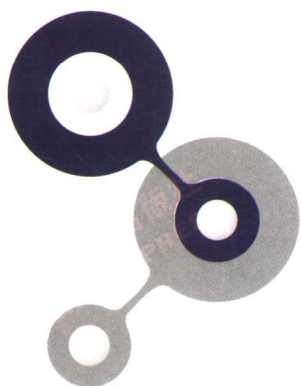




高等学校机械设计制造及自动化专业“十一五”规划教材



材料成型工艺基础

主编 刘建华
主审 杨思一



西安电子科技大学出版社
<http://www.xduph.com>

高等学校机械设计制造及其自动化专业“十一五”规划教材

材料成型工艺基础

主 编 刘建华

主 审 杨思一

西安电子科技大学出版社

2007

内 容 简 介

“材料成型工艺基础”是高等工科院校机械类本科各专业的技术基础课程。本书主要阐述了工程中常用材料的分类、成分、组织、性能特点,以及各种材料成型的原理、方法、工艺特点及其应用。全书共 10 章,主要内容包括金属材料及热处理、铸造、压力加工、焊接成型方法、粉末冶金、高分子材料、工业陶瓷、复合材料及其成型,并简要地介绍了先进成型方法及成型材料与方法选择。每章均附有一定数量的思考题和练习题。

本书可作为高等工科院校机械类及近机械类专业的教材,还可作为职工大学、成人大学、广播电视大学的相关专业基础课程教材和工程技术人员的参考书。

★ 本书配有电子教案,需要者可与出版社联系,免费提供。

图书在版编目(CIP)数据

材料成型工艺基础/刘建华主编. —西安:西安电子科技大学出版社,2007.8

高等学校机械设计制造及其自动化专业“十一五”规划教材

ISBN 978-7-5606-1884-5

I. 材… II. 刘… III. 工程材料—成型—工艺—高等学校—教材 IV. TB3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 102459 号

策 划 马乐惠

责任编辑 张 玮 马乐惠

出版发行 西安电子科技大学出版社(西安市太白南路 2 号)

电 话 (029)88242885 88201467 邮 编 710071

http://www.xduph.com E-mail: xdupfxb@pub.xaonline.com

经 销 新华书店

印刷单位 陕西华沐印刷科技有限责任公司

版 次 2007 年 8 月第 1 版 2007 年 8 月第 1 次印刷

开 本 787 毫米×1092 毫米 1/16 印 张 18.875

字 数 441 千字

印 数 1~4000 册

定 价 25.00 元

ISBN 978-7-5606-1884-5/TB·0011

XDUP 2176001-1

*** 如有印装问题可调换 ***

本社图书封面为激光防伪覆膜,谨防盗版。

高等学校

自动化、电气工程及其自动化、机械设计制造及其自动化专业

“十一五”规划教材编审专家委员会名单

主任：张永康

副主任：姜周曙 刘喜梅 柴光远

自动化组

组长：刘喜梅（兼）

成员：（成员按姓氏笔画排列）

韦力 王建中 巨永锋 孙强 陈在平 李正明
吴斌 杨马英 张九根 周玉国 党宏社 高嵩
秦付军 席爱民 穆向阳

电气工程系

组长：姜周曙（兼）

成员：（成员按姓氏笔画排列）

闫苏莉 李荣正 余健明
段晨东 郝润科 谭博学

机械设计制造组

组长：柴光远（兼）

成员：（成员按姓氏笔画排列）

刘战锋 刘晓婷 朱建公 朱若燕 何法江 李鹏飞
麦云飞 汪传生 张功学 张永康 胡小平 赵玉刚
柴国钟 原思聪 黄惟公 赫东锋 谭继文

项目策划：马乐惠

策划：毛红兵 马武装 马晓娟

前 言

材料是人类赖以生存和发展的物质基础。人类的生活和生产实践对材料不断提出新的要求,新材料的出现又推动了人类生活和生产的进一步发展。近年来,随着现代科学技术、工业生产的迅猛发展和我国制造业大国地位的确立,对材料及其成型工艺提出了新的更高要求。新材料和新的成型工艺已成为我国最重要和最有发展潜力的工业支柱产业之一,日益受到人们的重视。

本书是根据国家教育部《关于组织实施〈面向 21 世纪高等工程教学内容的课程体系改革计划〉的通知》精神和高等学校机械类专业的“工程材料及其机械制造基础”课程改革和实践的要求,并结合多年教学实践经验编写而成的。在编写过程中,突出了以下特点:

(1) 以“材料-成型原理和方法-成型工艺-零件的结构工艺性”为主线,使内容的层次分明、系统性强。

(2) 精简了传统的金属材料及其成型技术(铸造、压力加工、焊接)的内容,增加了粉末冶金材料、高分子材料、陶瓷材料和复合材料等材料的成型技术内容。

(3) 本书体现了“面向 21 世纪,注重能力培养”的教学特点,增强了材料成型方法和成型工艺的基础知识,增加了典型零件的成型工艺分析和成型材料、成型方法选择,以培养学生分析和解决实际问题的能力。

