

《材料的力学性能》课程教学大纲

一、课程基本信息

1、课程代码: 0420020

2、课程名称: 材料的力学性能/ Mechanical Properties of Materials

3、学时/学分: 40/5

4、先修课程: 理论力学、材料力学、材料科学基础(金属学)

5、面向对象: 材料类本科生

6、开课院(系): 材料学院

7、教材、教学参考书:

《材料的力学性能》(第二版)、郑修麟主编、西北工业大学出版社、2001.8

《工程材料的力学行为》、郑修麟主编、西北工业大学出版社、2004.11

《Mechanical Behavior of Materials》、(美)Thoms H. Courtney 著、机械工业出版社
2004.7

《金属机械性能》、编写组、机械工业出版社、1982.10

二、课程性质和任务

结构材料在任何时候都是制造航空航天器结构不可或缺的材料。评价和使用结构材料的主要依据是其力学性能。因此,材料力学性能的知识,是材料科学和工程学科的大学生必须具备的。因此,“材料的力学性能”课程是材料科学与工程学科的大学生的一门必修课。对于结构设计和制造专业的大学生和工程师,材料力学性能的知识也是有用和必备的。

“材料的力学性能(行为)”的课程教学应从工程应用的角度,着重介绍材料力学性能的基本理论,评价材料的各种力学性能指标、测定原理与方法、失效机理与失效准则及其工程实用意义。“材料的力学性能(行为)”的课程教学包含金属材料的力学性能和新型结构材料的力学行为两大部分。金属材料是“三航”工业及其它工业中的基本结构材料,在可预见的将来它仍将无法被替代;金属材料力学行为的研究历史悠久,主要的原理、定律和结论已比较成熟,而且新型结构材料力学性能的研究也借鉴于金属材料力学行为的研

究经验和方法。这也是各院校“材料的力学性能（行为）”课程的通用部分。这部分内容包含：1）材料的基本力学行为，主要是强度，弹性和塑性，形变强化、韧性等，2）失效机理、准则和抗力，如屈服准则、切口件和含裂纹件的断裂准则，3）疲劳失效是航空航天器的一个主要的失效形式。因此，重点论述疲劳失效各阶段的机理、疲劳寿命表达式、寿命估算方法与延寿技术。考虑到飞行器的飞行环境和高寒地区结构的服役环境，增加了材料的低温疲劳的内容。4）力学与环境交互作用下失效机理、准则和抗力，包括蠕变断裂机理、准则和抗力，以及疲劳-蠕变交互作用，应力腐蚀与腐蚀疲劳，摩擦与磨损以及接触疲劳等。

新型结构材料的力学性能部分，主要是结合“三航”的教学和科研需要而增加的新内容，主要包含“高分子材料的力学性能”、“复合材料的力学性能”和“陶瓷材料的力学性能”等各章的内容。此外，还将结合上述材料在航空业中的应用情况，增加了新的研究成果，例如高分子材料和复合材料的疲劳与断裂的研究成果。一方面，这些研究成果可用于全面地评价上述材料；另一方面，也可用于解决上述材料选用和使用中的问题。从而有助于扩大学生的知识面。

通过本课程的学习，希望能对大学本科学生 - 未来的工程师们在将来的工作中解决材料的评价、选用及改进材料性能等问题打下坚实的基础。

三、教学内容和基本要求

绪论（2学时）

材料的力学性能通常是指材料的弹性、塑性和强度。弹性是指材料在外力作用下保持固有形状和尺寸的能力，在外力除去后恢复固有形状和尺寸的能力。塑性是材料在外力作用下发生不可逆的永久变形的能力。而强度则是材料对塑性变形和断裂的抗力。或许，材料的力学性能还应当包括‘寿命’。所谓寿命，是指材料在外力的长期或重复作用下，或在外力和环境因素的复合作用下，抵抗损伤和失效的能力，使零件在服役期限内安全、有效地运行。

第一章 材料的拉伸性能 (6 学时)

