

金属材料及热处理

《金属材料及热处理》编写组

上海人民出版社



77.14

345

金属材料及热处理

《金属材料及热处理》编写组

上海人民出版社

D10.10

金属材料及热处理

《金属材料及热处理》编写组

上海人民出版社出版

(上海绍兴路5号)

新华书店上海发行所发行 上海中华印刷厂印刷

开本 787×1092 1/16 印张 12 字数 260,000
1974年3月第1版 1976年9月第3次印刷

统一书号: 15171 142 定价: 0.78 元

毛主席语录

教育必须为无产阶级政治服务，必须同生产劳动相结合。

教材要彻底改革，有的首先删繁就简。

人的正确思想，只能从社会实践中来，只能从社会的生产斗争、阶级斗争和科学实验这三项实践中来。

中国人民有志气，有能力，一定要在不远的将来，赶上和超过世界先进水平。

前 言

在批林整风的有力推动下,根据我们各校的具体情况,为了适应教育革命发展的需要,我们遵照毛主席关于“教育要革命”,“教材要彻底改革”的教导,编写了这本《金属材料及热处理》教材,供机械制造类冷加工专业用。

在编写这本教材时,我们尽量针对机械制造类冷加工专业的实际需要,在批判旧教材的基础上,在理论联系实际和贯彻少而精方面,作了一定的努力。在机械产品的设计和制造过程中,经常遇到金属材料及热处理方面的问题。能否合理地选用金属材料和适当地进行热处理,对产品的质量、性能和经济性有很大的影响。如何妥善地安排整个生产工艺路线,使冷、热加工各工序很好地配合起来,也是非常重要的。本教材以培养学员具有分析和解决这些问题的初步能力为目标,结合生产实际,扼要讲述下列内容:金属材料性能与成份、组织、结构之间的关系;工件截面尺寸、加工工艺等因素对金属材料组织结构和性能的影响;热处理原理和热处理工艺的基本知识;常用金属材料(碳钢、合金钢、铸铁、有色金属、粉末冶金材料等)的分类、编号、成份、组织结构、性能和用途;合理选用金属材料的一般原则;热处理技术条件的标注;典型零件选材及工艺分析;冷加工方面减少变形、防止开裂的有效措施等。注意到结合国内实际生产情况,本教材对我国科学技术的新成就有适当的反映,如铝基轴承合金、低淬透性用钢,以及粉末冶金、软氮化等,对球墨铸铁也予以足够的重视。

本教材在讲授时,应注意下列几点:

(1) 为使学员在学习本课前具备一定的感性知识,有必要安排学员在热处理车间进行短期劳动或现场教学。

(2) 第四、五、六、七各章、为照顾到冷加工各专业的需要,内容偏多,可适当选学。

(3) 各专业有必要时可自编补充教材。

本教材亦适合工厂有关专业的生产人员阅读、参考。

本教材初稿由广东工学院、山东工学院、山西矿业学院、上海机械学院、太原工学院、太原重型机械学院、东北重型机械学院、吉林工业大学、河北工学院、洛阳农机学院等院校参加编写。在编写过程中得到了各地工厂和科研单位的大力支持和热情帮助。最后在上海会审定稿时,又有北京农机学院、武汉钢铁学院、陕西机械学院、湖北农机学院等院校参加。另外还邀请了上海机床厂工人师傅和技术人员参加了整个会审工作,听取了上海市科学技术交流站组织的有关工厂和科研单位的意见。所以整个教材编写工作是在各单位大力协助下,以“三结合”形式进行的,是集体的创作。

由于编者思想和业务水平有限,实践经验不多,以及编写时间匆促,书中一定存在不少缺点和错误。恳切希望广大工农兵学员和教师,各位读者提出宝贵意见,以便今后改进。

《金属材料及热处理》编写组

1973年8月

目 录

第一章 金属的机械性能	1	一、冷压力加工过程中钢组织性能的变化	34
第一节 机械零件的技术要求及损坏形式	1	二、冷压力加工后钢的中间退火	36
第二节 金属的晶体结构	3	三、钢的热加工	38
一、固态金属的晶体性	3	第三章 钢的热处理	40
二、金属的晶体结构	4	第一节 钢在加热时的转变	40
三、实际金属的组织与结构	5	一、共析碳钢在加热时奥氏体的形成过程	41
第三节 金属的机械性能	6	二、奥氏体晶粒的长大	42
一、变形的本质	7	三、碳及合金元素对加热转变的影响	44
二、刚度与弹性	7	第二节 奥氏体在冷却时的转变	45
三、强度	8	一、奥氏体的等温转变	47
四、塑性	9	二、奥氏体等温转变曲线的应用	52
五、硬度	9	第三节 钢的退火和正火	54
六、金属的疲劳	10	一、退火	54
七、在冲击负荷作用下金属材料的机械性能	11	二、正火	55
第二章 铁碳合金	13	三、退火与正火的选择	56
第一节 纯铁的结晶及同素异构转变	13	第四节 钢的淬火与回火	57
一、纯铁的结晶	13	一、钢进行淬火与回火的目的	57
二、纯铁的同素异构转变	14	二、钢在淬火时组织和性能的变化	57
第二节 铁碳合金的组织结构	15	三、钢的淬火工艺	59
第三节 $Fe-Fe_3C$ 状态图	18	四、钢的回火	64
一、 $Fe-Fe_3C$ 状态图的建立	19	五、淬火、回火在工艺路线中的位置	67
二、 $Fe-Fe_3C$ 状态图的分析	20	第五节 钢的淬透性	68
三、典型合金结晶过程的分析	23	一、什么叫淬透性	68
四、 $Fe-Fe_3C$ 状态图的应用	27	二、影响实际工件淬透性的因素	70
第四节 碳钢	29	三、淬透性的测量方法	71
一、钢中常存杂质的影响	29	四、在设计中如何考虑钢的淬透性	73
二、碳钢的分类、编号和用途	30	第六节 钢的表面热处理	73
第五节 压力加工对碳钢组织性能的影响	33	一、表面淬火	73
		二、化学热处理	77
		第七节 热处理变形与开裂	84
		一、热处理变形	84
		二、热处理开裂	85

