

高等专科学校教材

金属工艺学

(热加工)

李景波 主编

机械工业出版社

高等专科学校教材

金属工艺学

(热加工)

主编 李景波
副主编 周应兵 庞国星 艾行爽
参编 张洪讯 董 炯
主审 杨化仁 丛东华

江苏工业学院图书馆
藏书章



机械工业出版社

本教材是根据1991年国家教委审定的《高等学校工程专科金属工艺学课程教学基本要求(机械类专业)》，同时参考了《高等学校工程本科金属工艺学课程教学基本要求(机械类专业)》而编写的。

本书共分四章，主要内容包括：金属材料及热处理基础、铸造、锻压和焊接。书中对于反映国内外80年代水平的新工艺、新技术(如特种铸造、摆动碾压、激光焊接等)也作了一定的介绍。教材力求内容精炼，突出工程应用性和实践性。

本书可作为高等专科学校机械类专业的教材，也可作为电大、职大、夜大、中专机械类专业选用的教材，并可供机械制造工程技术人员参考。

金 属 工 艺 学

(热 加 工)

李景波 主编

*

责任编辑：董连仁 版式设计：冉晓华

封面设计：郭景云 责任校对：姚培新

责任印制：王国光

*

机械工业出版社出版(北京阜成门外百万庄南街一号)

邮政编码：100037

(北京市书刊出版业营业许可证出字第117号)

机械工业出版社京丰印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

*

开本787×1092¹/₁₆·印张10.5·字数251千字

1996年10月第1版第1次印刷

印数 0 001—9 000 定价：11.50元

*

ISBN 7-111-05107-6/TG·1069 (课)

凡购本书，如有缺页、倒页、脱页，由本社发行部调换

ISBN 7-111-05107-6



9 787111 051077 >

前 言

本教材是根据1991年国家教委审定批准的《高等学校工程专科金属工艺学课程教学基本要求(机械类专业)》,同时参考了1993年国家教委审定批准的《高等学校工程本科金属工艺学课程教学基本要求(机械类专业)》而编写的。与本书配套使用的教材有王志海主编,机械工业出版社出版的《金属工艺学(冷加工)》。

本书的主要内容包括:金属材料及热处理基础、铸造、锻压和焊接。在编写过程中,编者从以下几个方面作了一定的努力和考虑。

(1)以高等学校工程专科金工课教学基本要求为主要依据,同时参考了高等学校工程本科金工课教学基本要求,以便使本书既满足工程专科(机械类专业)教学的基本要求,又适用于工程本科(机械类专业)教学的需要。

(2)本书内容力求重点突出、少而精、深入浅出、通俗易懂,以适应减少理论课堂教学时数、增加实践教学环节的改革需要。

(3)注重提高教材的编写质量,注重应用理论和应用技术,强调理论联系实际。

(4)考虑了与《金工实习》的分工和衔接,尽量避免不必要的重复。对金工实习中进行的各种热加工方法只作了归纳、总结和扩充,不论述具体操作过程和方法。

(5)本书对反映现代水平的新工艺、新技术作了一定的介绍,如特种铸造、摆动碾压、激光焊接等。

(6)全书采用了新的国家标准和法定计量单位。

本书由沈阳工业高等专科学校李景波任主编;济南交通高等专科学校周应兵、华北航天工业学院庞国星、丹东纺织高等专科学校艾行爽任副主编。参编人员有:武汉建筑高等专科学校张洪讯,丹东纺织高等专科学校董炯。

本书由沈阳工业高等专科学校杨化仁教授、丛东华副教授担任主审,并经金工教材审稿会讨论通过。

由于编者水平有限,编写时间仓促,书中一定存在缺点和错误,恳切希望广大读者批评指正。

编者

1995年9月

目 录

前言		四、综合分析举例	53
绪论	1	第三节 特种铸造	54
第一章 金属材料及热处理基础	2	一、熔模铸造	54
第一节 金属的晶体结构与结晶	2	二、金属型铸造	55
一、金属的晶体结构	2	三、压力铸造	57
二、合金的晶体结构	4	四、低压铸造	60
三、金属的结晶	5	五、离心铸造	61
四、金属的同素异构转变	6	六、连续铸造	62
五、二元合金相图概述	7	七、各种铸造方法比较	63
第二节 金属材料的性能	8	第四节 常用合金铸件的生产	64
一、金属材料的力学性能	8	一、铸铁件生产	64
二、金属材料的物理与化学性能	12	二、铸钢件生产	68
三、金属材料的工艺性能	13	三、铜、铝合金铸件的生产	70
第三节 铁碳合金	13	第五节 铸件结构设计	73
一、铁碳合金的基本组织	13	一、铸件结构与合金铸造性能的关系	73
二、铁碳合金相图	14	二、铸件结构与砂型铸造工艺的关系	77
三、典型铁碳合金的结晶过程及组织转变	16	三、铸件结构与特种铸造的关系	78
第四节 钢的分类、牌号和应用	21	简介	78
一、钢的分类	21	习题	79
二、碳素钢	22	第三章 锻压	82
三、合金钢	25	第一节 金属的塑性变形	82
第五节 钢的热处理	27	一、金属塑性变形的实质	82
一、钢的热处理原理	27	二、金属的冷变形强化、回复及再结晶	84
二、钢的热处理工艺	30	三、锻造纤维流线及锻造比	84
习题	34	四、金属的锻造性能	85
第二章 铸造	35	第二节 自由锻	87
第一节 合金的铸造性能	35	一、自由锻设备	87
一、合金的流动性与充型能力	36	二、自由锻的基本工序	88
二、合金的收缩	37	三、自由锻工艺规程的制定	89
三、铸件中的缩孔和缩松	38	四、自由锻件的结构工艺性	94
四、铸件的变形和裂纹	40	第三节 模锻	95
五、铸件中的气孔	43	一、锤上模锻	95
第二节 砂型铸造	44	二、胎模锻	98
一、造型材料的制备	44	三、其他模锻	100
二、造型方法的选择	45		
三、铸造工艺图的制定	47		