(4) 充实了新材料、新技术、新工艺等方面的内容,如先进成型方法,并在一定程度上反映了材料科学与工程科学的最新成就,以适应当前科技发展的需要。

(5) 本书的适应面广,既适应于机械类各专业,如机械设计制造及自动化、车辆工程等专业,也适应于近机械类专业,如自动化、工业工程、电气工程及其自动化等专业。在授课过程中,可根据专业的特点有选择地讲授。

参加本书编写的有长安大学的宋绪丁(第 1 章)、刘建华(第 2 章、第 3 章、第 5 章、第 7 章)、吴文(第 4 章、第 6 章、第 8 章)及西安建筑科技大学的杨军(第 9 章、第 10 章)。全书由刘建华主编,西安交通大学博士生导师金志浩教授审阅。审阅后金教授提出了许多宝贵意见,在此表示感谢。

在编写过程中,得到了西安电子科技大学出版社的大力支持,在此表示感谢。

由于编者水平有限,编写时间仓促,书中难免会有不妥之处,恳请读者批评指正。

编 者

2007 年 4 月于西安

目 录

| | |
|-----------------------------|----|
| 第 1 章 金属材料与热处理 | 1 |
| 1.1 金属材料的机械性能 | 1 |
| 1.1.1 室温下的机械性能指标 | 1 |
| 1.1.2 高温下的机械性能指标 | 7 |
| 1.1.3 金属材料的物理、化学及工艺性能 | 8 |
| 1.2 金属的晶体结构与结晶 | 8 |
| 1.2.1 金属的晶体结构 | 9 |
| 1.2.2 纯金属的结晶 | 11 |
| 1.2.3 金属的同素异晶转变 | 14 |
| 1.3 合金与铁碳合金 | 15 |
| 1.3.1 合金的基本概念和结构 | 15 |
| 1.3.2 铁碳合金的基本组织 | 16 |
| 1.3.3 铁碳合金相图 | 18 |
| 1.4 金属材料热处理 | 25 |
| 1.4.1 钢在加热时的组织转变 | 26 |
| 1.4.2 钢在冷却时的组织转变 | 27 |
| 1.4.3 钢的热处理工艺 | 31 |
| 1.4.4 钢的表面热处理 | 36 |
| 1.5 常用的金属材料 | 39 |
| 1.5.1 钢 | 39 |
| 1.5.2 有色金属及其合金 | 43 |
| 思考题与习题 | 45 |
| 第 2 章 铸造成型技术 | 47 |
| 2.1 合金的铸造性能 | 47 |
| 2.1.1 合金的充型能力 | 48 |
| 2.1.2 合金的收缩 | 50 |
| 2.1.3 合金的吸气性 | 56 |
| 2.2 常用的铸造合金及铸造方法 | 57 |
| 2.2.1 常用的铸造合金 | 57 |
| 2.2.2 常见的铸造缺陷 | 65 |
| 2.2.3 铸造方法 | 66 |
| 2.3 砂型铸造工艺设计 | 75 |
| 2.3.1 砂型铸造的基本过程 | 76 |
| 2.3.2 铸造工艺图的绘制 | 76 |
| 2.3.3 铸造工艺设计实例 | 84 |

| | |
|-----------------------------|------------|
| 2.4 铸造结构工艺性 | 86 |
| 2.4.1 铸造性能对结构的要求 | 86 |
| 2.4.2 铸造工艺对结构的要求 | 90 |
| 2.4.3 铸造方法对结构的要求 | 94 |
| 思考题与习题 | 96 |
| 第3章 压力加工成型技术 | 99 |
| 3.1 压力加工成型方法 | 99 |
| 3.1.1 型材生产方法 | 99 |
| 3.1.2 机械零件的毛坯及产品生产 | 101 |
| 3.2 金属材料的塑性成型基础 | 102 |
| 3.2.1 金属塑性变形的实质 | 102 |
| 3.2.2 塑性变形对金属组织和性能的影响 | 104 |
| 3.3 锻造 | 107 |
| 3.3.1 金属材料的锻造性能 | 107 |
| 3.3.2 自由锻造 | 110 |
| 3.3.3 模型锻造和胎模锻造 | 117 |
| 3.4 冲压 | 124 |
| 3.4.1 冲压的特点及应用 | 124 |
| 3.4.2 板料的冲压成型性能 | 125 |
| 3.4.3 冲压基本工序 | 127 |
| 3.4.4 冲压件的结构设计 | 137 |
| 3.5 压力加工新技术 | 141 |
| 3.5.1 精密模锻 | 141 |
| 3.5.2 辊锻与碾压 | 142 |
| 3.5.3 高速锤锻造 | 143 |
| 3.5.4 超塑性成型 | 145 |
| 3.5.5 粉末锻造 | 146 |
| 3.5.6 高能成型 | 147 |
| 3.5.7 无模多点成型 | 148 |
| 3.5.8 板料的液压成型 | 150 |
| 3.5.9 渐进成型技术 | 150 |
| 3.5.10 软介质成型 | 151 |
| 思考题与习题 | 152 |
| 第4章 焊接成型技术 | 155 |
| 4.1 焊接原理及方法 | 156 |
| 4.1.1 焊接基本原理 | 156 |
| 4.1.2 焊条电弧焊 | 158 |
| 4.1.3 其他焊接方法 | 163 |
| 4.2 焊接接头的组织与性能 | 172 |
| 4.2.1 焊接接头金属组织与性能变化 | 172 |
| 4.2.2 热影响区 | 173 |

