

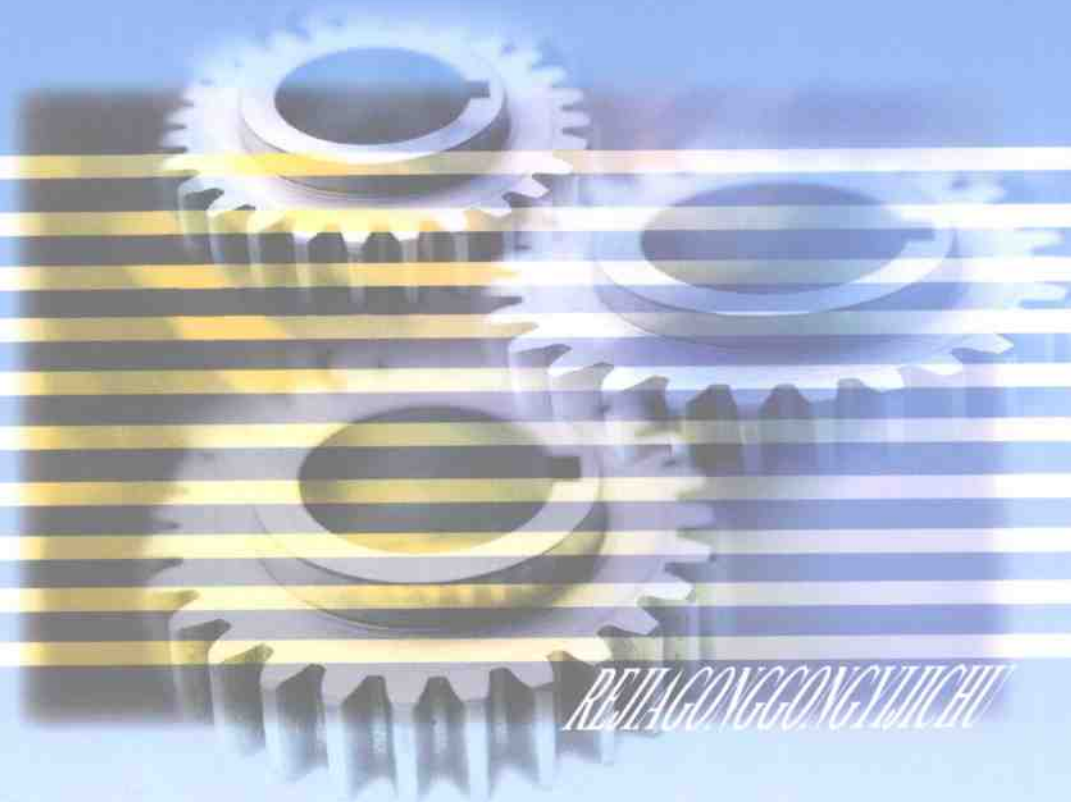
高等学校金工系列教材

热加工工艺基础

(修订版)

主编 谷春瑞 王桂新

主审 韩文祥



天津大学出版社

TIANJIN UNIVERSITY PRESS

高等学校金工系列教材

热加工工艺基础

(修订版)

主编 谷春瑞 王桂新

主审 韩文祥



天津大学出版社
TIANJIN UNIVERSITY PRESS

内容提要

本书是依据教育部新颁布的“工程材料及机械制造基础课程教学基本要求”并结合多年的教学实践编写的。全书共四章,内容涵盖了工程材料及其成形工艺铸造、压力加工、焊接等方面的内容。书中的材料牌号、单位和名词术语等均采用国家新标准。

本着“加强基础,注重工艺,强化能力的培养”的精神,对传统内容进行了整合和精炼,并增加了部分实用图表和实例,突出了理论与实际的结合、工艺与原理的结合,以加强对学生分析问题和解决问题能力的培养。同时对目前应用较成熟的新技术、新工艺进行了介绍。本书内容翔实、条理清楚、深入浅出、图文并茂。

本书可作为高等工科院校本科机械类及近机类专业基本教材,也可供不同层次教学人员和有关工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

热加工工艺基础/谷春瑞,王桂新主编. —天津:天津大学出版社,2009.8

ISBN 978-7-5618-3158-8

I. 热… II. ①谷…②王… III. 热加工—工艺学 IV. TG306

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 145869 号

出版发行 天津大学出版社
出 版 人 杨欢
地 址 天津市卫津路 92 号天津大学内(邮编:300072)
电 话 发行部:022-27403647 邮购部:022-27402742
网 址 www.tjup.com
印 刷 廊坊市长虹印刷有限公司
经 销 全国各地新华书店
开 本 185mm × 260mm
印 张 13.75
字 数 337 千
版 次 2009 年 8 月第 1 版
印 次 2009 年 8 月第 1 次
印 数 1 - 4 000
定 价 24.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页等质量问题,烦请向我社发行部门联系调换

版权所有 侵权必究

前 言

本书是根据教育部新颁布的“工程材料及机械制造基础课程教学基本要求”和“重点高等工科院校金工系列课程改革指南”的精神,以谷春瑞等主编《热加工工艺基础》为基础,结合近年来高等学校教改经验和编者的教学实践,组织长期在一线的教师进行了修订。

