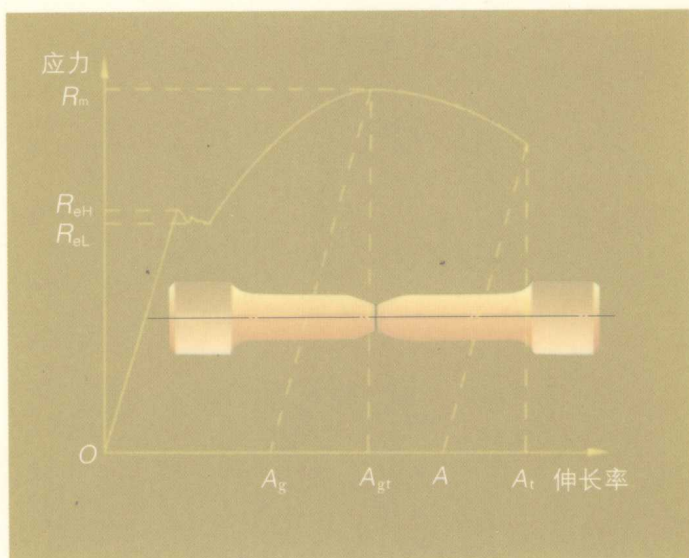


理化检验人员培训系列教材

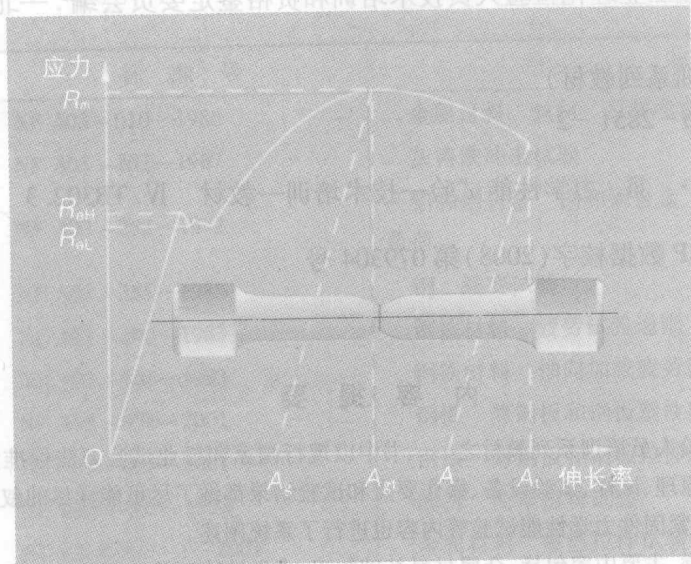


力学性能试验

机械工业理化检验人员技术培训和资格鉴定委员会 编



中国计量出版社
CHINA METROLOGY PUBLISHING HOUSE



力学性能试验

机械工业理化检验人员技术培训和资格鉴定委员会 编



中国计量出版社

CHINA METROLOGY PUBLISHING HOUSE

图书在版编目(CIP)数据

力学性能试验/机械工业理化检验人员技术培训和资格鉴定委员会编. —北京:中国计量出版社,2008. 8

(理化检验人员培训系列教材)

ISBN 978-7-5026-2851-2

I. 力… II. 机… III. 力学性能试验—技术培训—教材 IV. TB302.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 079304 号

内 容 提 要

本书为理化检验人员培训系列教材之一。书中以现行国家和行业试验方法标准为基础,对力学性能试验的方法原理、试样、试验设备、操作要点和试验结果都做了尽可能详尽的叙述。同时,对金属材料基础知识、紧固件力学性能试验等内容也进行了系统阐述。

全书共分十二章,主要内容包括:金属材料基础知识;力学性能试验取样基本知识;金属材料的拉伸试验;金属硬度试验;其他静载下金属力学性能试验;金属冲击试验;金属工艺性能试验;金属疲劳试验;金属断裂韧性试验;金属高温力学性能试验;紧固件力学性能试验;力学性能试验结果的测量不确定度评定。

本书主要供机械行业一、二级理化检验人员《力学性能试验》课程资格培训使用,也可作为三级理化检验人员的基础参考书,同时也可供冶金、有色、航空、航天、兵器等行业从事力学性能试验的工作者以及相关工程技术人员参考。

中国计量出版社 出版

地 址 北京和平里西街甲 2 号(邮编 100013)

电 话 (010)64275360

网 址 <http://www.zgjl.com.cn>

发 行 新华书店北京发行所发行

印 刷 北京长宁印刷有限公司印刷

开 本 787 mm × 1092 mm 1/16

印 张 18.5

字 数 500 千字

版 次 2008 年 8 月第 1 版 2008 年 8 月第 1 次印刷

印 数 1—5 000

定 价 44.00 元

如有印装质量问题,请与本社联系调换

版权所有 不得翻印

理化检验人员培训系列教材

编辑委员会名单

主 任 杨学桐
副 主 任 贺大钝 李建林 阎育镇 房士义
委 员 鄢国强 王 滨 陶美娟 马冲先 蔡宏伟
张宏鹤 巴发海 杨 力 奚建法 王承忠
陈世朴 马宝钿 云大泰 刘世良 申卫东
胡晓燕 林江海 尹绍奎 杨浩义 史秀春

