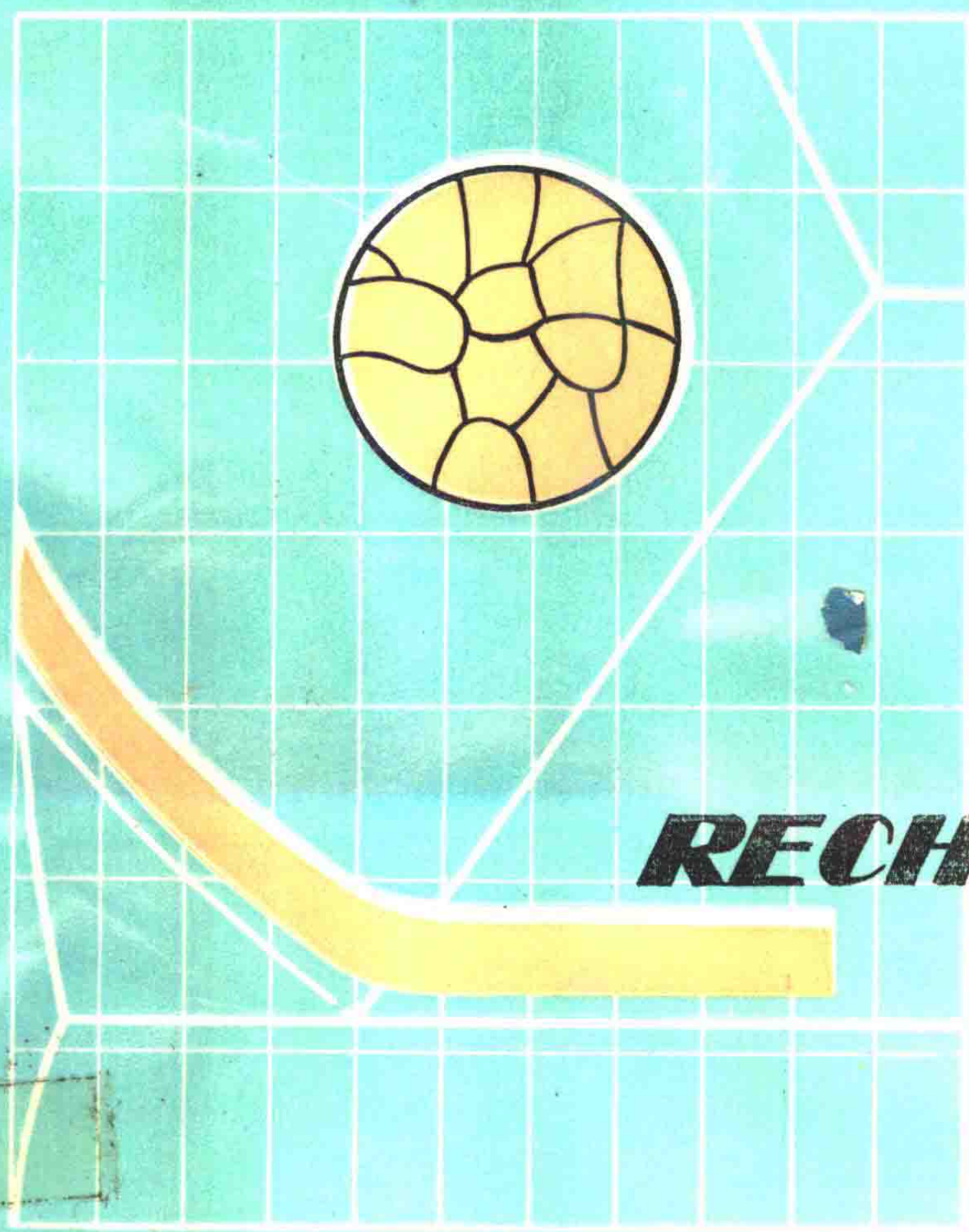


高等学校教学用书

金属材料及热处理

单丽云 王秉芳 朱守昌 主编



中国矿业大学出版社

高等学校教学用书

金属材料及热处理

单丽云 王秉芳 朱守昌 主编

中国矿业大学出版社

(苏)新登字第 010 号

内 容 简 介

本书共分七章,主要包括金属学基础、铁碳合金、钢的热处理基本原理和工艺方法、在机械设计和制造中常用的合金结构钢及其选用、除结构钢外的其它金属材料,鉴于非金属材料应用日益增多,对非金属材料的性能及应用也加以适当地介绍。在每章后均有思考题和习题。书后附有 9 个实用的资料附表,并备有与本书配套使用的实验指导书。

本书注意到新材料、新工艺的发展方向。内容简明扼要,理论联系实际,增强了有关实用知识部分,着重培养学生解决实际问题的能力,可作为高等院校机械专业和相近专业的教材,也可供有关工程技术人员和工人参考。

责任编辑 安乃隽

技术设计 马景山

高等学校教学用书

金属材料及热处理

单丽云 王秉芳 朱守昌 主编

中国矿业大学出版社出版

新华书店经销 中国矿业大学印刷厂印刷

开本 787×1092 毫米 1/16 印张 11.5 插页 1 字数 282 千字

1994 年 2 月第一版 1994 年 2 月第一次印刷

印数 1-5000 册

ISBN 7 - 81040 - 027 - 4

TG · 2

定价: 6.50 元

前 言

本教材是为机械专业和相近专业编写的,根据教学计划,学时数为 50~60。

在机械设计、制造和维修工作中,都离不开金属材料,为了能够正确合理地使用各种金属材料,必须对其性能、用途以及改变它们性能的工艺方法——热处理有所了解,这就是学习本课程的主要目的。

以往的教材多从金属材料热处理专业需要出发,着眼于理论的严密性和系统性,内容偏于繁多,冲淡了机制类专业需要的基本内容,所以学生学完此门课程后,在实际工作中不能很好的应用,碰到有关金属材料及热处理的问题,往往感到束手无策,甚至还会出现不应有的错误。我们认为,对于机械设计和制造类专业,在该课程学时不多的情况下,应大量删减有关金属理论方面的内容,增强有关实用知识部分,这就是编写本教材的指导思想。

全书共分七章,第一章金属学基础,简述金属和合金的组织结构、合金状态图及金属塑性变形行为;第二章铁碳合金及碳素钢的分类、性能及用途;第三章钢的热处理,主要讨论钢的组织转变规律以及如何利用这些规律使其性能向我们所需要的方向转变;第四、五章分别介绍机械制造中常用的合金结构钢和结构钢的选用,这是本教材重点讨论的部分;第六章介绍除碳素钢及合金结构钢以外的其它金属材料。鉴于非金属材料在机械制造中应用愈来愈多,在第七章中加以简要介绍。书后附有 9 个有实用意义的附表,以供参考。

本书在编写过程中力求内容简炼、重点突出、理论联系实际,同时又注意到新材料、新工艺的发展方向。本书可作为大专院校、职工大学、业余大学、函授大学机械专业和相近专业的教材,也可供有关工程技术人员参考。

本书由单丽云、王秉芳、朱守昌主编,由倪振尧教授主审,参加编写的有:中国矿业大学强颖怀(第一、二章)、王秉芳(第四章)、单丽云(第五章及附表)、张永馨(第六章)、徐金富(第七章)以及彭城大学倪宏昕(第三章)。

在编写过程中,得到倪振尧、李植两位教授及中国矿业大学热处理教研室老师和其他兄弟院校有关老师的大力帮助和支持,在此深表谢意。

恳切希望广大读者对本教材的内容编排以及书中的错误和欠妥之处提出宝贵的意见。

编 者

1993. 10

目 录

前言

第一章 金属学基础	(1)
第一节 金属的晶体结构.....	(1)
第二节 金属的结晶.....	(6)
第三节 金属的塑性变形与再结晶.....	(9)
第四节 合金的结构	(14)
第五节 合金相图	(16)
思考题与习题	(22)
第二章 铁碳合金	(24)
第一节 铁碳合金相图	(24)
第二节 碳钢	(31)
思考题与习题	(39)
第三章 钢的热处理	(40)
第一节 概述	(40)
第二节 钢的加热转变	(40)
第三节 钢在冷却时的转变	(43)
第四节 钢的退火与正火	(53)
第五节 钢的淬火	(57)
第六节 钢的回火	(69)
第七节 钢的表面淬火	(73)
第八节 钢的化学热处理	(75)
思考题与习题	(80)
第四章 合金结构钢	(83)
第一节 概述	(83)
第二节 合金结构钢的分类与编号	(83)
第三节 合金元素对钢的影响	(84)
第四节 工程构件用钢——低合金结构钢	(91)
第五节 机器零件用钢	(93)
第六节 合金结构钢(调质钢和渗碳钢)的热处理.....	(100)
思考题与习题.....	(101)
第五章 结构钢选用	(103)
第一节 力学性能与钢材选用.....	(103)
第二节 淬透性与钢材选用.....	(108)

