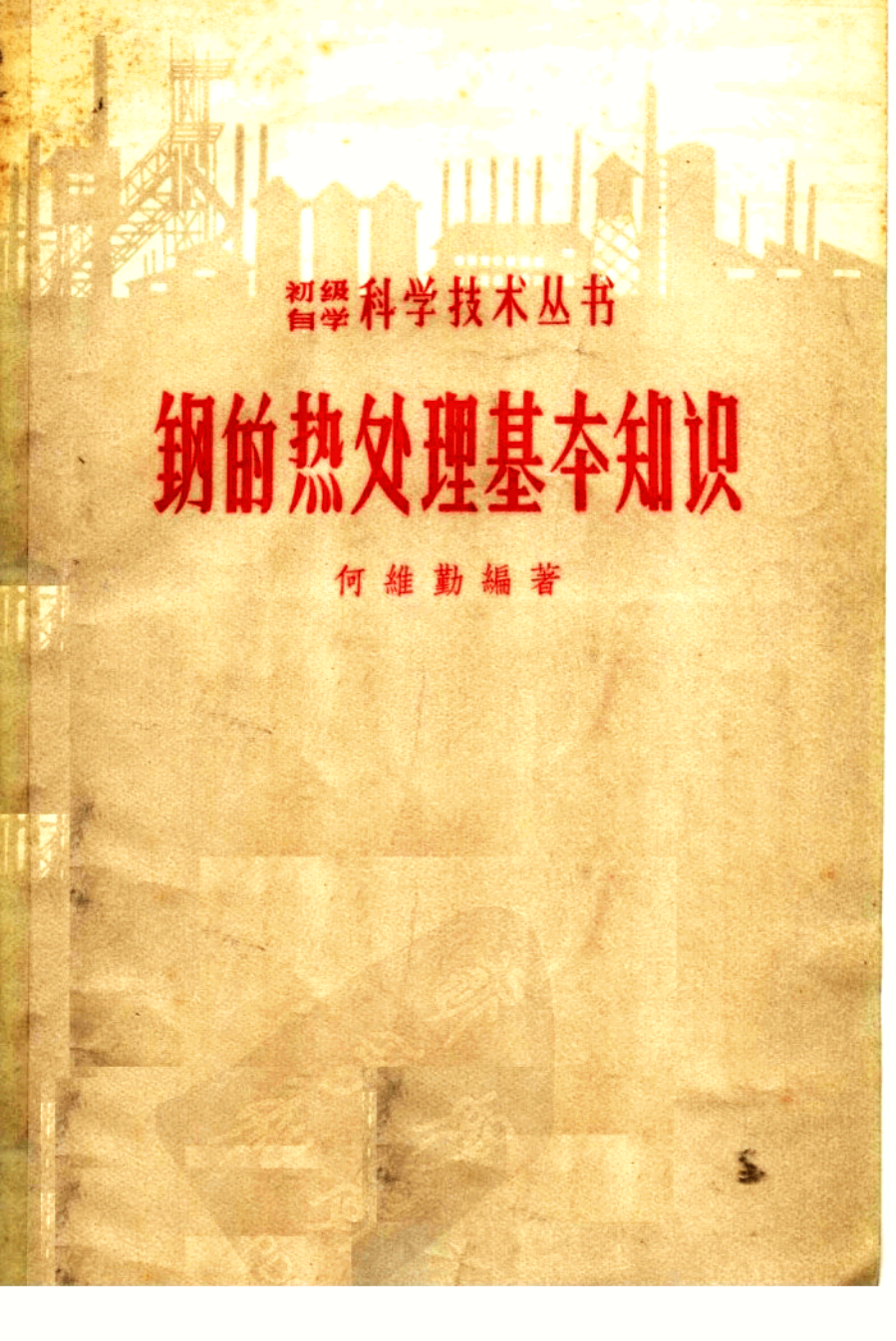


The background of the book cover is a sepia-toned illustration of an industrial facility. It features several tall, dark smokestacks rising from a complex of buildings and structural elements. A prominent lattice tower or crane structure is visible on the left side. The overall scene is hazy, with a light, yellowish-brown sky, suggesting a distant or atmospheric view of the plant.

