



复旦卓越

高职高专21世纪规划教材

近机类、非机类

机械基础

石 岚 ● 主编

内 容 提 要

本书根据高等职业教育的特点,以生产实际所需的基本知识、基本理论、基本技能为基础,遵循“以应用为目的,以必需、够用为度”的原则而编写。

本书由机械工程材料与热处理、工程力学基础、常用机构与常用机械传动 3 部分组成。主要特点是:将机械工程材料、工程力学、机械设计基础等课程有机地融合在一起;基于高等职业教育的特点,在保证基础知识和基本理论的前提下,摒弃了比较繁琐的理论推导和复杂的计算;以简明为宗旨,结合工程应用实例,突出了实用性和综合性,注重对学生基本技能的训练和综合能力的培养。

全书共 25 章,主要内容包括:绪论,金属材料的性能、钢的热处理、钢铁材料、非铁金属与粉末冶金材料、非金属材料,静力学基础知识、平面汇交力系、力矩与平面力偶系、平面任意力系、轴向拉伸与压缩、剪切与挤压、圆轴扭转、平面弯曲和组合变形,平面机构运动简图及自由度计算、平面连杆机构、凸轮机构、间歇运动机构、螺旋机构、带传动和链传动、齿轮传动、轮系、轴和轴毂联结、轴承、联轴器和离合器。

本书可作为高职、高专教育近机类、非机类专业的教学用书,也可供成人高校、中专相应专业选用,还可作为有关工程技术人员参考用书。

前 言

本书根据高等职业教育的特点,以生产实际所需的基本知识、基本理论、基本技能为基础,遵循“以应用为目的,以必需、够用为度”的原则而编写。

本书由机械工程材料与热处理、工程力学基础、常用机构与常用机械传动 3 部分组成。主要特点是:将机械工程材料、工程力学、机械设计基础等课程有机地融合在一起;基于高等职业教育的特点,在保证基础知识和基本理论的前提下,摒弃了比较繁琐的理论推导和复杂的计算;以简明为宗旨,结合工程应用实例,突出了实用性和综合性,注重对学生基本技能的训练和综合能力的培养。

全书共 25 章,主要包括:绪论,金属材料的性能、钢的热处理、钢铁材料、非铁金属与粉末冶金材料、非金属材料,静力学基础知识、平面汇交力系、力矩与平面力偶系、平面任意力系、轴向拉伸与压缩、剪切与挤压、圆轴扭转、平面弯曲和组合变形,平面机构运动简图及自由度计算、平面连杆机构、凸轮机构、间歇运动机构、螺旋机构、带传动和链传动、齿轮传动、轮系、轴和轴毂联结、轴承、联轴器和离合器。

本书在编写过程中,参考了一些教材,学习汲取了同行的教研成果,并从中引用了一些例题、习题和图表,在此表示衷心的感谢!

本书编写人员及分工如下:绪论、第 2~3、第 16~24 章由广东机电职业技术学院的石岚副教授编写;第 1 章、第 4~5 章由东莞职业技术学院的丁度坤博士编写;第 6~9 章由广东机电职业技术学院的陈燕春老师编写;第 10~13 章由上海工程技术大学高职学院的刘素华副教授编写;第 14~15 章由长春职业技术学院的朱晶波副教授编写。

全书由石岚老师担任主编,并负责全书统稿。

限于编者水平,书中难免有不当或错漏之处,敬请读者批评指正。

编 者

2009 年 11 月

目 录

Contents

绪 论	1	0.2 本课程的内容、性质和任务 ...	4
0.1 本课程的研究对象及其组成和特征	1	习 题	4

第 1 篇 机械工程材料与热处理

第 1 章 金属材料的性能	5	3.3 工程铸铁	36
1.1 金属材料的力学性能	5	本章小结	38
1.2 金属材料的物理性能和化学性能	11	习 题	38
1.3 金属材料的工艺性能	12	第 4 章 非铁金属与粉末冶金材料 ...	40
本章小结	13	4.1 概述	40
习 题	13	4.2 铝及其合金	40
第 2 章 钢的热处理	14	4.3 铜及其合金	42
2.1 钢的热处理工艺方法	14	4.4 滑动轴承合金	44
2.2 钢的普通热处理	18	4.5 粉末冶金材料	45
2.3 钢的表面热处理	21	本章小结	47
本章小结	24	习 题	47
习 题	24	第 5 章 非金属材料	48
第 3 章 钢铁材料	26	5.1 高分子材料	48
3.1 概述	26	5.2 常用工程塑料	49
3.2 工业用钢	27	5.3 橡胶材料	52
		5.4 复合材料	54

