

金屬與合金的結構 性質和研究方法

И. А. 捷尔加切夫 著

郑明新 译

冶金工业出版社

636
21
1

23.1
11-1

金屬与合金的結構、性質 和研究方法

И. А. 捷尔加切夫 著

郑明新 譯

冶金工業出版社

08686

本書敘述了有关金屬結構和結構轉變的基本知識，敘述了金屬与合金的研究方法和檢驗方法（化学分析、显微分析和粗視分析等），並列举了各种机械試驗的特性。

本書供冶金企業的技术人員和工長閱讀，也可供中等冶金專業学校学生之用。

И.А.Дергачев

СТРОЕНИЕ СВОЙСТВА и МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ МЕТАЛЛОВ
и СПЛАВОВ

Металлургиздат (Москва—1952)

金屬与合金的結構、性質和研究方法 郑明新 譯

1955年5月第一版 1957年4月北京第二次印刷1,511册（累計1,194册）

$787 \times 1092 \cdot \frac{1}{25} \cdot 130,000$ 字 • 印張 $6 \frac{2}{25}$ • 定价 (10) 0.90元

冶金工業出版社印刷厂印 新华書店發行 書号 0263

冶金工業出版社出版（地址：北京市灯市口甲45号）

北京市書刊出版業營業許可証出字第063号

作者的話

〔金屬與合金的結構、性質和研究方法〕一書是一九四一年冶金出版社出版的〔金屬學原理〕（第三版）中的一章經較大的修改和增訂而成。

本書第一章是在講師、技術科學碩士Ю. М. 拉赫金的參與下由作者編寫的。

第五章第二節〔二元合金平衡圖〕是由 Ю. М. 拉赫金編寫的。

在本書的校訂過程中，Ю. М. 拉赫金對各章作了很多補充。

作者

目 錄

緒 言	(6)
第一章 金屬的結晶結構	(10)
1. 金屬的結晶格子	(10)
2. 結晶過程	(16)
3. 鑄型金屬的結構	(20)
4. 金屬和合金中的同素異形變化	(24)
第二章 塑性變形和再結晶	(28)
1. 塑性變形的過程	(28)
2. 再結晶	(35)
第三章 機械性能試驗	(40)
1. 導 言	(40)
2. 拉伸試驗	(41)
3. 壓縮試驗	(50)
4. 衝擊韌性試驗	(52)
5. 硬度試驗	(56)
6. 疲勞試驗	(68)
7. 工藝試驗	(72)
第四章 金屬與合金的研究方法和檢驗方法	(78)
1. 化學分析	(78)
2. 粗視分析	(79)
3. 顯微分析	(82)
4. 研究金屬的X射線照相法	(89)
5. 研究金屬和合金的物理方法	(92)
第五章 金屬和合金的構造原理	(96)
1. 合金構造的一般特徵	(96)
2. 二元合金的平衡圖	(102)
3. 第一類型平衡圖	(105)

4. 第二類型平衡圖	(114)
5. 第三類型平衡圖	(117)
6. 第四類型平衡圖	(126)
7. 合金的性質與平衡圖形狀的 關係 (庫爾納可夫定律)	(128)
第六章 Fe—C合金的平衡圖	(130)
1. 導言	(130)
2. 純鐵	(131)
3. 鐵-碳平衡圖	(134)
中俄名詞對照表	(149)

緒 言

在本書中討論了一些有關合金的一般理論及金屬與合金的試驗方法的問題。

金屬學是關於金屬的科學，是從生產的實際需要中產生出來的，同時，也是一切冶金專業及機械製造專業的科學基礎。

金屬學的第一次研究是從十九世紀初葉開始的，當時在金屬構造的研究上，在歷史上第一次地應用了顯微鏡。應用顯微鏡來研究金屬構造的這一勤勞應歸功於偉大的俄國冶金學家П. П. 阿諾索夫（1831年）。П. П. 阿諾索夫那時是在茲拉托烏斯托夫工廠（Златоустовский завод）工作，他第一次指出了鋼的性質與其構造之間的關係，而英國學者索爾必（Сорби）足足在過了三十二年之後（在1864年）才應用顯微鏡來研究隕鐵的構造。

