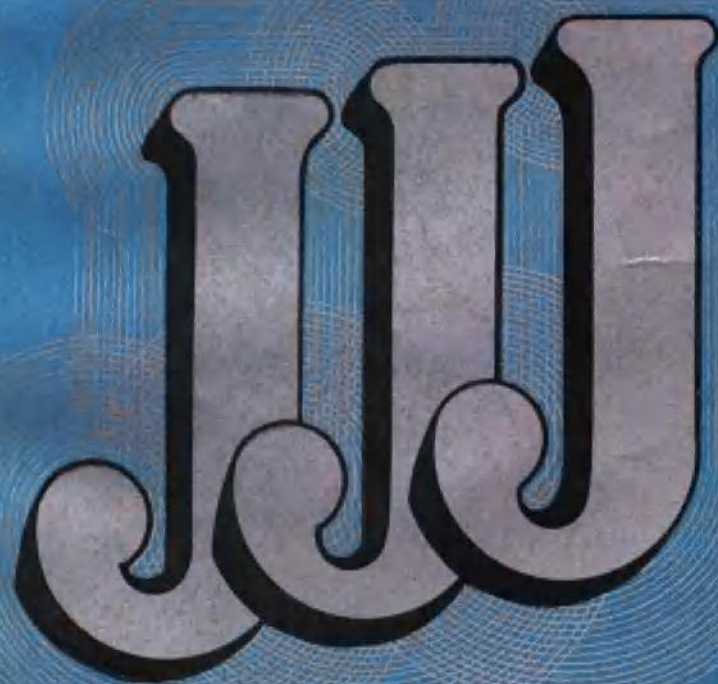


国家机械工业委员会统编

中级热处理工艺学

机械工人技术理论培训教材

JIXIE GONGREN JISHULILUN PEIXUN JIAOCAI



机械工业出版社

机械工人技术理论培训教材

中级热处理工工艺学

国家机械工业委员会统编



机械工业出版社

全书共十三章，主要包括钢铁及有色金属热处理基本原理和常用工艺、热处理常见缺陷的防止和补救、热处理常用设备和热处理质量故障分析等内容。适合于机械工业中级热处理工的岗位培训。

本书由成都量具刃具总厂谭传澹、许省民编写。由东方电机厂黄淼昌、李益湘、王同保审稿。

中级热处理工艺学

国家机械工业委员会统编

*

责任编辑：王明贤 版式设计：霍永明
封面设计：林胜利 方 芬 责任校对：陈 松

*

机械工业出版社出版（北京阜成门外百万庄南里一号）

（北京市书刊出版业营业许可证出字第 117 号）

机械工业出版社印刷厂印刷

机械工业出版社发行·新华书店经销

*

开本 $787 \times 1092^{1/32}$ · 印张 $10^{3/8}$ · 字数 226 千字

1988年12月北京第一版 · 1988年12月北京第一次印刷

印数 00,001—27,500 · 定价：3.90 元

*

ISBN 7-111-01150-3/TG · 291

前 言

1981年,原第一机械工业部为贯彻、落实《中共中央、国务院关于加强职工教育工作的决定》,确定对机械工业系统的技术工人按照初、中、高三个阶段进行技术培训。为此,组织制定了30个通用技术工种的《工人初、中级技术理论教学计划、教学大纲(试行)》,编写了相应的教材,有力地推动了“六五”期间机械行业的工人培训工作,初步改变了十年动乱造成的工人队伍文化技术水平低下的状况,取得了比较显著的成绩。

鉴于原机械工业部1985年对《工人技术等级标准(通用部分)》进行了全面修订,原教学计划、教学大纲已不适应新《标准》的要求,而且缺少高级部分;编写的教材,由于时间仓促、经验不足,在内容上存在着偏深、偏多、偏难等脱离实际的问题。为此,原机械工业部根据新《标准》,重新制定了33个通用技术工种的《机械工人技术理论培训计划、培训大纲》(初、中、高级),于1987年3月由国家机械工业委员会颁发,并根据培训计划、大纲的要求,编写了配套教材148种。