本章小结	56
------------	----

习 题	57
-----------	----

第 2 篇 工程力学基础

第 6 章 静力学基础知识	58
---------------------	----

6.1 静力学基本概念	58
-------------------	----

6.2 静力学公理	60
-----------------	----

6.3 约束与约束力	62
------------------	----

6.4 受力分析与受力图	65
--------------------	----

本章小结	69
------------	----

习 题	69
-----------	----

第 7 章 平面汇交力系	73
--------------------	----

7.1 平面汇交力系合成与平衡的	
------------------	--

几何法	73
-----------	----

7.2 平面汇交力系合成与平衡的	
------------------	--

解析法	75
-----------	----

本章小结	77
------------	----

习 题	77
-----------	----

第 8 章 力矩与平面力偶系	79
----------------------	----

8.1 平面力对点之矩	79
-------------------	----

8.2 力偶及力偶矩	81
------------------	----

8.3 平面力偶系的合成与平衡 ..	82
--------------------	----

本章小结	84
------------	----

习 题	84
-----------	----

第 9 章 平面任意力系	87
--------------------	----

9.1 平面任意力系的简化	87
---------------------	----

9.2 平面任意力系的平衡及应用 ..	91
---------------------	----

9.3 考虑摩擦时的平衡问题	93
----------------------	----

本章小结	97
------------	----

习 题	98
-----------	----

第 10 章 轴向拉伸与压缩	100
----------------------	-----

10.1 材料力学概述	100
-------------------	-----

10.2 轴向拉伸与压缩的概念与	
------------------	--

实例	101
----------	-----

10.3 轴向拉伸和压缩的内力和	
------------------	--

应力	102
----------	-----

10.4 轴向拉伸和压缩的强度	
-----------------	--

计算	105
----------	-----

10.5 胡克定律、轴向拉伸和压缩	
-------------------	--

的变形计算	107
-------------	-----

本章小结	108
------------	-----

习 题	109
-----------	-----

第 11 章 剪切与挤压	111
--------------------	-----

11.1 剪切的观念和实用计算 ..	111
--------------------	-----

11.2 挤压的观念和实用计算 ..	113
--------------------	-----

本章小结	115
------------	-----

习 题	115
-----------	-----

第 12 章 圆轴扭转	117
-------------------	-----

12.1 圆轴扭转的概念与实例 ..	117
--------------------	-----

12.2 扭矩和扭矩图	118
-------------------	-----

12.3 圆轴扭转时横截面的应力	
------------------	--

计算	119
----------	-----

12.4 圆轴扭转时的强度和刚度 计算	121	13.3 梁弯曲时横截面上的正 应力	130
本章小结	123	13.4 梁弯曲时的强度计算	132
习 题	123	13.5 组合变形	133
第 13 章 平面弯曲和组合变形	125	本章小结	137
13.1 平面弯曲的概念与实例 ..	125	习 题	137
13.2 平面弯曲的内力	126		
第 3 篇 常用机构与常用机械传动			
第 14 章 平面机构运动简图及 自由度计算	140	16.4 凸轮机构设计中应注意的 问题	173
14.1 平面运动副与构件	140	本章小结	175
14.2 平面机构的运动简图	142	习 题	175
14.3 平面机构的自由度计算 ..	145	第 17 章 间歇运动机构	177
本章小结	148	17.1 概述	177
习 题	149	17.2 棘轮机构	177
第 15 章 平面连杆机构	151	17.3 槽轮机构	179
15.1 铰链四杆机构的基本结构及 演化	151	17.4 其他间歇运动机构	181
15.2 平面四杆机构的运动特性 ..	158	本章小结	181
15.3 图解法设计平面四杆机构 ..	161	习 题	182
本章小结	164	第 18 章 螺旋机构	183
习 题	165	18.1 螺纹的基本知识	183
第 16 章 凸轮机构	167	18.2 螺旋机构	185
16.1 凸轮机构的应用和类型 ..	167	本章小结	188
16.2 从动件常用的运动规律 ..	169	习 题	188
16.3 盘形凸轮轮廓设计	172	第 19 章 带传动和链传动	189
		19.1 带传动概述	189

