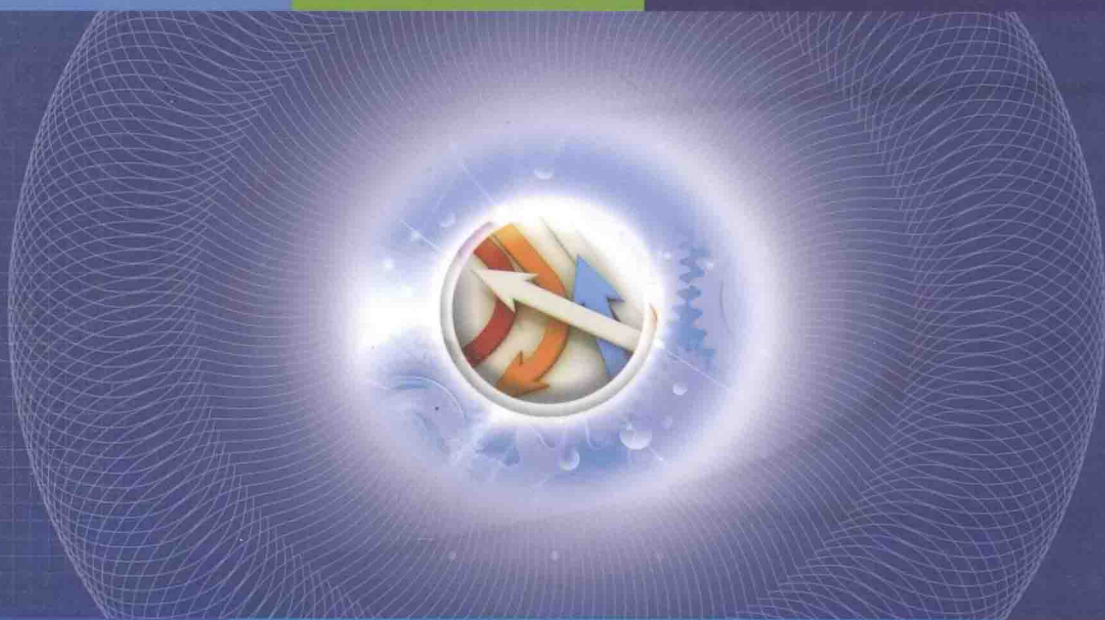




21世纪高职高专规划教材·机电类

机械工程基础

主 编 王艳华 主 审 魏祥祯



 北京理工大学出版社
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

21 世纪高职高专规划教材·机电类

机械 工 程 基 础

主 编 王艳华
主 审 魏祥祯



 **北京理工大学出版社**
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

内 容 简 介

本书共分九章,分别为工程材料、热加工基础、物体的受力分析、杆件的受力变形、公差配合与技术测量基础、机械常用机构、机械常用连接、常用机械传动及零部件、液压与气压传动。

本书适用于高职高专机械类、近机类专业学生及教师,也可供机械类工程技术人员参考。

版权专有 侵权必究

图书在版编目(CIP)数据

机械工程基础/王艳华主编. —北京:北京理工大学出版社, 2009. 9

ISBN 978-7-5640-2847-3

I. 机… II. 王… III. 机械工程—高等学校:技术学校—教材
IV. TH

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 160718 号

出版发行/北京理工大学出版社

社 址/北京市海淀区中关村南大街 5 号

邮 编/100081

电 话/(010) 68914775 (办公室) 68944990 (批销中心) 68911084 (读者服务部)

网 址/http://www.bitpress.com.cn

经 销/全国各地新华书店

印 刷/北京国马印刷厂

开 本/787 毫米×1092 毫米 1/16

印 张/31

字 数/724 千字

版 次/2009 年 9 月第 1 版 2009 年 9 月第 1 次印刷

印 数/1~4000 册

定 价/55.00 元

责任校对/陈玉梅

责任印制/边心超

图书出现印装质量问题,本社负责调换

前 言

本书是漳州职业技术学院国家示范性高等职业院校立项建设项目之项目五——数控技术专业及所在专业群“课程体系与教学内容改革”建设成果之一。

在对数控技术专业岗位分析和工作任务分解的基础上，基于数控技术专业工作岗位的工作过程重构了课程体系，将完成工作任务所需的有关《金属工艺学》、《工程力学》、《公差配合与技术测量》、《机械设计基础》和《液压与气压传动》传统五门课程的知识有机地整合成一门课程《机械工程基础》。该课程的整合路线是：认识机械零件（零件的材料属性——金属材料及热处理知识点；零件毛坯的成形方法及选择——金属热加工知识点）——机械零件的受力与变形（工程力学知识点）——机械零件之间力与运动的传递（机械设计基础知识点，考虑到机床中有液压与气压传动的应用，故也将该部分知识点纳入课程整合内容）——机械零件检测（公差配合与技术测量知识点）。这样，以岗位工作过程中的核心客体——机械零件制造为主线，完全依照完成工作任务所需要的背景知识来界定课程内容，体现了高等职业技术教育高技能人才培养以能力为核心的本质。