这套新教材的编写,体现了《国家教育委员会关于改革和发展成人教育的决定》中对“技术工人要按岗位要求开展技术等级培训”的有关精神,坚持了文化课为技术基础课服务,技术基础课为专业课服务,专业课为提高操作技能和解决生产实际问题的能力服务的原则。在内容上,力求以

IV

基本概念和原理为主，突出针对性和实用性，着重讲授基本知识，注重能力的培养，并从当前机械行业工人队伍素质的实际情况出发，努力做到理论联系实际，通俗易懂，具有工人培训教材的特色，同时注意了初、中、高三级之间合理的衔接，便于在职技术工人学习运用。

这套教材是国家机械工业委员会委托上海、江苏、四川、沈阳等地机械工业管理部门和上海材料研究所、湘潭电机厂、长春第一汽车制造厂、济南第二机床厂等单位，组织了200多个企业、院校和科研单位的近千名从事职工教育的同志、工程技术人员、教师、科技工作者及富有生产经验的老工人，在调查研究和认真汲取“六五”期间工人教材建设工作经验教训的基础上编写的。在新教材行将出版之际，谨向为此付出艰辛劳动的全体编、审人员，各地的组织领导者，以及积极支持教材编审出版并予以通力合作的各有关单位和机械工业出版社致以深切的谢意！

编好、出好这套教材不容易；教好、学好这些课程更需要广大职教工作者和技术工人的奋发努力。新教材仍难免存在某些缺点和错误，我们恳切地希望同志们在教和学的过程中发现问题，及时提出批评和指正，以便再版时修订，使其更完善，更好地发挥为振兴机械工业服务的作用。

国家机械工业委员会
技工培训教材编审组

1987年11月

目 录

前言

第一章 金属学基础知识	1
第一节 金属与合金的晶体结构	1
第二节 二元相图与铁-渗碳体相图	16
复习题	29
第二章 热处理基本原理	30
第一节 钢在加热时的组织转变	30
第二节 钢在冷却时的组织转变	37
第三节 合金元素对钢的组织转变的影响	61
复习题	64
第三章 钢的退火与正火	66
第一节 退火与正火工艺方法	66
第二节 退火与正火质量要求及缺陷的防止	72
复习题	74
第四章 钢的淬火与回火	75
第一节 淬火工艺	75
第二节 钢的回火	108
第三节 淬火回火常见缺陷及防止、补救措施	115
复习题	127
第五章 钢的感应加热淬火	129
第一节 感应加热淬火	129
第二节 感应加热淬火缺陷及防止	145
复习题	146
第六章 钢的化学热处理	147

第一节	化学热处理的基本过程	147
第二节	渗碳	150
第三节	渗氮	161
第四节	碳氮共渗	171
第五节	其它化学热处理方法	177
	复习题	177
第七章	结构钢的热处理	179
第一节	调质钢的热处理	179
第二节	弹簧钢的热处理	184
第三节	轴承钢的热处理	188
	复习题	191
第八章	工具钢的热处理	192
第一节	刀具钢的热处理	192
第二节	模具钢的热处理	201
第三节	量具钢的热处理	207
	复习题	209
第九章	铸铁热处理	211
第一节	铸铁热处理特点	212
第二节	铸铁的退火	214
第三节	铸铁的正火	216
第四节	铸铁的淬火与回火	217
	复习题	218
第十章	特殊钢及有色金属热处理	219
第一节	不锈钢及耐热钢的热处理	219
第二节	耐热钢的热处理	225
第三节	耐磨钢的热处理	228
第四节	铝及其合金的热处理	229
第五节	铜及其合金的热处理	240
	复习题	243

第十一章 热处理设备	244
第一节 筑炉材料	244
第二节 热传递基础知识	250
第三节 加热设备	254
第四节 辅助设备	264
第五节 测温仪表	267
复习题	272
第十二章 工艺编制与技术管理知识	273
第一节 工艺编制知识	273
第二节 技术管理知识	276
复习题	279
第十三章 质量故障分析专题	280
附录	294
一、布氏、洛氏、维氏和肖氏硬度换算表	294
二、常用钢的临界点及热处理规范	297
三、钢的晶粒度级别图	309
四、钢的淬火马氏体级别图	313