第四章 合金钢	87	二、铝合金	138
第一节 合金结构钢	87	第二节 铜及其合金	143
一、合金结构钢的分类及编号	88	一、纯铜	143
二、普通低合金结构钢	89	二、黄铜	143
三、渗碳钢	90	三、青铜	145
四、调质钢	93	第三节 轴承合金	146
五、弹簧钢	97	一、锡基轴承合金(锡基巴氏合金)	147
六、滚珠轴承钢	99	二、铅基轴承合金(铅基巴氏合金)	147
第二节 工具钢	102	三、铜基轴承合金	148
一、工具钢的分类及编号	102	四、铝基轴承合金	148
二、刃具钢	102	五、铁基轴承合金	149
三、模具钢	109	第四节 粉末冶金简介	149
四、量具钢	113	一、铁基粉末冶金工艺	149
第三节 特殊性能钢	113	二、粉末冶金的应用	150
一、不锈钢	113	第七章 机械零件材料的选用	151
二、耐热钢	115	第一节 选用材料的一般原则	151
三、抗磨钢(高锰钢)	116	一、材料的机械性能	151
第四节 合金元素在钢中的作用	117	二、材料的工艺性能	152
一、合金元素与铁和碳的作用	117	三、材料的经济性	153
二、合金元素对热处理的影响	119	第二节 热处理技术条件的标注	154
第五章 铸铁	123	一、整体热处理时的标注图例	154
第一节 铸铁的一般概念	123	二、局部热处理时的标注图例	155
一、铸铁的特点和分类	123	第三节 冷加工方面减小变形、防止开裂的措施	156
二、影响铸铁石墨化的因素	124	一、改进淬火零件结构形状的设计	156
第二节 灰口铸铁及其热处理	125	二、合理安排工艺路线	160
一、灰口铸铁的组织、性能和用途	125	三、修改技术条件	161
二、灰口铸铁的变质处理——变质铸铁	126	四、按变形规律调整加工尺寸	162
三、灰口铸铁的牌号及应用举例	126	五、预先留加工余量	162
四、灰口铸铁铸件常用的热处理	126	六、更换材料	164
第三节 可锻铸铁	128	七、提高表面光洁度	165
一、可锻铸铁的组织、性能和用途	128	第四节 热处理与切削加工性的关系	165
二、可锻铸铁件的生产	129	第五节 典型零件选材及工艺分析	166
第四节 球墨铸铁及其热处理	130	一、齿轮类	166
一、球墨铸铁的组织、性能和用途	130	二、轴类	171
二、球墨铸铁的热处理	133	附录	179
第五节 合金铸铁简介	135	I. 金属的硬度	179
一、高强度合金铸铁	135	II. 顶端淬火法测定淬透性	183
二、耐磨合金铸铁	136		
三、耐热合金铸铁	136		
第六章 有色金属及粉末冶金材料	138		
第一节 铝及其合金	138		
一、纯铝	138		

第一章 金属的机械性能

现代生产和使用的金属材料种类很多,为了合理地使用金属材料,充分发挥金属材料本身的性能潜力,以达到提高产品零件的质量,节省金属材料,多快好省地建设社会主义的目的,了解金属材料的使用性能和工艺性能是十分必要的。所谓使用性能是指机械零件在正常工作情况下,材料应具备的性能。它包括机械性能和物理、化学性能等。所谓工艺性能是指机械零件在冷热加工的制造过程中,材料应具备的性能。它包括铸造性能、锻造性能、焊接性能、热处理性能、切削加工性能等。

对于机械制造工业来说,除了一些特殊的机械如在高温、高压、腐蚀气氛中工作的机械外,一般的机械零件,在设计和选择材料时大多以机械性能指标作为主要的依据。本章主要讨论金属材料的机械性能。

第一节 机械零件的技术要求及损坏形式

设计和制造机械零件时必须依据该零件的工作特性,提出确切可靠的技术要求,以保证零件的质量。零件的质量好坏,直接影响到整套机械的正常工作和运转,而材料和热处理对零件质量的提高是有密切关系的。

