

国防工业高等院校教材試用本

金属学及热处理

(航空类各专业用)

胡振渭 主編



北京科学教育編輯室

国防工业高等院校教材試用本

金属学及热处理

(航空类各专业用)

胡振渭 主編



北京科学教育編輯室

1965年1月

前 言

本教材原计划按1963年10月国防科委所属高等院校非专业‘金属学及热处理’教材编审工作第一次会议所制订的适用于航空工艺类各专业90学时类型教学大纲的要求而编写，同时兼顾设计类各专业70学时类型教学大纲的要求。但编写小组在重新学习毛主席关于教育工作的指示以及国防科委第三次院校工作会议的有关文件以后，认为应当根据‘少而精’的教学原则，对原订教材编写工作计划作适当的调整。经过反复讨论，决定以编写70学时课程的教材为主，而兼顾90学时课程的需要。为了照顾学时不同的各专业的需要，一部分内容采用小字排印；这部分内容，对学时较少的专业可以不讲。但当不同专业对某些章节内容的要求相差悬殊，因而不宜采用上述办法处理时，则另加使用说明，以便于教师和学生控制教学内容的深度和广度。

编写小组按照上述想法所修订的教材编写工作计划，除经报请国防科委航空专业教材委员会批准外，还征得了主审刘勤同志和审查小组成员石霖同志的赞同。

本教材，除绪论外，分四篇，共十六章。其中第一、八、九、十、十一及十二章由郑修麟同志执笔；第十三、十四、十五、十六章及绪论由胡光立同志执笔；第五、六及七章由俞宝罗同志执笔；第四章由刘长祿同志执笔；第二、三章由胡振渭同志执笔。

在编写过程中，编者遵照毛主席关于教育工作的指示和国防科委第三次院校工作会议的精神，对教材内容‘三基’、‘四类’的划分，作了初步探讨。但限于编者的思想和业务水平以及教学经验等，欠妥或错误之处，在所难免。故根据‘编写出版计划’，本教材先出版试用

I

本，敬希广大师生及读者多加批评和指正，以便在审查小组审阅后，再行修改，进一步提高教材质量。

编写过程中，在国防科委航空专业教材委员会的正确领导下，承蒙各有关院校的重视和支持，尤其是总字943部队领导同志的具体指示和亲切关怀，对此，谨代表编者致以衷心的感谢。张华同志组织本教材的校对工作，赵元志同志负责本教材插图的描绘工作，在此一併致谢。

胡振渭

1964年9月于哈尔滨

目 录

前 言

緒 論

第一篇 基本理論

第一章 金屬的結構和結晶

§ 1-1 金屬的概念	5
§ 1-2 金屬的晶体結構	7
§ 1-3 金屬的結晶过程	13

第二章 合金的結構与結晶

§ 2-1 合金相	19
§ 2-2 状态图	25

第三章 金屬及合金的固态轉变

§ 3-1 純金屬的同素异构轉变	43
§ 3-2 具有共析反应的合金的轉变过程	46
§ 3-3 具有固溶度变化的合金的轉变过程	50

第四章 金屬及合金的变形、再結晶与力学性能

§ 4-1 金屬及合金的变形与断裂	56
§ 4-2 冷加工硬化与再結晶	63
§ 4-3 金屬的力学性能	73

第二篇 鉄碳合金及其热处理

第五章 鉄碳合金

§ 5-1 鉄——渗碳体状态图	84
§ 5-2 碳钢	92
§ 5-3 铸铁	101

第六章 鋼的热处理原理

§ 6-1 概述	106
----------	-----

I

§ 6-2 钢在加热时的转变	106
§ 6-3 钢在冷却时的转变	110

第七章 鋼的热处理工艺

§ 7-1 钢的退火与正火	124
§ 7-2 钢的淬火	129
§ 7-3 钢的回火	141
§ 7-4 钢的表面热处理	147

第三篇 合金鋼及耐热合金

第八章 合金鋼概論

§ 8-1 概述	163
§ 8-2 合金元素对Fe-Fe ₃ C 状态图的影响	164
§ 8-3 合金元素对热处理的影响	168
§ 8-4 合金钢的分类与编号	173

