



技工学校机械类通用教材

(第4版)

# 金属工艺学

技工学校机械类通用教材编审委员会 编



本书供技工学校机械类冷、热加工工种的学生使用。

全书包括绪论及主要内容四篇。第一篇为金属学基础知识,介绍金属的内部构造、结晶和塑性变形理论,以及铁碳合金相图;第二篇为金属材料及其腐蚀与防护,介绍常用金属材料的一般知识以及金属材料腐蚀与防护知识;第三篇为热加工工艺,简述铸造、压力加工、焊接和热处理的加工方法及其工艺特点;第四篇为冷加工工艺,介绍车、刨、钻、铣、磨、齿轮加工和钳工加工的常用设备和工艺过程。本书另配有习题集。学完本书后,可对金属材料及其加工过程有一概貌性的了解,能为学习专业课程准备较为全面的技术基础知识。

## 图书在版编目(CIP)数据

金属工艺学/技工学校机械类通用教材编审委员会编.

—4版. —北京:机械工业出版社,2004.4

技工学校机械类通用教材

ISBN 7-111-03476-7

I. 金… II. 技… III. 金属加工—工艺学—技工学校—教材 IV. TG

中国版本图书馆CIP数据核字(2004)第025144号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

责任编辑:何月秋 崔世荣 版式设计:霍永明 责任校对:魏俊云

封面设计:姚毅 责任印制:洪汉军

北京京丰印刷厂印刷·新华书店北京发行所发行

2005年1月第4版·第3次印刷

787mm×1092mm  $1/16$ ·17.5印张·429千字

定价:25.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

本社购书热线电话(010) 68993821、88379646  
68326294、68320718

封面无防伪标均为盗版

## 第4版前言

技工学校机械类通用教材自1980年出版以来,经过1986年第2版、1991年第3版的修订,内容不断充实和完善,在技工学校、职业技术学校的教学、工矿企业工人的技术培训等方面发挥了很大的作用,取得了较好的社会效益,受到了广大读者的欢迎和好评。

但随着时间的推移,现代科学技术不断发展,教学内容不断完善,新的国家和行业技术标准也相继颁布和实施,本套教材的部分内容已不能适应教学的需要。为保证教学质量,决定组织第3版各门课程的大部分原作者,并适当吸收教学一线的教师,对第3版部分教材进行修订,以更好地满足目前技工学校、职业技术学校教学的实际需要。

为保持本套教材的延续性和原有的读者层次,本次修订在原有教材风格和特点的基础上,根据教学实践,针对原教材的不足进行了改进,以充分反映教学的需要。如对原教材中结构安排不合理之处进行了一些调整,对不切实际或过时的技术内容与错误进行了订正,并删繁就简,使教材内容更具有科学性和实用性;同时根据教学需要补充增加了部分新知识、新技术、新工艺和新方法方面的内容,使教材内容更具有先进性。全套教材还全面采用了新的技术标准、名词术语和法定计量单位。

本次共修订五门基础课和四门专业课的教材,具体包括:机械制图、机械基础、工程力学、金属工艺学、电工与电子基础、车工工艺学、钳工工艺学、焊工工艺学、电工工艺学及相应的习题集。

本套教材的修订工作得到了各位编者的支持,参加教材修订的人员基本上都是参加前3版教材编写的老作者,保证了本套教材能够按计划有序地进行,在此对参加修订的各位作者和前3版的各位编审者的支持和配合表示感谢。