例如,主轴和齿轮是一般机械的重要零件,根据它们不同的工作特性,提出了不同的技术要求。

主轴在一定部位承受着不同的摩擦,特别是轴颈,其磨损程度与轴承的类别有密切的关系。在滑动轴承的配合中,轴颈和轴瓦发生摩擦,因此要求轴颈具有较高的耐磨性。随着转速的增加,对耐磨性要求更高。在滚动轴承上,摩擦转移给滚珠和衬圈。轴颈部分并不需要具有较高的耐磨性,但要求具有适当的硬度(HRC 40~50),以改善装配工艺性和保证装配精度。高速运转的主轴要承受各种各样的应力,如弯曲、扭转、冲击、疲劳等,故要求主轴还应具有抵抗各种载荷的能力。载荷愈大时抗载能力亦需相应增加。总之,为了保证主轴的精度和使用寿命,根据其工作特性,要求它具有很高的强度,足够的冲击韧性,良好的耐磨性、耐疲劳性以及尺寸稳定性等。

齿轮担负着传递动力、改变运动速度和方向的任务。在工作中,两齿面相接触承受交变接触压应力,在齿根则受交变弯曲应力。同时,由于交变应力作用而产生附加动力载荷。根据齿轮的工作特性,要求有高的接触疲劳极限,高的抗弯强度,高的耐磨性,足够的冲击韧性以及高的传动精度等。

实践证明,合理选用机械零件的材料和正确进行零件的热处理,是满足机械零件设计的

技术要求并达到机械结构紧凑,延长使用寿命的重要途径。还必须指出:实际工作中往往由于选材不当或热处理不妥而使机械零件的性能达不到技术要求,结果在使用中发生早期损坏,严重影响生产甚至造成人身事故。机械零件在使用中常见的损坏形式有变形、断裂及磨损等。

例如,图 1-1 汽车、拖拉机用螺栓的变形及折断,就是因为热处理不正确,使螺栓的强度降低而造成的,在使用中便出现这种早期损坏。

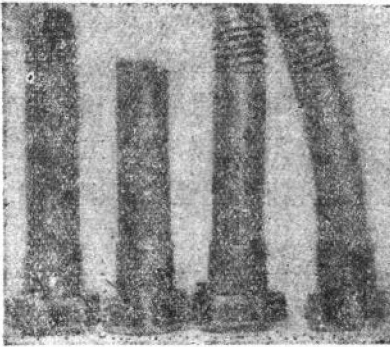


图 1-1 螺栓变形及折断

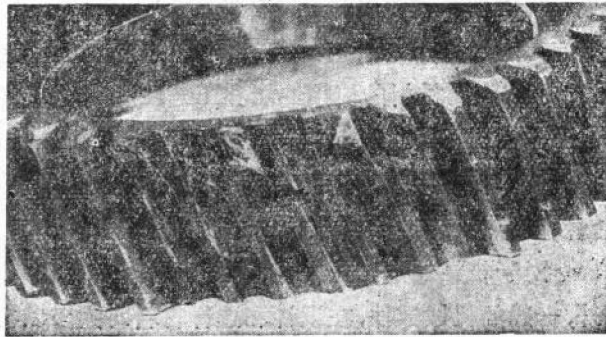


图 1-2 齿轮牙齿折断
(30CrMnTi, 心部硬度 HRC50~52)

图 1-2 汽车后桥从动螺旋齿轮的齿折断,其原因是齿轮材料选择不当,致使热处理后心部硬度过高,韧性不够,增加了齿轮的脆性,结果在挂挡起动时牙齿发生折断。

图 1-3 齿轮的磨损,是因热处理后表面硬度不够,齿面在工作中经受不住强烈的摩擦而迅速造成的。



图 1-3 主动螺旋伞齿轮磨损
(18CrMnTi, 表面硬度 HRG44~46)

以上实例说明,机械零件的使用寿命,与其机械性能(强度、塑性、韧性和硬度等)密切相关。为了正确地选择和合理地使用金属材料,了解金属材料的机械性能,以及改善和提高金属材料性能的方法是十分重要的。

在生产中常常用观察断口的方法,分析零件损坏的原因和检验产品零件的质量。例如,

断口颗粒粗大会严重地降低金属的机械性能，特别是冲击韧性。断口颗粒细小或呈纤维状时能表现出较好的机械性能，特别是塑性和韧性较好。粗颗粒、细颗粒和纤维状断口分别见图 1-4、1-5 和 1-6。