本书在理论上以“够用”为度，力求做到少而精，摒弃了繁琐的理论推导和复杂的计算，突出了知识在职业工作岗位上的实际应用，引导学生学以致用。

本书由漳州职业技术学院组织编写，由王艳华老师担任主编；由闽西职业技术学院魏祥祯老师担任主审。全书共有九章，其中第八章由王艳华老师编写，第一章、第二章由陈益民老师编写；第三章、第四章由吴正琴老师编写；第五章、第九章由金荣君老师编写；第六章、第七章由庄艺锋老师编写。

本书适用于高职高专机械类、近机类专业学生及教师，也可供机械类工程技术人员参考。

在《机械工程基础》课程整合和本书的编写过程中，得到了唐耀红老师、陈裕成老师、唐龙泉老师、徐笑非老师、魏清兰老师的大力支持，同时得到了漳州职业技术学院机械系所有教师的帮助，在此一并表示感谢！

由于编者水平有限，加之时间仓促，书中难免存在缺点和不妥之处，恳请同仁和广大读者批评指正。

编者

目 录

第一章 工程材料	(1)
§ 1-1 金属材料的力学性能	(1)
一、弹性极限、强度与塑性	(2)
二、硬度	(5)
三、冲击韧性	(7)
四、疲劳强度	(8)
§ 1-2 金属的结构与结晶	(9)
一、金属的晶体结构	(9)
二、金属的实际晶体结构	(10)
三、合金的相结构	(11)
四、纯金属的结晶	(13)
§ 1-3 铁碳合金相图	(15)
一、铁碳合金的基本组织	(16)
二、铁碳合金相图	(17)
三、碳含量对铁碳合金平衡组织和性能的影响	(22)
四、Fe-Fe ₃ C 相图的应用	(23)
§ 1-4 钢的热处理	(24)
一、钢在加热时的组织转变	(25)
二、钢在冷却时的组织转变	(28)
三、钢的普通热处理	(33)
四、钢的表面淬火	(41)
五、钢的化学热处理	(43)
六、热处理技术条件与工序位置	(45)
§ 1-5 碳素钢 (非合金钢)	(48)
一、钢中杂质元素对钢性能的影响及碳素钢的分类	(49)
二、普通碳素结构钢	(50)
三、优质碳素结构钢	(51)
四、碳素工具钢	(53)
五、铸造碳钢	(54)
§ 1-6 合金钢	(55)
一、合金元素在钢中的作用	(55)

二、合金钢的分类及牌号	(57)
三、合金结构钢	(58)
四、合金工具钢	(67)
五、特殊性能钢	(72)
§ 1-7 铸 铁	(74)
一、铸铁的石墨化及铸铁的分类	(74)
二、灰铸铁	(75)
三、可锻铸铁	(77)
四、球墨铸铁	(79)
五、蠕墨铸铁	(80)
§ 1-8 有色金属及其合金	(82)
一、铝及铝合金	(82)
二、铜及铜合金	(84)
§ 1-9 粉末冶金与硬质合金	(86)
一、粉末冶金方法及其应用	(86)
二、硬质合金	(87)
习 题	(88)
 第二章 热加工基础	 (92)
§ 2-1 铸 造	(92)
一、铸造概述	(92)
二、砂型铸造	(93)
三、金属的铸造性能	(103)
四、特种铸造	(108)
§ 2-2 锻 造	(113)
一、自由锻	(113)
二、模锻(锤上模锻)	(120)
三、胎模锻	(124)
四、轧制成形与挤压成形	(125)
五、锻造工艺基础	(128)
六、锻造时坯料的加热和锻件的冷却	(133)
§ 2-3 焊 接	(135)
一、电弧焊	(135)
二、其他熔焊	(144)
三、压焊	(147)
四、钎焊	(150)
五、常用金属材料的焊接	(150)
习 题	(153)

