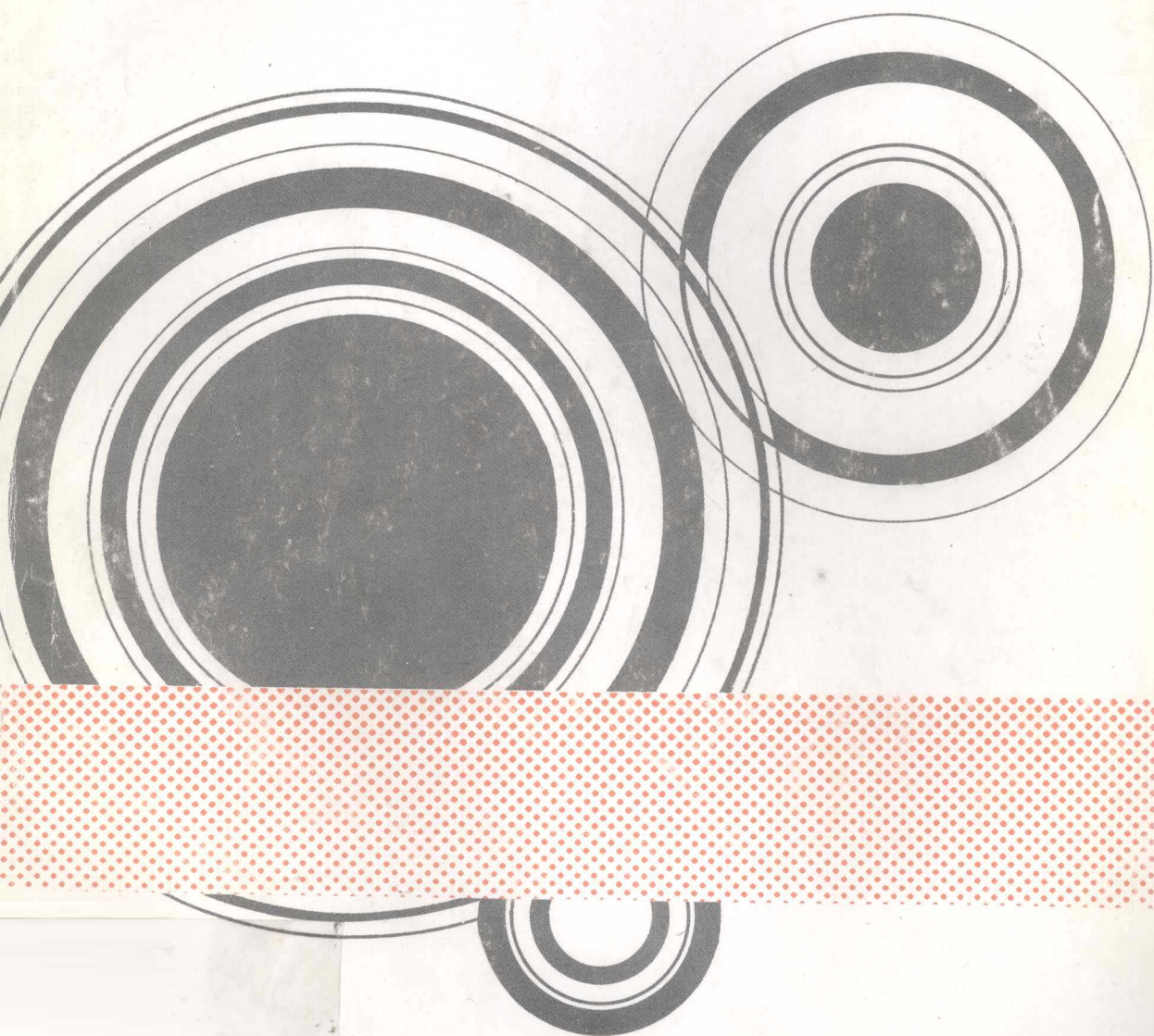


高等学校教材

金属材料及热处理

孙广锡 / 主编



西北大学出版社

高 等 学 校 教 材

金属材料及热处理

孙广锡 陈友来 钱崇越 刘金利 编
易文质 审

江苏工业学院图书馆
藏书章

西北大学出版社

(陕)新登学 011 号

金属材料及热处理

孙广锡 陈友来 钱崇越 刘金利 编
易文质 审

*

西北大学出版社出版发行

(西安市太白路)

新华书店经销 西安建筑科技大学印刷厂印刷

*

787×1092 1/32 开本 印张 14.625 字数:353 千

1995 年 8 月第 1 版 1995 年 8 月第 1 次印刷

印数:1—3000

ISBN7-5604-0919-9/TG·1 定价:12.50 元

内 容 简 介

本书主要包括:金属材料的性能,金属学基本知识,钢的热处理,常用金属材料,典型工件用材及热处理。本书编入机械制造中常用的五类零件、四类工具的用材和热处理,以帮助读者熟悉工件用材,并训练选用热处理方法的能力。常用金属材料名称、牌号及技术条件,力学性能指标及单位,热处理名词术语及其质量检测,均采用最新国家标准(含 1991 年颁布的)。内容少而精,重点突出,层次清晰,文字简明。