本书有以下特点。①在内容取材上注意了与实习教材的分工和衔接,叙述上力求深入浅出、简明扼要、条理清楚、图文并茂,并全面贯彻国家新标准。②对传统内容进行了整合和精炼,并增加了部分实用图表和实例,突出了理论与实际的结合、工艺与原理的结合,以增强对学生分析问题和解决问题能力的培养;所附习题也力求做到利于启发学生思考和激发学生创新思维。③对目前应用较成熟的新技术、新工艺进行了介绍。④书的最后附有几个实验指导,以供学生预习或自学。

本书由河北工业大学金工教研室组织编写。编写人员有谷春瑞(绪论,第2、4章)、韩文祥(第1章)、王桂新(第3章)、王季康(实验指导部分)。谷春瑞、王桂新任主编,由韩文祥主审。

在编写过程中张慧良、赵雪勃、陈翠新、李桂云几位老师参加了部分资料的收集和整理工作,河北省、天津市高校同行给予了大力支持和热忱帮助,在此向他们表示衷心感谢。

限于编者水平,书中错误和不妥之处在所难免,恳请同行和读者批评指正。

编者

2009.5

目 录

绪论	(1)
第1章 工程材料	(3)
1.1 金属材料的力学性能	(3)
1.2 金属和合金的结构与结晶	(7)
1.3 铁碳合金	(13)
1.4 钢的热处理	(20)
1.5 常用金属材料	(27)
1.6 常用非金属材料	(48)
1.7 机械零件材料的选用	(56)
1.8 典型零件的选材及工艺	(58)
复习思考题	(62)
第2章 铸造	(65)
2.1 合金的铸造性能	(65)
2.2 砂型铸造工艺设计	(74)
2.3 常用合金铸件生产	(86)
2.4 特种铸造	(93)
2.5 铸件结构设计	(103)
复习思考题	(112)
第3章 压力加工	(116)
3.1 金属的塑性变形	(117)
3.2 坯料的加热和锻件的冷却	(122)
3.3 自由锻	(124)
3.4 模锻	(136)
3.5 板料冲压	(148)
3.6 其他压力加工工艺	(156)
复习思考题	(165)
第4章 焊接	(168)
4.1 电弧焊	(168)
4.2 焊接质量及其控制	(177)
4.3 其他焊接方法	(182)
4.4 常用金属材料的焊接	(190)
4.5 焊接结构工艺设计	(193)
复习思考题	(199)
附录 实验指导	(202)

实验一 碳钢及铸铁在退火状态的显微组织	(202)
实验二 碳钢的热处理及硬度测定	(205)
实验三 铸造热应力的测定	(210)
参考文献	(212)

绪 论

“热加工工艺基础”是一门研究材料成形方法的技术基础课,是金工系列课程的重要组成部分。作为机类及近机类各专业的主干课程之一,本课程对学生在奠定专业基础、拓宽知识面、提高综合素质方面起着重要作用。

在机械制造工艺过程中,通常是先用铸造、压力加工、焊接、粉末冶金、非金属材料成形等加工方法制成毛坯(或半成品),再经切削加工(或特种加工)得到所需的零件。有时为了改善零件的某些性能,常要进行热处理或其他处理。最后将制成的零件经过装配、调试,合格后才成为机械设备或其他产品。

铸造、压力加工、焊接等材料成形工艺方法通常被称为热加工工艺,它不仅为机械零件提供了毛坯,而且决定了材质的内在质量,是机械制造工艺过程中的一个重要环节。作为未来的工程技术人员,掌握一定的热加工工艺和毛坯生产知识是非常必要的。

“热加工工艺基础”课程就是研究机械工程材料的性质和应用,铸造、压力加工、焊接等热加工工艺的原理、特点及工艺过程,以及各成形方法对材料和零件结构的工艺性要求等。目的就是要使学生在获得成形工艺知识的同时,培养工艺分析的初步能力,为学习其他有关课程和以后从事机械设计和加工制造奠定必要的基础。

在材料生产及其成形工艺的历史上,我们的祖先曾有过辉煌的成就,为人类文明做出过重大的贡献。在材料方面,我国在夏代就开始了青铜的冶炼,至商周时代青铜冶铸术已达到很高的水平,形成了灿烂的青铜文化;在公元前六七世纪的春秋时代,我国就已开始大量使用铁器,这要比欧洲国家早了 1 800 多年。在铸造方面,在河南安阳出土的司母戊鼎便是 3 000 多年前的商朝冶铸的,其体积庞大、花纹精细,反映了当时精湛的冶铸技术。在陕西临潼秦始皇陵出土的大型彩绘铜马车,八匹马造型逼真,两乘车装饰华丽。这不仅需要高超的冶铸技术,而且需要过硬的焊接、金属切削加工、钳工、装配等方面的技术。在河北藁城出土的商朝铁刀铜钺,证明 3 000 年前我国就掌握了锻造和锻接技术。在河南辉县出土的战国殉葬铜器中,其耳和足是用钎焊方法与本体连接的,这要比欧洲国家应用钎焊技术早了 2 000 多年。明朝科学家宋应星编著的《天工开物》一书,详细记载了冶铁、铸钟、锻铁、淬火等多种金属的加工方法,它是世界上有关金属加工工艺最早的科学著作之一,充分展示了我国劳动人民的聪明才智和所取得的辉煌成就。