第一章 金属学基础知识

在目前所发现的 100 多种化学元素中，金属约占 80%。金属和合金因具有许多优良特性，因此在工农业生产和日常生活中的各方面有着广泛用途。

一切物质其中包括金属和合金，都是由原子堆成的集合体，如金属铁由铁原子堆积而成，属于合金的碳钢由铁原子和碳原子堆积而成，等等。为了便于理解，一般都把原子看成是一个个小球体。各种原子球体的平均半径大约是 10^{-8}cm ，它们是如此之小，以至到目前为止人们还无法直接看到它们的本来面目。尽管如此，利用各种间接测量方法，不但已经搞清楚原子的结构，还知道了各种物质是怎样由组成它们的原子堆积起来的。

金属和合金的性能，象其它一切物质的性能一样，首先决定于组成原子的种类，其次决定于这些原子的堆积样式。热处理的实质，就是通过加热和冷却来改变原子的堆积样式，以获得所需要的性能。

第一节 金属与合金的晶体结构

按照物质中原子堆积样式即：有规律或无规律，从而把物质分为晶体和非晶体两大类，金属和合金属于晶体。

图 1-1 a 给出了晶体中原子堆积的一种样式。为了帮助认识原子堆积的规律性，常用假想线把各个原子中心连结起来，这就构成了有明显规律性的空间架子，叫做晶格（见图

1-1 b)。晶格中线与线的交点，就是原子所在的正常位置，并可以把每两个原子中心的连线想象成原子之间的结合力，只要原子处于晶格中的正常位置，它所受到的每一对力都正好相互抵消。

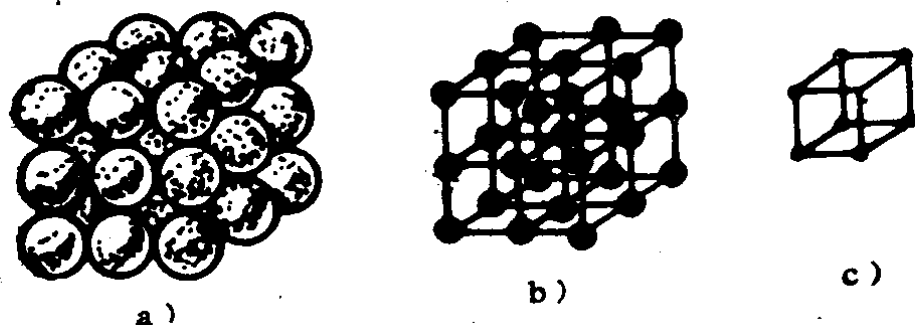


图1-1 晶体中原子堆积样式示意图

a) 原子堆积样式 b) 晶格 c) 晶胞

原子是由带正电荷的原子核和在核外特定轨道上作高速运动的带负电荷的电子所构成。金属原子的特点，是离原子核较远的某些轨道上的电子，容易挣脱原子的束缚成为所谓的自由电子，而原来呈电中性的（不表现出带电特征的）原子即变成为带正电荷的离子。无数个在晶体中杂乱运动的自由电子，呈云雾状充满晶体空隙，被形象地称为电子云。按照异电相吸的道理，带负电荷的电子云便把带正电荷的金属离子粘合为晶体。金属晶体中原子间的这种结合力叫做金属键。

固态金属中的自由电子能够在电源的作用下发生定向运动，所以金属具有良好的导电性。电子云好象是一种流动的粘合剂。当一块金属的两部分发生相对移动时，电子云也随着发生流动，使带正电荷的金属离子始终包围在电子云中。这就是金属能够经受变形而不易断裂的原因。

图 1-1 a 所示晶体，可以看成是由图 1-1 c 所示的叫做晶胞的最小单元经重复排列而成。因此知道了晶胞的形状、大小和组成，也就对晶体本身有了比较清楚的认识。

一、典型的晶体结构

所有晶体物质的原子堆积样式，经 X 射线测定后可用七种晶胞类型来表示。与金属材料密切相关的晶胞有三种。

1. 面心立方晶胞和密排六方晶胞 取若干个直径相同的小球放到盒子中搅动，大多数情况下会呈现出如图 1-2 a、b 那样的堆积样式。

图 1-2 a 所示晶胞，其原子中心的连线构成一个正立方体，故它的大小只与棱长 a 有关。这个正立方体的各个顶点上和每个面的中心上各有一个原子，这种晶胞叫做面心立方