本课开设硬度、金相分析、铁碳合金平衡组织观察,钢的热处理及其组织观察等实验,该实验指导书列于附录中。本书为高等学校机械类专业教材,也可供工程技术人员参考。

前 言

《金属材料及热处理》在《金属学及热处理》(石霖编)、《金属材料及热处理》(上海机械学院等 14 所院校合编)、《金属材料及热处理》(史美堂主编)等教材基础上,总结多年教学经验而编写的。尤其是兄弟院校在本课程中的大量教改经验为本书提供了丰富的素材。

本课程是为未来的机械工程技术人员提供有关金属材料及热处理方面的技术基础知识,主要是钢铁材料及其热处理知识,为解决工程实际问题作准备。多年来,国内外对本课程内容的处理不完全一样,其效果各异。近年来,据调查,机械工业生产部门对高校毕业生反应是,对金属材料及热处理的基本知识掌握不牢和解决实际问题的能力较差。据此,本书在保证机械制造应用技术所必须的有关金属材料及热处理知识的基础上,力求内容少而精,重点突出;并选编了常见零件和工具的主要失效形式、技术要求、用材和热处理,使理论与实际相结合,以消化、巩固基本知识,并使学生熟悉常见工件用材和热处理,这些内容不一定在课堂上讲授,可采用启发讲解、自学、讨论等方式进行。

本书由西安理工大学孙广锡(绪论、第一、二、九章)、南京理工大学陈友来(第三、四、六章)、北京机械工业学院钱崇越(第五、七、八章)编写,附图由西安理工大学刘金利提供,孙广锡担任主编,湖南大学易文质担任主审。在编写过程中,西安理工大学龚宗智教授给予关怀和指导,还曾得到任润刚等许多老师们的热忱帮助和支持,在此一并表示感谢。

由于编者水平有限,经验不多,缺点和错误在所难免,恳切希望广大读者批评指正。

编 者

1995 年 5 月

目 录

前言

绪论

第一章 金属材料的力学性能

§ 1-1 刚度、强度、塑性	3
一、刚度	4
二、强度	4
三、塑性	5
§ 1-2 冲击韧性	5
§ 1-3 疲劳强度	7
§ 1-4 硬度	8
一、布氏硬度	8
二、洛氏硬度	9
三、维氏硬度	10

第二章 金属及合金的结构与结晶

§ 2-1 金属的结构与结晶	12
一、金属键与金属的特性	12
二、金属的晶体结构	12
三、金属的实际晶体结构与晶体缺陷	16
四、金属的结晶	17
§ 2-2 合金的结构与相图	22
一、合金的概念	22
二、固态合金中的相结构	22
三、二元合金相图	24

第三章 金属的塑性变形与再结晶

§ 3-1 金属的塑性变形	33
一、单晶体金属的塑性变形	33
二、多晶体金属的塑性变形	36
三、合金的塑性变形	37
§ 3-2 塑性变形对金属组织与性能的影响	38
一、金属组织和结构的变化	38
二、加工硬化	39
三、残余内应力	40
§ 3-3 回复与再结晶	40
一、变形金属在加热时的变化	41

二、塑性变形金属的热处理	42
三、金属的热加工概念	44
第四章 铁碳合金相图	
§ 4-1 概述	46
一、纯铁的同素异构转变	46
二、铁碳合金的相与基本组织	47
§ 4-2 Fe-Fe ₃ C 相图	49
一、Fe-Fe ₃ C 相图分析	49
二、典型铁碳合金的结晶过程	53
§ 4-3 含碳量对碳钢组织与性能的影响	57
一、含碳量对碳钢组织的影响	57
二、含碳量对碳钢性能的影响	58
第五章 钢的热处理	
§ 5-1 钢在加热时的转变	61
一、奥氏体的形成	61
二、奥氏体晶粒的长大及其影响因素	62
§ 5-2 钢在冷却时的转变	63
一、过冷奥氏体等温转变	64
二、过冷奥氏体连续冷却转变	69
§ 5-3 钢的退火与正火	71
一、退火	71
二、正火	73
三、退火与正火的选用	74
§ 5-4 钢的淬火与回火	75
一、淬火	75
二、回火	82
§ 5-5 钢的淬透性	85
一、淬透性的概念	85
二、淬透性的测定及表示方法	86
三、影响淬透性的因素	87
四、淬透性的实际意义	88
五、钢的淬硬性	88
§ 5-6 钢的表面热处理	89
一、钢的表面淬火	89
二、钢的化学热处理	92
§ 5-7 热处理新工艺简介	98
一、形变热处理	98
二、真空热处理	98
三、离子轰击热处理	99