现在我国的机械工业取得了很大的成就,机械工程与电工、电子、冶金、化学、物理、激光等技术相结合,产生了许多新材料、新工艺、新产品。纵观古今中外,任何产品的出现,都在很大程度上依赖于材料科学和制造工艺水平的发展。任何先进的制造技术,最后都要落实在工艺方法和工艺装备上。没有良好的工艺教育,没有先进的工艺技术,就没有现代制造技术。面对高素质复合型、应用型人才的培养,面对迅猛发展的现代制造业,本课程实为一门必修的工艺技术基础课。

通过本课程的学习,要求学生能够建立工程材料和材料成形工艺与现代机械制造的完整

概念,培养良好的工程意识;掌握各种成形方法的基本原理、工艺特点和应用场合,具有合理选择毛坯材料、毛坯成形方法及工艺分析的能力;掌握零件(毛坯)结构工艺性,并具有设计毛坯和零件结构的初步能力。

本课程融多种工艺方法为一体,信息量大,实践性强,叙述性内容较多,必须在学生进行机械制造工程实践(金工实习)之后、获得大量感性知识的基础上组织教学。在教学过程中,应以课堂教学为主,同时辅之以电教片、多媒体 CAI、实物和模型、课堂讨论等教学手段和形式,以进一步丰富学生的感性认识,加深对教学内容的理解和掌握;同时,应注意理论联系实际,使学生在掌握理论知识的同时,提高分析问题和解决问题的工程实践能力。

第 1 章 工程材料

材料是生产和生活的物质基础,国民经济的各个部门和人的衣、食、住、行都离不开各种类型的材料。材料、能源、信息合称为现代社会的三大支柱,而能源和信息的发展,在一定程度上又依赖于材料的进步。因此,为给新技术革命提供坚实的物质基础,必须把材料学科作为重点发展学科。

材料按经济部门可分为:土建工程材料、机械工程材料、电工材料、电子材料等。按物质结构可分为:金属材料、有机高分子材料、陶瓷材料。按材料功用可分为:结构材料、功能材料等。本章所述及的主要是机械工程上所用的结构材料,并按物质的不同结构作些介绍。

1.1 金属材料的力学性能

为了合理地使用和加工金属材料,必须掌握和了解其使用性能与工艺性能。使用性能主要包括材料的力学性能、物理性能和化学性能。所谓材料的工艺性能,是指材料在加工过程中适应冷、热加工工艺的能力,包括材料的铸造性能、锻压性能、焊接性能以及切削加工性能等。

在机械零件的设计选材过程中,通常以其力学性能为主要依据。材料的力学性能即材料在外力作用下所表现出的性能,又称为机械性能,常用的有强度、硬度、塑性和韧性等。

1.1.1 强度

强度是材料在外力作用下,抵抗变形和破坏的能力。常用的强度指标有抗拉强度和屈服强度。这两种强度指标是用标准试样在拉伸试验机上通过拉伸试验测出的。

将标准试样(形状如图 1-1 所示)装在拉伸试验机上,对试样两端缓慢施加轴向拉力,随着拉力的增加,试样渐渐被拉长,直至断裂。在整个拉伸过程中,记录下每一瞬间的拉力(P)和伸长量(ΔL),并绘出它们之间的关系曲线,称为拉伸曲线。图 1-2 为普通低碳钢的拉伸曲线,

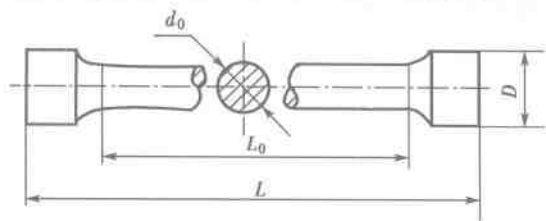


图 1-1 拉伸试样

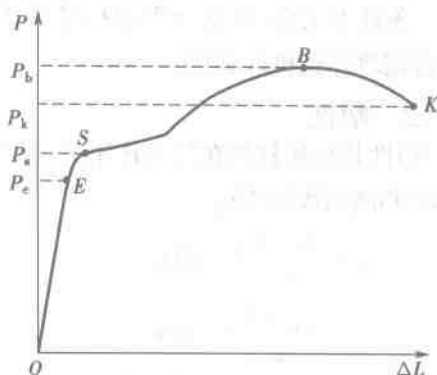


图 1-2 普通低碳钢拉伸图

又称此曲线为拉伸图。由图 1-2 可知, OE 线为直线, 这说明在拉力不超过 P_e 时, 拉力与伸长量成正比, 这时若除去外力, 试样将恢复到原来长度, 这种变形称为弹性变形。

当拉力大于 P_e 后, 试样开始产生永久变形即塑性变形。如拉力达到 P_s 值, 拉伸曲线上出现平台, 即拉力虽不增加, 但试样却继续产生塑性变形而伸长。这种现象称为屈服, S 被称为材料的屈服点。材料屈服后, 开始产生明显的塑性变形。当拉力增加到最大值 P_b 后, 试样截面出现局部变细的缩颈现象, 因截面变小, 拉力也随之下降, 至拉力为 P_k 时, 试样在缩颈处断裂。 P_b 是试样在拉断前所能承受的最大拉力。