19.2	V带和V带轮的结构	191	21.3	行星轮系的传动比 计算	262
19.3	带传动的工作能力分析	195	21.4	轮系的应用	264
19.4	普通V带传动的设计	200	本章小结	265	
19.5	带传动的张紧、安装与 维护	208	习 题	265	
19.6	链传动	210	第22章 轴和轴毂联结	268	
本章小结	215	22.1	概述	268	
习 题	215	22.2	轴的结构设计	271	
第20章 齿轮传动	217	22.3	轴的强度计算	276	
20.1	概述	217	22.4	轴毂联结	281
20.2	渐开线直齿圆柱齿轮	218	本章小结	287	
20.3	渐开线标准直齿圆柱齿轮 的啮合传动	224	习 题	287	
20.4	渐开线圆柱齿轮的加工 方法	227	第23章 轴承	289	
20.5	渐开线齿廓的根切及变位 齿轮的概念	229	23.1	概述	289
20.6	齿轮的失效形式及常用 材料	231	23.2	滚动轴承的结构类型和 代号	290
20.7	渐开线直齿圆柱齿轮传动的 强度计算	233	23.3	滚动轴承的失效形式和 选择	296
20.8	斜齿圆柱齿轮传动	239	23.4	滚动轴承组合设计	303
20.9	直齿圆锥齿轮传动	245	23.5	滑动轴承	309
20.10	齿轮的结构及润滑	248	本章小结	312	
20.11	蜗杆传动	250	习 题	312	
本章小结	254	第24章 联轴器和离合器	313		
习 题	255	24.1	概述	313	
第21章 轮系	257	24.2	联轴器	313	
21.1	概述	257	24.3	离合器	318
21.2	定轴轮系的传动比计算	259	本章小结	321	
		习 题	321		
		参考文献	322		

绪 论

● 学习目标

- ◇ 了解机械及相关基本概念；
- ◇ 了解本课程的研究对象及其组成和特征,本课程的内容、性质和任务。

● 学习重点和难点

- ◇ 机械的组成及其特征；
- ◇ 机械、机器、机构、构件、零件的概念。

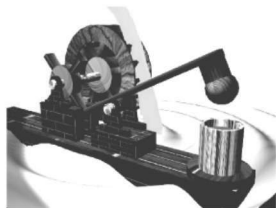
0.1 本课程的研究对象及其组成和特征

本课程的研究对象是机械。机械是机器和机构的总称。

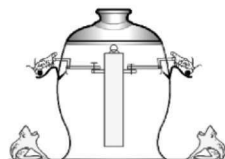
人类的发展史就是生产力的发展史。人类为了满足生产和生活上的需要,创造了各种各样的机械,如图 0-1 所示,从而减轻了体力劳动,提高了生产效率。



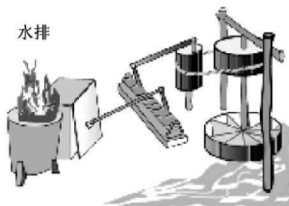
(a) 捣米



(b) 古代水碓



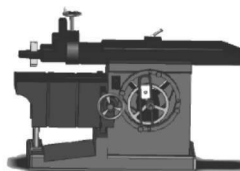
(c) 地动仪



(d) 水排鼓风炼铁



(e) 缝纫机



(f) 牛头刨床

图 0-1 机械实例

随着科学技术的飞速发展,使用机械进行生产的水平已经成为衡量一个国家技术水平和现代化程度的重要标志之一。

机器的种类很多。在生产中,常见的机器有汽车、内燃机、电动机、各种机床、机器人等;在日常生活中,常用的机器有缝纫机、洗衣机、电风扇等。虽然它们的结构和用途各不相同,但却有着共同的特征。

0.1.1 机器的特征

机器是执行机械运动的装置,用来变换或传递能量。

图 0-2 所示的单缸四冲程内燃机,由汽缸体 1、活塞 2、连杆 3、曲轴 4、齿轮 5 和 6、凸轮 7、顶杆 8、排气阀 9、进气阀 10 等组成。在燃气的推动下,活塞在汽缸体内做往复运动,并通过连杆使曲轴转动,从而将燃气产生的热能转换为曲轴转动的机械能。

图 0-3 所示的颚式破碎机,由电动机 1、带轮 2 和 4、V 带 3、偏心轴 5、动颚板 6、肘板 7、定颚板及机架 8 等组成。当电动机通过 V 带驱动带轮转动时,偏心轴则绕轴线 A 转动,使动颚作平面运动,轧碎动颚与定颚之间的物料,从而作有用的机械功。

由以上两个实例可以看出,机器具有以下共同的特征:

- (1) 它是人为的多个实物组合体。
- (2) 各实物之间具有确定的相对运动。
- (3) 能够变换或传递能量、物料和信息。

凡同时具有以上 3 个特征的实物组合体称为机器。

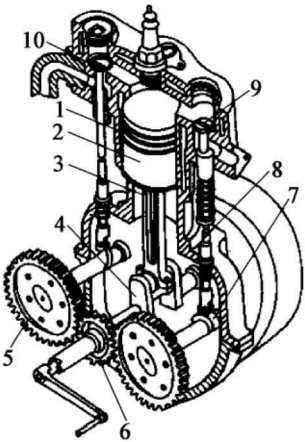


图 0-2 内燃机

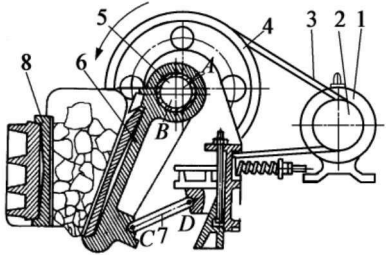


图 0-3 颚式破碎机

0.1.2 机器的组成

一部完整的机器,通常都是由动力部分、工作部分、传动部分 3 个主要部分,以及辅助系统和控制系统组成,如图 0-4 所示。

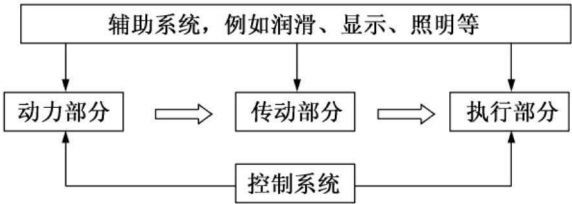


图 0-4 机器的组成

(1) 动力部分 动力部分是驱动整个机器完成预定功能的动力源,如图 0-2 和图 0-3 中的电动机、内燃机等。

(2) 工作部分 工作部分也称为执行部分,它是机器中直接完成工作任务的组成部分,如车床的刀架、起重机的吊钩、洗衣机的滚筒等。其运动形式因机器的用途不同而异。

(3) 传动部分 传动部分是介于动力部分和工作部分之间,用以完成运动和动力传递及转换的部分。利用它可以减速、增速、调速、改变转矩及分配动力等,从而满足工作部分的各种要求。

常用的传动部分有机械传动、电气传动、液压传动,其中机械传动应用广泛。机械传动通常由各种机构(如齿轮机构、连杆机构、凸轮机构等)和各种零件(如带-带轮、链-链轮、轴-轴承等)组成。

0.1.3 机构、构件和零件

1. 机构

所谓机构,是指多个实物体的组合,能实现预期的运动和动力传递。

图 0-2 中由齿轮 5 和 6 及机架组成的齿轮机构,将曲轴的转动传递给凸轮轴。而凸轮机构(由凸轮 7、顶杆 8 和机架组成)则将凸轮轴的转动变换为顶杆的直线往复运动,保证了进、排气阀有规律地启闭。机器中最普遍使用的机构有连杆机构、凸轮机构、齿轮机构等,称为常用机构。

机构只具有机器的前两个特征,主要是用来传递和变换运动的;而机器主要用来传递或变换能量、物料和信息(如照相机、复印机、传真机等可实现信息的变换、处理和传递)。若仅从运动和结构的观点来看,机构与机器并无区别。因此,常用机械作为机器和机构的总称。

2. 构件

组成机械的各个作相对运动的实体称为构件。构件可以是单一的整体,也可以是几个元件的刚性组合。例如,图 0-5 所示的曲轴和图 0-6 所示的连杆都是一个构件。曲轴构件是一个单一整体,而连杆则是由连杆体 1、螺栓 2、螺母 3、连杆盖 4 等几个元件组成。这些元件之间没有相对运动,构成一个运动单元。组成这个构件的几个元件称为零件。

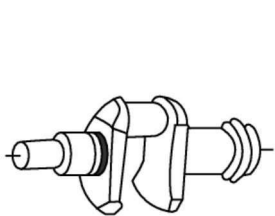


图 0-5 曲轴

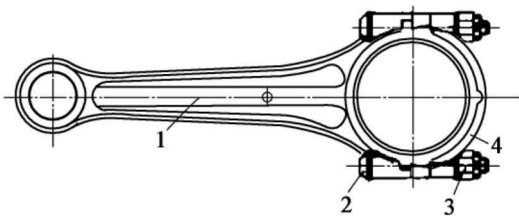


图 0-6 连杆

3. 零件

零件是制造的单元。机械中的零件可以分为两类:一类称为通用零件,它在各类机械中都能遇到,如齿轮、螺栓、螺母、轴等;另一类称为专用零件,它只适用于某些机械之中,如内燃机的曲轴与活塞、汽轮机的叶轮等。

