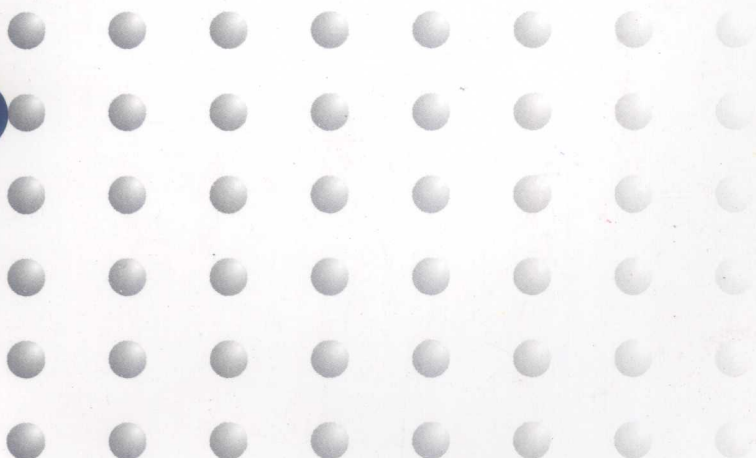




高等学校机电工程类“十二五”规划教材

机械工程材料

范 敏 主 编
赵秀婷 刘乐庆 副主编



西安电子科技大学出版社
<http://www.xduph.com>

· 014011433

TH14-43
28

高等学校机电工程类“十二五”规划教材

内容简介

机械工程材料

范 敏 主 编

赵秀婷 刘乐庆 副主编



西安电子科技大学出版社



北航

C1697319

7141433
28

ISBN 978-7-260-3162-3

XDP 3451001-1

如蒙印装问题可联系

884110410 .

机械类“十二五”规划教材

内 容 简 介

本书注重能力培养,强调应用,将内容和学习指导有机融合,书中的基本术语和材料牌号等均采用了最新标准。本书内容分为三篇:第一篇为工程材料的基本理论,包括工程材料的性能、工程材料的结构和金属材料的组织与性能控制;第二篇为常用机械工程材料,包括金属材料、高分子材料、陶瓷材料、复合材料和其他工程材料等;第三篇为机械零件的选材及工程材料在典型机械上的应用。各章都有能帮助读者掌握、巩固、深化学习内容和应用的本章小结,对章节中的主要术语和名词列写了中英文对照,并提供了一定量的练习题。

本书可作为高等院校本科机械类和近机械类专业学生教材,也可作为高等职业技术学院、高等专科学校相关专业的教材及有关专业人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

机械工程材料/范敏主编. —西安:西安电子科技大学出版社, 2013.8

高等学校机电工程类“十二五”规划教材

ISBN 978-7-5606-3162-2

I. ① 机… II. ① 范… III. ① 机械制造材料—高等学校—教材 IV. ① TH14

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 199523 号

策 划 云立实

责任编辑 王 斌 云立实

出版发行 西安电子科技大学出版社(西安市太白南路 2 号)

电 话 (029)88242885 88201467 邮 编 710071

网 址 www.xduph.com 电子邮箱 xdupfb001@163.com

经 销 新华书店

印刷单位 陕西天意印务有限责任公司

版 次 2013 年 8 月第 1 版 2013 年 8 月第 1 次印刷

开 本 787 毫米×1092 毫米 1/16 印 张 14

字 数 329 千字

印 数 1~3000 册

定 价 24.00 元

ISBN 978-7-5606-3162-2/TH

XDUP 3454001-1

如有印装问题可调换

西安电子科技大学出版社

前 言

“机械工程材料”是高等学校机械类和近机械类各专业的技术基础课,该课程的教学目的是从机械工程的应用角度出发,阐明机械工程材料的基本理论,介绍常用的机械工程材料及其应用等基本知识,使学生了解材料的化学成分、加工工艺、微观组织结构及性能之间的关系,能够帮助学生在工程设计中正确、合理地选用材料,培养学生对机械工程材料的应用能力。

本书紧紧围绕机械工程材料课程的教学要求,主要特点是:① 加强针对性和应用性,既体现教材的理论特点,又尽可能使其具有工程参考价值,同时,密切结合工程设计的实际需要,列举了许多在实际生产过程中具有较大参考价值和借鉴意义的应用实例。② 体系完整,结构合理。本书按照性能→结构→改变性能途径(结晶规律、热处理、合金化、塑性变形)→常用工程材料→选材规律→选材实例的顺序编排和讲解,包括工程材料的基础理论知识(第1~3章)、各种常用机械工程材料的特点与应用(第4~8章)、零部件的失效与选材(第9~10章)等内容。③ 内容精练,适合课时普遍减少条件下的教学要求。本书的内容体系是众多编者精心设计的,力求在尽可能少的学时里达到教学基本要求,努力拓展读者的知识面对应用的了解。④ 突出非金属材料的相关内容,适应工程应用领域的需求变化。⑤ 为了使学生更好地理解和掌握课程内容及重点知识,各章最后都做了小结,对章节中的主要术语和名词列写了中英文对照,并提供了一定量的练习题。本书中收集的数据和资料尽可能采用当前最新的信息,可以为教师和学生掌握最新技术信息及工程技术人员查阅最新技术资料提供方便。

