

中等專業學校教學用書

金屬學與熱處理基礎

上 冊

阿羅諾維奇、拉赫金著



機械工業出版社

15.11.73
13/1

中等專業學校教學用書



金屬學與熱處理基礎

上 冊

吳 兵 譯

蘇聯黑色冶金工業部教育司
審定為中等專業學校教科書



機械工業出版社

出版者的話

本書原書經蘇聯黑色冶金工業部教育司審定為中等專業學校教科書。書中敘述了鋼、生鐵、有色金屬和合金的結構、性能，以及使用的基本知識，研究了熱處理和化學熱處理的理論和實際問題。

本書分上下兩冊出版。上冊(本書)包括：金屬的結晶構造，平衡圖，鋼的熱處理理論基礎，種類和化學熱處理。下冊包括：碳鋼、合金鋼、鑄鐵、銅及銅合金、鉛及鉛合金、鎂及鎂合金、抗摩合金及鋁料。

本書為中等專業學校教材，也可作為機器製造工廠和冶金工廠的工長、技術員和工程師的參考書。

蘇聯 М. С. Аронович, Ю. М. Лахтин 著 'Основы металловедения
и термической обработки' (Металлургиядат 1952 年第一版)

* * *

NO. 0516

1954 年 12 月第一版 1957 年 1 月第一版第六次印刷

787×1092 $\frac{1}{18}$ 178 千字 8 印張 11,101—12,800 冊

機械工業出版社(北京東交民巷27號)出版

機械工業出版社印刷廠印刷 新華書店發行

北京市書刊出版業營業許可證出字第 008 號

定價(19) 1.00 元

目 次

緒論.....	5
第一章 金屬的結晶構造.....	13
1 金屬的構造和性質.....	13
2 結晶過程及金屬錠的構造.....	18
3 金屬的同素異晶轉變.....	24
第二章 平衡圖.....	26
1 相律.....	26
2 第Ⅰ類平衡圖.....	27
3 第Ⅱ類平衡圖.....	33
4 第Ⅲ類平衡圖.....	43
5 三元合金平衡圖的概念.....	47
第三章 鐵-碳平衡圖.....	50
1 導言.....	50
2 鐵.....	51
3 鐵-碳平衡圖.....	52
第四章 鋼熱處理的理論基礎.....	61
1 一般概念.....	61
2 加熱時鋼內的轉變.....	62
3 奧氏體晶粒的生長.....	65
4 在連續冷卻時奧氏體的轉變.....	71
5 奧氏體的等溫轉變.....	76
6 鋼中馬丁體的轉變.....	82
7 馬丁體的回火.....	85
第五章 鋼熱處理的種類.....	89
1 導言.....	89
2 鋼的退火.....	89
3 正火.....	96
4 鋼的淬火.....	97
5 回火.....	108
6 表面淬火.....	110
第六章 鋼的化學熱處理.....	116
1 鋼化學熱處理的理論基礎.....	116
2 鋼的滲碳.....	119
3 鋼的滲氮.....	128
4 鋼的氰化.....	134
5 金屬擴散法.....	137
中俄名詞對照表.....	142

緒 論

我們祖國的科學是有着光榮的歷史的。

羅蒙諾索夫(М. В. Ломоносов)、阿諾索夫(П. П. Аносов)、契爾諾夫(Д. К. Чернов)門德列也夫(Д. И. Менделеев)完成了許多重要的發現，這些發現乃是現代許多技術部門的基礎。他們決定了整個世界科學，特別是金屬學和冶金學的發展道路。

蘇聯學者所發現的大量的歷史文件令人信服地說明了在古代俄國人們已經學會了金屬的開採和加工，時間上遠早於西歐。根據對古代俄羅斯歷史的研究結果我們充分證明了當英國的祖先盎格魯撒克遜還用石斧來抵禦諾爾曼奴役者的時候，俄國已經在開採鐵，不僅供給自己，而且還供其他斯拉夫民族之用。

根據蘇聯學者的研究結果，證明古代俄羅斯的手藝匠已普遍採用了極為複雜的操作方法來對金屬進行加工，用以製造鐵和鋼的物品(這些物品考古學家已在斯拉夫部落所居住過的廣大地區內發現)。其中尤以鋼的熱處理(滲碳、淬火、回火)做得特別出色。

在彼得一世的時代礦冶事業有着最大的發展。

當時俄國的鋼在波爾達瓦戰爭中取得了勝利。俄國的鋼在國際市場上排擠了瑞典的鋼。用烏拉爾鐵製成的物品，上面所印的俄國商標(老貂牌)馳名於全世界。

俄國的科學和技術是在非常困難的條件下發展起來的，因為當時統治着的是反動的專制制度、農奴制度以及侵入到許多國民經濟部門中去的外國勢力。可是優秀的科學技術工作者，這些真正熱愛祖國的人們，並沒有在任何困難面前退縮。他們看到了在俄羅斯的生產力的發展中祖國偉大的未來。

最初的金相研究以及金屬科學本身的建立都是首先由我國科學開始的(工程師阿諾索夫在1831年第一次用顯微鏡來對鋼進行研究。契爾諾夫在1868年發現鋼內的臨界點)。

當巴維爾·彼得諾維奇·阿諾索夫(1797~1851)在茲拉道烏斯道夫斯基工廠中工作的時候，他發掘了久已失傳的古代刀劍鋼的製造秘方，解決了在十九世紀最優秀的冶金學家所不能解決的問題。