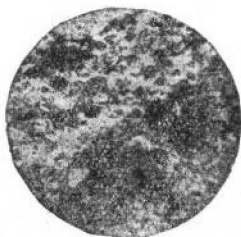


图 1-4 粗颗粒断口

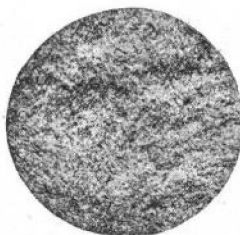


图 1-5 细颗粒断口

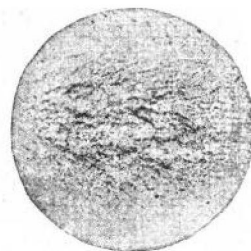


图 1-6 纤维状断口

从断口的特征反映出金属材料的性能与其组织和结构有关。为了了解金属的机械性能，首先必须了解金属的组织 and 结构。

第二节 金属的晶体结构

自然界中的化学元素可以分成两大类：金属与非金属。其中，金属元素大约占四分之三。在工业上使用的金属材料大多数都是固体状态的。一切固态金属都属于晶体物质。

一、固态金属的晶体性

在固态下，一切金属的组织都是由晶粒所组成。我们取一块纯铁，制备成金相试样，放在显微镜下观察，可以清晰地看到它是由许多小晶体组成的，这些小晶体叫做“晶粒”。它们具有不规则的外形，如图 1-7 所示。晶粒在一般情况下采用显微镜来观察，个别尺寸较大的晶粒用肉眼即可看出。用人工的方法能够培植出相当大的单个金属晶粒，这种具有一个晶粒的晶体，通常称为单晶体，见图 1-8(a) 所示。普通的金属材料都是多晶体，由许许多多晶粒所组成，见图 1-8(b) 所示。

金属晶粒与一切晶体物质一样，具有“各向异性”的特征。各向异性是指在晶体内各个方向上具有不同的物理、化学或机械性能的现象。这种现象又叫晶体的“有向性”。实验表明：金属单晶体的机械性能（如弹性、强度等）在各个方向上都不相同。例如：铁单晶体的弹性模数 E 沿立方体对角线方向上是 29000 公斤/毫米²，而沿其一边的方向上则只有 13500 公斤/毫米²，如图 1-9 所示。

但是，若将实际金属（多晶体）进行实验，结果一般并不具有各向异性现象，而在各个方向上性能是一样的。如一般纯铁的弹性模数 E 在任何方向上都是 21000 公斤/毫米²。

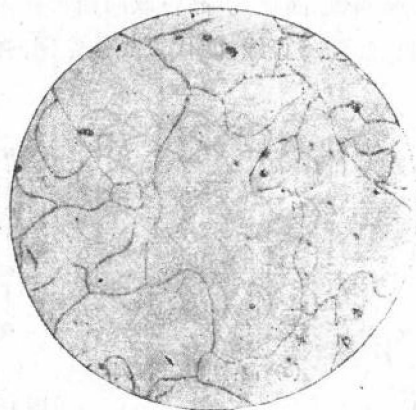
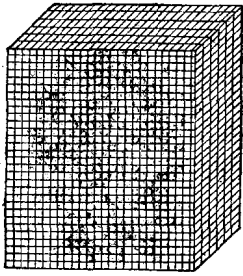
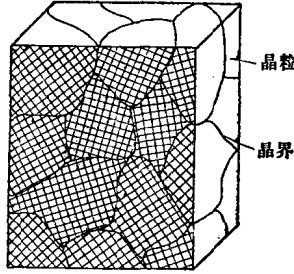


图 1-7 纯铁的显微组织



(a) 单晶体



(b) 多晶体

图 1-8 单晶体与多晶体的结构示意图

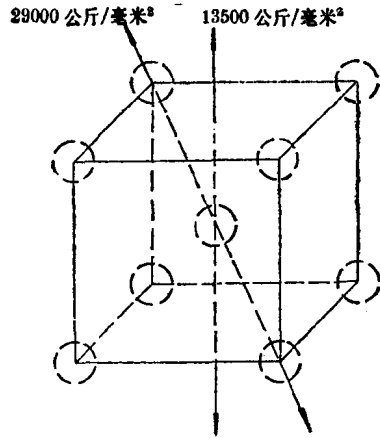


图 1-9 铁的单晶体在各个方向上弹性模数的示意图

二、金属的晶体结构

用 X 射线分析的方法进一步研究晶粒(晶体)的内部结构,发现晶粒是由具有规则排列的原子(更恰当些应该说是离子)组成的固体。这是晶体与非晶体的根本区别。非晶体内部的原子是无规则排列的。

为了便于分析各种晶体中原子排列的规律起见,可以用假想的线条将各原子的中心联接起来,使之构成一个空间格子,如图 1-10。此时各原子都是位于该假想空间格子的结点上。这种用以描述原子在晶体中排列形式的空间格子叫做“晶格”。晶格中各种方位的原子平面叫做“晶面”。晶体或晶格可认为是由层层晶面堆砌而成的。晶格中由原子或结点所组成的任一直线,能代表晶体空间内的一个方向,这种方向称为“晶向”。

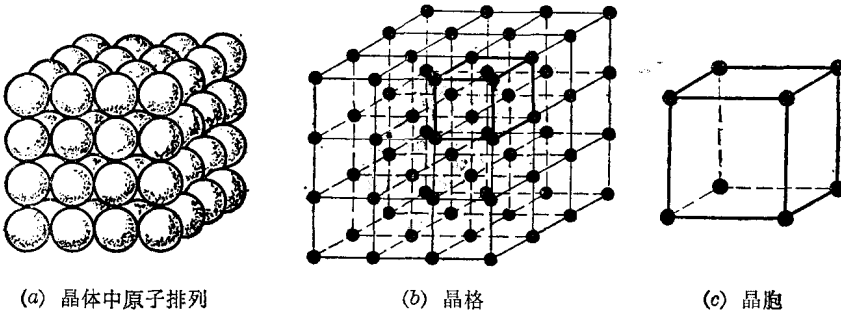


图 1-10 简单立方晶格的描述

用晶格来描述晶体结构是很不方便的。为了简便起见,通常是取晶格中一个最基本(能代表其结构特征)的单元即“晶胞”来描述晶体结构。晶胞的各边尺寸—— a 、 b 、 c 称为“晶格常数”。其大小是以埃(\AA)来量度(1 埃 = 10^{-8} 厘米)。