IV

第四节 板料冲压	102	三、电渣焊	137
一、冲压设备	103	四、等离子弧焊接与切割	138
二、冲压基本工序	103	五、电子束焊	139
三、冲模的分类及构造	108	六、激光焊	140
四、冲压件的结构工艺性	109	七、电阻焊	140
第五节 其他压力加工方法简介	111	八、摩擦焊	143
一、精密模锻	111	九、钎焊	143
二、零件的挤压	111	第三节 常用金属材料的焊接	144
三、零件的轧制	114	一、金属材料的焊接性	144
四、摆动碾压	115	二、碳钢的焊接	145
五、拉拔	116	三、低合金结构钢的焊接	145
六、超塑性成形	116	四、奥氏体不锈钢的焊接	147
习题	118	五、铸铁的补焊	148
第四章 焊接	121	六、有色金属的焊接	149
第一节 手弧焊	121	第四节 焊接结构设计	150
一、焊接电弧	121	一、焊接结构材料的选择	150
二、手弧焊设备	123	二、焊接方法的选择	150
三、手弧焊的冶金过程特点	125	三 焊接接头工艺设计	151
四、电焊条	125	第五节 焊接检验	155
五、焊接接头的金属组织与性能	129	一、焊接缺陷	155
六、焊接应力与变形	131	二、焊接检验的种类及方法	157
第二节 其他焊接方法	134	习题	159
一、埋弧焊	134	主要参考文献	161
二、气体保护电弧焊	135		

绪 论

金属工艺学是一门研究金属材料加工工艺方法的综合性技术学科。其主要的内容包括：钢铁冶炼、金属材料与热处理、铸造、锻压、焊接、切削加工等部分。一般将铸造、锻压、焊接和热处理等工艺称为热加工；切削加工称为冷加工。

在机械制造业中，通常先用铸造、锻压或焊接等方法将金属材料制成毛坯，再经切削加工制成供装配用的机械零件。有时，用铸造、锻压、焊接等工艺方法也可以直接生产零件。为了改善和获得金属材料的某些性能，还要进行热处理，最后将零件装配成机器。金属的热加工是各类机械制造生产中不可缺少的重要环节。

金属工艺学是人类长期生产实践中发展起来的一门学科。我国是发现和应用金属材料最早的国家，远在新石器时代的仰韶文化（距今约6000年）开始，就已会炼制和应用黄铜。商周时期，青铜冶炼、铸造技术已达到很高的水平。从安阳出土的司母戊大鼎，重875kg，直径1m有余，造型精致，美观瑰丽，距今已有3000多年的历史。战国时已开始大量使用铁器，广泛应用于辘轳、滑轮、绞车以及各种兵器、战车和战船中。秦汉时期，金属材料的冶铸、锻焊技术已达到相当高的水平，出现了齿轮和链条等传动系统。从秦公一号墓出土的铁铲、铁权，比世界上发现最早的铁器工具要早1800多年。与此同时，我国劳动人民在长期的生产实践中，总结出一套较完整的金属加工工艺经验，例如，在东汉班固的《汉书》、宋代沈括的《梦溪笔谈》、明代宋应星的《天工开物》等著作中，都记载了冶炼、铸造、锻焊和热处理等各种金属加工方法。尤其是《天工开物》，可谓是一部金属材料加工工艺的“百科全书”，是世界上最早的金屬加工工艺的科学著作，反映了我国劳动人民在金属工艺方面的卓越成就。

近些年来，我国的机械制造业和金属加工工艺等技术都有了很大的发展，已经建成了机械制造、冶金、交通运输、石油化工、航空航天、精密仪表等许多现代化的工业生产基地，为工业、农业、科技、国防提供了大量的机械和设备，为国民经济的发展奠定了坚实的基础。同时，现代化的机械制造先进技术在我国已得到了广泛的应用。

金属工艺学（热加工）的主要内容包括：金属材料及热处理基础、铸造、锻压和焊接等四部分。学习本课程的主要目的，是使学生了解常用金属材料的性能及其热加工工艺，并为后续课的学习和进行课程设计、毕业设计等打下必要的基础，也为今后从事技术工作奠定机械制造方面的热加工工艺基础。由于本课程实践性比较强，因而在学习前应通过教学实习获得热加工的各种方法，以及所用设备和工具等感性知识，掌握初步的实践技能。

本课程的主要任务，是使学生掌握以下基本内容：

- （1）了解常用金属材料的主要性能、应用范围和选用原则。
- （2）初步掌握各种主要热加工方法的基本原理、特点和应用范围。
- （3）了解各种金属进行热加工所用设备和工具的基本特点。
- （4）了解零件的结构工艺性和常用金属材料的加工工艺。

本课程涉及到各种热加工工艺，因此在学习过程中应联系有关的基础课知识和教学实习中的实践知识，以加深理解。本课程又是学生所学专业的重要技术基础课，因而在学习过程中，不但要掌握理论知识，还要做到理论联系实际，重视在实践性教学环节中培养和提高自己的能力，为以后从事的技术工作打下坚实的基础。

第一章 金属材料及热处理基础

第一节 金属的晶体结构与结晶

一、金属的晶体结构

(一) 金属的特性

固态物质可分为晶体和非晶体两类。在自然界中,除了少数物质如松香、玻璃、石蜡等以外,大多数是晶体。晶体的主要特点是原子在三维空间有规则的排列,其次是具有一定的熔点和各向异性,并具有正的电阻温度系数。晶体的这些特点,也恰好反映了金属晶体的特性。常用固态金属都是晶体。

(二) 金属键

金属原子结构的特点是其最外层电子的数目较少,一般只有1~2个,最多不超过4个。而最外层电子与原子核的结合力较弱,很容易脱离原子核的束缚变成自由电子而为整个金属晶体所共有。金属正离子与带负电的自由电子间的静电作用,使金属原子结合起来形成金属整体,这种结合方式称为金属键。