第九章 結構鋼

§ 9-1 概述	175
§ 9-2 渗碳钢	177
§ 9-3 调质钢	183
§ 9-4 弹簧钢	191

第十章 工具鋼

§ 10-1 概述	193
§ 10-2 常用工具钢	196

第十一章 不銹鋼

§ 11-1 概述	206
§ 11-2 铬不锈钢	208
§ 11-3 铬镍不锈钢	210
§ 11-4 过渡型不锈钢	214

第十二章 耐热鋼及耐热合金

§ 12-1 概论	218
§ 12-2 耐热钢	227
§ 12-3 镍基耐热合金	233

第四篇 有色金屬及其合金

§ 12-4 其他耐热合金	242
§ 12-5 耐热合金的选用原则	244

第十三章 鋁及其合金

§ 13-1 概论	248
§ 13-2 变形铝合金	258
§ 13-3 铸造铝合金	271
§ 13-4 耐热铝合金	280

第十四章 鎂及其合金

§ 14-1 概述	285
§ 14-2 常用(普通)鎂合金	286
§ 14-3 耐热鎂合金	294

第十五章 鈦及其合金

§ 15-1 鈦及其合金的特性	297
§ 15-2 鈦合金	299

第十六章 銅及其合金、軸承合金

§ 16-1 铜及其合金	305
§ 16-2 轴承合金	316

緒 論

一、課程的目的与任务

‘金属学及热处理’是研究金属材料的成分、组织和性能之间的相互关系及其变化规律的一门科学。

众所周知，金属材料在工业中应用极其广泛。但根据不同的使用目的和工作条件，对金属材料性能的要求便有所不同。

金属材料在使用条件下所表现的性能称为‘使用性能’，它主要包括：力学性能，如硬度、强度、塑性、韧性等；物理性能，如导电率、导热率、导磁率等；化学性能，如抗氧化性、抗腐蚀性等。

对航空材料而言，通常要求它具有高的强度和小的比重，因为材料的强度愈高，比重愈小，则构件的体积和重量便可愈小，从而有利于提高飞行器的速度、高度和航程。

还应当指出，当飞行器的速度增高到相当于马赫数（飞行速度与音速的比值）为1~2时，其表面将因与空气摩擦而变热；当马赫数为3时，其表面温度可达300°C；马赫数愈大，其表面温度愈高；又如在喷气发动机中的燃烧室、涡轮叶片的工作温度通常均在800°C以上，这样就要求材料能在高温下抗氧化，并保持高的强度。

可见随着航空技术的发展，对金属材料使用性能的要求也愈来愈高。

金属材料不仅具有良好的使用性能，而且还应具有良好的工艺性能。工艺性能主要包括：铸造性、压力加工性、切削加工性及可焊性等。

金属材料的各种性能，取决于一系列外因（如温度、应力状态、加载速度等）和內因（成分、组织）。但外因终究要通过內因才能起作用。

金属材料的成分和组织是决定其性能的內在因素。所谓组织是指金属材料的内部构造而言，它通常包括断口组织、宏观组织、显微组织以及原子分布的结构等。当金属材料的成分不同时，其组织便不

同，因而其性能也不同，但是同一成分的金属材料，可通过各种加工处理（包括热处理）来改变其组织，从而改变其性能。由此可见，金属学及热处理的任务在于建立金属材料的成分、组织和性能之间的对应关系，揭示金属材料在不同条件下性能的变化规律，从而充分发挥现有材料的潜力，配制各种具有优良性能的合金，并指导其生产、加工和使用，以满足工业上对金属材料日益增长的要求，加速我国的社会主义建设。

金属学及热处理与近代许多科学技术有着密切的联系。它是以物理、化学、材料力学为基础的，同时它又为金属铸造、压力加工、焊接、切削加工以及零件设计、强度计算等提供必要的理论和实际知识。

因此作为国家未来的航空科学技术干部，为了加速我国的国防建设，实现国防现代化，就应当以红带专，勤学苦练，掌握最先进的航空科学技术。学习本门课程的主要目的就在于获得有关金属学及热处理方面的基本知识，用以正确的理解航空工业中常用金属材料的成分、热处理、组织、性能和用途，以及它们之间的相互关系与变化规律，掌握合理选用金属材料的基本原则，并为学习有关后续课程作准备。

