

金 屬 工 学



— 上 册 —

华 东 化 工 学 院

目 錄

金属学部分

引言	1
第一章 纯金属的结晶组织及其结晶	5
§ 1—1 纯金属的结晶结构及特性	5
I 体心立方晶格	6
II 面心立方晶格	6
III 密排六方晶格	6
§ 1—2 纯金属的结晶过程及其显微组织	6
I 纯金属的结晶过程	8
II 金属晶粒大小与其性能的关系	9
§ 1—3 金属在固态下的转变	11
第二章 金属的塑性变形和再结晶	14
§ 2—1 金属的塑性变形	14
§ 2—2 加热对变形金属的结构和性能的影响 (再结晶)	15
I 回复 (恢复)	16
II 再结晶	16
III 二次再结晶 (聚集再结晶)	17
§ 2—3 金属的热加工及其对金属组织与性能的影响	17
第三章 合金的理论基础	19
§ 3—1 合金组织	19
I 固溶体	19
II 金属化合物	20
III 机械混合物	21
§ 3—2 二元合金的结晶及其组织	21
I 液态互溶，固态完全不溶解而形成机械混合物的合金状态图	22
II 液态互溶，固态也完全互溶的二元合金状态图	28
III 液态互溶，固态形成有限固溶体的二元	

合金状态图	30
IV 液态互溶，固态彼此完全不溶解，但形成稳定化合物的二元合金状态图	32
第四章 铁碳合金状态图	35
§ 4—1 铁碳合金系中组元的特性	35
§ 4—2 铁碳合金状态图的分析	37
§ 4—3 铁碳合金的结晶过程和显微组织	40
I 钢的结晶过程及其组织	40
II 生铁的结晶过程及其组织	42
第五章 钢的热处理	44
§ 5—1 概述	44
§ 5—2 钢热处理的基本原理	45
I 钢在加热时的转变	45
II 钢在冷却时的转变	48
III 钢在回火时的转变	50
§ 5—3 钢的热处理方法	52
I 淬火	52
II 回火	55
III 退火和正火（常化）	56
IV 钢的化学热处理	57
第六章 碳钢与铸铁	60
§ 6—1 碳钢	60
I 碳及杂质对钢组织性质的影响	60
II 钢的分类、编号和用途	62
III 碳钢的优点	70
§ 6—2 铸铁	71
I 铸铁的分类	72
II 灰口铁的组织和性质	72
III 影响铸铁组织与性质的因素	76
IV 铸铁的牌号及用途	77
第七章 合金钢	79
§ 7—1 钢的合金化原理	79
I 概论	79
II 合金元素的影响	80

III	合金钢的缺点	85
IV	合金钢的分类与编号	85
§ 7-2	合金结构钢	87
I	概述	87
II	低碳合金结构钢	88
III	中碳合金结构钢	88
IV	高碳合金结构钢	91
§ 7-3	不锈钢及不锈钢合金	93
I	金属与合金的腐蚀	93
II	不锈钢与不锈钢合金	101
§ 7-4	耐热钢	110
I	抗热性	110
II	热稳定性 (抗氧化性)	112
III	耐热钢的种类	115
§ 7-5	其他特殊性能钢	117
I	低温用钢及合金	117
II	耐磨钢	118
III	砷钢	119
§ 7-6	化工容器元件用钢	120
I	对化工容器用钢的要求	120
II	化工容器元件用钢中化学成分的特点	120
第八章	有色金属和合金	126
§ 8-1	铜及其合金	126
I	铜的组织 and 性质	126
II	黄铜	128
1	普通黄铜	128
2	特种黄铜	130
III	青铜	131
1	锡青铜	132
2	铝青铜	134
3	硅、锰青铜	134
§ 8-2	铝及其合金	135
I	铝的组织 and 性质	135
II	铝合金	135

§ 8-3	镍及其合金	138
I	镍的组织 and 性质	139
II	镍合金	139
§ 8-4	钛及其合金	140
I	钛的组织 and 性质	140
II	钛合金	141
§ 8-5	轴承合金	142
I	对轴承合金的要求	142
II	轴承合金的种类	143
§ 8-6	用于生产原子能的金属和合金	143
I	核燃料	144
II	反应堆的结构材料	146

引 言

金属学是研究金属和合金的组织、并确定金属和合金的性能、成份和组织之间的关系，从而确定金属和合金的用途的科学。

金属对于工农业建设（甚至日常生活用品）起着重要的作用，尤其是钢铁，如果没有金属的知识，就不能正确使用金属。

金属及其合金所以在各方面都能够获得广泛的应用，是由于它具有优良的机械性能、物理性能、化学性能及特殊的工艺性能。同时，它在地壳中蕴生量也很丰富，冶炼也较方便。

纯金属的性能，首先决定于它的本性和结晶组织。

至于合金的性能就与其合金的组成有密切关系。铁碳合金成份的变化就与它的内部组织改变相联系着，因而它的性能亦有很大的差别。此外，工艺条件也会改变合金的性能。

再有，由同一成分合金和用同一工艺条件所制成的不同截面的零件，其机械性能也是不同的。

经过一系列的研究后证明，加工条件和截面的变更也是与合金内部组织的改变相联系，因而改变工艺条件和截面大小亦能使合金的性能改变。

由此可见，一个具有社会主义觉悟的有文化的劳动者，在从事与金属有密切关系的工作中，如果不懂得金属学原理，不懂得金属组织、成份和性能之间的关系规律，仅凭手册所找到的资料来选用零件的制造材料，便有可能犯严重的工艺错误，造成废品和浪费。尤其是化工设备和结构直接受到腐蚀性很强的化学介质（酸、碱、盐溶液和活性气体等）作用。除此之外，它们还常在加温（最高 2500°C ）、加压（1000大气压或更高）下工作。如果材料选用不当，或设备操作使用不正确，不仅造成设备过早损坏，使生产停顿，影响产品的质量，而且会发生严重的不幸事故，给国家和人民财产带来重大的损失。