(三) 晶体结构的基本知识

1. 晶格 在晶体中,原子排列的横型如图1-1a所示。若把原子看成一个点,它们在空间有规律的排列就可以用假想的线条把各点连结起来,形成一个空间格架,这个空间格架叫做晶格,如图1-1b所示。

2. 晶胞 由于晶体中原子的排列具有周期性特点,因而为了研究方便,通常从晶格中选取一个能够完全反映晶格特征的、最小的空间几何单元来表征晶体中原子排列的规律,这个最小的空间几何单元称为晶胞,如图1-1c所示。

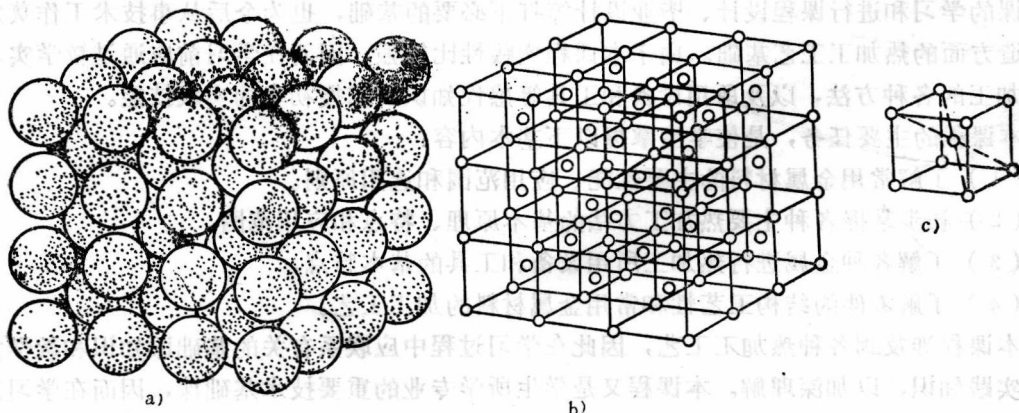


图1-1 晶体中原子排列示意图

a) 原子排列模型 b) 晶格 c) 晶胞

3. 晶格常数 为了研究晶体结构的需要,通常用晶格常数来表示晶胞的几何形状和大

小,即以晶胞的棱边长度 a 、 b 、 c 及棱边夹角 α 、 β 、 γ 来表示,如图1-2所示。晶胞的三个坐标轴以 X 、 Y 和 Z 表示,规定在原点的前、右、上方为正;反之为负。

(四) 常见的金属晶体结构

不同的金属具有不同的晶体结构。实验证明,除少数金属具有复杂的晶体结构外,大多数金属都具有比较简单的晶体结构,其中最常见的晶体结构类型有三种,即体心立方晶格、面心立方晶格和密排六方晶格。

1. 体心立方晶格 这种晶格的晶胞是一个立方体,原子排列在立方体的八个顶角和中心,如图1-3所示。具有体心立方晶格的金属有 α -Fe、Cr、W、Mo、V等。

在体心立方晶胞中,每个角上的原子属于这个晶胞的只有 $1/8$;而体心的原子只属于这个晶胞。体心立方晶胞占有的原子数为: $8 \times 1/8 + 1 = 2$ 个原子。

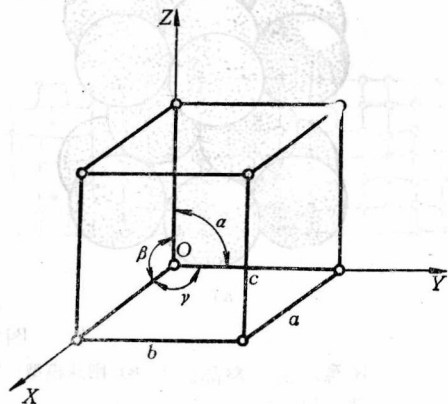


图1-2 晶格常数

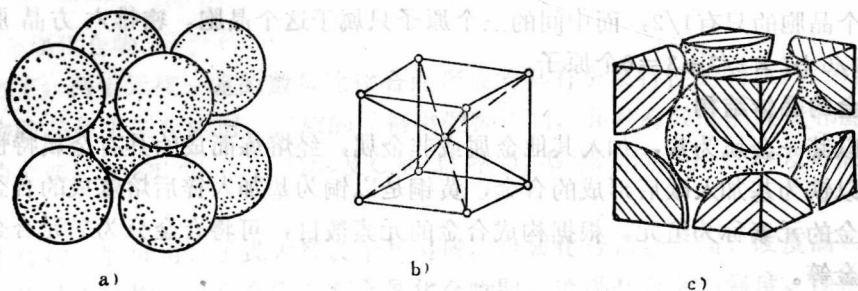


图1-3 体心立方晶胞

a) 钢球模型 b) 晶格模型 c) 晶胞占有原子数

2. 面心立方晶格 这种晶格的晶胞也是一个立方体,原子排列在立方体的八个顶角和六个表面的中心,如图1-4所示。具有面心立方晶格的金属有 γ -Fe、Al、Cu、Ni、Pb等。

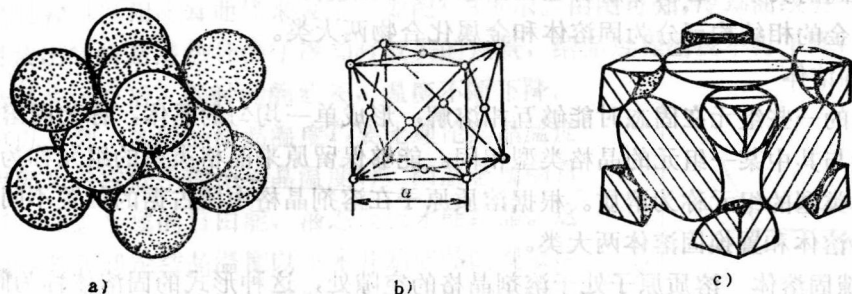


图1-4 面心立方晶胞

a) 钢球模型 b) 晶格模型 c) 晶胞占有原子数

同样,面心立方晶胞中每个角上的原子属于这个晶胞的只有 $1/8$;而每一面心上的原子属于这个晶胞的只有 $1/2$ 。面心立方晶胞占有的原子数为: $8 \times 1/8 + 6 \times 1/2 = 4$ 个原子。