金属材料强度的指标通常以应力的形式来表示。应力即单位截面积上的外力, 以 σ 表示,

$$\sigma = \frac{P}{F} \text{ (MPa)}$$

式中 P ——外力(N);

F ——截面面积(mm^2)。

抗拉强度就是金属材料在拉断前所能承受的最大应力, 以 σ_b 表示,

$$\sigma_b = \frac{P_b}{F_0} \text{ (MPa)}$$

式中 P_b ——试样拉断前的最大拉力(N);

F_0 ——试样的原始截面面积(mm^2)。

屈服强度是金属材料产生屈服时的应力, 以 σ_s 表示,

$$\sigma_s = \frac{P_s}{F_0} \text{ (MPa)}$$

式中 P_s ——试样产生屈服时所受外力(N);

F_0 ——试样的原始截面面积(mm^2)。

有些材料的拉伸曲线没有明显的屈服点, 因而无法确定开始产生塑性变形时的最小应力值, 很难测定它的屈服强度, 通常规定试样产生 0.2% 残余伸长时的应力作为该材料的条件屈服强度, 以 $\sigma_{0.2}$ 表示。

屈服强度和抗拉强度是机械零件设计和选材的主要依据之一。因为金属材料不能在超过其 σ_s 条件下工作, 否则会引起机件产生塑性变形; 机件所承受的应力更不允许超过材料的 σ_b , 否则将导致机件破坏。

1.1.2 塑性

塑性是金属材料在外力作用下产生塑性变形而不破坏的能力。常用的塑性指标有: 伸长率(δ)和断面收缩率(ψ)。

$$\delta = \frac{L_1 - L_0}{L_0} \times 100\%$$

$$\psi = \frac{F_0 - F_1}{F_0} \times 100\%$$

式中 L_0 ——试样的原始长度(mm);

L_1 ——试样拉断时的长度(mm);

F_0 ——试样的原始截面面积(mm^2);

F_1 ——试样断裂处的截面面积(mm^2)。

δ 和 ψ 的数值越大,表示材料的塑性越好。工程上一般把 $\delta > 5\%$ 的材料称为塑性材料,如低碳钢等;把 $\delta < 5\%$ 的材料称为脆性材料,如铸铁等。

材料的塑性指标在工程技术中具有重要的实际意义。一些需要经过锻造、轧制或冲压成形的零件,所用材料应具备良好的塑性。同时,为了保证一些机械零件或设备的运行可靠性,对其制造材料也必须提出相应的塑性要求。

1.1.3 硬度

硬度是材料抵抗硬物压入的能力,也可以说是材料抵抗局部塑性变形或断裂的能力。

金属材料的硬度值,一般用硬度计来测量,用布氏硬度计测量出的硬度值为布氏硬度(用 HB 表示),用洛氏硬度计测出的硬度值为洛氏硬度(用 HR 表示)。

1. 布氏硬度

测定布氏硬度时,用一定的载荷 P 将淬火钢球(或硬质合金球)压入被测金属材料的表面(如图 1-3 所示),保持一定时间后卸去载荷,以载荷与压痕表面面积的比值作为布氏硬度值,单位为 kgf/mm^2 ,但一般不予标出。因为载荷 P 和压头(球体)直径 D 是定值,所以一般是先测得压痕直径 d ,然后查表得到 HB 值。当压头为淬火钢球时,用 HBS 表示,当压头为硬质合金球时,用 HBW 表示。HBS(或 HBW)值越大,材料的硬度越高。

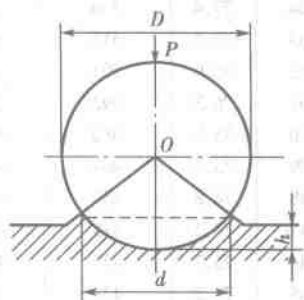


图 1-3 布氏硬度测定示意图

布氏硬度适于测定硬度较低的材料,如退火、正火、高温回火件等。另外,由于其压痕较大,不适于测量薄件。

2. 洛氏硬度

测定洛氏硬度时,用顶角为 120° 的金刚石圆锥或直径为 1.588 mm 的淬火钢球作压头,在一定的载荷下,压入金属材料表面,根据压痕深度来确定其硬度值。实际上洛氏硬度值可直接从洛氏硬度计的刻度盘上直接读出。

采用不同的压头和载荷,可以组成不同的洛氏硬度标度,如 HRA(600 N 载荷,圆锥形金刚石压头)、HRB(1000 N 载荷,淬火钢球压头)和 HRC(1500 N 载荷,圆锥形金刚石压头)。

HRA 主要用于测定硬度较高的薄壁零件以及表面淬火件、渗碳件等。

HRB 一般用于测定硬度较低的金属材料,如有色金属材料等。

HRC 应用最多,一般经淬火处理的零件或工具都用这种方法测定硬度。

测定洛氏硬度时,能直接从硬度计的刻度盘上读出硬度数值,操作简单,使用方便,所以它是最常用的一种硬度测定方法。

除了布氏、洛氏硬度外,还有一种测量表面硬度的维氏硬度(HV),其测量精度比布氏、洛氏准确。布氏、洛氏、维氏硬度三者之间的关系及硬度与强度间关系可通过查表(表 1-1)对照。