本书由洛阳理工学院范敏编写第2、4、9章,赵秀婷编写第1、8、10章,刘乐庆编写第3、5、6、7章。全书由范敏副教授统稿并担任主编,赵秀婷副教授、刘乐庆讲师担任副主编,洛阳理工学院谢京民教授担任主审。

在编写过程中,作者参阅了国内外出版的有关教材和资料,主要参考文献列于书后,在此对相关作者表示衷心的感谢。

由于编者水平有限,加之时间仓促,书中难免有疏漏之处,恳请广大读者批评指正。

编 者

2013年3月

目 录

第一篇 工程材料的基本理论

第 1 章 工程材料的性能	1
1.1 概述	1
1.1.1 材料的使用性能	1
1.1.2 材料的工艺性能	2
1.2 材料的力学性能	3
1.2.1 材料在静载荷作用下的主要力学性能指标	3
1.2.2 材料在动载荷作用下的力学性能	7
1.3 材料力学性能指标的应用实践	9
1.3.1 材料各主要力学性能指标的应用	9
1.3.2 材料力学性能指标的合理配合应用	11
本章小结	12
本章主要名词	12
习题与思考题	12
第 2 章 工程材料的结构	13
2.1 金属的晶体结构	13
2.1.1 纯金属的晶体结构	13
2.1.2 合金的结构	19
2.2 高分子材料的结构	20
2.3 陶瓷材料的结构	23
本章小结	24
本章主要名词	24
习题与思考题	25
第 3 章 金属材料组织与性能控制	26
3.1 纯金属的结晶	26
3.2 合金的结晶	28
3.2.1 二元合金相图	29
3.2.2 铁碳合金相图	32
3.3 金属的热处理	39
3.3.1 钢在加热时的转变	40
3.3.2 钢在冷却时的转变	43

3.3.3 钢的普通热处理	49
3.4 金属的合金化	62
3.4.1 合金元素对钢中基本相的影响	62
3.4.2 合金元素对 Fe-Fe ₃ C 相图的影响	63
3.4.3 合金元素对钢热处理的影响	64
3.5 金属塑性变形对材料性能的影响	65
3.5.1 金属的冷塑性变形	65
3.5.2 金属的热塑性变形	75
3.6 高分子材料的增强与改性	78
本章小结	79
本章主要名词	79
习题与思考题	80

第二篇 常用机械工程材料

第 4 章 金属材料	81
4.1 工业用钢	81
4.1.1 结构钢	82
4.1.2 工模具用钢	97
4.1.3 特殊性能的钢材料	107
4.2 铸铁	116
4.2.1 概述	116
4.2.2 灰铸铁	118
4.2.3 可锻铸铁	120
4.2.4 球墨铸铁	122
4.2.5 蠕墨铸铁	124
4.2.6 合金铸铁	125
4.3 有色金属及其合金	127
4.3.1 铝及铝合金	127
4.3.2 铜及铜合金	133
4.3.3 轴承合金	138
4.3.4 钛及钛合金	140
本章小结	142
本章主要名词	143
习题与思考题	144
第 5 章 高分子材料	146
5.1 工程塑料	146
5.2 橡胶	150
5.3 胶黏剂	153

本章小结	156
本章主要名词	157
习题与思考题	157
第 6 章 陶瓷材料	158
6.1 概述	158
6.2 常用工程陶瓷材料	159
6.3 金属陶瓷	161
本章小结	163
本章主要名词	163
习题与思考题	163
第 7 章 复合材料	164
7.1 概述	164
7.2 复合材料的增强机制	166
7.3 常用复合材料	167
本章小结	171
本章主要名词	171
习题与思考题	171
第 8 章 其他工程材料	172
8.1 功能材料	172
8.1.1 功能金属材料	172
8.1.2 功能陶瓷材料	174
8.1.3 功能高分子材料	176
8.1.4 其他新材料	177
8.2 纳米材料	178
本章小结	180
本章主要名词	180
习题与思考题	180

第三篇 机械零件的选材及工程材料在典型机械上的应用

第 9 章 机械零件的选材	181
9.1 零件失效	181
9.1.1 零件的失效形式	181
9.1.2 零件失效的原因	183
9.1.3 失效分析的一般过程	184
9.1.4 失效分析实例	184
9.2 材料选择原则	185
9.2.1 使用性原则	185
9.2.2 工艺性原则	187