拉伸试验虽是简单的、但却是最重要的应用最广泛的力学性能试验方法。拉伸试验可以测定材料的弹性、强度、塑性、应变硬化和韧性等许多重要的力学性能指标。在工程应用中, 拉伸性能是结构静强度设计的主要依据。本章主要介绍在室温大气中, 在单向拉伸载荷作用下, 用光滑试件测定的具有不同变形和硬化特性的材料的应力—应变曲线和拉伸性能参数, 使读者对不同材料的性质有概略的、然而是较全面的认识。

1.1 引言

1.2 拉伸试验

1.3 脆性材料的拉伸曲线与拉伸性能

1.4 高塑性材料的拉伸曲线 (I) - 连续塑性变形

1.5 高塑性材料的拉伸曲线 (II) - 不连续塑性变形

1.6 低塑性材料的拉伸曲线

第二章 其他静加载下的力学性能 (1 学时)

机械和工程结构的很多零件是在扭矩、弯矩或轴向压力作用下服役的。因此, 需要测定材料在扭转、弯曲和轴向压缩加载下的力学性能, 作为零件设计, 材料选用和制订热处理工艺的依据。本章介绍扭转、弯曲、压缩、剪切等试验方法及测定的力学性能指标。

2.1 引言

2.2 扭转试验

2.3 弯曲试验

2.4 压缩试验

2.5 剪切试验

第三章 材料的硬度 (2 学时)

测定硬度的方法很多，主要有压入法，回跳法和刻划法三大类。在机械制造业中，主要采用压入法测定材料的硬度。因此，在本章中将作重点介绍。同时，还介绍一些特殊的硬度试验法，以便能根据生产和研究工作的需要，采用合适的硬度测定方法。

3.1 引言

3.2 布氏硬度

3.3 洛氏硬度

3.4 维氏硬度

3.5 显微硬度

3.6 肖氏硬度

第四章 弹性变形与塑性变形（4学时）

本章将联系金属的微观结构讨论弹性性能、弹性不完善性、塑性变形、应变硬化及有关的力学性能指标和测定方法，以及它们在工程中的实用意义。

4.1 引言

4.2 弹性变形

4.3 弹性极限与弹性比功

4.4 弹性不完善性

4.5 塑性变形*

4.6 屈服强度与屈服准则

4.7 形变强化

第五章 断裂（2学时）

断裂是机械和工程构件失效的主要形式之一，它比其它失效形式，如弹塑性失稳、磨损、腐蚀等，更具有危险性。航空航天飞行器及机械或工程结构的主要承力部件若发生断裂，就可能发生灾难性的事故，造成人员生命和财富的巨大损失。本章讨论在室温环境下

单向加载时的金属的断裂，按脆性断裂和延性断裂分别进行论述，包括断裂过程与微观机制，断裂的基本理论以及韧—脆转化现象。

5.1 引言

5.2 脆性断裂

5.3 理论断裂强度和脆断强度理论

5.4 延性断裂

5.5 脆性—韧性转变

第六章 切口强度与切口冲击韧性（4 学时）

机械和工程结构的零构件，由于结构细节设计的需要，如钻螺栓孔、铆钉孔、开键槽等等，使零构件的外形具有几何不连续性。这种几何不连续性可以看成是广义的“切口”。切口的存在改变了零构件中的应力和应变分布：在切口根部引起应力和应变集中，引起应力和应变的多向性。本章主要论述应力集中、应变集中以及切口根部的局部应变的近似计算，切口强度的实验测定，切口强度的计算模型和公式，进而引入切口敏感度系数这一新的材料常数，以及切口冲击韧性、低温脆性及其在生产和工作中的应用。

6.1 前言

6.2 局部应力与局部应变

6.3 切口强度的实验测定

6.4 切口强度的估算

6.5 切口敏感度系数

6.6 切口冲击韧性

6.7 低温脆性

第七章 断裂韧性（4 学时）

早在 20 世纪 20 年代，Griffith 就提出了著名的裂纹体的脆断强度理论。裂纹总会在构件中出现。为防止裂纹体的低应力脆断，不得不对其强度——断裂抗力进行研究，从