编审人员名单

总 主 编 鄢国强(上海材料研究所教授级高级工程师)

《力学性能试验》

分册主编 王 滨(上海材料研究所教授级高级工程师)
编 写 凌 霄(上海材料研究所高级工程师)
奚建法(上海材料研究所工程师)
丁富连(宝山钢铁股份有限公司研究院高级工程师)
陈运远(上海材料研究所教授级高级工程师)
凌树森(上海材料研究所教授级高级工程师)
高怡斐(钢铁研究总院高级工程师)
徐关根(上海紧固件和焊接材料技术研究所高级工程师)
王承忠(上海钢铁研究所教授级高级工程师)
分册主审 凌树森(上海材料研究所教授级高级工程师)
王承忠(上海钢铁研究所教授级高级工程师)

《金相检验》

- 分册主编** 蔡宏伟(苏尔寿(中国)有限公司高级工程师)
- 编 写** 巴发海(上海材料研究所高级工程师)
- 陆 慧(上海材料研究所工程师)
- 龚应时(上海材料研究所高级工程师)
- 王 荣(上海材料研究所高级工程师)
- 强明道(上海材料研究所高级工程师)
- 李 晋(上海材料研究所教授级高级工程师)
- 杨 力(上海材料研究所高级工程师)
- 张静江(国家机动车产品质量监督检验中心教授级高级工程师)
- 分册主审** 唐汝均(上海材料研究所教授级高级工程师)

《化学分析》

- 分册主编** 马冲先(上海材料研究所教授级高级工程师)
- 编 写** 戴亚明(上海材料研究所高级工程师)
- 李莎莎(上海材料研究所高级工程师)
- 陶美娟(上海材料研究所高级工程师)
- 葛 皓(浙江杭氧研究所高级工程师)
- 胡晓燕(钢铁研究总院教授级高级工程师)
- 张宏鹤(上海材料研究所高级工程师)
- 鄢国强(上海材料研究所教授级高级工程师)
- 分册主审** 吴 诚(上海材料研究所教授级高级工程师)

前言

《理化检验人员培训系列教材》经编委会和编审人员的努力,经过多位专家、作者的辛勤工作,现和广大理化检验人员见面了。

理化检验工作是一项理论和实践性都很强的工作,对于提高机械工业产品的内在质量和企业竞争力,对于开拓市场和提高用户满意度都是十分重要的。而切实提高机械工业理化检验人员的理论水平、业务素质及实际操作能力是当前机械工业理化检验工作的重要环节和基础工作。

机械工业理化检验工作有着非常良好的专业基础和规范性的科学程序,曾为机械工业的发展做出了重要的贡献。近年来,随着机械工业的发展和信息技术在机械工业的广泛应用,新技术、新材料、新仪器、新理论都不断对机械工业理化检验工作提出了新要求,而由于种种原因,机械工业理化检验工作没有得到应有的发展,理化检验人员也没有得到相应的重视和培养,这种局面必须得到改善。

这套教材就是为了在加强机械工业理化检验人员培训过程中,根据现行标准和技术要求精心编写的,作者皆为长期从事该项工作的专家,因此,这套教材具有先进性、

实用性、科学性和权威性。

机械工业理化检验工作一贯得到国家质量监督检验检疫总局有关司局领导的支持和帮助,得到上海材料研究所等单位的支持和协助,对此,一并表示感谢。

杨学平

2008年6月

目 录

第一章 金属材料基础知识	(1)	三、样坯切取	(19)
第一节 金属学与热处理基础		四、试料状态	(20)
知识	(1)	第二节 金属材料试样轴线	(20)
一、金属与合金的晶体结构与		一、无缺口试样的标识	(20)
结晶	(1)	二、缺口(或预裂纹)试样的	
二、金属热处理简介	(5)	标识	(22)
第二节 结构材料对力学性能的要求	(7)	第三节 钢材的取样位置	(22)
一、强度	(7)	一、型钢	(23)
二、塑性	(8)	二、条钢	(24)
三、硬度	(8)	三、钢板	(26)
四、韧性	(8)	四、钢管	(27)
五、成形性	(8)	第四节 焊接接头的取样	(28)
第三节 金属材料的分类	(8)	一、焊接试板的制备	(28)
一、黑色金属材料的分类	(9)	二、样坯的切取	(28)
二、有色金属材料的分类	(13)	思考题	(31)
第四节 常用金属材料牌号的表示		第三章 金属材料的拉伸试验	(32)
方法	(13)	第一节 拉伸过程中的物理现象	
一、钢铁产品牌号表示方法	(13)	及有关术语	(32)
二、铸钢牌号表示方法	(15)	一、应力及应变	(32)
三、铸铁牌号表示方法	(15)	二、拉伸时的物理现象	(33)
四、铸造有色金属及其合金牌号		三、术语	(35)
表示方法	(16)	第二节 金属拉伸试样	(36)
五、变形铝及铝合金牌号表示		一、拉伸试样的分类	(36)
方法	(16)	二、试样的形状及尺寸	(37)
思考题	(17)	三、加工要求	(39)
第二章 力学性能试验取样基本		第三节 试验设备	(40)
知识	(18)	一、拉力试验机	(40)
第一节 试样类型及取样原则 ..	(18)	二、引伸计	(40)
一、力学性能试验的试样		三、高低温试验辅助装置	(41)
类型	(18)	第四节 强度和塑性指标的	
二、取样原则	(18)	测定	(42)
		一、准备工作	(42)