0.2 本课程的内容、性质和任务

0.2.1 本课程的内容

本课程的内容包括:

第1篇 机械工程材料与热处理 主要介绍金属材料的力学性能(强度和塑性、硬度、冲击韧性),金属材料的物理、化学性能和加工工艺性能;钢的常用热处理方法及其应用;钢铁材料;非铁金属与粉末冶金材料;非金属材料。

第2篇 工程力学基础 主要介绍静力学基础知识,平面汇交力系、力偶系、任意力系的合成、平衡及应用;介绍构件的基本变形类型,各种基本变形和组合变形的受力特点、变形特点及其内力和强度计算、工程应用。

第3篇 常用机构与常用机械传动 主要介绍常用机构的工作原理、运动特点、设计计算的基本知识及其工程应用,常用零件的结构特点、失效形式、设计准则、寿命计算、标准零件的选型计算及其工程应用。

0.2.2 本课程的性质和任务

本课程是一门重要的专业基础课,理论性、实践性比较强,是后继专业课程学习的重要技术基础,是近机类、非机类专业的主干基础课程之一。本课程在教学中具有承上启下的作用,是工程技术人员的必修课程。

通过本课程的学习,学生应了解金属材料的性能、钢的常用热处理的基本知识、工业常用材料及其选择;掌握物体的受力分析与平衡条件;了解物体在承载的情况下,其基本变形及其组合变形的强度与刚度计算;具有对常用机构和主要通用零件的类型、工作原理、特点、应用及其简单计算,并进行分析和运用的能力。

本课程旨在为学习专业课和新的科学技术打好基础,为解决生产实际问题和技术改造工作打好基础,同时注重实践能力和创新精神的培养,提高学生全面素质和综合职业能力。

习 题

- 0-1 一般机器主要由哪些部分组成?各部分的作用是什么?试举例分析说明。
- 0-2 机器和机构的异同点各是什么?
- 0-3 机构和零件有何不同?

第 1 篇 机械工程材料与热处理

第 1 章 金属材料的性能

● 学习目标

- ◇ 掌握金属材料的力学性能;
- ◇ 了解金属材料在拉伸和压缩时的性质,物理和化学性能及工艺性能。

● 学习重点和难点

- ◇ 金属材料的力学性能;
- ◇ 金属材料在拉伸和压缩时的性质,物理和化学性能及工艺性能。

1.1 金属材料的力学性能

金属材料是现代工业中最重要的一种工程材料,广泛用于工农业和国防工业等部门。为了合理地使用金属材料,必须了解和熟悉金属材料的性能。金属材料的性能包括使用性能和工艺性能,使用性能是指金属材料在使用过程中所表现出来的性能,包括力学性能、物理性能、化学性能;工艺性能是指金属材料在各种加工过程中所表现出来的性能,包括铸造性能、锻造性能、热处理性能和切削性能等。通常选用金属材料时是以力学性能(或称机械性能)的指标作为主要依据。

金属材料抵抗不同性质载荷的能力称为金属材料的力学性能,过去常称为机械性能。它的主要指标是强度、塑性、韧性、硬度和疲劳强度等。上述指标既是选用材料的重要依据,又是控制、检验材料质量的重要参数。

1.1.1 强度和塑性

强度是指材料在载荷(外力)作用下抵抗变形和破坏的能力。由于所受载荷的形式不同,金属材料的强度可分为抗拉强度、抗压强度、抗弯强度、抗扭强度、抗剪强度等,各强度之间有一定的联系。一般情况下,多以抗拉强度作为判别金属强度高低的指标。

抗拉强度是通过拉伸试验测定的。拉伸试验的方法是用静拉伸力对标准试样进行轴向拉伸,同时连续测量力和相应的伸长,直至断裂。根据测得的数据,即可求出有关的力学性能。

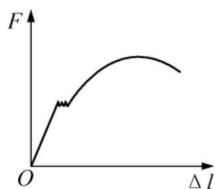
1. 拉伸试验和应力曲线

为便于比较试验结果,须按照国家标准(GB6397—86)加工成标准试样。常用的圆截面拉伸标准试样如图 1-1 所示。试样中间直杆部分为试验段,其长度 l 称为标距;试样较粗的两端是装夹部分;标距 l 与直径 d 之比,常取 $l=10d$ (长试样)和 $l=5d$ 两种(短试样)。

