

21 世纪高等职业技术教育规划教材
国家示范性高等职业院校规划教材

机械工程类

JIXIE ZHIZAO JISHU JICHU

机械制造技术基础

主编 陈春 副主编 袁晓东



西南交通大学出版社
Http://press.swjtu.edu.cn

21 世纪高等职业技术教育规划教材——机械工程类
国家示范性高等职业院校规划教材

机械制造技术基础

主 编 陈 春
副主编 袁晓东

西南交通大学出版社
· 成 都 ·

图书在版编目 (C I P) 数据

机械制造技术基础 /陈春主编. —成都: 西南交通大学出版社, 2008.8 (2008.12 重印)

21 世纪高等职业技术教育规划教材. 机械工程类
ISBN 978-7-81104-989-3

I. 机… II.陈… III. 机械制造工艺—高等学校: 技术学校—教材 IV. TH16

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 126452 号

21 世纪高等职业技术教育规划教材 —— 机械工程类
国家示范性高等职业院校规划教材

机械制造技术基础

主 编 陈 春

*

责任编辑 孟苏成

封面设计 本格设计

西南交通大学出版社出版发行

(成都二环路北一段 111 号 邮政编码: 610031 发行部电话: 028-87600564)

<http://press.swjtu.edu.cn>

成都蓉军广告印务有限责任公司印刷

*

成品尺寸: 185 mm×260 mm 印张: 21.25

字数: 535 千字

2008 年 8 月第 1 版 2008 年 12 月第 2 次印刷

ISBN 978-7-81104-989-3

定价: 35.00 元

图书如有印装质量问题 本社负责退换
版权所有 盗版必究 举报电话: 028-87600562

前 言

本书是根据高职院校培养生产第一线技术人员的知识结构及培养目标要求,结合教学实践的经验编写而成。

本书在“实用、够用”的原则上,突出高职院校的特点,强调应用能力的培养。在基本理论的论述中,避免了过深的理论阐述,以“够用”为原则,紧紧围绕质量、生产率和经济性三者的辩证关系分析工艺问题,注重对学生工艺分析能力的培养;突出实用性,着重对学生应用能力的培养;并且融入了数控加工、现代加工方法等较新内容,以扩大学生视野,开阔他们的思路。

全书共分十四章。第一章工程材料,主要介绍工程材料的种类、性能等基本知识;第二章材料热处理技术,介绍金属材料热处理基础知识;第三章铸造成形,介绍机械零件毛坯成形——铸造成形的相关知识;第四章锻压成形,介绍机械零件毛坯成形——锻造成形的相关知识;第五章焊接和胶接成形,主要介绍金属材料联接方法——焊接和胶接知识;第六章金属切削的基本知识,主要介绍切削原理、刀具等基本概念和知识;第七章金属切削加工,主要介绍各种机械加工方法;第八章刀具,主要介绍刀具的种类和选择方法;第九章夹具,介绍了各类机床夹具的定位原理、结构和功能;第十章机械加工工艺流程的制订,介绍了机械加工工艺流程的制订原则、步骤和方法;第十一章典型零件加工,介绍了轴类、套类、箱体类、齿轮类零件的加工工艺编制特点和注意事项;第十二章机械装配工艺,简单介绍了机械装配的基础知识;第十三章机械制造技术的发展,介绍了现代机械加工方法的基本原理;第十四章实验指导,主要列举了本课程比较典型的五个实验的有关理论、实验方法、实验步骤等内容。

本书适用于高职非机械制造专业,可作为学生对机械加工技术进行整体了解的一种入门级技术基础课程教材。

本书贯彻了国家最新标准,内容新颖、简明扼要,阐述清晰易懂,并附有实例。

本书由四川机电职业技术学院独立编写完成，陈春担任主编，袁晓东担任副主编。具体分工如下：绪论、第十一章由陈春编写；第一、第二章由彭明涛编写；第三、第四、第五章由杨翠英编写；第六、第九章由谷敬宇编写；第七章由郑凌云编写；第八、第十四章由张成祥编写；第十章由简兵编写；第十二、第十三章由袁晓东编写。