二、强度指标测定	(44)	六、试验报告	(74)
三、塑性指标测定	(49)	七、应用范围及优缺点	(74)
第五节 弹性模量及泊松比的测定	(52)	第二节 洛氏硬度试验	(74)
一、弹性模量的测定	(52)	一、试验原理	(74)
二、泊松比的测定	(54)	二、试样及试验设备	(76)
三、性能的数据修约	(55)	三、试验操作要点	(78)
第六节 应变硬化指数和塑性应变比的测定	(55)	四、试验结果处理	(80)
一、应变硬化指数 n 值的测定	(55)	五、表面洛氏硬度	(80)
二、塑性应变比 r 值的测定	(57)	六、应用范围及优缺点	(81)
第七节 高、低温拉伸试验	(59)	第三节 维氏硬度试验	(81)
一、高温拉伸试验	(59)	一、试验原理	(81)
二、低温拉伸试验	(61)	二、试样及试验设备	(82)
第八节 试验结果的处理及数值修约	(62)	三、试验操作要点	(84)
一、试验结果的处理	(62)	四、试验结果处理	(84)
二、数值修约	(63)	五、维氏硬度和布氏硬度的比较	(85)
三、拉伸试验的力学性能指标修约	(64)	六、应用范围及优缺点	(86)
第九节 影响拉伸试验结果的主要因素	(65)	第四节 肖氏硬度试验	(86)
一、试样形状、尺寸及表面粗糙度的影响	(65)	一、试验原理	(86)
二、试样装夹的影响	(65)	二、试样及硬度计	(86)
三、试验速度的影响	(65)	三、试验操作要点	(87)
第十节 拉伸的弹、塑性变形及断裂特征的应用	(66)	四、试验结果处理	(88)
一、弹性及弹性变形	(66)	五、应用范围及优缺点	(88)
二、塑性及塑性变形	(66)	第五节 里氏硬度试验	(88)
三、断裂	(67)	一、试验原理	(88)
思考题	(68)	二、试验设备	(89)
第四章 金属硬度试验	(69)	三、试样	(89)
第一节 布氏硬度试验	(69)	四、操作要点	(90)
一、试验原理	(69)	五、试验结果处理	(90)
二、相似原理的应用	(70)	六、应用范围及优缺点	(91)
三、试样及试验设备	(71)	第六节 各种硬度及硬度与强度之间的换算	(91)
四、试验操作要点	(72)	思考题	(91)
五、试验结果处理	(74)	第五章 其他静载下金属力学性能试验	(92)
		第一节 金属压缩试验	(92)
		一、压缩试验的工程应用及特点	(92)
		二、压缩试验时的力学分析	(92)
		三、压缩试样	(93)

四、试验设备	(94)	第三节 常温冲击试验	(124)
五、压缩力学性能测定	(95)	一、试验前准备工作	(124)
六、压缩试验的破坏特征	(98)	二、试验操作要点	(125)
第二节 金属弯曲试验	(99)	三、冲击试验结果处理及试验 报告	(126)
一、弯曲试验的工程应用及 特点	(99)	第四节 高温和低温冲击试验 ..	(127)
二、弯曲试验的力学分析	(99)	一、低温冲击试验	(127)
三、弯曲试样	(103)	二、高温冲击试验	(128)
四、弯曲试验设备	(103)	第五节 金属韧脆转变温度及 低温系列冲击	(129)
五、脆性和低塑性材料的弯曲力 学性能测定	(103)	一、金属的冷脆现象及韧脆转变 温度	(129)
第三节 金属扭转试验	(107)	二、转变温度测量方法	(129)
一、扭转试验的工程意义和 特点	(107)	三、剪切断面率的测定	(130)
二、金属材料扭转时的力学 分析	(107)	四、侧膨胀值的测定	(131)
三、扭转试样及试验设备	(109)	第六节 影响冲击性能测定的主要 因素	(132)
四、金属扭转力学性能指标的 测定	(110)	一、与材料有关的因素	(132)
五、扭转试样的断裂分析	(112)	二、与样品取样和制备有关的 因素	(132)
六、全尺寸零部件实体扭转试验 简介	(113)	三、与试验机有关的因素	(133)
第四节 金属剪切试验	(113)	四、与试验过程有关的因素	(133)
一、剪切试验的工程应用及 特点	(113)	第七节 应变时效敏感性试验 ..	(134)
二、金属剪切试验时的力学 分析	(114)	一、试验原理	(134)
三、剪切试样	(115)	二、试样	(134)
四、试验设备	(115)	三、试验操作要点	(134)
五、剪切性能测定	(118)	第八节 落锤试验	(135)
思考题	(119)	一、试验原理	(135)
第六章 金属冲击试验	(120)	二、试样	(136)
第一节 夏比摆锤冲击试验原理	(120)	三、试验装置	(136)
第二节 夏比冲击试样与试验 设备	(121)	四、试验操作要点	(137)
一、试样	(121)	五、落锤试验的应用	(138)
二、冲击试验机	(123)	思考题	(138)
三、温度控制系统	(123)	第七章 金属工艺性能试验	(139)
四、温度测量系统	(124)	第一节 金属弯曲试验	(139)
		一、试样	(140)
		二、试验设备	(142)
		三、试验程序	(143)
		四、试验报告	(144)
		第二节 金属杯突试验	(144)