在金属中晶体结构的类型很多,其中最常见有体心立方和面心立方,其晶胞如图 1-11 所示。属于体心立方晶体结构的金属有: α 铁、 α 铬、钨、钼等;属于面心立方晶体结构的金属有: γ 铁、铜、铝、镍等。

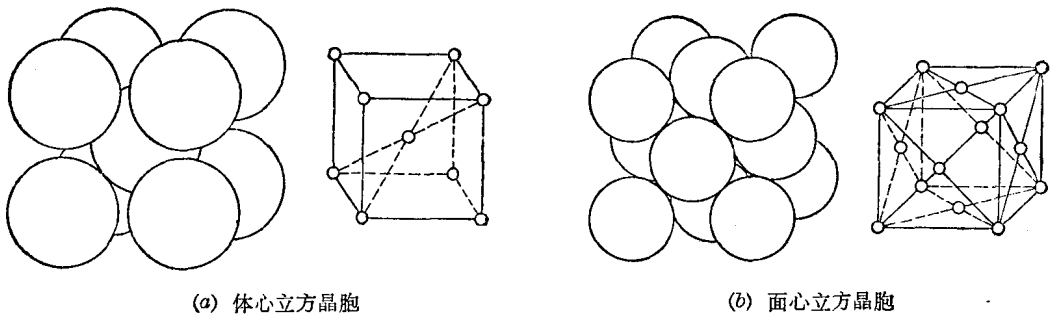


图 1-11 体心立方晶胞和面心立方晶胞

体心立方晶胞的每个角上和晶胞的中心都有一个原子。面心立方晶胞的每个角上和立方体每个面的中心都有一个原子。单晶体(或晶粒)中的“各向异性”，是由于单晶体各晶面和各晶向上原子排列密度不同所引起的。例如，铁单晶体的弹性模数 E 在各个方向之所以不同，是由于铁在室温时是体心立方晶格。这种晶格的原子排列密度，沿其对角线方向上比沿其一边方向上大。原子排列密度大，原子之间的距离小，结合力大，故其弹性模数也大；反之则小。在多晶体金属中，一般来说，则不显示各向异性，这是因为在多晶体中各个晶粒的位向是不规则的，它们的各向异性彼此抵消，结果使多晶体呈现各向同性。因此，多晶体的各向同性称为“伪无向性”。在某种条件下，多晶体也能显示出方向性来。这在以后再作介绍。

三、实际金属的组织与结构

实际应用的金属绝大多数是多晶体组织，一般不仅表现出各向同性，而且实际金属的强度也比理论强度低几十倍至几百倍。如铁的理论切断强度(切应力)为 230 公斤/毫米²，而实际的切断强度仅为 29 公斤/毫米²。这是什么原因呢？前面所述是对单晶体而言，并且为了研究方便，认为是原子排列完全规则的理想晶体。而实际上，金属是由多晶体组成的，并且晶体内存在许多缺陷。晶体缺陷的存在，对金属的机械性能和物理、化学性能都有显著的影响。

(一)面缺陷 多晶体金属是由很多晶格方位不同的晶粒所组成。晶粒与晶粒之间由于结晶方位不同(相差达 20~40°)，便形成一交界，叫做“晶界”，见图 1-8(b)。该处的原子排列是不整齐的，晶格歪扭畸变并常有杂质存在。晶界在许多性能上显示出一定的特点，例如：晶界抗蚀性比晶粒内部差；晶界的熔点较晶粒内部低；细晶粒的金属比粗晶粒的金属晶界多得多，这是细晶粒金属的强度比粗晶粒金属高的原因之一(详见第二章)。

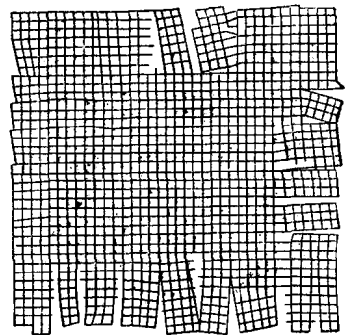


图 1-12 嵌镶块结构示意图

除晶界外，在电子显微镜(高倍放大)下观察晶粒时可发现晶粒是由一些小晶块所组成。这些小晶块称为“嵌镶块”，如图 1-12 所示。相邻嵌镶块之间具有微小的位向差，一般不超过