П. П. 阿諾索夫的工作使能立起整個優質鋼的生產，他有權利被稱為是優質冶金業的奠基者。

用氣體滲碳法（用一氧化碳使軟鐵增碳）來獲得高碳鋼的光榮也應屬於阿諾索夫，他在比外國冶金學家早七十年的時候就已應用了這種方法。

我們傑出的先輩俄國的Д. К. 切爾諾夫（Д. К. Чернов）（1839—1921）在金屬研究方面的工作標誌着金屬科學發展的一個最重要的階段。

Д. К. 切爾諾夫在1868年發表了「拉符洛夫與卡拉庫茨基論鋼及大炮一文簡評以及切爾諾夫本人對此問題的研究」的論文。Д. К. 切爾諾夫在阿布霍夫鑄鋼工廠（Обуховский завод）（現叫「布爾什維克」廠，在列寧格勒）工作並從事鋼製大炮的生產，他在極重要的理論上作出了偉大的發現。Д. К. 切爾諾夫認定：鋼的性質是決定於它的構造的，至於究竟是什麼東西能夠改變同一種金屬的構造呢？切爾諾夫則回答道：不同程度的加熱即可得出或者是堅強的微晶組織

的或者是不堅強的粗晶組織的鋼來。切爾諾夫在自己的書中指出：鋼內的變化是突變式地、是對應於一定臨界溫度點而進行的。他測定了鋼的這些臨界點，後來這些點都被叫做爲「切爾諾夫點」。

於是，1838年便成爲了金屬的一門新的科學——金屬學——出現的一年。

Д. К. 切爾諾夫的發現把生產建立在科學的基礎上了，這樣就使得我們能够掌握固態鋼和液態鋼中所發生的各種不同的過程了。

在1878年發表的另外一部著作（「關於鑄鋼塊結構的研究」）中，Д. К. 切爾諾夫闡述了自己的關於鋼錠結構與結晶過程關係的理論。

Д. К. 切爾諾夫的天才發現獲得了全世界光輝的讚許，而這位偉大的俄國學者也就有權利被稱爲「金屬學之父」。

還應該注意到當時另外一位俄國學者Н. В. 卡拉庫茨基（Н. В. Калакуцкий）（1831—1859年）的工作對於金屬科學的偉大意義。Н. В. 卡拉庫茨基關於偏析現象及金屬中內應力的研究，在建立金屬內應力的理論上起了卓越的作用。

在阿布霍夫工廠中切爾諾夫的繼承者是А. А. 惹索塔爾斯基（А. А. Ржешотарский）——第一個俄國金相試驗室的組織者。在1897年А. А. 惹索塔爾斯基發表了俄國第一部關於金屬學研究的作品——「鐵、鋼及生鐵的顯微研究」。在這部著作中，А. А. 惹索塔爾斯基總結了鐵碳合金的顯微研究法。惹索塔爾斯基的腐蝕劑到今天在金相試驗室中還在被應用着。

技術繼續的發展，需要着新金屬和新金屬合金的應用，同時也在要求有金屬和合金熱處理上的新規程的應用。於是產生了一種必要，這便是不僅要研究金屬的構造，而且要研究它們隨合金的構造、成分而變化的性能。

逐漸地，在金相學的基礎上產生了金屬學，這又是一門更加寬廣的科學的課目了。

在金屬學的進一步的發展中，我們偉大的蘇聯科學家Н. С. 庫爾納柯夫（Н. С. Курнаков）表現了卓越的作用。物理化學分析法

就是H. C. 庫爾納柯夫基於規定合金化學成分、結構和性質之間的關係的所謂「庫爾納柯夫定律」的基礎上而創造出來的。

H. C. 庫爾納柯夫和其學派代表者的科學家們發展了系統的關於金屬學研究方面的許多問題，因而使這門比較年輕的金屬科學能與化學和物理學相接近了。

H. C. 庫爾納柯夫曾設計了一種非常靈敏的具有照相記錄的能自動調節的高溫計。利用這種高溫計可以在實際上解決許多從前所不能解決的合金的物理化學分析上的問題。

在二十世紀初葉，出現了許多新的研究金屬的物理化學研究方法。屬於這些新方法者，首先要算利用X射線的X射線照相法。依靠這種方法的幫助，可以揭露結晶物體的原子結構。

第二個極為重要的金屬結構的研究方法，則為基於放大倍數可達100,000 倍的電子顯微鏡的應用。

金屬學，只是在偉大的十月社會主義革命之後，才獲得了自己充分的發展。

在各個斯大林五年計劃的年代裡，金屬和特殊合金的研究工作發展得特別廣闊。建立起來了廣泛科學研究所和試驗室的組織網。在蘇聯科學院中，同樣地在冶金工業和機械製造工業的系統中，已很有成果地進行過巨大的科學研究工作。