第六章 工业用钢

§ 6-1 概述	100
一、钢中的常存杂质	100
二、合金元素在钢中的作用	101
三、钢的分类和编号原则	105
§ 6-2 结构钢	106
一、碳素结构钢	107
二、优质碳素结构钢	109
三、低合金结构钢	111
四、合金结构钢	113
五、易切削结构钢	116
六、弹簧钢	117
七、滚动轴承钢	119
八、铸钢	120
九、保证淬透性钢和低淬透性钢	121
§ 6-3 工具钢	122
一、碳素工具钢	122
二、合金工具钢	123
三、高速工具钢	127
四、硬质合金	129
§ 6-4 特殊性能钢	130
一、不锈钢	130
二、耐热钢	132
三、耐磨钢	133

第七章 铸铁

§ 7-1 概述	134
一、铸铁的石墨化	134
二、铸铁的分类	136
§ 7-2 灰铸铁	137
一、化学成分、组织和性能	137
二、牌号和应用	137
三、热处理	138
四、变质处理	139
§ 7-3 可锻铸铁	140
一、化学成分、分类和组织	140
二、可锻化退火	140
三、牌号、性能和应用	141
§ 7-4 球墨铸铁	141
一、化学成分、组织和性能	142

二、牌号和应用	142
三、热处理	143
第八章 有色金属及其合金	
§ 8-1 铝及其合金	145
一、工业纯铝	145
二、铝合金	145
§ 8-2 铜及其合金	150
一、工业纯铜	150
二、铜合金	151
§ 8-3 轴承合金	153
一、轴承合金的性能要求与组织	153
二、常用轴承合金	155
三、轴承合金的代号、性能和用途	155
第九章 典型工件用材及其热处理	
§ 9-1 机械零件用材及其热处理	157
一、轴类零件	157
二、齿轮类零件	162
三、其它零件	167
§ 9-2 工具用材及其热处理	174
一、铰刀	174
二、冷冲模	176
三、胎模	178
四、螺纹环规与样板	179
附图 金属材料的组织和常用钢材淬透性曲线(GB 5216-85)	
附表一 压痕直径与布氏硬度对照表(GB 231-84)	
附表二 黑色金属硬度及强度换算值(GB 1172-74)	

绪 论

目前,金属材料是机械工业中应用最广泛的材料,它在机器设备所用材料中居首位。据统计,一辆汽车用的材料,以重量百分比计,金属材料约占 80%。不仅如此,机器设备中的关键零件几乎都是用金属材料制造的。这主要是由于金属材料具有良好的性能,用它做机械零件容易加工制造,并且还能满足机械零件所要求的使用性能。特别是关键零件大多用金属材料制造才能达到所要求的使用性能。

热处理能够通过改变金属材料的组织来改善金属材料的性能。因此,在用金属材料制造机械零件时通常要进行热处理。热处理不仅能将金属材料变得更容易加工制造,还能使零件和工具获得所要求的性能。关键零件的热处理尤为重要,它若不热处理或热处理不当,不仅寿命低还可能造成严重事故。因此,热处理通常是机器制造过程中必不可少的工序,是挖掘材料潜力、降低生产成本、提高产品质量的重要工艺方法。

金属材料及热处理在机器制造中的地位和作用还没有完全被人们所认识,从事机械制造工作的工程技术人员往往忽视金属材料和热处理的问题。目前,机械工业产品质量问题不少,尤其是机器设备的可靠性和使用寿命方面的问题是十分严重的。造成这些问题的原因是多方面的,有设计、制造、使用等方面的问题,而机器设备用材有误,热处理不当是经常出现的主要问题之一。例如,某化肥厂从法国进口的 30 t 合成氨合成塔塔体在吊装时联接吊耳与塔体的 12 个螺栓突然全部断裂。经失效分析表明,螺栓断裂是由于选材有误造成的。又如,某厂 1 t 模锻锤锤杆用 45 Cr 钢料直接车成不进行热处理,使用几天就发生断裂;同样锤杆经热处理后使用半年仍然完好。由此可见,零件经热处理和不经热处理其使用寿命大不一样。选用的热处理工艺方法是否正确,对产品质量和寿命有着重大影响,某厂生产的 BJ130 汽车后半轴就是一例。该半轴是用 40 Cr 钢制造的,原来采用高频淬火,在使用中发生过早扭断,平均寿命仅仅 4×10^4 km;后来改为中频淬火,它的使用寿命提高到 30×10^4 km 以上。总之,机械工业的产品质量、可靠性、使用寿命与金属材料及热处理密切相关。因此,作为从事机器制造工作的工程技术人员,必须具备有关金属材料及热处理的知识,才能胜任自己所承担的工作任务。

《金属材料及热处理》是机械制造专业必修的一门技术基础课。它主要是研究金属材料的化学成分、组织结构和性能之间的关系,以及改变其组织、性能的工艺方法;并培养学生解决工程中选用金属材料、确定热处理方法、安排工艺路线等问题的能力。