9.2.3 经济性原则.....	188
9.2.4 选择的步骤.....	189
9.3 典型零件的材料选择.....	190
9.3.1 齿轮类零件的选材.....	190
9.3.2 轴类零件的选材.....	193
9.3.3 刀具的选材及热处理.....	196
9.3.4 箱体支架类零件的选材.....	197
本章小结.....	198
本章主要名词.....	198
习题与思考题.....	199
第 10 章 工程材料在典型机械上的应用.....	201
10.1 工程材料在汽车上的应用.....	201
10.1.1 金属材料在汽车上的应用.....	201
10.1.2 其他工程材料在汽车上的应用.....	204
10.2 工程材料在机床上的应用.....	205
10.2.1 金属材料在机床典型零(构)件上的应用.....	205
10.2.2 装饰件.....	208
10.2.3 其他工程材料在机床典型零(构)件上的应用.....	209
10.3 工程材料在热能设备上的应用.....	209
10.3.1 工程材料在锅炉典型零(构)件上的应用.....	209
10.3.2 工程材料在汽轮机典型零(构)件上的应用.....	210
10.4 工程材料在航空航天器上的应用.....	212
10.4.1 工程材料在机翼、机体和防热层上的应用.....	212
10.4.2 工程材料在航空发动机和火箭发动机典型零(构)件上的应用.....	213
本章小结.....	215
习题与思考题.....	215
参考文献.....	216

附录 3 常用工程材料性能数据表

181.....	常用工程材料性能数据表 第 3 章
181.....	金属材料 1.0
181.....	金属材料性能数据 1.1.0
181.....	金属材料性能数据 1.1.0
181.....	金属材料性能数据 1.1.0
181.....	金属材料性能数据 1.1.0
181.....	金属材料性能数据 1.1.0
181.....	金属材料性能数据 1.1.0
181.....	金属材料性能数据 1.1.0
181.....	金属材料性能数据 1.1.0
181.....	金属材料性能数据 1.1.0

第
一
篇

工程材料的基本理论

第 1 章 工程材料的性能

工程材料是现代机械制造的主要材料,是构成各种机械设备的基础,也是各种机械加工的主要对象。因此了解和掌握工程材料的使用性能和工艺性能,是进行产品设计、选材和制订各种加工工艺的重要依据。本章简要论述工程材料的主要性能。

1.1 概 述

工程材料的性能包括使用性能和工艺性能,使用性能是指材料在使用过程中表现出来的性能,它包括力学性能、物理性能和化学性能等;工艺性能是指材料对各种加工工艺的适应能力,它包括铸造性能、压力加工性能、焊接性能、切削加工性能和热处理工艺性能等。它们既决定工程材料的应用范围、使用寿命及制造成本,又决定工程材料的各种成型方法。

1.1.1 材料的使用性能

1. 力学性能

材料的力学性能是指材料在不同环境(温度、介质)下,承受各种外加载荷(如拉伸、压缩、弯曲、扭转、冲击、交变应力等)时所表现出的力学特征,包括强度、塑性、硬度、韧性、抗疲劳性等。它不仅取决于材料本身的化学成分,而且还和其微观组织结构有关。

力学性能是衡量材料性能优劣的主要指标,也是机械设计人员在设计过程中选材的主要依据。力学性能参数可以从设计手册中查到,也可以利用规定条件下的试验方法获得。了解材料力学性能的测试条件、试验方法,特别是性能指标的意义将有助于了解工程材料的根本性质。

材料的力学性能是本章重点介绍的内容。

2. 物理性能

材料的物理性能表示的是材料固有的一些属性, 主要指密度、熔点、导热性、导电性、磁性及热膨胀性等, 涉及成型加工的主要有:

(1) 密度及熔点。不同用途的机器零件对材料的密度和熔点要求也不同, 如飞机和航空器的许多零件和总成会用密度较小的铝、镁合金制造; 又如铸钢、铸铁和铸铝合金的熔点各不相同, 铸造时三者的熔炼工艺也不同。

(2) 导热性。材料传导热的性能称为导热性, 一般用导热系数来衡量材料导热性的好坏, 其单位是 $\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$, 其值越大导热性越好。在热成型加工时若对导热性很小的金属以较快的速度加热或冷却, 金属中就会产生较大的温度差, 从而引起足以导致工件变形甚至产生裂纹的热应力, 因此对于这种材料应注意减慢其加热或冷却速度。

(3) 热膨胀性。热膨胀性是指材料在温度升高时体积胀大的现象, 用热膨胀系数衡量, 单位是 $^{\circ}\text{C}^{-1}$ 或 K^{-1} (表示当温度每升高 1°C , 其单位长度的膨胀量), 该系数越大, 金属的尺寸或体积随温度变化的程度就越大。热膨胀性不仅影响了零件在工作时的尺寸精度, 而且也影响其成型过程。

3. 化学性能

材料的化学性能是指材料在室温或高温下抵抗各种介质化学作用的能力, 主要有抗氧化性、抗腐蚀性和化学稳定性等。工程材料的氧化和腐蚀不仅破坏零件的表面质量, 也降低零件的精度, 严重时会导致零件失效。因此对处于工作在高温或腐蚀性介质中的材料, 要优先考虑其化学性能, 必要时应选用耐热钢、不锈钢、陶瓷材料、复合材料及工程塑料来制造。

1.1.2 材料的工艺性能

材料的工艺性能是指材料适应加工工艺要求的能力。按成型方法的不同, 其工艺性能可分为铸造性能、压力加工性能、焊接性能、切削加工性能及热处理工艺性能等。工艺性能直接影响零件加工后的工艺质量, 在设计机械零件和选择加工方法时都要考虑材料的工艺性能, 如低碳非合金钢的锻造性能和焊接性能都很好, 而灰铸铁的铸造性能和切削性能优良, 但焊接性能差而且不能锻造, 只能用它来铸造机械零件。