在這些卓越的研究工作中開始形成了第一個科學的冶金學派。

前面已經說過，阿諾索夫是世界上第一個用顯微鏡來研究鋼的構造的人(1831)，比起英國人索爾比(1864)要早33年。他比西歐的冶金學家早70年採用一氧化碳來對鐵進行滲碳，並用此法製得了高碳鋼，從而創立了最先進的操作方法之一——氣體滲碳法。

阿諾索夫在他的著作‘論刀劍鋼’一書中，第一次指出了鋼的性能與其肉眼結構和顯微結構之間的關係。

爲了製取高級優質鋼阿諾索夫在上世紀的三十年代研究了合金元素(錳、鉻、鈦、鈣、矽、鋁和鎂)對鋼的性能所起的影響,他是世界上第一個研究這問題的人。合金鋼的理論基礎就是由他奠定的。

阿諾索夫創立了俄羅斯冶金學家和金屬學家的學派——他的事業的繼承者。這是阿諾索夫極偉大的功績。在他的繼承者中有傑出的學者依茲諾斯科夫(А. А. Износков)、奧布霍夫(П. М. Обухов)、拉夫若夫(А. С. Лавров)卡拉庫茨基(Н. В. Калакуцкий)、契爾諾夫。

金屬學(金相學)是一門比較年輕的科學,它的正式開端是在1868年。當時正在彼得堡奧布霍夫鑄鋼廠(現在是列寧格勒的‘布爾什維克’工廠)工作的年輕的俄羅斯工程師德米特利·康斯坦丁諾維奇·契爾諾夫(1839~1921),阿諾索夫的繼承者,發表了他的著作‘對拉夫若夫和卡拉庫茨基兩人所著[鋼及鋼具]一文的評論及本人對此問題的研究’(〔俄羅斯技術協會記錄〕,1868年)。金屬學的正式建立就是由此開始的。

契爾諾夫在沒有任何計量儀器而僅憑自己肉眼觀察的條件下,發現了固態的鋼在加熱或冷卻時有所謂結構轉變發生,他天才地斷定了這些轉變對於鋼件性能的意義。

在契爾諾夫以前的許多世紀內,也曾有過成千上萬的工藝匠師們對鋼進行加工(鍛、軋、淬火),並在加工過程中製出了合理的加工條件,父子相傳下去。然而控制鋼的性能的基本規律始終沒有找出來。在契爾諾夫以前,工藝師的全部巨大經驗僅僅是實際觀察的總和。

契爾諾夫的發現不但爲合理地對鋼進行處理奠定了基礎,而且成爲了科學冶金學的基礎。由於他的發現產生了一門新的科學——金屬學,其中不僅包括了鐵、鋼和生鐵,而且包括了所有的工業金屬。冶金學家們很快地都深信契爾諾夫的發現並不單純適用於鋼鐵,而是一切金屬和合金所共同遵守的一般規律。正是在這一點上,契爾諾夫的發現有着特殊重要的意義。

過了十年以後(1878)契爾諾夫又發表了另一部光輝的著作‘關於鋼錠結構的研究’。在這部著作中他結合鋼錠的性質敘述了自己的鋼結晶理論。這一理論勝利地經受了時間的考驗,直到現在仍不失去其意義。

鋼的結晶理論使我們理解了樹枝狀晶體的形成原理,以及金屬錠內結構的形成原理。

契爾諾夫的著作在世界上博得了極高的評價。

1900年有名的法國冶金家蒙果立菲耶在巴黎世界展覽會上向契爾諾夫致敬說:‘我認爲我有義務在這樣多的行家和專家面前當衆公開宣佈,我們的工廠和整個鑄鋼業應當在極大的程度上把目前的發展和成就歸功於俄羅斯工程師契爾諾夫的著作和研究,請你們以整個冶金工業的名義向他表示我們真誠的敬意和謝意吧’。

契爾諾夫光輝的發現使他完全有權被稱爲金相學之父。

傑出的俄羅斯學者卡拉庫茨基(1831~1889)的工作對金屬科學的建立有着很大的意義。卡拉庫茨基在研究過程中首先發現了偏析現象，並指出了鋼中內應力的存在。卡拉庫茨基首先創立了測定金屬內應力的方法。

契爾諾夫在奧布霍夫工廠的學生和繼承者爾熱少塔爾斯基(А. А. Ржевотарский)(1847~1904)，是俄羅斯第一個金相實驗室的創立者。他在1898年發表了一部偉大的著作‘鐵-鋼和生鐵的顯微研究’。鐵-碳合金的顯微研究方法，實際上是在這部著作中才第一次被制定出來的。

傑出的俄羅斯學者庫爾納科夫院士(Н. С. Курнаков)(1860~1941)對年輕的金屬科學的發展作出了巨大的貢獻。庫爾納科夫按其專業來說雖是個化學家，但他對合金理論却感到深刻的興趣。他用了半個世紀以上的時間在合金理論方面進行了研究，並為它開闢了新的道路。

