

机械制造基础

(工程材料与热加工篇)

主 编 颜长锋 副主编 张 俊



北京理工大学出版社

BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

机械制造基础 ——工程材料与热加工篇

主 编 颜长锋
副主编 张 俊



北京理工大学出版社

BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

内 容 简 介

本书按照培养应用型人才的原则编写。在加强基础理论同时,更加注重理论知识在生产中的应用性和可操作性,建立整体优化的教学体系,便于学生对机械设计制造技术有一个整体的认识。内容的阐述和编排符合教学规律,便于教学。

本书主要包括:金属材料的力学性能、金属及合金的结构、铁碳合金相图、钢的热处理、工业用钢、有色金属及其合金、其他工程材料、铸造、锻压、焊接、金属切削加工基础知识、零件的选材与加工工艺分析等内容。

本书可作为高等院校机电类各专业的技术基础课教材,也可供相关技术人员参考使用。

版权专有 侵权必究

图书在版编目(CIP)数据

机械制造基础. 工程材料与热加工篇/颜长锋主编. 北京:北京理工大学出版社, 2010.2

ISBN 978-7-5640-2595-3

I. 机… II. 颜… III. ①工程材料-高等学校-教材②热加工-高等学校-教材
IV. TH

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 139217 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×960 毫米 1/16

印 张 / 16.5

字 数 / 335 千字

版 次 / 2010 年 2 月第 1 版 2010 年 2 月第 1 次印刷

印 数 / 1~2000 册

定 价 / 33.00 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

《机械制造基础》包括金属材料及热处理、非金属材料、锻造、焊接、金属冷加工等内容，是高等工科院校机械类和机电类各专业的重要技术基础课。

本书按照培养应用型人才的原则编写，在加强基础理论同时，更加注重理论知识在生产中的应用性和可操作性，建立整体优化的教学体系，便于学生对机械设计制造技术有一个整体的认识。内容的阐述和编排符合教学规律，便于教学。

全书共分12章，由颜长锋主编，张俊副主编，樊留锁担任主审，参加编写的还有刘卫旗、杨宏才、赵静、徐胜利、胡再林。具体编写工作为，颜长锋（第1章、第6章），赵静（第2章），张俊（第3章、第9章），胡再林（第4章、第10章），刘卫旗（第5章、第7章），徐胜利（第8章），杨宏才（第11章、第12章）

对书中存在的疏漏和不当之处，敬请广大读者批评指正。

编 者

目 录

第1章 金属材料的力学性能	(1)
1.1 强度和塑性	(1)
1.1.1 强度	(1)
1.1.2 塑性	(4)
1.2 冲击韧性	(5)
1.3 疲劳强度	(6)
1.4 硬度	(7)
1.4.1 布氏硬度	(7)
1.4.2 洛氏硬度	(8)
1.4.3 维氏硬度	(10)
复习思考题	(13)
第2章 金属及合金的结构	(14)
2.1 金属的结构	(14)
2.1.1 金属的晶体结构	(14)
2.1.2 金属的实际晶体结构与晶体缺陷	(16)
2.2 合金的结构与相图	(19)
2.2.1 合金的基本概念	(19)
2.2.2 固态合金中的相结构	(19)
2.2.3 二元合金相图	(22)
复习思考题	(27)
第3章 铁碳合金相图	(29)
3.1 铁碳合金的基本相	(29)
3.2 Fe-Fe ₃ C 相图	(30)
3.2.1 铁碳合金相图的组成	(30)
3.2.2 Fe-Fe ₃ C 相图分析	(30)

3.3 含碳量对碳钢组织与性能的影响	(35)
3.3.1 含碳量对碳钢组织的影响	(35)
3.3.2 含碳量对碳钢性能的影响	(35)
复习思考题	(37)
第4章 钢的热处理	(38)
4.1 钢在加热时的组织转变	(38)
4.2 钢在冷却时组织转变	(39)
4.2.1 过冷奥氏体的等温转变	(39)
4.2.2 过冷奥氏体连续冷却转变	(41)
4.3 钢的退火与正火	(42)
4.3.1 退火	(42)
4.3.2 正火	(43)
4.3.3 退火与正火的选用	(44)
4.4 钢的淬火与回火	(44)
4.4.1 淬火	(44)
4.4.2 回火	(46)
4.5 钢的淬透性与淬硬性	(47)
4.6 钢的表面热处理	(48)
4.6.1 钢的表面淬火	(48)
4.6.2 钢的化学热处理	(51)
复习思考题	(53)
第5章 工业用钢	(56)
5.1 概述	(56)
5.1.1 钢中的常存元素及其对钢性能的影响	(56)
5.1.2 合金元素在钢中的作用	(57)
5.1.3 钢的分类	(59)
5.2 结构钢	(60)
5.2.1 碳素结构钢	(60)
5.2.2 优质碳素结构钢	(61)
5.2.3 低合金高强度结构钢	(62)
5.2.4 合金结构钢	(64)
5.2.5 合金弹簧钢	(68)