由于编者水平所限，加之编写时间仓促，书中难免有欠妥之处，恳请广大读者批评指正。

编 者

2008年5月

目 录

绪 论	(1)
第一章 工程材料	(3)
第一节 金属材料的力学性能	(3)
第二节 铁碳合金相图	(8)
第三节 工程材料的分类	(15)
第四节 常用的金属材料	(18)
思考及练习题	(29)
第二章 材料热处理技术	(30)
第一节 热处理的基本知识	(30)
第二节 钢的热处理工艺	(36)
思考及练习题	(44)
第三章 铸造成形	(45)
第一节 铸造概述	(45)
第二节 金属的铸造性能	(46)
第三节 铸造成形方法	(51)
第四节 铸造零件结构工艺性	(61)
思考及练习题	(67)
第四章 锻压成形	(68)
第一节 锻压概述	(68)
第二节 锻压加工	(68)
第三节 锻压零件结构工艺性	(83)
思考及练习题	(85)
第五章 焊接和胶接成形	(86)
第一节 焊接概述	(86)
第二节 焊接成形方法	(87)
第三节 焊接变形	(100)

第四节	焊接结构的工艺性	(103)
第五节	焊接质量的检验	(105)
第六节	胶接成形	(106)
	思考及练习题	(108)
第六章	金属切削的基本知识	(110)
第一节	切削运动和切削用量	(110)
第二节	刀具切削部分的几何参数	(111)
第三节	切削变形及其影响因素	(115)
第四节	切削力	(116)
第五节	切削热与切削温度	(118)
第六节	切削液	(120)
第七节	机械加工的劳动生产率	(121)
	思考及练习题	(122)
第七章	金属切削加工	(123)
第一节	机床的基本知识	(123)
第二节	车削加工	(125)
第三节	铣削加工	(132)
第四节	磨削加工	(139)
第五节	钻削、铰削及镗削加工	(153)
第六节	刨削、插削及拉削加工	(158)
第七节	齿面加工	(162)
第八节	数控加工简介	(164)
	思考及练习题	(168)
第八章	刀 具	(169)
第一节	刀具材料	(169)
第二节	常用刀具的种类	(172)
第三节	刀具的磨损及耐用度	(182)
	思考及练习题	(184)
第九章	夹 具	(185)
第一节	概述	(185)
第二节	工件定位	(187)
第三节	定位基准与定位元件	(189)

第四节	工件的夹紧·····	(197)
第五节	常用的夹紧机构及选用·····	(200)
	思考及练习题·····	(202)
第十章	机械加工工艺规程的制订·····	(203)
第一节	制订机械加工工艺规程的步骤和方法·····	(203)
第二节	定位基准的选择·····	(210)
第三节	工艺路线的拟订·····	(212)
第四节	数控加工工艺·····	(216)
第五节	工序内容的拟订·····	(219)
第六节	工艺尺寸链·····	(223)
第七节	计算机辅助工艺过程设计(CAPP)·····	(227)
第八节	工艺过程经济分析·····	(231)
	思考及练习题·····	(233)
第十一章	典型零件加工·····	(235)
第一节	轴类零件加工·····	(235)
第二节	套筒类零件加工·····	(253)
第三节	箱体类零件加工·····	(260)
第四节	圆柱齿轮加工·····	(272)
	思考及练习题·····	(280)
第十二章	机械装配工艺·····	(282)
第一节	机械装配概述·····	(282)
第二节	装配方法及选择·····	(287)
第三节	装配尺寸链的计算·····	(289)
第四节	保证产品装配精度的方法·····	(293)
第五节	装配工艺规程的制订·····	(294)
	思考及练习题·····	(299)
第十三章	机械制造技术的发展·····	(301)
第一节	先进制造技术概述·····	(301)
第二节	机械制造自动化技术·····	(304)
第三节	精密加工与超高速加工技术·····	(312)
	思考及练习题·····	(317)

第十四章 实验指导	(318)
实验一 钢铁材料的鉴别方法.....	(318)
实验二 观察碳素钢在不同热处理方法下硬度及显微组织的变化.....	(320)
实验三 观察典型机床的结构.....	(325)
实验四 车刀角度测量.....	(326)
实验五 观察典型机床夹具的结构.....	(329)
参考文献	(332)