硬度反映出金属材料在局部范围内对塑性变形的抗力,与强度有密切关系,一般硬度越高,强度也越高。

表 1-1 洛氏硬度 HRC 与其他硬度及强度换算表

洛氏硬度		布氏硬度	维氏硬度	强度(近似值)	洛氏硬度		布氏硬度	维氏硬度	强度(近似值)
HRC	HRA	HB _{10/3000}	HV	σ_b (MPa)	HRC	HRA	HB _{10/3000}	HV	σ_b (MPa)
65	83.6	—	798	—	36	(68.5)	331	339	1 140
64	83.1	—	774	—	35	(68.0)	322	329	1 115
63	82.6	—	751	—	34	(67.5)	314	321	1 085
62	82.1	—	730	—	33	(67.0)	306	312	1 060
61	81.5	—	708	—	32	(66.4)	298	304	1 030
60	81.0	—	687	2 675	31	(65.9)	291	296	1 005
59	80.5	—	666	2 555	30	(65.4)	284	289	985
58	80.0	—	645	2 435	29	(64.9)	277	281	960
57	79.5	—	625	2 315	28	(64.4)	270	274	935
56	78.9	—	605	2 210	27	(63.8)	263	267	915
55	78.4	538	587	2 115	26	(63.3)	257	260	895
54	77.4	526	659	2 030	25	(62.8)	251	254	875
53	77.4	515	551	1 945	24	(62.3)	246	247	845
52	76.9	503	535	1 875	23	(61.7)	240	241	825
51	76.3	492	520	1 805	22	(61.2)	235	235	805
50	75.8	480	504	1 745	21	(60.7)	230	229	790
49	75.3	469	489	1 685	20	(60.2)	225	224	770
48	74.8	457	475	1 635	(19)	(59.7)	221	218	755
47	74.2	445	461	1 580	(18)	(59.1)	216	213	740
46	73.7	433	448	1 530	(17)	(58.6)	212	203	725
45	73.2	422	435	1 480	(16)	(58.1)	208	203	710
44	72.7	411	423	1 440	(15)	(57.6)	204	198	690
43	72.2	400	411	1 390	(14)	(57.1)	200	193	675
42	71.7	390	400	1 350	(13)	(56.5)	196	189	660
41	71.1	379	389	1 310	(12)	(56.0)	192	184	645
40	70.6	369	378	1 275	(11)	(55.5)	188	180	625
39	70.1	359	368	1 235	(10)	(55.0)	185	176	615
38	(69.6)	349	358	1 200	(9)	(54.5)	181	172	600
37	(69.0)	340	348	1 170	(8)	(53.9)	177	168	590

1.1.4 冲击韧性

很多机械零件在工作时,经常受到各种冲击载荷的作用。例如,机床的爪形离合器,柴油机上的连杆、曲轴、连杆螺钉等零件在工作时都要受到冲击载荷的作用;冲床的冲头,锻锤的锤杆等也在冲击载荷下工作。对承受冲击载荷的工件,不仅要求有高的强度和一定硬度,还必须具有抵抗冲击载荷而不破坏的能力。冲击韧性就是指材料抵抗冲击载荷的能力,通常用 a_k 表示。

为了测量材料的冲击韧性,在冲击试验机上利用升高的摆锤将试样打断(图 1-4),算出打断试样所需的冲击功 A_k (J),再用试样断口处的截面面积 F (cm²)去除,所得商值即为冲击韧性,即

$$a_k = \frac{A_k}{F} \text{ (J/cm}^2\text{)}$$

a_k 值愈大,表示材料的韧性愈好,在受到冲击时愈不容易断裂。对于重要零件,一般要求

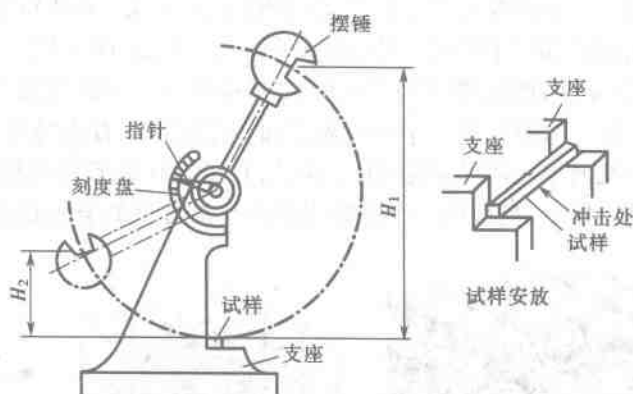


图 1-4 冲击试验示意图

$a_k > 50 \text{ J/cm}^2$ 。这里是指一次冲击破坏,对于受到小能量多次重复冲击的材料而言,用 a_k 来衡量其冲击韧性就不合适了。因为材料承受小能量多次重复冲击的能力,主要取决于材料的强度。