初級
科學技術叢書

鋼的熱處理基本知識

何維勤編著

一、什么是热处理..... 	1
二、热处理有什么作用.....	2
三、热处理有多少种类.....	4
四、怎样进行热处理操作.....	7
五、什么是金属和合金.....	9
六、金属和合金的结晶是怎样构成的.....	10
七、什么是金属和合金的机械性质.....	14
八、钢的主要结构组织和机械性质.....	17
九、纯铁的同素异晶体转变.....	33
十、临界点的符号和意义.....	36
十一、铁碳平衡图的意义和用处.....	38
十二、钢的结构组织.....	45
十三、钢中的非金属夹杂物.....	48
十四、钢的晶粒大小与测定方法.....	50
十五、钢在缓慢加热和冷却时奥氏体的转变.....	54
十六、钢的分类、钢号和用途.....	56
十七、钢的火花鉴别法.....	65
十八、高温计的构造、使用与维护常识.....	71

附 录

附表1. 硬度对照表.....	87—88
附表2. 钢铁材料涂色标记.....	89—90

附表3. 鋼的常用代号一覽表..... 91—92

附表4. 我国鋼鉄标准与苏联鋼鉄标准符号对

照表.....93—97

附表5. 各种鋼料的化学成份和机械性質.....98—117

- (1)普通碳鋼(A組)——要求机械性質
- (2)普通碳鋼(B組)——要求化学成份
- (3)優質碳鋼的化学成份和机械性質
- (4)碳素工具鋼的化学成份和机械性質
- (5)合金結構鋼的化学成份
- (6)合金結構鋼的硬度和热处理后的机械性質
- (7)合金工具鋼的化学成份和热处理后的硬度
- (8)高速工具鋼的化学成份和硬度
- (9)滾珠軸承鋼的化学成份和硬度
- (10)特殊用途鋼的化学成份

附表6. 溫度对照表(攝氏与华氏)118—123

一 什么是热处理

热处理就是运用各种不同的加热和冷却的方法，將鋼或其他金屬合金制成的机械另件或材料毛坯，加热到指定的溫度，停留一段時間，然后再以不同的速度（很快的或緩慢的）使它冷却到預定的溫度或室溫。这样就能改变另件內部的組織結構，使它具有不同的硬度、强度、韌性、塑性或耐磨性等机械性質。不仅这样，热处理还能改变鋼的物理性能和化学成份（如用滲碳、氰化、氮化等化学热处理方法）。

热处理和其他热加工（如鍛造、热轧、紅冲等）不同的地方，就在于热处理在加热和冷却的过程中，只改变工件的內部組織和性能，而不改变它的外部形状和大小。所以凡經热处理磨光的工件和未經热处理而精加工的工件相比，在表面上很难分辨出来。只有利用硬度試驗或用显微镜观察它的結構組織等方法，才能知道这个工件是否已經热处理了。此外在热处理以后所得到的工件的机械性質，比鍛造等热加工后良好，这是因为在鍛造后只能使鑄件或鋼錠的树枝狀組織打乱，及把它的粗大不均匀的晶粒組織压紧变成稍为細匀；而在热处理以后，由于內部結晶構造的改变，就根本改善了工件的組織和性質。

热处理一般是由許多簡單的操作过程拼合起来的一种复合的工艺过程，因此它的种类和操作方法是多种多样的，而所得到的工件性質也是随而有所变化的。总的来講，这些变化

的不同是根据加热速度、加热温度、保温时间，以及冷却速度等条件来决定的。

当祖国社会主义工业化进入了新的建设阶段的时候，机器制造工业的各部門，都要求生产質量很高和經久耐用的产品与另件，因此热处理技术在目前就成为很重要的生产关键。产品質量能不能提高，是否能符合技术条件的要求，就要看怎样更好地来掌握热处理操作的技术了。

二 热处理有什么作用

热处理有很多作用。它可使鋼件在处理得到比前硬、比前軟、比前韌或比前强等不同的性質。例如切削刀具，象車刀在切削金屬材料的时候，一定要淬成很硬，才能抵抗磨損，才可以很銳利而且經久耐用；而被切削的金屬材料，一定要处理得很軟，使之容易車制，同时在制成工件以后，又要使它变成坚硬耐磨和强度高或韌性好的另件，这样才能提高使用效率、安全性和使用的寿命。如果处理得不好，刀具容易磨蝕或損坏，材料加工困难，这样就会严重的影响劳动生产率和国家計劃的完成。