绪论

一、机械制造技术研究对象

社会生产的各行各业，都在使用着各种各样的机器、机械、仪器和工具。它们的品种、数量和性能极大地影响着这些行业的生产能力、质量水平及经济效益等。这些机器、机械、仪器和工具统称为机械装备，它们的大部分构件都是一些具有一定形状和尺寸的金属零件。能够生产这些零件并将其装配成机械装备的工业，称为机械制造业。显然，机械制造业的主要任务，就是向国民经济的各行各业提供先进的机械装备。因此，机械制造业是国民经济发展的重要基础和有力支柱，其规模和水平是反映国家经济实力和科学技术水平的重要标志之一。

机械制造工艺是各种机械制造方法和过程的总称。因此，它是一门研究机械制造的工艺方法和工艺技术过程的技术学科。

任何机械或部件都是由许多零件按照一定的设计要求制造和装配而成。机械制造工艺过程如图 0-1 所示。

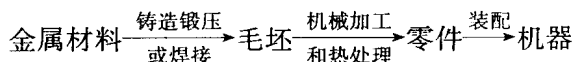


图 0-1

机械制造工艺涉及的行业有百余种，产品品种成千上万。但是研究的工艺问题可大体归纳为质量、生产率和经济性三类。

第一类问题是保证和提高产品的质量。

产品质量除了零件的加工精度和加工表面质量外，还包括整台机械的装配精度、使用性能、使用寿命和可靠性等。由于宇航、精密机械、电子工业等的需要，对零件的精度和表面质量的要求越来越高，相继出现了各种新工艺和新技术，其加工精度已进入纳米级（ $0.001\ \mu\text{m}$ ），表面粗糙度已成功地小于 $0.0005\ \mu\text{m}$ 。对于新兴工业需要的难加工材料、复杂型面、型腔以及微小深孔，人们采用了电、超声波、电子束和激光等新的加工方法进行加工。

第二类问题是提高劳动生产率。

(1) 提高切削用量，采用高速切削、高速磨削和重磨削。近年来出现的聚晶金刚石和聚晶立方氮化硼新型刀具材料，其切削速度可达 $900\ \text{m}/\text{min}$ ，磨削速度达 $200\ \text{m}/\text{s}$ 。重磨削是高效磨削的发展方向，包括大进给、深切深缓进给的强力切削，荒磨和切断磨削等。

(2) 改进工艺方法、创造新工艺。如利用锻压设备实现少、无切削加工，对高强度高硬度难切削材料采用特种加工等。

(3) 提高自动化程度，实现高度自动化。例如，采用数控机床、加工中心、柔性制造系统（FMS）、成组技术等。

第三类问题是讲求经济性，即降低生产成本。

要合理选择原材料，研究新材料；合理使用和改进现有设备与工装，积极研制新的高效设备，力求节约。

我国的机械制造业经过近 60 年的发展，特别是经过近 30 年的改革开放，各种机械

产品如机床、汽车、重型机械、仪器仪表等的生产都具有了相当的规模，已经形成了品种繁多、门类齐全、布局基本合理的机械制造工业体系。研制出了一批重大成套技术装备和多种高精尖产品，有了自己的数控加工设备及柔性制造单元、柔性制造系统等，机械制造的技术水平有了很大提高，有些已接近或达到国际先进水平。

二、本课程的性质、主要研究内容及要求

“机械制造技术基础”只涉及机械制造方面的基础知识，包括金属材料、热处理、毛坯制造、机械加工、装配等方面。

本课程是“机电一体化”等非机械制造专业的一门技术基础课。通过本课程的学习，可以获得机械制造的各种工艺方法、材料基础知识、零件加工工艺过程以及装配的基础知识；对机械制造工艺过程也将有一个完整的概念，并能初步确定一般零件的工艺路线，会编制简单的工艺规程；另外也有助于增强工作的适应性，有助于同学们在一专的基础上发展多能。