庫爾納科夫創立了合金的物理化學分析法。在這個方法的基礎上許多金屬系的研究工作更為深入有效。合金的化學成分、結構和性質之間的基本規律也是在這個基礎上得以確立。庫爾納科夫設計了一種巧妙的儀器——帶有照片記錄的自動記錄高溫計，利用這種高溫計可以用實驗方法來解決合金物理化學分析的複雜問題。

金相學——這門年輕的科學——由於被新的理論和研究方法所充實，在二十世紀的最初十年中已成為一門極端豐富的知識，它緊密地廣泛地與其他各門科學如材料力學、金屬試驗法、彈性理論、化學(特別是物理化學)、冶金學、金屬壓力加工、鑄工、熱處理、金屬切削加工等聯系在一起。從此古典金相學就被許多新的部門所充實了。

1912年以後，由於發明了X-射線，結晶物體(特別是金屬)的內部原子構造就被揭露出來了。因此金屬科學的發展獲得了新的、強大的推動力。

二十年代所出版的書籍有許多都不叫做金相學，而叫做金屬學。

金屬學是在偉大的十月社會主義革命以後才達到了真正的繁榮。

偉大的十月社會主義革命把科學和技術中的一切成就用來服務於人民。在布爾什維克黨和斯大林同志領導下的蘇聯人民以堅強的意志把蘇聯變成了強大的工業國。列寧-斯大林黨以唯一正確的、深刻的、創造性的科學研究方法——辯證唯物的方法武裝了蘇聯的學者和工程師。

斯大林五年計劃時代對於金屬學的發展，也像對整個蘇聯科學的發展一樣，起了極為巨大的影響。在冶金和機器製造系統，在科學院及其分支機構，在高等學校以及在大型工廠中都建立了金屬學的科學研究所和實驗室。金屬學的科學研究工作是在蘇聯科學界最有名望的人物領導下進行的。

傑出的蘇聯金屬學家，在老一輩中最出名的有：巴依科夫(А. А. Байков)院士，巴保興(А. Л. Бабошин)教授，什欠別爾格(С. С. Штейнберг)教授，包奇瓦爾(А. М. Бочвар)教授，明蓋維奇(Н. А. Минкевич)教授，古德佐夫(Н. Т. Гудцов)院士，斯拉聞斯基(М. П. Славинский)教授，阿克諾夫(М. Г. Окнов)教授，達維金科夫(Н. Н. Давиден-

ков) 教授, 斯維奇尼科夫 (В. Н. Свечников) 教授。他們解決了金屬學中最重要、最複雜的問題, 豐富了世界的科學和操作方法。尤其是蘇聯學者庫爾久莫夫 (Г. В. Курдюмов) 和什欠別爾格在鋼的淬火和回火的理論方面所作的研究更有着特殊重要的意義。他們更加發展了契爾諾夫對於鋼的性質所作的光輝理論。

巴保興, 明蓋維奇, 阿克諾夫 (М. Г. Окнов) 在鋼和生鐵的熱處理和金相學方面寫過許多重要的著作。這些著作對於青年專家的培養起着極為重大的作用。

蘇聯金屬學家年輕的一代不愧為他們導師的事業的繼承者。他們的研究工作是為的解決極端複雜的科學問題和實際問題。他們的研究工作包括了金屬科學中的所有的主要部門。這些研究工作的內容和意義將在本書有關各章中分別闡明。

研究金屬的科學——金屬學, 其實質究竟是什麼呢?

在技術中最關緊要的就是工業金屬及其合金的性能——機械性能, 化學性能, 物理性能 (電、磁等)。在修建構築物、製造機構或器械的零件時, 使用某種金屬 (合金) 的可能性和合理性就決定於它的性能。而金屬或合金的性能則又決定於它的構造 (結構) (在廣義上所說的構造)。

金屬的結構決定於它的化學成分和狀態; 金屬的狀態決定於金屬的冶金性質和它的機械加工和熱處理的特性。

所有的工業金屬及其合金都是由許許多多的晶粒所組成的。這些晶粒可以在金屬的斷口處用肉眼清楚地辨別出來。所以研究金屬構造最簡單的 (因此也就是非常有價值的) 方法就是用肉眼或用放大鏡來觀察斷口。這個在實踐中普遍採用的方法, 當金屬學還沒有成為科學以前, 就早已知道了。然而研究斷口——這不過是研究金屬結構的第一步而已。

金屬和合金的性能不能單憑斷口的性質來決定。更重要的是金屬製件整個的構造, 也就是金屬製件中不同構造和不同成分的各個區域的分佈情形以及存在於金屬製件中的各種內部疵病 (不密實、氣泡、裂紋)。而要更準確、更完全地測定這些, 就應研究經過磨光, 並在某種腐蝕劑中腐蝕後的金屬製件的切面。用肉眼來研究這樣的切面 (粗型磨片) 是金屬學最初採用的研究方法。這個方法叫做肉眼結構分析。

但金屬學的主要研究方法是顯微結構分析法。此法就是用放大 50~2500 倍的顯微鏡來對金屬進行研究。

在顯微鏡下研究金屬應用專門的磨片。磨片就是一面磨光的樣片。樣片的尺寸通常不大, 僅為數立方公分。樣片已磨光的一個面用某種專門的反應劑加以腐蝕, 使顯微結構得以顯示出來。用這樣的方法可以準確測定金屬晶粒的形狀和大小, 而金屬的性能在極大程度上正是決定於晶粒的形狀和大小的。利用反光顯微鏡還可以決定金屬顯微結構中更為重要的一方面, 即晶粒本身及晶粒邊界層的構造特性, 因為這對金屬性能的影響更大。