| | |
|----------------------------|------------|
| 4.3 常用金属材料的焊接 | 174 |
| 4.3.1 金属材料的焊接性 | 174 |
| 4.3.2 常用金属材料的焊接 | 175 |
| 4.4 焊接应力与变形 | 177 |
| 4.4.1 焊接应力 | 177 |
| 4.4.2 焊接变形 | 179 |
| 4.4.3 常见的焊接缺陷 | 181 |
| 4.5 焊接结构工艺设计 | 182 |
| 4.5.1 焊接结构材料及焊接方法的选择 | 182 |
| 4.5.2 焊接接头的工艺设计 | 184 |
| 思考题与习题 | 189 |
| 第5章 粉末冶金及其成型 | 191 |
| 5.1 粉末冶金基础 | 191 |
| 5.1.1 金属粉末的性能 | 191 |
| 5.1.2 金属粉末的制备方法 | 193 |
| 5.1.3 金属粉末的预处理 | 193 |
| 5.1.4 粉末冶金材料的应用及发展 | 194 |
| 5.2 粉末冶金工艺过程 | 195 |
| 5.2.1 粉末混合 | 195 |
| 5.2.2 金属粉末压制成型 | 196 |
| 5.2.3 烧结 | 199 |
| 5.2.4 后处理 | 201 |
| 5.2.5 硬质合金粉末冶金成型 | 202 |
| 5.3 粉末注射成型技术 | 202 |
| 5.3.1 粉末注射成型技术的特点 | 202 |
| 5.3.2 粉末注射成型件的工艺性 | 203 |
| 5.4 粉末冶金制品的结构工艺性 | 206 |
| 5.4.1 粉末冶金制品的结构工艺性 | 206 |
| 5.4.2 粉末冶金成型件的缺陷分析 | 209 |
| 思考题与习题 | 211 |
| 第6章 高分子材料及其成型 | 212 |
| 6.1 工程塑料 | 212 |
| 6.1.1 高分子化合物 | 212 |
| 6.1.2 工程塑料的组成 | 217 |
| 6.1.3 塑料的分类和性能 | 218 |
| 6.1.4 常用的工程塑料 | 220 |
| 6.2 工程塑料成型工艺 | 223 |
| 6.2.1 塑料成型的工艺性能 | 223 |
| 6.2.2 注射成型及其工艺条件 | 226 |
| 6.2.3 挤出成型及其工艺条件 | 228 |
| 6.2.4 压制成型及其工艺条件 | 230 |

| | |
|---------------------------|------------|
| 6.2.5 真空成型及其工艺条件 | 232 |
| 6.2.6 其他成型方法 | 233 |
| 6.3 塑料制品的结构工艺性 | 234 |
| 6.3.1 塑料制品壁厚的设计 | 234 |
| 6.3.2 塑料制品圆角的设计 | 236 |
| 6.3.3 加强筋的设计 | 236 |
| 6.3.4 拔模斜度的设计 | 237 |
| 6.3.5 塑料制品上金属嵌件的设计 | 238 |
| 6.4 塑料的加工与表面处理技术 | 240 |
| 6.4.1 塑料的加工 | 240 |
| 6.4.2 塑料的表面处理 | 241 |
| 6.5 橡胶制品及其成型方法 | 244 |
| 6.5.1 橡胶及其制品 | 244 |
| 6.5.2 橡胶成型工艺 | 246 |
| 思考题与习题 | 250 |
| 第7章 工业陶瓷及其成型 | 251 |
| 7.1 工业陶瓷 | 251 |
| 7.1.1 陶瓷材料的性能 | 251 |
| 7.1.2 常用的工业陶瓷 | 252 |
| 7.2 工业陶瓷的生产过程 | 254 |
| 7.2.1 坯料制备 | 254 |
| 7.2.2 成型 | 254 |
| 7.2.3 坯体干燥 | 257 |
| 7.2.4 烧结 | 257 |
| 7.2.5 后续加工 | 259 |
| 思考题与习题 | 259 |
| 第8章 复合材料及其成型 | 260 |
| 8.1 复合材料 | 260 |
| 8.1.1 复合材料的定义 | 260 |
| 8.1.2 复合材料的分类 | 260 |
| 8.2 复合材料成型工艺 | 261 |
| 8.2.1 聚合物基复合材料的成型工艺 | 261 |
| 8.2.2 金属基复合材料的成型工艺 | 265 |
| 8.2.3 陶瓷基复合材料的成型工艺 | 267 |
| 8.3 复合材料的应用 | 268 |
| 8.3.1 聚合物基复合材料的应用 | 268 |
| 8.3.2 金属基复合材料的应用 | 272 |
| 8.3.3 陶瓷基复合材料的应用 | 273 |
| 思考题与习题 | 273 |
| 第9章 快速成型技术简介 | 274 |
| 9.1 快速成型技术 | 274 |