一、本课程包括的内容

(1) 金属学的基本知识 其内容有金属的力学性能、金属及合金的结构与结晶、金属的塑性变形与再结晶、铁碳相图等。它是为学习钢的热处理和常用金属材料打基础。

(2) 钢的热处理 它主要包括钢的热处理原理和工艺两部分。钢在加热时的转变、在冷却时的转变和回火转变都是比较难理解的内容。钢的热处理工艺方法在生产中应用广泛。因此,这部分内容既是课程的难点又是课程的重点。

(3) 常用金属材料 它包括工业用钢、铸铁、有色金属及其合金等内容。由于在机械工业中广泛使用钢铁材料,所以碳钢、合金钢和常用铸铁是本部分的重点。

(4) 典型工件的用材及热处理 这部分有机械零件用材及热处理、工具用材及热处理。它是为学习选用金属材料、确定热处理方法而安排的应用范例。

二、学完本课程应达到的基本要求

开始学习本课程以前,不仅仅要了解学习的目的和意义,还要了解学习本课程的基本要求。学完本课程应达到以下要求,即

(1) 掌握课程中的基本概念,并能运用这些概念来分析金属材料 and 热处理中的问题。所谓基本概念是指在金属材料及热处理中经常遇到的,并对其有重要意义的一些概念。这些概念写在各章中,这里不再重复。

(2) 掌握 Fe-Fe₃C 相图、C 曲线、回火转变等基本理论知识,并能运用它来解释钢铁材料及其热处理中的一些问题。关于其他组织转变仅要求作一般了解。

(3) 要求在热处理原理的基础上来理解各种热处理方法的本质,并熟悉常用热处理方法(退火、正火、淬火、回火、调质、表面淬火、渗碳等)的目的和应用。对于变形金属的再结晶退火、去应力退火,铝合金的时效强化和钢铁材料其他热处理方法,只要求熟悉它们的应用。

(4) 熟悉各类常用金属材料的牌号表示方法、性能特点和应用;对于工业用钢来说,应掌握常用钢号、化学成分、热处理、组织、性能和用途;还要了解碳和合金元素在钢中的主要作用;石墨对铸铁性能的影响。

(5) 一般了解零件的失效形式、选材原则和热处理技术要求的标注;熟悉常见机械零件的用材和热处理。关于机械零件和工具技术条件的拟定、材料和热处理的选用、工艺路线的安排等,仅要求初步学会分析问题、解决问题的方法。

《金属材料及热处理》是建立在物理、化学等基础课程和机械制图、金工实习、生产实践等实践基础上的一门技术基础课。它与材料力学、机械零件、机械制造基础等课程密切相关相互配合,并为学习专业课、进行工艺设计打基础。因此,学习本课程时要注意复习已修课程和阅读相关课程中的有关内容,还要深入工厂了解生产技术知识。

本课程内容丰富,因此,在学习时要认真阅读教材内容,明确课程基本内容和要求,弄清概念,掌握规律,认真完成作业。同时还要重视实验环节,练习查阅材料和热处理手册,阅读有关技术杂志。特别要注意联系生产实际,运用所学知识练习解决实际问题,这不仅能够培养分析问题、解决问题的能力,还能进一步明确学习目的和意义、增强学习自觉性、激发学习积极性,提高学习兴趣。只要坚持这样做,必能掌握课程内容,达到基本要求,取得良好的学习效果。

第一章 金属材料的力学性能

机器制造中使用的金属材料品种很多。为了合理使用金属材料,并把它加工成合格的工件,必须掌握金属材料的使用性能和工艺性能。使用性能是指为保证工件正常工作材料应具备的性能,包括力学性能、物理和化学性能等。工艺性能是指材料在加工过程中所表现出来的性能,包括铸造性能、锻压性能、焊接性能和切削加工性等。

所谓力学性能是指材料在外力作用下所表现出来的性能,如强度、塑性和韧性等。这些性能指标是通过试验测定的。在机械零件设计计算、材料选用、材质检验,以及工艺评定中,通常是以材料的力学性能指标作为主要依据。因此,需要熟悉工程上常用的力学性能指标及其含义。

§ 1-1 刚度、强度、塑性

刚度、强度和塑性是工程上常用的力学性能指标,它们是根据《GB228-87 金属拉伸试验方法》测定出来的。拉伸试验是在常温下进行的。首先将材料制成标准试样(图 1-1),然后把试样装在试验机上施加静拉力,随着拉力的增加试样逐渐产生变形,直到拉断为止。将试样从开始到拉断所受的力 F 和力 F 所对应的伸长量 ΔL 绘制在 $F-\Delta L$ 坐标上,可得出拉伸曲线。低碳钢的拉伸曲线如图 1-2 所示。