晶粒的內部構造決定於金屬的化學成分和狀態, 而金屬的狀態則又決定於金屬的熱處理和機械加工。以後我們就可以看到, 合金●中所包含的各種元素之間是有着

多種多樣的相互作用的。

合金中所含的元素(有目的加入的元素和雜質)可以組成機械混合物、固溶體、化合物,或是這三者的各種組合。所有這些結構成分都可以利用顯微鏡來進行研究。

金屬超顯微結構的研究在不久以前還是不可能的,但近年來由於電子顯微鏡的運用越來越普遍,所以金屬超顯微結構的研究已開始成功地開展起來。電子顯微鏡的放大倍數可達數萬倍之巨(直到十萬倍)。自從有了電子顯微鏡以後,金屬學發展的可能性已大為增加。

除了上面所說的各種研究方法之外,現代金屬學還普遍採用物理的研究方法:

a. 熱分析 金屬或合金在某些溫度下會發生各種轉變(熔化、相的轉變),同時伴隨有放熱或吸熱的現象。熱分析就是用來測定這些溫度(臨界點)的。

6. 漲縮分析 此法就是用測定試樣在加熱、冷卻、或在恆溫下均熱時體積變化(比如說測定試樣的長度)的方法,來決定臨界點。

b. 磁性試驗法 此法普遍用來研究金屬和合金中所發生的轉變,並在工業中用來檢驗鋼件的質量(磁性探傷法)。磁性分析的原理就是當合金的結構或組成改變時,它的磁性也隨之改變。

r. 電阻測定法 此法就是測定合金的電阻率,因為電阻率與合金的結構狀態以及因溫度改變而在合金中所發生的轉變有關。

金屬學還包括金屬的X-射線結構分析。利用X-射線分析法可以測定金屬的晶體結構(原子結構)的特性,這樣自然也就可以決定金屬的許多性質。

X-射線分析法的原理就是當X-射線通過晶體(晶格)時就會發生光線的干涉現象。所以當照片底板上受到被晶格所反射的光線錐時就印上了線條或斑點的痕跡。根據這些線和點的位置就可以判斷晶格的構造(也就是原子在晶格內的排列)。

X-光分析法可以決定金屬的化學成分及金屬中內應力的性質和大小。除此以外還可以發現金屬製件的內部疵病。

契爾諾夫的天才發現——鋼的臨界點和結晶規律——奠定了金屬學的基礎。自此以後冶金學和金屬工藝學就沿着新的道路自覺地、一往直前地向前發展。

在十九世紀的最後二十年和二十世紀初金屬學發展的範圍主要是制定對鋼進行熱處理的合理條件以及在熱分析和顯微分析的基礎上來研究二元金屬系的平衡圖——其中也包括了鐵-碳系的平衡圖(契爾諾夫,庫爾納科夫,爾熱少塔爾斯基)。在制定鋼的技術條件及鋼的機械試驗和工藝試驗方面當時也進行了很多的研究工作,這些研究工作是與鋼的肉眼結構和顯微結構的研究緊密配合的。在這個時期製造了許多做金屬機械試驗用的新機器[如加加令(Гагарин)的壓力機]。

結晶理論的研究工作在契爾諾夫對於結晶學所作的研究基礎之上也發展起來

● 在技術中純金屬很少採用,而且就是所謂的工業純金屬實際上也還是合金。因為工業純金屬在冶煉過程中不可避免地會有些元素摻雜進去。此時摻雜進去的元素即使數量極少也必須要把工業純金屬看成是複雜的金屬系(即合金),因為即使極微量的雜質,其影響却往往是很大的。

了。

1910年金屬學已完全成爲了一門科學。鐵-碳合金平衡圖已被精密地制定出來。金屬肉眼結構和顯微結構與機械性能之間的關係此時已完全明瞭。這樣就使得金屬學與工藝學之間的關係更加密切。工藝學中不但熱處理與金屬學有聯系，就是壓力加工(鍛、軋)也與金屬學聯系起來了[契爾諾夫，別立雅耶夫(Н. И. Беляев)，沃洛格金(С. П. Вологдин)]。機械試驗的問題也同時與金屬學發生了聯系。

在這個時期內，一般的機器製造業和建築業都在極大的程度上提高了它們對金屬的要求。

金屬學家開始大力研究合金鋼的問題。再以後，由於飛機製造工業的蓬勃發展更進一步開始需要高強度的鋼和輕而堅實的鋁合金。

所以擺在金屬學家面前的問題就是更深入地研究合金的性質，特別是要研究像鋁合金的硬化(時效)這一類的現象。此時金屬的X-射線結構分析法已普遍採用，漲縮分析法也已開始發展。金屬學與物理學已緊密地結合在一起。金屬物理學家對於在金屬學範圍內的展性變形和重結晶問題的研究也同時獲得了發展。