5.2.6 滚动轴承钢	(72)
5.2.7 铸造碳钢	(74)
5.3 工具钢	(75)
5.3.1 碳素工具钢	(75)
5.3.2 合金工具钢	(77)
5.3.3 高速工具钢	(82)
5.3.4 硬质合金	(85)
5.4 特殊性能钢	(86)
5.4.1 不锈钢	(87)
5.4.2 耐热钢	(88)
5.4.3 耐磨钢	(90)
5.5 国外常用材料牌号	(90)
复习思考题	(96)
第6章 有色金属及其合金	(98)
6.1 铝及铝合金	(98)
6.1.1 工业纯铝	(98)
6.1.2 铝合金	(99)
6.2 铜及铜合金	(103)
6.2.1 工业纯铜	(103)
6.2.2 铜合金	(103)
6.3 滑动轴承合金	(106)
6.3.1 轴承合金的性能与组织特征	(107)
6.3.2 常用的轴承合金	(107)
复习思考题	(109)
第7章 其他工程材料	(110)
7.1 高分子材料	(110)
7.1.1 工程塑料	(110)
7.1.2 橡胶	(113)
7.1.3 胶黏剂	(114)
7.2 其他非金属材料	(115)
7.2.1 陶瓷	(115)
7.2.2 复合材料	(117)

7.2.3 纳米材料	(119)
复习思考题	(121)
第8章 铸造	(122)
8.1 合金的铸造性能	(122)
8.1.1 合金的流动性	(122)
8.1.2 合金的收缩	(123)
8.1.3 常用合金的铸造性能和选用	(125)
8.2 砂型铸造	(126)
8.2.1 造型	(126)
8.2.2 造芯	(129)
8.3 铸件的工艺及结构	(129)
8.3.1 铸件浇注位置	(130)
8.3.2 铸件结构工艺性	(131)
8.4 特种铸造简介	(135)
8.4.1 熔模铸造	(135)
8.4.2 金属型铸造	(136)
8.4.3 压力铸造	(137)
8.4.4 离心铸造	(137)
8.5 铸件的工艺设计简介	(139)
8.5.1 铸造工艺图	(139)
8.5.2 工艺参数的确定	(140)
复习思考题	(144)
第9章 锻压	(145)
9.1 金属塑性变形	(145)
9.1.1 金属的塑性变形	(145)
9.1.2 金属的冷变形和热变形	(147)
9.1.3 影响金属塑性变形的因素	(147)
9.1.4 金属塑性变形的规律	(148)
9.2 锻造	(149)
9.2.1 自由锻	(149)
9.2.2 模锻	(155)
9.3 板料冲压	(163)

9.3.1 冲压工序分析	(163)
9.3.2 冲压模具	(168)
9.3.3 冲压工艺过程分析实例	(170)
9.4 特种锻压工艺	(173)
9.4.1 挤压	(174)
9.4.2 辊轧	(176)
9.4.3 精密模锻	(176)
第10章 焊接	(178)
10.1 金属熔焊	(179)
10.1.1 熔焊的冶金特点	(179)
10.1.2 焊接接头金属组织与性能的变化	(180)
10.1.3 焊接应力与变形	(181)
10.2 电弧焊	(183)
10.2.1 焊条电弧焊	(183)
10.2.2 埋弧焊	(187)
10.2.3 气体保护焊	(187)
10.3 其他焊接方法	(189)
10.3.1 等离子弧焊接	(189)
10.3.2 电渣焊	(190)
10.3.3 压焊	(191)
10.3.4 钎焊	(194)
10.4 常用金属材料的焊接	(194)
10.4.1 金属材料的焊接性	(194)
10.4.2 常用钢材的焊接	(195)
10.4.3 铸铁的焊接	(196)
10.4.4 有色金属及其合金的焊接	(197)
10.5 焊接结构设计	(198)
10.5.1 焊件的选材原则	(198)
10.5.2 焊件的结构工艺性	(198)
复习思考题	(202)
第11章 金属切削加工基础知识	(203)
11.1 金属切削的基本原理	(203)