本课程具体有以下六点基本要求：

- (1) 了解材料种类及热处理基础知识。
- (2) 了解毛坯制造、各类机械加工方法的基本原理、工艺特点和应用范围，并具有同时从技术因素和经济因素两个方面考虑选择毛坯和成形方法的基本技能。
- (3) 初步掌握简单机械零件的制造加工工艺规程设计方法，初步掌握制订典型零件工艺规程的基本技能。
- (4) 了解各种主要生产设备和机床的基本原理和使用范围。
- (5) 了解装配的基本知识和典型机械、部件的装配方法。
- (6) 初步了解机械制造的新技术和新工艺。

三、本课程的特点和学习方法

(1) 实践性强。本学科的内容来自生产和科研实践，而工艺理论的发展又促进和指导生产的发展。学习工艺学的目的在于应用，在于提高工艺水平。因此，要多下工厂、多实践，要重视生产实习和专业实习。有了一定的感性知识，就能较容易地理解和掌握工艺学的概念、理论和方法。在学习过程中，要着重理解和掌握基本概念及其在实际中的应用。不少工艺原则只能用理论概括说明，很难用数学方法提示其严密关系。

(2) 涉及面广，内容丰富。工艺学不仅涉及机械加工和装配，还涉及毛坯制造和热处理；不仅涉及加工方法，还涉及加工设备及工艺装备。它与“金属工艺学”、“机械制造工艺学”、“公差配合”、“金属切削原理与刀具”、“金属切削机床”、“机床夹具设计”、“企业管理”等课程均有联系，因此在学习时要融会贯通。

(3) 灵活性大。工艺理论与工艺方法的应用具有很大的灵活性，有时在不同条件甚至在相同条件下可以有不同的工艺方法，因此必须根据具体情况进行分析。

根据这些特点，在教学中必须配合一定的现场参观和电化教学，有条件的还可以安排见习或实习。只有掌握一定的感性知识，才能深入理解有关内容，为此本书还配有五个实验，其目的在于增强学生对工艺过程的理解，有条件的学校可全部进行开设。

第一章 工程材料

材料是人类文明生活的物质基础。现代社会中，材料对机械、矿冶、能源、交通、建筑、化工、轻工、宇航、信息等各领域的发展起着举足轻重的作用。

各种材料按其性能的不同，可用于结构、机件工具或物理功能器件等。用于制作机械工程结构、机件、工具的工程材料通常分为金属材料和非金属材料两大类。

第一节 金属材料的力学性能

一、拉伸试验及强度和塑性

(一) 拉伸试验及拉伸曲线

静载荷拉伸试验是工业上最常用的力学性能试验方法之一。试验时在试样两端缓慢地施加试验力，使试样的标距部分受轴向拉力并沿轴向伸长，直至试样拉断为止。通过测定试样对外加试验力的抗力，求出材料的强度值；通过测定试样在破断后塑性变形的大小，求出材料的塑性值。

试验前，将材料制成一定形状和尺寸的标准拉伸试样(GB6397—86)。图1-1为常用的圆形拉伸试样。若将试样从开始加载直到断裂前所受的拉力 F ，与其所对应的试样原始标距

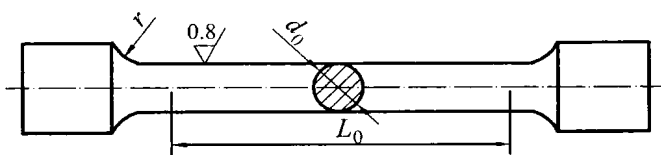


图 1-1 标准拉伸试样

长度 L_0 的伸长量 ΔL 绘成曲线，从而得到拉伸曲线。图1-2为退火低碳钢的拉伸曲线。用试样原始截面面积 S_0 去除拉力 F 得到应力 σ ；以试样原始标距 L_0 去除绝对伸长 ΔL ，得到应变 ϵ 。即 $\sigma = F/S_0$ ； $\epsilon = \Delta L/L_0$ ，所以力-伸长($F - \Delta L$)曲线就成了工程应力-应变($\sigma - \epsilon$)曲线。