二、金属学及热处理的发展简介

早在人类应用金属及合金的初期，就开始了关于金属材料的配制、加工和性能等方面知识的积累。

使我们引以为荣的是，我国古代劳动人民在金属材料的生产和使用方面曾取得了很大的成就，并积累了丰富的经验。

在殷商时代（公元前1766~1722年），我国就会制作精美的青铜器，并且已能根据不同用途配制各种合金。周礼考工记记载有：‘金有六齐，六分其金而锡居其一谓之钟鼎之齐；五分其金而锡居其一谓之斧斤之齐；四分其金而锡居其一谓之戈戟之齐……’。其中‘齐’就是合金，‘金’就是铜、锡。可见当时已经初步掌握了某些合金的成分、性能及用途之间关系的基本规律。

我国古代劳动人民在金属加工方面也有着卓越的贡献，在明代宋

应星所著天工开物一书（公元1611~1644年）中对金属的冶炼、铸造、冷加工及热处理等方面均有较完整而详细的记载。例如在热处理方面，载有：‘凡熟铁钢铁已经炉锤，水火未济，其质未坚，乘其出火之时，入清水健之，名曰健钢’。此即指钢的淬火法。可见，当时热处理技术已发展到相当高的水平。

但由于我国长期深受封建主义、官僚资本主义和帝国主义三大敌人的残酷统治，致使我国工业技术在解放前处于十分落后的状态。

近百年来，世界各国学者在总结劳动人民生产经验的基础上大大的发展了这门科学。尤其是近数十年来，由于新的实验技术，如 x 射线和电子显微镜技术等以及近代物理和物理——化学的理论在金属研究中的应用，对本学科的发展更起了巨大的推动作用。

解放后，在党中央和毛主席的正确领导下，在总路线、大跃进、人民公社三面红旗的指引下，我国社会主义建设事业有了飞跃的发展，在金属学及热处理方面也取得了辉煌的成就。这一切都充分显示了我国社会主义制度的优越性，因此可以断言，本门科学也和其它科学一样在我国有着无限广阔的发展前途。

三、课程的主要内容、特点及学习方法

本课程内容共分四部分：基本理论、铁碳合金及其热处理、合金钢及耐热合金、有色金属及其合金等。

‘基本理论’部分主要阐述金属及合金的结构，以及结晶、固态转变、塑性变形与再结晶等过程的基本规律；‘铁碳合金及其热处理’部分主要阐述碳钢及其热处理原理和工艺的基本知识；‘合金钢及耐热合金’和‘有色金属及其合金’两部分主要阐述在航空工业中各种常用金属材料的成分、热处理、组织、性能与用途。

总的来说，前两部分的内容偏重于理论，它是为后续部分服务的；而后两部分内容则偏重于实用，它是与专业课紧密结合的。

由于金属学及热处理是从生产实践中发展起来而又直接为生产服务的科学，因此它是一门具有丰富理论知识和实际知识的课程，并具有实用性和叙述性强的特点。

根据上述特点，为了学好这门课程，就须做到：弄清基本概念，并善于联系实际应用；在理解的基础上把某些基本规律和重要结论牢固的记住；及时的进行复习，并于学完每章或每篇后，在教师指导下，独立的作出小结，以便加深印象，使所学知识系统化；此外尤应重视实践性教学环节——实验、练习和讨论课等，以便掌握必要的基本技能，并进一步验证、消化和巩固课堂上所学的知识。

第一篇 基本理論

本篇主要闡述金屬學的基本理論知識，包括金屬及合金的結構，金屬及合金的結晶、固態轉變、塑性變形與再結晶等過程的基本規律以及金屬力學性能各項指標的物理意義，其目的是為研究金屬材料的成分、組織、熱處理、性能及其用途奠定基礎，並為鑄造、銲接、壓力加工及切削加工等有關後續課程作必要的理論準備。

第一章 金屬的結構和結晶

§ 1-1 金屬的概念

一、金屬的特性

在全部化學元素中，金屬元素約占四分之三，它們均分布在元素週期表的左側（表 1-1 中的濃黑線以左）。金屬區別於非金屬的主要標誌是：

1) 金屬具有優良的導電性與導熱性。金屬的導電性一般不僅比非金屬大 $10^{20} \sim 10^{25}$ 倍，而且它還隨着溫度的升高而降低；這一特性和所有的非金屬恰恰相反。

