

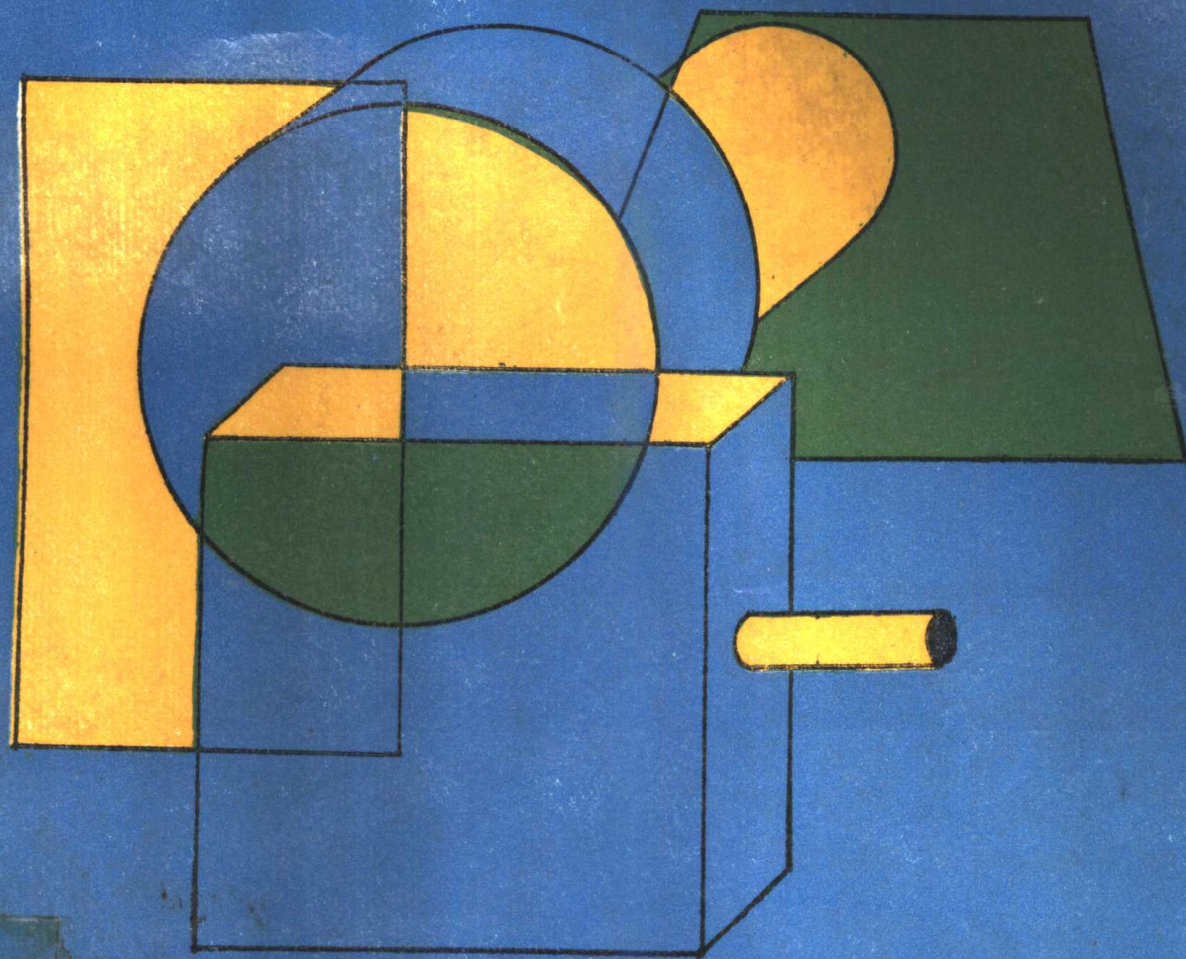
● 全国高等教育自学考试教材

● 机械制造工艺与设备专业

# 机械制造基础

● 盛善权 主编

● 高等教育出版社



全国高等教育自学考试教材

机械制造工艺与设备专业

# 机械制造基础

盛善权 主编

高等教育出版社

(京)112号

### 内 容 提 要

本书由全国高等教育自学考试指导委员会组织编写,按照全国颁布的《机械制造基础自学考试大纲》的要求,结合自学考试的特点,供个人自学、社会助学和国家考试使用,是为高等教育自学考试机械制造工艺与设备专业组编的一套教材中的一种。

全书共五篇26章。包括:金属材料的性能,金属的晶体构造和结晶过程,铁碳合金,钢的热处理,常用金属材料,非金属材料,铸造生产的基本概念和工艺特点,合金的铸造性能,铸铁的生产,钢铸件和有色合金铸件的生产,铸件的结构设计和工艺分析,特种铸造,金属的塑性变形,自由锻造,模型锻造,板料冲压,零件的轧制、挤压和拉拔,熔化焊,压力焊和钎焊,常用金属的焊接,焊接零件的结构设计,金属切削加工原理,金属切削机床,各种加工方法,机械加工工艺过程以及零件的结构工艺性等。每章末附有复习思考题。