一、试样	(144)	第四节 低周疲劳试验	(168)
二、试验设备	(144)	一、低周疲劳现象和特点	(168)
三、试验程序	(145)	二、循环应力—应变曲线	(170)
四、试验报告	(146)	三、应变—寿命曲线	(172)
第三节 金属线材扭转试验	(146)	思考题	(173)
一、试样	(146)	第九章 金属断裂韧性试验	(174)
二、试验设备	(147)	第一节 断裂力学的基本概念	(174)
三、试验程序	(147)	一、线弹性断裂力学	(174)
四、试验报告	(148)	二、弹塑性断裂力学	(179)
第四节 金属顶锻试验	(149)	第二节 平面应变断裂韧性 K_{IC}	
一、试样	(149)	测定	(183)
二、试验设备	(149)	一、概述	(183)
三、试验程序	(149)	二、平面应变断裂韧性 K_{IC} 定义	
四、试验报告	(149)	及测试要求	(183)
第五节 金属反复弯曲试验	(150)	三、试样制备	(184)
一、试样	(150)	四、 K_{IC} 计算	(187)
二、试验设备	(150)	第三节 裂纹稳定扩展和非稳定	
三、试验程序	(151)	扩展断裂韧度的测定	(188)
四、试验报告	(152)	一、术语和符号的定义	(188)
第六节 金属线材缠绕试验	(152)	二、断裂韧性 δ 的测定	(192)
一、试样	(152)	三、断裂韧性 J 值的测定	(196)
二、试验设备	(152)	四、阻力曲线 $\delta - \Delta a$, $J - \Delta a$ 和	
三、试验程序	(152)	稳定裂纹扩展下的启裂韧性	
四、试验报告	(152)	$\delta_{0.2BL}$, $J_{0.2BL}$ 和 J_i 的测定	(197)
第七节 金属管材工艺性能		五、 R 曲线图	(198)
试验	(153)	第四节 疲劳裂纹扩展速率 da/dN	
一、金属管扩口试验	(153)	的测定	(200)
二、金属管弯曲试验	(154)	一、疲劳裂纹扩展的特点和	
三、金属管卷边试验	(154)	规律	(200)
四、金属管压扁试验	(155)	二、试样的制备	(201)
思考题	(156)	三、试验方法和试验结果的	
第八章 金属疲劳试验	(157)	处理	(202)
第一节 金属疲劳的基本概念	(157)	思考题	(205)
一、金属疲劳和疲劳试验	(157)	第十章 金属高温力学性能试验	(206)
二、疲劳试验的分类	(157)	第一节 高温力学性能试验的意义	
三、疲劳破坏的特征	(158)	及用途	(206)
第二节 循环载荷及循环应力	(159)	第二节 高温蠕变试验	(206)
第三节 高周疲劳试验	(160)	一、蠕变现象与特征	(206)
一、 $S-N$ 曲线和疲劳极限	(160)	二、蠕变试验	(207)
二、金属弯曲疲劳试验	(161)		

第三节 高温持久强度试验	(212)	三、钢结构用扭剪型高强度螺栓连接副预拉力(紧固轴力)复验	(239)
一、持久强度的定义和技术意义	(212)	四、高强度螺栓连接摩擦面的抗滑移系数试验	(240)
二、持久塑性和缺口敏感性	(212)	思考题	(242)
三、持久强度试验方法	(213)	第十二章 力学性能试验结果的测量不确定度评定	(243)
四、试验数据的处理	(216)	第一节 测量不确定度的定义和分类	(244)
第四节 高温应力松弛试验	(219)	一、测量不确定度的定义	(244)
一、应力松弛的现象和特征	(219)	二、测量不确定度的分类	(244)
二、应力松弛试验方法	(220)	第二节 测量不确定度的评定方法和步骤	(254)
三、数据处理与评定	(225)	一、测量不确定度的评定方法	(254)
第五节 高温强度试验的温度控制与测量	(226)	二、测量不确定度的评定步骤	(255)
一、试验温度控制的要求	(226)	第三节 测量结果与不确定度的有效位数及报告的表示	(256)
二、温度控制系统	(226)	一、测量结果与不确定度的有效位数	(256)
思考题	(227)	二、测量不确定度的报告及表示	(257)
第十一章 紧固件力学性能试验	(228)	第四节 测量不确定度评定在力学试验中的应用实例	(257)
第一节 紧固件基础知识	(228)	一、热轧带肋钢筋拉伸性能测量结果不确定度的评定	(257)
一、螺纹和螺纹紧固件	(228)	二、金属材料维氏硬度试验结果测量不确定度的评定实例	(266)
二、普通螺纹的基本牙型和基本参数	(228)	思考题	(273)
三、普通螺纹标记	(228)	附录 常用国内外力学及工艺性能试验标准目录	(274)
四、紧固件冷墩成型工艺的特点	(229)	参考文献	(284)
五、螺栓螺母性能标记	(230)		
六、常用紧固件的力学性能	(231)		
七、螺栓力学性能的试验项目分类	(232)		
第二节 紧固件力学性能试验	(232)		
一、螺栓的力学性能试验	(232)		
二、螺母力学性能试验	(236)		
第三节 钢结构螺栓连接副力学性能试验	(237)		
一、概述	(237)		
二、钢结构用高强度大六角头螺栓连接副扭矩系数试验	(238)		