而形成了断裂力学这样一个新学科。断裂力学的研究内容包括裂纹尖端的应力和应变分析；建立新的断裂判据；断裂力学参量的计算与实验测定，其中包括材料的力学性能新指标——断裂韧性及其测定，断裂机制和提高材料断裂韧性的途径等。断裂力学用于构件的安全性评估或断裂控制设计，是对静强度设计的重大发展和补充，具有重大的工程应用意义。本章扼要介绍裂纹应力分析，裂纹扩展的物理过程，断裂韧性的物理意义、测定及实用意义，以及提高材料的断裂韧性途径等。

7.1 引言

7.2 裂纹的应力分析

7.3 裂纹扩展力或裂纹扩展的能量释放率

7.4 平面应变断裂韧性

7.5 裂纹尖端塑性区*

7.6 平面应变断裂韧性 K_{IC} 的测定

7.7 金属的韧化*

7.8 估算 K_{IC} 的模型和经验关系式*

第八章 金属的疲劳（6 学时）

金属在循环载荷作用下，即使所受的应力低于屈服强度，也会发生断裂，这种现象称为疲劳。疲劳断裂、尤其是高强度材料的疲劳断裂，一般不发生明显的塑性变形，难以检测和预防，因而机件的疲劳断裂会造成很大的经济以至生命的损失。疲劳研究的主要目的：①精确地估算机械结构的零构件的疲劳寿命，简称定寿，保证在服役期内零构件不会发生疲劳失效；②采用经济而有效的技术和管理措施以延长疲劳寿命，简称延寿，从而提高产品质量，增强产品在国内外市场上的竞争力。本章主要介绍和讨论金属疲劳的基本概念和一般规律，疲劳失效的过程和机制，估算裂纹形成寿命的方法，疲劳裂纹扩展和裂纹扩展寿命估算，以及延寿技术。

8.1 引言

8.2 金属在对称循环应力下的疲劳

- 8.3 非对称循环应力下的疲劳
- 8.4 疲劳切口敏感度
- 8.5 疲劳失效过程和机制
- 8.6 应变疲劳
- 8.7 疲劳裂纹形成寿命的预测*
- 8.8 疲劳裂纹扩展速率及门槛值
- 8.9 延寿技术
- 8.10 低温疲劳*
- 8.11 冲击疲劳*
- 8.12 疲劳短裂纹简介*

第九章 金属在高温下的力学行为 (2 学时)

航空航天工业、能源和化学工业的发展,对材料在高温下的力学性能提出了很高的要求。本章将介绍和讨论高温蠕变现象,蠕变抗力和持久强度,蠕变损伤和断裂机制,应力松弛,高温疲劳以及疲劳和蠕变的交互作用等;同时,还将讨论改善高温力学性能的途径。评价材料的高温力学性能指标,是根据机件的服役条件并加以近似制订的,因而要举例说明其工程实用意义。

- 9.1 引言
- 9.2 金属的高温拉伸性能
- 9.3 蠕变极限与持久强度
- 9.4 蠕变过程中合金组织的变化及变形和断裂机制
- 9.5 应力松弛
- 9.6 金属在高温下的疲劳行为
- 9.7 高温热暴露致脆

第十章 金属力学行为的环境效应 (2 学时)

工程结构和机器总是在一定环境介质中服役的。环境介质对构件材料的力学性能往往有着重要的影响。有时腐蚀性很弱的介质，像水、潮湿空气也能起很大的作用。介质与应力的协同作用，常比它们的单独作用或者二者简单的叠加更为严重。本章将阐述材料的应力腐蚀断裂、氢脆和腐蚀疲劳的特征、评定指标及破坏机理，介绍提高材料环境敏感断裂抗力的途径以及防止环境敏感断裂的措施。

10.1 引言

10.2 应力腐蚀断裂

10.3 氢脆

10.4 腐蚀疲劳

第十一章 金属的磨损与接触疲劳（1学时）

任何机器运转时，相互接触的零件之间都将因相对运动而产生摩擦，而磨损是摩擦产生的结果。磨损造成表层材料的损耗，使零件尺寸发生变化，影响了零件的使用寿命。生产上总是力求提高零件的耐磨性，从而延长其使用寿命。