第三节	工艺性能与钢材选用	(111)
第四节	钢材选用的经济性和灵活性	(112)
第五节	典型零件的钢材选择及热处理	(113)
	思考题与习题	(117)
第六章	其它金属材料	(119)
第一节	合金工具钢	(119)
第二节	硬质合金	(123)
第三节	特殊性能的钢及合金	(125)
第四节	铸铁	(129)
第五节	常用有色金属	(133)
	思考题与习题	(140)
第七章	非金属材料	(141)
第一节	高分子工程材料	(141)
第二节	陶瓷材料	(153)
第三节	复合材料	(157)
	思考题与习题	(159)
附录 1	硬度的换算与对照	(160)
附录 2	钢材回火温度与硬度对照表	(162)
附录 3	常用钢材不同截面淬火后的硬度值(HRC)	(163)
附录 4	常用结构钢截面尺寸对力学性能影响	(164)
附录 5	热处理方法代号及在蓝图上的表示方法	(169)
附录 6	钳工及木工工具热处理	(170)
附录 7	根据零件截面大小和对强度 σ_s 的要求选用钢材用表	(171)
附录 8	我国与其他国家常用钢号对照表	(173)
附录 9	金属材料相对比价表	(177)
参考文献		(178)

第一章 金属学基础

第一节 金属的晶体结构

在化学元素周期表中,约有四分之三的元素是金属,其余是非金属。工业上使用的金属材料大多数都是固体状态。所有固态金属都是晶体。

一、晶体与非晶体

晶体与非晶体的区别在于内部原子排列方式不同。晶体是指其原子呈规则排列的物质,而在非晶体内部,原子无规则散乱地分布着。

自然界绝大多数固态的无机物都是晶体,例如我们熟悉的雪花、食盐、单晶硅等。只有玻璃、松香、沥青、橡胶、炼钢炉渣等少数物质是非晶体。

由于晶体与非晶体内部结构不同,其性能也不相同。

晶体具有一定的熔点,如纯铁熔点为 1538°C ,冰的熔点为 0°C ,而非晶体则没有固定的熔化温度,是在一个温度范围内熔化。同时,金属晶体具有“各向异性”特性,即晶体内各个方向上具有不同的物理、化学或力学性能。这种现象又叫晶体的“有向性”。如铁单晶体的弹性模量 E ,在某个方向上是 290000MPa ,而在另一个方向上只有 135000MPa 。非晶体则是各向同性的。

二、常见金属的晶体结构

各种晶体物质的内部原子按一定规律在空间有规则地紧密堆积在一起,如图 1-1a 所示。为了便于分析各种晶体中原子排列的规律,用假想的几何线条将各原子的中心连接起来,使之构成一个空间格子。这种用以描述原子在晶体中排列形式的空间格子叫做“晶格”,如图 1-1b 所示。同种物质由于排列方式的不同,即晶格不同,其性能有很大差异。例如十分

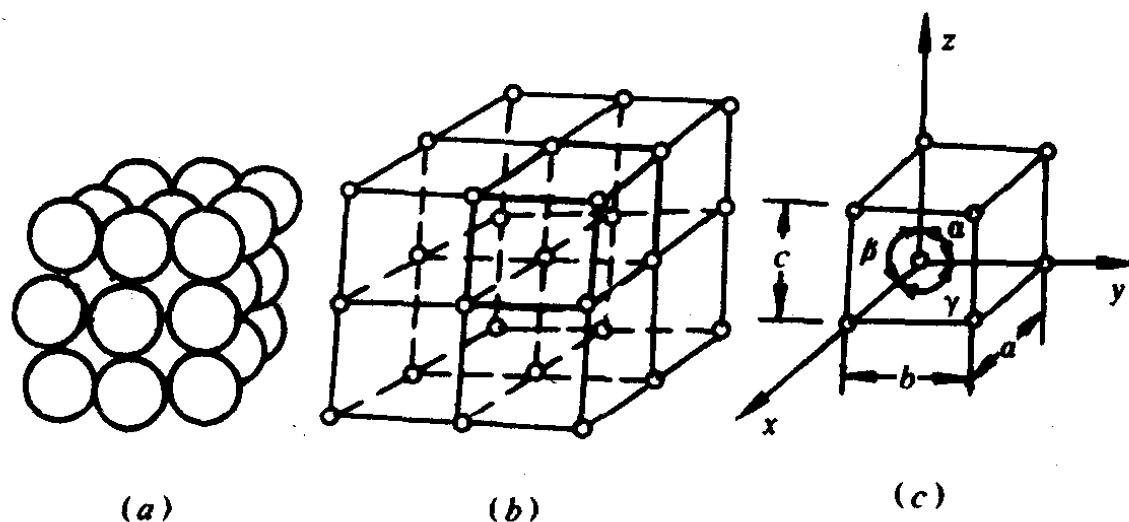


图 1-1 晶体及晶格示意图
a—晶体中原子排列;b—晶格;c—晶胞

坚硬的金刚石和很软的石墨,都是由碳原子组成的,仅仅是晶体结构不同。

用晶格来描述晶体结构是很不方便的。为了简便起见,通常是取晶格中一个能完全代表晶格的最基本单元即“晶胞”来描述晶体结构,如图 1-1c 所示。晶胞的各边尺寸(a, b, c)称为“晶格常数”。其大小以埃($\text{\AA}$)来度量($1 \text{ 埃} = 10^{-8}$ 厘米)。

金属的晶体结构类型很多,其中最常见有体心立方晶格、面心立方晶格及密排六方晶格。

1. 体心立方晶格

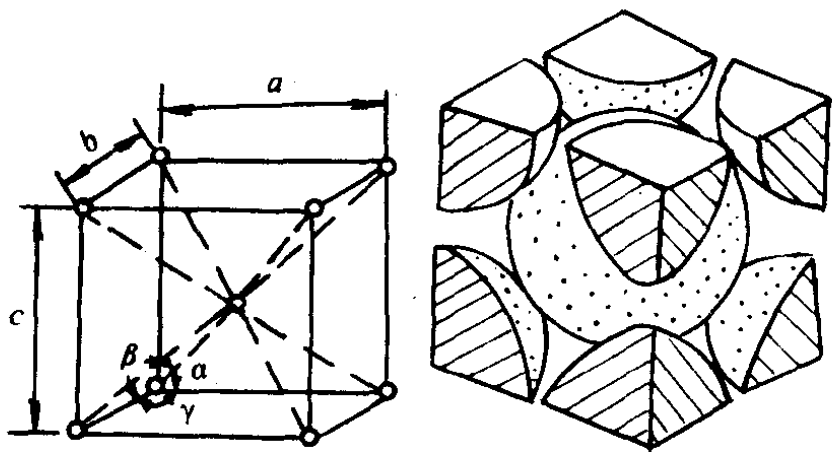


图 1-2 体心立方晶胞

体心立方晶格的晶胞(见图 1-2)是一个立方体,因其晶格常数 $a=b=c$,故通常只用一个常数 a 来表示。其晶胞棱边的夹角 $\alpha=\beta=\gamma=90^\circ$ 。在立方体的每个顶角上都有一个原子,共有八个。但在顶角上的原子为相邻的八个晶胞所共有,故每个晶胞只占 $1/8$,只有立方体中心的那个原子才完全属于该晶胞所独有,所以实际上每个体心立方晶胞所包含的原子数为: $8 \times \frac{1}{8} + 1 = 2$ (个)。

具有体心立方晶格的金属有铁($<912^\circ\text{C}$, $\alpha\text{-Fe}$)、铬(Cr)、钨(W)、钼(Mo)、钒(V)等。

2. 面心立方晶格

面心立方晶格的晶胞也是一个立方体,如图 1-3 所示。在面心立方晶格的晶胞中,八个顶角上各有一个原子,这个原子同时属于相邻的八个晶胞,在立方体每个面的中心还各有一个原子,这个原子也同时属于与该面相邻的两个晶胞,因此在面心立方晶格的晶胞中包含的原子数为: $8 \times \frac{1}{8} + 6 \times \frac{1}{2} = 4$ 个。