2) 金屬具有優良的塑性與相當高的強度。金屬的塑性一般不僅比非金屬要高得多，而且在很低的溫度下它仍具有一定的塑性；但非金屬在低溫下則塑性極低，甚至完全沒有塑性。

3) 金屬具有良好的工藝性能，如鑄造性、鍛壓性、可銲性以及切削加工性等。因此，可利用各種方法對金屬進行加工，從而可製成各種機械另件。

金屬因具有上述主要特性，所以在工業中獲得了廣泛的應用。顯然，這些特性是由金屬的內部結構所決定的。

二、金属原子结构的特点及金属键

金属由原子所组成。但是，金属原子的价电子数很少，大多数金属原子仅有1~2个价电子，并且价电子与原子核的联系很弱，故金属原子易失去其价电子而变成正离子。因此，当金属原子互相结合而成为固体时，便形成金属特有的结合方式——金属键。兹简述如下：

当金属原子互相结合时，每个原子均交出其价电子而变成正离子。正离子按一定的规律在空间排列起来，并以空间的某一定点为其平衡中心作轻微的振动；而所有的价电子则在各正离子

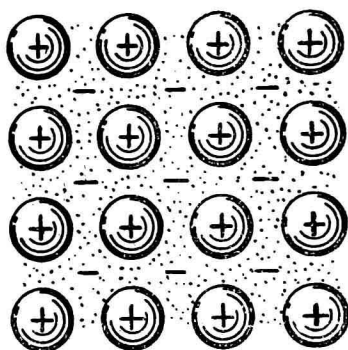


图 1-1 金属键示意图

子之间自由地巡迴，为整个离子集体所公有，形成所谓电子气，这种电子通常即称为自由电子。由于自由电子与正离子之间产生引力，因而将金属原子牢固地结合起来，成为固体，如图 1-1 所示。金属原子的这种结合方式称为金属键。

金属的很多特性都是由金属键的性质决定的，例如，高导电性、塑性和锻压性等等。因为金属中有自由电子存在，所以只要在金属物体的两端施加很小的电压，即可使自由电子向正极流动，从而形成电流，这便是金属具有高导电性的原因。当温度升高时，金属离子热振动的振幅增大，因而阻碍了自由电子的流动，从而使金属的导电性降低。

若对金属施加很大外力时，则其离子将沿着一定的方向发生移动；此时，自由电子亦随之移动，故其原子间仍保持着牢固的结合。因此，金属能在一定外力作用下发生变形而不致破裂。这便是金属具有高塑性的原因。由于金属具有高的塑性，故可进行锻压加工。

§ 1-2 金属的晶体结构

一、晶体的基本概念

晶体就是指原子（更恰当些说应为离子）在空间呈规则排列的固体物质。在固态下，金属原子在空间是呈规则排列的，故所有的金属固体皆为晶体。

晶体中原子排列的规律性通常用所谓‘点阵’来加以描述。为此，

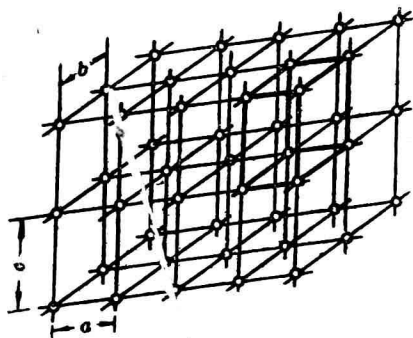


图 1-2 点阵示意图

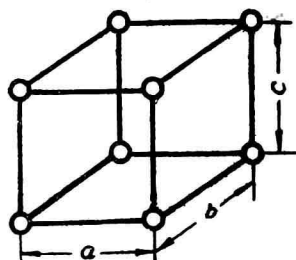


图 1-3 立方点阵的晶胞
($a = b = c$)

可用直线将各原子的中心点联接起来，形成一个三维的空间格架。如图 1-2 所示，空间格架的结点即为原子的中心位置。这种用来描述晶体中原子排列规律的空间格架，通常称为晶格或点阵。