极大部分的机械另件，象齒輪、曲軸、彈簧、軸梢等重要另件及工具都要經過热处理，才能适合我們使用的目的。尤其是机床、汽車、拖拉机上各部分負荷重的及运动着的机械另件的热处理更是重要。例如汽車上的活塞肖和鋼板肖，热处理后表面要有很高的硬度(Rc 58—62)而内部要有很好的韌性，这样既能抵抗磨損而又不致于折断。所以热处理时都采用低碳鋼材料，表面滲碳后淬火硬化才能符合使用要求(也可采用

中碳鋼表面高頻淬火方法来硬化)。車床上的齒輪表面也要熱處理成堅硬耐磨，但內心却要強韌以便抵抗壓力負荷及震動；車床的車頭主軸，也同樣要用各種表面淬火的方法，使它具有很好的耐磨性能。

除此以外，熱處理還可以將鋼件在加工時因受外力作用而引起的內部應力消除。這就是說鋼件在受到外力後，部分的組織會引起變形，強度也不一樣，如不經過熱處理將內應力消除，就會使機械零件的強度減弱，很容易變形損壞，以致使用壽命不長。又如經過各種化學熱處理後，零件的表面就具備了特殊的耐磨性、耐熱性、耐腐蝕性及耐疲勞性等。

現在把熱處理的作用簡單的來總結一下，歸併成下面幾點：

- (1) 提高硬度及強度(硬化)，同時改進耐磨性與剛性。
- (2) 降低硬度及強度(軟化)，同時增加韌性與延展性。
- (3) 改善鋼的加工性能，使鋼件容易被切削成一定的外形。
- (4) 改善鋼的切削能力，使車刀、銑刀等工具在切削材料時很銳利。
- (5) 消除因受加工外力的作用所引起的內部應力。
- (6) 改善鋼件的內部組織，使它能發揮優良的潛在性質，適合於不同用途的要求。
- (7) 提高鋼件表面的耐磨性、耐熱性、耐蝕性以及耐疲勞性等(化學熱處理後)。
- (8) 變更電的性質和磁的性質。
- (9) 去除有害氣體(如鋼件因酸洗而吸收氫氣等)。

三 热处理有多少种类

热处理以其不同的要求和目的，及在操作过程中所进行不同的加热和冷却的方式，可以將它分成退火、正火、淬火、回火和化学热处理等五种基本类型(根据查哈洛夫著的“热处理工”一书的分类，但也有把正火归在退火一类的)。

退火主要是用来降低鋼件硬度，使它軟化細化，改善切削加工性能，同时增加它的塑性、韌性和消除它的內部应力。方法是將工件加热到高溫(临界点以上或稍下的溫度)后，再用很緩慢的速度冷却下来。

正火主要是用来提高鋼件的硬度及强度等机械性質，改善鋼的結構組織和加工性能。方法是將工件加热到高溫(临界点以上溫度)后，在空气中冷却下来，比退火冷得决些，而比淬火冷得慢些。

淬火主要是用来提高鋼件的硬度、强度等的机械性質。方法是將工件加热到高溫(临界点以上溫度)后，急速地冷却下来。

回火主要是用来减低淬硬工件的硬度与脆性和消除它的內部应力。方法是將淬火后的工件立即重新加热到比較低的溫度(临界点以下溫度)，然后再以較快或較慢的速度冷却下来。

化学热处理主要是用来改变鋼件表面的化学成份，使它的表面硬度提高而增加耐磨性，提高耐热性和耐蝕性，以及提高疲劳强度等。其中主要的有滲碳、氮化、氰化、滲鋁、滲鉻等等。方法是將工件放在固体、液体或气体的化学元素介質里，加热到比較高的高溫以后，停留一段時間冷却下来，使鋼