由于祖国社会主义建设的加速进行和近代工业（包括化学工业在内）的飞跃发展，技术革命和技术革新的深入开展，对于金属和合金的性能的要求更加复杂。因之，为化学工业最合理的选择结构材料、探求新的耐腐蚀合金，以及改变化工设备的防腐措施，在目前来说就有更突出的意义。显然，这些任务

的完善解決，就要求學化工技術者也要了解金屬學原理。

由此可見，學習金屬學的目的，不僅在於掌握金屬和合金的成分、組織和性能之間的關係的規律，更重要的是在掌握這一規律的基礎上合理選擇和使用金屬材料，正確執行金屬設備的使用規程，以充分發揮材料的性能，延長機口和設備的使用壽命，降低工業成本。

金屬的應用，在我國有着悠久光輝的歷史。我國勞動人民杰出地創造了許多科學成就。根據對發掘起來的古代銅口進行化學分析，証明了遠在三千多年前（殷商時代）我國就能冶煉很純的銅和錫並按照不同用途，配製了它們各種不同合金，以及節省錫而配製鉛錫青銅來代替錫青銅的合金。

此外，我國古代勞動人民在熱處理技術方面也發展到相當高的技術水平。在明朝（距今至少三百多年前），當時勞動人民已掌握熱處理——淬火和退火對鋼性能影響的規律，並且知道用預冷淬火方法來減少工件的變形的先進工藝方法。此外，還掌握了關於固體滲碳法在製“針”方面的具體應用。這些都是合乎近代熱處理原理的。

由於我國長期處於封建制度的束縛之下，特別是近百年來受了封建主義、帝國主義和官僚資本主義的三重壓迫，我國勞動人民在金屬學上所取得的光輝成就不能得到系統的整理和應有的發展。而帝國主義者為了奴役我國人民還有意識地抹煞我國在科學技術上的一切成就和貢獻，以致造成我國悠久光輝的歷史不能發揚光大，從而造成我國近代工業在解放前的十分落後狀態。

現代的金屬學，是在十九世紀中葉，當人們應用顯微鏡來研究和檢驗金屬的显微組織之後，特別是工業生產大革命以後對金屬材料提出更高的要求的時候，才開始了飛躍的發展。

1868年，俄國金屬學家А.К. 契爾諾夫在總結生產和研究火砲製造時，用肉眼發現了鋼的臨介點，並建立了第一個鐵碳合金的狀態圖，同時創立了結晶理論，解釋了鑄錠的組織。

偉大的俄國十月社會主義革命的勝利，建立了世界上第一個社會主義國家。這種優越的社會主義制度，保證了金屬學的高速度發展，從而使蘇聯的金屬學達到世界上最先進的水平。由於蘇聯學者們對鋼鐵熱處理及合金鋼理論方面的卓越貢獻，

从而奠定了近代合金相变理论及动力学的基礎。因之，使金属学在近代发展成为一门新颖而丰富的科学。苏联多次发射地球卫星和宇宙飞船的成功，是集中地体现了苏联在生产 and 应用有关材料方面的科学（包括金属学）以及其他主要科学技术领域达到在世界上最先进水平。

我国金属学这门科学，也同其他科学一样，只有在解放后才获得蓬勃的发展。自解放以来，我国由于具有优越的社会主义制度，在党和人民政府的正确领导，以及苏联无私的援助下，进行了优先发展重工业的计划经济建设，特别是1958年在党的建设社会主义总路线光辉照耀下，我国钢铁工业以史无前例的速度向前跃进，1959年钢的产量达到1335万吨，1960年又超额完成了生产1845万吨钢的跃进指标，使我国钢产量已跃居世界第六位。

随着工农业建设的大跃进，在金属学领域方面的科学技术也根本改变了旧中国的面貌。几年来，在高等学校里建立了金相热处理专业；在科学院里设立了金属研究所和热处理的研究所；在有关工厂里建立了现代化的金属学实验室，这些对于发展我国金属学和解决金属生产中的技术问题，以及为培养年青科学工作者创造了优越的物质基础。

目前我国已经应用现代的最新技术：电子显微镜、电子衍射、X射线、超声波和放射性同位素等来研究金属学中的各种问题。热处理方面也采用最新科学技术：如等温淬火、分级淬火、快速加热、快速回火、蒸汽处理、高频气体渗碳及淬火、氰化、硫化与磷化、渗金属等，同时已经能制造机械化和自动化的热处理设备和高频加热设备。

由于工农业生产的飞跃发展，特别是工业向高、精、尖和大型方向的发展，对于金属和合金的性能要求更加复杂，因而就要求我们能生产品种更多的，而所含合金元素是我们富有的合金钢。解放后，冶金工业部和有关部门在党的领导下，在发展钢铁工业的同时，就开始为建立我国的合金钢系统而奋斗。经过几年来的努力，结合我国资源的合金钢系统初步建立起来了。并且在1959年11月颁布了九项合金钢标准草案：即合金结构钢、低合金高强度钢、合金工具钢、高速工具钢、滚珠轴承钢、不锈钢、耐热钢、不锈皮钢及电热合金。这项标准草

案已于1960年4月开始试行。我们知道这一艰巨任务，在12年科学技术发展规划中规定为第二个五年计划期间完成的，但是由于冶金工业部和有关部门贯彻了党的建设社会主义总路线和大跃进的精神，因而这一规划就提前四年实现了。这一规划的提前实现更具体地体现了总路线、大跃进具有无限生命力。

党的八届八中全会向全国人民发出争取在十年或者更短的时间里，在钢铁和其他主要产品产量方面赶上英国水平的伟大号召，在1960年初党又提出在廿世纪六十年代里要基本上建立起完整的工业体系，基本上实现工业、农业和科学文化的现代化，从而把中国建设成为一个强大的社会主义国家的伟大奋斗目标。全国人民正在党的坚强领导下，以马列主义和毛泽东思想为指导思想，继续坚持党的建设社会主义总路线，发扬共产主义风格，树立起“战胜地球建立强国”的雄心大志，为实现这一伟大目标而奋斗。因此，我们完全相信，金属学这一门科学也一定能和其他学科一样，在廿世纪六十年代里迅速地赶上世界最先进的水平，并在社会主义建设中发挥出更大的作用。