具有面心立方晶格的金属有 $912^\circ\text{C} \sim 1394^\circ\text{C}$ 之间的纯铁(称为 $\gamma\text{-Fe}$)、铜(Cu)、铝(Al)、银(Ag)、镍(Ni)、铅(Pb)等。

3. 密排六方晶格

密排六方晶格的晶胞形状如图 1-4 所示。用 a, c 两个晶格常数表示。 a 是六方底面的边长, c 是两底面间的高度。只有当 $c/a = 1.633$ 时,晶格内的原子才是真正密集地排列。通常的密排六方晶格的金属 c/a 之值在 $1.57 \sim 1.64$ 之间,个别如锌、镉等稍大。

在密排六方晶格的一个晶胞中,每个顶角上的原子同时属于相邻的六个晶胞,上下两个六方面中心的原子同时属于相邻的两个晶

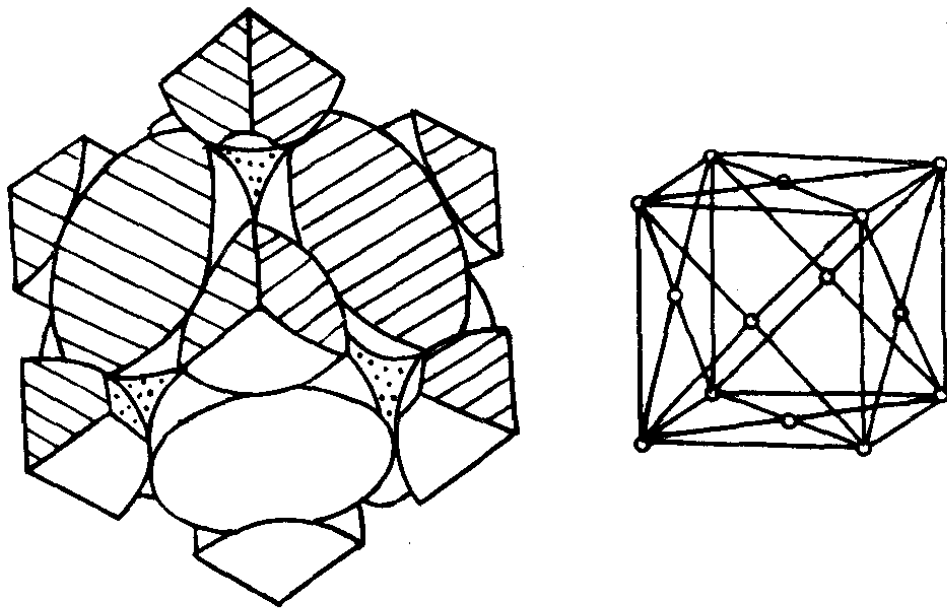


图 1-3 面心立方晶胞

胞,而在两个六方面之间的三个原子为该晶胞所独有。因此,在一个密排六方晶格的晶胞中所含的原子数为: $6 \times \frac{1}{6} \times 2 + 2 \times \frac{1}{2} + 3 = 6$ 个。具有密排六方晶格的金属有:镁(Mg)、锌(Zn)、铍(Be)、镉(Cd)及室温下的钛(Ti)等。

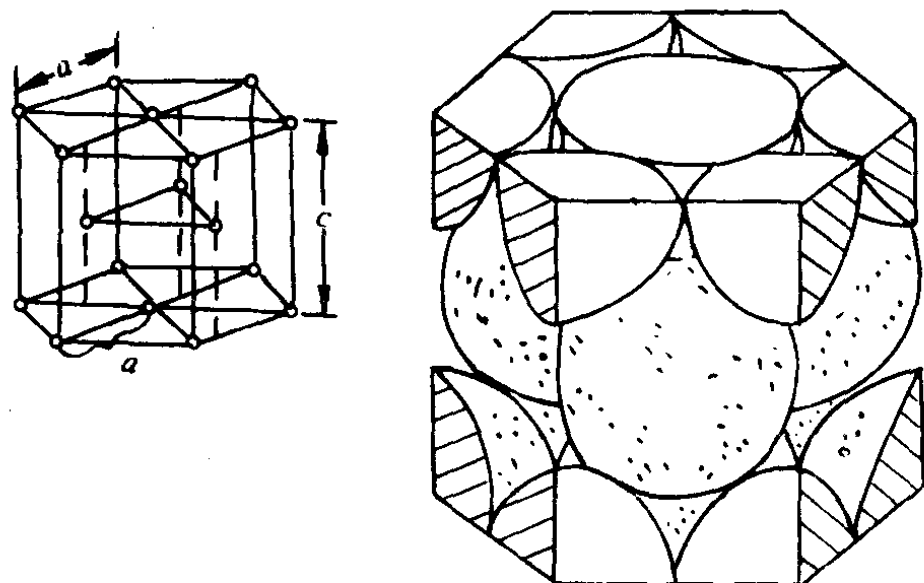


图 1-4 密排六方晶胞

三、金属的同素异构转变

固态下的某些金属,如铁(Fe)、钴(Co)、钛(Ti)、锰(Mn)、锡(Sn)等在不同温度(或压力)时,具有不同的晶体结构。金属的这种性质,称为同素异构现象。当外界条件变化时,金属从一种晶体结构转变为另一种晶体结构的过程,称为同素异构转变。由同素异构转变所得到的不同晶格类型的晶体,称为同素异构体。

纯铁在固态下发生两次同素异构转变,形成三种同素异构体。纯铁的冷却曲线及晶体结构变化如图 1-5 所示。温度在 912℃以下时,具有体心立方晶格,称为 α -Fe;在 912℃至 1394℃之间时,具有面心立方晶格,称为 γ -Fe;1394℃以上时,又转变为体心立方晶格,称为 δ -Fe。发生同素异构转变的温度(铁在 912℃、1394℃)叫做临界点。

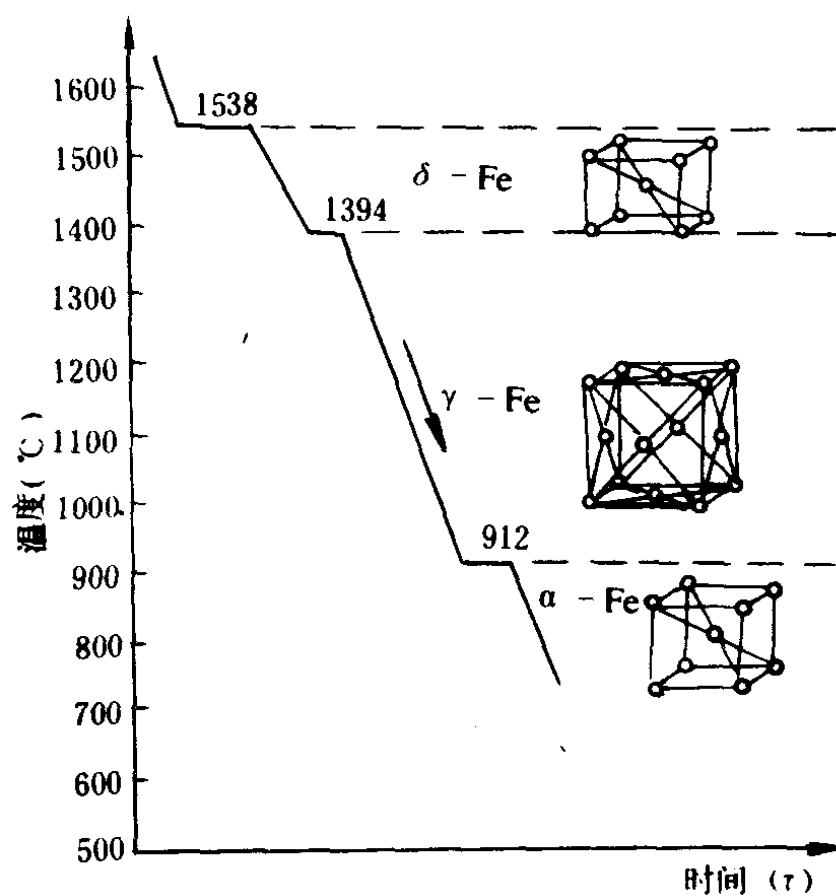


图 1-5 纯铁的冷却曲线及晶体结构

钢的成分中绝大多数是铁,含碳很少,所以钢也存在同素异构转变,这种转变极为重要,它是钢能进行热处理的基础。

四、实际金属的晶体结构

1. 单晶体与多晶体

晶体中原子排列规律相同,晶格位向一致的晶体,称为单晶体。单晶体金属很少作为结构材料,工程上使用的金属材料,几乎都是多晶体。

将一块纯铁制成金相试样,放在显微镜下观察,可以看到如图 1-6 所示的结构,即纯铁是由许多外形不规则的小晶体组成的。这些小晶体称为晶粒。在晶粒内部,晶格位向基本一致,相邻晶粒的位向存在一定的差异,晶粒与晶粒之间的界面称为晶界,它是不同位向晶粒