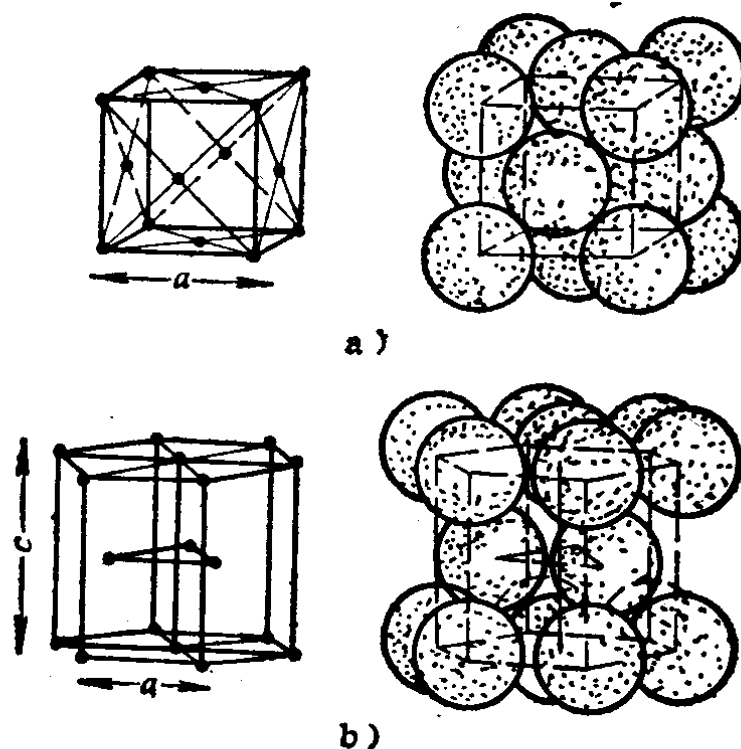


图1-2 面心立方晶胞和密排六方晶胞示意图

a) 面心立方晶胞 b) 密排六方晶胞

晶胞。

图 1-2 b 所示晶胞是一个正六方柱体，故其大小可用底面正六边形的边长 a 和柱体高 c 表示。除在柱体的 12 个顶点上和两个底面中心各有一个原子外，在柱体中心还有三个原子，这种晶胞叫做密排六方晶胞。

上述晶胞中的原子堆积最为紧密，这就是盒子中的小球容易出现这两种堆积样式的原因。

2. 体心立方晶胞 这种晶胞也是一个正立方体，其大小仍用棱长 a 表示（见图 1-3）。在立方体的各顶点上和中心上各有一个原子。与前两种晶胞相比，这是一种较不密集的堆积样式。

在研究晶体结构时，预先知道每个晶胞所含有的原子个数是有许多方便的。现以体心立方晶胞为例，由图 1-3 知道，晶胞角上的 8 个原子为 8 个晶胞所共有，因

此纯粹属于一个晶胞的原子数为 $8 \times 1/8$ 个；而立方体中心的那个原子是完全属于这个晶胞的。故每个体心立方晶胞中的原子个数为

$$8 \times \frac{1}{8} + 1 = 2$$

按照类似算法知道，每个面心立方晶胞中的原子个数为 4，每个密排六方晶胞中的原子个数为 6。

需要指出的是，虽然上述三种晶胞的棱长都用 a 表示，它们的数值却并不相同。由初级本知道，纯铁在不同温度范围

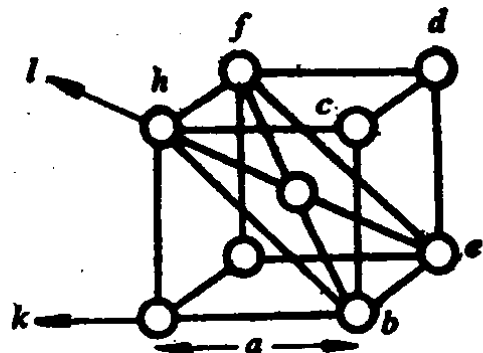


图1-3 体心立方晶胞示意图

内分别具有体心立方晶胞和面心立方晶胞结构,分别叫做 α -Fe和 γ -Fe。 α -Fe的棱长 $a = 2.86 \times 10^{-8} \text{cm}$, γ -Fe的棱长 $a = 3.56 \times 10^{-8} \text{cm}$, 因此, 不仅它们的体积不等, 其原子间的空隙也是不等的。 γ -Fe中的原子间空隙大约是 α -Fe中原子间空隙的2.6倍, 故在 γ -Fe中可容纳更多的半径较小的外来原子, 如碳、硼等。