在這個時期內，由於製造機器用的灰口鐵有大力提高其機械性能的必要，所以生鐵的金屬學研究也開始急劇發展起來。在這一方面主要的研究方法是顯微結構分析法。

偉大的十月社會主義革命以後，在金屬學的面前，也像在一切蘇維埃科學的面前一樣，展開了無限發展的前途。

從蘇維埃政權建立的最初幾年起就着手大力改進熱處理和化學熱處理的操作方法。對於合金鋼(結構鋼和工具鋼)的研究和它們在機器製造業中的運用也進行了很多的工作。理論金屬學和金屬物理學的各個主要方面都充滿自信地不斷向前發展。蘇聯的金屬學派成爲主導的力量。這首先應當歸功於計劃經濟的社會主義制度所賦予的巨大的可能性，以及蘇聯學者和工程師們所具有的愛國主義熱情。

蘇聯的金屬學是世界上最先進的，它有着科學研究機關和工廠實驗室廣大的研究網作爲基礎。它積極地、勝利地解決着金屬學中所有的各種各樣的問題：

1. 提出並解決鋼的晶粒大小的問題，鋼的晶粒大小影響很大，如鋼的性能，鋼在熱處理時所表現的特性(可硬性、過熱的傾向性)，無時效和無冷脆低碳鋼的製取問題，都無不與鋼的晶粒大小有關。在解決這一問題的時候，同時也就制定了奧氏體天然晶粒測定大小的方法。

2. 研究鋼和有色合金的熱處理問題，並且這種研究在實踐上是廣泛的，而在理論上是深刻的。研究關於鋼在加熱時的轉變這一根本的問題。廣泛地用X-射線結構分析法來研究鋼的淬火和退火的理論。建立鋼冷處理的理論。利用顯微分析和磁性分析，並與合金鋼的問題相結合，勝利地解決奧氏體等溫轉變的問題。在這個問題上，蘇聯的金屬學家確立了與西歐學者和美國學者有着原則性差別的嶄新的理論。這種理論的建立，只是因爲運用了辯證的方法來分析現象才使它有了可能。

在已建立的理論基礎上創造了先進的熱處理方法——分段淬火、等溫淬火和等溫退火。所有這些方法的原理還是由契爾諾夫奠定的。

利用精密的物理研究方法研究了鋁合金中的時效過程和恢復過程，並對這些過程建立了理論。

在表面淬火方面，特別是在高頻率電流感應淬火方面，進行了巨大的研究工作。高頻率電流淬火已在蘇聯工廠的實際工作中廣泛地應用。

3. 有效地解決金屬錠的結晶問題和構造問題。在廣泛進行的理論研究基礎之上建立了合理的結晶理論。久佔統治地位的、極為片面的塔曼自發結晶說，在相當大的程度上已被胚胎結晶和有向結晶的理論所補充。這樣就使錠和鑄件的結晶過程能夠更正確地來加以說明和掌握。關於消滅合金鋼和碳素鋼中的白點問題，由於緊密地結合了結晶理論和熱處理理論並根據金相學和物理學研究方法的全面經驗，也已得到了解決。

4. 由於對金屬的機械性能和改善強度計算的要求不斷增長，所以在強度理論方面進行了巨大的研究工作。金屬學家在這一方面與材料力學和彈性理論的專家們發生了緊密的聯系，他們創立了在原則上不同於以前的新的強度理論。關於設計時強度的計算，關於應力集中和工件上缺口的作用，關於金屬機械性能合理地鑑定以及與之相關的機械試驗方法等問題，由於有了這個新的理論，所以都能夠按照新的途徑來加以解決。

金屬在較高溫度下和在高溫下的強度理論也與此相緊密聯系而創立了。這些理論對於研究金屬的蠕變和高溫強度問題是非常必要的。此外還創立了塑性變形的理論，這是金屬壓力加工的理論基礎。關於金屬磨損和金屬疲勞的理論方面也做了許多研究工作（蘇聯科學院機器研究所，鐵路運輸中央科學研究院）。

5. 特別廣泛和全面地提出和解決的問題就是合金鋼的問題。在廣泛進行的物理研究、金屬學研究和生產研究的基礎上，結合對零件使用情形的研究，制定了各種用途的低合金鋼、中合金鋼和高合金鋼的合理的新牌號。

在結構鋼和工具鋼方面發明了代用鋼，這種鋼不含有貴重稀有的合金元素。

製出了高合金不銹的、耐酸的、耐氧化的、耐溫度變化的、耐熱的，以及具特殊性能的鋼和合金，這些鋼和合金乃是現代專門化機器製造業和器械製造業的基礎。

6. 在金相研究和物理研究（表面張力、胚胎結晶）的基礎上對製造機器用的高級優質生鐵進行了一項巨大的研究工作，把老式的低強度的純鐵體—石墨生鐵改變為珠光體生鐵，以後又改為改良生鐵，最後改為球墨鎂化生鐵。根據這項研究工作建立了生鐵的石墨化理論。

7. 在擴散理論的研究基礎上，運用金屬學的研究方法，對化學熱處理進行了巨大的研究工作，創立了氣體滲碳法，滲氮法，氰化法（液體氰化和氣體氰化），滲鋁法，滲矽法，擴散滲鉻法等。