第三章 物体的受力分析	(156)
§ 3-1 静力学基础	(156)
一、静力学的基本概念	(156)
二、静力学公理	(157)
三、约束与约束反力	(158)
四、物体的受力分析和受力图	(161)
§ 3-2 平面汇交力系	(164)
一、平面汇交力系合成与平衡的几何法	(164)
二、平面汇交力系合成与平衡的解析法	(165)
§ 3-3 力矩和平面力偶系	(168)
一、力对点之矩	(168)
二、力偶	(170)
三、平面力偶系的合成与平衡	(171)
四、力的平移定理	(172)
§ 3-4 平面任意力系	(172)
一、平面任意力系向一点简化	(173)
二、平面任意力系的平衡方程及应用	(174)
三、平面平行力系的平衡方程及应用	(177)
四、物体系统的平衡问题	(179)
五、考虑摩擦时的物体的平衡	(179)
习 题	(180)
第四章 杆件的受力变形	(185)
§ 4-1 材料力学基本知识	(185)
一、强度、刚度和稳定性的概念	(185)
二、变形固体的基本假设	(186)
三、杆件的基本变形	(186)
四、内力、截面法和应力	(186)
§ 4-2 轴向拉伸和压缩	(188)
一、轴力与轴力图	(188)
二、拉(压)杆的应力	(190)
三、拉(压)杆的变形和虎克定律	(190)
四、拉(压)杆的强度条件及其应用	(193)
§ 4-3 剪 切	(196)
一、剪切和挤压的概念	(196)
二、剪切实用计算	(197)
三、挤压实用计算	(197)
§ 4-4 圆轴的扭转	(200)
一、扭转的概念	(200)

二、外力偶矩、扭矩和扭矩图	(200)
三、圆轴扭转时横截面上的应力和强度条件	(202)
四、圆轴扭转时的变形和刚度条件	(205)
§ 4-5 直梁的平面弯曲	(207)
一、平面弯曲的概念	(207)
二、梁的内力和内力图——剪力图和弯矩图	(208)
三、直梁的弯曲强度计算	(214)
四、直梁的弯曲变形简介	(217)
五、提高梁承载能力的合理途径	(219)
§ 4-6 应力状态分析和强度理论	(221)
一、应力状态的概念	(221)
二、强度理论	(223)
三、强度理论的选择和应用	(225)
四、在受扭转和弯曲的应力状态下,应用第三、第四强度理论建立的强度条件	(226)
§ 4-7 组合变形的强度计算	(226)
一、拉伸(压缩)与弯曲的组合变形	(227)
二、圆轴弯曲与扭转的组合变形	(229)
习 题	(233)
第五章 公差配合与技术测量基础	(240)
§ 5-1 尺寸公差	(240)
一、测量基础知识	(240)
二、尺寸公差与孔、轴配合	(245)
§ 5-2 形位公差	(260)
一、形位公差基础知识	(260)
二、公差原则	(273)
三、形位误差检测示例	(280)
§ 5-3 表面粗糙度	(282)
一、表面粗糙度的概念	(282)
二、表面粗糙度对零件使用性能的影响	(282)
三、表面粗糙度的评定	(283)
四、表面粗糙度的选用和标注	(286)
五、表面粗糙度的检测方法	(290)
习 题	(291)
第六章 机械常用机构	(297)
§ 6-1 机构、机构运动简图及自由度	(297)
一、机器与机构	(297)

二、构件和零件	(298)
三、机构的组成	(299)
四、平面机构的运动简图	(301)
五、平面机构的自由度	(303)
§ 6-2 平面连杆机构	(307)
一、平面连杆机构概述	(307)
二、铰链四杆机构的基本型式及其演化	(308)
三、平面四杆机构的基本特性	(312)
§ 6-3 凸轮机构和间歇运动机构	(316)
一、凸轮机构	(316)
二、间歇运动机构	(321)
习 题	(326)
第七章 机械常用连接	(329)
§ 7-1 螺纹连接	(329)
一、螺纹连接的基本知识	(329)
二、螺纹连接的基本类型和标准连接件	(332)
三、螺纹连接的预紧与防松	(333)
四、螺旋传动	(335)
§ 7-2 键连接和销连接	(338)
一、键连接的类型和应用	(338)
二、销连接	(343)
习 题	(344)
第八章 常用机械传动及零、部件	(345)
§ 8-1 带传动	(345)
一、带传动概述	(345)
二、带传动的工作原理、类型	(345)
三、带传动的特点和应用	(347)
四、普通 V 带的结构和型号	(347)
五、普通 V 带传动的主要参数及标记	(348)
六、普通 V 带轮的材料和结构	(352)
七、带传动的张紧、安装与维护	(354)
§ 8-2 齿轮传动	(356)
一、齿轮传动的特点和基本类型	(356)
二、渐开线齿廓	(357)
三、渐开线标准直齿圆柱齿轮的基本参数及几何尺寸计算	(360)
四、渐开线直齿圆柱齿轮的正确啮合条件	(362)
五、齿轮常见的失效形式	(363)