| | | |
|---------------|------------------------|------------|
| 9.1.1 | 快速成型技术的原理 | 274 |
| 9.1.2 | 快速成型技术的分类及特点 | 275 |
| 9.2 | 快速成型工艺 | 275 |
| 9.2.1 | 光固化成型工艺(SLA) | 275 |
| 9.2.2 | 叠层制造成型工艺(LOM) | 276 |
| 9.2.3 | 选择性激光烧结成型工艺(SLS) | 276 |
| 9.2.4 | 熔融堆积成型工艺(FDM) | 277 |
| 9.2.5 | 三维印刷成型工艺(3DP) | 278 |
| 9.2.6 | 快速成型技术的比较 | 278 |
| 9.3 | 快速成型技术的应用 | 279 |
| | 思考题与习题 | 281 |
| 第 10 章 | 成型材料与选择 | 282 |
| 10.1 | 选择材料成型方法的原则 | 282 |
| 10.1.1 | 常用的毛坯材料 | 282 |
| 10.1.2 | 材料成型方法的选择原则 | 284 |
| 10.2 | 常用机械零件的毛坯成型方法选择 | 285 |
| 10.2.1 | 轴杆类零件 | 287 |
| 10.2.2 | 盘套类零件 | 287 |
| 10.2.3 | 机架、箱座类零件 | 288 |
| 10.2.4 | 毛坯成型方法选择举例 | 288 |
| | 思考题与习题 | 289 |
| | 参考文献 | 290 |

第1章 金属材料与热处理

工业生产中所用的纯金属和合金材料统称为金属材料。通常我们把金属材料分为黑色金属和有色金属两大类：铁、锰、铬或以它们为主形成的合金称为黑色金属，如合金钢、铸铁和碳素钢等；除黑色金属以外的金属和合金称为有色金属，如铜、锡以及黄铜、铝合金和轴承合金等。

金属材料是现代机械制造工业中应用最广泛的材料之一。它不仅资源丰富，具有优良的物理、化学和力学性能，而且还具有较简单的成型方法和良好的成型工艺性能。因此，金属材料在各种机械设备中所占的比例达90%以上。

金属材料的性能主要与其成分、组织和表面结构特性有关。热处理就是通过改变金属材料的组织以及改变表面成分和组织来改变其性能的一种热加工工艺。

1.1 金属材料的机械性能

金属材料的性能主要是指在加工过程中和使用过程中所表现出来的特性。它包括以下两个方面：

(1) 使用性能，即在使用过程中所表现出来的特性，它包括物理性能、化学性能和机械(力学)性能。金属材料的使用性能决定了其应用范围、安全可靠性和使用寿命等。

(2) 工艺性能，即金属材料在加工过程中所表现出来的特性，它主要包括铸造、压力加工、焊接、切削加工、热处理等方面的性能。

金属材料的机械性能也称力学性能，是指金属材料在外力作用时所表现出来的性能。金属零件或构件在工作时承受不同的外力作用，相应地在零件中产生拉应力、压应力、弯曲应力、剪应力及扭转应力，往往多种应力同时存在。在不同的应力作用下就有不同的机械性能指标，而这些机械性能指标又是通过不同的试验测定的，常用的有拉伸试验、冲击试验、硬度试验和疲劳试验。根据零件的使用温度不同，机械性能指标可分室温下的机械性能指标和高温下的机械性能指标。

1.1.1 室温下的机械性能指标

室温下的机械性能指标包括刚度、强度、塑性、硬度、冲击韧性和疲劳强度。因为我们常以拉伸强度作为最基本的强度值，所以拉伸试验是工业上广泛采用的机械性能试验方法之一。拉伸试验可用于测定金属材料的刚度、强度和塑性等。

拉伸试验是在拉伸试验机上进行的。把一定尺寸和形状的金属试样(见图1-1)装夹在试验机上，然后对试样逐渐施加拉伸载荷，直至把试样拉断为止。图1-2是低碳钢的拉伸

曲线图。图中，纵坐标为拉伸力，横坐标为变形量。拉伸过程中的变形可分为五个阶段。材料在外力作用下发生形状的改变称为变形。若外力去除后变形随之消失，这种变形称为弹性变形。如图 1-2 中 oe 段是弹性变形阶段，是一条斜直线。当拉伸外力继续增加时，试样进一步发生变形，此时若除去外力，弹性变形将消失，而保留了微量变形，这种不能恢复的变形称为塑性变形(永久变形)，如图 1-2 中 es 段为微量塑性变形阶段。当拉伸外力增大到 P_s 时，曲线上出现一段水平线段(或锯齿线)，如图 1-2 中 ss' 为屈服强度，此时拉伸外力不增加，而试样的塑性变形量却继续增大，这种现象称为屈服现象。 s 点称为屈服点。拉伸外力超过 P_s 后，即开始产生塑性变形，直至 b 点，图 1-2 中的 $s'b$ 即为大量塑性变形阶段， b 点时的外力 P_b 为试样所能承受的最大拉伸外力。当拉伸外力达到最大值 P_b 后，变形集中在试样某段并产生局部颈缩现象，随后试样继续伸长，所受的拉力迅速减少直至在颈缩处断裂，如图 1-2 中的 bk 颈缩阶段。