一度。两个相邻嵌镶块的交界地带,称为嵌镶边界。这里的原子排列,也带有一定的歪曲畸变,因此也是一种面缺陷。

与晶界的作用相类似,嵌镶块边界对晶体的性质也起着重要的作用。嵌镶结构的细化,相邻嵌镶块之间的位向差增大,都会提高晶体的强度。

(二)线缺陷 它的具体形式是各种类型的位错。其中比较简单的一种线缺陷是“刃型位错”。如图 1-13 所示,某晶面上下两部分的原子排列数目不等,好像是沿着某个晶面插入了一个原子平面,但没有插到底,这样便形成了一个刃型位错。实际金属晶体内存在大量的位错,一般在每平方厘米面积上含有 10^8 个位错。经冷加工塑性变形后,位错数目可达到每平方厘米 10^{12} 个。由于位错密度的增加,使金属的强度大大提高。

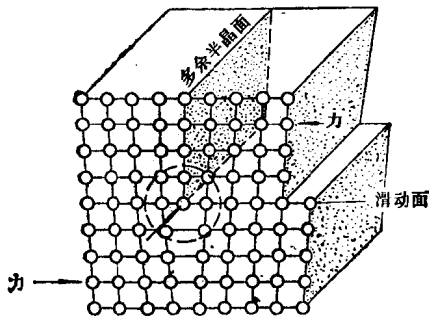


图 1-13 刃型位错的示意图

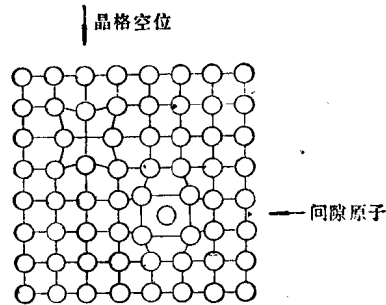


图 1-14 点缺陷示意图

(三)点缺陷 例如在实际晶体结构中,经常发现有的原子没有占据结点上的位置,而占据了晶格间隙的位置。由于晶格中存在“空位”与“间隙原子”等点缺陷,遂使晶体结构发生歪曲畸变,如图 1-14 所示。其结果使金属的屈服强度提高。

第三节 金属的机械性能

金属的机械性能是指金属材料在外力作用下表现出来的特性,如弹性、强度、硬度、韧性和塑性等。也有人把它叫做“力学性能”。我们就是用金属材料在不同受力条件下所表现出来的不同的特性指标,来衡量金属材料的机械性能。

任何金属,在外力作用下引起的变形过程都可分为三个阶段:

(1) 弹性变形阶段。即在应力不大的情况下,变形量随应力值成正比例增加,当应力去除后变形完全消失。

(2) 弹-塑性变形阶段。即当应力超过弹性极限时,在应力去除后变形不能完全消失,而有残留变形存在,这部分残留变形即塑性变形。此阶段的变形通常都是由弹性变形和塑性变形两部分所组成。

(3) 断裂。当应力继续增大,金属在大量塑性变形之后即发生断裂。脆性材料在断裂之前往往没有明显的塑性变形阶段,这种断裂称为脆性断裂。而经大量的塑性变形之后发生的断裂,称为韧性断裂。

金属的机械性能指标,反映了金属材料在变形过程中的某些特性,对选用金属材料有重要意义,下面分别加以介绍。

一、变形的本质

金属材料在外力作用下,所引起的尺寸和形状的变化称为变形。金属的变形是由弹性变形和塑性变形所组成。在外力作用下变形金属内部结构如何变化呢?为了讨论方便,我们借助图 1-15 首先讨论单晶体金属的变形。

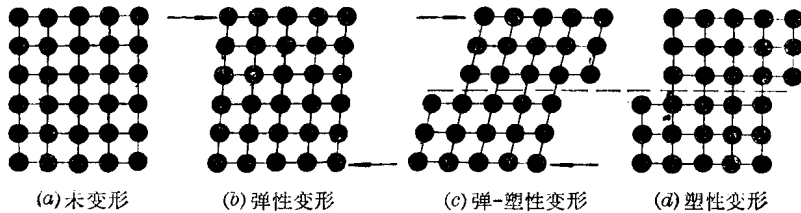


图 1-15 在切应力作用下单晶体变形的示意图

单晶体金属的晶格在受到正应力作用时,仅发生弹性变形,随后直接过渡到脆性断裂。只有受到切应力时才会发生塑性变形。图 1-15(a),为晶体在未受到外力时的原始状态。当晶体受外力(切应力)作用时,晶格将发生弹性的歪曲(或伸长),如图 1-15(b)。此时若将外力去除,则晶体将由于其原子间的结合力而恢复到原始状态。若外力(切应力)继续增加,使晶格的歪扭程度超过弹性变形阶段之后,则晶体的一部分将会相对于另一部分发生滑动(或位移),通常称其为“滑移”,如图 1-15(c)。当晶体发生滑动后,去除外力,晶体的变形将不能全部恢复,如图 1-15(d)。