11.2	切削运动与切削用量	(203)
11.2.1	切削运动	(203)
11.2.2	切削用量	(204)
11.3	切削加工刀具的基本知识	(205)
11.3.1	刀具切削部分的结构要素	(205)
11.3.2	刀具的几何角度	(206)
11.3.3	常用刀具材料	(208)
11.4	金属切削过程的基本现象	(210)
11.4.1	切削变形	(211)
11.4.2	切削力和切削功率	(212)
11.4.3	切削热与切削温度	(214)
11.4.4	刀具磨损与刀具耐用度	(214)
11.4.5	提高切削加工质量的途径	(216)
11.5	金属切削机床	(218)
11.5.1	切削加工的主要方式	(218)
11.5.2	工作运动	(218)
11.5.3	机床的分类	(219)
11.5.4	机床型号的编制	(219)
11.6	车床	(223)
11.6.1	普通车床	(223)
11.6.2	立式车床	(225)
11.7	钻床和镗床介绍	(226)
11.7.1	钻床	(226)
11.7.2	镗床	(227)
11.8	刨床、插床和拉床	(230)
11.8.1	刨床	(230)
11.8.2	插床	(230)
11.8.3	拉床	(232)
11.9	铣床	(232)
11.9.1	卧式万能铣床	(233)
11.9.2	立式铣床	(233)
11.9.3	龙门铣床	(233)
11.10	磨床	(233)
11.10.1	磨床特点	(233)

11.10.2 磨床的分类	(233)
复习思考题	(234)
第12章 零件的选材与加工工艺分析	(236)
12.1 零件的失效形式和选材原则	(236)
12.1.1 机械零件的失效形式	(236)
12.1.2 选材原则	(237)
12.2 机械零件毛坯的选择	(239)
12.2.1 常见零件毛坯类型	(239)
12.2.2 毛坯选择的原则	(240)
12.2.3 典型零件毛坯的选择	(241)
12.3 零件热处理的技术条件	(242)
12.4 典型零件的加工工艺	(243)
12.4.1 箱体零件加工工艺	(243)
12.4.2 轴类零件加工工艺	(247)
复习思考题	(250)
参考文献	(251)

金属材料的力学性能

在机械制造业中，金属材料是目前使用量最大、使用范围最广的材料。金属材料分为钢铁材料和有色金属材料两大类。金属材料有着优良的使用性能和加工工艺性能。机器上由金属材料制成的零部件，在工作过程中都要承受外力（或称载荷）作用。载荷作用的结果将引起零部件形状和尺寸的改变，这种改变称为变形。由于所加载荷的大小、速度和形式的不同，所引起金属变形的方式也不同。常见的变形方式有：拉伸、压缩、弯曲、扭转和剪切等。金属材料在各种不同形式的载荷作用下所表现出来的特性叫做力学性能，通常用试验来测定。常用的试验方法有拉伸试验、硬度试验、冲击试验等。力学性能的主要指标有强度、塑性、硬度、冲击韧度和疲劳强度等。

1.1 强度和塑性

若载荷缓慢地由零增加到某一值，以后保持不变或变动很不显著，则称为静载荷。金属材料的强度、塑性等力学性能是在静载荷作用下测定的。

1.1.1 强度

强度，是指金属材料在静载荷作用下抵抗变形和断裂的能力。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，各种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材料强度高低的指标。

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. 拉伸试样

为了使金属材料的力学性能指标在测试时能排除因试样形状、尺寸的不同而造成的影响，并便于分析比较，试验时应先将被测金属材料制成标准试样。图 1-1 为圆形拉伸试样示

意图。

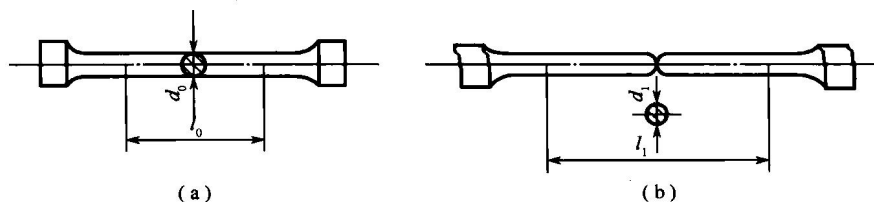


图 1-1 拉伸试样

(a) 试验前; (b) 试验后

图中, d_0 为试样的直径, l_0 为标距长度。根据标距长度与直径之间的关系, 试样可分为长试样 ($l_0 = 10d_0$) 和短试样 ($l_0 = 5d_0$) 两种。