通过对上述力学性能指标的分析可知,金属材料的各种力学性能并非孤立存在,而是有着密切的联系。通常提高金属材料的强度、硬度,则往往会降低其塑性和韧性。为了提高塑性和韧性,往往又会降低其强度和硬度。不同的金属材料具有不同的力学性能,同一种金属材料若其内部组织不同,则力学性能也不同。

1.1.5 疲劳强度

在机械中有许多零件(如曲轴、齿轮、连杆、弹簧等)是在交变载荷的作用下工作的。这种受交变应力的零件发生断裂时的应力,远低于该材料的屈服强度,这种破坏现象叫做疲劳破坏。

材料在无数次(对钢铁为 10^7 次,有色金属为 10^8 次)重复交变应力作用下而不致引起断裂的最大应力称为疲劳强度,用它来衡量材料抗疲劳性能。

疲劳破坏一般认为是由于材料内部缺陷(如夹杂物、气孔等)、零件表面缺陷(如刀痕等)或结构设计不当等因素造成的。上述因素可在零件局部区域产生应力集中,从而导致微裂纹(疲劳裂纹核心)的产生,随着应力循环次数的增加,微裂纹不断扩展,零件承受载荷的有效截面逐渐缩小,致使零件不能承受所加载荷而突然断裂。可见,疲劳断裂与静应力下的断裂不同,疲劳断裂是突然发生的,预先无明显的塑性变形,因此具有很大的危险性。

为了提高零件的疲劳强度,在设计时可通过改善零件结构形状,避免应力集中。加工时改善表面粗糙度,采取表面热处理、表面滚压和喷丸处理等措施,以提高材料的疲劳强度。

1.2 金属和合金的结构与结晶

1.2.1 金属的晶体结构

固体物质按其原子排列的特征,可以分为晶体和非晶体。在非晶体内,原子在空间是杂乱而无规则排列,如玻璃、沥青等。在晶体内,原子在空间是按一定的几何形状规则排列(图 1-5

a)),所有固态的金属和合金以及大部分非金属(金刚石、石墨等)都是晶体。

为了便于研究晶体内部原子排列规律,把原子作为一个点(圈),把每个点(圈)用直线连接起来,形成一个空间格子,叫做晶格(图 1-5b))。晶体中每个点(圈)叫做结点,结点代表原子在晶体中的平衡位置。各个方位的原子平面叫做晶面。晶格可以看成是由一层一层的晶面堆积而成的。晶格的最小几何单元叫做晶胞(图 1-5c)),它可以代表整个晶格原子的排列规律,所以在研究金属的晶体结构时,只取出一个晶胞来研究。最常见的金属晶格的类型有下列三种。

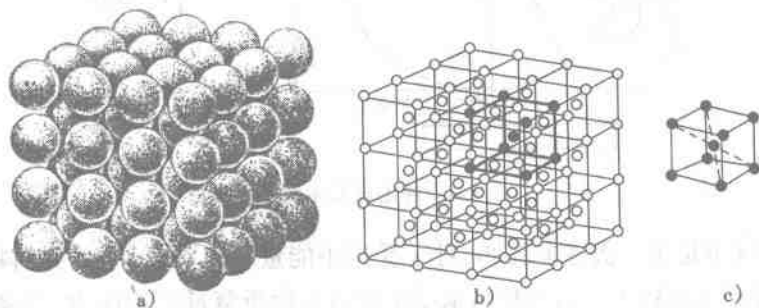


图 1-5 晶体结构示意图

a)晶体中原子排列;b)晶格;c)晶胞

1. 体心立方晶格

体心立方晶格的晶胞是一个正六方体,如图 1-6 所示。立方体八个顶角上各有一个原子并在立方体的中心还有一个原子,属于这类晶格的金属有铬、钼、钨、钒、 α -铁(912 $^{\circ}\text{C}$ 以下的纯铁)等。

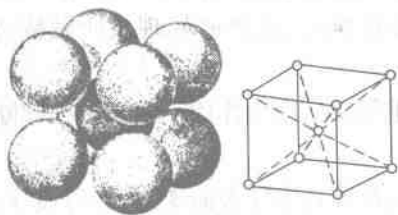


图 1-6 体心立方晶胞

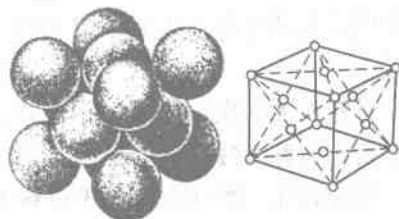


图 1-7 面心立方晶胞

2. 面心立方晶格

面心立方晶格的晶胞也是一个正六方体,如图 1-7 所示。立方体的八个顶角上各有一个原子,同时,在六方体六个平面的中心也各有一个原子。属于这一类晶体的金属有铜、铝、金、银、镍、 γ -铁(912 $^{\circ}\text{C}$ ~ 1394 $^{\circ}\text{C}$ 的铁)等。

3. 密排六方晶格

密排六方晶格的晶胞是一个正六方柱体,如图 1-8 所示。在六方柱体的十二个顶角上各有一个原子,在上下两个正六面的中心各有一个原子,并且在六方体的中心部位还有三个原子。属于这一类晶格的金属有铍、镁、锌、镉等。

