



“十四五”职业教育国家规划教材

金属材料与热处理

JINSHU CAILIAO YU RECHULI

(第四版)

主 编 曹润平 王书田



大连理工大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

金属材料与热处理 / 曹润平, 王书田主编. -- 4 版.
大连 : 大连理工大学出版社, 2024. 12. -- ISBN 978-7-
5685-5322-3

I. TG14; TG15

中国国家版本馆 CIP 数据核字第 20242262MW 号

大连理工大学出版社出版

地址: 大连市软件园路 80 号 邮政编码: 116023

营销中心: 0411-84707410 84708842 邮购及零售: 0411-84706041

E-mail: dutp@dutp.cn URL: <https://www.dutp.cn>

辽宁虎驰科技传媒有限公司印刷 大连理工大学出版社发行

幅面尺寸: 185mm×260mm	印张: 15.5	字数: 376 千字
2011 年 1 月第 1 版		2024 年 12 月第 4 版
2024 年 12 月第 1 次印刷		

责任编辑: 吴媛媛

责任校对: 陈星源

封面设计: 张莹

ISBN 978-7-5685-5322-3

定 价: 50.80 元

本书如有印装质量问题, 请与我社营销中心联系更换。

目 录

绪 论	1
模块一 金属的力学性能	4
学习任务一 金属的物理、化学和工艺性能	5
学习任务二 强度与塑性	9
学习任务三 硬 度	15
学习任务四 冲击韧性、疲劳极限及耐磨性	20
综合训练	25
小 结	27
模块二 金属的晶体结构	29
学习任务一 理想金属的晶体结构	29
学习任务二 实际金属的晶体结构	34
综合训练	38
小 结	38
模块三 金属的结晶	39
学习任务一 结晶现象	40
学习任务二 晶体的形核与长大	41
学习任务三 结晶的条件	44
学习任务四 晶粒大小的控制	45
综合训练	49
小 结	51
模块四 合金的相结构	52
学习任务一 固溶体	52
学习任务二 金属化合物	55
综合训练	57
小 结	57
模块五 合金的结晶	58
学习任务一 匀晶相图	59
学习任务二 共晶相图	64
学习任务三 包晶相图	68
学习任务四 铁碳相图	75
综合训练	89
小 结	96

模块六 钢的热处理	97
学习任务一 钢在加热和冷却时的组织转变	98
学习任务二 钢的热处理基本工艺	111
综合训练	130
小 结	140
模块七 金属的塑性变形与再结晶	142
学习任务一 金属与合金的塑性变形	143
学习任务二 冷变形金属在加热时的变化	153
学习任务三 金属的热变形加工	157
综合训练	160
小 结	161
模块八 工业用钢	163
学习任务一 工程结构用钢	165
学习任务二 机器零件用钢	169
学习任务三 工具钢	176
学习任务四 特殊性能钢	185
综合训练	195
小 结	197
模块九 铸 铁	198
学习任务一 铸铁的石墨化及影响因素	199
学习任务二 灰口铸铁	203
学习任务三 球墨铸铁	206
综合训练	216
小 结	217
模块十 非铁合金	218
学习任务一 铝合金	219
学习任务二 铜合金	224
学习任务三 滑动轴承合金及其他非铁合金简介	230
综合训练	233
小 结	233
参考文献	235
附 录	236

模块二

金属的晶体结构

导读

金属是晶体,研究金属的晶体结构能够从本质上揭示金属的性能及可能影响性能的因素。金属原子的排列规律即晶体结构可分为理想的晶体结构和实际的晶体结构两类。掌握有关它们的知识,能够为更好地掌握金属材料打下良好的知识基础。本模块的概念、名词术语较多,建议在理解的基础上进行有效的记忆。

通过本模块的知识学习和实际练习,学生应达到:

- 掌握有关晶体的基本概念和名词术语,理解掌握这些概念的必要性。
- 掌握理想晶体结构中的三种典型晶体结构的特点。
- 掌握实际晶体结构缺陷对材料性能的影响规律。

知识点

- 1.晶体的基本概念。
- 2.金属中常见的三种典型晶体结构。
- 3.实际晶体结构。

技能点

- 1.晶体结构对金属性能的影响。
- 2.晶体缺陷对金属性能的影响。

» 学习任务一 理想金属的晶体结构 «

金属材料的种类很多,性能各有不同。金属材料的性能首先取决于金属材料的晶体结构,所以要了解金属材料的性能,首先需要了解金属材料的晶体结构。

任务提出

取一张云母薄片,在上面涂上一层很薄的石蜡,然后用烧热的钢针去接触云母薄片,观察到接触点周围的石蜡熔化后所形成的形状为椭圆形。然后我们同样在玻璃上做相同的实验,可以观察到,在玻璃上熔化后的石蜡的形状是圆形的。这说明什么问题呢?