六、齿轮的常用材料及热处理	(364)
七、常用齿轮的结构型式	(366)
八、齿轮传动的润滑	(367)
§ 8-3 斜齿圆柱齿轮传动	(368)
一、渐开线斜齿圆柱齿轮齿廓曲面的形成及啮合特点	(368)
二、斜齿圆柱齿轮的基本参数和几何尺寸计算	(369)
三、斜齿圆柱齿轮的正确啮合条件	(370)
§ 8-4 直齿圆锥齿轮传动	(371)
一、锥齿轮传动概述	(371)
二、锥齿轮的齿廓曲线和背锥	(372)
三、直齿锥齿轮的几何尺寸计算	(373)
四、直齿锥齿轮的正确啮合条件	(374)
§ 8-5 蜗杆传动	(374)
一、蜗杆传动概述	(374)
二、蜗杆传动的类型和特点	(375)
三、蜗杆传动的主要参数和几何尺寸计算	(376)
四、蜗杆传动的正确啮合条件	(380)
五、蜗杆传动的失效形式	(381)
六、蜗杆传动的材料和结构	(381)
七、蜗杆传动的润滑	(383)
§ 8-6 轴	(384)
一、轴的功用及分类	(384)
二、轴的结构及应满足的基本要求	(386)
三、轴上零件的固定	(386)
四、轴的结构工艺性	(388)
五、轴的常用材料及热处理	(388)
§ 8-7 轴 承	(390)
一、轴承的功用和分类	(390)
二、滚动轴承的结构、类型及其特点	(390)
三、滚动轴承的代号	(394)
四、滚动轴承类型的选择	(399)
五、滚动轴承的配合与装拆	(400)
六、滚动轴承的润滑	(401)
七、滑动轴承	(403)
§ 8-8 联轴器、离合器	(411)
一、联轴器、离合器概述	(411)
二、联轴器	(411)
三、离合器	(416)
习 题	(419)

第九章 液压与气压传动	(423)
§ 9-1 液压传动基础	(423)
一、液压传动的工作原理及系统组成	(423)
二、液压系统的压力和流量	(425)
三、液体的黏性	(425)
四、液压油	(427)
五、液压冲击和空穴现象	(428)
§ 9-2 液压泵和液压马达	(428)
一、液压泵和液压马达的工作原理和类型	(428)
二、液压泵和液压马达的主要工作参数	(429)
三、常用液压泵	(431)
§ 9-3 液压缸	(433)
一、液压缸概述	(433)
二、液压缸运动速度和推力计算	(433)
§ 9-4 液压控制阀	(436)
一、方向控制阀	(436)
二、压力控制阀	(443)
三、流量控制阀	(449)
§ 9-5 液压基本回路	(450)
一、方向控制回路	(450)
二、压力控制回路	(451)
三、速度控制回路	(456)
四、多缸动作控制回路	(463)
§ 9-6 典型液压系统	(465)
一、YT4543 型动力滑台液压系统	(465)
二、VP1050 加工中心液压系统	(468)
三、MJ-50 型数控车床液压系统	(469)
§ 9-7 气压传动技术	(471)
一、气压传动基础	(471)
二、气源装置	(472)
三、控制元件	(473)
四、执行元件	(474)
五、辅助元件	(474)
习 题	(474)
附录	(477)
参考文献	(483)

第一章

工 程 材 料

能力目标：

1. 能熟知反映金属材料力学性能的有关指标。
2. 能深入分析金属的晶体微观结构及其结晶形成过程，从而掌握金属材料的本质特征。
3. 能分析在极其缓慢地加热或冷却的条件下，不同成分的铁碳合金，在不同温度下所具有的状态或组织，并能分析铁碳合金成分、组织和性能之间的关系，从而为原材料的生产方法和用途提供理论依据。
4. 能分析钢在加热（包括保温）和冷却过程中组织变化的规律，为能对钢（铁）材料进行正确的热处理打下重要基础。
5. 能掌握钢的各种热处理工艺特点、组织性能及各种热处理方法在实际生产中的应用。
6. 能掌握各种碳钢、合金钢、铸铁、有色金属的分类、牌号、化学成分、力学性能、热处理方法和应用，从而能为零件的制造选用合理的材料和制定合理的热处理工艺。