件表面飽和一层碳、氮、鋁、鉻等特殊合金元素。

現在把以上这些鋼件热处理的主要种类，概括地列成以下兩表(表 1、表 2)来加以說明：

鋼的主要热处理种类表 表 1

名 称	加热介質	操 作 說 明	目 的
退 火	①空气 ②液体	加热到临界点以上的退火溫度后，保温透燒，再在爐中或絕热物中緩慢地冷却下来。	①降低硬度改善加工性能。 ②增加塑性和韌性。 ③消除內应力。 ④改变內部組織，准备淬火。
正 火	①空气 ②液体	加热到临界点以上的正火溫度后，保温透燒，再在空气中冷却下来。	①得到細密的結構組織。 ②改善加工性能(低碳鋼)。 ③提高硬度、强度等机械性質。
淬 火	①空气 ②液体	加热到临界点以上的淬火溫度后，保温透燒，再在冷却剂(水、油、鹽水等)中急速地冷却下来。	①提高硬度及强度。 ②增高耐磨性。 ③得到要求的其他机械性質。
回 火	①空气 ②液体	加热到临界点以下的回火溫度后，保温透燒，再迅速地或緩慢地在水、油或空气中冷却下来。	①消除淬火时产生的內应力。 ②增加韌性。 ③得到各种要求的机械性質。
(冰冷处理)	用液体氧、氮、氨及干冰(固体CO ₂)冷却	溫度降低到零下60—183°C时保温，然后再回复到室温。	减少合金鋼組織中的殘余奧氏体，以增高硬度和耐磨性(还須低温回火)。
化学热处理	詳見表 2		

鋼的表面化学热处理种类表

表 2

名 称	采用方法	操 作 原 理	目 的
渗 碳	①固体②液体 ③气体④电解	使工件表面层飽和碳元素。	增加表面硬度、耐磨性和疲劳强度。
氮 化	①气体②液体	使工件表面层飽和氮元素。	增加表面硬度、耐磨性、疲劳强度和耐蚀性。
氰 化	①固体②液体 ③气体	使工件表面层飽和碳和氮元素。	增加表面硬度、耐磨性、疲劳强度，提高工具的切削能力和耐久性。
渗 铝	①固体②液体 ③气体④电解	使工件表面层飽和铝元素。	提高耐热性。
渗 铬	①固体②液体 ③气体	使工件表面层飽和铬元素。	增加表面硬度、耐磨性，提高工具的切削性能和耐蚀性。
渗 砂	①固体中通入 氮气 ②气体	使工件表面层飽和砂元素。	增加耐热性、耐蚀性和耐酸性。
渗 硼	①固体 ②电解(硼砂液) ③液体	使工件表面层飽和硼元素。	提高硬度、耐蚀性及耐酸性。
砂 共 铬 渗	气体	使工件表面层飽和铬及砂元素。	除得到渗砂、渗铬的特性外，主要是提高耐热性。
铝 共 铬 渗	气体	使工件表面层飽和铬及铝元素。	提高耐热性。
渗 铍	①气体 ②固体	使工件表面层飽和铍元素。	提高硬度耐磨性及耐蚀性。
渗 硫	①气体 ②液体 ③固体	使工件表面层飽和硫元素。	提高耐磨性及抗咬合性。

四 怎样进行热处理操作

不論是哪一种热处理的操作方法，最要紧的是要掌握溫度和時間两个条件。这就是說能正确的控制加热時間(就是加热的速度)，加热溫度，保温透燒時間，冷却時間(就是冷却的速度)和冷却方法，就能够得到質量很好的热处理产品，同时也能够得到所要求的各种不同的机械性質。