全国高等教育自学考试教材  
机械制造工艺与设备专业

### 机 械 制 造 基 础

盛善权 主编

高等教育出版社出版  
新华书店总店科技发行所发行  
河北三河科教印刷厂印装

开本 787×1092 1/16 印张27 字数850 000  
1993 年 5 月第1版 1993 年 5 月第1次印刷

印数0001—18 268

ISBN7-04-004192-8/TH·331

定价 10.05 元

## 序

本书是自学考试教材。它是根据全国高等教育自学考试指导委员会机械类专业委员会1987年制定的“机械制造基础”课程自学考试大纲编写的。“机械制造基础”是高等教育自学考试机械制造工艺与设备专业专科考试计划中的一门必修课。学生自学完这本教材，参加考试，成绩及格后可取得规定的4个学分。

“机械制造基础”是机械制造工艺与设备专业的一门技术基础课，是研究常用机械零件的制造方法，即研究零件从选择材料、制造毛坯，直至加工到成品的综合性课程。通过对工程材料、铸造、锻压、焊接和切削加工等内容的学习，了解常用工程材料的性能和选用原则；掌握各种主要加工方法的实质、基本工艺理论与工艺特点；了解各种主要加工设备、工具的工作原理和结构；培养分析零件结构工艺性和选择加工方法的初步能力，从而为学习其他后继课程和今后工作奠定必要的基础。

本书内容广泛，取材精练，文字通俗易懂，插图丰富、形象生动。每章附有复习思考题，供自学者自我检查是否掌握了所学的内容。

本书除供个人自学、国家考试使用外，还可作为函授大学、广播电视大学、职工大学以及高等专科学校作为金属工艺学教材使用。

由于编者水平有限，书中难免有错误和不妥之处，恳请广大读者批评指正，以便再版时修改。

编 者

1991年6月

## 出版前言

高等教育自学考试教材是高等教育自学考试工作的一项基本建设。经国家教育委员会同意，我们拟有计划、有步骤地组织编写一些高等教育自学考试教材，以满足社会自学和适应考试的需要。《机械制造基础》是为高等教育自学考试机械制造工艺与设备专业组编的一套教材中的一种。这本教材根据专业考试计划，从造就和选拔人才的需要出发，按照全国颁布的《机械制造基础自学考试大纲》的要求，结合自学考试的特点，组织高等院校一些专家学者集体编写而成的。

机械制造工艺与设备专业《机械制造基础》自学考试教材，是供个人自学、社会助学和国家考试使用的。现经组织专家审定同意予以出版发行。我们相信，随着高教自学考试教材的陆续出版，必将对我国高等教育事业的发展，保证自学考试的质量起到积极的促进作用。

编写高等教育自学考试教材是一种新的尝试，希望得到社会各方面的关怀和支持，使它在使用中不断提高和日臻完善。

全国高等教育自学考试指导委员会

1991年12月

EAC86/10

# 目 录

|                         |    |                           |     |
|-------------------------|----|---------------------------|-----|
| 绪论 .....                | 1  | § 6-3 陶瓷 .....            | 99  |
| 第一篇 工 程 材 料             |    | § 6-4 复合材料 .....          | 100 |
| 第一章 金属材料的性能 .....       | 3  | 复习思考题 .....               | 103 |
| § 1-1 金属材料的机械性能 .....   | 3  | 第二篇 铸 造 生 产               |     |
| § 1-2 金属材料的其他性能简介 ..... | 12 | 第七章 铸造生产的基本概念和工           |     |
| 复习思考题 .....             | 12 | 艺特点 .....                 | 104 |
| 第二章 金属的晶体构造和结晶过         |    | § 7-1 砂型制造 .....          | 104 |
| 程 .....                 | 14 | § 7-2 铸造工艺的制定 .....       | 114 |
| § 2-1 金属的晶体构造 .....     | 14 | 复习思考题 .....               | 120 |
| § 2-2 金属的结晶过程 .....     | 17 | 第八章 合金的铸造性能 .....         | 122 |
| § 2-3 金属的同素异构转变 .....   | 22 | § 8-1 合金的流动性 .....        | 122 |
| § 2-4 实际晶体的构造 .....     | 23 | § 8-2 合金的收缩 .....         | 123 |
| § 2-5 合金的结构和相图 .....    | 25 | § 8-3 合金的偏析 .....         | 128 |
| 复习思考题 .....             | 32 | 复习思考题 .....               | 129 |
| 第三章 铁碳合金 .....          | 34 | 第九章 铁铸件的生产 .....          | 130 |
| § 3-1 铁碳合金的基本组织 .....   | 34 | § 9-1 铸铁的种类 .....         | 130 |
| § 3-2 铁碳合金相图 .....      | 35 | § 9-2 灰铸铁 .....           | 131 |
| § 3-3 碳和杂质对铁碳合金组织和性     |    | § 9-3 其他铸铁 .....          | 135 |
| 能的影响 .....              | 43 | § 9-4 铸铁的熔炼和铸件清理 .....    | 140 |
| § 3-4 铁碳合金相图的应用 .....   | 45 | 复习思考题 .....               | 142 |
| 复习思考题 .....             | 47 | 第十章 钢铸件和有色合金铸件的           |     |
| 第四章 钢的热处理 .....         | 48 | 生产 .....                  | 144 |
| § 4-1 钢在加热时的组织转变 .....  | 48 | § 10-1 钢铸件的生产 .....       | 144 |
| § 4-2 钢在冷却时的组织转变 .....  | 51 | § 10-2 铜合金铸件的生产 .....     | 146 |
| § 4-3 钢的热处理工艺 .....     | 59 | § 10-3 铝合金铸件的生产 .....     | 147 |
| 复习思考题 .....             | 76 | 复习思考题 .....               | 149 |
| 第五章 常用金属材料 .....        | 78 | 第十一章 铸件的结构设计和工艺           |     |
| § 5-1 碳素钢(碳钢) .....     | 78 | 分析 .....                  | 150 |
| § 5-2 铸铁与铸钢 .....       | 81 | § 11-1 铸造工艺对铸件结构的要求 ..... | 150 |
| § 5-3 合金钢 .....         | 82 | § 11-2 合金铸造性能对铸件结构的要      |     |
| § 5-4 有色合金 .....        | 88 | 求 .....                   | 154 |
| 复习思考题 .....             | 91 | § 11-3 常用合金铸件的结构特点 .....  | 159 |
| 第六章 非金属材料 .....         | 93 | 复习思考题 .....               | 160 |
| § 6-1 工程塑料 .....        | 93 | 第十二章 特种铸造 .....           | 161 |
| § 6-2 合成橡胶 .....        | 98 | § 12-1 金属型铸造 .....        | 161 |