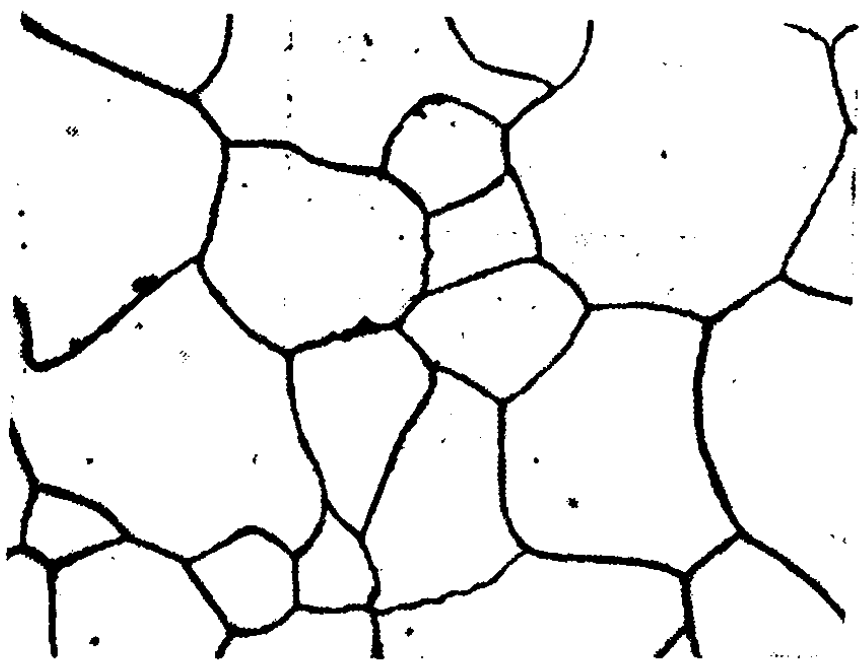


图 1-6 纯 Fe 内部结构示意图

之间的过渡区。实际金属就是由许多位向不同的晶粒所组成的,故称为多晶体。

2. 实际金属中的晶体缺陷

在晶体中,晶格的每一个结点上都有一个原子,其它间隙处都没有原子,原子排列规则整齐,这种晶体称为理想晶体。然而,在实际晶体中,由于原子热振动、杂质原子的渗入以及其他外界因素的影响,原子排列并非那样完整无缺,而是存在着各种各样的偏离规则排列的不完整区域。通常称这些不完整区域为晶体缺陷。晶体缺陷对金属的性能会产生很大的影响。

按照晶体缺陷的几何特征,可把它们分为三类,即点缺陷、线缺陷和面缺陷。

(1) 点缺陷

常见的点缺陷的形式有:晶格空位、间隙原子和异类原子,如图 1-7 所示。

A. 晶格空位及间隙原子

这种缺陷是由于原子的热运动引起的,在晶体中原子以平衡位置(即结点)为中心,以高的频率振动着,温度越高,原子的平均振动能量越高。其中一些原子的动能高于平均值,而另一些原子的动能则低于平均值,这种现象叫能量起伏。因此,在某一瞬间,当某一原子具有足够大的能量时其振幅增大,它就能克服周围原子对它的牵制作用,脱离平衡位置,这就使结构中出现了空结点,即空位。离位原子大都跑到晶体表面和其它晶体缺陷处,在特殊情况下少数离位原子也可能跑到晶格的间隙位置形成“间隙原子”。

形成空位后,其周围的原子便靠拢,而处于间隙原子周围的晶格便会发生撑开现象。这种使正常晶格发生扭曲的现象称为晶格畸变。晶格畸变会改变金属的物理、化学和力学性能。

B. 异类原子

异类原子是指杂质原子或合金元素的原子。异类原子占据金属结点时称为置换原子。当异类原子直径很小时,常存在于晶格间隙中,这也称为间隙原子。与前面所说的间隙原子比较,前者是同类原子,性质相同,尺寸相当,它使间隙周围的晶格发生严重畸变,它的产生和扩散均较困难。而后者是异类原子、性质不同,尺寸相差悬殊,只使晶格局部产生畸变,容易产生也容易扩散。置换原子由于其直径与

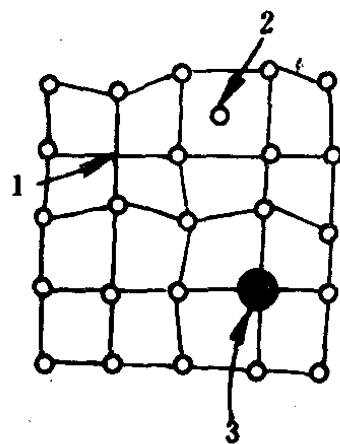


图 1-7 点缺陷示意图

1—晶格空位;2—间隙原子;3—异类原子

原来金属的原子不可能完全相同,其周围也发生晶格畸变。

在晶体中,空位和间隙原子不断地运动换位。如果间隙原子与空位相遇就会使这对点缺陷消失。这些缺陷的运动,在金属的扩散等过程中起着极为重要的作用。

(2) 线缺陷

线缺陷是指某一方向尺寸较大,另外两个方向尺寸很小的晶体缺陷,其具体形式就是位错。所谓位错,是指晶体中某处有一列或若干列原子发生了有规律错排的现象。

位错分两种基本类型:刃型位错和螺型位错,如图 1-8 所示。

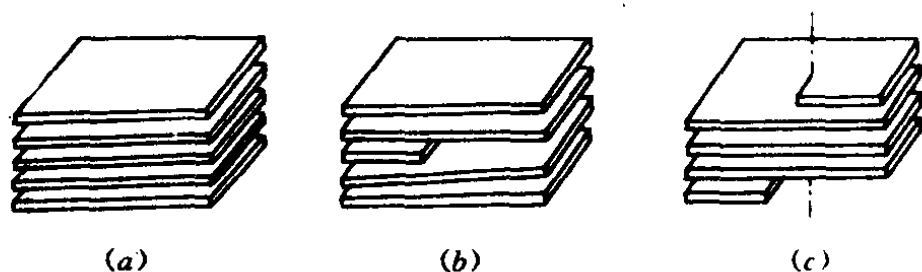


图 1-8 晶体中的位错示意图

a—完整晶体;b—含有刃型位错的晶体;

c—含有螺型位错的晶体

A. 刃型位错

如图 1-9 所示,可想像为晶体的上半部发生了局部滑动,右边原子向左移动了一个原子间距。在已滑动区与未滑动区之间出现了一个多余的半原子面,象一片刀切入晶体,中止在内部。沿着半原子面的刃边,晶格发生了很大畸变,这就是一根刃型位错。刃型位错周围存在着弹性畸变。在多余的半原子面一边,原子受压;而在缺少半原子面的一边,原子受拉。离位错线越远,畸变越小。