2. 力—伸长曲线

拉伸试验中记录的拉伸力与伸长的关系曲线叫做力—伸长曲线, 也称拉伸图。图 1-2 是低碳钢的力—伸长曲线。图中纵坐标表示力 F , 单位是 N; 横坐标表示绝对伸长 Δl , 单位是 mm。

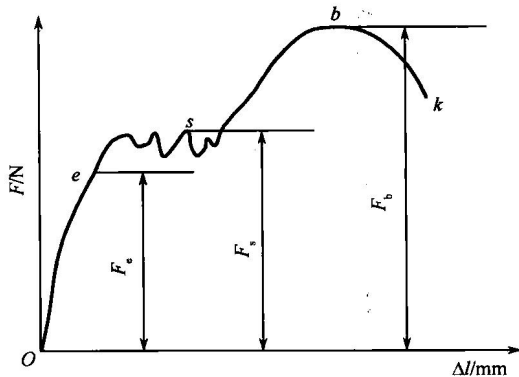


图 1-2 低碳钢的力—伸长曲线

由图可见, 低碳钢在拉伸过程中, 其载荷与变形关系有以下几个阶段。

当载荷不超过 F_e 时, 拉伸曲线 Oe 为直线, 即试样的伸长量与载荷成正比。如果卸除载荷, 试样仍能恢复到原来的尺寸, 即试样的变形完全消失。这种随载荷消失而消失的变形叫做弹性变形。这一阶段属于弹性变形阶段。

当载荷超过 F_e 后, 试样将进一步伸长, 此时若卸载荷, 弹性变形消失, 而另一部分变形却不能消失, 即试样不能恢复到原来的尺寸, 这种载荷消失后仍继续保留的变形叫塑性变形。

当载荷达到 F_s 时, 拉伸曲线出现了水平或锯齿形线段, 这表明在载荷基本不变的情况下, 试样却继续变形, 这种现象成为“屈服”。引起试样屈服的载荷称为屈服载荷。

当载荷超过 F_s 后, 试样的伸长量与载荷以曲线关系上升, 但曲线的斜率比 Oe 段的斜率小, 即载荷的增加量不大, 而试样的伸长量却很大。当载荷继续增加到某一最大值 F_b 时, 试样的局部截面缩小, 产生所谓的“缩颈”现象。由于试样局部界面的逐渐缩小, 故载荷也逐渐降低, 当达到拉伸曲线上 k 点时, 试样随即断裂。 F_k 为试样断裂时的载荷。

在试样产生缩颈以前, 由载荷所引起试样的伸长, 基本上是沿着整个试样标距长度内发生的, 属于均匀变形; 缩颈后, 试样的伸长主要发生在颈部的一段长度内, 属于集中变形。

3. 强度指标

强度指标是用应力值来表示的。根据力学原理, 试样受到载荷作用时, 则内部产生大小与载荷相等而方向相反的抗力 (即内力)。单位截面积上的内力, 成为应力, 用符号 σ 表示。

从拉伸曲线分析得出, 有三个载荷值比较重要: 一个是弹性变形范围内的最大载荷 F_e , 第二个是最小屈服载荷 F_s , 另一个是最大载荷 F_b , 通过这三个载荷值, 可以得出金属材料的三个主要强度指标。

(1) 弹性极限

弹性极限是金属材料能保持弹性变形的最大应力, 用 σ_e 表示, 即

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

式中 F_e ——弹性变形范围内的最大载荷, N;

S_0 ——试样原始横截面积, mm^2 。

(2) 屈服点与屈服强度

屈服点是使材料产生屈服现象时的最小应力, 用 σ_s 表示, 即

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

式中 F_s ——使材料产生屈服的最小载荷, N;