第一章 金属材料基础知识

第一节 金属学与热处理基础知识

一、金属与合金的晶体结构与结晶

自然界的固态物质,根据原子在内部的排列特征可分为晶体与非晶体两大类。晶体物质的基本质点(原子等)在空间排列是有一定规律的,故有规则的外形,固定的熔点,并呈现各向异性的特征。一般情况下的固态金属都是晶体。

(一) 晶体结构的基础知识

晶体中原子排列具有周期性变化的特点,通常从晶格中选取一个能够完整反映晶格特征的最小几何单元称为晶胞(图 1-1),它具有很高对称性。

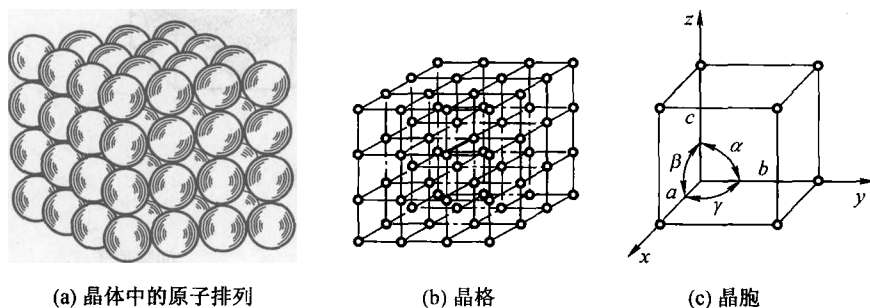


图 1-1 晶体、晶格、晶胞示意图

不同元素结构不同,晶胞的大小和形状也有差异。结晶学中规定,晶胞大小以其各棱边尺寸 a, b, c 表示,称为晶格常数。晶胞各棱边之间的夹角分别以 α, β, γ 表示。当棱边 $a = b = c$, 棱边夹角 $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$ 时,这种晶胞称为简单立方晶胞。金属中有以下三种典型的晶格。

(1) 体心立方晶格 晶胞示意图见图 1-2(a)。它的晶胞是一个立方体,立方体的 8 个顶角和晶胞各有一个原子,其单位晶胞原子数为 2 个,致密度为 0.68。属于该晶格类型的常见金属有 Cr, W, Mo, V, α -Fe 等。

(2) 面心立方晶格 晶胞示意图见图 1-2(b)。它的晶胞也是一个立方体,立方体的 8 个顶角和立方体的 6 个面中心各有一个原子,其单位晶胞原子数为 4 个,致密度为 0.74。属于该晶格类型的常见金属有 Al, Cu, Pb, Au, γ -Fe 等。

(3) 密排六方晶格 它的晶胞是一个正六方柱体,原子排列在柱体的每个顶角和上、下底面的中心,另外三个原子排列在柱体内,晶胞示意图见图 1-2(c)。其单位晶胞原子数为 6 个,致密度也是 0.74。属于该晶格类型常见金属有 Mg, Zn, Be, Cd, α -Ti 等。

(二) 金属实际的晶体结构

在金属晶体中,由于晶体形成条件、原子的热运动及其他各种因素影响,原子规则排列在局部区域受到破坏,呈现出不完整(见图 1-3),通常把这种区域称为晶体缺陷。正因为如此,金属的实际性能比理想晶体结构(即无缺陷晶体)低。