|                  |     |
|------------------|-----|
| § 12-2 压力铸造      | 163 |
| § 12-3 离心铸造      | 166 |
| § 12-4 熔模铸造      | 167 |
| § 12-5 壳型铸造      | 169 |
| § 12-6 各种铸造方法的比较 | 170 |
| 复习思考题            | 171 |

### 第三篇 锻 压 生 产

|                                  |     |
|----------------------------------|-----|
| <b>第十三章 金属的塑性变形</b>              | 172 |
| § 13-1 塑性变形的实质                   | 172 |
| § 13-2 金属的加工硬化与再结晶               | 177 |
| § 13-3 金属的冷、热塑性变形对组织<br>结构和性能的影响 | 179 |
| § 13-4 金属的锻造性及影响锻造性的<br>因素       | 181 |
| 复习思考题                            | 184 |
| <b>第十四章 自由锻造</b>                 | 186 |
| § 14-1 自由锻造的设备                   | 186 |
| § 14-2 自由锻造基本工序                  | 188 |
| § 14-3 自由锻造工艺规程                  | 193 |
| § 14-4 自由锻造锻件的结构工艺性              | 198 |
| 复习思考题                            | 199 |
| <b>第十五章 模型锻造</b>                 | 200 |
| § 15-1 模型锻造的特点                   | 200 |
| § 15-2 模锻锤上模锻                    | 201 |
| § 15-3 摩擦压力机上模锻                  | 214 |
| § 15-4 曲柄压力机上模锻                  | 216 |
| 复习思考题                            | 219 |
| <b>第十六章 板料冲压</b>                 | 220 |
| § 16-1 板料冲压的基本工序、特点及<br>应用范围     | 220 |
| § 16-2 冲压设备                      | 223 |
| § 16-3 冲压工艺                      | 225 |
| § 16-4 冲模构造                      | 231 |
| § 16-5 冲压件的结构工艺性                 | 235 |
| 复习思考题                            | 236 |
| <b>第十七章 零件的轧制、挤压和拉<br/>拔</b>     | 238 |
| § 17-1 零件的轧制                     | 238 |
| § 17-2 零件的挤压                     | 241 |
| § 17-3 零件的拉拔                     | 243 |
| 复习思考题                            | 245 |

### 第四篇 焊 接 生 产

|                                 |     |
|---------------------------------|-----|
| <b>第十八章 熔化焊</b>                 | 247 |
| § 18-1 手工电弧焊                    | 247 |
| § 18-2 其他熔化焊                    | 260 |
| 复习思考题                           | 268 |
| <b>第十九章 压力焊和钎焊</b>              | 269 |
| § 19-1 电阻焊                      | 269 |
| § 19-2 摩擦焊                      | 272 |
| § 19-3 钎焊                       | 273 |
| 复习思考题                           | 274 |
| <b>第二十章 常用金属的焊接</b>             | 275 |
| § 20-1 金属的焊接性                   | 275 |
| § 20-2 常用金属的焊接特点                | 276 |
| 复习思考题                           | 279 |
| <b>第二十一章 焊接结构件的设计和<br/>焊接检验</b> | 280 |
| § 21-1 焊接结构材料的选择                | 280 |
| § 21-2 焊接方法的选择                  | 280 |
| § 21-3 焊缝布置                     | 281 |
| § 21-4 接头型式                     | 284 |
| § 21-5 焊接结构工艺设计举例               | 285 |
| § 21-6 焊缝质量检验                   | 286 |
| 复习思考题                           | 288 |

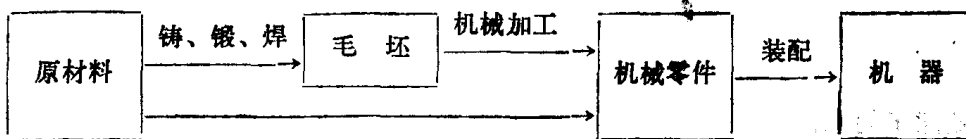
### 第五篇 金属切削加工

|                                   |     |
|-----------------------------------|-----|
| <b>第二十二章 金属切削加工原理</b>             | 289 |
| § 22-1 切削加工的基本型式和切削<br>运动         | 289 |
| § 22-2 刀具材料                       | 294 |
| § 22-3 车刀的几何角度和切削要素               | 297 |
| § 22-4 金属切削过程中的现象                 | 302 |
| § 22-5 材料的切削加工性以及刀具角<br>度、切削用量的选择 | 308 |
| § 22-6 钻头、铣刀概述                    | 313 |
| 复习思考题                             | 320 |
| <b>第二十三章 金属切削机床</b>               | 321 |
| § 23-1 机床的分类和型号                   | 321 |
| § 23-2 机床的基本传动方法                  | 323 |
| § 23-3 机床的基本变速机构                  | 328 |
| § 23-4 传动链及其运动速度计算                | 330 |