S_0 ——试样的原始横截面积, mm^2 。

对于低塑性材料或脆性材料, 由于屈服现象不明显, 因此这类材料的屈服点常以产生一定的微量塑性变形 (一般用变形量为试样长度的 0.2%) 的应力来表示, 称为屈服强度, 用 $\sigma_{0.2}$ 表示, 即

$$\sigma_{0.2} = \frac{F_{0.2}}{S_0}$$

式中 $F_{0.2}$ ——塑性变形量为试样长度 0.2% 时的载荷, N;

S_0 ——试样原始的横截面积, mm^2 。

(3) 抗拉强度

试样断裂前能够承受的最大应力，称为抗拉强度，用 σ_b 表示，即

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

式中 F_b ——试样断裂前所能承受的最大载荷，N；

S_0 ——试样的原始横截面积， mm^2 。

低碳钢的屈服点 σ_s 约为 240MPa，抗拉强度 σ_b 约为 400 MPa。

工程上所用的金属材料，不仅希望具有较高的 σ_s ，还希望具有一定的屈强比 (σ_s/σ_b)。屈强比越小，结构零件的可靠性越高，万一超载也能由于塑性变形而使金属的强度提高，不至于立即断裂。但如果屈强比太小，结构零件的可靠性越高，万一超载也能由于塑性变形而使金属的强度提高，不至于立即断裂。但如果屈强比太小，则材料强度的有效利用率就会太低。

1.1.2 塑性

金属发生塑性变形但不破坏的能力称为塑性。在拉伸时它们分别为伸长率和断面收缩率。

1. 伸长率

伸长率是指试样拉断后的标距伸长量与原始标距的百分比，用符号 δ 表示，即

$$\delta = \frac{L_1 - L_0}{L_0} \times 100\% \quad (1-4)$$

式中 L_0 ——试样的原始标距长度，mm；

L_1 ——试样拉断后的标距长度，mm。

2. 断面收缩率

断面收缩率是指试样拉断处横截面积的缩减量与原始横截面积的百分比，用符号 Ψ 表示，即

$$\Psi = \frac{A_0 - A_1}{A_1} \times 100\% \quad (1-5)$$

式中 A_0 ——试样断裂处的横截面积， mm^2 ；

A_1 ——试样原始横截面积， mm^2 。

必须说明，伸长率的大小与试样的尺寸有关。试样长短不同，测得的伸长率是不同的。长、短试样的伸长率分别用 δ_{10} 和 δ_5 表示，习惯上， δ_{10} 也常写成 δ 。对于同一材料而言，短试样所测得的伸长率 (δ_5) 要比长试样测得的伸长率 (δ_{10}) 大一些，两者不能直接进行比较。

δ 和 Ψ 是材料的重要性能指标。它们的数值越大，材料的塑性就越好。金属材料的塑性

好坏,对零件的加工和使用又十分重要的意义。例如,低碳钢的塑性较好,故可以进行压力加工;普通铸铁的塑性差,因而不能进行压力加工,只能进行铸造。同时,由于材料具有一定的塑性,故可能保证材料不致因稍有超载而突然断裂,这就增加了材料使用的安全可靠。

1.2 冲击韧度

许多机械零件在工作中,往往要受到冲击载荷的作用,如活塞销、锤杆、冲模、锻模、凿岩机零件等,制造这些零件的材料,其性能不能单纯用静载荷作用下的指标来衡量,而必须考虑材料抵抗冲击载荷的能力。冲击载荷是指加载速度很快而作用时间很短的突发性载荷。

金属材料在冲击载荷作用下,抵抗破坏的能力称为冲击韧度。为了评定金属材料的冲击韧度,需要进行一次冲击试验。冲击试验是一种动载荷试验,它包括冲击弯曲、冲击拉伸、冲击扭转等几种试验方法。目前常用一次摆锤冲击弯曲试验来测定金属材料的韧度,其试验原理如图 1-3 所示。