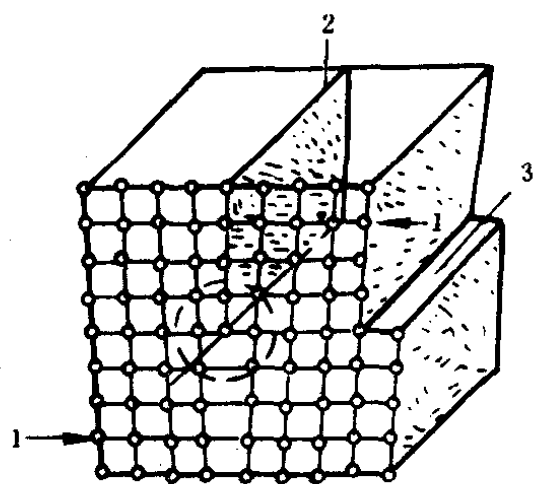


图 1-9 刃型位错示意图

1—力;2—多余半原子面;3—滑动面

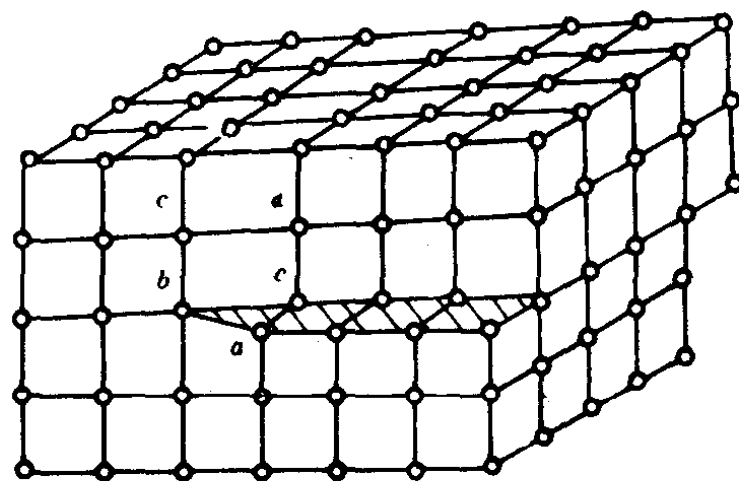


图 1-10 螺型位错示意图

B. 螺型位错

如图 1-8c 所示,螺型位错中并没有原子面中断在晶体内部,而是原子面沿着一根轴线(近似地和原子面垂直)螺旋上升,每绕轴线一周,原子面上升一个晶面间距。又如图 1-10 所示,可想像为晶体的上半部分发生了局部滑移,右边是已滑移区,原子向后移动了一个原子间距,左边是未滑移区。在已滑移区与未滑移区之间有一个很窄的过渡区,在这里晶格发生畸变,使原子平面变成一串螺旋面(见图 1-8c),在螺旋面的轴心部分晶格畸变最大,这里就是一根螺型位错。

晶体中位错的数量用位错密度来表示,即单位面积中位错线的根数。在退火金属中,位错密度一般是 $10^4 \sim 10^6$ 根/ cm^2 ,在淬火或冷变形加工的金属中,位错密度增大,可达 10^{12} 根/ cm^2 ,这是金属强化的一个重要因素。

位错是对金属性能影响很大的一种晶体缺陷,在金属的塑性变形、液态金属的结晶、固

态金属的相变及扩散过程中均起着极其重要的作用。

(3) 面缺陷

面缺陷是指在两个方向上尺寸较大,在第三个方向上尺寸很小,呈面状分布的晶体缺陷。面缺陷主要包括晶界和亚晶界。

A. 晶界

多晶体金属是由很多晶粒组成的,晶界则是不同位向晶粒之间的过渡区。晶界上的原子受相邻晶粒的影响处于折衷位置,原子排列不规则,如图 1-11 所示。

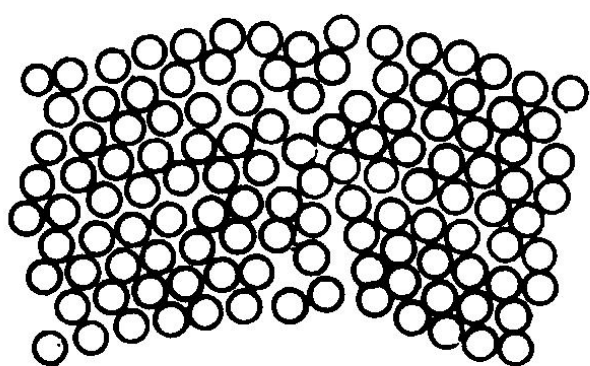


图 1-11 晶界结构示意图

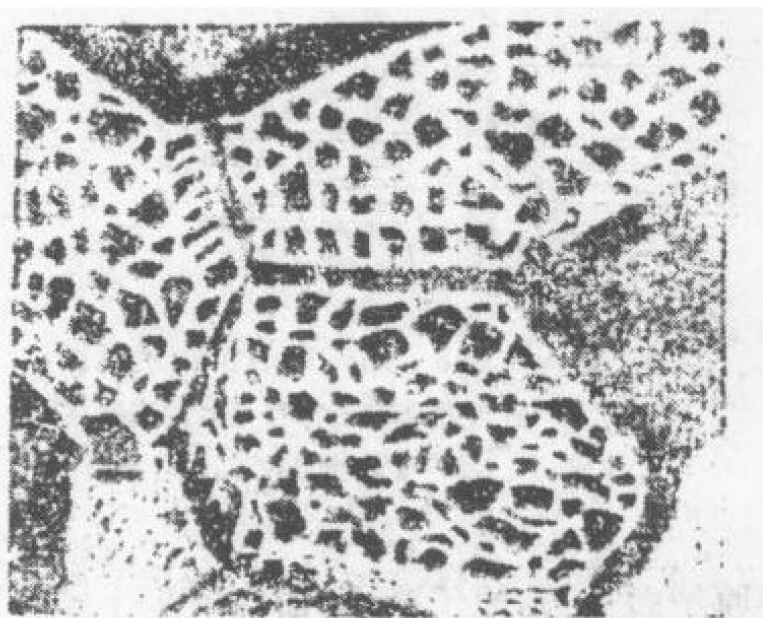


图 1-12 金-镍合金中的亚晶

晶界是晶体中一种重要的缺陷。由于晶界上的原子排列不规则,脱离平衡位置,所以晶界具有很高的能量,因而也就具有一系列不同于晶粒内部的特性。例如,晶界比晶粒容易被腐蚀;熔点较低;原子沿晶界扩散速度快;在常温下晶界对金属的塑性变形起阻碍作用。因此,金属材料晶粒越细,则晶界越多,其室温强度越高。

B. 亚晶界

除晶界外,在高倍显微镜下观察晶粒时,可以发现晶粒是由一些小晶块所组成的,这些小晶块称为“亚晶”,如图 1-12 所示。它们的尺寸一般为 $10^{-5} \sim 10^{-3} \text{cm}$,亚晶之间的界面称为“亚晶界”。亚晶界实际上由一系列的位错所组成。亚晶界上原子排列也不规则,具有较高的能量,与晶界有相似的特性,故细化亚晶亦可显著提高金属的强度。

第二节 金属的结晶

物质由液态转变为固态的过程称为凝固。如果凝固后的固态物质是晶体,这种凝固过程称为结晶。

金属材料一般都要经过冶炼和铸造过程,也就是说要经过由液态转变为固态的结晶过程。液态金属结晶后的组织称为铸态组织。铸态组织对金属的工艺性能和使用性能都有很大的影响。而铸态组织的好坏又与结晶过程有密切的关系。因此,研究金属结晶的规律和影响结晶的因素,对改善金属组织,提高金属性能具有十分重要的意义。

一、金属结晶的基本规律

把金属置于坩埚内加热成均匀液体,而后使其缓慢冷却。在冷却过程中,每隔一定时间

测定一次温度,直至结晶完毕,冷却到室温。将温度随时间变化的关系绘制成曲线,称为冷却曲线,如图 1-13 所示。

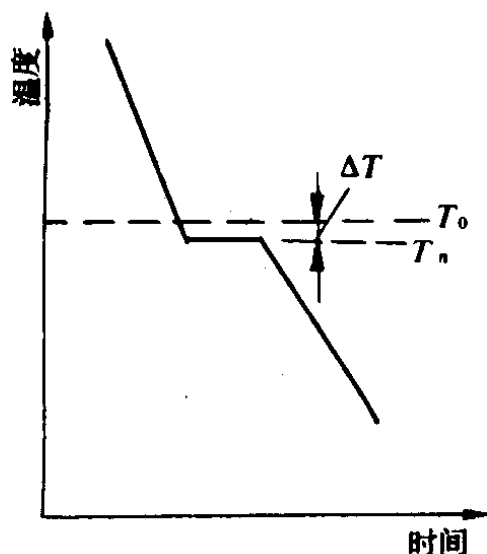


图 1-13 纯金属的冷却曲线

1. 过冷现象

从理论上讲,金属的熔化和结晶应在同一温度下进行,这个温度叫平衡结晶温度(T_0)。在此温度下,液体中原子结晶到晶体上的速度与晶体上的原子熔入液体中的速度相等,此时既不结晶也不熔化,晶体与液体处于平衡状态。只有冷却到平衡结晶温度以下某一温度 T_n 时才能有效地进行结晶。实际结晶温度低于理论结晶温度的现象称为过冷,二者之差称为过冷度,用 ΔT 表示。

实际金属总是在过冷条件下结晶的,过冷是金属结晶的必要条件。

2. 结晶的一般过程

大量的实验证明,结晶时,首先在液体金属中形成具有一定尺寸的原子集团,即小晶体。以这些小晶体为结晶核心,吸收液体中的金属原子而逐渐长大。与此同时,在液体中又不断地产生新的结晶核心,并逐渐长大。如此不断发展,直到各晶体相互接触,液体完全消失。这些作为结晶核心的小晶体,简称晶核。一个个晶核长大为一个晶粒。因此,结晶过程就是形核与长大的过程。由于晶核位向不同,所以各晶粒的位向也不相同,这样就结晶成一块多晶体金属。图 1-14 为纯金属结晶过程示意图。