|                           |     |                             |     |
|---------------------------|-----|-----------------------------|-----|
| § 23-5 车床 .....           | 332 | 复习思考题 .....                 | 397 |
| § 23-6 牛头刨床 .....         | 335 | <b>第二十五章 机械加工工艺过程</b> ..... | 398 |
| § 23-7 外圆磨床 .....         | 337 | § 25-1 基本概念 .....           | 398 |
| § 23-8 机床的自动化 .....       | 340 | § 25-2 工件的安装和定位基准 .....     | 400 |
| 复习思考题 .....               | 344 | § 25-3 表面加工方法的选择 .....      | 403 |
| <b>第二十四章 切削加工方法</b> ..... | 346 | § 25-4 工艺路线 .....           | 405 |
| § 24-1 卧式车床的车削加工 .....    | 346 | 复习思考题 .....                 | 410 |
| § 24-2 其他车床的车削加工 .....    | 358 | <b>第二十六章 零件的结构工艺性</b> ..... | 412 |
| § 24-3 在钻床和镗床上加工 .....    | 360 | § 26-1 一般原则 .....           | 412 |
| § 24-4 在刨床、插床和拉床上加工 ..... | 368 | § 26-2 举例 .....             | 413 |
| § 24-5 在铣床上加工 .....       | 372 | 复习思考题 .....                 | 420 |
| § 24-6 在磨床上加工 .....       | 382 | <b>参考书目</b> .....           | 412 |
| § 24-7 光整加工简介 .....       | 394 | <b>后记</b> .....             | 422 |

## 绪 论

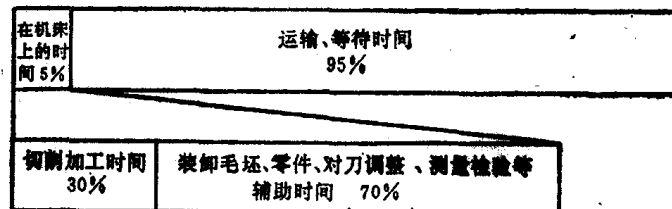
机械制造是指将原材料制成零件毛坯，将毛坯加工成机械零件(大部分冲压件、塑料件、陶瓷件等不经过毛坯，是直接将原材料用模具制成的)，由零件装配成机器的整个过程。它可用框图表示如下：



机械制造要考虑五大问题：(1) 保证产品的质量，制造合格和优质的机器；(2) 提高生产率(单位时间内的产量)；(3) 降低生产成本，提高经济效益；(4) 保证安全生产；(5) 保护环境不受污染。

机械制造业为国民经济各部门提供装备，它的发展应该超前一步。高度发展的机械制造业是实现工业现代化、农业现代化、国防现代化和科学技术现代化的基础。机械工业发展的速度和规模，在工业中所占比重，是衡量一个国家工业化水平的重要标志。80年代中期，机械工业在工业中所占比例，美国为34%，苏联为28.7%，中国为22.5%。

随着生产和科学技术的发展，市场竞争空前剧烈，产品生命期愈来愈短，按用户要求设计的产品需要量日益增加。多品种，中、小批量生产已成为现代机械制造业的主要特征，在机械制造业中的比例占到80%以上。目前大多数中、小批量生产是以非自动化方式进行的。美国CINCINNATI公司在70年代后期对多品种、中小批量生产的生产时间进行了调查和分析，发现零件生产周期组成如以下图表所示：



由图可知，生产零件的实际切削加工时间只占生产周期的 $5\% \times 30\% = 1.5\%$ 。显然，减少等待时间和辅助时间是提高生产率和提高经济效益的主要方向。这就要求加强生产调度和管理，提高技术水平，采用自动化生产。

机械制造自动化是从单一品种、大批量生产加工过程自动化开始的。它使用的是半自动机床、自动机床和组合机床自动线。这种自动化由专门为产品设计的机床和一整套工艺装备(刀具、夹具、量具和模具)来实现的。这种靠“硬件”来实现的自动化称为刚性自动化。产品更换以后这套组合机床和工艺装备都得调整或更换。

很明显，多品种、中小批量生产不能采用刚性自动化。它要采用具有高度适应能力的由电子计算机控制的数控机床和加工中心。变换一种产品只需改变一个计算机的程序。这种靠“软件”来实现的自动化称为柔性自动化。用电子计算机控制数控机床和加工中心来加工零

件；用电子计算机控制工业机器人来装卸毛坯和零件；用电子计算机控制传送带运输毛坯、半成品和成品；用电子计算机管理中间仓库(贮存半成品)以维持均衡生产；这样的机械制造系统称为柔性制造系统。多品种、中小批量生产的发展方向是采用柔性制造系统。工业发达国家80年代采用柔性制造系统已经比较普遍，90年代初我国也已有十几个柔性制造系统投产。