在当今新技术革命浪潮中，材料、能源和信息被誉为现代文明的三大支柱，而材料又是能源与信息发展的物质基础。在国民经济建设和日常生活中所离不开的机电产品，如汽车、电力机车、飞机、轮船、机床、家电、通信设备等，其零部件都是由种类繁多、性能各异的工程材料制成的。工程材料分为金属材料和非金属材料，而金属材料在机械零件制造中的应用最为广泛，因此本章只着重介绍金属材料的基础知识和实际应用。在学习本章时不但要学习基本理论，而且要注意联系生产实际，培养解决实际问题的能力。

§ 1 - 1 金属材料的力学性能

在机械产品的生产实践和使用过程中，往往由于选材不当造成机械零件达不到受力要求而过早失效，因此了解和熟悉材料的力学性能成为合理选材、充分发挥金属材料内在性能潜力的重要依据。金属材料的力学性能又称机械性能，它是指金属材料在外加载荷作用下所反映的性能。力学性能是零件设计计算、选择材料、制定热处理工艺、加工工艺以及材料检验的主要依据。不同的金属材料表现出来的力学性能是不一样的。衡量金属材料力学性能的主要指标包括弹性极限、强度、塑性、硬度、韧性及疲劳强度等。

一、弹性极限、强度与塑性

在金属材料力学性能指标中的弹性极限、强度与塑性是通过拉伸试验测得的。

(一) 拉伸试验及拉伸曲线

例如，圆柱形拉伸试样，如图 1-1 所示。

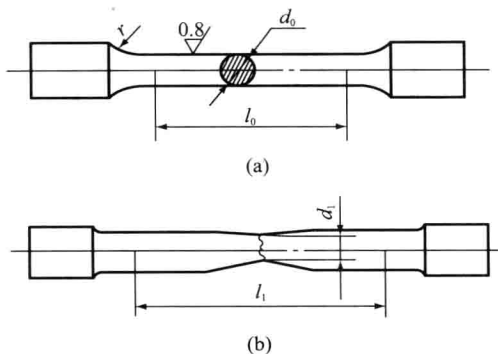


图 1-1 圆柱形拉伸试样
(a) 拉断前；(b) 拉断后

先将被测金属材料按国家标准制成如图 1-1 (a) 所示的圆柱形标准试样， d_0 为标准试样的原始直径， l_0 为标准试样的原始标距。根据原始标距和直径之间的关系，试样可分为长试样 ($l_0 = 10d_0$) 和短试样 ($l_0 = 5d_0$)。

拉伸试验是在拉伸试验机上进行的。试验时，将试样两端装夹在试验机的上下夹头上，然后在试样的两端逐渐施加轴向载荷，试样逐渐变形而伸长，直到试样被拉断为止。图 1-1 (b) 为标准试样拉断后的状态， d_1 为试样断口处的直径， l_1 为拉断试样对接后测出的长度。根据试样在拉伸过程中承受的载荷和产生的变形量之间的关系，即可测出该金属的拉伸曲线，并由此测定该金属的弹性极限、强度与塑性等指标。

在试验过程中，试验机自动记录了每一瞬间的载荷 F 和变形量 Δl ，并给出了它们之间的关系曲线，称之为拉伸曲线（或拉伸图），如图 1-2 所示。

由图 1-2 可以看出，金属材料在拉伸过程中经历了五个阶段。

1. 弹性阶段

观察拉伸试验和拉伸曲线，会发现在拉伸试验的开始阶段，从 O 点到 A 点，试样的伸长量 Δl 与拉伸力 F 之间呈正比例关系，在拉伸曲线图中为一条斜直线 $O-A$ 。该阶段当拉伸力 F 增加时，试样伸长量 Δl 也呈正比增加。当去除拉伸力 F 后试样伸长变形消

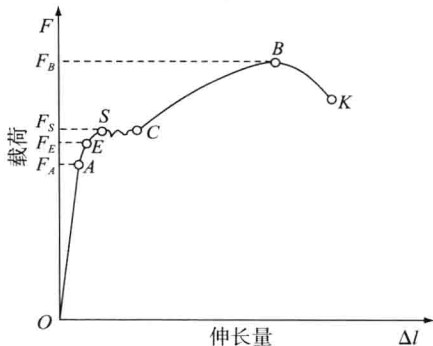


图 1-2 拉伸曲线

失，恢复其原来形状，其变形规律符合虎克定律，表现为弹性变形。 F_A 是试样保持完全弹性变形的最大拉伸力。当拉伸力从 F_A 继续加大，直至 F_E ，即在 $A-E$ 两点间的阶段内，试样的伸长量与载荷已不再呈正比关系，但若卸除载荷，试样仍然恢复到原来的尺寸，故仍处