金属学课程的内容基本上包括两部分：第一部分是叙述金属学基本原理；金属的结构及结晶原理，铁碳合金状态及钢的热处理原理。第二部分是叙述工程金属材料的具体知识：结构钢、化工用特殊性能钢，铸钢，以及有色金属及其合金。由于铁碳合金在工业上应用最为广泛，因之，这方面理论及有关知识将进行较详细地讨论。

第一章 纯金属的结晶组织及其结晶

§ 1—1 纯金属的结晶组织及特性：

固体按其化学、热、电、光、磁的性质，可分为如下五种基本类型：金属、离子晶体、共价晶体、分子晶体和半导体。

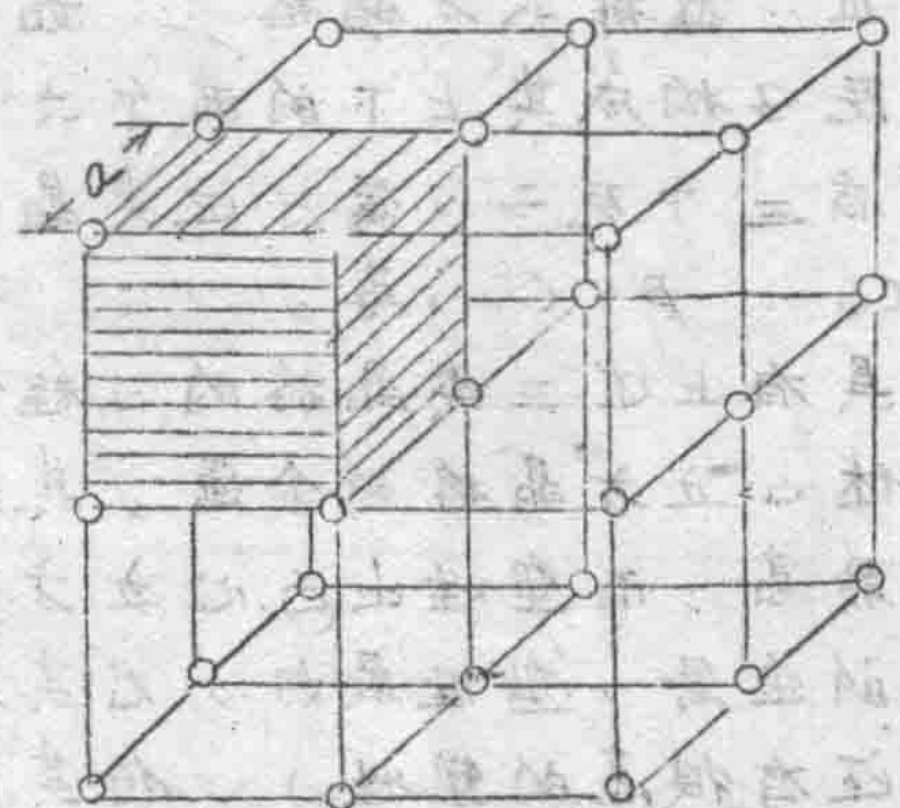
金属具有良好的导电性和导热性、可塑性以及良好反射光线的能力（金属光泽和不透明性），而且它的导电性是随着温度的降低而增加。金属这些特性，显然是与金属原子结构特点和金属原子结合方式有密切关系。

金属原子结构的特点是外层电子少；而且价电子与原子核结合力弱，极易脱离。同时，金属可分为简单金属和过渡族金属两类，前者内层电子填满，而后者内层电子不满，因此过渡族金属具有变价性，此外它还有高硬度和高熔点等性能的特性。

由于金属原子的价电子与核的结合弱，易脱离，所以当其原子结合成为固体时，其结合方式有如下的特征：

固体金属系由正离子与呈自由状态的价电子所组成的所谓“电子气”之间的结合而构成的。正离子以最紧密的一定几何形式规则地排列成为结晶格子（参 1—1）或简称为晶格，正离子均处在晶格的节点上，并作轻微的振动；而价电子为整个金属离子所公有，并在各离子间自由地作没有一定方向的穿梭运动。金属这种结合方式称为“金属键”。运用金属这种原子结合方式就可以解释金属上述所固有的特性。

金属的结晶组织大多数是组成下列最紧密三种形式的晶格：即体心立方晶格、面心立方晶格和密排六方晶格。为了便于研究原子（正离子）在结晶格子上排列的特征，则在晶格上取一最基本的单元晶格或称为晶胞（如参 1—1

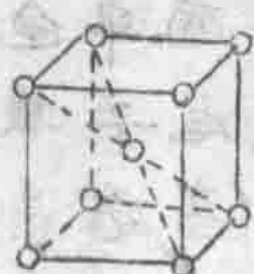


参 1—1 结晶格子

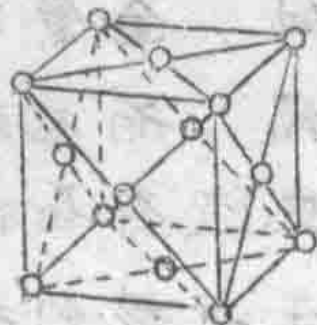
截乙线所示部分) 以代表某种金属的晶格。晶胞尺寸以边长 a (晶格常数) 表示之。其大小是用埃 ($1 \text{ \AA} = 1 \times 10^{-8}$ 厘米) 来量度。

I. 体心立方晶格 它的晶胞是由八个原子构成一立方体, 而其立方体的体积中心尚有一个原子, 如表 1-2a 所示。属于这类晶格的金属有: α -Cr、V、Mo、W、 α -Fe (当温度在 910° 以下及 $1390^\circ \sim 1535^\circ \text{C}$ 之间) 等。