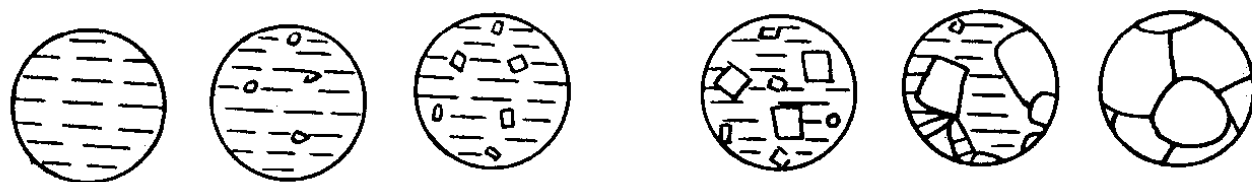


图 1-14 纯金属结晶过程示意图

二、晶核的形成与长大

前已述及,结晶的过程就是晶核形成与长大的过程。那么结晶时晶核是怎样形成的,又是怎样长大的呢?下面就来讨论这个问题。

1. 晶核的形成

液态金属的原子基本上也是围绕平衡位置振动,只是在液态金属中原子热运动很激烈,原子频繁地从一个平衡位置转移到另一个平衡位置。因此,液态金属中原子的规则排列只限于许多微小的体积内,即存在许多大小不等、呈规则排列的原子小集团,此称“近程有序”结构。在理论结晶温度以上,原子小集团极不稳定,不能成为结晶核心。而在过冷条件下,某些大于一定尺寸的原子小集团,可以稳定下来成为结晶的核心。

2. 晶核的长大

晶核形成后,即开始长大。晶核长大实质上是液体中的金属原子向晶核表面迁移的过程。

晶体的长大,主要决定于过冷度。冷却速度很小时,过冷度则很小,此时晶粒在长大过程中保持规则外形。当晶粒长大到相互接触时,规则的外形才破坏。冷却速度大,则过冷度大,

晶体就呈树枝状长大。因为当过冷度较大时,晶体的长大主要受结晶前沿液态金属的热分布条件所控制。晶核在长大初期虽然可以有规则外形,但在此规则外形的棱角处具有最好的散热条件,使结晶潜热能迅速逸去;同时由于棱角处缺陷多,促进晶体长大,杂质少,杂质的阻碍作用小,所以得到了最有利的生长条件而优先长大,形成树枝的树干。与此同时又有树枝在树干的棱角处形成并长大。这样连续不断地成长,便形成了一个树枝状晶体骨架,简称枝晶,如图 1-15 所示。

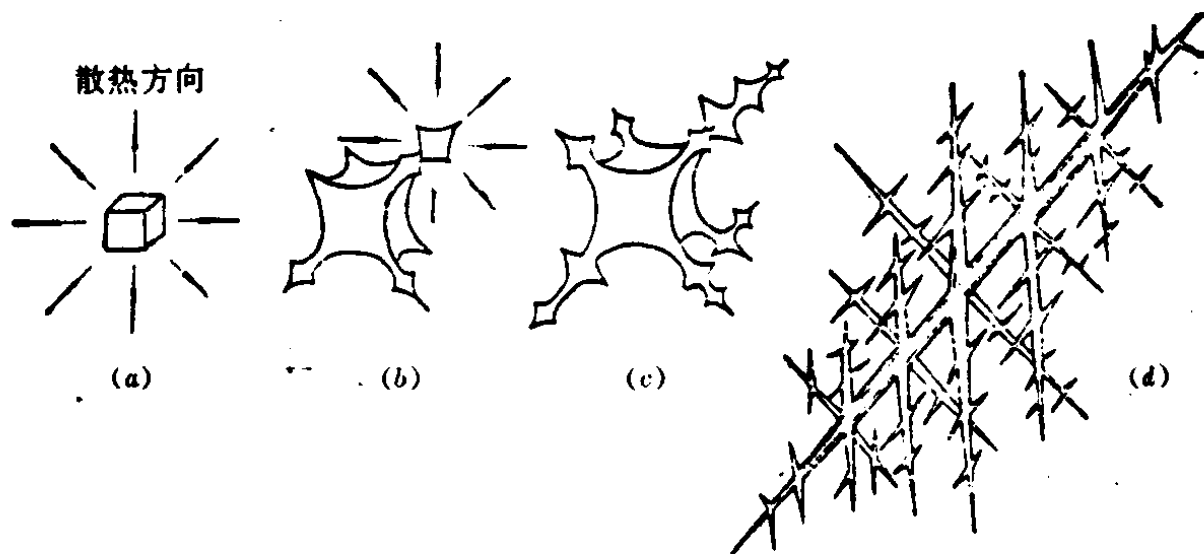


图 1-15 枝晶生长示意图

三、金属结晶后的晶粒大小

因为细晶粒金属晶界多,在晶界处晶格扭曲畸变,提高了抵抗塑性变形的能力,使强度、硬度提高。同时,由于细晶粒金属晶粒数目多,变形可均匀分布在许多晶粒上,因此细晶粒金属不仅强度、硬度高,而且塑性和韧性也好。通常都希望金属材料的晶粒越细越好。

每个晶粒都是在结晶时由晶核长成的,晶粒的大小决定于成核速率 N (成核数目/厘米³·秒)和生长速率 G (厘米/秒)。

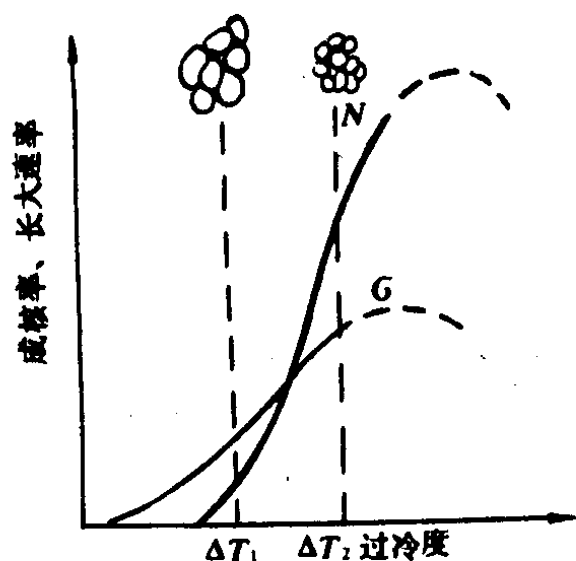


图 1-16 成核率 N 及长大速率 G 与过冷度的关系

如图 1-16 所示,成核速率 N 越大,生长速率 G 越小,则晶粒越细。在过冷度不大的情况下,成核速率 N 与生长速率 G 都随着过冷度的增加而增加。但是两者增长速度不同,成核率增长要快些,所以随着冷却速度的增加,过冷度增加,铸态金属的晶粒应该变细。但是,对壁厚稍大的铸件,只有靠近铸型表面的一个薄层可以靠加速冷却使晶粒细化。当过冷度特别大时,成核速率与生长速率反而会下降,这是因为温度太低时原子扩散能力降低,从而限制了结晶速度。对于金属及合金来说,达不到那样大的过冷度,只有某些盐类结晶过程中才有这样的规律。但是,对于后面要讲的金属及合金的固态相变来说,这一规律是完全适用的。

凡能促进形核,抑制长大的因素都能细化晶粒。工业生产中细化晶粒的方法很多,其中变质处理是一种广泛采用的有效方法。变质处理就是在浇注时向液态金属中加入一定的变质剂以形成大量

的非自发核心,均匀分布在液体各处,使铸件得到均匀细化的晶粒。

此外,在金属结晶时给予机械振动或通以超声波,或在结晶时液体金属与晶体作相对运动(如离心铸造)也能促使晶核形成而细化晶粒。

四、铸锭组织

工业生产中金属的结晶都是以树枝晶状方式长大的。在铸锭和厚大铸件的缩孔中经常可以看见未完全填满的树枝状晶。这是由于结晶时液态金属的体积收缩后,没有充分的液态金属去补充,使树枝晶轴间的体积不能被晶体填满,而留下了空隙,保留了树枝晶的形态。如果将一个金属铸锭沿纵向及横向剖开并加以浸蚀后,可观察到如图 1-17 所示的形貌。在铸锭剖面上存在着具有不同特征的三层。