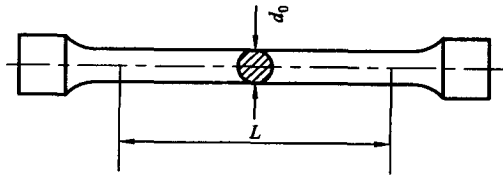


图 1-1 圆形拉伸试样

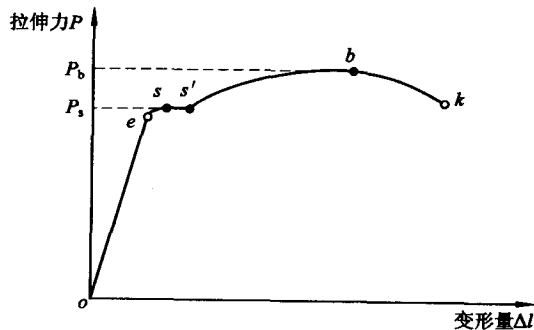


图 1-2 低碳钢的拉伸曲线图

1. 刚度

刚度是指零(构)件在受外力作用时抵抗弹性变形的能力，它等于材料弹性模量与零(构)件截面积的乘积。因此衡量材料刚度的指标是弹性模量 E ，其值的大小反映金属材料弹性变形的难易程度。 E 越大，材料的刚度越大，表明在一定的外力作用下产生的弹性变形越小。弹性模量 E 主要取决于材料中原子本性和原子间结合力。熔点高低可以反映原子间结合力的强弱，通常材料的熔点愈高，其弹性模量也愈高。另外，弹性模量对温度很敏感，随温度升高而降低。处理方法(如热处理、冷加工和合金化等)对 E 值影响很小。另外，对同一种材料增加横截面积或改变截面形状，可以提高其刚度。一般机械零件大多在弹性状态下工作，要求零件具有一定的刚度。例如，柴油机的机座和机体直接或间接支承着曲轴、连杆、活塞等运动件和其他零件，因此要求机座和机体必须有足够的刚度以保证运动件之间正确的相对位置和各自的运动状态。

2. 强度

强度是金属材料在外力作用下抵抗塑性变形和断裂的能力。根据载荷作用方式的不同,强度可分为抗拉强度、抗压强度、抗弯强度、抗剪强度和抗扭强度等五种。工程上常用零件受拉伸时的屈服强度和抗拉强度为指标。

(1) 屈服强度又称屈服极限,是指材料抵抗微量塑性变形的能力。屈服阶段内的最低应力就是屈服强度,用 σ_s 表示,即

$$\sigma_s = \frac{P_s}{F_0} \quad (\text{MPa})$$

式中: P_s 为材料屈服时的载荷(N); F_0 为试样的原始截面积(mm^2)。

金属材料中只有低碳钢和中碳钢等少数金属有屈服现象,大多数金属材料拉伸时没有明显的屈服现象。因此,对这些金属材料,工程上规定以产生0.2%残留伸长的应力作为屈服强度,又称条件屈服强度,以 $\sigma_{0.2}$ 表示。

屈服强度是材料在外力作用下开始产生塑性变形的最低应力值,当材料的实际工作应力大于其屈服强度时,就有可能产生过量塑性变形而失效,所以 σ_s 和 $\sigma_{0.2}$ 是绝大多数机械零件设计时的重要参数,是材料最重要的力学性能指标之一。

然而,灰铸铁等脆性材料拉伸时几乎不发生塑性变形而发生突然断裂,其最大外力就是断裂外力。因此,灰铸铁在常用的工程材料手册中没有屈服强度指标,仅有抗拉强度指标。

(2) 抗拉强度又称强度极限,是金属材料抵抗断裂的能力或是试样在拉断前所能承受的最大应力,以 σ_b 表示,即

$$\sigma_b = \frac{P_b}{F_0} \quad (\text{MPa})$$

式中: P_b 为试样在断裂时所能承受的最大拉力(N)。

σ_s/σ_b 的比值称为屈服比,是一个有意义的指标。比值越大,越能发挥材料的潜力,从而减少结构的自重。但为了使用安全,比值不宜过大,适合的比值在0.65~0.75之间。