3. 晶面和晶向的概念 晶体中由原子群所组成的平面叫做晶面, 如图1-3中的 $bcde$ 面、 $bhfe$ 面, 等等。晶向则是指晶体中由某个原子中心到另一个原子中心的指向, 如图1-3中的 el 、 bk 等等。

由图1-3知道, 不同晶面或晶向上原子排列的紧密程度是不一样的, 这就造成在同一晶体的不同晶面或晶向上, 其性能出现明显差异。这种现象叫做各向异性。

在外力作用下金属的一部分相对于另一部分产生永久性位移的现象叫做塑性变形。塑性变形时, 位移主要发生在原子排列最紧密或较紧密的晶面, 并沿着这个晶面上原子排列紧密的晶向进行。这样的晶面常称为滑移面。

二、实际晶体结构的基本概念

晶胞是建造晶体大厦的砖石, 它们可以按完全一致的方向一个紧挨一个、一层紧靠一层的堆积成一个结构完整的晶体, 这就是所谓的单晶体。只有用纯净的物质并采用特殊工艺才能制造出单晶体。在现代工业中, 只是为了专门用途才去制造单晶体。单晶体的性能特点是具有各向异性。

在实际使用的金属材料中, 由于加进了其它种类的外来原子以及材料在冶炼后的凝固过程中受到各种因素的影响, 使本来该有的有规律的原子堆积样式受到破坏。晶体中所出现的各种不规则的原子堆积现象, 统称为晶体缺陷。

1. 点缺陷 如果晶格上应该有原子的地方没有原子，在那儿就会出现“空洞”，这种原子堆积上的缺陷叫做空位（见图 1-4 a）。当晶格上的原子位置被外来原子所占据或在原子间的空隙中挤入了外来原子时，则分别把这样的缺陷叫做置换原子和间隙原子（见图 1-4 b、c）。

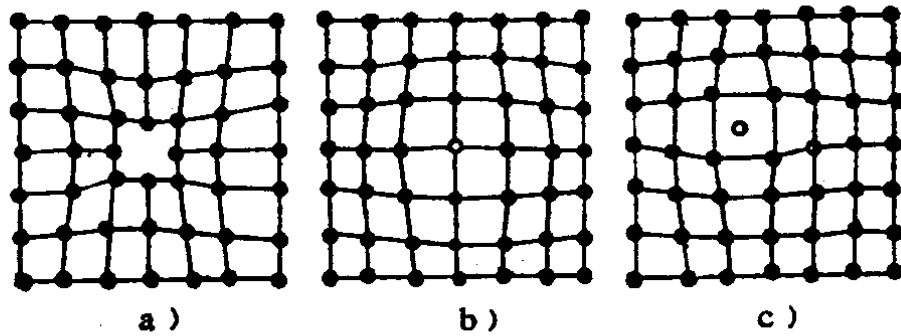


图1-4 点缺陷示意图

a) 空位 b) 置换原子 c) 间隙原子

原子的不定向迁移叫做扩散。空位这种点缺陷不但造成它四周的晶格收缩，由于原子可与空位交换位置并产生出新空位，因此还使晶体中原子的扩散变得比较容易了。间隙原子所产生的效果是使四周的晶体空隙受到压缩。上述三种点缺陷都使晶格产生变形，这种现象叫做晶格畸变。

2. 位错 这是一类很重要的晶体缺陷。其主要特点是晶体中的某些原子堆错了位置，当把这些堆错位置的原子用假想线连结起来后，会发现这根线或者近似于直线、或者近似于螺旋线，前者叫做刃型位错（见图 1-5），后者叫做螺型位错。目前，已经可以用特殊的制样方法，在放大倍数较高的电子显微镜上直接观察金属试样上的位错。