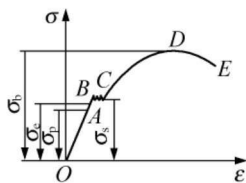


图 1-1 标准拉伸试样

在试验过程中,记录载荷 F 和相应的伸长变形 Δl 的关系,并作出曲线称为拉伸图或 $F-\Delta l$ 曲线,如图 1-2(a)所示。



(a) 低碳钢试样的拉伸图



(b) 低碳钢拉伸应力-应变曲线

图 1-2 低碳钢拉伸特征图

拉伸图的形状与试样的尺寸有关。为了消除试样横截面尺寸和长度的影响,将载荷 F 除以试样原来的横截面面积 S ,得到应力 σ ;将变形 Δl 除以试样原长标距 l ,得到应变 ϵ ,这样得到的曲线称为应力-应变曲线($\sigma-\epsilon$ 曲线)。 $\sigma-\epsilon$ 曲线的形状与 $F-\Delta l$ 曲线相似,如图 1-2(b)所示。

2. 低碳钢拉伸时的力学性能

低碳钢是工程上广泛使用的金属材料,它在拉伸时表现出来的力学性能具有典型性。图 1-2(a,b)分别是低碳钢圆截面标准试样拉伸时的 $F-\Delta l$ 曲线和 $\sigma-\epsilon$ 曲线。由图可知,整个拉伸过程大致可分为 4 个阶段,现分别说明如下:

(1) 弹性阶段 图 1-2(b)中 OA 为一直线段,说明该段内应力和应变成正比。直线部分的最高点 A 所对应的应力值 σ_p ,称为比例极限。

(2) 屈服阶段 当应力超过弹性极限后,图上出现接近水平的小锯齿形波动段 BC ,应力基本保持不变,而应变却迅速增加,材料暂时失去了抵抗变形的能力,这种现象称为材料的屈服。屈服阶段内的最低应力值称为屈服极限,用 σ_s 表示。

(3) 强化阶段 屈服阶段后,图上出现上凸的曲线 CD 段。这表明,若要使材料继续变

形,必须增加应力,即材料又恢复了抵抗变形能力,这种现象称为材料的强化。曲线最高点D所对应的应力值称为强度极限,用 σ_b 表示。

(4) 缩颈阶段 应力达到强度极限后,在试样较薄弱的横截面处发生急剧的局部收缩,出现缩颈现象。由于缩颈处的横截面积迅速减小,所需拉力也逐渐降低,最终试样被拉断。这一阶段为缩颈阶段,在 $\sigma\epsilon$ 曲线上为一段下降曲线DE。

由于屈服现象不明显,低塑性材料或脆性材料的屈服强度常以产生的微量塑性变形(一般用变形量为试样长度的0.2%表示)的应力为屈服强度,用 $\sigma_{0.2}$ 表示。

3. 材料的塑性

试样拉断后,弹性变形消失,但塑性变形保留下来。在工程中,常用试样拉断后残留的塑性变形来表示材料的塑性性能。常用的塑性指标有两个:

$$\text{伸长率} \quad \delta = \frac{l_1 - l}{l} \times 100\%; \quad (1-1)$$

$$\text{断面收缩率} \quad \psi = \frac{S - S_1}{S} \times 100\%。 \quad (1-2)$$

式中, l 是标距原长, l_1 是拉断后标距的长度; S 为试样初始横截面面积; S_1 为拉断后缩颈处的最小横截面积,如图1-3所示。

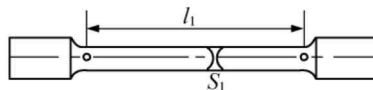


图 1-3 试件拉断后的变形

金属材料塑性的好坏,对零件的加工和使用都具有十分重要的意义。塑性好的材料不但容易进行轧制、锻压、冲压等,而且所制成的零件在使用时,万一超载,也能由于塑性变形而避免突然断裂。因此,大多数机械零件除满足强度要求外,还必须具有一定的塑性,这样,工作时才安全、可靠。

4. 材料压缩时的力学性能

金属材料的压缩试样,一般做成短圆柱体。为避免压弯,其高度为直径的1.5~3倍。非金属材料,如水泥等,常用立方体形状的试样。

图1-4所示为低碳钢压缩时的 $\sigma\epsilon$ 曲线,在屈服段以前,压缩和拉伸曲线(图中虚线)基本重合,压缩时的屈服极限和拉伸时的屈服极限基本相同。进入强化阶段后,两曲线逐渐分离,压缩曲线上升。由于应力超过屈服点后,试样被愈压愈扁,横截面面积不断增大,因此,一般无法测出低碳钢材料的抗压强度极限。对塑性材料一般不做压缩试验。