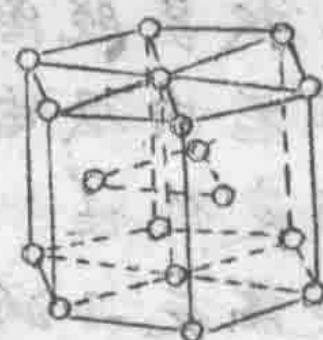
II. 面心立方晶格 它的晶胞是由八个原子构成一立方体, 而其立方体的每一个面的中心尚有一个原子, 如表 1-2b 所示。属于这类晶格的金属有 Al、Cu、Ni、Au、Ag 和



a



b



c

表 1-2

常见金属晶格

γ -Fe (在 $910 - 1390^\circ \text{C}$ 之间) 等。

III. 密排六方晶格 如表 1-2c 所示, 它的晶胞是由八个原子构成其上下两个六方底面, 并在两个六方底面的中间尚有三个原子。属于这类晶格的金属有 Be、Mg、Zn、Cd、 α -Co、 β -Cr 等。

具有上述三类晶格的工程金属一般有下列特性:

体心立方晶格的金属, 其熔点、强度和硬度在三类晶格金属中最高, 而塑性比面心立方为低, 且有低温脆性。面心立方晶格的金属, 塑性最好, 尤其是在低温时有良好的塑性和韧性 (在 250°C 还有很高的塑性), 但其强度、硬度和熔点比体心立方的低, 而比六方的高。六方晶格的金属大多是熔点、塑性、硬度和强度均低。

此外, 还有一些为数不多的金属, 它的晶格是属于正方晶格, 或其他类型晶格, 如 β -Sn 是属于正方晶格。

表 1-2

纯金属的结晶过程及其显微组织

以上我們討論了金屬的結晶組織的情況，但是我們知道結晶組織相同的金屬，其性質也有很大的差別，經研究發現，這與金屬是如何進行結晶有關。下面我們着重來討論這個問題。

大家知道，任何物質都可處於三種狀態下：即氣態、液態和固態。金屬也是如此。任何金屬在一定的溫度下都要發生物態的變化，在熔點（ T_s ）時，由固態轉變為液態，在沸點時，由液態轉變為氣態。

在常壓下，金屬的熔點（凝固點）是可以完全確定的。因為金屬由液態轉變為固態時發生着組織的根本改變，即從原子無序排列的液態轉變為有序排列的結晶體，這個轉變過程或稱為“結晶”。金屬在結晶的同時尚有潛熱放出，因此，通過實驗和觀察就能測定它的熔點（凝固點）。

如果把熔融的金屬，註其緩慢冷卻，並測定其冷卻速度，就可以做出溫度隨時間變化的關係曲線，這種曲線稱為冷卻曲線，如圖 1-3 a 所示。作冷卻曲線的實驗方法稱為“熱分析法”。

圖 1-3 a 曲線表示了液體金屬緩慢冷到某一溫度 T_s 時，出現了暫時的恒溫現象，並且一直到 b 點時間後溫度才繼續下降。

但是，我們知道結晶過程是伴隨着潛熱放出的過程，因之，我們可以推斷冷卻曲線上出現的恒溫是由于金屬在 T_s 溫度時進行結晶，所放出的潛熱彌補了金屬熱量的散失。顯然，曲線上 a