在弹性变形阶段, F_E 是试样只发生弹性变形而不发生塑性变形时所受的最大载荷。

2. 弹性变形并有塑性变形的阶段

拉伸力从 F_E 继续加大, 当拉伸力超过 F_E 后, 试样除发生弹性变形外还将产生塑性变形。在 $F_E < F < F_S$ 阶段, 随着 F 的增大, 试样沿 $E-S$ 曲线进一步伸长, 但此时若卸除载荷, 变形不能完全消失, 试样不能完全恢复, 其中一部分弹性变形消失, 而另一部分变形却不能消失, 它的伸长变形将被保留下来, 这部分变形称为塑性变形或永久变形。

3. 屈服阶段

当拉伸力增加到 F_S 时, 拉伸曲线在 S 点开始出现一个锯齿形的平台 (即 $S-C$ 段), 可以看出从 S 点开始至 C 点, 拉伸力几乎不再增加的情况下, 试样也会明显伸长 (即有明显的塑性变形), 这种现象称为屈服现象。在 S 点处的拉伸力 F_S 称为屈服拉伸力。

4. 均匀完全塑性变形阶段

试样发生屈服后, 随着拉伸力加大, 试样的塑性变形的伸长量不断加大, 其拉伸力与伸长量的变化关系如拉伸曲线 $C-B$ 段所示, 拉伸力在 B 点达到最大值。 F_B 是试样拉断前能承受的最大拉伸力, 称为极限拉伸力。

5. 颈缩并拉断阶段

颈缩现象在拉伸曲线上表现为一段下降的曲线。 B 点以后, 试件产生“颈缩”, 迅速伸长, 局部截面迅速缩小, 同时拉伸力也明显下降。变形更集中于缩颈区, 最后延续到 K 点时试样被拉断。

实际上, 在材料的受力分析中, 通常用内应力 σ 来表示载荷的大小, 材料内部截面上单位面积所分布的力称为应力 σ , 对于该试样来说, 其应力大小为 $\sigma = F/S$ (F 为拉伸力, S 为横截面面积)。

(二) 弹性极限

弹性极限是指金属材料在外力作用下不产生塑性变形时所能承受的最大应力值, 其公式为

$$\sigma_e = \frac{F_e}{S_0} (\text{MPa}) \quad (1-1)$$

式中 F_e ——试样不发生塑性变形时的最大载荷, N;

S_0 ——试样原始横截面积, mm^2 。

弹性极限一般是选择弹性零件材料的主要指标之一。

(三) 强度

强度是指材料在外力作用下抵抗塑性变形和断裂的能力。

1. 屈服强度

在拉伸曲线中, 受拉试样在外载荷增加至 F_s 时可出现屈服现象, 即在此外载荷不再增加的情况下出现明显的塑性变形。金属材料开始发生屈服出现明显塑性变形时所受的最低应力称为屈服强度, 屈服强度也称为屈服点或屈服极限, 用符号 σ_s 表示 (在目前新出台的一些金属材料的国标中, 屈服强度用 R_{eL} 、 R_{eH} 表示), 其计算公式为

$$\sigma_s = \frac{F_s}{S_0} (\text{MPa}) \quad (1-2)$$

式中 F_s ——试样开始产生屈服现象时的最低载荷, N;

S_0 ——试样原始横截面积, mm^2 。

生产中使用的某些金属材料, 在拉伸试验中没有明显的屈服现象, 无法确定其屈服点。所以国标中规定, 以试样塑性变形量为试样原始标距长度的 0.2% 时, 材料承受的应力作为“条件屈服强度”, 或称“条件屈服点”, 并以符号 $\sigma_{0.2}$ 表示。屈服强度是零件 (特别是不允许产生明显变形的零件) 设计的主要依据, 也是材料强度的重要指标。脆性材料不考虑屈服强度。

2. 抗拉强度

金属材料在断裂前所能承受的最大应力称为抗拉强度, 用符号 σ_b 表示 (在目前新出台的一些金属材料的国标中, 抗拉强度用 R_m 表示)

$$\sigma_b = \frac{F_b}{S_0} (\text{MPa}) \quad (1-3)$$

式中 F_b ——试样在断裂前所能承受的最大载荷, N;

S_0 ——试样原始横截面积, mm^2 。

抗拉强度 σ_b 表示材料发生均匀塑性变形而不断裂所能承受的最大应力, 它也是零件设计和评定材料时的重要强度指标。 σ_b 测量方便, 如果单从保证零件不产生断裂的安全角度考虑, 可用 σ_b 作为设计依据, 但所取的安全系数要大些。