8. 在X-射線照相分析、熱分析和顯微分析的基礎上，創立了鋁合金和銅合金的熱

處理理論，製出了高強度的輕質合金，建立了極為完善的有色合金鑄造操作方法。

由此可見，蘇聯金屬學的主要特點就是提出問題的廣泛性和研究方法的綜合性。

由上述各種方法所得的全部研究結果就構成了金屬學的核心。除這核心之外還應把金屬性能試驗方法添加進去（機械性能、化學性質和工藝性能）。

機械性能包括：強度、彈性、塑性、韌性、耐磨性等。物理性質包括電、磁、熱等性能，化學性質有抗蝕性、耐熱性等。工藝性能通常是指在加工過程中發生變形而不破損的能力、鑄造性能、可鍛性以及切削加工性能等。

金屬性能的研究方法目前已達到了高度的完善。

因此，金屬學就是研究金屬和合金的性能與其結構（廣義所指的結構）之間關係的科學。金屬和合金的結構又與其化學成分及狀態有關。研究金屬的各種方法構成了金屬學的基礎。此外它還與許多相鄰的課程有聯系，如：化學、物理、強度理論等。用另外的話來說，金屬學所研究的就是金屬和合金的成分、構造、性能以及它們之間的相互關係。



巴維爾·彼得諾維奇·阿諾索夫
(1797~1851年)

偉大的俄羅斯冶金學家，是生產高級優質鑄鋼的奠基者。把鐵放在坩鍋中增碳用以製取鑄鋼的方法是他所首創的，時間遠早於西歐學者。他比馬丁兄弟早 30 年發明了用生鐵煉鋼的方法。他是世界上第一個把顯微分析運用到工廠實際工作中去的人，是世界上第一個指出了鋼的結構與其性能之間的關係的人，是世界上第一個研究了各種元素（Mn, Cr, Ti 等）對鋼影響的人，是世界上第一個創立了氣體滲碳法的人。

第一章 金屬的結晶構造

1 金屬的構造和性質

第一個用顯微鏡來研究金屬構造的人，是傑出的俄羅斯冶金學家阿諾索夫。阿諾索夫的研究結果有力地證明了一切金屬都是結晶物體。

圖1和圖2表示顯微鏡下的金屬結晶構造。從這些顯微照相中我們可以清晰地看到，晶體有着平的界面。

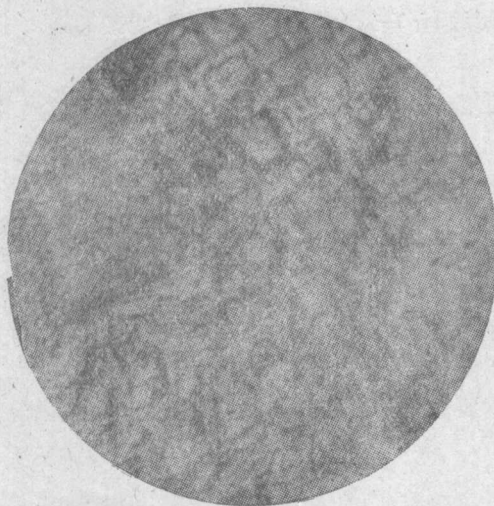


圖1 純鐵的顯微結構(腐蝕相片)。×200。

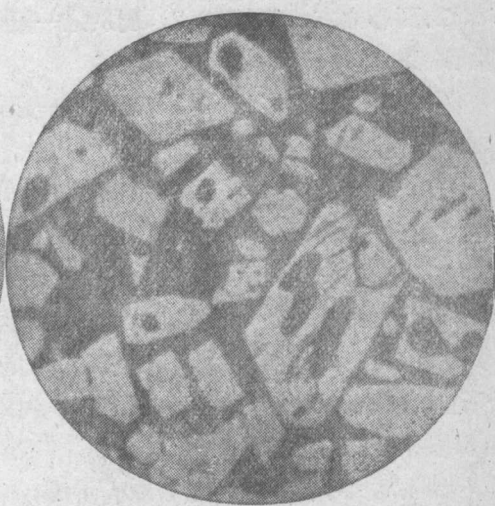


圖2 含93.8%Zn, 1.7%Pb及4.5%Fe的合金顯微結構。×100。

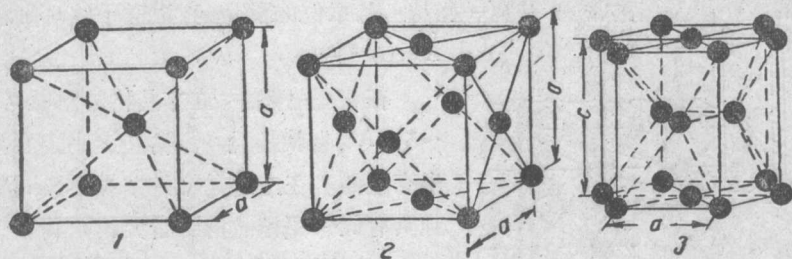


圖3 金屬晶格的類型:

1—體心立方晶格; 2—面心立方晶格; 3—六方晶格。

可是這種晶體所特有的平界面，從金屬物體的外形上來看，常常是看不到的。

這是因為金屬以及金屬的合金不是單晶體，而是多晶體，這種多晶體是由許許多多具有各種外形的晶粒所組成的。

決定某一物體是否為結晶物體的主要特徵，是它的內部構造，而不是它的外形。

金屬的內部構造是用X-射線分析法來測定的，因為利用X-射線分析法可以確定金屬的原子結構。

結晶物體有一個很大的特點，就是它們的原子是按一定的次序排列的，並且這種次序在晶體內有規律地重複着。這種一定的原子排列次序可以用結晶格子(或叫空間格子)來表示。

最近以來對於一切金屬的結晶格子或空間格子都已有了研究。而結晶學中最重要的定律和方法都莫不以俄羅斯學者菲得羅夫(Федоров)、烏立夫(Вульф)等的研究成果作為基礎。