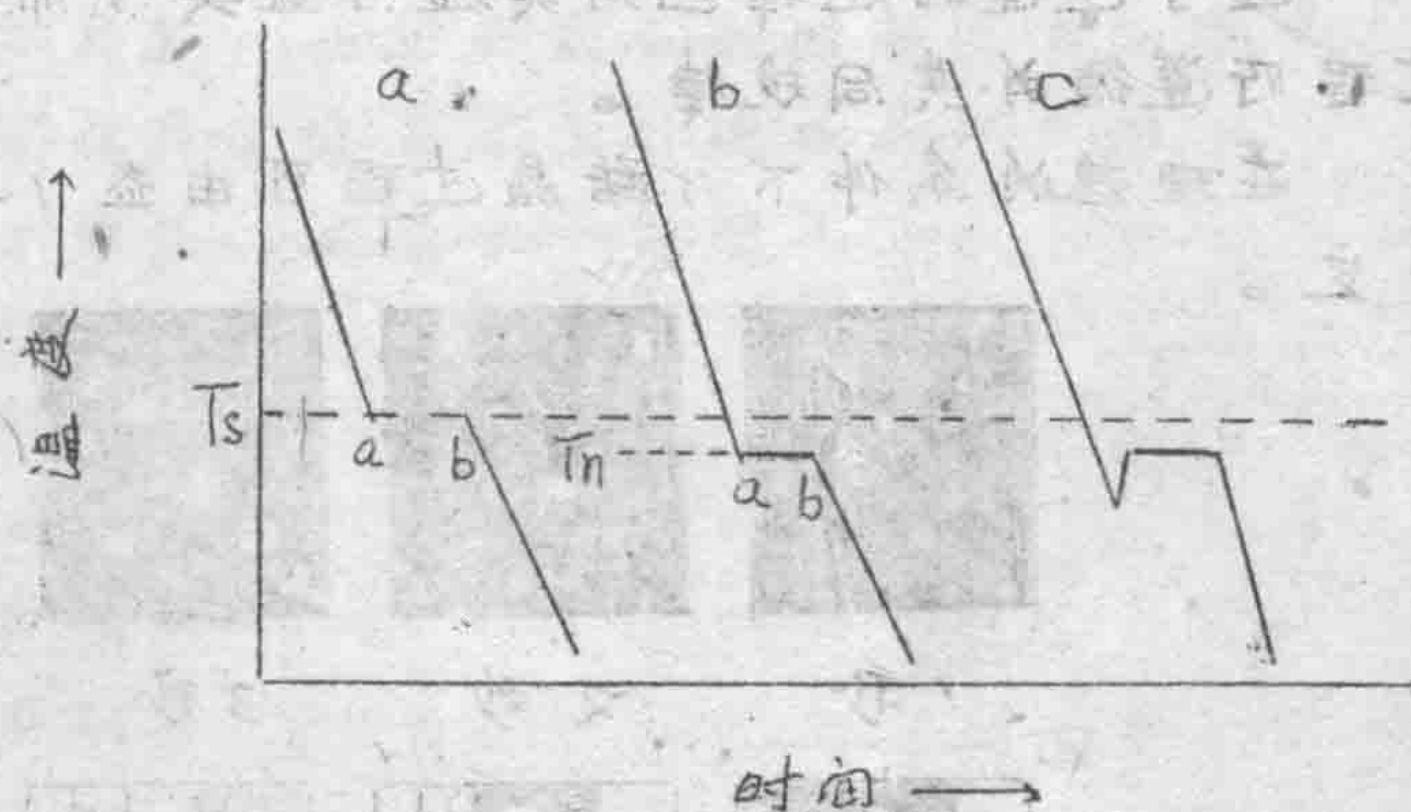


圖 1-3 純金屬的冷卻曲線

點是結晶開始時刻，而 b 點以後曲線隨着下降時，就表示着結晶過程已經終了。 T_s 溫度就是凝固溫度或稱為臨界點。用實驗觀察方法也証實上述推斷的正確性。因之，科學上廣泛地應用了熱分析方法來測定物質的臨界點。

在实际情况下，液体金属结晶是过冷到低于 T_s 点下的某一温度 T_n 时才开始的。 T_s 与 T_n 的温度差($\Delta T = T_s - T_n$)称为“过冷度”。(如各1—3b所示)。由于某些金属的过冷度较大，在开始结晶的片刻所放出的潜热较多，使温度上升接近于理想结晶温度，如各1—3c所示。过冷度(ΔT)之值，是决定于金属的本性和冷却速度，不同金属其值也有差异，通常是几度或最多是几十度，但是对于同一金属而言，当冷却速度增大时，由于结晶过程发生了滞后， ΔT 之值便随之增大。

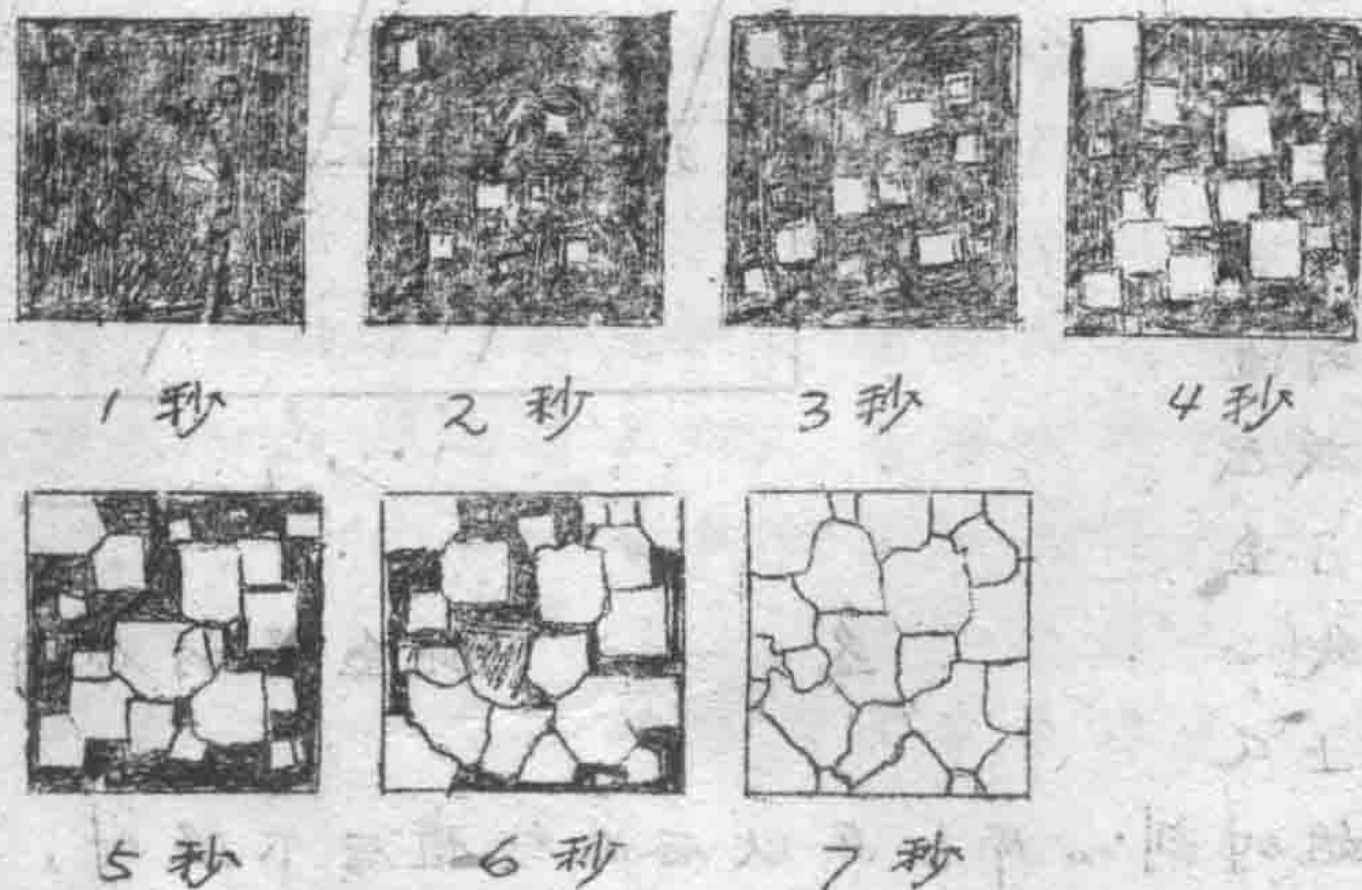
因此，根据冷却曲线可以测定金属的结晶温度和过冷度的大小，以及结晶时所需要的时间，但是不能指示出金属如何结晶。