傑出的俄國先輩金相學家 И. В. 古托夫斯基 (И. В. Гутковский)、Н. П. 啓澤夫斯基 (Н. П. Чижевский)、А. А. 巴伊柯夫 (А. А. Байков)、А. Л. 巴堡新 (А. Л. Бабошин)、С. С. 斯廷別格 (С. С. Штейнберг)、А. М. 包赤瓦爾 (А. М. Бочвар)、Н. А. 明克維奇 (Н. А. Минкевич)、Н. Т. 古德曹夫 (Н. Т. Гудцов)、М. Г. 奧克諾夫 (М. Г. Окнов)、Н. Н. 達維頓柯夫 (Н. Н. Давиденков) 以及許多其他人等的名字，不僅在國內，而且遠在國外也是人所共知的。

И. В. 古托夫斯基在1908年確定了鐵碳合金平衡圖中凝限線(AE)的位置和SE線。А. А. 巴伊柯夫第一次應用了在高溫下腐蝕鋼的方法，而且證明了奧氏體的本質就是碳溶解於 γ -鐵中的固體溶液。

Н. А. 明克維奇、А. Л. 巴堡新、М. Г. 奧克諾夫都是有關金相學研究和金屬熱處理權威著作的著作家，他們培養了年輕一代的許多專家。

蘇聯的科學家—金相學家們А. А. 包赤瓦爾 (А. А. Бочвар)、Г. В. 庫玖莫夫 (Г. В. Курдюмов)、Н. В. 蓋越林格 (Н. В. Гевелинг)、И. А. 奧琴格 (И. А. Одинг)、Г. В. 阿基莫夫 (Г. В. Акимов)、Н. Я. 謝良柯夫 (Н. Я. Селяков) 以及許多其他入等，在金屬的進一步的發展中，都有過巨大的貢獻。

А. А. 包赤瓦爾確定了合金平衡圖的類型與其鑄造性質間的關係，開創了關於金屬再結晶的學說。

Г. В. 庫玖莫夫、Н. Т. 古德曹夫、Н. Я. 謝良柯夫於1927年在證實了馬丁體即為碳溶解於 α -鐵中的過飽和溶液之後，確定了鋼的馬丁體結構的本質。

В. П. 伏洛格金 (В. П. Вологдин) 和Н. В. 蓋越林格研究出了一系列最完善的而且具有高度生產效率的鋼的熱處理方法。

第 一 章

金屬的結晶結構

1. 金屬的結晶格子

一切金屬和金屬合金均屬於結晶物質之類。

雖然金屬晶粒（圖 1）的形體具有完全不定的外形，甚至驟然看去，它們並不像什麼有規則形狀的結晶體，然而，把一個物體算做結晶物體所根據的基本標誌，是該物體的內部結構，而不是它的外形。