本课程学习的是机械制造的基础知识。学完后应能选择工程材料及其热处理方法，应熟悉主要的冷、热加工方法及其所用的设备与工具。本课程也为学习后继课程——金属切削原理与刀具、金属切削机床和机械制造工艺学打好基础。这是一门实践性很强的课程。自学本课程前学生应该有铸造、锻压、焊接、车削加工、铣削加工、刨削加工和磨削加工方面的感性认识。对于没有冷、热加工工艺实践经验的学生，一定要多参观几个机械制造厂的铸造、锻压、焊接、热处理车间和机械加工车间，仔细观察各种加工方法的特点和所使用的设备与工具。每章学完后，要认真做复习思考题，以确保掌握各章内容要点所指出的基本内容。

# 第一篇 工程材料

工程材料包括金属材料和非金属材料。金属材料因具有良好的机械性能、物理性能、化学性能和工艺性能,所以成为机器零件最常用的材料。本篇重点介绍常用金属材料的性能以及为改善性能所采用的热处理方法,使读者掌握金属材料的成分、组织和性能之间的关系,为合理选材和制订加工工艺打下基础。

## 第一章 金属材料的性能

### 内 容 要 点

1. 金属材料的机械性能(强度、弹性、塑性、硬度、冲击韧性和疲劳强度等)及其测试方法和应用。

2. 金属材料的其他性能(物理性能、化学性能和工艺性能)。

金属材料在现代工业、农业、国防、科学技术以及日常生活中都得到广泛的应用,是制造各类机械零件的基本材料。从事机械工程设计人员和工艺人员,必须首先熟悉金属材料的各种性能,才能合理地选用金属材料。

### § 1-1 金属材料的机械性能

机器零件或构件在使用时都要受到载荷的作用,金属材料的机械性能(也叫力学性能)是指在载荷作用下其抵抗变形或破坏的能力。如果机械性能不佳,将会导致零件或构件在受载时失去应有的效能。这种“失效”现象通常表现为过量弹性变形、过量塑性变形、断裂和磨损等。因此,机械性能也可以理解为金属材料的失效抗力。

载荷作用的基本形式如图1-1所示,实际载荷也可能是几种基本形式的组合。此外,根据载荷随时间的变化规律又可分为静载荷、动载荷和交变载荷(作用方向和大小均变化的载荷)。材料在不同的受载状态下会呈现不同的特性,可用相应的试验方法来测定材料的各项机械性能指标。

#### 一、强度、弹性和塑性

##### (一) 拉伸试验

拉伸试验是测定静态机械性能指标的常用方法。将被测材料做成一定直径的拉伸试样,并取一定长度做标记,称为标距 $l_0$ 。试验进行时,试验机钳口夹住试样两端缓慢拉长,直至试样断裂。在整个试验过程中,试验机自动记录每一瞬间作用在试样上的载荷(拉力) $F$ 和与之相对应的试样伸长量 $\Delta l$ ,并绘出两者的关系曲线(图1-2)。

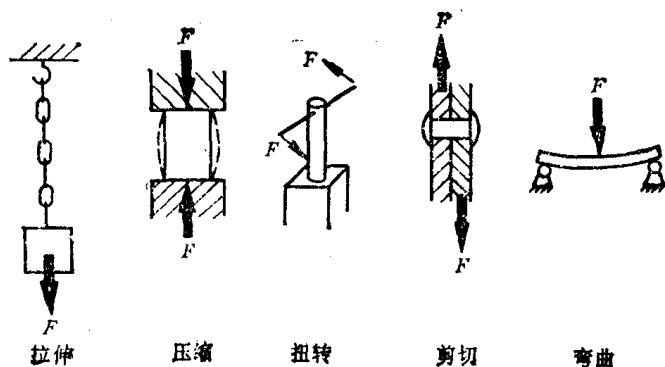


图1-1 载荷的作用形式

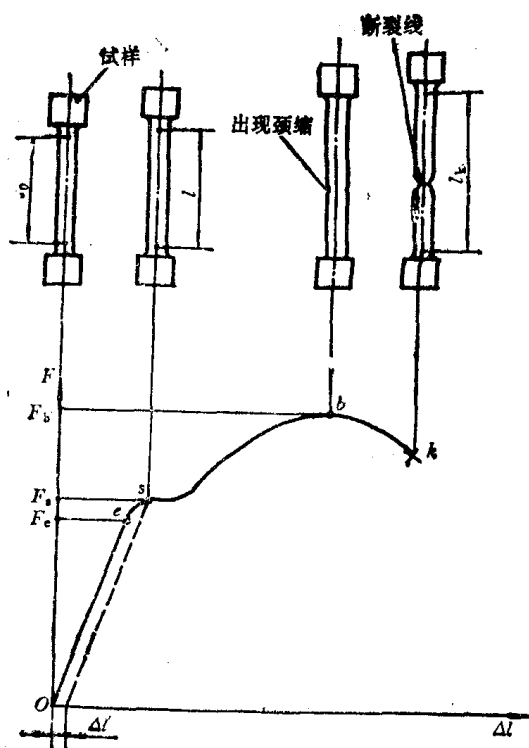


图1-2 低碳钢拉伸图

### 1. 拉伸试验过程

低碳钢拉伸试验的过程可以分为弹性变形、弹塑性变形和断裂三个阶段。

(1) 弹性阶段 在拉伸图中,  $Oe$  段是直线, 即载荷与变形成正比。在这一阶段中, 如果载荷撤除, 试样将恢复到原始长度。这种随载荷撤除而消失的变形就是弹性变形。