从图1-2的拉伸曲线可以看出，低碳钢在拉伸过程中明显地表现出不同的变形阶段，所以通常将低碳钢的应力-应变($\sigma - \epsilon$)曲线当做典型情况来说明材料的力学性能。整个曲线可分为弹性变形、屈服、均匀塑性变形、局部塑性变形及断裂等几个阶段。

在弹性变形阶段(oe 段)，若卸除试验力，试样能完全恢复到原来的形状和尺寸。其中在 op 阶段，应力与应变成正比关系，符合虎克定律。当应力超过 σ_e ，进入屈服阶段(es 段)，应力-应变曲线出现平台或锯齿，应力不增加或只有微小增加，试样却继续伸长。屈服之后材料进入均匀塑性变形阶段(sb 段)，均匀变形的原因是冷变形强化(加工硬化)所致，变形与硬化

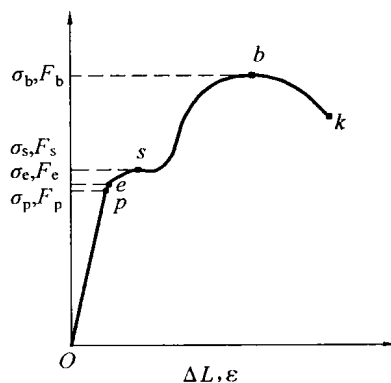


图 1-2 低碳钢的拉伸曲线

交替进行, 变形量越大, 为使材料变形所需的应力就越大。当试样变形达到最高点 b 时, 变形强化跟不上变形的变化, 不能再使变形转移, 致使某处截面开始减小。在局部塑性变形阶段 (bk 段), 应力增加, 变形加剧, 形成缩颈, 此时, 施加于试样的力减小, 而变形继续增加, 直至断裂 (k 点)。

(二) 常用强度判据

强度是材料在外力作用下抵抗塑性变形和断裂的能力。工程上常用静拉伸强度判据来规定非比例伸长应力、屈服点或规定残余伸长应力、抗拉强度等。

1. 规定非比例伸长应力

金属材料符合虎克定律的最大应力称为比例极限, 以 σ_p 表示, 因不能用实验直接测定, 故在拉伸试验方法标准 (GB/T 228—2002) 中采用“规定非比例伸长应力”来代替比例极限。规定非比例伸长应力是试样标距部分的非比例伸长达到规定的原始标距百分比时的应力, 即

$$\sigma_p = F_p / S_0$$

式中: F_p 为试样非比例伸长为规定量时的拉力 (N); S_0 为试样原始横截面面积 (mm^2)。

2. 屈服点和规定残余伸长应力

在弹性阶段内, 卸力后而不产生塑性变形的最大应力为材料的弹性伸长应力, 通常称为弹性极限, 以 σ_e 表示。它是理论上的概念, 难以用实验直接测定。在实际工程中, 以屈服点和规定残余伸长应力代替弹性极限。

在拉伸过程中力不增加, 试样仍能继续伸长时的应力称为材料的屈服点 (过去称屈服极限), 以 σ_s 表示, 单位为 MPa。

$$\sigma_s = F_s / S_0$$

式中 F_s ——材料屈服时的拉伸力。

屈服点是具有屈服现象的材料特有的强度指标。除退火或热轧的低碳钢和中碳钢等少数合金有屈服点外, 大多数合金都没有屈服现象, 因此提出“规定残余伸长应力”作为相应的强度指标。国家标准规定: 当试样卸出拉伸力后, 其标距部分的残余伸长达到规定的原始标距百分比时的应力作为规定残余伸长应力 σ_r 。表示此应力的符号应附以角标说明, 例如 $\sigma_{r0.1}$ 表示规定残余伸长率为 0.1% 时的应力。

$$\sigma_r = F_r / S_0$$

式中: F_r 为产生规定残余伸长应力时的拉力 (N)。

3. 抗拉强度

拉伸过程中最大力 F_b 所对应的应力称为抗拉强度 (过去称强度极限), 以 σ_b 表示:

$$\sigma_b = F_b / S_0$$

(三) 塑性判据

断裂前材料发生不可逆永久变形的能力叫塑性。常用的塑性判据主要有拉伸时的断后伸长率和断面收缩率。

1. 断后伸长率

试样拉断后, 标距的伸长与原始标距的百分比称为断后伸长率, 以 δ 表示:

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

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

2. 断面收缩率

试样拉断后，缩颈处横截面面积的最大缩减量与原始横截面面积的比值称为断面收缩率，以 ψ 表示：

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

式中： S_0 为试样原始截面面积 (mm^2)； S_1 为试样断裂后缩颈处的最小横截面面积 (mm^2)。

δ 或 ψ 的数值越大，则材料的塑性越好。

二、硬 度

硬度能够反映金属材料在化学成分、金相组织和热处理状态上的差异，是检验产品质量、研制新材料和确定合理的加工工艺所不可缺少的检测性能之一。

硬度实际上是指一个小的金属表面或很小的体积内抵抗弹性变形、塑性变形或抵抗破裂的一种抗力。因此硬度不是一个单纯确定的物理量，不是基本的力学性能指标，而是一个由材料的弹性、强度、塑性、韧性等一系列不同力学性能组成的综合性能指标，所以硬度所表示的量不仅取决于材料本身，还取决于试验方法和试验条件。

硬度试验方法有很多，一般可分为三类：压入法（如布氏硬度、洛氏硬度、维氏硬度、显微硬度）；划痕法（如莫氏硬度）；回跳法（如肖氏硬度）。目前，机械制造生产中应用最广泛的硬度是布氏硬度、洛氏硬度和维氏硬度。

（一）布氏硬度

布氏硬度的测定原理是用一定大小的试验力 F (N)，把直径为 D (mm) 的淬火钢球或硬质合金球压入被测金属表面（见图 1-3），保持规定时间后卸出试验力，用度数显微镜测出压痕平均直径 d (mm)，然后按公式求出布氏硬度 HB 值，或者根据 d 从备好的布氏硬度表中查出 HB 值。

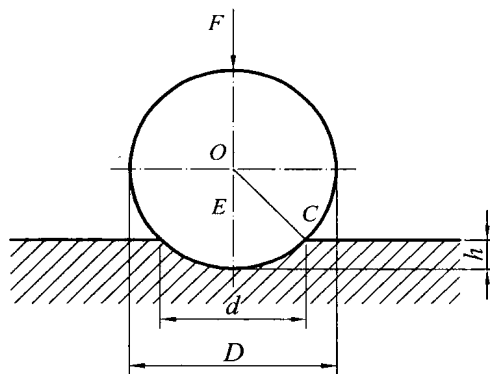


图 1-3 布氏硬度试验原理示意图

$$\begin{aligned} \text{HBS (HBW)} &= 0.102 \frac{F}{\pi D h} \\ &= 0.102 \frac{2F}{\pi D (D - \sqrt{D^2 - d^2})} \end{aligned}$$

淬火钢球做压头测得的硬度值以符号 HBS 表示, 用硬质合金球做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, 符号后面依次用相应数值注明压头直径 (mm)、试验力 (9.8 N)、试验力保持时间 (s), 但在 10~15 s 不标注。例如: 500HBW5/750, 表示用直径 5 mm 硬质合金球在 7 353 N 试验力作用下保持 10~15 s 测得的布氏硬度值为 500; 120HBS10/1 000/30, 表示用直径 10 mm 的钢球压头在 9 807 N 试验力作用下保持 30 s 测得的布氏硬度值为 120。