热处理过程主要的可以分为以下三个阶段(图1)：

(1) 加热——以一定的加热速度，加热到預定的溫度(使工件內部組織結構发生变化)。

(2) 保温——在預定的溫度，保持透燒一段時間(使工件在这个溫度下得到內外均匀一致和稳定的組織)。

(3) 冷却——从这預定的溫度，用一定的冷却速度冷到室內溫度(可以得到預定的組織結構和机械性質)。

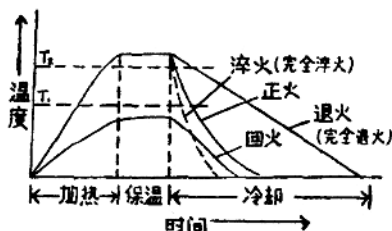


图2. 热处理主要操作示意图

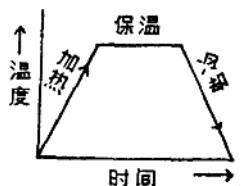


图1. 热处理的三个阶段示意图

热处理的各種主要操作过程，可以用象图2那样簡單的溫度——時間曲綫图来表示。图中左边的斜綫是表示加热速度，右边的斜綫是表示冷却速度，水平綫是表示在預定溫度

下的保温时间，虚线 T_1 是下临界点温度，虚线 T_2 是上临界点温度。如果加热速度、加热温度和保温时间差不多一样的话，而冷却速度的快慢大不相同，那末就可区别为淬火、正火和退火。淬火的冷却速度最快，斜线较直，正火比淬火慢些，斜线就较斜，退火的冷却速度最慢，斜线最斜，也就是需要的时间最长；它们的加热温度都是在上临界点 T_2 以上的高温（淬火指完全淬火，退火指完全退火）。但是回火的加热温度在下临界点 T_1 以下的低温，加热速度和冷却速度也是和其他热处理操作不一样。

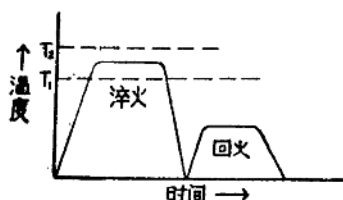


图3. 普通高碳钢车刀的热处理操作过程图

热处理的操作过程，

往往都是由很多种简单的操作过程组合起来的。例如一把高碳钢车刀的热处理操作过程是很简单的，在淬火以后再经过一次低温回火就行，如图3所示。

假使是一种要求在负荷很大，又要耐磨损和耐震动时使用的高合金钢齿轮，它的热处理过程就复杂得多了，如图4所示，要经过：①正火，②高温回火，③渗碳，④在渗碳炉中降温处理，⑤淬火，⑥回火，⑦冰冷处理，⑧回火。

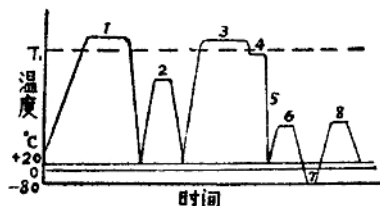


图4. 高合金钢齿轮热处理操作过程图

热处理操作的工艺，既不是很繁难的过程，也不似有些人所想象的那样神秘。如能懂得和掌握（1）钢料的化

学成份和性能，（2）正确的热处理规范（加热温度、保温时间

及加热与冷却的速度)，(3)組織变化的規律和原理等，就能够得到質量很高的热处理产品。当然，热处理工作不能單凭經驗，一定要懂得些理論；更不能随便处理，如不知道材料的正确成份、正确的热处理规范和工艺过程，就盲目地进行操作，必然会使热处理产品的質量降低，同时也可能会出很多廢品。因此做一个热处理工作者，一定要很好的学习先进的操作方法，严格的掌握每一个操作的細節，这是最为要紧的。

五 什么是金屬和合金

热处理工作的对象，就是金屬和合金。金屬是單一的元素，而合金則是由兩種以上的金屬元素与非金屬元素所組成的物質。象鉄、銅、鋁、錫、鋅、鉛、鎳、鉻、鎢、鉬、鈮、鎂、錳等都是金屬元素，碳、矽、磷、硫、氧等都是非金屬元素。鉄、銅和鋁是現代机器制造业中的主要金屬。單純的金屬元素在工业上不大用到，也很少拿来作为热处理的工件，因为热处理对这些金屬几乎不起什么显著作用。但是合金就可以經受热处理，热处理后的合金，它的性能，如硬度、强度、韌性等就可以得到显著的改变。举例來說，鋼是鉄和碳的合金，生鉄也是鉄和碳的合金，鋼、鉄經過热处理以后就可以得到各种不同的特性，适合我們工业上的应用；銅和鋁做成的合金，也可以在热处理后，將它的性能提高，如汽車发动机上的活塞(用鋁銅合金做成的)，經過淬火和时效处理后，它的硬度和强度就可提高，适合使用。

其他的合金还有很多，象黃銅就是銅和鋅的合金，青銅就是銅和錫的合金，制造飞机另件用的硬鋁(杜拉鋁)就是鋁和

銅、矽、鎂的合金。澆鑄汽車、拖拉機、電動機等軸瓦用的巴氏合金（軸承合金）是錫、銻、銅、鉛等的合金。這些合金的性能，都比其中單一的金屬元素優良得多，所以在工業上應用得非常廣泛。