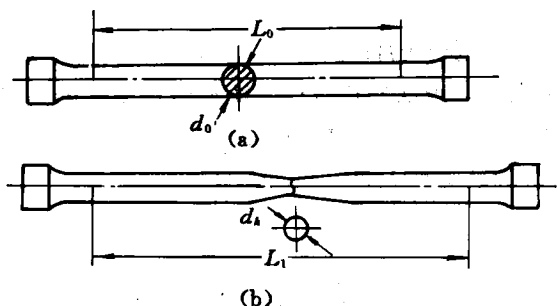


图 1-1 拉伸试样
a) 拉伸前 b) 拉伸后

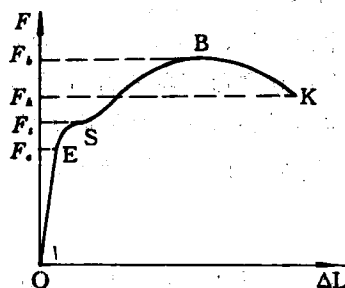


图 1-2 低碳钢的拉伸曲线

从图 1-2 可知,在 OE 阶段,试样的伸长量随拉力成比例增加,若去除拉力后试样恢复原状,这种变形称为弹性变形。超过 E 点后,若去除拉力试样不能完全恢复原状,尚有一部分伸长量保留下来,这部分遗留下来的变形称为塑性变形。当拉力增加到 F_k 时,拉伸曲线在 S 点呈现水平台阶,即表示外力不再增加试样继续伸长,这种现象称为屈服,该水平台阶称为屈服台阶。屈服以后,试样又随拉力增加而逐渐均匀伸长。达到 B 点,试样的某一局部开始变细,出现颈缩现象。由于在颈缩部分试样横截面积迅速减小,因此使试样继续伸长所需的拉力也就相应减小。当达到 K 点时,试样在颈缩处断裂。低碳钢在拉伸过程中经历了弹性变形、弹-塑性变形

和断裂三个阶段。

$F-\Delta L$ 曲线与试样尺寸有关。为了消除试样尺寸的影响,把拉力 F 除以试样原始横截面积 S_0 。得出试样横截面积上的应力, $\sigma = \frac{F}{S_0}$; 同时把伸长量 ΔL 除以试样原始标距 L_0 , 得到试样的应变, $\epsilon = \frac{\Delta L}{L_0}$ 。 $\sigma-\epsilon$ 曲线与 $F-\Delta L$ 曲线形状一样, 只是坐标不同。

一、刚度

刚度是表征金属材料抵抗弹性变形的能力。在弹性变形阶段, 即拉伸曲线上的 OE 阶段, σ 与 ϵ 的关系为直线 OE, 这表示应力 σ 与应变 ϵ 成正比, 可写成 $\sigma = E\epsilon$, 式中的 E 为与材料有关的常数, 称为弹性模量, 单位为 GN/m^2 (10^9N/m^2)。弹性模量 E 表示引起单位变形时所需的应力。工程上常用 E 作为衡量材料刚度的指标。 E 值愈大, 在一定应力作用下产生的弹性变形愈小, 则刚度愈大。

弹性模量主要取决于金属材料的种类, 即金属的本性(晶格类型、晶格常数等)。通常强化金属的一些方法, 如淬火、冷作硬化等, 对 E 值影响很小。常用材料的 E 值, 碳钢为 $196 \sim 216 \text{GN/m}^2$ 、灰铸铁为 $78 \sim 157 \text{GN/m}^2$, 铜合金为 $72 \sim 128 \text{GN/m}^2$, 铝合金为 70GN/m^2 。

一般机械零件大都在弹性状态下工作, 对刚度有一定要求, 如机床主轴、起重机臂架等, 在使用时不允许产生过量的弹性变形。

二、强度

强度是金属材料在外力作用下抵抗塑性变形和破坏的能力。常用的强度指标有屈服点、屈服强度和抗拉强度。

1. 屈服点、屈服强度

屈服点、屈服强度表征金属材料对产生明显塑性变形的抗力。

具有明显屈服现象的材料, 如低碳钢, 用屈服点来表征材料对产生明显塑性变形的抗力。所谓屈服点是指材料产生屈服时的应力, 即屈服力 F_s (N) 除以试样原始横截面积 S_0 (mm^2) 所得的商, 用 σ_s 表示, 单位为 N/mm^2 ($1 \text{N/mm}^2 \approx 0.1 \text{kgf/mm}^2$), 即

$$\sigma_s = \frac{F_s}{S_0} \text{ N/mm}^2$$

无明显屈服现象的材料, 如高碳钢、铜合金、铝合金等, 用屈服强度来表征材料对产生明显塑性变形的抗力。国家标准规定, 以对应于规定残余伸长为 0.2% 的应力 ($\sigma_{r0.2}$), 或者以对应于规定非比例伸长为 0.2% 的应力 ($\sigma_{p0.2}$) 作为屈服强度。

2. 抗拉强度

试样拉伸过程中的最大力所对应的应力, 即最大力 F_b (N) 除以试样原始横截面积 S_0 (mm^2) 所得的商, 称为抗拉强度, 用 σ_b 表示, 单位为 N/mm^2 , 即

$$\sigma_b = \frac{F_b}{S_0} \text{ N/mm}^2$$

塑性材料(如低碳钢), 由图 1-2 可知, 拉力达到 F_b 时试样出现颈缩。因此, 抗拉强度是表征材料对产生局部伸长(颈缩)的抗力。对于脆性材料(如灰铸铁), 拉伸过程不出现颈缩现象, F_b 就是断裂负荷。因此, 抗拉强度是表征材料对断裂的抗力。