1. 铸造性能

金属及合金铸造成型获得优质铸件的能力, 称为铸造性能。衡量铸造性能的优劣有流动性、收缩性和偏析等指标。

(1) 流动性。液体金属充满铸型型腔的能力称为流动性, 它主要受金属化学成分和浇注温度的影响。流动性好的金属容易充满整个铸型, 获得尺寸精确、轮廓清晰的铸件。

(2) 收缩性。铸件在凝固和冷却过程中, 其体积缩小和尺寸减小的现象称为收缩性。铸件收缩不仅体积缩小、尺寸减小, 还会使铸件产生缩孔、疏松、应力、变形和开裂等缺陷。

(3) 偏析。合金中合金元素、夹杂物或气孔等分布不均匀的现象称为偏析。偏析严重时可使铸件各部分的力学性能产生很大差异, 降低铸件的质量。

2. 压力加工性能

金属材料在压力加工(锻造、冷冲压)下成型的难易程度称为压力加工性能。它与材料的塑性有关,材料的塑性越好,变形抗力越小,金属的压力加工性能就越好。

3. 焊接性能

焊接性能是指金属材料对焊接加工的适应性,也就是在一定的焊接工艺条件下,获得优良焊接接头的难易程度。

4. 切削加工性能

切削加工性能反映用切削工具对金属材料进行切削加工的难易程度。一般用切削后的表面质量(以表面粗糙度值大小衡量)和刀具寿命来表示。

金属材料具有适当的硬度(160~230 HBS)和一定的脆性时,切削性良好。改变钢的化学成分(如加入少量铅、磷等元素)和进行适当的热处理(如低碳钢进行正火、高碳钢进行球化退火)可提高钢的切削加工性能。

5. 热处理工艺性能

热处理工艺性能是指金属材料通过热处理后改变或改善其性能的能力,反映钢热处理的难易程度和产生热处理缺陷的倾向,一般包括淬透性、氧化脱碳、变形开裂等。

钢的热处理工艺性能主要考虑其淬透性,即钢接受淬火的能力。含 Mn、Cr、Ni 等合金元素的合金钢淬透性比较好,碳钢的淬透性较差;铝合金的热处理要求较严;只有几种铜合金可以用热处理强化。

1.2 材料的力学性能

1.2.1 材料在静载荷作用下的主要力学性能指标

材料在加工及使用过程中,都要受到各种外力的作用,这些外力称为载荷。根据载荷作用的方式、速度、持续性等的不同,可将载荷分为静载荷和动载荷两种形式。静载荷是指不随时间变化或变化极其平稳的载荷;如果作用在材料上的载荷随时间较快地变化,就称材料承受动载荷,尤其是指突加的冲击性的载荷。

材料在静载荷作用下的主要力学性能指标有弹性、刚度、强度、塑性、硬度等,这些性能指标可通过拉伸试验和硬度试验测得。

1. 拉伸试验与拉伸曲线

拉伸试验是测定材料强度与塑性等静态力学性能的一种试验方法。拉伸实验是在拉伸实验机上,缓慢地在试样两端施加“静”载荷,使试样在工作部分受轴向拉力,引起试样沿轴向伸长并最终拉断的过程,通过相应的试验记录,可得到拉伸曲线。低碳钢的拉伸曲线如图 1.2.1 所示。拉伸曲线的纵坐标为载荷,横坐标为伸长变形。拉伸曲线一般可分为以下三个阶段。

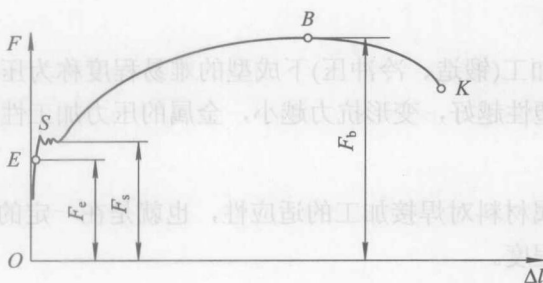


图 1.2.1 低碳钢的拉伸曲线

(1) 弹性变形阶段(OE)。此阶段载荷与变形为直线关系。在此变形阶段去除载荷后试样可以恢复原来的长度。

(2) 塑性变形阶段(EK)。此阶段载荷与变形呈曲线关系。当载荷达到B点的最大值后,试样某处截面急剧缩小,出现“缩颈”现象。在此阶段若去除载荷,试样不能恢复原来的长度,已发生塑性变形。

(3) 断裂阶段(K点)。在B点以后,试样变形主要集中在缩颈部分,最终在此阶段发生断裂。

2. 测得的主要力学性能指标

(1) 弹性和刚度。在弹性变形阶段,若中途卸除载荷,试样恢复原来的长度。材料这种不产生永久变形的能力称为弹性。拉伸曲线直线段的斜率为材料的弹性模量。弹性模量表征材料产生弹性变形的难易程度。曲线斜率越大,弹性变形越不易发生,材料刚度越大。