1.2.2 金属结晶过程和同素异构转变

许多机械零件的制造工艺由液态成形,或先由金属液浇铸成锭后再经冷热加工成形,所以,了解金属由液态转变为固态晶体的过程是十分必要的。

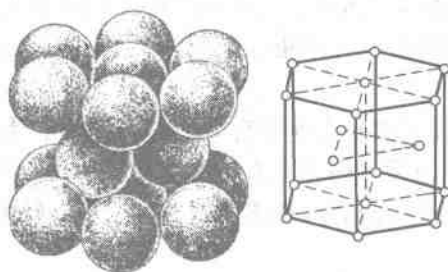


图 1-8 密排六方晶胞

1. 金属的结晶过程

金属的结晶过程也就是其凝固过程。当液态金属冷却到凝固温度时,原子由不规则的无序排列状态转变为规则的有序排列状态,这一过程称为金属的结晶过程。

当纯金属由液态冷却下来时,其温度与时间的变化情况可用图 1-9 所示的曲线表示。这一曲线称为冷却曲线, T_n 为实际结晶温度。结晶时由于放出结晶潜热,补偿了热量的散失,使温度保持不变,所以曲线有一水平段。

在实际冷却条件下,液态金属开始结晶的温度,总是要低于理论温度 T_0 ,这一现象称为过冷。理论结晶温度 T_0 与实际结晶温度 T_n 之差(ΔT)称为过冷度。结晶时,冷却速度越大,实际结晶温度越低,过冷度越大。

结晶过程分为两个阶段,即结晶核心的形成和晶核的长大,图 1-10 是结晶过程示意图。液态金属近于结晶温度时,在其中个别微小体积内的原子将开始作有规则的排列,这些有规则排列的原子就能形成结晶的核心(晶核)。温度继续下降,在晶核周围不断聚集原子并使晶核按一定规则长大,形成许多小晶体。在小晶体长大的同时,新的晶核继续产生。小晶体在长大的过程中,开始是按其自己的方位自由生长,并保持较规则的外形。继续生长,小晶体彼此接触,在接触处被迫停止生长,其规则的外形便被破坏,最后得到许多外形不规则的小晶

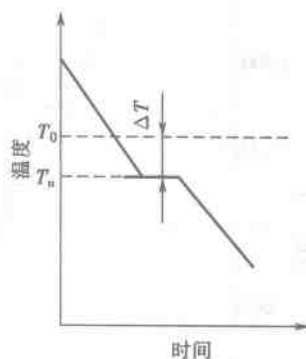


图 1-9 纯金属的冷却曲线

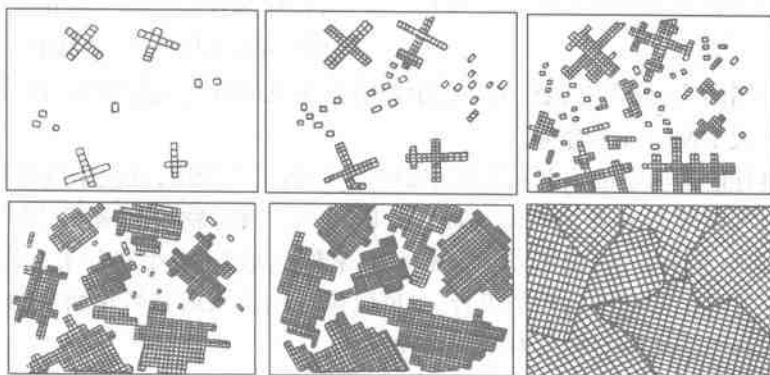


图 1-10 结晶过程示意图

体。这些外形不规则的小晶体称为晶粒。晶粒与晶粒之间的相交界面称为晶粒间界,简称晶界。晶界处原子的排列是不规则的,并聚集着杂质和孔洞,这对金属的塑性变形、结构变化和性能有很大的影响。

晶粒的粗细与晶核数目及晶核长大速率有关。液态金属中晶核愈多、长大速率愈慢,晶体也愈细,相反则晶粒愈粗大。通常人们总是力图得到具有细晶粒组织的金属材料,这是因为晶粒细化后,除使材料的强度、硬度提高外,还能使塑性和韧性有较大的改善。

2. 金属的同素异构转变

大多数金属结晶后,其晶格类型保持不变,但有些金属(如铁、锡、钛、锰)的晶格类型却随着温度的高低而不同。金属在固态下改变其晶格类型的过程叫做同素异构转变。

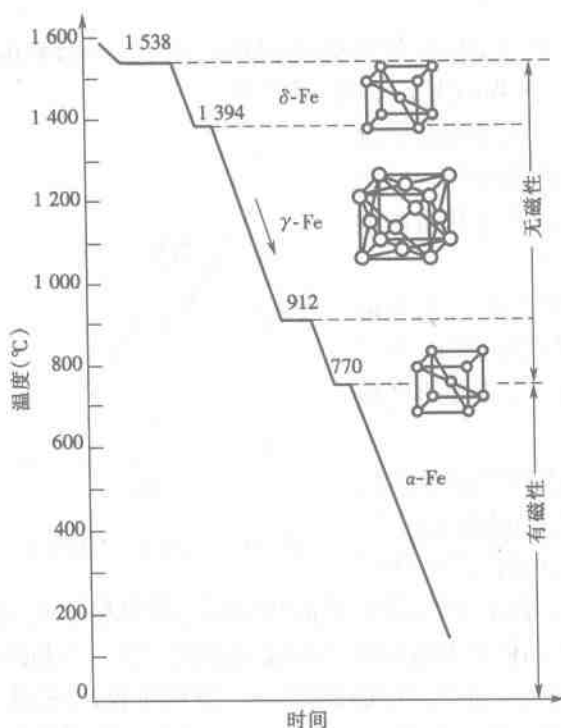
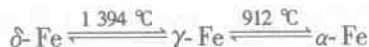