若零件在使用时不允许产生过量塑性变形,应以材料的 σ_s 或 $\sigma_{p0.2}$ ($\sigma_{r0.2}$) 进行设计计算。若零件在使用时只要求不发生破坏,则以材料的 σ_b 来设计计算。因此, σ_s 、 $\sigma_{p0.2}$ ($\sigma_{r0.2}$) 和 σ_b 是机械零件设计计算的主要依据。

三、 塑性

在外力作用下金属材料在断裂前产生塑性变形的能力称为塑性。塑性通常用拉伸试验测定的断后伸长率(又称延伸率)^① 和断面收缩率来衡量。

1. 断后伸长率

断后伸长率是指试样拉断后标距的伸长量与原始标距的百分比,用 δ 表示,即

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

式中的 L_0 为试样原始标距(mm); L_1 为试样拉断后的标距(mm)。

2. 断面收缩率

断面收缩率是指试样拉断后颈缩处横截面积的最大缩减量与原始横截面积的百分比,用 ψ 表示,即

$$\psi = \frac{S_0 - S_1}{S_0} \times 100\%$$

式中的 S_0 为试样的原始横截面积(mm^2); S_1 为拉断后试样颈缩处的最小横截面积(mm^2)。

断后伸长率 δ 与试样原始标距 L_0 有关。这是由于试样拉断后的伸长量由试样的均匀伸长和颈缩处的局部伸长两部分组成的,因此 L_0 愈长则 δ 愈小。常用圆形截面试样的试样原始标距 L_0 为直径 d_0 的 10 倍(长试样)和 5 倍(短试样)二种,其断后伸长率分别用 δ_{10} (或 δ) 和 δ_5 表示。而断面收缩率与试样尺寸无关,故能更可靠地反映材料的塑性。

δ 和 ψ 是用来判断材料在断裂前所能产生的最大塑性变形量大小。一般认为 $\delta > 2 \sim 5\%$ 的材料为塑性材料,如低碳钢; $\delta < 2 \sim 5\%$ 的为脆性材料,如灰铸铁。塑性还是金属材料进行压力加工的必要条件。此外,零件也要求具有一定的塑性。因为零件在工作时万一超载,也会由于塑性变形使材料强化而避免突然断裂。但是,必须指出 δ 和 ψ 值的大小与负荷大小是无关的。

§ 1-2 冲击韧性

前面讨论的刚度、强度和塑性是在静拉力作用下的力学性能。但是,许多机器零件,如锻锤锤杆,在工作过程中往往受冲击力作用。这种急速施加的冲击力将促使金属材料产生突然脆断,具有很大危险性。因此,为确保零件安全工作,还必须了解金属材料在冲击力作用下所表现的性能。

金属材料在冲击力作用下,抵抗断裂的能力称为冲击韧性(简称韧性)。金属材料在常温下的韧性指标是用《GB229-84 金属夏比(U 型缺口)冲击试验方法》测定的,其原理如图 1-3 所示。

① 断后伸长率即旧国标中的伸长率。除此之外,新国标中还规定了屈服点伸长率 δ_s 、最大力下的总伸长率 δ_{gt} 、最大力下的非比例伸长率 δ_p ,详见 GB228-87。

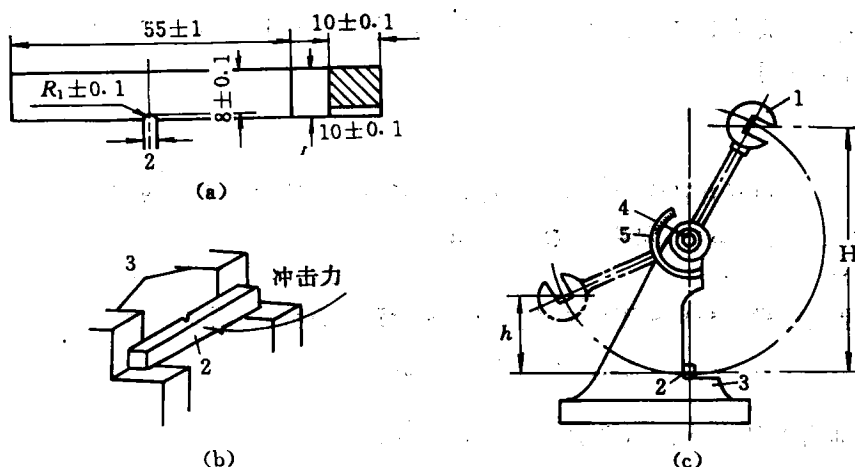


图 1-3 摆锤冲击试验示意图

a) 冲击试样 b) 试样安放 c) 冲击试验机

1—摆锤 2—试样 3—支座 4—指针 5—刻度盘

首先将被测材料制成带有 U 型缺口的标准试样(图 1-3a),然后把试样安放在试验机上(图 1-3b),呈简支梁状态,再将摆锤从一定高度落下,冲断试样。从试验机的刻度盘上可读出冲击吸收功 A_{KU} 值^①。而