(2) 强度和塑性。在外力作用下,金属材料抵抗变形和断裂的能力称为材料的强度。拉伸试验所测定的强度指标包括屈服强度、抗拉强度和塑性等。

① 屈服强度。金属材料在外力作用下发生塑性变形的最小应力称为屈服强度,用 R_{eH} 和 R_{eL} 分别表示上屈服强度和下屈服强度。由于下屈服强度重现性好,因此通常用它来表示材料的屈服强度。“屈服”是低碳钢等塑性好的材料受拉伸时产生的现象,即在拉伸过程进行到S点附近,载荷不再增加,但变形仍在增大的现象。与此相对应的应力即为屈服应力或屈服强度。实际上,一些金属材料并没有明显的屈服现象。工程上规定,试样产生0.2%非比例延伸率时的应力值为该材料的条件屈服强度,记为 $R_{p0.2}$ 。屈服强度是评价材料承载能力的重要力学性能指标。

② 抗拉强度。试样在被拉断前的最大承载应力为抗拉强度,记为 R_m 。图1.2.1中B点载荷所对应的应力即为其抗拉强度。

通过扭转试验、弯曲试验和压缩试验等性能测试方法,也可获得金属材料相应条件下的强度指标,如抗扭强度、抗弯强度、抗压强度等。

③ 塑性。金属材料在外力作用下产生塑性变形而不被破坏的能力称为塑性。塑性以材料断裂后发生永久变形的大小来衡量。拉伸试验所测定的材料塑性指标有延伸率和断面收缩率,分别用A和Z表示:

$$A = \frac{L_1 - L_0}{L_0} \times 100\%, \quad Z = \frac{F_0 - F_1}{F_0} \times 100\%$$

式中, L_0 与 F_0 分别为试样原始长度与原始截面积; L_1 与 F_1 分别为试样拉断后的长度与拉断处的截面积。 A 值与 Z 值越大, 材料的塑性越好。

目前金属材料室温拉伸试验方法的新标准为 GB/T228—2002, 由于目前原有的金属材料力学性能数据是采用旧标准进行测定和标注的, 因此原有旧标准 GB/T228—1987 仍然沿用, 本书为叙述方便而采用了旧标准。金属材料强度与塑性的新、旧标准名词和符号对照如表 1.2.1 所示。

表 1.2.1 金属材料强度与塑性的新、旧标准名词和符号对照表

新 标 准		旧 标 准	
性 能 名 称	符 号	性 能 名 称	符 号
弹性极限	R_e	弹性极限	σ_e
下屈服强度	R_{eL}	屈服强度	σ_s
规定残余延伸强度	R_p , 如 $R_{p0.2}$	屈服强度	$\sigma_{0.2}$
抗拉强度	R_m	抗拉强度	σ_b
断后伸长率	A , 如 A_{11}	断后伸长率	δ_5 δ_{10}
断面收缩率	Z	断面收缩率	ψ

3. 硬度

金属材料硬度是指金属抵抗其他更硬的外来物体压入其表面的能力。硬度是衡量材料软硬程度的指标。一般情况下, 材料硬度越高, 越有利于其耐磨性的提高。生产中常用硬度值来估测材料耐磨性的好坏。工程上常用的有布氏硬度、洛氏硬度、维氏硬度、显微硬度等实验方法。

(1) 布氏硬度。布氏硬度试验原理如图 1.2.2 所示, 将直径为 D 的淬火钢球或硬质合金球制成的压头, 以压力 P 压入被测材料的表面, 保持一定时间后卸除负荷。材料表面将留下直径为 D 的压痕。负荷 P 与材料表面压痕面积 F 的比值, 即为材料的布氏硬度值, 用 HB 表示。材料越软压痕越大, 布氏硬度值越低, 反之材料越硬压痕越小, 布氏硬度值越高。布氏硬度的单位为 kgf/mm^2 。

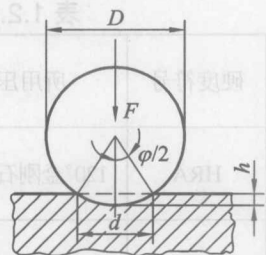


图 1.2.2 布氏硬度试验原理图

布氏硬度适用于测量铸铁、有色金属、结构钢等硬度不很高的金属材料的硬度。若材料硬度过高, 则布氏硬度不再适用。

当压头为淬火钢球时, 布氏硬度以 HBS 表示, 适合于测定布氏硬度在 450 HBS 以下的材料, 如结构钢、铸铁及非铁金属等; 当压头为硬质合金时布氏硬度以 HBW 表示, 适合于测定布氏硬度在 450 HBW 以上的材料, 最高可测 650 HBW。