由此可见,所谓弹性变形乃是晶体在外力作用下发生弹性的伸长或歪扭,而当外力去除后,变形了的晶体便依靠其原子间结合力而恢复原状。

所谓塑性变形,乃是在外力(切应力)的作用下晶体的一部分相对于另一部分通过滑移的方式而产生的永久变形。

多晶体金属的变形,虽然由于晶界的存在和晶粒方位的不同,使变形比单晶体复杂得多(详见第二章),但是在多晶体中各个晶粒内的变形情况,基本上与单晶体的变形情况相似。

二、刚度与弹性

(一)刚度 零件在受力时抵抗弹性变形的能力称为“刚度”。

材料在弹性范围内,应力与应变的比值——弹性模数 E ,相当于引起单位变形时所需之应力。因此,它在工程技术上是衡量材料刚度的指标。 E 愈大,刚度愈大,即在一定的应力作用下发生的弹性变形愈小。

弹性模数主要决定于原子本性、晶格类型和晶格常数。通常人们改变金属机械性能的一些重要手段,如合金化、热处理、冷热加工等,对晶格常数的变化影响很小,所以弹性模数

是金属材料最稳定的性质之一。对钢来说,在室温下的正弹性模数 E 大都在 19000~22000 公斤/毫米² 范围之内。但随着温度的升高而逐渐降低。

任何机器零件,在使用过程中大都处于弹性状态。对于要求弹性变形较小的零件,应采用大的弹性模数,如镗床的镗杆,若刚度不足,则当进刀量较大时,镗杆本身的弹性变形量过大,镗出的内孔会偏小而影响精度。

(二)弹性 这是指材料所具有的弹性变形性质。表示材料最大弹性的指标称为弹性极限(σ_e),即在不产生塑性变形时,材料所能承受的最大应力。 σ_e 可理解为塑性变形刚要出现而尚未出现时的正应力值。实际上很难测定。所以一般多不进行测定,而以规定的比例极限代替之。

比例极限,顾名思义,是应力与应变能保持直线关系时的最大应力值。常用符号 σ_p 表示,单位为公斤/毫米²。

三、强 度

强度是物体在外力作用下,抵抗产生塑性变形和断裂的特性。常用的特性指标有屈服极限(σ_s)和强度极限(σ_b)。

(一)屈服极限 材料承受载荷时,当载荷不再增加而仍继续发生塑性变形的现象叫做“屈服”。开始发生屈服现象时的应力,即开始出现塑性变形时的应力叫做“屈服极限”(σ_s)或“屈服点”。它是代表材料抵抗微量塑性变形的抗力指标。

它和弹性极限的区别只在于:后者代表滑移将要出现而尚未出现时的抗力指标,而前者代表滑移已经出现时的抗力指标。实际上,这两个指标虽然物理意义不同,但其值完全一样。

对于实际金属来说,要发现第一个开始滑移的个别晶粒是很困难的,也是没有意义的。为了确定各种材料的屈服极限,工程上规定产生永久残余塑性变形等于一定值(0.1~0.5%,通常为0.2%)时的应力称为“条件屈服极限”(或条件屈服强度),常用 $\sigma_{0.2}$ 表示。

屈服极限是工程技术上最重要的机械性能指标之一,也是设计时绝大部分零件选用材料的依据。例如设计汽车、拖拉机气缸盖螺栓时就是以屈服极限为依据的。为了保证气缸体与缸盖的密封性,螺栓是不允许出现塑性变形的。根据设计要求,必须选用 σ_s 不低于 60 公斤/毫米² 的材料。

(二)强度极限 材料在受力过程中,从开始加载至断裂时止,所能达到的最大应力值叫做“强度极限”。它是表示大量均匀塑性变形的抗力指标。一般又称为“抗拉强度”或“强度”。

在工程上希望金属材料不仅具有高的 σ_s , 并且具有一定的屈强比(σ_s/σ_b)。屈强比愈小,结构零件的可靠性愈高,万一超载,也能由于塑性变形使金属的强度提高而不致立刻破断。但如果此值太低,则材料强度的有效利用率太低。因此,一般希望屈强比高一些。屈强比对不同零件有不同要求。例如:碳素结构钢一般为 0.6 左右,普通低合金钢一般为 0.65~0.75,合金结构钢一般为 0.85 左右。

四、塑 性

金属的塑性是指金属在外力作用下产生塑性变形而不破坏的能力。

塑性与硬度、强度的关系,并不是在所有情况下,硬度大、强度高的材料,其塑性就一定差。由表 1-1 可见,Fe、Ni 金属不但硬度高,并且塑性也很好。

表 1-1 几种金属的性能比较

名 称	硬 度 (HB)	断 面 收 缩 率 (%)
铁 (Fe)	80	80
镁 (Mg)	8	3
锑 (Sb)	30	0
镍 (Ni)	60	60

常用的塑性指标有:延伸率(δ)和断面收缩率(ψ)。

(一)延伸率 它是用试样拉断后的总伸长同原始长度之比值的百分率来度量塑性的大小。由于总伸长是均匀伸长与产生局部缩颈后的伸长之和,故 δ 值的大小与试样尺寸有关。为了便于比较,试样必须标准化。 δ_5 或 δ_{10} 表示试样的计算长度为其直径的 5 倍或 10 倍。