$$A_{KU} = W(H - h)$$

式中的 W 为摆锤重(N 或 kgf), H 、 h 分别为摆锤冲断前的高度和冲断后的高度(m), A_{KU} 的单位为 J 或 kgf·m(1kgf·m≈9.8 J)。冲击吸收功 A_{KU} (J 或 kgf·m)除以试样冲断前缺口处的横截面积 S (cm²)所得的商,称为冲击韧度,用 a_{KU} 表示,单位为 J/cm²(或 kgf·m/cm²)。 A_{KU} 、 a_{KU} 中的“U”表示 U 型缺口试样。

冲击韧度与试样的尺寸形状有关。标准冲击试样有 U 型缺口和 V 型缺口两种,其冲击韧度分别用 a_{KU} 和 a_{KV} 表示。V 型缺口比 U 型缺口容易产生应力集中,从而使材料的脆性增加而韧性减小,故同一材料 a_{KV} 值要比 a_{KU} 值小。由于 a_{KV} 能较好反应材料的韧性,所以许多行业(如造船)都采用 a_{KV} 或 A_{KV} 来检验材料的韧性。还应该指出,不能将 a_{KU} 值误认为冲击吸收功 A_{KU} 和缺口处横截面积 S 成比例关系,即当材料的截面积增大时,冲击吸收功成比例地增大。实践表明,大型零件易于脆断,这是由于大型零件在冲断时难于发生塑性变形,从而造成脆性增加,韧性下降的缘故。为避免这种误解,一些国家已不采用冲击韧度(a_{KU} 、 a_{KV}),而是直接使用冲击吸收功 A_{KU} 或 A_{KV} 作为材料韧性的指标。

冲击吸收功、冲击韧度还与试验温度有关。一些材料的冲击吸收功、冲击韧度随温度降低而减小,且在某一温度范围发生急剧下降,这种现象称为冷脆,该温度范围称为脆性转变温度范围,如图 1-4 所示。因此,工程上还用脆性转变温度 T_K 作为材料韧性指标。由于确定脆性转变温度的依据不同,从而得到不同的脆性转变温度指标。工程上常取与某一冲击吸收功对应的

① 冲击吸收功 A_{KU} 即旧国标中的冲击功 A_K 。

温度作为脆性转变温度 T_K ，如 16Mn 钢的 T_{KU2J} 为 -40°C ，即 A_{KU} 值不低于 24J 的最低温度为 -40°C 。

韧性指标可用来估计零件在使用时是否发生脆性断裂，仅具有对比的相对意义，不能用于设计计算。零件所要求的冲击韧度是根据零件失效分析积累的资料来确定的。此外，韧性指标对材料的缺陷反映很敏感，能够灵敏地显示材料的宏观缺陷和组织微小变化，因此在生产中还用它来检验材料质量是否合格。

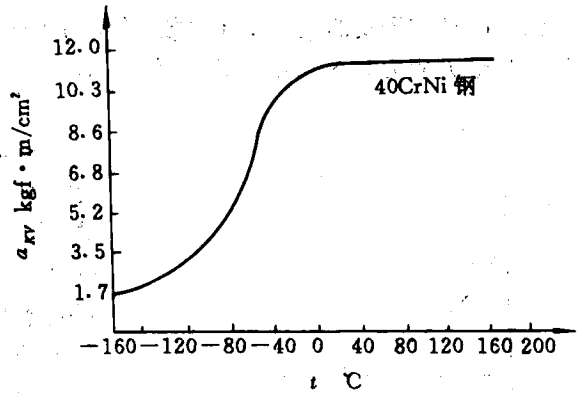


图 1-4 温度对冲击韧度的影响

§ 1-3 疲劳强度

许多零件在工作时所承受的应力是随时间作周期性变化的。例如，传动轴在旋转时虽然外力 F 不变，但轴上 A 点处的应力 σ 却是随时间 t 作周期性的变化，如图 1-5 所示。这种应力称为交变应力。从图 1-5 还可看出，最大应力 σ_2 与最小应力 σ_4 大小相等符号相反，这种应力循环称为对称循环。金属材料在交变应力作用下会产生局部累积损伤，经长期应力循环后，这种损伤逐步发展成为裂纹或断裂，这种现象称为疲劳破坏。金属材料在交变应力下的疲劳破坏与静拉力下的破坏完全不同，其特点是：疲劳破坏的应力低，其应力不仅低于抗拉强度，甚至低于屈服强度；再有，疲劳破坏时无明显的塑性变形，即使是塑性材料，在断裂前也不呈现明显的塑性变形，而是脆性断裂，因此，具有较大的危险性。