在选择、评定金属材料及设计机械零件时, 应根据零件所受载荷不同选择不同强度极限为依据。工作中不允许有任何微量塑性变形零件 (如精密的弹性元件、炮筒等), σ_e 是设计与选材的重要依据。而机器零件或构件工作时, 通常不允许发生任何稍明显的塑性变形, 因此多以 σ_s 作为强度设计的依据。若只保证零件可均匀塑性变形而不产生断裂, 则可用 σ_b 作为设计依据, 或者对于脆性材料, 因断裂前基本不发生塑性变形, 故无屈服点可言, 在强度计算时, 则也以 σ_b 为依据。

(四) 塑性

塑性是指材料在外力作用下产生塑性变形而不立即被破坏的能力。塑性包括断后伸长率和断面收缩率两个指标。

1. 断后伸长率

试样拉断后, 标距的增加量与原标距长度的百分比称为断后伸长率, 简称伸长率, 用 δ 表示 (在目前新出台的一些金属材料的国标中, 断后伸长率用 A 表示)

$$\delta = \frac{l_1 - l_0}{l_0} \times 100\% \quad (1-4)$$

式中 l_0 ——试样原始标距长度, mm;

l_1 ——试样拉断后的长度, mm。

长试样 ($l_0 = 10d_0$) 的伸长率记作 δ_{10} , 规定 δ_{10} 可简写为 δ ; 短试样 ($l_0 = 5d_0$) 的伸长率只能记作 δ_5 。

2. 断面收缩率

试样拉断后, 横截面积的缩减量与原横截面积的百分比称为断面收缩率, 简称收缩率, 用 ψ 表示 (在目前新出台的一些金属材料的国标中, 断面收缩率用 Z 表示):

$$\psi = \frac{S_0 - S_1}{S_0} \times 100\% \quad (1-5)$$

式中 S_0 ——试样原始横截面积, mm^2 ;

S_1 ——试样拉断后最小横截面积, mm^2 。

断后伸长率 δ 、断面收缩率 ψ 是衡量材料塑性变形能力大小的指标, δ 、 ψ 越大, 表示材料塑性越好。金属材料的塑性好坏, 对零件的加工和使用都具有重要的实际意义。塑性好的材料不仅能顺利地进行锻造、轧制等成型工艺, 而且在使用时万一超载, 由于塑性变形, 能避免突然断裂。

二、硬度

硬度是指材料抵抗局部塑性变形、压痕或划痕的能力。通常, 材料越硬, 其耐磨性越好。同时通过硬度值可估计材料的近似 σ_b 值。硬度试验方法比较简单、迅速, 可直接在原材料或零件表面上测试, 故被广泛应用。硬度测量方法是压入法。硬度包括布氏硬度、洛氏硬度和维氏硬度三种。

(一) 布氏硬度

金属布氏硬度试验方法执行 GB/T231.1—2002 标准。试验原理如图 1-3 所示。即用直径为 D 的淬火钢球或硬质合金球, 以相应的试验力压入试样表面, 保持规定的时间后去除外力, 在试样表面留下球形压痕。布氏硬度值是试验力除以压痕表面积。在试验中, 硬度值不需计算, 是用刻度放大镜测出压痕直径 d , 然后根据 d 值, 查布氏硬度表确定相应的布氏硬度 HBS (HBW) 值。

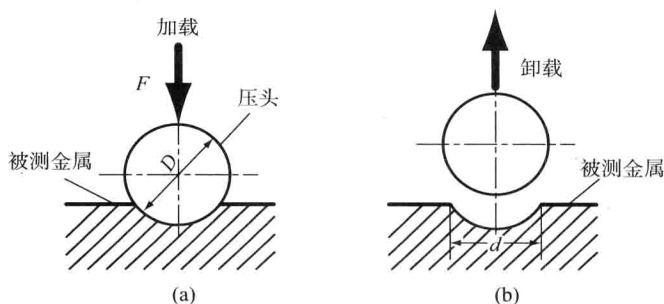


图 1-3 布氏硬度试验原理
(a) 压入试样表面; (b) 去除压力

布氏硬度值小于 450 的材料, 用淬火钢球作压头去测定, 其硬度符号采用 HBS, 硬度值标注在符号前面, 如 280 HBS。布氏硬度值在 450 ~ 650 之间的材料, 压头用硬质合金球, 其硬度符号采用 HBW, 如 500 HBW (在目前新出台的一些材料的国标中, 布氏硬度不论大小, 符号统一采用 HBW)。

