 10 14			2 6 4		2	
75	Re	2	8	18	2 6 10 14			2 6 5		2	
76	Os	2	8	18	2 6 10 14			2 6 6		2	
77	Ir	2	8	18	2 6 10 14			2 6 6		2	
78	Pt	2	8	18	2 6 10 14			2 6 8		2	
79	Au	2	8	18	2 6 10 14			2 6 9		1	
80	Hg	2	8	18	2 6 10 14			2 6 10		2	
81	Tl	2	8	18	2 6 10 14			2 6 10		2 1	
82	Pb	2	8	18	2 6 10 14			2 6 10		2 2	
83	Bi	2	8	18	2 6 10 14			2 6 10		2 3	
84	Po	2	8	18	2 6 10 14			2 6 10		2 4	
85	—	2	8	18	2 6 10 14			2 6 10		2 5	
86	Rn	2	8	18	2 6 10 14			2 6 10		2 6	
87	—	2	8	18	2 6 10 14			2 6 10		2 6 1	
88	Ra	2	8	18	2 6 10 14			2 6 10		2 6	
89	Ac	2	8	18	2 6 10 14			2 6 10		2 6 1	
90	Th	2	8	18	2 6 10 14			2 6 10		2 6 2	
91	Pa	2	8	18	2 6 10 14			2 6 10		2 6 3	
92	U	2	8	18	2 6 10 14			2 6 10		2 6 4	

的可能性和電子氣的存在，就是金屬具有良好導電性和導熱性的原因。

§2. 非晶質和晶質

非晶質和晶質是固體存在的兩種不同形態。固體可以說是物質聚集態的一種，質點在固體中的活動性極小，而質點間的內聚力極大。若要改變固體的形狀則必須加以很大的外力。雖然，從表面看來，非晶質和結晶物質都是固體，它們之間的差別却是極大的。

非晶質（玻璃質）是一種強烈過冷卻的液體，其內部原子的分佈雜亂，原子移動極其困難。溫度升高時，原子移動的可能性增大，非晶質即逐漸變成液體。非晶質沒有一定的熔點，而是逐漸地由固體成為液體。非晶質的溫度與加熱時間的關係或非晶質的熔化曲線示於圖 1, a。

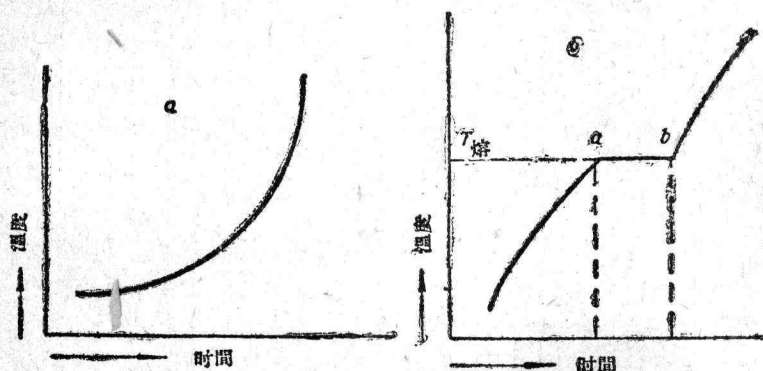


圖 1 熔化曲線

a—非晶質； b—晶質

晶質 晶質的特徵是具有晶格。原子或分子在晶格中嚴格地按一定的方式排列，它們之間都保持有一定的距離，就好像是安置在晶格的各個結點上。晶格是假想的穿過原子中心的網綫，它根據原子的排列而形成各種幾何圖形。晶體就是由許多最簡單的幾