3. 密排六方晶格 这种晶格的晶胞是一个六方柱体,原子排列在六方柱体的十二个顶

角、上下底面的中心和柱体中心，如图1-5所示。具有这种晶格的金属有Mg、Zn、Be、Cd、 α -Ti等。

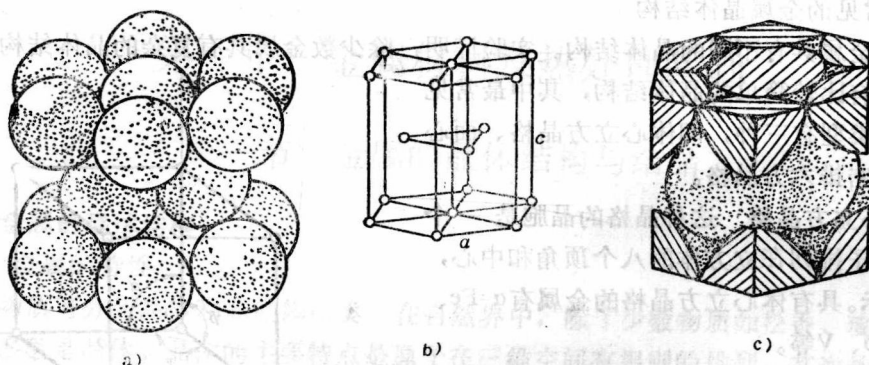


图1-5 密排六方晶胞

a) 刚球模型 b) 晶格模型 c) 晶胞占有原子数

在密排六方晶格的晶胞中，每个角上的原子属于这个晶胞的只有 $1/6$ ，上下底面中心的原子属于这个晶胞的只有 $1/2$ ，而中间的三个原子只属于这个晶胞。密排六方晶胞占有原子数为： $12 \times 1/6 + 2 \times 1/2 + 3 = 6$ 个原子。

二、合金的晶体结构

合金是以某一金属为基，加入其他金属或非金属，经熔炼而成的具有金属特性的物质。如碳素钢是以铁为基加入碳后形成的合金；黄铜是以铜为基加入锌后熔炼成的合金等。

组成合金的元素称为组元，根据构成合金的元素数目，可将合金分为二元合金、三元合金、四元合金等。

组元之间常以不同的结合方式，如相互溶解或化合等形成一定晶体结构的相存在于合金的内部。相是指合金中结构相同、成分和性能均一并以界面相互分开的组成部分。合金在固态下可以由均匀的单相组成，也可以由几个不同的相构成多相合金。合金的性能，一般都是由组成合金的各相成分、结构、形状、性能和各相的组合情况所决定的。为了研究合金的组织与性能之间的关系，必须了解合金在固态下相的结构。

固态合金的相结构可分为固溶体和金属化合物两大类。

(一) 固溶体

合金中的一些组元在固态时能够互相溶解，形成单一均匀的晶体，称为固溶体。固溶体的晶格类型与其中某一组元的晶格类型相同。能够保留原来晶格类型的组元称为溶剂，不保持原来晶格类型的组元称为溶质。根据溶质原子在溶剂晶格中所占据的位置不同，固溶体可分为间隙固溶体和置换固溶体两大类。

1. 间隙固溶体 溶质原子处于溶剂晶格的空隙处，这种形式的固溶体称为间隙固溶体。形成间隙固溶体的溶质原子尺寸一般都比较小，通常是一些原子半径小于 $1 \text{ \AA}$ 的非金属元素，如H、B、C、N等。

2. 置换固溶体 溶质原子占据溶剂晶格的某些结点位置。也就是说，溶剂晶格中某些结点的原子被溶质原子所代替（置换）形成的固溶体，称为置换固溶体。

$\ominus 1 \text{ \AA} = 0.1 \text{ nm} = 10^{-10} \text{ m}$ 。

两类固溶体的示意图,如图1-6所示。

无论形成何种固溶体,都会引起溶剂晶格的歪扭和畸变,如图1-7所示。由于晶格产生了歪扭和畸变,因而晶体的塑性变形抗力增加,即提高了合金的强度和硬度,这种现象叫做“固溶强化”。

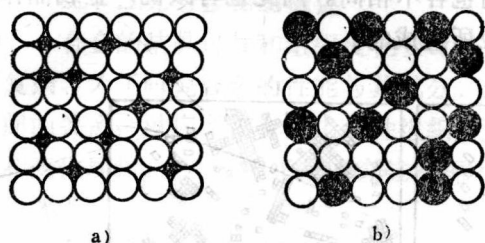


图1-6 固溶体结构示意图

a) 间隙固溶体 b) 置换固溶体

●—溶质原子 ○—溶剂原子

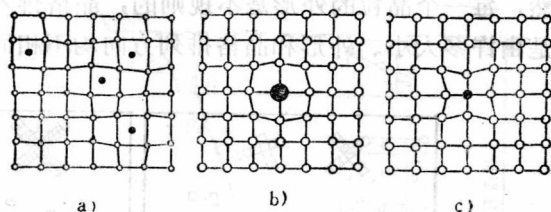


图1-7 固溶体的晶格畸变示意图

a) 间隙固溶体 b)、c) 置换固溶体

(二) 金属化合物

在固态下,两组元按一定的数量比化合而形成的具有金属特性的物质,称为金属化合物。金属化合物的晶格类型与溶剂、溶质的晶格类型都不同,并具有较高的硬度和脆性。例如Fe和C形成的金属化合物 Fe_3C ,它与Fe及C的晶格类型都不同,并比Fe及C的硬度和脆性都高。

金属化合物一般可用分子式大致表示其组成。金属化合物熔点高、硬度高、脆性大,大都具有复杂的晶体结构。当合金中含有金属化合物时,能提高合金的强度、硬度和耐磨性,但会降低塑性。金属化合物是合金中的强化相。