I. 纯金属的结晶过程：

关于纯金属的结晶过程机理，俄国H.K. 契尔诺夫在1870年就已提示。当时他在总结研究钢铁的组织时指示：结晶过程是两个过程组成的，第一过程是生核（在液体中产生结晶的中心），第二过程是晶核的长大，而且这两个过程，在结晶时是同时进行的。

这个过程的规律已为实验所证实，而且它是一切物质结晶过程所遵循的共同规律。

在理想的条件下，结晶过程可由各1—4的示意图来描写它。



各1—4 结晶过程示意图

如果假定在图 1-4 所示的面积上，当结晶开始第一秒钟内产生了五个晶核，而它们的生长速率（长大率）是 1 毫米/秒，那末在第二秒末就长大了，与此同时又在另一地方产生了五个新晶核，这种不断出现新晶核和晶核的长大过程就是结晶过程。这种结晶过程一直进行到第七秒钟为止，从示意图中看到，当结晶开始时，各晶体尚为液体所包围，它们的外形是规则的，可是当晶体长大到互相接触时，其规则外形就被破坏了，因此可以说明了实际金属的显微组织是由很多不规则外形的晶粒组成的。此外，我们往往把由一个晶核所长大成的晶体称为晶粒。晶粒与晶粒之间的差别，只是晶体大小和方位不同而已。晶粒与晶粒之间的交界称为晶界，晶界是晶体与晶体间过渡层，其中的原子排列是没有规则的。这种由晶粒与晶界所组成的多晶体外形组织，就是在金相显微镜下所观察到的金属组织，通常称它为显微组织。

对钢铁的组织进行研究表明，晶体在实际情况下的长大过程是按下列方式进行的：最初晶体所形成的外形是规则的，但接着以树枝状的方式长大，即晶体各个方向的长大速度是不同的，最后，由于各枝轴之间被完全填满，这样在结晶完了时才形成一般的晶粒外形。显然，在铸锭最后凝固的地方，如果其枝间尚未被填满时，就会清楚地显示出所谓枝晶的外形。

枝晶成长过程的示意图，如图 1-5 所示。

形成枝晶的主要原因是在晶体的棱边或顶角处与液流接触的面积大于其侧面的接触面积，因而在结晶时所产生的潜热较容易在晶体的棱边或顶角处，借助液流的影响而迅速地放散出去，因是促进在液体中的晶体在尖端处的优先发展，即以枝晶的形式成长。

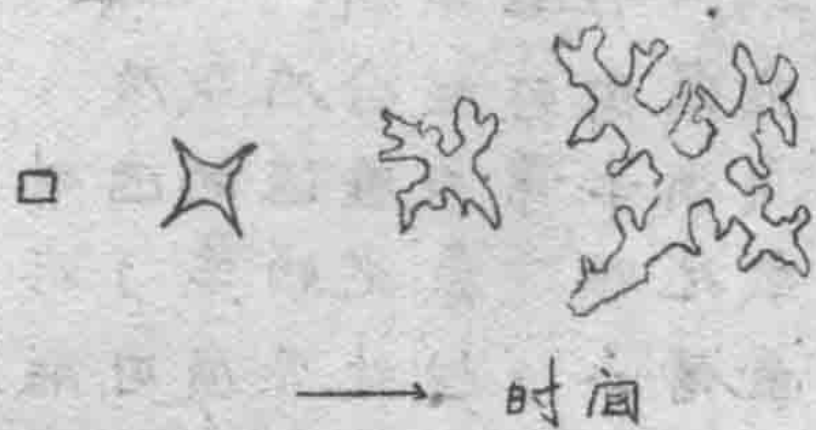


图 1-5 枝晶成长示意图

五、金属晶粒大小与其性质的关系，以及影响晶粒大小的因素。

对许多的金属进行研究表明，其晶粒大小与许多性能有密切的关系。同一类金属中，细晶粒比粗晶粒有较高机械性能。

尤其是塑性和冲击韧性。为此，我们希望获得细晶粒组织的金属。

晶粒大小受了許多因素的影响，如过冷度、难熔的杂质以及外力等。这些因素是通过结晶过程的影响，即通过对生核率 n （个/秒·毫米³）和晶核的长大速率 c （毫米/秒）的比率的影响而影响金属组织的粗细。

1. 过冷度（ ΔT ） 如前所述，冷却速度不同，则实际结晶时的过冷度就不同，而过冷度不同，便会对结晶过程产生重大的影响。按塔曼（Г. Тамман）对结晶过程研究，并由实验中建立起如图1—6所示的过冷度与结晶过程两个参数 n 和 c 的关系曲线。图上曲线表明，当过冷度为零时（即在 T_s 温度）， n 和 c 也等于零，即液体金属不能结晶。但随着过冷度的增加，结晶两个参数也相应增加。如果当过冷度增加到生核率 n 大于核生长率 c 时，则可以得到细晶粒的组织。但在这里所应注意的是在金属中由于金属的液体不易过冷，所以这两条曲线后半部是没有的。