鋼和生鐵在工業上稱為黑色金屬，其餘的金屬，如銅、鋁、鎳、鋅、錫、鉛等，以及它們的合金，如黃銅、青銅、硬鋁、巴氏軸承合金等都稱為有色金屬。現代機器製造業中所使用的材料主要是黑色金屬——鋼和生鐵。而作為熱處理的主要材料是鋼鐵和鋁（銅）合金，因為它們在熱處理後是能夠改變性能的。

六 金屬和合金的結晶是 怎樣構成的

金屬和合金與自然界中所有的一切物質一樣，也是由許多非常微小的，甚至於在最高倍的顯微鏡下面也難以見到的物質——原子構成的。原子在金屬裡面是以一定的規則和次序排列起來的，並不是亂七八糟任意堆放的，也就是說原子具有一定的結晶構造。

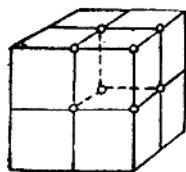


圖5. 金屬的結晶格子示意圖

許多金屬的原子在空間所占的位置具有一定的體積，它好像是和搭房屋的木架差不多，這些和木架相似的形體在金屬中叫做結晶格子（圖5），或叫立方晶格。有些金屬象 α -鐵（當溫度在 910°C 以下或超過

1390°C 時）及鉻、鈮、鉬、鎢等的晶格共有9個原子（在單位

晶胞上), 8 个分布在正立方体的每个角上, 1 个在它的交角线的中心上(图 6 甲), 我們叫它**体心立方晶格**。还有些金属象 γ -铁 (当温度在 $910-1390^{\circ}\text{C}$ 时) 及铝、铜、镍、铅、金、银等的晶格共有 14 个原子 (在单位晶胞上), 8 个分布在正立方体的每个角上, 6 个分布在每一面的正中心上(图 6 乙), 我們叫它**面心立方晶格**。另外还有些金属象镁、锌、钛、镉、铍等的晶格共有 17 个原子 (在单位晶胞上) 分布在正六角柱形的结晶格子里, 12 个原子分布在上下两个正六角形的每个角上, 2 个分别在上下六角形的中心上, 另有 3 个原子在正中平面的三角角上(图 6 丙), 我們叫它**正六角形晶格或六方晶格**。

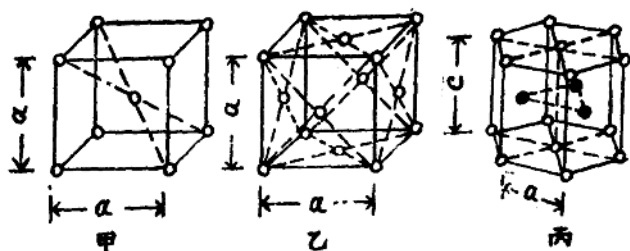


图 6. 金属的基本结晶格子示意图

甲. 体心立方晶格 乙. 面心立方晶格 丙. 正六角形晶格

在立方晶格的同一棱上两个相邻原子的距离, 叫做**原子间距**或叫**晶格常数**(或参数)。它的距离是非常小的, 因此用埃 ($\text{\AA}$) 来代表它的长度单位。 $1 \text{\AA} = 0.000,000,01$ 公厘 (即 10^{-8} 公厘)。正六角形晶格的长度尺寸, 用两个晶格常数 a 及 c 来表示。这样, 在结晶的物质里, 每一公分的距离中, 就排列着几千万个象细胞一样的晶胞。每种金属的单位结晶格子大小, 可用晶格常数 a 来表示, 象纯铁 $a = 2.861 \text{\AA}$, 铜 $a = 3.6 \text{\AA}$, 铝 $a = 4.05 \text{\AA}$, 镁 $a = 3.202 \text{\AA}$, 而 $c = 5.199 \text{\AA}$ 。

金屬在熔融的液体状态时，它里面的原子是很混乱地在剧烈运动着的，当凝成固体的时候，原子的运动减緩接近停止，并且很整齐而有規則地排列起来了。但哪些原子外部的形状都是不規則的多面形晶体(图7)，这种晶体叫做晶粒。因此晶粒是金屬内部的基本結構組織。一般在金屬中，晶粒的大小很不規則，而且所含晶粒的数目非常多，又是非常小，