許多金屬的原子在空間中所佔的位置相當於一個立方體。

單位立方晶格有兩種：

1. 面心立方晶格(圖3, 2)，屬於這一類型的有： γ -鐵(當溫度在 $910\sim 1390^{\circ}\text{C}$ 時)、鋁、銅、鎳、鉛、金、銀。

2. 體心立方晶格(圖3, 1)，屬於這一類型的有： α -鐵(當溫度在 910°C 以下或超過 1390°C 時)、鉻、鈾、鉬、鎢等。

有許多金屬，比如鎂、鋅、鎳、鉍，它們的晶格是屬於六方晶格的(圖3, 3)。

還有一些為數不多的金屬，它們的晶格有的是正方晶格(拉長一些的立方體)有的是斜方晶格(三晶軸互相垂直而不等長)。

下面所附的表是形式稍加改變的門德列也夫元素週期表。各種元素的晶格類型均在表中載明。表中的粗黑線把全部元素分為兩類：線的左邊為金屬，右邊為非金屬。不過應當注意：這種劃分並不是絕對的。因為要想在金屬與非金屬之間劃出一道準確的界限來是非常困難的。

晶格的大小是用晶格常數來表示的。

立方晶格的大小用一個常數來表示，即立方體的稜長 a (見圖3)。

六方晶格的大小用兩個常數來表示，即 c 和 a (見圖3)或 $\frac{c}{a}$ 。

原子的大小以及晶格常數，是用一種特別的單位來計量的，這種單位叫做埃($\text{\AA}$)：
 $\text{\AA} = 10^{-8}$ 公分。

在金屬晶體中，立方晶格的常數 a 為 $2.5\sim 5.5\text{\AA}$ ，也就是說，晶格在大小上的差別是很有限制的。在上述元素週期表中凡同屬一組且具有同一類型晶格的諸元素，其原子序數愈大者，晶格常數也愈大。

晶格中每一個晶胞所分攤到的原子數目，乃是晶格的重要特性數字。

面心立方晶格的每一個晶胞，只擁有4個原子(圖4)。面中心的原子同時屬於兩個晶胞所共有，所以每個晶胞只平均到 $\frac{1}{2}$ 個

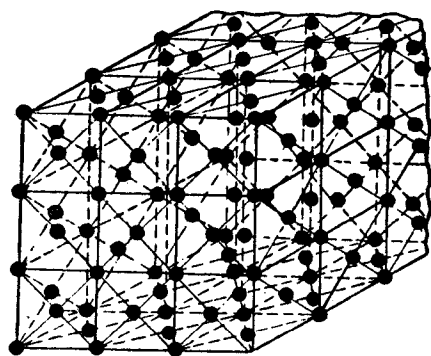


圖4 由面心立方晶胞所組成的體積。

原子。這樣的面每個晶胞都有六個，所以面中心處的原子每一晶胞應有 $\frac{1}{2} \times 6 = 3$ 個。

組 週期	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	
1	1 H 	元素的結晶構造  面心立方晶格  體心立方晶格  金剛石型立方晶格  六方晶格  正方晶格  斜方晶格																	
2	3 Li 												4 Be 	5 B 	6 C 	7 N 	8 O 	9 F 	10 Ne 
3	11 Na 												12 Mg 	13 Al 	14 Si 	15 P 	16 S 	17 Cl 	18 Ar 
4	19 K 	20 Ca 	21 Sc 	22 Ti 	23 V 	24 Cr 	25 Mn 	26 Fe 	27 Co 	28 Ni 	29 Cu 	30 Zn 	31 Ga 	32 Ge 	33 As 	34 Se 	35 Br 	36 Kr 	
5	37 Rb 	38 Sr 	39 Y 	40 Zr 	41 Nb 	42 Mo 	43 Tc 	44 Ru 	45 Rh 	46 Pd 	47 Ag 	48 Cd 	49 In 	50 Sn 	51 Sb 	52 Te 	53 I 	54 Xe 	
6	55 Cs 	56 Ba 	57 La 	58 Ce 	59 Pr 	60 Nd 	61 Pm 	62 Sm 	63 Eu 	64 Gd 	65 Tb 	66 Dy 	67 Ho 	68 Er 	69 Tm 	70 Yb 	71 Lu 	72 Hf 	
7	87 Fr 	88 Ra 	89 Ac 	90 Th 	91 Pa 	92 U 	93 Np 	94 Pu 	95 Am 	96 Cm 	97 Bk 	98 Cf 	99 Es 	100 Fm 	101 Md 	102 No 	103 Lr 	104 Rf 	

立方體每一頂點上的原子，同時屬於 8 個晶胞所共有，所以每一晶胞只平均到 $\frac{1}{8} \times 8 = 1$ 個原子。因此，面心立方晶格的每一晶胞應有 4 個原子。

在體心晶格中(圖 5)每一晶胞應有 2 個原子。一個是在立方體頂點上的原子($\frac{1}{8} \times 8 = 1$)，另一個是晶胞中心處的原子，這個原子完全屬於該晶胞所獨有。