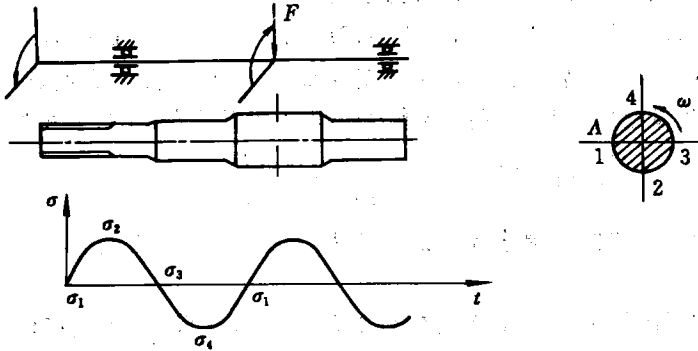


图 1-5 轴上 A 点处应力 σ 随时间 t 的变化

疲劳强度是指金属材料经无穷多次应力循环而不发生疲劳破坏的最大应力值。它表征材料对疲劳破坏的抗力。金属材料的疲劳强度，一般是用《GB4337-84 金属旋转弯曲疲劳试验方法》测定的。试验是用一组 (6~10 根) 光滑圆形截面的试样，测出试样所承受的弯曲交变应力 $\sigma_{\max}$ 与其对应的断裂前应力循环次数 N 的关系曲线 (疲劳曲线)，如图 1-6 所示。由图可知， $\sigma_{\max}$

愈小则 N 愈大；当 $\sigma_{\max}$ 降低到某一数值时，疲劳曲线趋于水平，即表示材料经无穷多次应力循环（实际上，一般规定应力循环次数 N ，钢铁材料为 10^7 次、有色金属为 10^8 次）而不发生疲劳破坏，该应力值就是材料的疲劳强度，用 σ_{-1} 或 $\sigma_{-1(N)}$ 表示。符号中的“-1”代表对称循环，“ N ”代表试样断裂前经受的应力循环次数，单位为 N/mm^2 。例如，40Cr 钢经受 10^7 次应力循环而不断裂时的最大应力为 $570N/mm^2$ ，记为 $\sigma_{-1(10^7)} = 570N/mm^2$ 。经测定钢的 σ_{-1} 只有 σ_b 的 50% 左右。

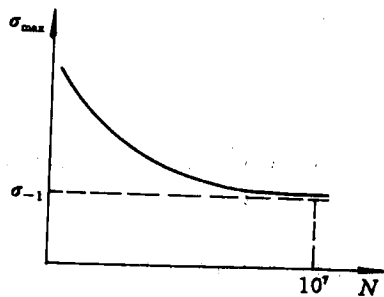


图 1-6 钢的疲劳曲线

实际零件的疲劳强度不仅与材料有关，而且还受零件尺寸形状、表面质量等因素的影响。零件上槽、孔等结构形状的突然变化，以及加工造成的刀痕，都会引起应力集中，使疲劳强度降低。而采用表面强化工艺，如表面淬火、喷丸等，都会提高疲劳强度。因此，不能把光滑圆形截面试样测定的材料疲劳强度，误认为就是零件的疲劳强度。

§ 1-4 硬度

硬度试验方法很多，在机器制造中广泛采用压入法。压入法的硬度是指金属材料抵抗比它更硬的物体压入其表面的能力。硬度试验方法简便易行，试验时不破坏工件，且硬度值与其他力学性能指标（如 σ_b 、 σ_{-1} ）有一定的关系。因此，在生产中广泛用硬度作为产品图纸的技术要求，来控制成批生产的零件质量。常用的硬度试验方法，有布氏硬度、洛氏硬度和维氏硬度等。

一、布氏硬度

布氏硬度指标是按照《GB231-84 金属布氏硬试验方法》测定的。

布氏硬度试验原理如图 1-7 所示，用一定的试验力 $F(kgf)$ ①，将直径为 $D(mm)$ 的钢球或硬质合金球压入金属表面，保持一定时间(s)后卸去试验力，然后测出金属表面的压痕直径 $d(mm)$ 。布氏硬度值是试验力 F 除以压痕球形表面积 A 所得的商，计算公式为

$$\text{布氏硬度 HB} = \frac{F}{A} = \frac{2F}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})}$$

布氏硬度值一般是根据测得的压痕直径 d 通过查表（见附表一）得出的。布氏硬度值愈大，表示材料愈硬。

布氏硬度试验测得的压痕直径 d 必须在 $0.24D \sim 0.6D$ 之间，否则硬度值不准确，测值无效。为了使布氏硬度试验适用于各种材料，并获得准确而有效的硬度值，GB231-84 对试验所用的压头、试验力、试验力保持的时间等试验规范作了具体规定。压头有钢球和硬质合金球两种。钢球适用于布氏硬度值小于 450 的材料，硬质合金球适用于布氏硬度值小于 650 的材料。一般

① GB231-84 规定“当试验力的单位用 N 时，布氏硬度 = $\frac{2F}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})} \times 0.102$ ”，以使硬度的数值不变，而单位不同。使用各种硬度值时都不涉及其单位。