11.1 引言

11.2 摩擦及磨损的概念

11.3 磨损试验方法

11.4 磨损机制及影响因素

11.5 接触疲劳

11.6 微动疲劳

第十二章 高分子材料的力学行为（0.5学时）

高分子材料（聚合物或高聚物）具有大分子链结构和特有的热运动，这就决定了它具有与低分子材料不同的物理性态。高分子材料的力学性能与低分子材料的也有所不同，其最大特点是它具有高弹性和粘弹性。在外力和能量作用下，比金属材料更为强烈地受到温度

和载荷作用时间等因素的影响。因此，高分子材料的力学性能变化幅度较大。本章主要论述高分子材料的主要力学性能特点。

12.1 引言

12.2 线性非晶态高分子材料的力学行为

12.3 结晶高分子材料的力学行为

12.4 高分子材料的粘弹性

12.5 PMMA 玻璃的切口强度与切口敏感性

12.6 PMMA 玻璃的断裂韧性

12.7 PMMA 玻璃的疲劳

第十三章 陶瓷材料的力学行为（0.5 学时）

新型结构陶瓷材料包括碳化硅、氮化硅、氧化铝及氧化锆等。陶瓷材料具有强度高、重量轻、耐高温、耐腐蚀、耐磨损及原材料便宜等独特的优点，因而近二三十年来国内外都开展了研究；某些陶瓷材料已在工业生产中作结构零件试用。然而，陶瓷材料大都是脆性材料，对缺陷十分敏感，故其力学性能的分散性大。因此，要使陶瓷材料作为实用的结构材料，需要对其力学性能做更多的研究。此外，玻璃、光导纤维、电瓷等也属于陶瓷材料，对这些材料力学性能的研究报导也日益增多。本章简要介绍陶瓷材料的弹性、强度、疲劳与断裂性能，以及增韧机制与方法。

13.1 引言

13.2 陶瓷材料的拉伸性能

13.3 陶瓷材料的切口强度

13.4 陶瓷材料的韧性

13.5 陶瓷材料的疲劳

13.6 陶瓷材料的抗热震性

第十四章 复合材料的力学行为（0.5 学时）

结构复合材料是用人工办法将高强度、高模量纤维与韧性基体材料结合起来而形成的新型结构材料。由于复合材料的比强度、比刚度、耐热性、减震性和抗疲劳性都远远优于作为基体的原材料，近年来愈来愈多地受到人们的重视。复合材料有着与其它工程材料力学性能的共同点，也有其自身的许多特点。本章主要讨论单向复合材料的力学性能及其特点。

14.1 引言

14.2 研究单向连续纤维增强复合材料力学性能的基本假设

14.3 代表性体元

14.4 复合材料的纵向力学性能

14.5 复合材料的横向力学性能

14.6 复合材料的面内剪切弹性模量

14.7 短纤维复合材料的力学性能

14.8 复合材料的断裂、冲击与疲劳性能特点

四、实验内容和基本要求

试验一 单向拉伸实验（2学时、必做）

拉伸实验是最重要的应用最广泛的材料力学性能实验方法，它可以测定材料的弹性、塑性、强度、应变硬化和韧性等重要的力学性能指标，这些指标是研究新材料、合理使用现有材料、结构设计、预测材料的其它力学性能和改善材料力学性能等的基础。

基本要求：

- 1) 掌握金属拉伸性能指标的测定方法；
- 2) 学会正确使用和操作拉伸实验设备和仪器。

实验内容：

- 1) 观察拉伸实验过程中拉伸曲线与试样形状的变化及其对应关系；
- 2) 用图解法测定金属材料强度指标和塑性指标；

3) 用引伸计测定金属材料的弹性指标。

试验原理:

用拉伸力将试样拉伸, 一般拉至断裂以便测定力学性能。

实验二 合金的硬度试验 (2 学时、必做)

硬度实验是生产、材料和工艺研究中常用的产品质量和试样性能的检测方法。硬度值的大小可以反映材料的成分和显微组织的状态及变化。

基本要求:

- 1) 掌握金属布氏、洛氏、维氏和显微维氏硬度的试验原理和测试方法;
- 2) 了解各种硬度试验的步骤、特点、应用范围及选用原则;
- 3) 学会正确使用和操作各种硬度计。

实验内容:

- 1) 了解各种硬度计及其使用方法;
- 2) 按照各种硬度试验的选用原则, 采用不同状态的金属, 分别在布氏、洛氏、维氏和显微维氏硬度计上进行硬度测试;
- 3) 观察压痕大小和形状, 正确测定硬度值;
- 4) 分析硬度值与金属成分和组织的关系。

实验原理:

用压入法测定的材料硬度, 可认为是材料表面对外物压入时引起塑性变形的抗力。

实验三 低温系列冲击试验 (2 学时、必做)

低温脆性主要发生在结构钢中。评定材料低温脆性的方法采用的是切口冲击韧性测定法。冲击载荷不同于静载荷, 它具有能量特性, 与构件的断面积及其形状和体积有关。

基本要求:

- (1) 掌握金属材料常温和低温下冲击试验方法;
- (2) 学会用能量法或断口形貌法确定金属的冷脆转变温度 V_{15TT} 、 FTT 、 $50\% FATT$ 和 FTP ;
- (3) 了解冲击试验机的结构、工作原理及使用方法。

实验内容及步骤:

低温恒温箱中对冲击试样保温, 试验温度选择为: 室温、00C、-200C、-400C、-600C、

-750C;

观察冲击试验在试验机上的试验步骤:

记录冲击吸收功;

观察断口形貌, 测量断口上纤维区域或结晶状区断口的百分率。

韧-脆转化温度的确定

试验四 平面应变断裂韧性实验 (2 学时、选做)

实验目标与基本要求:

了解金属平面应变断裂韧性 K_{Ic} 试验的基本原理、对试样形状和尺寸的要求及制备过程; 学会使用测试 K_{Ic} 的设备和仪器; 掌握三点弯曲试样 K_{Ic} 的的测试方法及试验数据的处理方法。

实验五 金属旋转弯曲疲劳试验 (2 学时、参观) 略

实验六 金属轴向应变疲劳试验 (2 学时、参观) 略

实验七 裂纹扩展试验 (2 学时、参观) 略

实验八 高温蠕变及持久强度 (2 学时、参观) 略

实验九 应力腐蚀实验 (2 学时、参观) 略

实验十 材料的超高温实验 (2 学时、观摩) 略

五、各教学环节学时分配

学时 \ 项目	讲课	习题课	讨论课	实验课	其他	合计
第一章	4			2		
第二章	4					
第三章	1			2		
第四章						

第五章	4					
第六章	2			2		
第七章	4					
第八章	6					
第九章	2					
第十章	2					
第十一章	2					
第十二章	0.5					
第十三章	0.5					
第十四章	0.5					

六、对学生能力培养的要求

我们希望通过“材料的力学性能”课程的学习，能对大学本科学子 - 未来的工程师们在将来的工作中解决材料的评价、选用及改进材料性能等问题打下坚实的基础。使学生理解在外力作用下材料失效的过程、机制和力学模型；理解如何评价材料以及用什么样的力学性能指标评价材料；在零件设计中如何优选材料，尤其是在生产过程中如何优化工艺以改善材料在服役条件下的力学性能；掌握材料基本力学性能的测试原理和方法，以及了解新材料和新技术的发展对材料力学性能提出的新要求，从而减少和防止因材料失效而造成经济损失以及可能的人员伤亡，为提高产品质量及其在国际市场上的竞争力作出贡献。

希望读者通过课堂教学、复习、阅读参考文献、答疑、实验和做练习 6 个教学环节，将本课程学得更好。

七、其它说明

欢迎进入课程教学网站：<http://202.117.80.9/jp2004/14>

八、考核方法：闭卷考试

撰写人：王 泓

制定日期： 2000.10

审定人： 郑修麟

审定日期： 2001.1

您所下载的资料来源于 kaoyan.com 考研资料下载中心
 获取更多考研资料，请访问 <http://download.kaoyan.com>

学院审查意见:

主管院长: 刘正堂