布氏硬度的优点是具有较高的测量精度, 因其压坑面积大, 能比较真实地反映出材料的平均硬度。缺点是压痕大, 对金属表面损伤较大, 且不能测定高硬度材料。

布氏硬度 (HBS) 用于测定硬度值小于 450 的铸铁、有色金属及经退火、正火和调质处理的钢材, 一般不适宜测试薄板件和成品零件的硬度值。

(二) 洛氏硬度

洛氏硬度试验原理如图 1-4 (a) 所示。洛氏硬度试验是用顶角为 120° 的金刚石圆锥体或直径为 1.5875 mm 的淬火钢球作为压头，试验时先施加预试验力 F_0 ，目的是使压头与试样表面接触良好，保证测量结果准确，然后施加主试验力 F_1 ，保持规定时间后卸除主试验力 F_1 ，依据压痕深度确定硬度值。为了能用同一硬度计测定从极软到极硬材料的硬度，可采用不同压头和试验力，从而组成了不同的常用洛氏硬度标尺。常用的是 HRC、HRB 和 HRA 三种硬度标尺，见表 1-1。

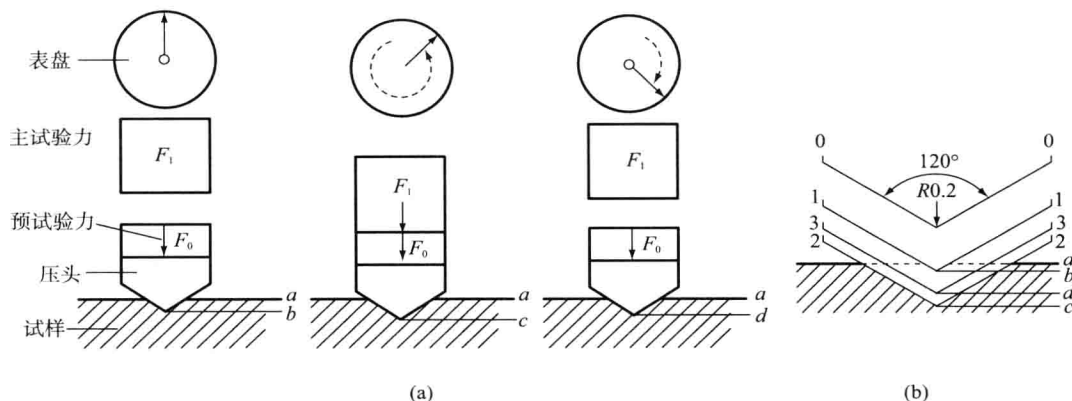


图 1-4 洛氏硬度试验原理

表 1-1 常用洛氏硬度的实验条件及应用范围

硬度标尺	压头类型	总试验力/N	硬度值有效范围	应用举例
HRC	120° 金刚石圆锥体	150×9.8	20 ~ 67 HRC	一般淬火热钢、调质钢
HRB	$\phi 1.5875$ mm 钢球	100×9.8	25 ~ 100 HRB	软钢、退火热钢、铜合金等
HRA	120° 金刚石圆锥体	60×9.8	60 ~ 85 HRA	硬质合金、表面淬火热钢等

在图 1-4 (b) 中，0—0 为 120° 金刚石压头没有与试件表面接触时的位置；1—1 为加预试验力 F_0 后压头压入深度 ab ；2—2 为压头加主试验力 F_1 后的位置，此时压头压入深度 ac ；卸除主试验力 F_1 后，由于恢复弹性变形，压头位置提高到 3—3 位置。最后，压头受主试验力 F_1 后实际压入表面的深度为 bd ，洛氏硬度用 bd 大小来衡量。

实际应用时洛氏硬度可直接从硬度计表盘上读出。压头端点每移动 0.002 mm，表盘上转过一小格；压头移动 bd 距离，指针应转 $bd / 0.002$ 格，其计算公式为

$$HR = K - bd / 0.002 \quad (1-6)$$

式中 K ——常数（对于 HRC 或 HRA，采用金刚石作压头， $K = 100$ ；对于 HRB，采用钢球作压头， $K = 130$ ）。

因此，洛氏硬度的三种标尺 HRA、HRB 和 HRC，其计算公式为

$$HRC(HRA) = 100 - bd / 0.002 \quad (1-7)$$

$$HRB = 130 - bd / 0.002 \quad (1-8)$$

洛氏硬度试验的优点是操作迅速、简便，可由表盘直接读出硬度值。由于其压痕很小，