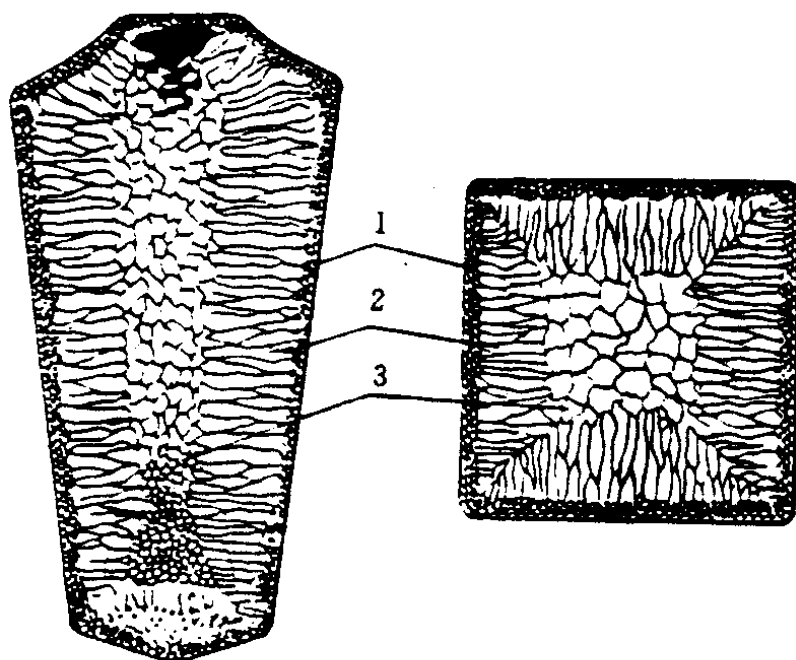


图 1-17 铸锭组织示意图

1—表面细晶粒层;2—柱状晶粒层;3—等轴晶粒层

表面细晶粒层 这是由于液体金属刚刚注入锭模时,模壁温度较低,表面层的金属液体遭到了剧烈冷却,在较大过冷度下结晶,得到了等轴细晶粒组织。

中间柱状晶粒层 在表面细晶粒层形成后,把液体金属与锭模分开,这时锭模温度已经升高,散热减慢,而且散热出现了方向性,在垂直模壁的方向散热最快,并且此方向上存在内高外低的温度梯度。已凝固层沿此方向生长,形成了柱状晶粒层。

中心等轴晶粒层 结晶进行到接近铸锭中心时,液相内部内外温差小,锭模已成为一个高温外壳,加上结晶潜热放出,使液体散热减慢,内部温度趋于均匀,同时进入过冷状态,使铸锭中心部分形成了等轴的粗晶粒层。

表面细晶粒层,比较致密,力学性能好,但这一层往往很薄,只对某些薄壁铸件的性能起一定作用。柱状晶粒区,在两排相对生长的柱状晶粒相遇的结合面上存在着脆弱区。在此区常有低熔点杂质和非金属夹杂物聚集,锻压轧制时容易沿结合面裂开。

第三节 金属的塑性变形与再结晶

一、金属的塑性变形

金属受力变形,可分为弹性变形和塑性变形。弹性变形在原子引力范围内,外力去除后变形可完全消失并恢复原状。变形量与外力成正比关系即服从虎克定律。若外力超过一定限度,变形量不再与外力成正比关系,外力去除后不能完全恢复到原来形状,产生了一定量的残余变形,即永久变形,此称塑性变形。

图 1-18 为低碳钢的拉伸曲线。由该曲线可以看出,在弹性极限 σ_e 以下加载,钢材产生弹性变形;但当应力超过 σ_s (屈服强度)后,则会产生明显的塑性变形。若把已经经受过塑性变形的钢材重新加载进行拉伸,变形抗力会增加,即出现了强化现象,该现象称为加工硬化或形变强化。

金属之所以会产生加工硬化现象,是由于塑性变形的结果。为了便于了解实际金属多晶体的塑性变形过程,我们先来分析一下金属单晶体是怎样发生塑性变形的。

金属单晶体的塑性变形在大多数情况下是以滑移方式进行的,所谓滑移即晶体的一部分相对于另一部分沿一定的晶面(称为滑移面)发生了相对滑动。如图 1-19a 所示,当对单晶体试样进行拉伸时,外力(P)将在晶内一定的晶面上分解为两种应力,一种是平行于该晶面的切应力(τ),另一种是垂直于该晶面的正应力(σ)。正应力只能引起晶格的弹性伸长,或进一步把晶体拉断;而切应力则可使晶格在发生弹性扭曲之后,进一步造成滑移(图 1-19b)。通过大量晶面的滑移,最终使试样被拉长变细,同时晶粒内滑移面发生转动和扭曲(图 1-19c, d),使得滑移面上的原子由规则排列变为局部不规则排列。要继续滑移则需要更大的外力,这就是加工硬化的原因。