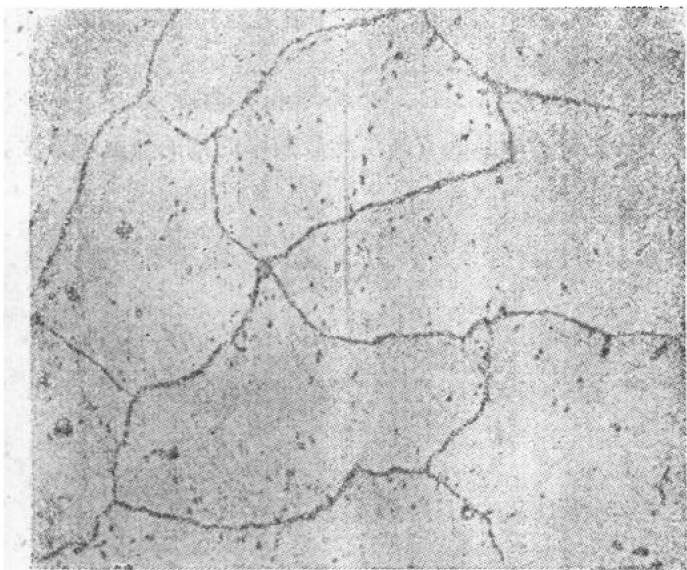


圖 1 純金屬的顯微組織

結晶物體的基本特點，就是它的原子在空間佔有嚴格一定的位
置，構成一個空間的或結晶的格子。

X 射線分析法測定出了所有化學元素的結晶組織。

金屬結晶格子最特出者，有這樣三種類型：

1. 面心立方體格子 (F. U. 圖2)。具有這種類型的結晶格子的金屬，有鐵（在 910° 至 1390° 溫度內）、鋁、銅、銀、金、鉛、鎳以及其他等等。

2. 體心立方體格子 (O. U. 圖3)。鐵（溫度低於 910° 和高於 1390° 時）、鉻、鈮、鉕、鎢、鈦以及其他某些金屬具有這種類型的結晶格子。

3. 緊密六角體格子 (F. 圖4)。鈹、鎂、鋅、銅和一些其他金屬具有這種形狀的原子排列。

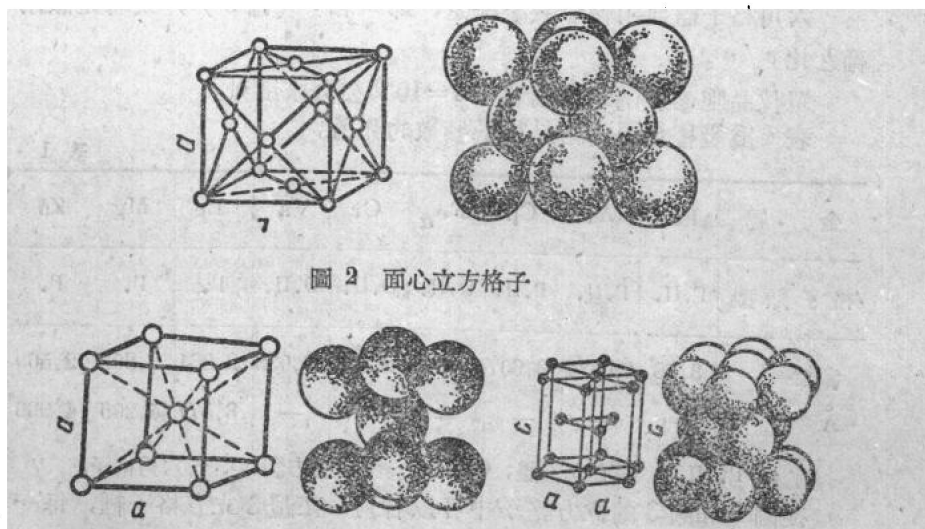


圖 2 面心立方格子

圖 3 體心立方格子

圖 4 六角格子

圖2, 3, 和圖4即表示上述各種類型結晶格子的模型，其中的小球代表原子。

每一個格子，可以設想為是由許多所謂「單位晶胞」的六面體彼此相互結合而成的總體。

在後面我們則把這種單位晶胞了解為原子最小的集合體，這種集合體在空間作多次的重複，又再形成一個立體的或空間的結晶格子。

面心立方格子的單位晶胞為正立方體（圖2）。在這種晶格中，原子均排列在各角上和各面的中心。

在體心立方格子中，原子除佔據在立方體的各角的地方外，另有一個原子居於立方體的中心（圖 3）。

在單位六角格子中，原子分別排列在六面稜形的各角上，並有三個原子分佈在稜形的內部（圖 4）。

結晶格子由所謂格子常數或參數來決定，根據此常數可以算出單位晶胞的基本尺寸。

立方格子（圖 1 和圖 2）由一個參數就可以決定，這個參數便是立方體的邊長—— a 。

六角格子需要兩個參數來決定，即 a 和 c （圖 3），或者是該兩軸之比 c/a 。

單位晶胞參數的單位用埃—— $\text{\AA} = 10^{-8}$ 公分來度量。

表 1 為幾種金屬的結晶格子參數的例子。

表 1

金 屬	Fe _γ	Al	Cu	Fe _α	Cr	Va	Be	Mg	Zn
格子類型	Γ. Ц.	Γ. Ц.	Γ. Ц.	О. Ц.	О. Ц.	О. Ц.	Γ.	Γ.	Γ.
參數 $\frac{c}{a}$	3,56	4,0414	3,607	2,861	2,871	3,033	2,231	3,203	2,569
$\text{\AA}$	—	—	—	—	—	—	3,577	5,200	4,936