位错的特点之一是在晶体中移动，金属材料的塑性变形便是通过位错运动实现的。材料中的位错愈多，这部

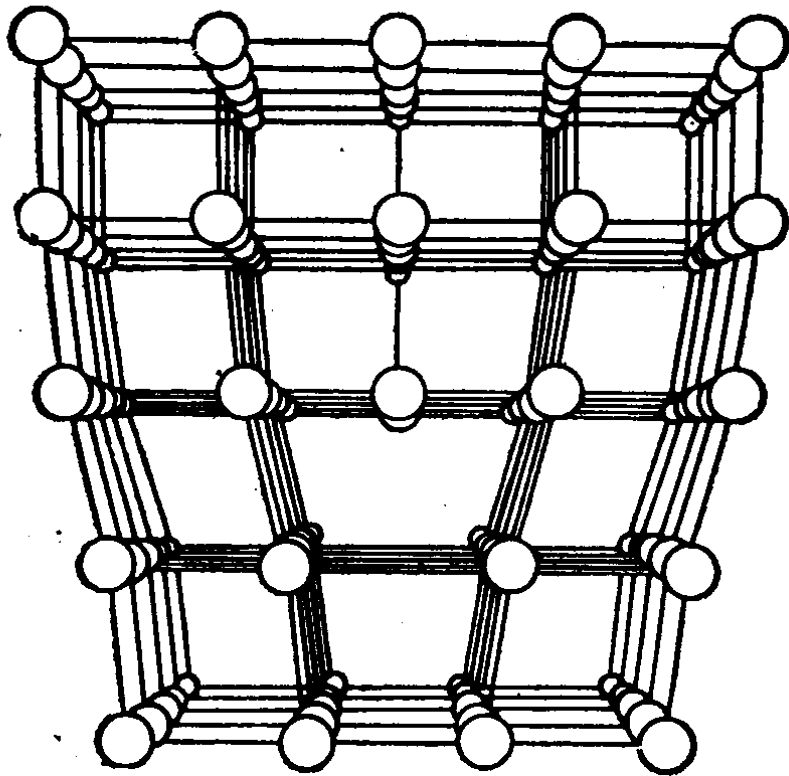


图1-5 晶体中的刃型位错示意图

分材料对那部分材料的滑动过程愈容易进行。位错数量增加到某个值以后，众多的位错纠缠在一起，相互阻碍运动，致使材料强度升高。所以，金属和合金的机械性能与其中位错数量的关系极大。

3. 多晶体和晶界 金属材料表现出来的各向同性，说明它们不是单晶体。图 1-6 是在放大 100 倍的显微镜下看到的金属内部景象，叫做显微组织。与此相对应，用肉眼（或放大镜）看到的金属（或合金）内部景象，称为宏观组织。显微组织和宏观组织统称为组织。由图上看，金属实际是由许多细小的晶体构成，我们把这些小晶体叫做晶粒。相邻晶粒之间的边界叫做晶粒间界或简称为晶界，如图中黑色曲线所示。