布氏硬度表示符号 HBS 或 HBW 之前为硬度值, 符号后面按以下顺序表示实验条件: 球体直径(单位为 mm)/试验力(单位为 kgf)/试验力保持时间(单位为 s, 其中 10~15 s 不标注)。例如, 120 HBS 10/1000/30 表示钢球直径为 10 mm, 载荷为 1000 kgf, 保持时间为 30 s, 测得的硬度值为 120。如果钢球直径为 10 mm, 载荷为 3000 kgf, 保持时间为 10 s, 测得的硬度值为 120, 可简单表示为 120HBS。

(2) 洛氏硬度。洛氏硬度试验原理图如图 1.2.3 所示，洛氏硬度试验采用的压头是锥角为 120°的金刚石圆锥或直径为 1.588 mm 的淬火钢球，以一定的压力压入材料表面。与布氏硬度不同，洛氏硬度通过测量压痕深度来确定材料硬度，压痕越深，材料越软，硬度值越低，反之，压痕越浅，材料越硬，硬度值越高。

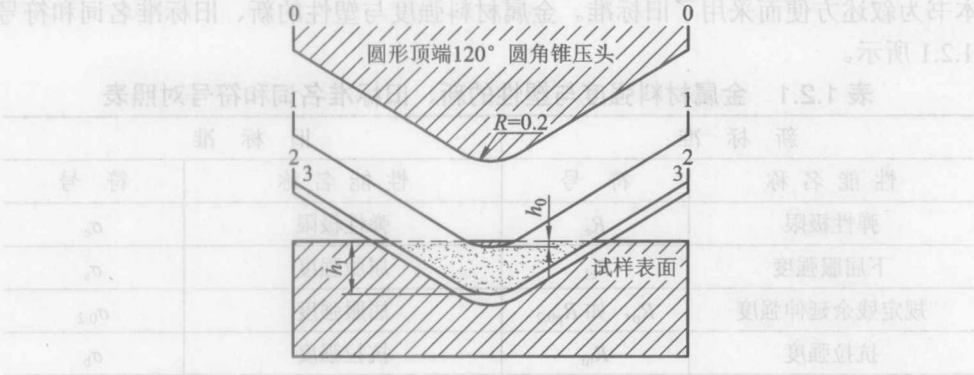


图 1.2.3 洛氏硬度试验原理图

不同压头及不同压力的组合，使得洛氏硬度可测量的材料硬度范围很宽。洛氏硬度用 HR 表示。根据压头与压力的不同组合而采用不同的标尺，每种标尺用一个字母后坠在 HR 之后，以示区别，如 HRA、HRB、HRC 等。HR 前面为硬度数值，后面为使用的标尺。根据被测材料的硬度和厚度等不同条件，可选用不同的试验载荷和压头类型，而得到 A、B、C 三种不同的硬度标尺，常用洛氏硬度标尺的实验条件和应用如表 1.2.2 所示，其中最常用的是 C 标尺。例如，60HRC 表示试验时压头采用顶角为 120°金刚石圆锥体，总载荷为 1471 N，测得的硬度值为 60。

表 1.2.2 常用洛氏硬度标尺的实验条件和应用

标尺	硬度符号	所用压头	总载荷 F/N (F/kgf)	测量范围 HR	应用范围
A	HRA	120°金刚石圆锥体	588.4(60)	70~88	碳化物、硬质合金、淬火工具钢、浅层表面硬化钢
B	HRB	$\phi 1.588$ mm 钢球	980.7(100)	20~100	非铁合金、退火正火钢
C	HRC	120°金刚石圆锥体	1471(150)	20~70	淬火钢、调制钢、深层表面硬化钢

洛氏硬度测定操作简便迅速，可直接从刻度盘上读出硬度值，在批量的成品或半成品质量检验中广泛使用，也可测定较薄工件或表面有较薄硬化层的硬度。由于压痕小，易受材料微观区不均匀的影响而使测量误差较大，因此数据重复性差。所以测试时需在试样不同部位测定三点并取其平均值。洛氏硬度可测定淬火钢、有色金属及工程塑料等材料的硬度。

硬度实验是材料力学性能实验中最简单的一种实验方法。生产中往往通过硬度值估测材料某些力学性能的指标值。某些金属材料的硬度与强度之间具有近似的对应关系。例如：

低碳钢： $R_m \approx 3.53 \text{ HBW}$ ；合金调质钢： $R_m \approx 3.19 \text{ HBW}$ ；

高碳钢: $R_m \approx 3.33 \text{ HBW}$; 灰铸铁: $R_m \approx 0.98 \text{ HBW}$ 。

1.2.2 材料在动载荷作用下的力学性能

1. 韧性

韧性是材料抵抗裂纹萌生与扩展的能力, 指材料在断裂过程中吸收断裂功和塑性变形功的能力。材料韧性高, 其脆性低。

度量韧性的指标有两类: 一类是冲击韧度, 用材料受冲击而破断的过程所吸收的冲击功的大小来表征材料的韧性; 另一类是断裂韧度, 用材料内部裂纹尖端应力强度因子的临界值 K_{IC} 来表征材料的韧性。