构成点阵的基本单元称为晶胞；图 1-3 所示者为一立方点阵的晶胞。晶胞的棱长称为点阵常数，其量度单位为埃($\text{\AA}$)， $1(\text{\AA}) = 10^{-8}$ 厘米。原子在晶胞中的排列位置即代表它在点阵中的排列规律。因此，整个点阵可视为同一晶胞在空间的重复体。关于这一点，可从图 1-2 中清晰地看出。

二、常用金属的点阵类型

常用金属的点阵类型一般可分为下列三种：

1) 体心立方点阵 其晶胞如图 1-4a 所示，在晶胞的每个顶点上和晶胞中心均有一个原子，晶胞的大小可由点阵常数 a 来决定。不同

金属的点阵常数是不同的，并且随着温度的升高而增大。

具有体心立方点阵的金属有：铁(α -Fe)、铬、钨、钼、钛(β -Ti)等。

2) 面心立方点阵 其晶胞如图1-4b所示，在晶胞的每个顶点上和每个立方体面的中心均有一个原子，晶胞的大小亦可由点阵常数 a 来决定。

具有面心立方点阵的金属有：铁(γ -Fe)、镍、铝、铜等。

3) 密排六方点阵 其晶胞如图1-4c所示，在正六角柱体的上下两底面上分布着14个原子，其中两个原子占据底面的中心，而且在两底面中间还有三个原子。这种晶胞的大小可由两个点阵常数 a 和 c (或 c/a)来决定。若 $c/a=1.633$ 时，则为密排六方点阵；若 $c/a \neq 1.633$ 时，则为简单六方点阵。镁、钛(α -Ti)等金属即具有六方点阵。

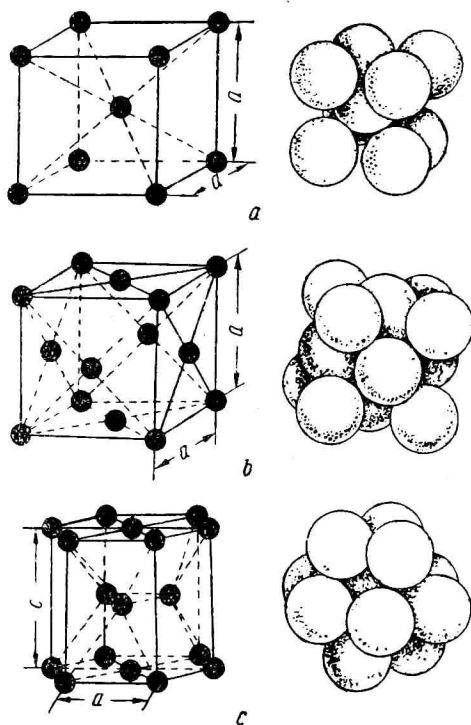


图 1-4 常用金属点阵的晶胞
a-体心立方晶胞；b-面心立方晶胞；
c-密排六方晶胞

金属即具有六方点阵。

三、晶面和晶向的概念

在以后研究金属及合金的塑性变形和组织变化时，常用到晶面和晶向的概念。晶体中原子所构成的平面称为晶面。通过晶体中原子的中心点所联成的直线代表点阵内的一个方向，称为晶向。

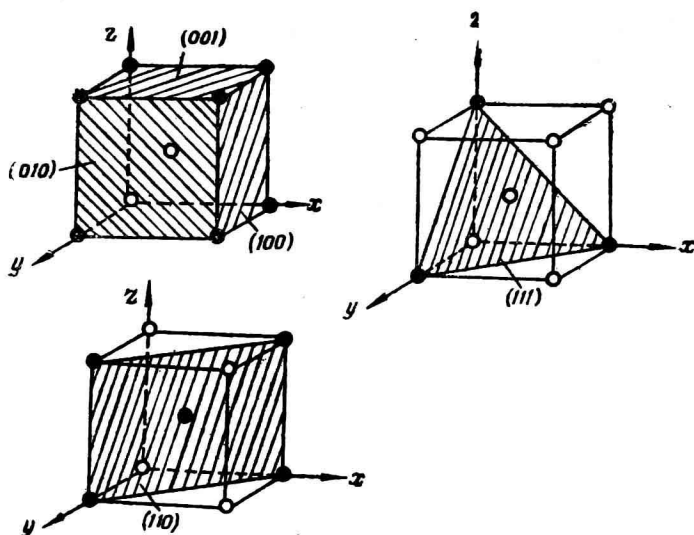


图 1-5 立方点阵中三个最重要的晶面及相应的晶面指数

晶面和晶向均可用一定的指数表示之，这种指数分别称为晶面指数和晶向指数。图 1-5 表明立方点阵中三个最重要的晶面及其相应的指数，而图 1-6 则表明立方点阵中三个最重要的晶向及其相应的指数。