附註：Γ. Ц. — 面心立方體；О. Ц. — 體心立方體；Γ. — 六角格子。

從圖 2 和圖 3 的立方格子中可以看到，在體心立方格子裡，每一個原子被其周圍的八個近隣原子（圖 5）和六個遠隣原子所包圍。

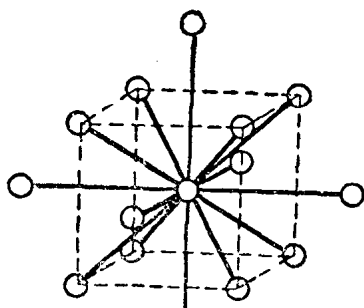


圖 5 體心立方體格子的結合

在面心格子裡，每個原子的隣原子數為 12。在六角格子中，當兩軸之比 $\frac{c}{a} = 1.633$ 時，每個原子的近隣原子也為此同樣數字。

距一已知原子同等距離的原子數稱為配位數（координационное число）。

結晶格子的配位數愈高，原子

在格子中所佔的地方愈大，這些原子均可被看作是堅硬至相當程度的小球，因而格子中能剩餘的自由空間就愈小。

事實上，在配位數為12的面心格子中，原子所佔據的空間量為74%，而在配位數較小（8）的體心格子中，被原子所佔去的體積僅68%而已。

如果選取配位數更小些的結晶來研究，那末會發見原子所佔去的體積必將要更小。

例如，在配位數為4的金剛石的結晶格子中，原子所佔去的體積僅僅為三分之一。

配位數為12的面心立方體格子和六角格子是最密集的（緊密排列的）格子。

結晶格子的第二個重要的特徵數值，就是屬於某一已知單位晶胞的原子數。

研究一下結晶格子之後，就不難知道，屬於體心立方格子者有二個原子，而屬於面心格子者為四個原子。應該了解，結晶格子無非是單位晶胞在晶體的全身內作重複排列所得之形體，因此體心格子各角上的原子就要同時隸屬於八個單位晶胞，而參加到每一單位晶胞中去的每個原子就只能為其原子的 $\frac{1}{8}$ ，所以在一立方體各角上的8個原子，一共算做為一個原子（ $\frac{1}{8} \times 8 = 1$ ）。至於居於立方體中心的原子，則完完全全屬於這一單位晶胞。

在面心格子中，位於面心的原子同時屬於二個單位晶胞，而居於立方體的頂點者則屬於八個單位晶胞。因此，屬於這種單位晶胞者將是（ $\frac{1}{8} \times 8$ ）+（ $\frac{1}{2} \times 6$ ）= 4個原子（圖3）。屬於一個晶胞的原子數叫做格子基數（Базис решетки）。

在任何結晶中，都可能劃出許許多多的結晶面，即經過結晶格子各頂點的平面（圖6）。各平面間的距離和原子在這些平面分佈的密度就預先註定了金屬的各種性質。

立方格子中結晶面的位置，可以由在座標軸 ox ， oy 和 oz （圖6）中該平面所切截的截距來確定。

例如，平面 AGE （八面體的平面）所切截的截距即為 OG ， OE ，

OA ，這三個截距在立體座標系中彼此相等 ($OG=OE=OA$)，並且一般都視為等於 1。因此，八面體的平面切截座標系的截距即為 1, 1, 1。

同樣道理，平面 $CBGF$ (立方體的平面) 所切截的截距等於 ∞ , 1, ∞ ，而平面 $DBGE$ (十二面體的平面) 的截距為 1, 1, ∞ 。

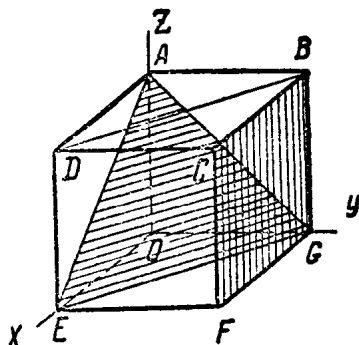


圖 6 立方格子的結晶面

在結晶學中，為了方便起見，結晶的方向不用它們在座標軸上所切截的截距來表示，而用指數 (hkl) 來表示。這些指數是代表該平面在座標軸上所切截的截距的三個有理整倒數。把這三個指數用圓括號括起來，書寫時不用逗點分開。於是，八面體的平面 (AEG) 就可得如下的表示法：

$$h = \frac{1}{1}; k = \frac{1}{1}; l = \frac{1}{1}$$

或者是 $(hkl) = (111)$ 。

因此立體座標系中的平面就獲得下列的表示法：

八面體平面 — (111) 。

立方體平面 — (100) ； (010) ； (001) 。

十二面體平面 ($DBGE$) — (110) ； (011) ； (110) 以及其他等等。

研究金屬結晶組織的最重要的問題之一，就是關於結晶格子中原子之間的結合問題。金屬具有所謂金屬結合 (Металлическая связь) 的一種特殊形式的結合。