六方晶格的每一晶胞擁有 6 個原子 ($12 \times \frac{1}{6} + 2 \times \frac{1}{2} + 3 = 6$)。

每一頂點上的原子同時屬於 6 個晶胞所共有。六方體兩底中心處的原子為 2 個晶胞所共有。晶胞內的三個原子則完全屬於該晶胞所獨有。

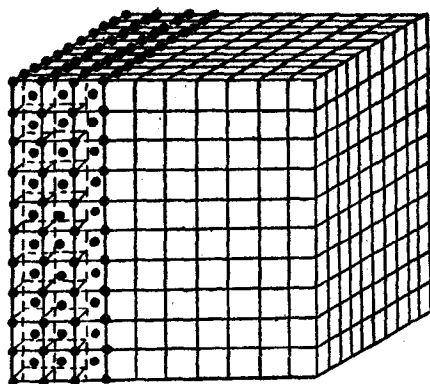


圖 5 由體心立方晶格所組成的體積。

每一晶胞所擁有的原子，構成了所謂的晶格基礎。

晶格的緊密度，即原子在晶格中所佔的體積，是用所謂‘隣接數’來表示的。

隣接數就是在某一原子周圍，距離它最近的原子數目。

面心立方晶格的隣接數為 12 (K12)，體心立方晶格為 8 (K8)，六方晶格為 12 (Γ12)。

晶格中與每一原子相隣接的原子數目愈多，則原子本身所佔的地方就愈大，晶格中的空隙就愈少，因為我們可以把原子粗略地看成是一個相當堅密的圓球。

實際上確也如此。體心晶格(K8)中原子所佔的體積僅為68%，而在面心晶格(K12)及六方晶格(Γ12)中，原子所佔的體積則為74%。

面心立方晶格和六方晶格的原子排列方法乃是球形對稱排列方法中最緊密的一種。

晶格的形成以及晶格的性質，都決定於金屬原子間所存在的一種聯結力。金屬原子之所以能够構成晶體，乃是由於在金屬原子之間存在着一種所謂金屬聯結。

業經確定：位於晶格結點處的並不是中性原子，而是帶有正電荷的離子；金屬中的價電子並不是永遠固定在某一個原子上，而是不斷在晶格中（在正離子的間隙中）自由移動，構成所謂‘電子氣’。

因此，金屬可以看成是由帶正電荷的離子所組成，這些離子位居於晶格的各個結點處，並由‘電子氣’所包圍（圖6）。

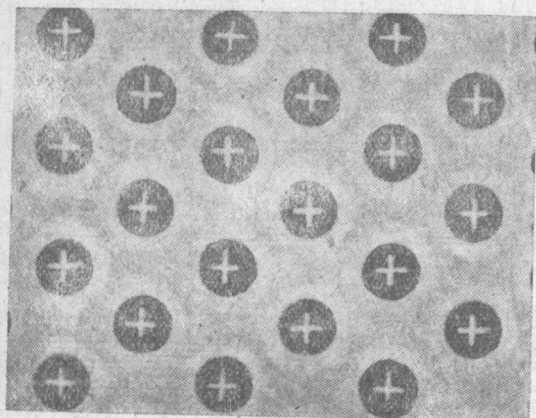


圖6 金屬構造示意圖。在晶格的結點處是帶正電荷的金屬離子，而在離子的間隙中是‘游離’的電子。

金屬聯結的產生，是由於離子與電子之間的相互作用而引起的。游離着的電子同時被幾個正離子所吸引，於是就使離子之間發生聯結。

原子平面（即通過原子的平面）在晶格中的位置是用一種專門的指數 (hkl) 來表示的。這種指數是三個有理整數，是該平面在三個晶軸上所截長度的倒數（圖7）。

關於平面的表示方法下面舉幾個例子來說明。在圖7,1中，平面 ABC （八面體平面）在三個晶軸上所截的長度為1, 1, 1；按照規定的指數來表示應為：

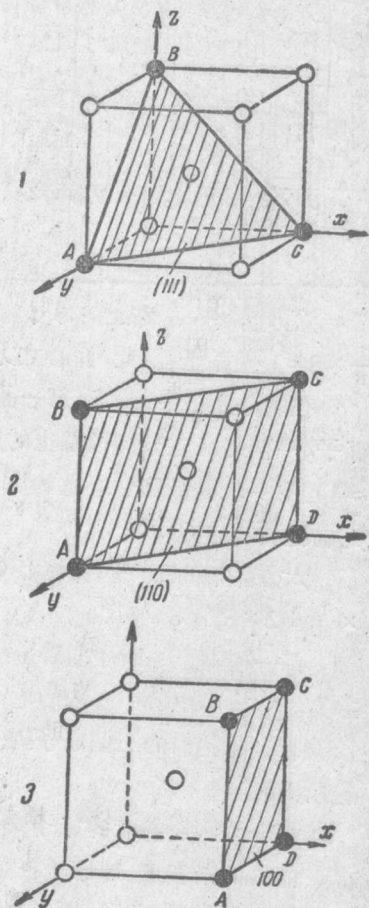


圖7 體心立方晶格中的晶面：

1—八面體平面(111)；2—斜方十二體平面(110)；3—立方體平面(100)。