三、金属的结晶

(一) 金属结晶的条件

金属从液态转变为固态晶体的过程称为结晶。纯金属的结晶是在一定温度下恒温进行的。其结晶过程可以用冷却曲线来表示,如图1-8所示。由图可知,冷却曲线有一水平线段,因为结晶时放出的结晶潜热补偿了冷却时散失的热量,结晶过程温度不再下降,所以有此水平线段。结晶终了之后,随着时间的延长,温度不断下降。

从图中还可以看到,实际的结晶温度 T_n 要比理论结晶温度 T_0 低,这里因为只有低于理论结晶温度时,固态金属的自由能才能低于液态金属的自由能,液态金属才能结晶。这种液态金属冷却到理论结晶温度以下才开始结晶的现象叫做过冷。理论结晶温度与实际结晶温度之差 ΔT ,即 $\Delta T = T_0 - T_n$ 称为过冷度。由此可知,液态金属结晶的条件就是必须具有一定的过冷度。而且过冷度愈大,结晶就愈容易。

(二) 金属结晶的基本过程

液态金属结晶时,首先在液态金属中形成固态小质点,即晶核。然后这些晶核不断凝聚液体中的原子继续长

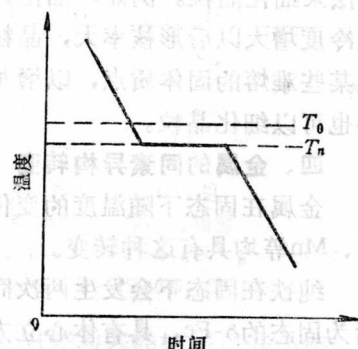


图1-8 纯金属冷却曲线

T_0 —理论结晶温度 T_n —实际结晶温度

大，与此同时，液态金属中又产生第二批晶核。依次类推，原有的晶核不断长大，同时又不产生新的晶核，这样液态金属愈来愈少，直到各个晶体相互接触，液态金属全部转变成固态金属为止，如图1-9所示。由前述可知，金属结晶过程是由晶核的形成和晶核的长大两个过程组成。由一个晶核长成的晶体，就是一个晶粒。固态金属是由许多晶核长大并形成晶粒后镶嵌为一体而组成的多晶体。晶粒是构成金属晶体的最小单位。晶粒之间接触面叫做晶界。显然，每一个晶粒的外形是不规则的，晶格排列的方向也各不相同。因此也可以说，金属晶体是由许多大小、外形和晶格排列方向均不相同的晶粒所组成的。

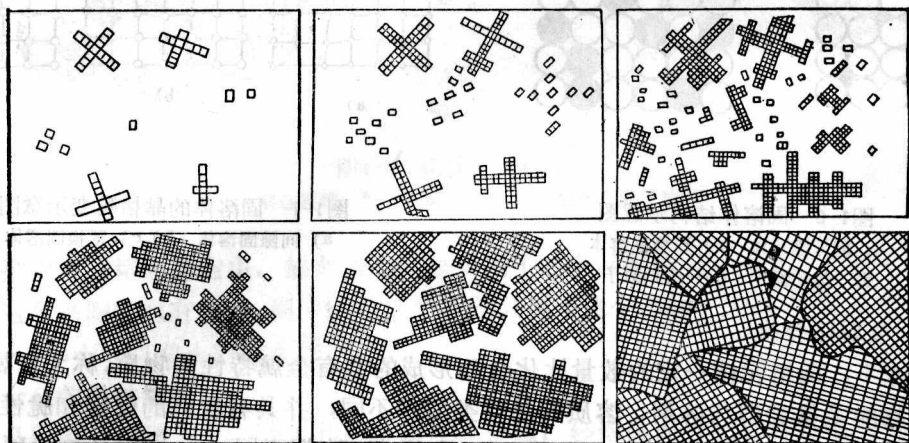


图1-9 金属结晶的基本过程示意图

晶核的形成有两种：一种为自发形核，即液态金属在过冷度条件下，大于临界尺寸的晶胚成为结晶核心，这种由液态金属原子自己规则排列所形成的晶核，称为自发形核；另一种为非自发形核，即依靠液态金属中某些现成的固态质点做为结晶核心进行结晶，这种形核方式称为非自发形核。非自发形核在金属结晶过程中起到非常重要的作用。

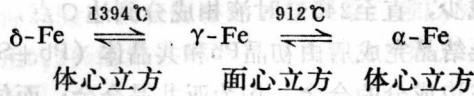
(三) 晶粒大小对金属性能的影响

金属的晶粒大小是影响力学性能的重要因素。细化晶粒，不仅能够提高金属材料的强度和硬度，而且也能提高塑性和韧性。因此，为了提高金属材料的力学性能，往往要通过各种方法来细化晶粒。例如，细化铸态组织的方法大致有：①通过加大过冷度来细化晶粒，因为过冷度增大以后形核率大，晶粒数目就多；②通过变质处理来细化晶粒，即在液态金属中加入某些难熔的固体质点，以增加非自发形核的晶核数目。另外，通过反复锻压或热处理等方法也可以细化晶粒。

四、金属的同素异构转变

金属在固态下随温度的变化而发生晶格类型的转变称为同素异构转变。少数金属如Fe、Ti、Mn等均具有这种转变。

纯铁在固态下会发生两次同素异构转变，如图1-10所示。由图可知，纯铁自1538℃结晶后为固态的 δ -Fe，具有体心立方晶格；当冷却到1394℃后将转变成面心立方晶格的 γ -Fe；继续冷却至912℃后又转变为体心立方晶格的 α -Fe。纯铁在加热过程中会发生逆转变。纯铁在冷却和加热时的同素异构转变可表示为