晶面指数可按下列步骤来确定：

1) 在点阵中设置参考坐标轴，坐标轴的原点可选为待确定晶面以外的任一原子中心，坐标轴 OX 、 OY 、 OZ 为点阵的三个棱，量度单位分别为相应的三个点阵常数 a 、 b 、 c (对立方点阵而言， $a=b=c$)。

2) 求出待确定晶面在三个坐标轴上的截距并取其倒数。

3) 以最小公倍数乘上述各倒数获得最小整数 h 、 k 、 l ，然后置于圆括弧内，即得晶面指数 (hkl) 。

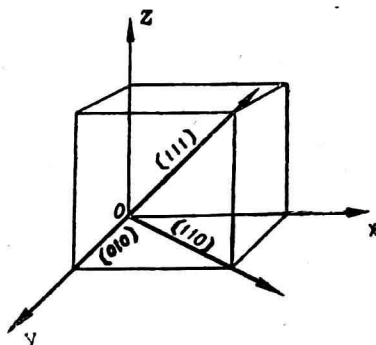


图 1-6 立方点阵中三个最重要的晶向及相应的晶向指数

例如，图 1-7 中所示的晶面，其截距为 2、3、1，倒数为 $\frac{1}{2}$ 、 $\frac{1}{3}$ 、1，以最小公倍

数6乘之,然后将所获得之数值置于圆括弧内,即得晶面指数(326)。

晶向指数则可按下列步骤来确定:

- 1) 将参考坐标的原点置于待确定晶向上的任一原子中心。
- 2) 求出晶向上另一个距原点最近的原子中心的坐标 ua 、 vb 、 wc 。

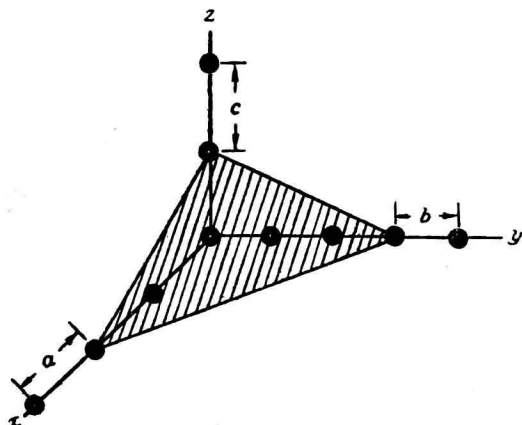


图 1-7 晶面在三个晶轴上的截距 (图中略去了晶轴以外的点阵)

- 3) 将 UVW 置于方括弧内即得晶向指数 $[UVW]$ 。

例如,坐标轴 OX 的晶向指数为 $[100]$, OY 的晶向指数为 $[010]$, OZ 的晶向指数为 $[001]$ 等。

由图1-5和图1-6可以看出,在不同的晶面和晶向上,原子的分布密度是不同的,因而晶体的性能将随着测试方向而异,这种现象称为各向异性。例如,在测试点阵位向一致的铜单晶体的力学性能时,其数值即与测试方向有关:

沿 $[100]$ 晶向: $\sigma_b = 15$ 公斤/毫米², $\delta = 10\%$

沿 $[111]$ 晶向: $\sigma_b = 35$ 公斤/毫米², $\delta = 33\%$

晶体的这种特性是它区别于各向同性的非晶体的一个重要标志。

四、实际金属的结构

实际金属大都为多晶体;与点阵位向一致的单晶体不同,它是由很多点阵位向不相同且外形不规则的‘小晶体’所组成的。如图1-8所示。这些小晶体通常称为晶粒。晶粒间的交界区称为晶界。