铸铁压缩时的 $\sigma\epsilon$ 曲线如图1-5所示,虚线为拉伸时的 $\sigma\epsilon$ 曲线。可以看出,铸铁压缩时的抗压强度比抗拉强度高出4~5倍,塑性变形也较拉伸时明显增加,其破坏形式为沿45°左右的斜面剪断,说明试件沿最大剪应力面发生错动而被剪断。其他脆性材料,如硅石、水泥等,抗压能力也显著地高于抗拉能力。一般脆性材料价格较便宜,因此工程上常用脆性材料做承压构件。

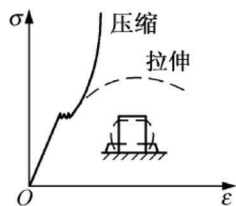


图 1-4 低碳钢压缩时的 σ - ε 曲线

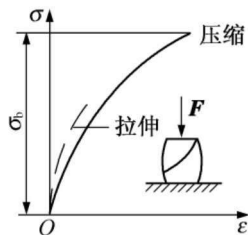


图 1-5 铸铁压缩时的 σ - ε 曲线

几种常用材料的力学性能见表 1-1,所列数据是在常温与静载荷的条件下测得的。

表 1-1 几种材料的力学性能

材料名称或牌号	屈服点 σ_s /MPa	抗拉强度 σ_b /MPa	伸长率 δ /%	断面收缩率 ψ /%
Q235A 钢	216~235	373~461	25~27	—
35 钢	216~341	432~530	15~20	28~45
45 钢	265~353	530~598	13~16	30~45
40G	343~785	588~981	8~9	30~45
QT600-2	412	538	2	—
HT150	—	拉 98~275 压 637 弯 206~461	—	—

1.1.2 硬度

硬度是指金属材料抵抗比它更硬物体压入其表面的能力,即抵抗局部塑性变形的能力。它是金属材料的重要性能之一,也是检验模具和机械零件质量的一项重要指标。由于测定硬度的试验设备比较简单,操作方便、迅速,又属无损检验,故在生产上和科研中应用十分广泛。

测定硬度的方法比较多,其中常用的硬度测定法是压入法。它用一定的静载荷(压力)把压头压在金属表面上,然后通过测定压痕的面积或深度来确定其硬度。常用硬度试验方法有布氏硬度和洛氏硬度。

1. 布氏硬度

布氏硬度的测定原理是用一定大小的载荷 F ,把直径为 D 的淬火钢球或硬质合金球压入被测金属表面,保持一定时间后卸除载荷,如图 1-6 所示。测定压痕直径,求出压痕球形的表面积,计算出单位面积上所受的压力值作为布氏硬度值,即

$$HBS(HBW) = \frac{F}{A} = \frac{F}{\pi D h} = 0.102 \frac{2F}{(D - \sqrt{D^2 - d^2})}, \quad (1-3)$$

式中, F 为所加载荷(N); A 为压痕球形表面积(mm^2); D 为球形压头直径(mm); d 为压痕直径(mm); h 为压痕深度(mm)。根据几何关系, $h = \frac{D}{2} - \frac{1}{2}\sqrt{D^2 - d^2}$ 。

淬火钢球作压头测得的硬度值以符号 HBS 表示, 硬质合金作压头测得的硬度值以符号 HBW 表示。符号 HBS 和 HBW 之前的数字为硬度值。

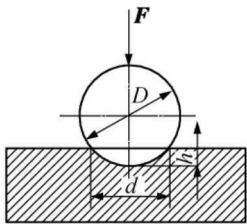


图 1-6 布氏硬度试验原理示意图

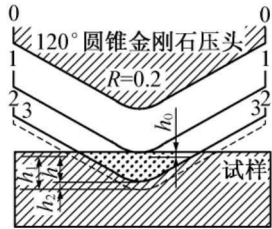


图 1-7 洛氏硬度试验原理图

由(1-3)式可知, 当试验载荷和球体直径一定时, 压痕直径 d 越小, 则布氏硬度值越大, 材料的硬度越高。在实际应用中, 只要测出压痕直径 d , 就可在专用的表中查出相应的布氏硬度值。

布氏硬度多适用于测定未经淬火的各种钢、灰铸铁和非金属的硬度, 对于硬度大于 450HBS 的金属材料不适用。由于布氏硬度压痕面积大, 故测量精度较高且试验数据稳定, 但不宜用于较薄的零件及成品零件的硬度检查。