纯铁的这种特性，使钢铁材料可以采用不同的热处理，通过改变其晶体结构和组织成分来获得工程上所需要的性能。

五、二元合金相图概述

合金的结晶过程和组织变化要比纯金属复杂。为了研究合金的性能与其成分、组织间的关系，就应了解合金中各种组织的形成和变化规律。合金相图正是研究这些规律的重要工具。

合金相图是表示在平衡条件下合金的组织与成分、温度之间关系的图解，它为制定铸造、锻压、焊接、热处理等热加工工艺提供了重要依据。

合金的结晶是在一个温度范围内进行的。合金的成分不同，其结晶的温度范围也不同。合金的结晶过程，可由不同成分的合金所形成的冷却曲线为依据所绘制成的相图来分析。

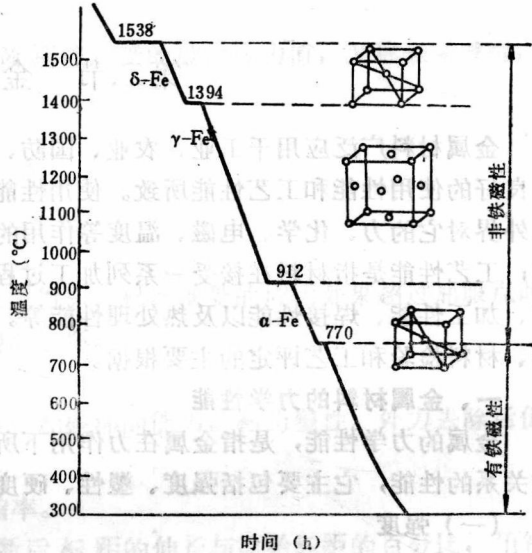


图1-10 纯铁的同素异构转变

现以Pb、Sb二元合金为例，说明二元合金相图的构成方法。将Pb、Sb配制成几组(这里为六组，即I~VI)不同成分的合金，用实验方法分别作出它们的冷却曲线，找出它们开始结晶和结晶终了的温度点，把这些温度点表示到“温度—成分”坐标系中相应的位置上，并将相同意义的点连接起来，就得到Pb—Sb二元合金相图，如图1-11所示。

图中AC、BC线为各合金的开始结晶温度线，叫液相线；DCE为各合金结晶终了的温度线，叫固相线。成分为Pb87%和Sb13%的合金，冷却到C点(245°C)时开始结晶并同时从液相中结晶出Fb和Sb的晶体。这种同时从液相中结晶出两种固体的转变叫做共晶转变，所得到的组织称为共晶组织或共晶体。共晶体是两种不同成分的固体构成的机械混合物。成分为Pb90%和Sb10%的合金，冷却到大约260°C时，将从液相中先结晶出铅晶体，称为初晶；温度继续下降时，不断从液相中结晶出

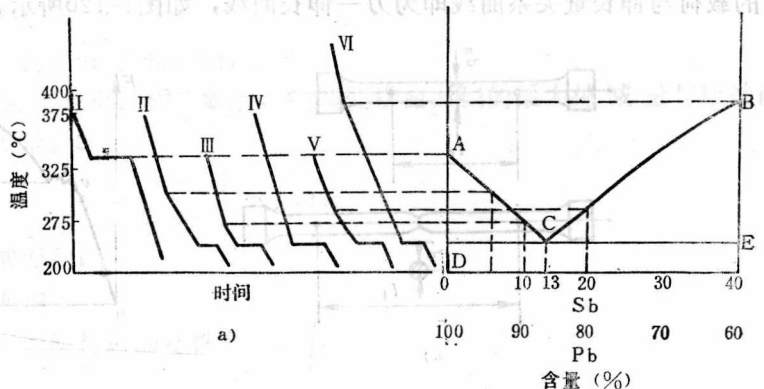


图1-11 铅锑二元合金的冷却曲线和相图

a) Pb—Sb合金的冷却曲线 b) Pb—Sb合金相图

I—Pb100% II—Pb95%, Sb5% III—Pb90%, Sb10% IV—Pb87%
Sb13%, V—Pb80%, Sb20% VI—Pb60%, Sb40%

同时从液相中结晶出两种固体的转变叫做共晶转变，所得到的组织称为共晶组织或共晶体。共晶体是两种不同成分的固体构成的机械混合物。成分为Pb90%和Sb10%的合金，冷却到大约260°C时，将从液相中先结晶出铅晶体，称为初晶；温度继续下降时，不断从液相中结晶出

铅晶体，液相中含Pb量减少，直至 245°C 时液相成分到达C点，这时将发生共晶转变，得到共晶体。此时成分的合金结晶完成后由初晶Pb和共晶体(Pb+Sb)两部分组成，称为亚共晶合金。凡成分位于C点左边成分的合金，均为亚共晶合金；而位于C点右边成分的合金，将会得到初晶Sb和共晶体(Pb+Sb)，则称为过共晶合金。

二元合金的相图有多种类型，这要根据具体情况具体分析。

第二节 金属材料的性能

金属材料广泛应用于工业、农业、国防、科技以及人民日常生活用品中，这是因为它具有良好的使用性能和工艺性能所致。使用性能是指材料制成工件后在使用过程中能适应或抵抗外界对它的力、化学、电磁、温度等作用的能力，包括力学性能、物理性能、化学性能等；工艺性能是指材料在接受一系列加工过程中能适应的能力，包括铸造性能、可锻性能、加工性能、焊接性能以及热处理性能等。力学性能指标是工程中进行设计计算、材料选用、材料检验和工艺评定的主要根据。

一、金属材料的力学性能

金属的力学性能，是指金属在力作用下所显示与弹性和非弹性反应相关或涉及应力—应变关系的性能，它主要包括强度、塑性、硬度、冲击韧性和抗疲劳性等。

(一) 强度

强度是金属材料在外力作用下抵抗塑性变形和断裂的能力。最常用的强度指标是屈服点和抗拉强度。

将金属材料制成标准拉伸试样(图1-12a)，然后将试样夹在试验机的夹头上，缓慢地施加轴向静拉伸载荷。随着载荷的不断增大，试样伸长，截面缩小，直至断裂。通过试验测得的载荷与伸长量关系曲线即为力—伸长曲线，如图1-12b所示。