目前, 布氏硬度主要用于铸铁、非铁金属以及经退火、正火和调质处理的钢材。

(二) 洛氏硬度

洛氏硬度试验是目前应用最广的性能试验方法, 它是采用直接测量压痕深度来确定硬度值的。

为适应人们习惯上数值越大硬度越高的观念, 人为规定一常数 K 减去压痕深度 h 的值作为洛氏硬度指标, 并规定每 0.002 mm 为一个洛氏硬度单位, 用符号 HR 表示, 则洛氏硬度值为:

$$HR = \frac{K - h}{0.002}$$

由此可见, 洛氏硬度值是一无量纲的材料性能指标, 使用金刚石压头时, 常数 K 为 0.2; 使用钢球压头时, 常数 K 为 0.26。

为了能用一种硬度计测定从软到硬的材料硬度, 采用了不同的压头和总负荷组成几种不同的洛氏硬度标度, 每一个标度用一个字母在洛氏硬度符号 HR 后加以注明。我国常用的是 HRA、HRB 和 HRC 三种, 试验条件 (GB/T 230-2004) 及应用范围见表 1-1。洛氏硬度值标注方法为硬度符号前面注明硬度数值, 如 30HRC、75HRA 等。

表 1-1 常用的三种洛氏硬度的试验条件及应用范围

硬度符号	压头类型	总试验力 F/kN	硬度值有效范围	应用举例
HRA	120°金刚石圆锥体	0.588 4	70~85 HRA	硬质合金、表面淬火层、渗碳层
HRB	φ1.588 mm 钢球	0.980 7	25~100 HRB	非铁金属、退火、正火钢等
HRC	120°金刚石圆锥体	1.471 1	20~67 HRC	淬火钢、调质钢等

注: 总试验力=初始试验力+主试验力; 初始试验力都为 98 N。

洛氏硬度值 HRC 可用于硬度很高的材料, 操作简单迅速, 而且压痕很小, 故在钢件热处理质量检查中应用最多。

(三) 维氏硬度

上述硬度试验方法中, 布氏硬度试验力与压头直径受制约关系的约束, 并有钢球压头的变形问题; 洛氏硬度各标度之间没有直接简单的对应关系。维氏硬度, 用符号 HV 表示, 它克服了上述两种硬度试验的缺点。它的试验力可以任意选择, 特别适用于表面强化处理 (如化学热处理) 的零件和很薄的试样。但维氏硬度试验的生产率不如洛氏硬度试验生产率高, 不宜用于成批生产的常规检验。

三、疲劳极限

材料在循环应力和应变作用下, 在一处或几处产生局部永久性累积损伤, 经一定循环

次数后产生裂纹或突然发生完全断裂的过程称为材料的疲劳。

疲劳失效与静载荷下的失效不同，断裂前没有明显的塑性变形，发生断裂较突然。这种断裂具有很大的危险性，常常造成严重的事故。据统计，大部分机械零件的失效是由金属疲劳引起的，因此，工程上非常重视对疲劳规律的研究。无裂纹体材料的疲劳性能判据主要有疲劳极限和疲劳缺口敏感度等。

在交变载荷下，金属材料承受的交变应力 (σ) 和断裂时应力循环次数 (N) 之间的关系，通常用疲劳曲线来描述，如图 1-4 所示。金属材料承受的最大交变应力 σ 越大，则断裂时交变的次数 N 越小；反之 σ 越小，则 N 越大。当应力低于某值时，应力循环到无数次也不会发生疲劳断裂，此应力值称为材料的疲劳极限，以 σ_p 表示。

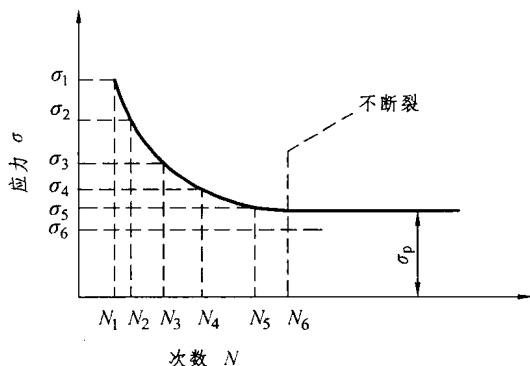


图 1-4 疲劳曲线示意图

常用钢铁材料的疲劳曲线 [见图 1-5 (a)] 形状有明显的水平部分，其他大多数金属材料的疲劳曲线 [见图 1-5 (b)] 没有水平部分，在这种情况下，规定某一循环次数 N_0 断裂时所对应的应力作为条件疲劳极限，以 $\sigma_{R(N)}$ 表示。