参加本书第1版编写的是朱渊澄、陈明深、吴伯庆、潘金龙、陈耀林。

参加本书第2版修订的是蔡月珍、吴伯庆。

参加本书第3版修订的是蔡月珍、黄晓虹。

参加本书第4版修订的是胡雅育。

由于修订时间仓促,编者水平有限,调查研究不够深入,书中难免仍有缺点和错误,我们恳切希望读者批评指正。

技工学校机械类通用教材编审委员会

本书常用符号

表 1 金属学与热处理常用符号

| 符 号               | 名 称             | 符 号            | 名 称            |
|-------------------|-----------------|----------------|----------------|
| A                 | 奥氏体             | Ld             | 高温莱氏体          |
| Ac <sub>1</sub>   | 加热下临界点 (°C)     | L'd            | 低温莱氏体          |
| Ac <sub>3</sub>   | 亚共析钢加热上临界点 (°C) | M              | 马氏体            |
| Ac <sub>cm</sub>  | 过共析钢加热上临界点 (°C) | Ms             | 上马氏体点 (°C)     |
| Ar <sub>1</sub>   | 冷却下临界点 (°C)     | Mf             | 下马氏体点 (°C)     |
| Ar <sub>3</sub>   | 亚共析钢冷却上临界点 (°C) | P              | 珠光体            |
| Ar <sub>cm</sub>  | 过共析钢冷却上临界点 (°C) | v              | 冷却速度           |
| B                 | 贝氏体             | v <sub>K</sub> | 马氏体转变临界冷却速度    |
| B <sub>E</sub>    | 上贝氏体            | S              | 索氏体            |
| B <sub>F</sub>    | 下贝氏体            | T              | 托氏体            |
| C                 | 碳化物             | T              | 温度 (°C, K)     |
| F                 | 铁素体             | t              | 时间 (s, min, h) |
| Fe <sub>3</sub> C | 渗碳体             | α              | α 相            |
| G                 | 石墨碳             | β              | β 相            |
| L                 | 液体相             | δ              | δ 相            |

表 2 力学性能常用符号

| 符 号                | 名 称       | 单 位               | 符 号              | 名 称      | 单 位              |
|--------------------|-----------|-------------------|------------------|----------|------------------|
| A <sub>KU(V)</sub> | 冲击吸收功     | J                 | δ                | 断后伸长率    | %                |
| a <sub>KU(V)</sub> | 冲击韧度      | J/cm <sup>2</sup> | ψ                | 断面收缩率    | %                |
| HBS (W)            | 布氏硬度      |                   | σ                | 应力       | Pa               |
| HRA                | 洛氏硬度 A 标尺 |                   | σ <sub>-1</sub>  | 疲劳极限     | MPa <sup>①</sup> |
| HRB                | 洛氏硬度 B 标尺 |                   | σ <sub>0.2</sub> | 规定残余伸长应力 | MPa              |
| HRC                | 洛氏硬度 C 标尺 |                   | σ <sub>b</sub>   | 抗拉强度     | MPa              |
| HV                 | 维氏硬度      |                   | σ <sub>s</sub>   | 屈服点      | MPa              |

① 1MPa = 1N/mm<sup>2</sup> = 10<sup>6</sup>Pa。

# 目 录

## 第4版前言

## 本书常用符号

|          |   |
|----------|---|
| 绪论 ..... | 1 |
|----------|---|

## 第一篇 金属学基础知识

|                        |    |                         |    |
|------------------------|----|-------------------------|----|
| 第一章 金属的性能 .....        | 3  | 复习题 .....               | 35 |
| 第一节 金属的物理性能和化学性能 ..... | 3  | * 第三章 金属的塑性变形和再结晶 ..... | 36 |
| 第二节 金属的力学性能 .....      | 6  | 第一节 塑性变形的概念 .....       | 36 |
| 第三节 金属的工艺性能 .....      | 20 | 第二节 金属的冷塑性变形 .....      | 38 |
| 复习题 .....              | 21 | 第三节 回复与再结晶 .....        | 39 |
| 第二章 金属的结构与结晶 .....     | 22 | 第四节 金属的热塑性变形 .....      | 40 |
| 第一节 纯金属的晶体结构 .....     | 22 | 复习题 .....               | 42 |
| 第二节 纯金属的结晶 .....       | 25 | 第四章 铁碳合金相图 .....        | 43 |
| * 第三节 金属的铸态组织 .....    | 27 | 第一节 铁碳合金的基本组织 .....     | 43 |
| 第四节 纯铁的同素异构转变 .....    | 29 | 第二节 铁碳合金相图 .....        | 45 |
| 第五节 合金的结构 .....        | 31 | 复习题 .....               | 54 |
| * 第六节 合金的结晶及其相图 .....  | 32 |                         |    |