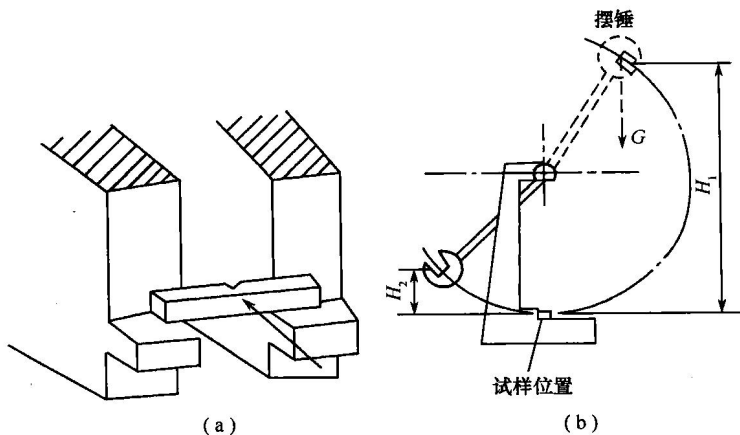


图 1-3 冲击试验原理图

(a) 试样安装位置; (b) 冲击示意图

试验时,把按规定制作的标准冲击试样的缺口(脆性材料不开缺口)背向摆锤方向放在冲击试验机上(如图 1-3 所示),将摆锤(质量为 m)扬起到规定高度 H ,然后自由落下,将试样冲断。由于惯性,摆锤冲断试样后会继续上升到某一高度 H_2 。根据功能原理可知:摆锤冲断试样所消耗的功为 $A_k = mg(H_1 - H_2)$ 。 A_k 称作冲击吸收功,可从冲击试验机上直接读出,单位为焦耳(J)。用试样缺口处的横截面积 S 去除 A_k 所得的商即为该材料的

冲击韧度值, 用符号 α_k 表示, 单位为 J/cm^2 , 即

$$\alpha_k = \frac{A_k}{S} \quad (1-6)$$

试样缺口有 U 形和 V 形两种, 冲击韧度值分别以 α_{ku} 和 α_{kv} 表示。

α_{kv} 值越大, 材料的冲击韧度越好, 断口处则会发生较大的塑性变形, 断口成灰色纤维状; α_{kv} 值越小, 材料的冲击韧度越差, 断口处无明显的塑性变形, 断口具有金属光泽而较为平整。

一般说来, 强度、塑性两者较好的材料, α_{kv} 值也高。材料的冲击韧度处理取决于其化学成分和显微组织外, 还与加载速度、温度以及试样的表面质量 (如缺口、表面粗糙度等)、材料的冶金质量等有关。加载速度越快, 温度越低, 表面及冶金质量越差, 则 α_{kv} 值越低。

在一次冲断条件下测得的冲击韧度值 α_{kv} , 对于判别材料抵抗大能量冲击能力, 有一定的意义。而绝大多数机件在工作中所承受这种冲击有上万次或数万次。对以材料承受多次冲击的问题, 如果冲击能量低、冲击周次较多时, 材料的冲击韧度主要取决于材料的强度, 材料的强度高则冲击韧度较好; 如果冲击能量高时, 则主要取决于材料的塑性, 材料的塑性越高则冲击韧度越大。因此冲击韧度值 α_{kv} 一般可作设计和选材的参考。

1.3 疲劳强度

有许多零件 (如齿轮、弹簧等) 是在交变应力 (指大小和方向随时间作用周期性变换) 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。

金属的疲劳断裂是在交变载荷作用下, 经过一定的循环周次之后突然出现的。

图 1-4 是某材料的疲劳曲线, 横坐标表示循环周次, 纵坐标表示交变应力。从该曲线可以看出, 材料承受的交变应力越大, 疲劳破坏前能循环工作的周次越少; 当循环交变应力减少到某一数值时, 曲线接近水平, 即表示当应力低于此值时, 材料可经受无数次应力循环而不破坏。我们把材料在无数次交变载荷作用下而不破坏的最大应力值称为疲劳强度。通常光滑试样在对称弯曲循环载荷作用下的疲劳强度用 σ_{-1} 表示。对钢材来说, 当循环次数 N 达到 10^7 周次时, 曲线便出现水平线, 所以我们将经受 10^7 周次或更多周次而不破坏的最大应力定位疲劳强度。对于有色金属, 一般则需要定应力循环次数在 10^8 或更多周次, 才能确定其疲劳强度。

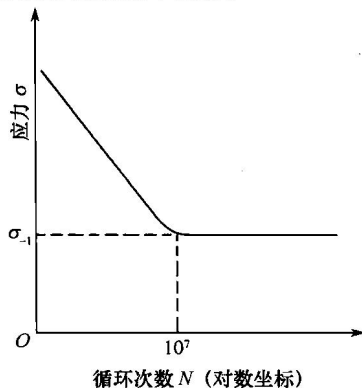


图 1-4 金属的疲劳曲线