(2) 弹塑性阶段 载荷超过  $e$  点之后, 曲线弯曲并出现平台, 表明此时载荷不增加而试样继续伸长。这种现象称为屈服。如果在此阶段撤除载荷, 试样已不能按原途返回, 即不能恢复到原始长度, 而是按图中的虚线返回, 恢复弹性变形的部分, 留下了一部分残余的变形  $\Delta l'$ 。这种残留的变形就是塑性变形。

(3) 断裂 试样经过屈服阶段的塑性变形后, 产生形变强化, 载荷继续增大, 至曲线  $b$  点时载荷达到最大值。这时, 试样上的某一截面开始急剧缩小, 出现了“颈缩”现象, 试样随之很快断裂。

### 2. 应力概念

对于强度等指标, 其数值都是以应力表示的。

材料受外力作用时, 在其内部相应产生的与外力相平衡的抵抗力称为内力, 在单位面积上产生的内力称为应力。如图1-3所示的受拉件, 在其正截面上分布着内力。假定这内力是均匀分布的, 则应力

$$\sigma = \frac{F}{S} \quad (\text{Pa})$$

式中  $F$ ——外加载荷(N);  
 $S$ ——受力截面积( $\text{m}^2$ )。

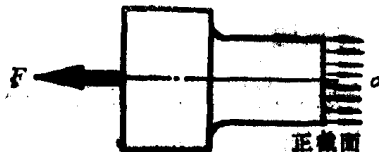


图1-3 拉应力示意图

应力的单位为Pa(帕), 即N/m<sup>2</sup>。这个单位很小, 工程上常用MPa(兆帕), 1MPa = 10<sup>6</sup>Pa, 或1MPa = 1N/mm<sup>2</sup>。

## (二) 弹性

在拉伸图上, e点是弹性变形的最大极限, 以该点的应力值 $\sigma_e$ 作为弹性指标, 称为弹性极限。

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

式中  $F_e$ ——弹性极限载荷(N);

$S_0$ ——试样的原始横截面积(mm<sup>2</sup>)。

一般零件在使用时, 均处于弹性状态。对于在工作条件下不允许产生塑性变形的零件, 设计时弹性极限是选材的主要依据, 如制作弹簧时必须选用弹性极限高的材料, 工艺上也可通过热处理等方法来提高其弹性极限。

## (三) 强度

强度是金属材料在载荷作用下抵抗变形和破坏的能力。根据受力状态的不同, 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, 在各种强度之间有着一定的联系。工程上以抗拉强度为最常用。用拉伸试验可测出屈服强度和抗拉强度。

### 1. 屈服强度

拉伸曲线中载荷到达s点时, 材料产生屈服现象, s点的应力值 $\sigma_s$ 即作为屈服的指标称为屈服点, 又称屈服强度。

$$\sigma_s = \frac{F_s}{S_0}$$

式中  $F_s$ ——试样屈服时的载荷。

考虑到有不少金属材料在拉伸试验时看不到明显的屈服现象, 为了确定它们的屈服指标, 工程上规定以引起试样产生一定量的残余塑性变形时的应力作为条件屈服强度。规定的塑性变形量一般为0.2%, 即 $\frac{\Delta l'}{l_0} = 0.002$  (参阅图1-2), 相应的屈服强度用 $\sigma_{0.2}$ 表示:

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

式中  $F_{0.2}$ ——试样产生0.2%残余塑性变形时的载荷。

屈服强度是代表金属材料抵抗微量塑性变形的能力。当材料所受应力低于屈服强度时, 仅有微量塑性变形产生; 超过屈服强度时, 将产生明显的塑性变形。由于大部分零件和结构都要求在弹性状态下工作, 不允许有过量塑性变形出现, 所以常以塑性变形的开始作为材料失效。因此, 屈服强度是确定材料许用应力的一个重要依据, 也是设计和选材时的主要依据。

### 2. 抗拉强度

当载荷超过 $F_b$ 以后, 试样将继续变形, 载荷达到最大值后, 试样产生颈缩<sup>①</sup>, 有效截面积急剧减小, 直至断裂。抗拉强度就是试样在断裂前所能承受的最大应力, 用 $\sigma_b$ 表示:

$$\sigma_b = \frac{F_b}{S_0}$$

式中  $F_b$ ——试样断裂前的最大载荷。

塑性材料在达到 $\sigma_b$ 时已产生了大量的塑性变形, 这种情况在实际使用时是不允许的。因此, 在设计和选材中不宜用 $\sigma_b$ 作为直接的计算依据。然而, 由于其他塑性较差的材料在拉伸试验中往往没有明显的屈服现象, 而 $\sigma_b$ 比较容易测定, 它还与其他性能(如硬度、疲劳强度等)之间存在着一定的关系。因此,  $\sigma_b$ 仍作为衡量材料强度的一个重要指标。

金属材料的屈服强度和抗拉强度很容易受材料的内在因素(如化学成分、晶粒大小与晶体结构形式等)和外界因素(如温度、热处理条件与加载速度等)的影响而有所变化。在工程上可以通过多种手段来控制 and 调整材料的性能, 如将碳钢合金化, 通过热处理细化晶粒和改变组织结构等, 以便最大限度地发挥材料的内部潜力, 延长使用寿命。

#### (四) 塑性

塑性是指金属材料在载荷作用下产生塑性变形而不被破坏的能力。在断裂之前, 材料的塑性变形愈大, 表示它的塑性愈好, 反之则表示其塑性差。塑性的指标主要有伸长率和断面收缩率两种。

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之比, 即标距的相对伸长。伸长率

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

式中  $l_k$ ——试样断裂后的标距长度;