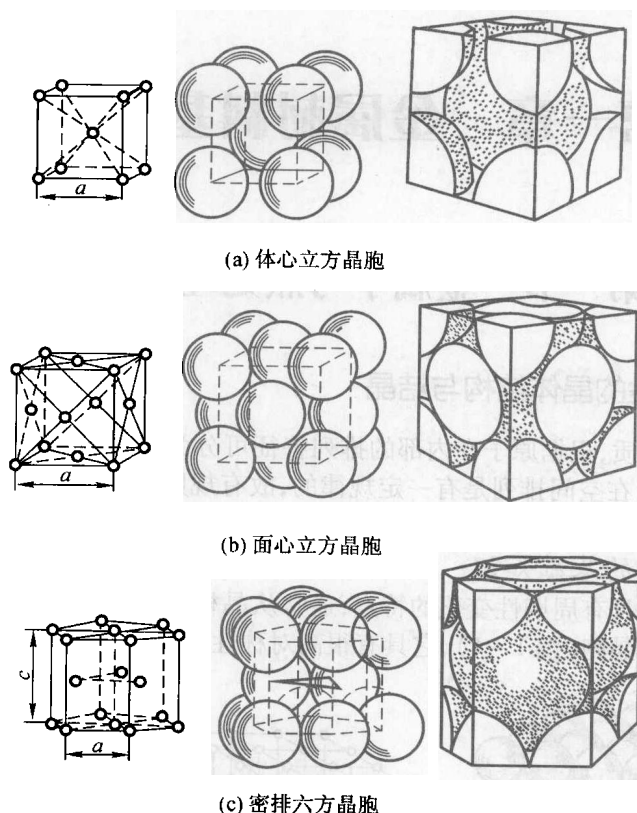


图 1-2 常见金属结构的晶胞

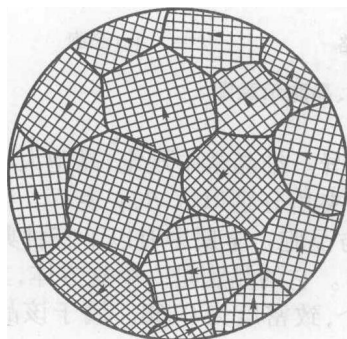


图 1-3 实际金属多晶体结构

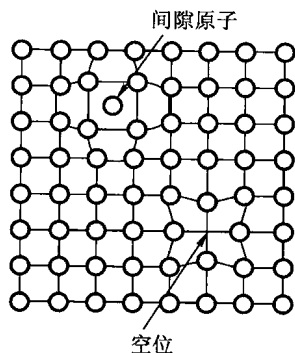


图 1-4 点缺陷示意图

金属中缺陷的种类很多,根据晶体缺陷的几何特征,可分为点缺陷、线缺陷和面缺陷三类。

(1) 点缺陷 晶体缺陷呈点状分布,最常见的点缺陷有晶格空位、间隙原子等,如图 1-4 所示。由于点缺陷出现,使周围原子发生“撑开”或“靠拢”现象,称为晶格畸变。晶格畸变的存在,使金属产生内应力,晶体性能发生变化,如强度、硬度增加,它也是强化金属的手段之一。

(2) 线缺陷 晶体缺陷呈线状分布,线缺陷主要是指位错。最常见的位错是刃型位错,如图 1-5 所示。这种位错的表现形式是晶体的某一晶面上,多出一个半原子面,它如同刀刃一样插入晶体,故称为刃型位错,在位错线附近一定范围内,晶格发生了畸变。

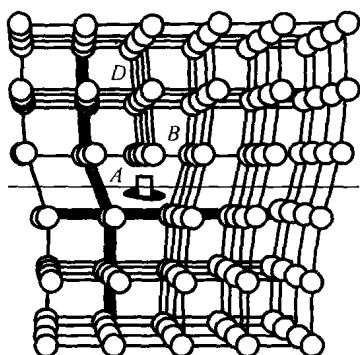


图 1-5 刃型位错示意图

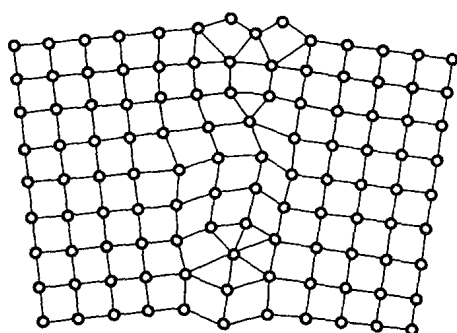


图 1-6 晶界示意图

(3)面缺陷 缺陷呈面状分布,通常指的是晶界和亚晶界。实际金属材料是多晶体结构,多晶体中两个相邻晶粒之间晶格位向是不同的,所以晶界处是不同位向晶粒原子排列无规则的过渡层,如图 1-6 所示。晶界处原子处于不稳定状态,能量较高,因此晶界与晶粒内部有着一系列不同特征,如常温下晶界有较高的强度和硬度;晶界处原子扩散速度较快;晶界处容易被腐蚀、熔点低等。

(三)金属的结晶

1. 结晶的概念

金属的结晶是指金属由液态转变为固态的过程。

纯金属的结晶都是在一定温度下进行的,它的冷却结晶过程可用图 1-7 所示的冷却曲线来描述。由冷却曲线可见,液态金属随着冷却时间的延长,它所含的热量不断散失,温度也不断下降,但是当冷却到某一温度时,温度随时间延长并不变化,在冷却曲线上出现了“平台”,“平台”对应的温度是纯金属实际结晶温度。出现“平台”的原因,是结晶时放出的潜热正好补偿了金属向外界散失的热量。结晶完成后,由于金属继续向环境散热,温度又重新下降。