(1) 冲击韧度。在工程上, 许多机件和工具均会处于冲击载荷作用下, 如汽车和工程机械齿轮、锻锤锤杆、飞机起落架等。冲击载荷是一种典型的动载荷形式, 由于冲击载荷加载速度大, 作用时间短, 机件常常因其而产生变形或破坏。因此, 对于承受冲击载荷的机件, 必须具有足够抵抗冲击载荷的能力, 即冲击韧度。

① 一次摆锤弯曲冲击试验。

冲击韧度是金属材料在冲击载荷作用下吸收塑性变形功和断裂功的能力。一般以标准试样在冲击载荷作用下, 材料破坏时的冲击吸收功 A_K 来表示。图 1.2.4 为一次摆锤弯曲冲击实验原理及所用试样。测量摆锤初始高度 H 及冲断试样后的高度 h , 即可测出标准试样在断裂过程中的冲击吸收功 A_K 。

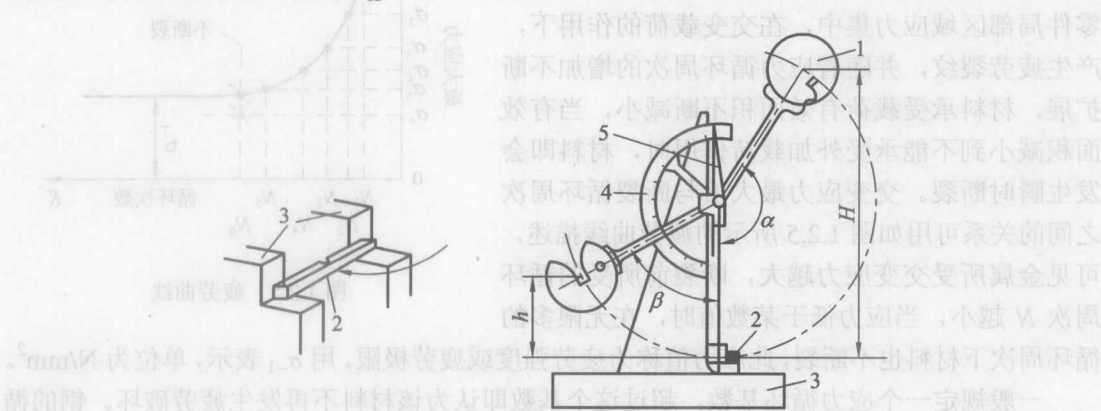


图 1.2.4 一次摆锤弯曲冲击实验原理及所用试样

② 多次弯曲冲击试验。

有许多承受冲击载荷的机件, 每次所受冲击载荷并不大, 不至于在一次或几次冲击内断裂, 而是在大于 10^3 次以上的冲击之后才发生断裂。对于此类机件应进行小能量(小于 1500 J)多次冲击试验, 来测定材料的多次冲击抗力, 评定材料的抗冲击能力。

多次冲击弯曲试验在相应的试验机上完成, 试件在试验机上受到能量较小的多次冲击, 试验完成后, 测定在一定能量下, 材料断裂前的冲击次数, 作为多次冲击的抗力指标。

多次冲击抗力是一个取决于材料强度和塑性变形的综合力学性能指标。当冲击能量高时, 多次冲击抗力主要取决于材料的塑性; 当冲击能量低时, 多次冲击抗力主要取决于其强度。

(2) 断裂韧性。断裂韧性是以断裂力学为基础的材料韧性指标。断裂力学则承认材料中存在着由各种缺陷构成的微裂纹。在外力作用下, 这些微裂纹将扩展, 最终导致材料的断裂。由于存在裂纹, 因此材料中应力分布不均匀, 在裂纹尖端产生应力集中, 并具有特殊的分布, 形成了一个裂纹尖端的应力场。对于易于扩展的张开型裂纹, 裂纹尖端应力场的大小可用应力强度因子 K_I 来描述。 K_I 与裂纹形状、尺寸及应力大小有关, 可表达为

$$K_I = Y\sigma\sqrt{\alpha}$$

式中, Y 为几何因子; σ 为外加应力; α 为裂纹半长。当 K_I 增加到某一定值时, 裂纹 α 的扩展速度会剧增, 从而导致断裂。使裂纹失稳扩展的应力强度因子临界值 K_{IC} , 即为材料的断裂韧性。

2. 疲劳性能

当载荷的大小做周期性变化时, 将在材料内部产生重复应力; 当载荷大小和方向均做周期性变化时, 将在材料内部产生交变应力。齿轮、轴、弹簧等许多机械零件, 在重复或交变应力下工作, 此类零件即使承受应力最大值低于材料的屈服强度, 经一定的循环周次后材料仍会断裂。这种现象即为材料的疲劳。疲劳断裂与静载荷下的断裂不同, 无论是脆性材料还是韧性材料, 疲劳断裂都是突然发生的。

疲劳破坏是一个裂纹发生和发展的过程。由于材料冶金质量或加工过程出现缺陷, 因此造成零件局部区域应力集中, 在交变载荷的作用下, 产生疲劳裂纹, 并随着应力循环周次的增加不断扩展, 材料承受载荷有效面积不断减小, 当有效面积减小到不能承受外加载荷作用时, 材料即会发生瞬时断裂。交变应力最大值与断裂循环周次之间的关系可用如图 1.2.5 所示的疲劳曲线描述, 可见金属所受交变应力越大, 断裂前所受的循环周次 N 越小, 当应力低于某数值时, 在无限多的循环周次下材料也不断裂, 此应力值称为疲劳强度或疲劳极限, 用 σ_{-1} 表示, 单位为 N/mm^2 。