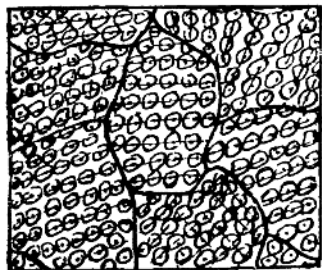


图7. 金屬的多面形晶体

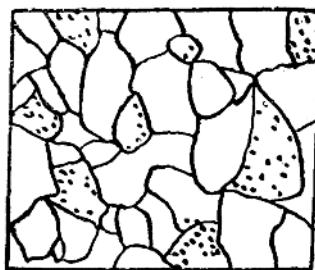


图8. 純鉄体的晶粒

小到甚至用眼睛也看不到(最大的晶粒可以目見)，非得用金屬显微鏡才能看見(图8)。至于原子在空間相互排列的位置，和結晶格子的大小，只有用X-光分析方法才能測得。

不規則形狀的晶粒生長，是在金屬溶液凝固的时候，圍繞着核心逐漸形成和長大的。它在凝固时的情況，首先是生成許多作为核心的小晶粒(图9)，然后吸收同类性的原子，向各方面自由地发展，就聚成了不規則的几何形狀的結晶。用一个試驗来做例子，可以更清楚地說明这个現象。例如把一小粒明矾用綫吊着，放到裝有明矾饱和溶液的玻璃杯子中去，就可以看到这粒明矾逐漸吸收溶液中的明矾而聚集長大(图10)。晶粒長大的过程正和这个例子完全一样，它的变化过程如图11所示。

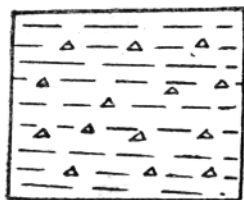


图9. 液体金属在开始
结晶时的核心

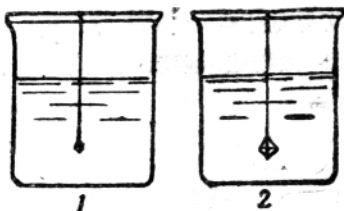


图10. 明矾晶体从溶液中长大的实验

- (1) 試驗开始时的情形
- (2) 試驗結束时的情形

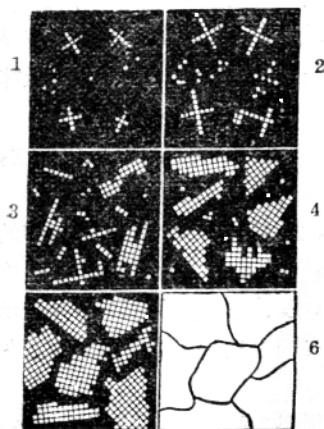


图11. 晶粒生長变化过程图

1. 結晶核心的形成
- 2, 3, 4. 晶体生成
5. 因拥挤现象阻碍了晶体規則的排列
6. 晶粒完成(交叉的边緣就是晶界)

金屬和合金的結晶組織,通常要在顯微鏡下面才能看到,我們叫它**顯微鏡組織**或是**金相組織**。各种不同的結晶組織和它的含量及分布情况,可以決定金屬材料的机械性質。而化

学成分和处理方法，又决定了金属材料的结晶组织。因此研究金属材料的金相组织，就成为当前鉴定材料质量和处理方法（如铸造、锻造、热处理和机械加工等）的一种最有效的方法。

七 什么是金属和合金的 机械性质

金属和合金的机械性质就是它的抵抗外力作用的性质，也就是说它的强度是不是适合做某个机器零件，它的硬度是不是经久耐磨，它的韧性是不是足够抵挡冲击和震动力量等等。

机械性质包括得很多，主要有强度（抗拉强度、抗压强度、弯曲强度、扭转强度、疲劳强度等）、硬度及冲击韧性等。

表示强度特性的，有极限强度（就是抗拉、抗压、弯曲等的最大强度）、比例极限强度、弹性极限强度、屈服点强度。硬度也是表示材料强度特性的一种。延伸率和面积缩减率是表示材料的延展性或塑性。抵抗冲击的力量是表示材料的冲击韧性。

在强度方面，主要是抗拉（极限）强度，可以在拉力试验机上或万能试验机上来进行试验（万能试验机还可试验抗压强度和弯曲强度等）。此外如比例极限强度、弹性极限强度、屈服点强度、延伸率及断面缩减率等都能同时在万能试验机上作出试验。它们的计算方法，可以应用下面几个公式（参考图12及图13）：