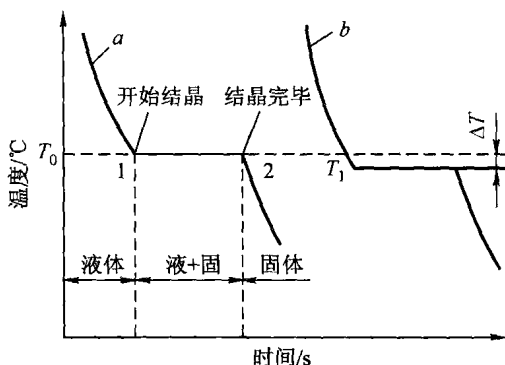


图 1-7 纯金属的冷却曲线

需要指出的是,图中 T_0 为理论结晶温度,金属实际结晶温度 T_1 总是低于理论结晶温度 T_0 的现象,称为“过冷现象”;理论结晶温度和实际结晶温度之差称为过冷度,以 ΔT 表示。 $\Delta T = T_0 - T_1$ 。金属结晶时温度的大小与冷却速度有关,冷却速度越大,过冷度就越大,金属的实际结晶温度越低。

2. 纯金属的结晶过程

金属的结晶包括晶核的形成和晶核的长大两个基本过程,并且这两个过程是同时进行的。

(1)晶核的形成 由图 1-8 可见,当液态金属冷至结晶温度以下时,某些类似晶体原子排列的小集团便成为结晶核心,这种由液态金属内部自发形成结晶核心的过程称为自发形核。而在实际金属中常有杂质的存在,这种液态金属依附于这些杂质更容易形成晶核。这种依附于杂质或外来表面而形成晶核的过程称为非自发形核。自发形核和非自发形核在金属结晶时是同时进行的,但非自发形核常起优先和主导作用。

(2)晶核的长大 晶核形成后,当过冷度较大或金属中存在杂质时,金属晶体常以树枝状的形式长大。在晶核形成初期,外形一般比较规则,但随着晶核的长大,形成了晶体的顶角和棱边,

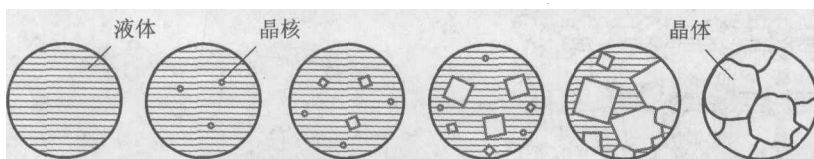


图 1-8 纯金属结晶过程示意图

此处散热条件优于其他部位,因此在顶角和棱边处以较大成长速度形成枝干。同理,在枝干的长大过程中,又会不断生出分支,最后填满枝干的空间,结果形成树枝状晶体,简称枝晶。

金属结晶后晶粒大小对金属的力学性能有重大影响,一般来说,细晶粒金属具有较高的强度和韧性。为了提高金属的力学性能,就希望能细化晶粒,而结晶后的晶粒大小主要取决于形核率与晶核的长大速度率。显然,凡能促进形核率,抑制长大速率的因素,均能细化晶粒。如增加过冷度,使得形核率比晶核长大速率增长得更快,提高单位体积中晶粒数目,或在液态金属结晶前加入一些细小变质剂,使结晶时形核率增加,而长大速率降低,这种细化晶粒方法称为变质处理。

(四)合金的结构和结晶

合金是由两种以上的金属元素,或金属与非金属元素组成的具有金属特性的物质。目前使用的大多数金属材料都是合金。组成合金的最基本的独立物质称为组元,简称元。组元一般是指组成合金的元素,但一些稳定的化合物有时也可作为组元,如 Fe_3C 。由二个或二个以上组元组成,按不同比例配制成一系列不同成分的合金称为二元或三元合金,更多组元组成的合金称为多元合金。

1. 合金的相组织

合金具有比纯金属更优异的性能是与它的相组织所分不开的,金属组织中化学成分、晶体结构和物理性能相同的组分称为相。而用肉眼或借助显微镜观察到的材料具有独特微观形貌特征的部分称为组织。组织反映材料的相组成、相形态、大小和分布状况,因此组织是决定材料最终性能的关键。

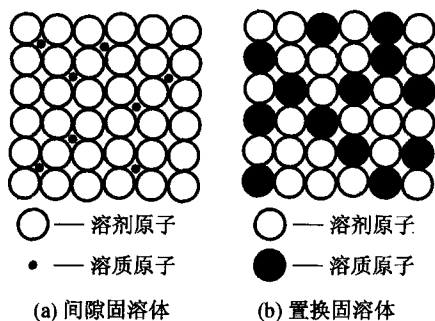


图 1-9 固溶体的两种类型

通常,固态时合金形成固溶体、金属化合物和机械混合物三类组织。

(1) 固溶体 合金由液态结晶为固态时,一组元的晶格中溶入另一种或多种其他组元而形成的均匀相称为固溶体。保留晶格的组元称为溶剂,溶入晶格的组元称为溶质。

根据溶质原子在溶剂中所占位置的不同,固溶体可分为间隙固溶体[溶质原子溶入溶剂晶格之中,见图 1-9(a)]和置换固溶体[溶剂结点上的部分原子被溶质原子所替代,见图 1-9(b)]。