一般规定一个应力循环基数, 超过这个基数即认为该材料不再发生疲劳破坏。钢的循环基数为 10^7 , 有色金属和某些超高强度钢的循环基数为 10^8 。

金属疲劳强度与抗拉强度之间存在以下近似的比例关系:

碳素钢: $\sigma_{-1} \approx 0.4R_m \sim 0.5R_m$

灰铸铁: $\sigma_{-1} \approx 0.4R_m$

非铁金属: $\sigma_{-1} \approx 0.3R_m \sim 0.4R_m$

疲劳现象主要出现在具有较高塑性的材料中, 疲劳破坏是金属主要失效形式之一。在机械零件的断裂中, 80% 以上都属于疲劳断裂。为了防止疲劳断裂的发生常采取以下措施:

(1) 在零件结构设计中尽量避免尖角、缺口和截面突变, 以免由应力集中而产生疲劳裂纹。

(2) 提高零件表面加工质量可以减少疲劳源的产生, 因此减小零件表面的粗糙度的值

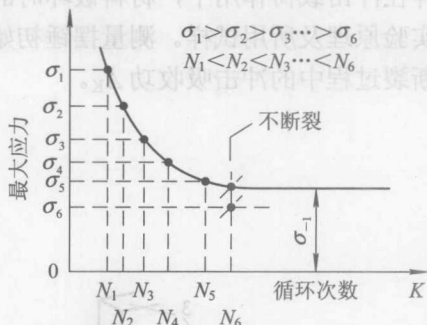


图 1.2.5 疲劳曲线

也可以显著地提高材料的疲劳极限。

(3) 采用包括喷丸、滚压、渗碳、渗氮和表面淬火等材料表面强化处理技术,使金属的表层获得有利于提高材料疲劳强度的残余应力分布。

1.3 材料力学性能指标的应用实践

1.3.1 材料各主要力学性能指标的应用

1. 刚度指标

在设计零件时,通常规定零件的最大弹性变形量 ΔL 或扭转角 θ 必须小于许用弹性变形量,即 $\Delta L \leq [\Delta L]$ 或 $\theta \leq [\theta]$ 。由材料力学公式可知,当零件尺寸和外加载荷一定时,材料的弹性模量 E 越高,则零件的弹性变形量越小,刚度越好。这是刚度设计的一般原则。但有时不能单纯按照弹性模量 E 来选材。若在给定的弹性变形量下,要求零件重量最轻,就必须按照比刚度进行选材。例如,在飞机机翼设计时若选用钢与铝合金进行比较,尽管钢的弹性模量为铝合金的 3 倍,而钢的密度也为铝合金的 3 倍,考虑到机翼平板受弯曲应力,由此种加载方式下的比刚度公式 $E^{1/3}/\rho$ 可知,此时铝合金的比刚度却为钢的 2 倍,因此应选用铝合金制造飞机机翼。

2. 弹性指标

材料的弹性极限 R_e 越高和弹性模量 E 越低,则弹性能越大,零件的弹性越好。因此,弹性极限和弹性模量是设计弹性零件应考虑的基本指标。例如在弹簧设计中,要求弹簧既要有高弹性,又不能发生塑性变形,这就要使材料具有尽可能大的 R_e^2/E 。虽然较低的弹性模量有利于增加弹性能,但低弹性模量的材料往往弹性极限也低,因此弹簧多选用弹性模量较大、弹性极限较高的材料,如汽车的钢板弹簧。在实际应用时,由于材料的弹性极限不容易测定,因此常由屈服强度 σ_s 取代。

3. 硬度指标

对于刀具、冷成型模具和粘着磨损或磨粒磨损失效的零件,其磨损抗力与材料的硬度成正比,硬度是决定其耐磨性的主要性能指标,它是设计的主要根据。

材料的硬度与其他力学性能之间存在着一定的关系,例如,金属材料的布氏硬度 HBS 与抗拉强度 R_m 一定硬度范围内在数值上呈线性关系,因此可以通过硬度预示材料的其他力学性能。在一定的处理工艺下,只要硬度达到了规定的要求,其他性能也基本达到要求。用硬度作为控制材料性能的指标时,必须对其处理工艺做出明确的规定。因为同样的硬度可以通过不同的处理工艺得到。例如,45 钢制造的车床主轴要求硬度为 220~240 HBS,通过调质和正火处理都可达到,而且调质处理后轴的综合力学性能和寿命更好。

4. 屈服强度指标

强度设计中用得最多的性能指标是屈服强度 $R_{p0.2}$,零件的工作应力必须小于许用应力,即 $\sigma \leq [\sigma] = R_{p0.2}/n$ (n 为安全系数)。一般来说材料的屈服强度越高,则零件的承载能力