抗拉强度反映试样最大均匀变形的抗力,是设计机械零件和选择金属材料的主要参数之一,也是评价金属材料的主要指标。

3. 塑性

金属材料在外力作用下产生塑性变形而不破坏的能力称为塑性。许多零件和毛坯是通过塑性变形而成型的,要求材料有较高的塑性,并且为防止零件工作时脆断,也要求材料有一定的塑性。塑性也是金属材料的主要力学性能指标之一。通过拉伸试验,可测定金属材料的塑性指标。常用的塑性指标有断后伸长率 δ 和断面收缩率 Ψ 。

$$\delta = \frac{l - l_0}{l_0} \times 100\%$$

$$\Psi = \frac{F_0 - F_1}{F_0} \times 100\%$$

式中: l_0 和 l 分别为试样的原始标距长度和拉断时标距的对应长度(mm); F_0 和 F_1 分别为试样的原始横截面积和断后缩颈处的最小横截面积(mm^2)。

由于 δ 值与试样尺寸有关,一般规定 $l_0 = 5d_0$ 或 $l_0 = 10d_0$ (d_0 为试样的原始直径),当试样的长径比 $l_0/d_0 = 5$ 时,断后伸长率用 δ_5 表示, $l_0/d_0 = 10$ 时用 δ 表示。同一种材料,

$\delta_s > \delta$, 因此同种材料的 δ_s 和 δ 不能直接比较。 δ 和 Ψ 的数值越大, 表示金属材料的塑性愈好。一般把 $\delta \geq 5\%$ 的材料称为塑性材料, 把 $\delta < 5\%$ 的材料称为脆性材料, 如铸铁是典型的脆性材料。低碳钢是黑色金属中塑性最好的材料, 其良好的塑性既能保证压力加工和焊接的顺利进行, 又能保证零件工作时的安全可靠, 防止突然断裂。

4. 硬度

硬度是金属材料局部抵抗硬物压入其表面的能力或金属材料表面抵抗局部塑性变形的能力。常用的硬度测定方法有布氏硬度、洛氏硬度和维氏硬度等测试方法。

1) 布氏硬度测试法

通常以一定的试验力 P , 将直径为 D (一般为 10 mm) 的淬火钢球或硬质合金球压入被测金属表面 (见图 1-3) 并保持一定时间后卸去试验力, 得到直径为 d 的压痕, 试验力除以压痕表面积所得之值即为布氏硬度, 以 HB 表示, 即

$$HB = \frac{P}{F}$$

式中: P 为外力 (N); F 为压痕面积 (mm^2)。

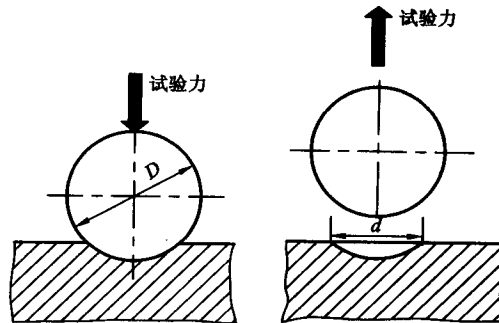


图 1-3 布氏硬度试验示意图

在测定布氏硬度时, 由于试验力 P 和直径 D 都是定值, 实际上并不需要进行上述计算, 只要先测得压痕直径 d , 再根据 d 值查有关表格即可确定 HB 值。

国标 (GB/T 231—1984) 规定的布氏硬度符号, 硬度机压头为淬火钢球时用 HBS 表示, 适用于硬度较低 ($HB < 450$) 的材料; 硬度机压头为硬质合金球时用 HBW 表示, 适用于硬度较高 ($450 \leq HB \leq 650$) 的材料。HB 值越大, 材料越硬。HBS 多用于测定普通碳钢、铸铁和有色金属等材料。布氏硬度测量精度较高, 但因压痕较深且面积大, 故不适宜测试太薄的试样和成品零件的硬度。

根据测试的材料, 布氏硬度值可近似地估算出该材料的抗拉强度。即低碳钢为 $\sigma_b \approx 0.36HB$; 高碳钢为 $\sigma_b \approx 0.34HB$; 合金调质钢为 $\sigma_b \approx 0.325HB$; 灰铸铁为 $\sigma_b \approx 0.1HB$ 。

2) 洛氏硬度测试法

用一定的试验力 P , 将顶角为 120° 的金刚石圆锥体或直径为 1.588 mm 的淬火钢球压入被测金属表面, 然后根据压痕的深度确定被测金属材料硬度值的方法称为洛氏硬度测试法。洛氏硬度测试法是目前应用最广泛的硬度试验方法。一般洛氏硬度机不需直接测量压痕深度, 其值可由刻度盘上的指针指示出来。

根据所加试验力的大小和压头类型的不同, 洛氏硬度可分为 HRA、HRB、HRC 和

HRD 四种, 它们的测量范围和应用范围也不同(见表 1-1)。洛氏硬度中以 HRC 应用最广泛, HRC 与 HB 的数值关系(当 HBS>220 时)约为 1:10。