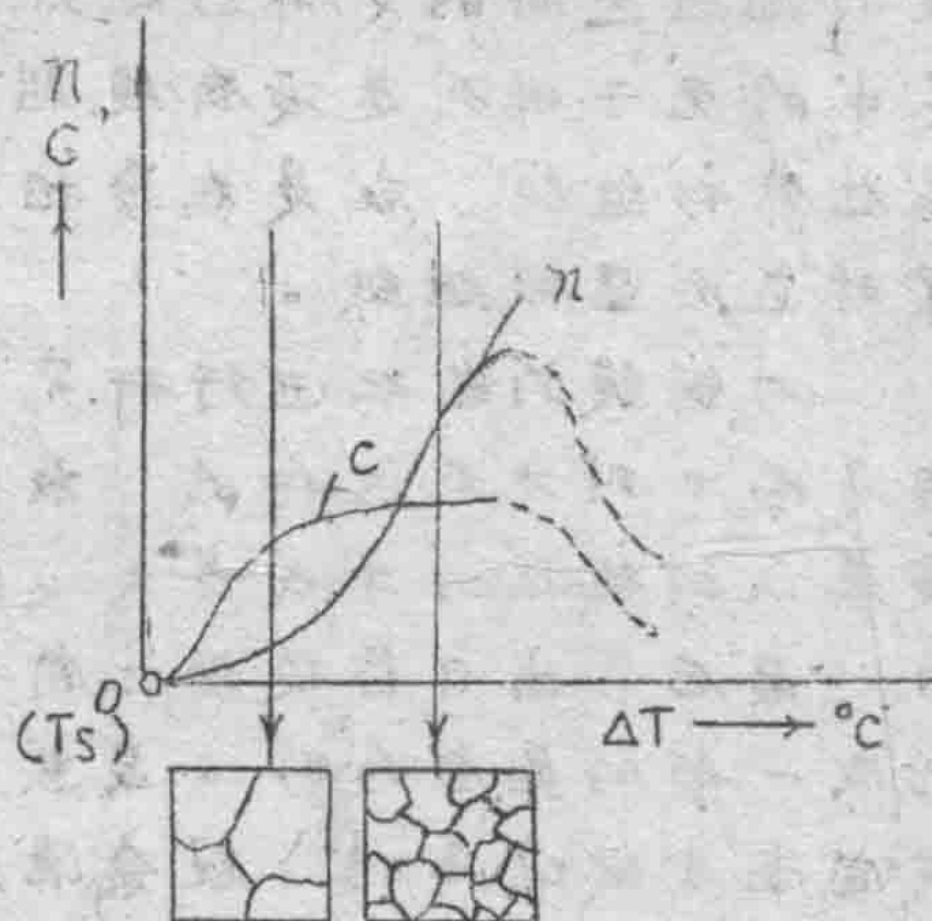


图1—6 金属结晶时过冷度对生核率和长大率的影响。

2. 难溶杂质 我们知道任何金属都可能含有杂质，而且这些杂质中常有难溶的固体物质（如氧化物、氮化物等）存在于液体金属中。这些杂质可能起核心作用，特别是当杂质的晶格类型和晶格常数与金属的愈接近时，它们能起核心的作用就愈大。近年来工业上已广泛应用这一原理以细化金属的晶粒。例如在灰口铸铁中加硅钡合金，使铁水中生成很多细小的与石墨晶格相似的 SiO_2 、 CaO 等难熔杂质，以细化其组织中的石墨晶体，从而提高铸铁的性能，即是一明显的例子。这种细化晶粒的方法称为“变质处理”。

3. 外力的影响 当液体金属进行结晶时，如果施加以压力、离心力、机械振动或超声波振动等，则可以破碎已形成

的晶体，这不仅能细化晶粒，而且使结晶过程加速，并使组织致密。如现代所用的压力铸造，振动浇注法和离心浇注法就是依据这一原理。

除了上述三个最重要的因素影响结晶过程之外，结晶还可能受其他因素的影响。如对普通碳钢铸件，沿其纵剖面进行研究，便会发现其组织有如左图所示的三层形状的晶粒：

细晶粒层 最外层由于冷却速度大，造成较大的过冷，产生极多的晶核，同时模壁杂质也可能成为核心，因此结晶成细晶粒层。

柱状晶粒层 随着表层的凝固，模壁温度升高，冷速减慢，晶核也减少；同时，由于热量是垂直于模壁向外传导，晶体随朝着与散热相反方向长大，成为柱状晶。

中心的等轴晶粒区 由于第二层的结晶，铸模温度提高，冷却速度更慢；另外铸件中心断面各方向散热几乎相同，所以当金属温度低于凝固温度时，便结晶成为等轴粗晶粒。

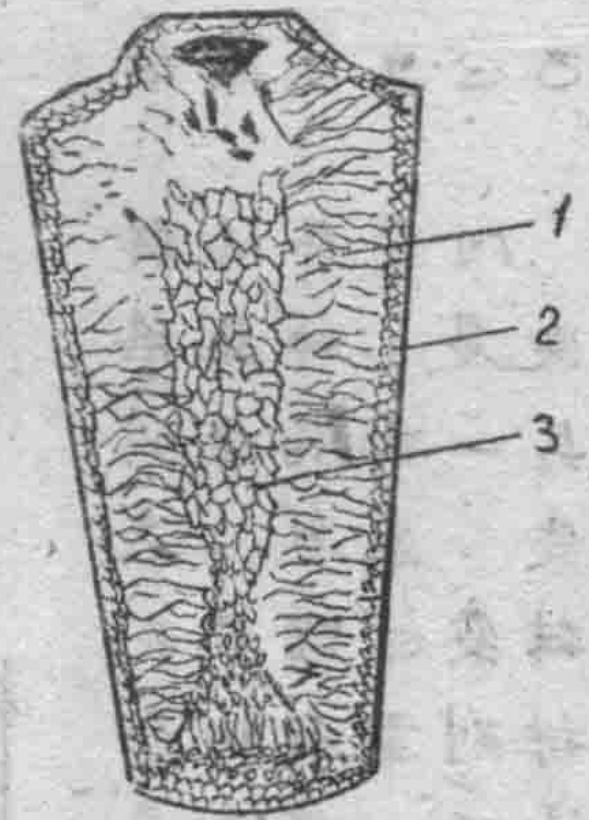


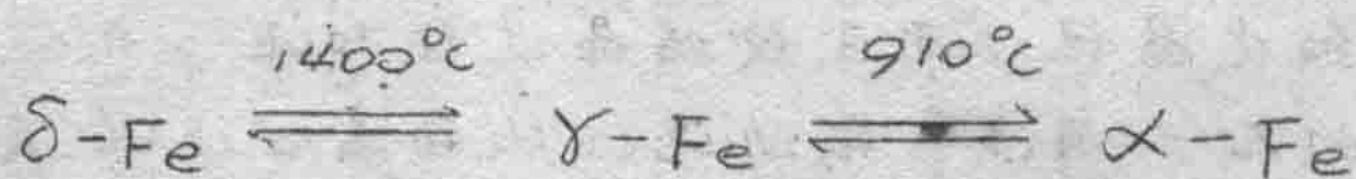
图 1-7 钢锭结构示意图

此外，在钢锭中还可能发生许多缺陷，常见的有：由于结晶时的收缩在最后凝固处所产生的缩孔，在缩孔附近的疏松（细小分散的微孔），以及在疏松附近的集中杂质等现象。由于钢中常存杂质，如S和P熔点较低，所以集中在最后凝固的地方，这种现象叫做“区域偏析”。