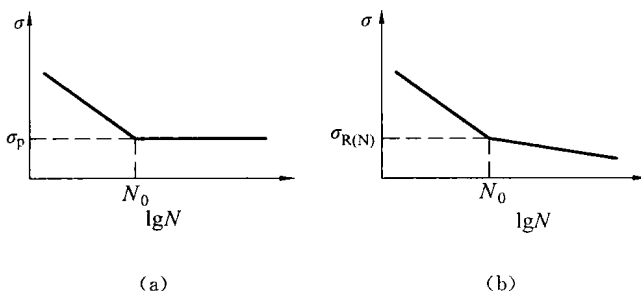


图 1-5 两种疲劳曲线

由于疲劳断裂通常是从机件最薄弱部位或内外部缺陷所造成的应力集中处发生，因此疲劳断裂对许多因素很敏感，如循环应力特性、环境介质、温度、机件表面状态、内部组织缺陷等，这些因素导致疲劳裂纹的产生或加速裂纹扩展而降低疲劳寿命。

为了提高机件的疲劳抗力，防止疲劳断裂事故的发生，在进行机件的设计和加工时，应选择合理的结构形状，防止表面损伤，避免应力集中。由于金属表面是疲劳裂纹易于产生的地方，而实际零件大部分都承受交变弯曲或交变扭转载荷，表面处应力最大，因此，表面强化处理就成为提高疲劳极限的有效途径。

四、断裂韧度

前面所讨论的力学性能，都是假定材料是均匀、连续、各向同性的。研究这种在高强度金属材料中发生的低应力脆性断裂，发现前述假设是不成立的。实际上，材料的组织远非是均匀、各向同性的，组织中有微裂纹，还会有夹杂、气孔等宏观缺陷，这些缺陷可看成是材料中的裂纹。当材料受外力作用时，这些裂纹的尖端附近便出现应力集中，形成一个裂纹尖端的应力场。根据断裂力学对裂纹尖端应力场的分析，裂纹前端应力场的强弱主要取决于力学应力强度因子 K_I ，单位为 $\text{N} \cdot \text{m}^{-3/2}$ 。

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

式中 Y ——与裂纹形状、加载方式及试样尺寸有关的量，是个无量纲的系数；

σ ——外加拉应力 (MPa)；

a ——裂纹长度的一半 (m)。

对某个有裂纹的试样 (或机件)，在拉伸外力作用下， Y 值是一定的。当外加拉力逐渐增大，或裂纹逐渐扩展时，裂纹尖端的应力强度因子 K_I 也随之增大；当 K_I 增大到某一临界值时，试样 (或机件) 中的裂纹会产生突然失稳扩展，导致断裂。这个应力强度因子的临界值称为材料的断裂韧度，用 K_{Ic} 表示。

断裂韧度是材料固有的力学性能指标，是强度和韧性的综合体现。它与裂纹的大小、形状、外加应力等无关，主要取决于材料的成分、内部组织和结构。

第二节 铁碳合金相图

一、铁碳合金的组成元素及基本相

(一) 铁碳合金的组成元素 (组元)

1. Fe

铁是过渡族元素，熔点或凝固点为 1538°C ，密度是 7.87 g/cm^3 。纯铁从液态结晶为固态后，继续冷却到 1394°C 及 912°C 时，先后发生两次同素异构转变。

工业纯铁的力学性能特点是强度低、硬度低、塑性好。

2. Fe_3C

Fe_3C 是 Fe 与 C 的一种具有复杂结构的间隙化合物，通常称为渗碳体，用 C_m 表示。渗碳体的力学性能特点是硬而脆。

(二) 铁碳合金中的相

1. 液相 L

液相 L 是铁与碳的液态溶体。

2. δ 相

δ 相又称高温铁素体，是碳在 $\delta\text{-Fe}$ 中的间隙固溶体，呈体心立方晶格，在 1394°C 以上存在，在 1495°C 时溶碳量最大，碳的质量分数为 0.09% 。

3. α 相

α 相也称铁素体，用符号 F 或 α 表示，是碳在 $\alpha\text{-Fe}$ 中的间隙固溶体，呈体心立方晶