(二)断面收缩率 它是用试样在拉断后,断口面积的缩减同原截面面积之比值的百分率来度量塑性的大小。

一般来说塑性材料的 δ 或 ψ 较大,而脆性材料的 δ 或 ψ 较小。由于 δ 的大小随试样尺寸而变化,因此,它不能充分地代表材料的塑性。而断面收缩率与试样尺寸无关,它能较可靠地代表金属材料的塑性。对于材质所引起的塑性降低, ψ 比 δ 反应敏感。如大型锻件表面和内部不同部位取样,有时 δ 相差不大,而 ψ 相差悬殊,原因就在于此。

上述塑性指标在工程技术中具有重要的实际意义。首先,良好的塑性可顺利完成某些成型工艺,如冷冲,冷拔等。其次,良好的塑性使零件在使用时,万一超载,也能由于塑性变形使材料强度提高而可避免突然断裂,故在静载荷下使用的机械零件都需要具有一定的塑性。根据不同的工艺而有不同的要求。但是一般并不需要很大的塑性, δ 达 5% 或 ψ 达 10% 能满足绝大多数零件的要求,过高的塑性是没有必要的。

五、硬 度

所谓硬度就是金属材料抵抗压入物压陷能力的大小,也可以说是材料对局部塑性变形的抗力。

常用的硬度指标有:布氏硬度(HB),洛氏硬度(HRC、HRB)和维氏硬度(HV)等。

硬度是材料的重要性能之一。一般情况下,硬度高时耐磨性能也较好,并且硬度与强度之间有一定的关系(因为硬度是反映局部塑性变形的抗力)。根据经验,硬度与抗拉强度有如下近似关系:

$$\text{低碳钢} \quad \sigma_b = 0.36 \text{ HB}$$

高碳钢 $\sigma_b = 0.34 \text{ HB}$

调质合金钢 $\sigma_b = 0.325 \text{ HB}$

此外, 由于其试验方法简便、迅速、经济, 因此在零件技术条件中常标注硬度 (详见附录)。

六、金属的疲劳

大多数机器零件是在重复或交变应力作用下工作的。如各种发动机曲轴、机床主轴、齿轮、各种滚动轴承等。金属材料在小于 σ_b 以下的重复交变应力作用下发生断裂的现象称为“金属的疲劳”。

(一) 疲劳极限 实践证明, 材料所受重复或交变应力 σ 与其断裂前的应力循环次数 N 有如图 1-16 所示的曲线关系。该曲线称为“疲劳曲线”或 $\sigma-N$ 曲线。从曲线可以看出, 应力最大值 σ 愈低, 则断裂前的循环次数 N 愈多。当应力降至某一定值后, 疲劳曲线与横坐标轴平行, 即表示在一定条件下当应力最大值低于某一定值时, 材料可能经受无限次应力循环而仍不发生疲劳断裂。此应力值叫做“疲劳极限”。当应力循环对称时, 用符号 σ_{-1} 表示之。对钢铁来说, 如 N 达 $10^6 \sim 10^7$ 次仍不发生疲劳断裂, 则可认为随着 N 的继续增加, 将不会再发生疲劳断裂了。因此可以采用 $N = 10^7$ 为基数, 确定钢的疲劳极限。对于有色金属, 一般则需规定应力循环次数在 10^8 或更多周次才能确定其疲劳极限。

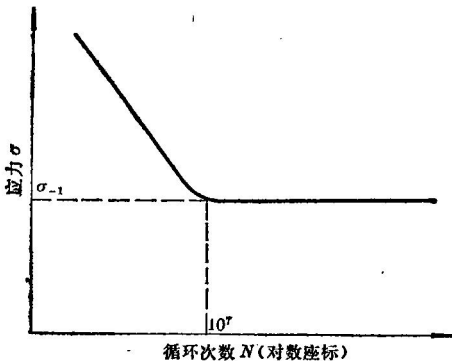


图 1-16 疲劳曲线

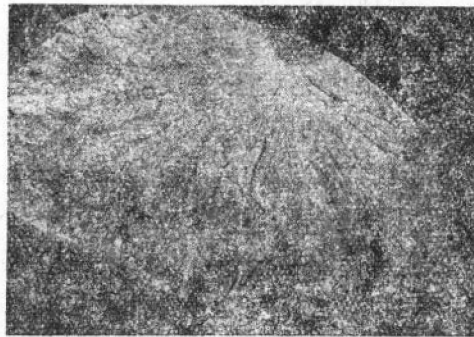


图 1-17 疲劳断口

(二) 疲劳断口分析 疲劳断口一般由两部分组成。一部分是疲劳裂纹扩展部分, 其特征是因经过摩擦而较光滑, 有时并可观察到若干弧形或放射形的特征。另一部分是突然断裂部分。如图 1-17 所示。从疲劳断口的特征可以看出, 疲劳裂纹的发生和发展与金属内部结构的变化有关。

疲劳断裂的过程: 现在一般认为在重复或交变应力作用下, 其应力值虽然远小于其抗拉强度, 但材料表面层某些晶粒, 由于位向或其他原因造成大于 σ_s 的应力, 产生局部塑性变形而导致微裂纹, 或由于材料表面有夹杂、划痕及其他造成应力集中的缺陷, 而导致微裂纹的产生。这种微裂纹随应力循环次数的增加而逐渐扩展, 直至最后未裂的截面大大减小, 以致不能承受所加载荷而突然断裂。