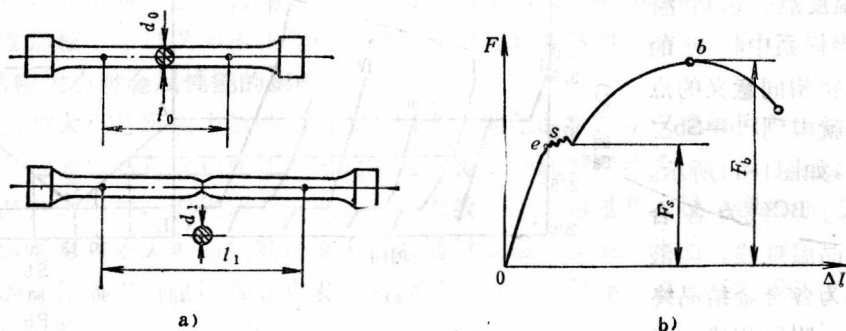


图1-12 低碳钢拉伸试样和力—伸长曲线

a) 拉伸试样 b) 低碳钢力—伸长曲线

1. 屈服点 屈服点是指试样在试验过程中力不增加(保持恒定)仍能继续伸长(屈服)时的应力，用符号“ σ_s ”表示。即

$$\sigma_s = \frac{F_s}{A_0}$$

式中 F_s ——试样发生屈服时的载荷，即试样产生屈服时所承受的拉伸力；

A_0 ——试样的原始横截面积。

由于不少金属材料在拉伸试验中没有明显的屈服现象，难以测出屈服点，故工程上规定产生一定量的塑性变形（常用0.2%的塑性变形）作为条件屈服点，此时屈服点用 $\sigma_{0.2}$ 表示，即

$$\sigma_{0.2} = \frac{F_{0.2}}{A_0}$$

式中 $F_{0.2}$ ——产生0.2%塑性变形时的载荷。

2. 抗拉强度 抗拉强度是指试样在拉断前所能承受的最大应力值，又称强度极限，以符号“ σ_b ”表示，即

$$\sigma_b = \frac{F_b}{A_0}$$

式中 F_b ——试样拉断前所承受的最大载荷；

A_0 ——试样原横截面积。

屈服点和抗拉强度是工程上应用最多的强度指标。材料承受的应力如果超过屈服点时要产生塑性变形；当超过抗拉强度时要产生断裂而破坏。

（二）塑性

金属材料在外力作用下产生永久变形而不引起破坏的能力，称为塑性。外力去除后仍能保留的变形为永久变形，即塑性变形。

常用的塑性指标是断后伸长率和断面收缩率。

1. 断后伸长率 断后伸长率是指试样拉断后标距的伸长与原始标距的百分比，用符号“ δ ”表示。即

$$\delta = \frac{l_1 - l_0}{l_0} \times 100\%$$

式中 l_1 ——试样拉断后对接的标距长度；

l_0 ——试样原始标距长度。

断后伸长率的数值愈大，表明该材料的塑性愈好。

2. 断面收缩率 断面收缩率是指试样拉断后，缩颈处横截面积的最大缩减量与原始截面积的百分比，用符号“ ψ ”表示。即

$$\psi = \frac{A_0 - A_k}{A_0} \times 100\%$$

式中 A_k ——缩颈处最小横截面积；

A_0 ——试样原始横截面积。

断面收缩率的数值愈大，表明材料的塑性愈好。

（三）硬度

硬是指材料抵抗局部变形，特别是塑性变形、压痕或划痕的能力。实际上，硬度是表征材料弹性、塑性、强度和韧性等性能的一个综合物理量，是衡量金属材料软硬程度的一个指标。材料的硬度值可通过硬度试验机得到，最常用的是布氏和洛氏两种硬度值。

1. 布氏硬度 布氏硬度的测定方法，是以规定的载荷 F ，把直径为 D 的淬火钢球（见图1-13）或硬质合金球压入试样表面，并保持一定时间后卸除。由钢球的压痕深度或直径可求出压痕表面积上的平均应力值。此平均应力值即定义为布氏硬度值，以HBS(HBW)表示，即

$$HBS(HBW) = \frac{F}{A} = 0.102 \frac{2F}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})}$$

式中 F ——所加载荷 (N);
 A ——压痕表面积 (mm^2);
 D ——球体直径 (mm);
 d ——压痕平均直径 (mm)。

根据GTB231—84《金属布氏硬度试验方法》规定,压头为淬火钢球的,适用于测定布氏硬度值小于450的材料硬度,用HBS表示;压头为硬质合金球时,选用于测定布氏硬度值小于650的材料硬度,用HBW表示。

2. 洛氏硬度 洛氏硬度试验是在一定的载荷下将一定形状和尺寸的金刚石圆锥或淬火钢球压入试样表面,用残余压入深度的增量来计算硬度值。金刚石圆锥为120°的圆锥体,如图1-14所示;钢球的直径为1.588mm。试验时,无论采用何种压头,均需加98.07N的初载荷,然后再加载荷。加初载荷是为了消除试样表面状态的影响。