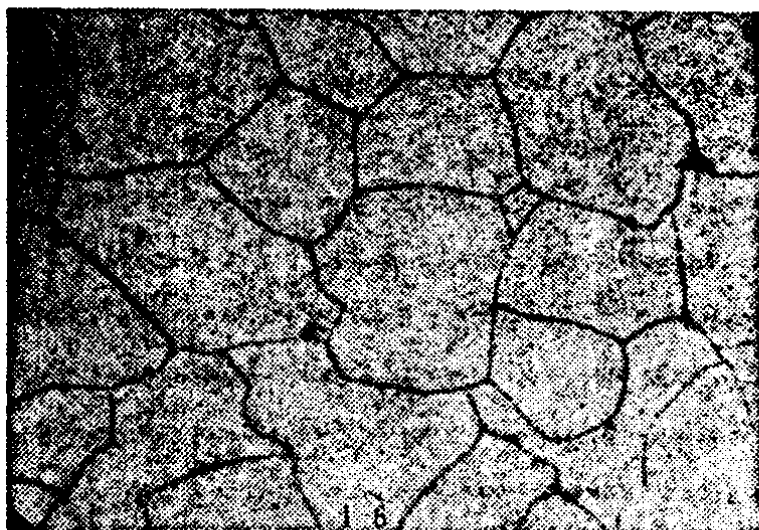


图1-6 金属的显微组织

任何金属材料都是由空间位向不同的大量晶粒所构成的所谓多晶体。晶粒差不多具有单晶体结构，因此表现出各向异性。材料中被搅乱了的每个晶粒的各向异性，造成了材料表面上的各向同性。晶粒越细小，构成材料的晶粒个数越多，晶粒各向异性的混乱程度越高，材料的各向同性越明显；当材料受外力作用时，由于内部分摊外力的晶粒个数多，所以材料的强度就高。相反，晶粒越粗大，材料的各向异性越明显，受外力作用时，因某些晶粒分摊的外力过大而引起材料破坏的危险性也就越大。在热处理工艺中，防止材料的晶粒粗大是必须加以注意的问题之一。

晶界是多晶体结构中晶粒间的过渡区，如图1-7所示。晶界上原子的堆积比较混乱，因此不象晶粒内的原子那样处于受力平衡状态。这些原子因具有较高的能量而显得很不稳定，容易与化学试剂（如酸）发生反应，也容易在加热过程中与氧作用导致晶界氧化。

金属和合金都是不透明的物质，为了能够利用光学显微镜观察它们的内部组织，需对试样作特别加工。首先把要分

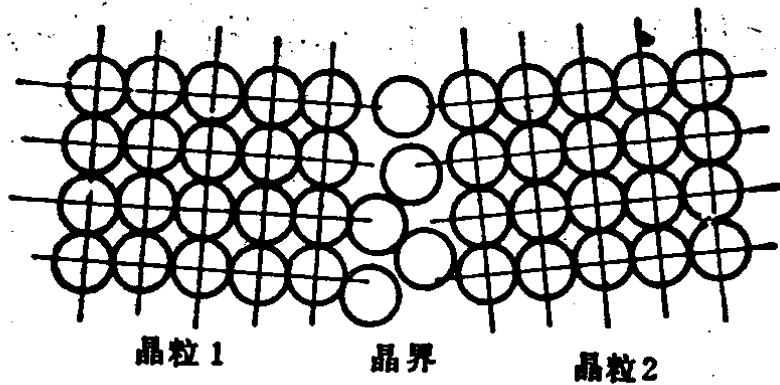


图1-7 晶粒内和晶界上的原子分布示意图

析的金属材料切开；再把断面磨制和抛光，抛光到断面呈镜面状态；然后用酸（或别的化学试剂）浸蚀断面。这时，由于晶界上的原子优先发生反应而被腐蚀溶解，造成晶界凹陷。当光线照射浸蚀过的断面时，凹陷的晶界使光线发生乱反射，只有很少的光线反射到显微镜的物镜上，于是在显微镜视场中晶界呈暗色，晶粒因未受腐蚀而呈亮色，如图1-8所示。材料内不同的组织要用不同的试剂来显示，查一查手册就可以知道。

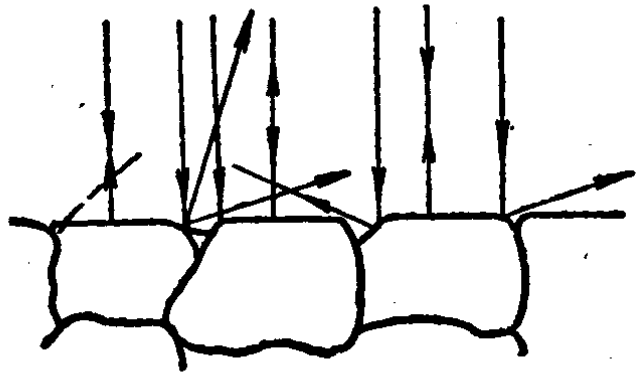


图1-8 晶粒平面和晶界的反射光示意图

在切开材料的同时，位于断面上的晶粒也随之被切成两半，因此在显微镜下所看到的晶粒，仅仅是它们的一个截面。当所看到的晶粒呈多边形或圆形时，晶粒的实际形状应该是多面体或是球体。

三、合金相结构