$l_0$ ——试样原始的标距长度。

必须指出, 由于试样的总伸长量包括均匀伸长与产生局部颈缩后的伸长, 故 $\delta$ 值的大小同试样的长度与直径之比(国家标准规定有5倍和10倍两种, 分别用 $\delta_5$ 和 $\delta_{10}$ 表示)有关, 在比较不同材料的伸长率时, 要注意用同一长径比的试样。

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之比, 即断面收缩率

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

式中  $S_k$ ——试样断口处的横截面积;

$S_0$ ——试样的原始横截面积。

断面收缩率与试样尺寸无关, 所以它能比较可靠地代表材料的塑性。但它的测量比伸长率要困难一些。材料的 $\delta$ 或 $\psi$ 值愈大时表示材料的塑性愈好, 如纯铁的伸长率约为50%, 而灰铸铁的伸长率还不到1%。

<sup>①</sup> 脆性材料在拉伸时无颈缩现象, 断裂是突然发生的。

塑性指标同样有着十分重要的意义。一方面,塑性好的材料可以进行各种压力加工,如锻压、轧制、挤压、冷拔等工艺;另一方面,在零件万一超载的情况下,材料产生塑性变形并伴随形变强化而不至于立刻断裂。所以,在静载荷条件下工作的机械构件,一般都要求具有良好的塑性。

## 二、硬度

硬度是指金属材料抵抗其他更硬物体压入其表面的能力,也可以看作是材料对局部塑性变形的抗力。

硬度是衡量材料性能的一个综合的工程量或技术量。一般来说,硬度越高,耐磨性越好,强度也比较高。硬度的测试大多是以一定形状的压头在一定的载荷下压入被测金属的表面,根据压痕的某一数据来确定其硬度值的。压入程度越大,表示材料越软,反之则表示材料越硬。由于硬度的测试方法比较简便、迅速、经济,又不会损坏零件,加上硬度与其他的性能之间存在着一定的关系,所以硬度测试在实际生产中作为产品机械性能检查的一种最重要并且实用的方法而广泛使用。

测定硬度的方法很多,常用的有布氏硬度测试法、洛氏硬度测试法和维氏硬度测试法等。

### (一) 布氏硬度

(1) 测试方法与测试结果 在布氏硬度计上,将直径为 $D$ 的淬硬钢球或硬质合金球,在规定载荷(压力) $F$ 的作用下压入被测金属表面,经规定的保持时间后将压力去除,然后测量被测金属的凹痕直径 $d$ (图1-4)。压痕单位面积上所承受的平均压力 $\left(\frac{F}{S_{\text{压痕}}}\right)$ 即为布氏硬度值,用符号HBS或HBW表示(压头为钢球时用HBS,压头为硬质合金球时用HBW),

$$\text{HBS(HBW)} = \frac{F}{S_{\text{压痕}}} = \frac{2F}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})} \quad ①$$

布氏硬度的单位为 $\text{kgf/mm}^2$ ,一般不标出。

表达布氏硬度值的字符包括数值、硬度符号和试验条件。例如,当用10mm钢球在1000kgf载荷作用下,保持30s测得的布氏硬度值为250时,可写成250HBS10/1000/30;又如,550HBW5/750表示用5mm硬质合金球在750kgf载荷作用下,保持10~15s(可省略标注),测得的布氏硬度值为550。

在进行布氏硬度试验时,压头直径 $D$ 、施加的载荷 $F$ 及其保持时间要根据被测金属的种类和试样厚度,按GB231—84《金属布氏硬度试验方法》选择确定。硬度值也可不用公式计算,只要用刻度放大镜测量出压痕直径 $d$ 的大小,就可从有关的表格中查出相应的硬度值。

(2) 特点和应用范围 用布氏硬度法测得的硬度值比较准确、稳定。但采用淬硬钢球压头时,只能测定硬度不太高的金属材料( $<450\text{HBS}$ ),否则钢球本身会变形而影响试验结果的准确性。压头为硬质合金球时,适用于 $<650\text{HBW}$ 的金属。此外,由于布氏硬度

① 在硬度测试规范中,力的单位仍可用 $\text{kgf}$ 。如果力以 $\text{N}$ 为单位,则计算公式中还需乘系数0.102。以下同。

试验压痕较大,不宜在成品上进行试验,也不适用于薄片和面积狭长的零件。

材料的硬度值与抗拉强度、屈服强度之间有着一定的内在联系,强度愈高,塑性变形抗力愈大,硬度值也就愈高。所以,根据材料的硬度值可以大致地估计出材料的抗拉强度,下列经验公式可供参考:

|               |                                                 |
|---------------|-------------------------------------------------|
| 低碳钢 (<175HBS) | $\sigma_b \approx 3.6 \times \text{HBS}$ (MPa)  |
| 高碳钢 (>175HBS) | $\sigma_b \approx 3.45 \times \text{HBS}$ (MPa) |
| 合金调质钢         | $\sigma_b \approx 3.25 \times \text{HBS}$ (MPa) |
| 灰铸铁           | $\sigma_b \approx \text{HBS}$ (MPa)             |

## (二) 洛氏硬度

(1) 测试方法与测试结果 在洛氏硬度计上,将顶角为 $120^\circ$ 的金刚石圆锥体或直径为1.588mm的淬硬钢球压头,在一定的载荷(压力) $F$ 作用下,压入被测金属表面,然后根据压痕的深度来衡量洛氏硬度值(图1-5)。为了消除被测金属的表面质量对测量结果的影响,压力 $F$ 分初载荷和主载荷先后施加。洛氏硬度以每0.002mm压痕深度为一硬度单位,用符号HR表示:

$$\text{HR} = \frac{K - (h_1 - h_0)}{0.002}$$

式中  $h_0$ ——在初载荷作用下压头压入材料的深度(mm);