## 第二篇 金属材料及其腐蚀与防护

|                          |    |                      |     |
|--------------------------|----|----------------------|-----|
| 第五章 工业用钢 .....           | 55 | 第三节 可锻铸铁 .....       | 83  |
| 第一节 钢的分类和牌号 .....        | 55 | 第四节 球墨铸铁 .....       | 85  |
| 第二节 钢中常存杂质和合金元素的作用 ..... | 58 | 第五节 蠕墨铸铁 .....       | 86  |
| 第三节 非合金钢 .....           | 60 | 复习题 .....            | 88  |
| 第四节 低合金高强度结构钢 .....      | 67 | 第七章 非铁材料(有色金属) ..... | 89  |
| 第五节 机械结构用的合金钢 .....      | 68 | 第一节 铝与铝合金 .....      | 89  |
| 第六节 合金工具钢和高速工具钢 .....    | 72 | 第二节 铜与铜合金 .....      | 92  |
| 第七节 特殊性能钢 .....          | 76 | * 第三节 钛与钛合金 .....    | 97  |
| 复习题 .....                | 78 | 第四节 轴承合金 .....       | 99  |
| 第六章 铸铁 .....             | 79 | 第五节 粉末冶金材料 .....     | 101 |
| 第一节 铸铁的石墨化及其影响因素 .....   | 79 | 复习题 .....            | 104 |
| 第二节 灰铸铁 .....            | 80 | 第八章 金属的腐蚀及防护方法 ..... | 105 |
|                          |    | 第一节 金属的腐蚀 .....      | 105 |
|                          |    | 第二节 防护方法 .....       | 106 |
|                          |    | 复习题 .....            | 107 |

### 第三篇 热加工工艺

|                         |     |                           |     |
|-------------------------|-----|---------------------------|-----|
| <b>第九章 铸造</b> .....     | 108 | 第二节 气焊和气割 .....           | 144 |
| 第一节 砂型的制造 .....         | 109 | 第三节 其他焊接方法 .....          | 148 |
| 第二节 浇注、落砂和清理 .....      | 114 | * 第四节 常用金属材料的焊接 .....     | 151 |
| 第三节 铸件常见缺陷和防止方法 .....   | 115 | 第五节 焊接缺陷及焊缝质量的分析与检查 ..... | 153 |
| 第四节 铸造合金及其性能 .....      | 116 | 复习题 .....                 | 156 |
| 第五节 特种铸造 .....          | 117 | <b>第十二章 钢的热处理</b> .....   | 157 |
| 复习题 .....               | 120 | 第一节 钢在加热时的组织转变 .....      | 157 |
| <b>第十章 金属压力加工</b> ..... | 121 | 第二节 钢在冷却时的组织转变 .....      | 159 |
| 第一节 金属的加热和锻造温度范围 .....  | 121 | 第三节 钢的退火与正火 .....         | 164 |
| 第二节 自由锻和模锻 .....        | 122 | 第四节 钢的淬火 .....            | 166 |
| 第三节 板料冲压 .....          | 129 | 第五节 钢的回火 .....            | 170 |
| 第四节 轧制和拉拔 .....         | 132 | 第六节 钢的表面热处理 .....         | 173 |
| * 第五节 少无切削加工工艺 .....    | 134 | 第七节 热处理新工艺简介 .....        | 177 |
| 复习题 .....               | 137 | * 第八节 典型零件的热处理分析 .....    | 178 |
| <b>第十一章 焊接</b> .....    | 139 | 复习题 .....                 | 179 |
| 第一节 焊条电弧焊 .....         | 139 |                           |     |