图 1-11 纯铁的冷却曲线及晶体结构变化

图 1-11 为纯铁的冷却曲线,由曲线可知,纯铁的熔点或凝固点为 1 538 ℃,在 1 394 ℃及 912 ℃出现水平平台。通过 X 射线结构分析证明,在这两个温度发生不同的同素异构转变,其变化过程如下:



1.2.3 合金的晶体结构

1. 合金的基本概念

一种金属元素同另一种或几种其他元素,通过熔化或其他方法结合在一起所形成的具有金属特性的物质叫做合金。组成合金的独立的、最基本的单元叫做组元。组元可以是金属、非金属元素或者是稳定的化合物。按照组元的数目,合金可分为二元合金(如铜和锌组成的合金——黄铜)和三元合金(如铝、铜、镁组成的合金——硬铝)等。

各种成分的合金,可显著地改变金属材料的结构、组织和性能。合金所能达到的性能,不仅在强度、硬度、耐磨性等力学

性能方面比纯金属高,而且在电、磁、化学稳定性诸方面也可以与纯金属相当或更好,且成本低廉。所以工程上大量使用各类合金。

合金的优良性能是由它的内部结构和组织所决定的。合金中,凡化学成分相同、晶体结构相同并有界面与其他部分分开的均匀组成部分叫做相。液态物质为液相,固态物质为固相。在固态下,物质可以是单相的,也可以是多相的。由数量、形态、大小和分布方式不同的各种相组成合金的组织。组织是指不同相的组合,也可以说是用肉眼或显微镜所观察到的材料的微观形貌。由不同组织构成的材料具有不同的性能。

2. 合金的相结构

固态合金中基本相结构为固溶体和金属化合物。此外,还有由固溶体和金属化合物等相

组成的混合物组织。

1) 固溶体

合金在固态时,组元间会互相溶解,形成一种在某一组元晶格中包含有其他组元的新相,这种新相称为固溶体。晶格与固溶体相同的组元为固溶体的溶剂,其他组元为溶质。根据溶质原子在溶剂晶格中所占的位置,可将固溶体分为置换固溶体和间隙固溶体。

(1) 置换固溶体 溶剂原子在晶格中所占据的部分位置,被溶质原子所替换,这样形成的固溶体叫做置换固溶体(图 1-12)。当溶剂原子的直径与溶质原子直径差别不大时,才易于形成置换固溶体。



图 1-12 置换固溶体

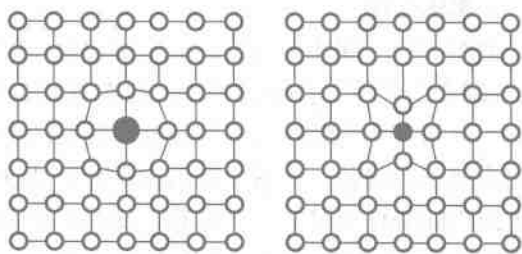


图 1-13 置换固溶体的晶格畸变

在置换固溶体中,因为溶入了溶质原子,所以会造成晶格畸变(图 1-13)。随着固溶体中溶质原子浓度的增加,晶格畸变增大,固溶体的强度、硬度升高。溶质原子使固体的强度和硬度升高的现象,称为固溶强化。固溶强化是提高金属材料力学性能的重要途径之一。

(2) 间隙固溶体 溶质原子嵌入溶剂晶格的间隙而形成的固溶体,称为间隙固溶体(图 1-14)。只有当溶质原子直径与溶剂原子直径之比小于 0.59 时,才能形成间隙固溶体,如碳、氮、硼等元素与铁都能形成间隙固溶体。

溶质原子溶入溶剂晶格间隙后,也将使溶剂晶格发生畸变(图 1-15),因而也产生固溶强化现象。

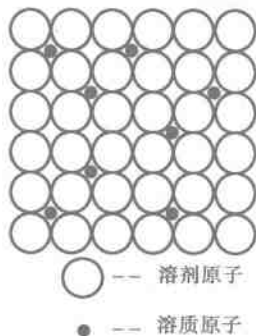


图 1-14 间隙固溶体

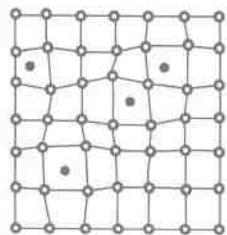


图 1-15 间隙固溶体的晶格畸变

2) 金属化合物

合金中,当溶质含量超过固溶体的溶解度时,将会出现新相。若新相的晶体结构不同于任