表 1-1 洛氏硬度试验力及应用范围(GB/T 230—1991)

| 符号 | 应用范围 | 压头类型 | 总试验力/N(kgf) | 适用的材料 |
|-----|-----------|------------------|-------------|-----------------|
| HRA | 60~85HRA | 120°金刚石圆锥 | 588.4(60) | 硬质合金、表面淬硬层或渗碳层 |
| HRB | 25~100HRB | 直径为 1.588 mm 的钢球 | 980.7(100) | 有色金属或退火、正火钢等 |
| HRC | 20~67HRC | 120°金刚石圆锥 | 1471(150) | 调质钢、淬火钢等 |
| HRD | 40~77HRD | 120°金刚石圆锥 | 980.7(100) | 薄钢板、中等厚度的表面硬化零件 |

洛氏硬度测试法测硬度简便、迅速、压痕小, 可测定的材料范围广。但由于压痕小, 对组织和硬度不均匀的材料, 所测结果不够准确, 因此, 需在试样上测定三点取其平均值。硬度反映材料的耐磨性, 也是金属材料的一项重要性能指标。

3) 维氏硬度测试法

维氏硬度是采用夹角为 136°的四棱锥体金刚石压头, 在 10~1000 N 的载荷作用下压入材料的表面, 计算出单位压痕面积上的力, 即为维氏硬度, 用 HV 来表示。10 N 试验力特别适用于测量热处理表面层(如渗碳、渗氮层)的硬度。当试验力小于 1.961 N 时, 压痕非常小, 可用于测量金相组织中不同相的硬度, 测得的结果称为显微硬度, 以符号 HM 表示。

5. 冲击韧性

冲击韧性是金属材料抵抗冲击载荷作用而不被破坏的能力, 用 a_k 表示。柴油机活塞、连杆、曲轴等零件在工作时承受周期性冲击载荷的作用, 冲击所引起的变形和应力比静载荷时大得多, 如果仍只用静载荷作用下的抗拉强度来设计计算, 就不能保证零件工作时的安全性, 必须同时考虑金属材料的冲击韧性。

冲击韧性是在摆锤式冲击试验机上利用一次冲击试验来测定的。试验用的标准试样要求具有 U 形或 V 形缺口, 试样缺口背向摆锤冲击方向(见图 1-4), 试样应在一次冲击下被冲断。

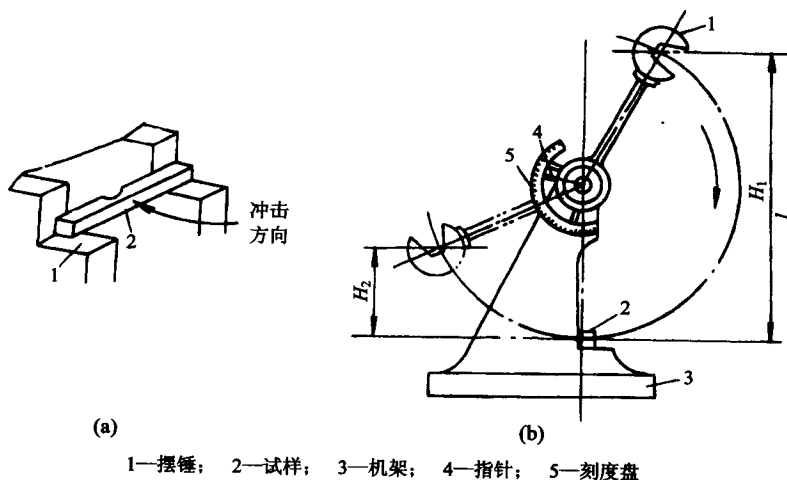


图 1-4 冲击试验原理图

冲击韧性值 a_k 是冲断试样时断口单位面积所消耗的功。

$$a_k = \frac{A_k}{F} \quad (\text{J}/\text{cm}^2)$$

式中： A_k 为冲断试样所作的功(J)； F 为试样断口截面积(cm^2)。

对一般常用钢材来说，冲断试样所作的功 A_k 越大，材料的韧性就越好。

冲击韧性值与材料所处温度有关(见图 1-5)， a_k 值随温度降低而减小，并在某一温度或温度范围时 a_k 显著降低，这种现象称为冷脆，使 a_k 值减小的温度称为脆性转变温度。脆性转变温度越低的金属，低温冲击韧性越好。因此，对于寒冷地区和低温下工作的钢件(如船体、桥梁)或零件材料的脆性转变温度，以及在最低温度下应具有最低韧性值，均作出规定。在动载荷下工作的构件和零件，实际上很少因受到一次超载冲击而破坏的。不少情况下所承受的冲击载荷是属于小能量的多次重复冲击，此时多次重复冲击时的多次冲击韧性主要取决于材料的强度，而不取决于冲击韧性。例如，目前广泛采用球墨铸铁制造柴油机的曲轴，其冲击韧性不高，但由于强度很高，因此仍正常运转。