任务分析

在这两个实验中,载体不同,一种是云母,一种是玻璃,实验结果使熔化后的石蜡形状不同。这就说明了玻璃与云母的性质不同,为什么这两者的性质不同呢?它们的差异到底在哪里?下面我们学习一下相关知识。

相关知识

一、晶体的基本概念

1. 晶体与非晶体

物质是由原子、原子团、分子和分子团这些物质微粒构成的。根据物质微粒在三维空间排列方式的不同,物质可分为晶体和非晶体两类。自然界的绝大多数物质在固态下都为晶体,只有少数为非晶体。

晶体是指组成物质的微粒在三维空间做有规则、周期性排列形成的物体。例如前面提到的云母就是晶体。金属和合金在固态下通常都是晶体。

非晶体是指组成物质的微粒在三维空间做无规则、随机性排列形成的物体。例如前面提到的玻璃。

晶体与非晶体的本质区别只是物质微粒的排列方式不同,不涉及物质的化学成分和物质状态,因此,同样成分的物质可以有晶体和非晶体两种状态。例如红宝石的化学成分是三氧化二铝,而铝氧化后的白色粉末也是三氧化二铝,显然它们的性能各不相同;此外,如果物质的微粒在三维空间做有规则、周期性排列形成的是液体,那么这个就是所谓的液晶。通常只有固体、液体有晶体与非晶体之分。晶体与非晶体的比较见表 2-1。

表 2-1 晶体与非晶体的比较

项目	晶体	非晶体
定义	物质微粒在三维空间做有规则、周期性排列形成的物体	物质微粒在三维空间做无规则、随机性排列形成的物体
性能特点	具有规则的几何形状,有一定的熔点,各向异性	没有规则的几何形状,没有固定的熔点,各向同性
典型物质	石英、糖、云母、金属等	玻璃、橡胶、松香、沥青等

2. 晶体结构

(1) 晶格、晶胞和晶格常数

由于金属大都以原子状态存在,所以下面对金属晶体概念的叙述以原子构成的方式



进行。

为了便于反映物质在固态下的晶体结构,可以把晶体中的原子近似地看作一个直径一定的刚性小球,这样就可以把晶体结构看成是由刚性小球按一定的几何形状有规律排列而成的,如图 2-1 所示。为了更清楚地表示晶体中原子的排列规律,可以将原子简化为一个质点,并且用假想的线条将各个原子的中心连接起来,这样就形成了一个能够抽象的、用于反映原子排列规律的空间格架,称为晶格,如图 2-2 所示。

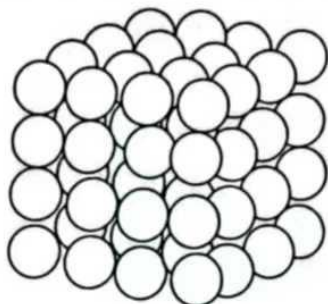


图 2-1 晶体中原子堆积模型

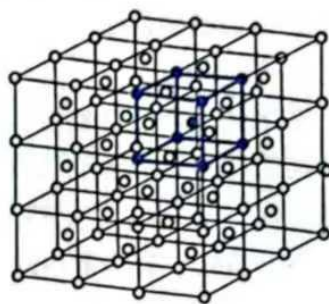


图 2-2 晶格抽象模型示意图

晶体中原子的排列具有周期性特点,可以从中选取一个能够完全反映晶格特征的最小的几何单元来分析晶体中原子的排列规律,这个能够完全反映晶格特征的最小的几何单元称为晶胞,如图 2-3 所示。金属晶体可以看作是由许多大小、形状和位向相同的晶胞在三维空间重复堆积而成的。晶胞的大小和形状通常用晶胞的棱边长度及棱边夹角来表示,晶胞的棱边长度称为晶格常数。