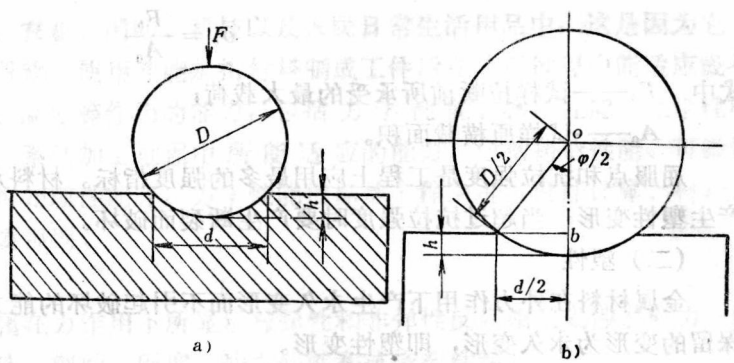


图1-13 布氏硬度试验原理
a) 钢球压入 b) 压痕测量

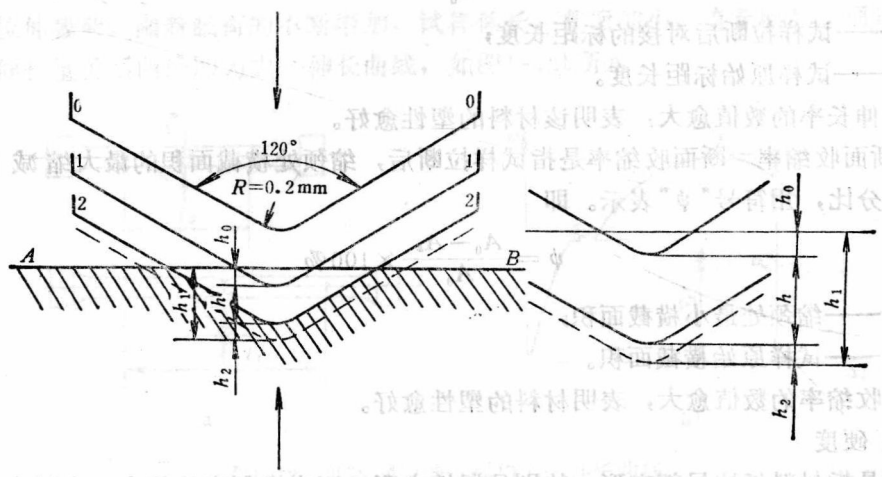


图1-14 洛氏硬度试验过程

洛氏硬度值是用洛氏硬度相应标尺满量程值与残余压痕深度增量之差来计算的。根据所用压头和载荷的不同,常用的洛氏硬度可分为HRA、HRB、HRC等几种标度。使用金刚石圆锥压头,初载荷与主载荷共588.4N条件下试验所测洛氏硬度值用HRA表示;使用钢球直径为1.588mm的压头,总载荷为980.7N条件下试验所测洛氏硬度值用HRB表示;使用金刚石圆锥压头,总载荷为1471.0N条件下试验所测洛氏硬度值用HRC表示。

金刚石圆锥压头试验时的情况如图1-14所示。 AB 为试样表面，当加98.07N初载荷时，金刚石圆锥自0—0位置下降至1—1位置，在试样表面产生深度 h_0 的压痕。加主载荷后，则产生深度为 h_1 的压痕。卸除主载荷后，由压痕的弹性变形而弹回 h_2 ，金刚石圆锥回到2—2位置。硬度值以施加主载荷后的压痕深度差 h 为基础，即

$$\text{HRC(或HRA)} = \frac{K - (h_1 - h_2 - h_0)}{c} = \frac{K - h}{c}$$

式中 K ——常数；

c ——为一个硬度单位，取 $c = 0.002\text{mm}$ 。

洛氏硬度为一个无量纲数，是压头压入材料后压痕深浅度的比较，实际应用时可直接从试验机的刻度盘上读出。洛氏硬度试验的压痕小，几乎不损伤成品件表面。HRC可用于测定硬度很高的材料，在热处理质量检查中应用较多，但测定的硬度值不如布氏硬度值准确、稳定，通常需要在试件的不同部位测定三点，取其平均值。

(四) 冲击韧性

许多机器零件在工作过程中往往受到冲击载荷的作用，例如机器启动时连杆与活塞间、齿轮之间，以及锻锤、凿岩机零件、风镐零件等都产生冲击。

载荷以快速或突然地作用于工件时，就会产生冲击，金属材料在断裂前吸收变形能量的能力称为冲击韧性。由于冲击作用所引起的变形和应力要比静载荷大，因此在设计有关零件时必须考虑所用材料的冲击韧性。

金属材料的冲击韧性是用冲击韧度来衡量的。冲击韧度是用标准试样在冲击试验机上测定的，如图1-15所示。将试样制成标准冲击试样（V型缺口或U型缺口试样）放在试验机的两个支承上，试样缺口背向摆锤的作用方向，将摆锤抬到 H 高度后落下时击断试样，随后摆锤升至 h 高度。摆锤击断试样所消耗的能量，即为冲击载荷使试样折断时所做的功，称为冲击吸收功，用 A_k 表示。 $A_k = G(H - h)$ ， G 为摆锤的重力。

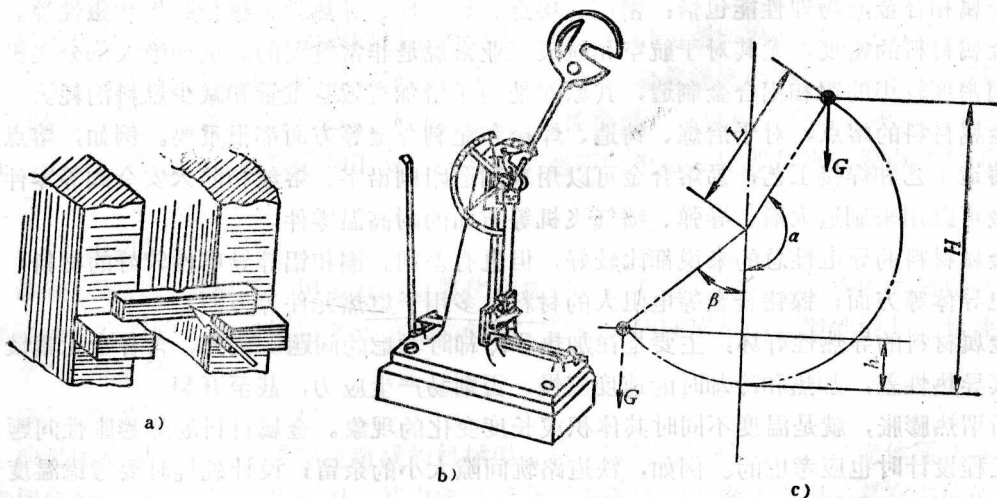


图1-15 摆锤式冲击试验机简图

a) 试样安放位置 b) 试验机 c) 试验前后摆锤位置

用试样缺口处的截面积 A 去除 A_k ，即得到该材料单位截面积上的冲击吸收功，称为冲击韧度，用 α_k 表示，即