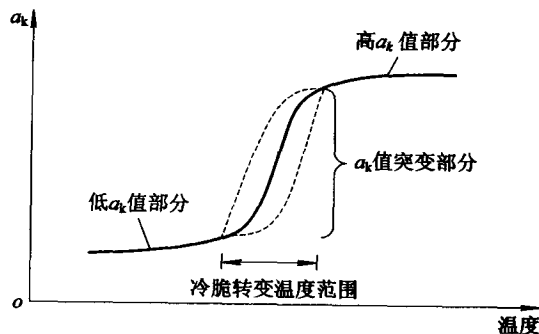


图 1-5 冲击韧性值与温度关系曲线

6. 疲劳强度

许多机械零件，如柴油机的曲轴、连杆、齿轮、弹簧等都是 在交变载荷下工作的。所谓交变载荷，是指载荷的大小、方向随时间发生周期性变化的载荷。零件在交变载荷下经过较长时间的工作而发生突然断裂的现象叫疲劳。例如，各种气阀上的弹簧经常发生折断，往往就是由于工作时弹簧产生疲劳。据统计，在机械零件断裂失效中有 80% 以上属于疲劳断裂。

与静载荷和冲击载荷下的断裂相比，疲劳断裂有如下特点：

- (1) 引起疲劳断裂的应力很低，常常低于静载荷下的屈服强度。
- (2) 断裂时无明显的宏观塑性变形，无预兆而且突然地发生，为脆性断裂，具有很大的危险性。
- (3) 疲劳断口能清楚地显出裂纹的形成、扩展(光滑)和最后断裂(毛糙)三个阶段。

大量实验证明，应力减小，试样能经受的交变载荷循环次数就会增加，而且应力越小，试样能经受的循环次数越多。图 1-6 是交变应力与循环次数的关系曲线，叫做疲劳曲线。从疲劳曲线可以看出，当应力低于一定值时，试样可以经受无限次周期循环而不破坏，这个应力值称为疲劳强度或疲劳极限，用 σ_{-1} 表示。

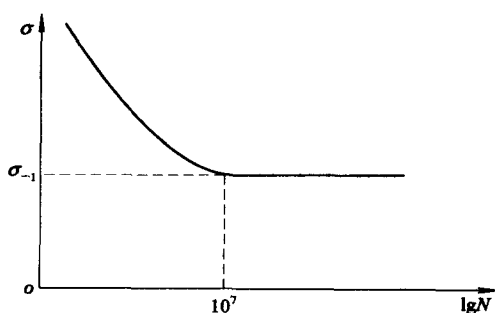


图 1-6 疲劳曲线

实际上,要实现无限次交变载荷试验是不可能的。根据 GB 4337—84 规定,一般黑色金属取循环周次为 10^7 时能承受的最大循环应力为疲劳强度,有色金属、高强度钢等取 10^8 次。

为提高零件的疲劳强度,可采取改善零件的结构形状,降低零件的表面粗糙度,提高表面加工质量和应用化学热处理、表面淬火、喷丸处理、表面滚压等各种表面强化处理的方法。

1.1.2 高温下的机械性能指标

柴油机的排气阀、涡轮增压器的涡轮叶片、高压蒸汽锅炉等零件长期在高温条件下运转,对于制造这类零件的金属材料,若只考虑其室温下的机械性能显然是不可行的。首先,高温下材料的强度随温度升高而降低;其次,高温下材料的强度随加载时间的延长而降低。金属长时间在高温和载荷作用下,即使应力小于 σ_s ,也会发生缓慢的塑性变形,该现象称为蠕变。温度越高,蠕变越严重,甚至会导致零件断裂。一般金属只有当温度超过 $0.3 \sim 0.4 T_m$ (T_m 为材料的熔点,以 K 为单位)时才会出现较明显的蠕变。

金属材料的高温机械性能不能简单用室温下短时拉伸应力——应变曲线来评定,还需加入温度和时间两个因素。金属在高温下的机械性能指标有:高温强度(又称热强度)和热硬性。

1. 高温强度

高温强度是应力、应变、温度和时间综合作用的反映。其指标为蠕变极限和持久强度。

1) 蠕变极限

蠕变极限是金属材料长期在高温和载荷的作用下抵抗塑性变形的能力,以符号 $\sigma_{\delta/t}^T$ 表示,单位为 MPa,即在给定温度 T (单位为 $^{\circ}\text{C}$)下和规定时间 t (单位为 h)内使试样产生一定的蠕变总变量 δ (以 % 为单位)的应力值。 $\sigma_{1/10^5}^{500} = 100 \text{ MPa}$ 表示材料在 500°C 温度下, 10^5 h 后总变形量为 1% 的蠕变极限为 100 MPa。

2) 持久强度

持久强度是金属材料长期在高温和载荷作用下抵抗断裂的能力,是在给定温度 T (单位为 $^{\circ}\text{C}$)和规定时间 t (单位为 h)内使试样发生断裂的应力,以符号 σ_t^T 表示。例如 $\sigma_1^{700} \times 1000 = 300 \text{ MPa}$ 表示材料在 700°C 温度下经 1000 h 后的持久强度为 300 MPa。