(2) 晶面、晶向、晶面及晶向的表示方法和晶体的各向异性

在晶格中,通过原子中心所构成的不同方位上的原子面称为晶面,通过原子中心所构成的不同方向上的原子列称为晶向。晶面及晶向可以用称为密勒指数的一些参数来表示。

表示晶面的参数称为晶面指数。以图 2-4 中(阴影线所示)待定的晶面为例,说明晶面指数的确定方法。

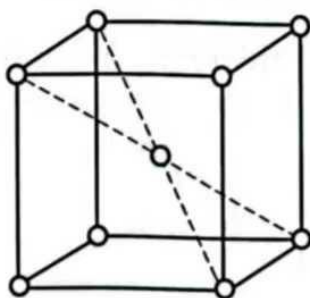


图 2-3 晶胞示意图

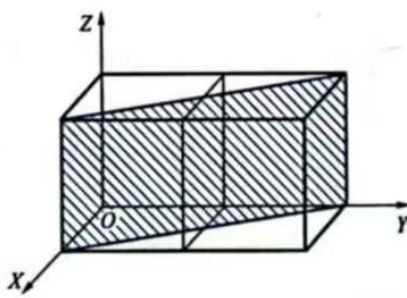


图 2-4 晶面与晶面指数示意图

①设坐标。在晶格中,沿晶胞的互相垂直的三条棱边设参考坐标轴 X 、 Y 、 Z ,坐标原点 O 应位于待定晶面之外,以免出现零截距。

②求截距。以晶胞的棱边长度(晶格常数)为度量单位,确定待定晶面在各坐标轴上的截距。如图 2-4 中待定晶面在 X 、 Y 、 Z 轴上的截距分别为 1 、 2 、 ∞ 。

③取倒数。上述截距的倒数分别为 $1/1$ 、 $1/2$ 、 $1/\infty$ 。

④化整数。将上述三个倒数化为最小的简单整数,上述三个倒数的最小简单整数为 1 、 2 、 0 。

⑤列括号。将所得各整数依次列入圆括号()内,便得晶面指数。因此(120)即为图 2-4 中待定晶面的晶面指数。

晶面指数的一般表示形式为 (hkl) 。如果所求晶面在坐标轴上的截距为负值,则在相应的指数上加一横线,如 $(\bar{h}kl)$ 等。如图 2-5 所示为立方晶格中某些常用的晶面及晶面指数。

表示晶向的参数称为晶向指数。确定晶向指数的方法如下:

①设坐标。在晶格中设坐标轴 X 、 Y 、 Z ,坐标原点 O 应位于待定晶向的直线上。

②求坐标值。以晶胞的晶格常数为度量单位,在待定的晶向直线上任选一点,并求出该点在 X 、 Y 、 Z 轴上的坐标值。

③化整数。将上述三个坐标值按比例化成最小的简单整数。

④列括号。将上述所得的各整数依次列入方括号[]内,便得晶向指数。

晶向指数通常以 $[uvw]$ 表示。如果坐标值为负,则在相应的指数上加一横线,如 $[\bar{u}\bar{v}\bar{w}]$ 。

如图 2-6 所示为立方晶格中某些常用的晶向及晶向指数。

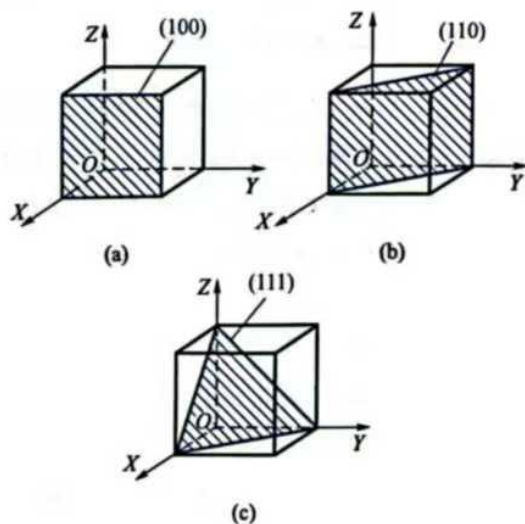


图 2-5 立方晶格中某些常用的晶面及晶面指数

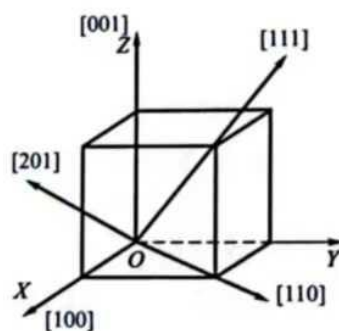


图 2-6 立方晶格中某些常用的晶向及晶向指数

晶体中不同晶面和晶向上原子排列的紧密程度不同,原子间的结合力大小也就不同,而在不同的晶面和晶向上显示出不同的性能,这就是晶体的各向异性。晶体的这种特性在力学性能、物理性能和化学性能上都能体现出来,并且在生产中有所应用。