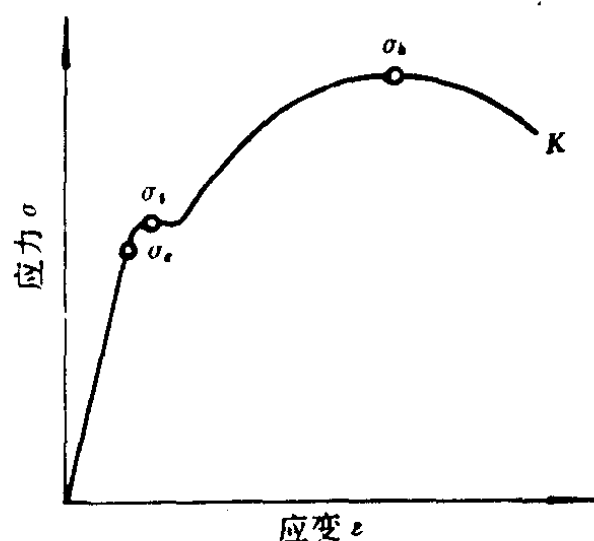


图 1-18 低碳钢的拉伸曲线

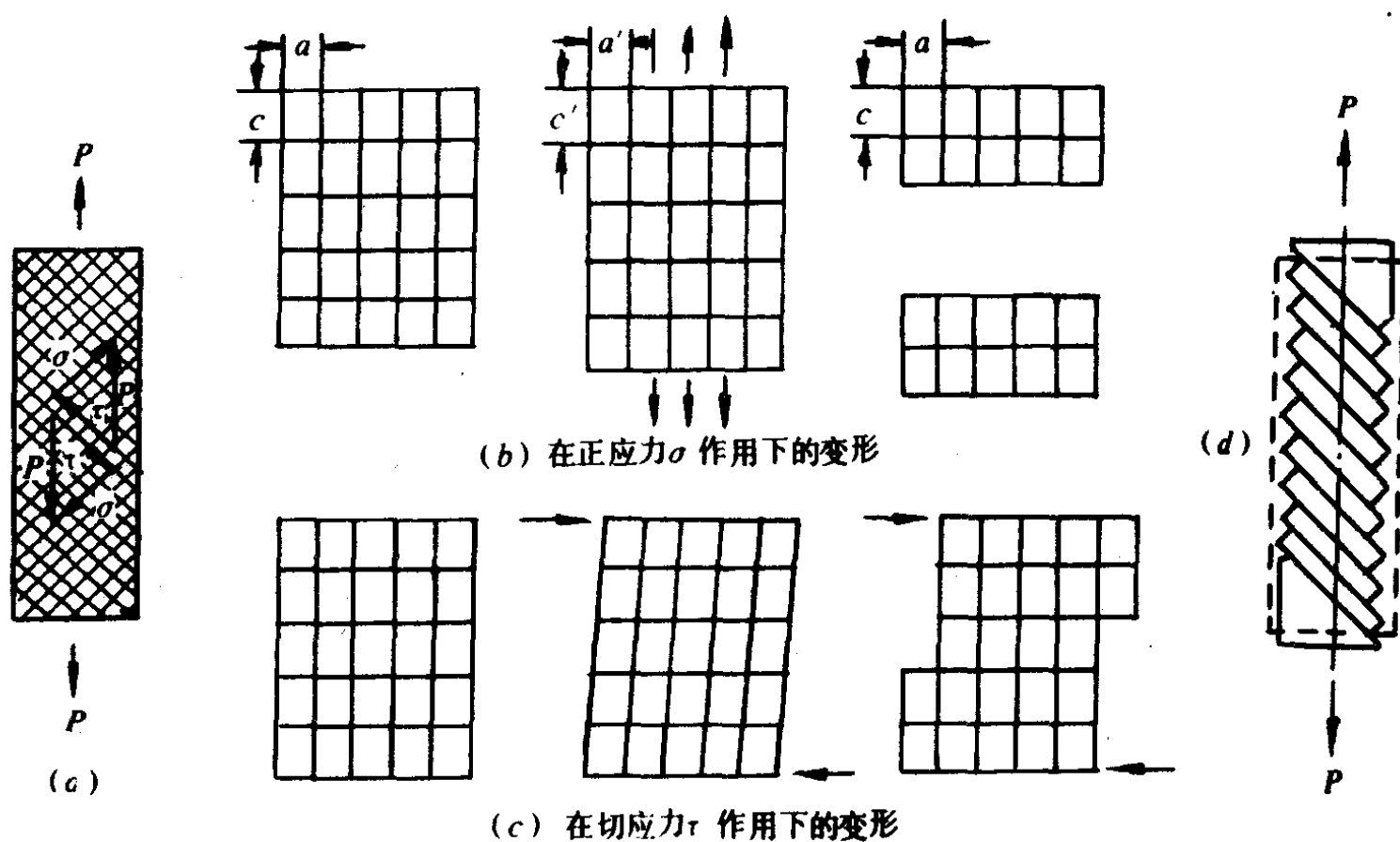


图 1-19 单晶体试样拉伸变形示意图

在多晶体金属中,由于每个晶粒所处的位向不同,金属的塑性变形将会在不同的晶粒中逐批发生,是一个不均匀的塑性变形过程。图 1-20 中,用 A、B、C 示意地表示出了不同位向晶粒的分批滑移次序。

二、塑性变形对金属组织和性能的影响

经过塑性变形的金属,不但外形尺寸发生了变化,其内部的晶粒形状也会发生相应的改变,即随着金属外形的压扁或拉长,其内部晶粒的形状也会被压扁或拉长,一般大致与金属外形的改变成比例,如图 1-21 所示。当形变量很大时,各晶粒将会被拉长成细条状或纤维状,同时,金属中的夹杂物也被拉长或沿拉长的晶界分布,晶界变得模糊不清,如图 1-21c 所

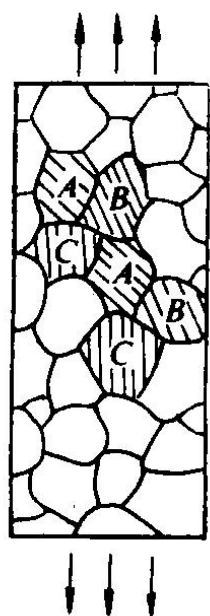


图 1-20 多晶体金属不均匀塑性变形示意图

示。此时,金属的性能也将会具有明显的方向性,如纵向的强度和塑性远大于横向的等。这种组织叫做“纤维组织”。

加工硬化使金属强度、硬度增加而塑性、韧性降低,如图 1-22 所示。由于冷塑性变形后晶粒扭曲、细化,显微裂纹增多,从而给继续塑性变形造成困难。

加工硬化不仅影响力学性能,而且对物理、化学性能也有影响,如钢冷塑性变形后的电阻增大及耐腐蚀性下降等。

三、加工硬化的意义

加工硬化在生产上具有很大的实际意义,它不仅可以防止零件在使用过程中偶然过载,保证零件安全,而且又是一种强化金属的方法。

利用加工硬化可使金属材料强度显著提高,例如 Ni—Cr 不锈钢加工硬化后, σ_b 可提高一倍, σ_s 可提高数倍;高锰耐磨钢受冲击塑性变形后,硬度可提高 2~3 倍,耐磨性大大提高;钢丝冷拔后具有了高强度,可用来制造弹簧。

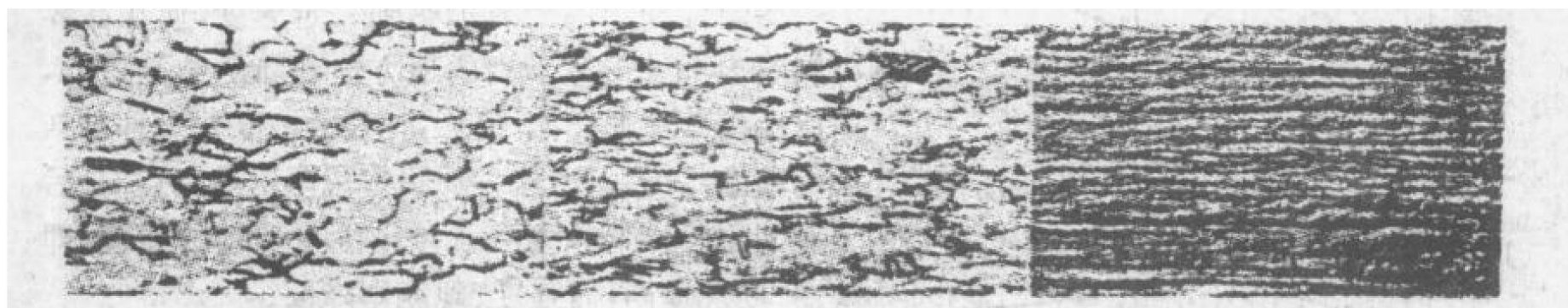
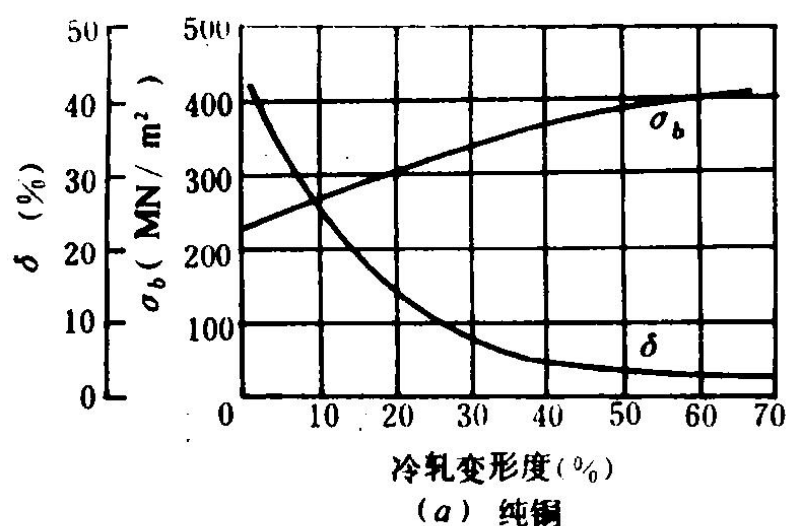
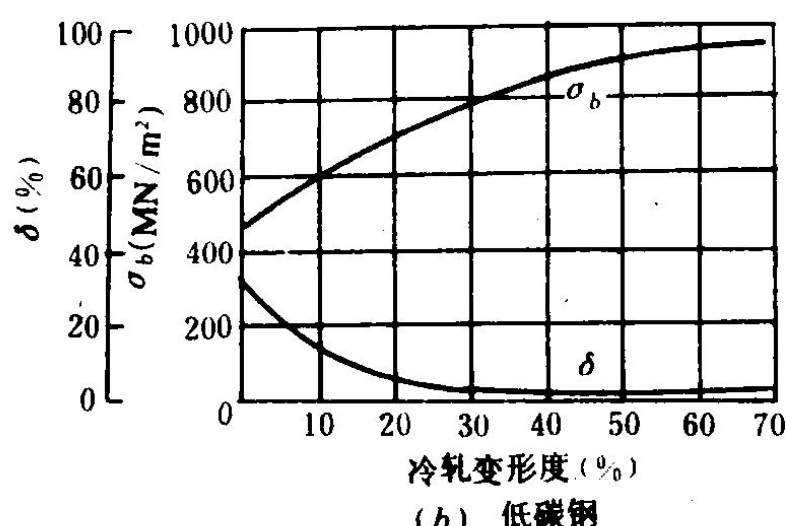


图 1-21 纯铜经不同程度冷轧变形后的显微组织 300×
a—30%压下量; b—50%压下量; c—99%压下量



(a) 纯铜



(b) 低碳钢

图 1-22 金属的加工硬化现象
a—纯铜; b—低碳钢

但另一方面,加工硬化程度有一定的限制,这会给进一步的冷变形加工带来一定的困难。如钢丝冷拔过程中将产生加工硬化现象,继续冷拔时不仅要增加外力,而且到一定程度后会发生断裂。如果在冷拔后把它加热到一定温度,就可以再恢复塑性,这一过程叫再结晶。

工艺上利用加工硬化原理的例子很多。如冷拉深成型,当冲头下压时,在凹模圆角和中