2. 洛氏硬度

洛氏硬度试验与布氏硬度试验一样, 也是一种压入硬度试验。但它不是测量压痕面积, 而是测量压痕深度, 以深度大小表示材料的硬度值。

洛氏硬度试验原理如图 1-7 所示, 它是以锥角为 120° 的金刚石圆锥体, 或直径为 1.5875 mm (1/6 in) 的淬火钢球为压头, 以一定的载荷压入被测金属材料的表面层, 然后根据压痕的深度确定洛氏硬度值。在相同的试验条件下, 压痕深度越小, 则材料的硬度值越高。

在实际测量时, 为了减少因材料(试样)表面不平引起的误差, 应先加初载荷, 后加主载荷, 并可在洛氏硬度试验机的刻度盘上, 直接读出硬度值。

根据被测材料, 选用的压头类型和载荷的不同, 常用的洛氏硬度有 HRA, HRB, HRC 3 种, 它们的试验条件和应用范围见表 1-2, 其中以 HRC 应用最广。

表 1-2 常用洛氏硬度的试验条件和应用范围

硬度符号	所用压头	测量范围 (硬度)	总载荷/N	应用举例
HRA	金刚石圆锥	70~85	588.4	碳化物、硬质合金、淬火工具钢、 深层表面硬化钢
HRB	$\phi 1.5875$ mm 钢球	25~100	980.7	软钢、铜合金、铝合金
HRC	金刚石圆锥	25~67	1471.1	淬火钢、调质钢、深层表面硬化钢

洛氏硬度试验操作简单、迅速,可直接从表盘上读出硬度值。它没有单位,测量范围大,试件表面压痕小,可直接测量成品或较薄工件的硬度。但由于压痕较小,对内部组织和硬度不均匀的材料,测量结果不够准确,故需在试件不同部位测定 3 个点取其算术平均值。

洛氏硬度与布氏硬度($>220\text{HBS}$ 时)近似关系为 $1\text{HRC}\approx 10\text{HBS}$ 。

1.1.3 冲击韧性

以上讨论的是静载荷下的力学性能指标,但机械设备中有很多零件要承受冲击载荷,如突然吃刀时的加工零件、冲床的冲头、锻锤的锤杆等。对于这些承受冲击载荷的零件,不仅要求有高的强度和一定的塑性,而且还要求有足够的冲击韧性。

冲击韧性是指在冲击载荷作用下,金属材料抵抗破坏的能力。常用试样破坏时所消耗的功来表示。

冲击韧性测定方法是:把按规定制作的标准冲击试样的缺口背向摆锤方向放在冲击试验机支座 C 处,如图 1-8 所示,一定重量 G 的摆锤自高度 h_1 自由落下,冲断试样后摆锤升高到高度 h_2 ,则冲断试样所消耗的冲击功 $W_k = G(h_1 - h_2)$ 。这可由冲击试验机的刻度盘上指示出来。

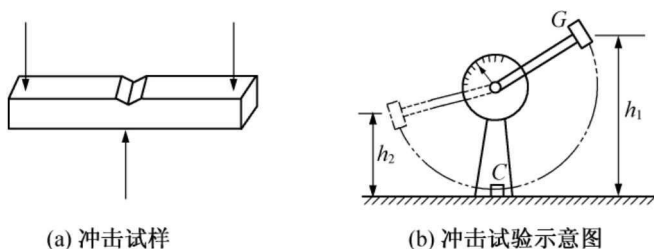


图 1-8 冲击试验原理图

冲击韧性的大小用冲击韧度 $a_k (\text{J}/\text{cm}^2)$ 表示。 a_k 是试样缺口处单位面积 S 所消耗的冲击功,即

$$a_k = W_k / S. \quad (1-4)$$

a_k 值越大,表示材料的韧性越好,断口处则会发生较大的塑性变形,在受到冲击时越不容易断裂;反之亦然。

1.1.4 疲劳强度

许多机械零件,如轴、齿轮、连杆、弹簧等都是在交变应力(指大小和方向随时间作周期性变化)下工作的,零件工作时所承受的应力通常都低于材料的屈服强度。零件在这种交变载荷作用下,经过长时间工作也会发生破坏,通常这种破坏现象叫做金属的疲劳断裂。

疲劳断裂与缓慢加载时破坏不同,无论是脆性材料,还是塑性材料,疲劳断裂时都不产生明显的塑性变形,断裂是突然发生的。因此,疲劳断裂具有很大的危险性,常造成严重事故。据统计,在损坏的机械零件中,大部分是由于疲劳造成的。