二、金属中常见的晶体结构

金属原子的结合力强,原子排列趋于紧密。但是不同金属的晶体结构不同,常见的有以下三种:

1. 体心立方晶格

体心立方晶格的晶胞是一个立方体,立方体的中心有一个原子,八个顶点各排列着一个原子,其晶格常数 $a=b=c$,如图 2-7 所示。属于这种晶格类型的金属有铬(Cr)、钨(W)、钒(V)、铁(α -Fe)等。

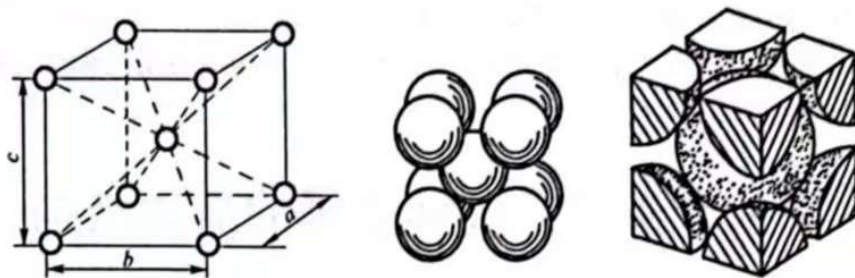


图 2-7 体心立方晶胞示意图

2. 面心立方晶格

面心立方晶格的晶胞也是一个立方体,八个顶点和六个面的中心各排列着一个原子,其晶格常数 $a=b=c$,如图 2-8 所示。属于这种晶格类型的金属有铁(γ -Fe)、铝(Al)、铜(Cu)、镍(Ni)、金(Au)、银(Ag)等。

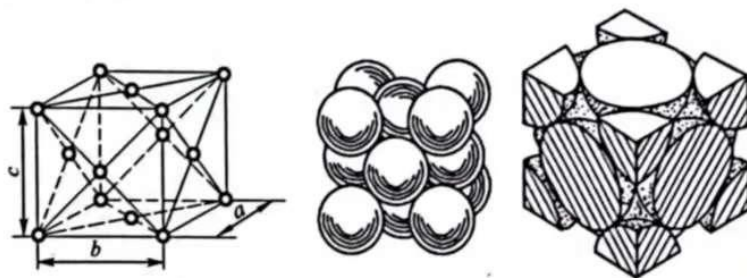


图 2-8 面心立方晶胞示意图

3. 密排六方晶格

密排六方晶格的晶胞是一个六方柱体,十二个顶点和上、下面中心各排列着一个原子,六方柱体的中间还有三个原子,如图 2-9 所示。属于这种晶格类型的金属有镁(Mg)、锌(Zn)、铍(Be)等。

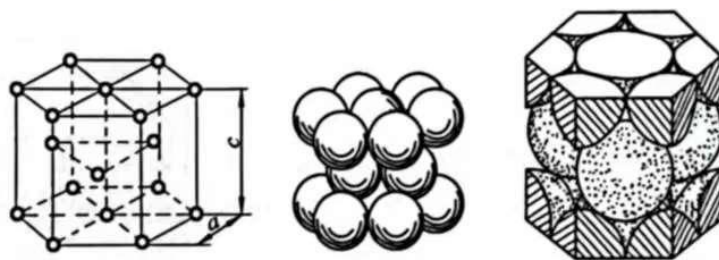


图 2-9 密排六方晶胞示意图

晶格类型不同,原子排列的致密度(晶胞中原子所占体积与晶胞体积的比值)也不同。体心立方晶格的致密度为 68%,面心立方晶格和密排六方晶格的致密度为 74%。晶格类型发生变化,金属的体积和性能也会发生相应的改变。

任务实施

前面我们在云母薄片上面涂上一层很薄的石蜡,然后用烧热的钢针去接触云母薄片,观察到接触点周围的石蜡熔化后所形成的形状为椭圆形。说明云母是晶体,具有各向异性,即在不同的方向上传热是不同的,因此,会使得熔化后的石蜡在不同的方向上产生不同的分