大家都知道，原子是由帶正電荷的原子核和圍繞原子核在一定軌道上而運動的帶負電荷的微粒——電子——所構成的。原子就其整體言是呈中性的，因為電子的負電荷之和等於原子核之電荷。電子數由原子核的正電荷所決定，並等於門捷列也夫元素週期表中元素的原子序數。

一切電子均可被分爲與原子核緊密結合的內電子和外電子（價電子）二種，外電子與原子核的結合要弱得多。各種不同的元素具有由零至八個價電子數。

與原子核結合薄弱的價電子很容易跑掉，因此，在價電子跑掉後的情況下，原子不再呈中性，而帶陽電荷。帶電荷的原子叫做離子。

現在已經證明了，在金屬結晶格子的角上者，不是中性的原子，而是帶正電的離子，同時金屬中的價電子也不是永遠粘固在陰極單個的原子上，而是在金屬的結晶格子中自由地運動着，形成所謂「電子氣」。

因此，金屬可以被認爲是由浸沉在電子氣中的帶正電荷的離子所構成的。金屬結合因而具有靜電的特性，而決定於離子和電子之間的相互作用。

除了這些原子構造的特性之外，金屬還具有一些特殊的物理性質。

自由電子氣的存在決定了金屬有優良的導電性和導熱性。金屬具有特殊的金屬光澤和非透明性。

金屬結晶的性質，和一切結晶的性質一樣，與方向有關。結晶一有向性的物體一和無向性的非結晶物體（玻璃和其他等等）不同，非結晶物體的性質與方向無關；在非結晶的物體裡，各個方向的性質都是一樣。而在結晶中，機械性質、物理性質以及一切其他性質在不同的方向內各不相同。

例如，在銅的單晶體（單個的結晶）中，抵抗破壞的應力就與作用力的方向有關，其大小可由12變到35 公斤/公厘²，而相對拉伸則由10變到55%。

因爲實際上，金屬是由許多許多單獨的晶子*組合而成的物體（這種物體叫做多晶體），而這些晶子均具有有向性物體的性質，自然會產生疑問：在通常的條件下凝固而成的金屬到底將會具有怎樣的性質。

在一種情況下，即如果所有的單獨晶子排向同一方向時，多晶的

* 參看第17頁。

物體將具有非同向性。而假若各結晶的方位彼此各不相同，則可以獲得在一切方向近似相同的性質。

在大部分情況中所發生的結晶，正是第二種情況，因此實際的金屬塊就可以認為是具有同向性的。但是這種金屬的同向性，或是一般所稱的準同向性（假的同向性），僅僅只能在這個時候才能保存，即當金屬經過各種各樣的加工之後，結晶並不朝向同一方向的時候。否則，金屬將又重新回復至非同向性的情況。非同向性的產生是由於原子在各個不同的結晶面上距離不一樣而彼此排列又不相同的原因所致。

金屬的塑性決定於結晶構造的配位數。已確知，金屬塑性變形的能力隨配位數的增加而增大。

最後還必須指出，實際情況的結晶是決不會具有有規則的格子的。格子的規則性由於許多外界條件的影響，時常因為格子的歪曲、格子各角上個別原子的散失以及其他等原因而被破壞。

2. 結晶過程

液體狀態的特點就是其中處在不斷運動中的原子作着混亂的毫無秩序的排列。

由液體狀態變為固體狀態的過程是與結晶格子的形成緊密相關的，而結晶格子又是當金屬的原子在空間佔據嚴格一定的位置之後形成的。

因此，金屬由液體狀態變為固體狀態的過程就緊密地關連着結晶的生成—結晶的過程。

相反地，熔化也即是金屬由固體狀態變為液體狀態的過程，在此過程中，伴隨着結晶格子的破壞和原子轉化為混亂的狀態。

金屬從液體狀態變化到固體結晶狀態的轉變是由兩個過程組合而成的：

- 1) 液體金屬體積中結晶微粒的發生—結晶中心或晶核的產生；
- 2) 生成的晶核或結晶中心的生長。

現在我們從純金屬的結晶來研究結晶的過程。圖 7 中已給出了純金屬結晶過程的圖解。