$h_1$ ——加初、主载荷随后撤除主载荷时的压痕深度(mm);

$K$ ——常数,采用钢球压头时取0.26,采用金刚石圆锥体时取0.2。

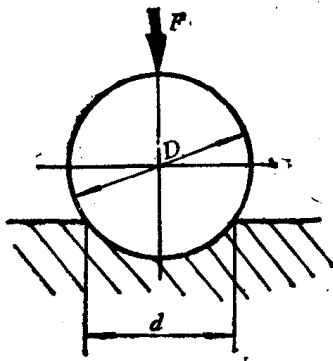


图1-4 布氏硬度试验原理图

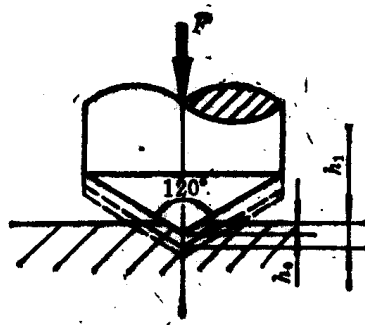


图1-5 洛氏硬度试验原理图

图1-5中 $h_1$ 是在主载荷撤除、压痕经弹性恢复后的深度。深度愈大,HR值愈小,表示材料的硬度较低,反之则表示材料的硬度较高。测量洛氏硬度时也不必进行计算,当主载荷去除后便可直接在洛氏硬度试验计的刻度盘上读出硬度值。根据外加载荷和压头的不同,洛氏硬度值有三种标尺,分别用符号HRA、HRB、HRC来表示,见表1-1。表达洛氏硬度值的字符由洛氏硬度符号和数值组成,如:HRC62~65,HRB80。

(2) 特点与应用范围 与布氏硬度法相比,洛氏硬度的测试过程简单、迅速,适用的硬度范围广。由于压痕小,可以用来测量薄片和成品。但是,洛氏硬度的测量结果不如布氏

表1-1 洛氏硬度试验规范

| 硬 度 符 号 | 压 头 类 型                     | 总载荷(初载荷+主载荷)<br>(kgf) | 常用硬度值范围 |
|---------|-----------------------------|-----------------------|---------|
| HRA     | 金刚石圆锥体                      | 60(10+50)             | 70~85   |
| HRB     | 钢球( $\phi 1.588\text{mm}$ ) | 100(10+90)            | 25~100  |
| HRC     | 金刚石圆锥体                      | 150(10+140)           | 20~67   |

硬度精确。这是因为洛氏硬度的压头很小，压陷时容易受金属表面不平或材料内部组织不均匀的影响。因而测量时，除采用预加初载荷的方法之外，一般还需在被测件的不同部位测量数点，取多数倾向的硬度平均值作为测量结果。在三种洛氏硬度方法中，HRC的测量范围最大，应用最广，可用来测量材料经过热处理(如淬火、调质等)后的硬度；HRA适用于测量材料经化学热处理(如渗碳、渗氮)后的表面硬度；HRB一般用来测量有色金属、退火钢和铸铁等硬度较低的材料。

### (三) 维氏硬度

维氏硬度的试验原理与布氏硬度试验基本相同，它是用顶角为 $136^\circ$ 的四棱锥金刚石，在较小的载荷(压力) $F$ (常用 $5\sim 100\text{kgf}$ )作用下压入被测材料表面，并按规定保持一定时间，然后用附在试验计上的显微镜测量压痕的对角线长度 $d$ (图1-6)，以凹痕单位面积上所承受的压力作为维氏硬度值，用符号HV表示：

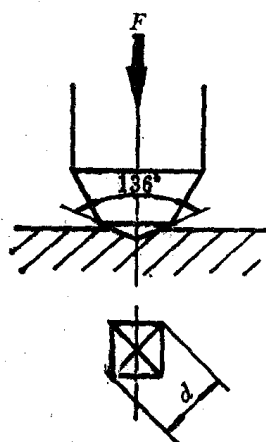


图1-6 维氏硬度试验原理图

$$HV = \frac{F}{S_{\text{压痕}}} \approx 1.8544 \frac{F}{d^2}$$

表达维氏硬度值的字符与布氏硬度相似，依次为：数值、硬度符号、压力大小(kgf)和压力保持时间(s)。如 $500HV_{30/20}$ ， $640HV_{50}$ (压力保持时间为 $10\sim 15\text{s}$ 时省略标注)。

维氏硬度法所测得的压痕轮廓清晰，数值较准确，测量范围广(约 $10\sim 1000HV$ )，采用较小的压力时可以测量硬度高的薄件(如硬质合金、渗碳层、渗氮层)而不致于将被测件压穿。缺点是测量过程比较麻烦。

在各种硬度值之间不能直接比较，也没有直接的换算公式，需要换算时可以查各种硬度的对照表(表1-2)。当硬度值在一定范围内时，也可以用下面的近似公式换算：

$$HRC \approx \frac{1}{10} HBS \quad (\text{当HBS数值在} 200\sim 600 \text{时})$$

$$HV \approx HBS \quad (\text{当HBS数值} < 400 \text{时})$$