由于溶质原子的溶入,会引起固溶体晶格发生畸变。晶格畸变使合金变形阻力增大,从而提高了合金的强度和硬度,这种现象称为固溶强化。它是提高材料力学性能的重要途径之一。

(2) 金属化合物 合金组元间发生相互作用而形成一种具有金属特性的物质称为金属化合物,它的晶格类型和性能完全不同于任一组元,一般可用化学分子式表示,如 Fe_3C 。

金属化合物具有熔点高、硬度高、脆性大的特点,在合金中主要作为强化相,可以提高材料的强度、硬度和耐磨性,但塑性和韧性有所降低。

(3) 机械混合物 两种或两种以上的相按一定质量分数组合成的物质称为机械混合物。

混合物中各组成相仍保持自己的晶格,彼此无交互作用,其性能主要取决于各组成相的性能以及相的分布状态。

2. 合金的结晶

合金的结晶过程比纯金属复杂得多,它是在某一温度范围内进行的,且结晶过程中合金的相成分是变化的,其结晶过程常用合金相图来表示。

合金相图是在平衡条件下,合金的组成相和温度、成分之间关系的简明图解。二元合金相图的横坐标为化学成分,纵坐标为温度,图中的特征点、转变线和相区可以具体表达二元合金的结晶情况。相图是进行金相分析、制定铸造、锻压、焊接、热处理等热加工工艺的重要依据。

匀晶相图是两组元在液态和固态下均能无限互溶所构成的相图。属于该类相图的合金有 Cu-Ni, Fe-Cr, Au-Ag 等。下面以 Cu-Ni 合金为例,对二元合金结晶过程进行分析。

图 1-10 为 Cu-Ni 合金相图,图中 A 点、B 点分别是纯铜和纯镍的熔点, AaB 线是合金开始结晶的温度线,称为液相线; AbB 线是合金结晶终了的温度线,称为固相线。液相线以上为单一液相区,以“L”表示;固相线以下是单一固相区,以“ α ”表示固溶体;液相线与固相线之间为液相和固相两相共存区,以“ $L + \alpha$ ”表示。

以含 $w(\text{Ni}) = 60\%$ 的 Cu-Ni 合金为例,分析其结晶过程,如图 1-10 所示。当温度降至 a_1 点时,由液相中析出 α 固溶体,这时结晶出 α 固溶体的成分相等于 b_1 点的成分(约含 $w(\text{Ni}) 85\%$),随着冷却温度继续降低,液相中继续析出 α 固溶体,其成分沿固相线不断变化。当温度降低到 b_2 时,合金全部结晶成固溶体 α , b_2 点成为即为该合金的成分。

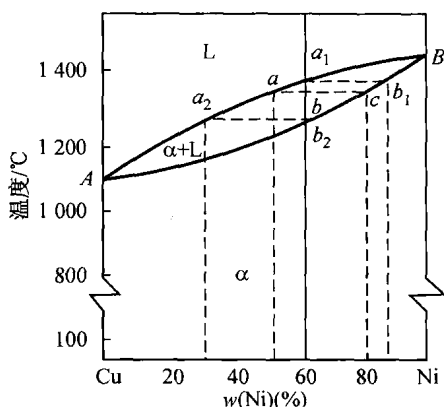


图 1-10 Cu-Ni 合金相图

二、金属热处理简介

(一) 概述

金属热处理是将金属放在一定的介质中,以预定的速度加热到预定的温度,保温一定的时间,然后以预定的方式冷却到室温的一种热加工工艺。

与其他加工工艺相比,热处理一般不改变工件的形状和整体的化学成分,而是通过改变工件内部的显微组织,或改变工件表面的化学成分,赋予或改善工件的使用性能,改善工件的内在质量。因此,为使金属工件具有所需要的力学性能、物理性能和化学性能,除合理选用材料和各种成形工艺外,热处理工艺往往是必不可少的。

热处理工艺只适用于固态下发生相变的材料,其中钢铁应用得最广泛,铝、铜、镁、钛及其合金等也可通过热处理改变其力学、物理和化学性能。

热处理工艺一般包括加热、保温、冷却三个过程(有时只有加热和冷却两个过程),这些过程互相衔接,不可间断。

加热是热处理的重要工序之一。为防止加热时金属与空气接触发生氧化、脱碳等,通常金属被放在可控气氛或保护气氛中、熔融盐中和真空中加热,也可用涂料或包装方法进行保护加热。

加热温度是热处理工艺的重要工艺参数之一,选择和控制加热温度,是保证热处理质量的主要问题。加热温度随被处理的金属材料 and 热处理的目的不同而异,但一般都是加热到相变温度以上,以获得高温组织。

由于金属组织转变需要一定的时间,因此当金属工件表面达到要求的加热温度时,还须在