由于铸锭的组织是可能分成上述三层，特别是大铸锭这三层尤为显著。因此，大截面的铸件的机械性能就比细小的差。如强度低、韧性和塑性更差。

§ 1-3 金属在固态下的转变

大多数金属，在凝固之后其结晶组织是不再改变了。但是有些金属如Fe、Co、Mn、Sn等，其结晶组织还会在固体冷却过程中发生转变，这种固态中晶格转变称为“同素异构转变”。如铁在冷却过程中，有两次晶格改变，即：



它们的转变温度和结晶组织可用热分析方法及X光结构分析法测定之。其结果如表1——8所示。 $(\delta\text{-Fe})$ 和 $(\alpha\text{-Fe})$ 是体心立方晶格，而 $(\gamma\text{-Fe})$ 为面心立方晶格。

同素异构转变既是一种晶格向另一种晶格的转变，显然，这种转变过程是原子排列重新组合的过程。它也是结晶过程。在进行这一过程时也同样遵循着生核和核长大的基本规律，并且也有热效应产生。由于旧相的晶界上有杂质可能起核心作用，因此这种固态结晶过程通常总是在旧相的晶界处开始生核，然后成长。

我们可用表1——9示意各来描述这一结晶过程。

由于同素异构转变的结晶是在固态中进行的，因此，除了上述生核是在晶界开始的特点之外，还有下列两点与液体结晶相区别：

产生较大的组织应力；因为晶格改变，则晶格的密度也就

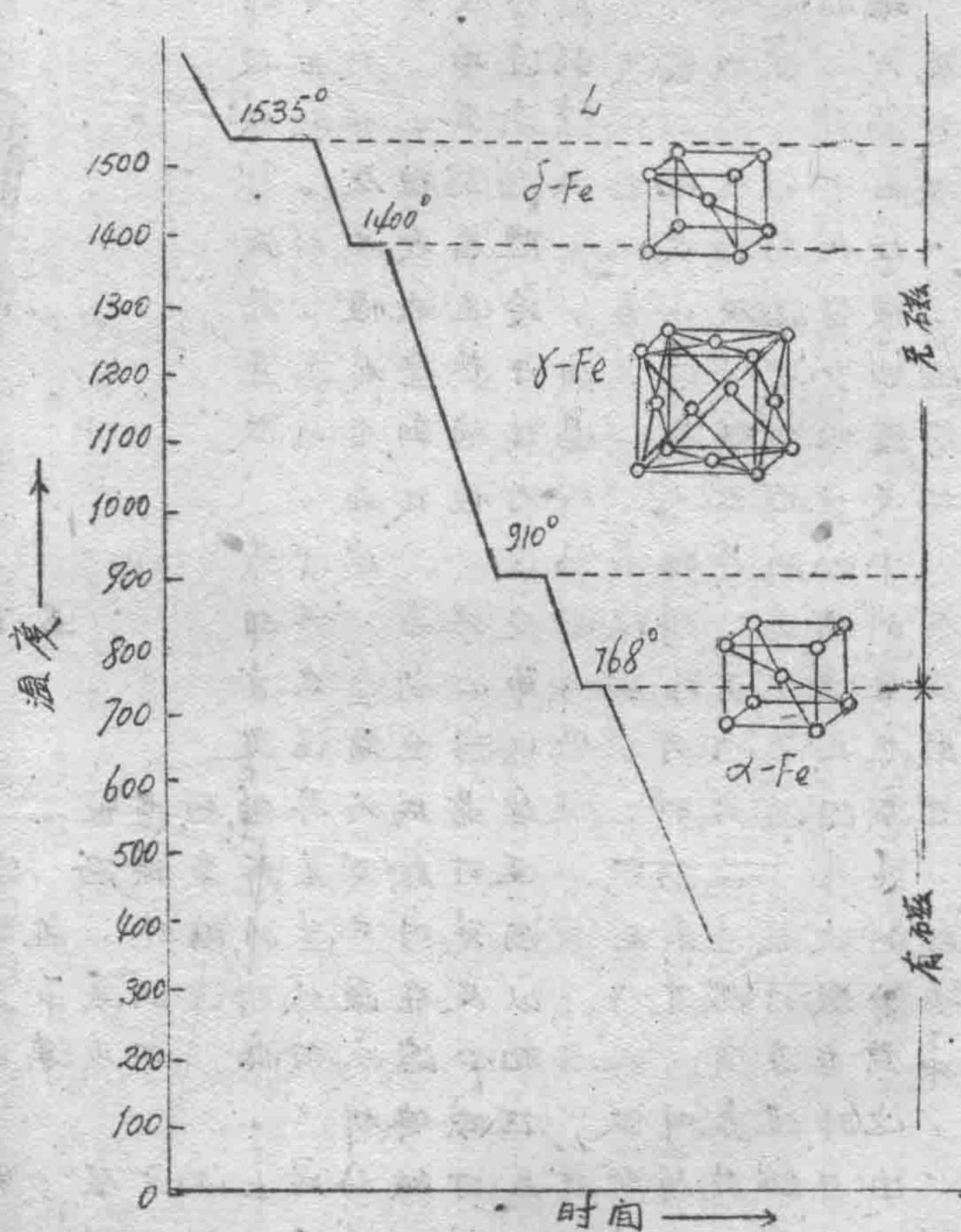


表1——8 纯铁的冷却曲线