### 第四篇 冷加工工艺

|                              |     |                        |     |
|------------------------------|-----|------------------------|-----|
| <b>第十三章 金属切削加工基本知识</b> ..... | 181 | 第二节 钻削加工 .....         | 213 |
| 第一节 切削运动和切削用量 .....          | 181 | 第三节 镗削 .....           | 216 |
| 第二节 金属切削刀具 .....             | 183 | 复习题 .....              | 218 |
| 第三节 切屑的形成及其种类 .....          | 186 | <b>第十七章 铣削</b> .....   | 219 |
| 第四节 切削力 .....                | 187 | 第一节 铣床及铣床附件 .....      | 219 |
| 第五节 切削热和切削液 .....            | 187 | 第二节 铣削加工 .....         | 223 |
| 第六节 工件材料的切削加工性 .....         | 188 | 复习题 .....              | 228 |
| 第七节 金属切削机床的分类与型号 .....       | 189 | <b>第十八章 磨削</b> .....   | 229 |
| 复习题 .....                    | 192 | 第一节 磨床 .....           | 229 |
| <b>第十四章 车削</b> .....         | 193 | 第二节 砂轮 .....           | 232 |
| 第一节 卧式车床 .....               | 193 | 第三节 磨削加工 .....         | 234 |
| 第二节 车刀种类及车床工作 .....          | 197 | 复习题 .....              | 237 |
| * 第三节 其他车床 .....             | 201 | <b>第十九章 齿轮加工</b> ..... | 238 |
| 复习题 .....                    | 203 | 第一节 成形法 .....          | 238 |
| <b>第十五章 刨削与拉削</b> .....      | 204 | 第二节 展成法 .....          | 239 |
| 第一节 刨床类机床 .....              | 204 | 复习题 .....              | 242 |
| 第二节 刨削加工 .....               | 208 | <b>第二十章 钳工</b> .....   | 243 |
| * 第三节 拉削 .....               | 210 | 第一节 划线 .....           | 243 |
| 复习题 .....                    | 211 | 第二节 錾削 .....           | 245 |
| <b>第十六章 钻削与镗削</b> .....      | 212 | 第三节 锯削 .....           | 247 |
| 第一节 钻床 .....                 | 212 | 第四节 铰削 .....           | 249 |

|                       |     |                         |     |
|-----------------------|-----|-------------------------|-----|
| 第五节 攻螺纹和套螺纹 .....     | 253 | 附录 B 淬火钢回火温度与硬度的        |     |
| 第六节 刮削和研磨 .....       | 255 | 关系表 .....               | 264 |
| 第七节 铆接 .....          | 258 | 附录 C 金属热处理工艺、分类及代号      |     |
| 第八节 装配的基本知识 .....     | 259 | (GB/T 12603—1990) ..... | 264 |
| 复习题 .....             | 262 | 附录 D 化学元素周期表 .....      | 266 |
| 附录 .....              | 263 | 附录 E 钢铁的火花鉴别 .....      | 267 |
| 附录 A 钢材硬度与强度对照表 ..... | 263 |                         |     |

## 绪 论

在一般机械制造过程中，对于那些将原材料变为产品的直接有关过程，如用铸造、压力加工或焊接等方法制造毛坯的过程、机械切削加工的过程、热处理和其他处理过程、装配和维修过程等，都称为工艺过程。其中，机械零件的常规制造工艺过程如图 0-1 所示。

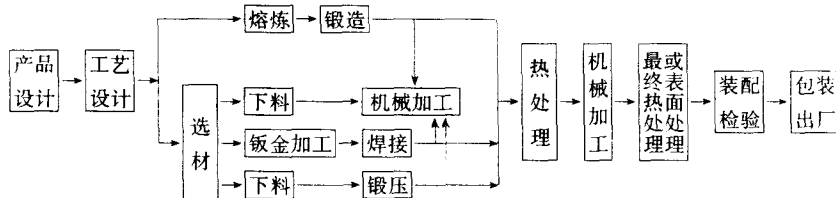


图 0-1 机械零件常规制造工艺过程示意图

研究机械零件的加工工艺过程和结构工艺性、各种材料的力学性能和工艺性能、各种工艺方法本身的规律性及其在机械制造中的应用等是金属工艺学的主要内容。工程人员在设计和制造产品时，总是力图使产品质量高、性能好、成本低、寿命长。为了达到这些目的，必须从结构设计、材料选用、制造工艺及使用维护等多方面采取措施。金属工艺学就是在长期的机械产品生产实践中逐渐发展起来的。本课程知识是机械技工学校学生所必须具备的，也是企业管理人员应该了解的。

我国是使用金属材料最早的国家之一。我国使用铜的历史约有 4000 余年。大量出土的上古时代青铜器，说明在商代（公元前 1562～1066 年）就有了高度发达的青铜技术。例如河南安阳出土的司母戊大方鼎，带耳高 1.37m，横 1.1m，宽 0.77m，重达 875kg。这是商殷祭器，体积庞大，花纹精巧，造型精美。在当时的条件下要浇铸这样大的器物，如果没有大规模的劳动分工和熟练的铸造技术，是不可能成功的。

由青铜器过渡到铁器是生产工具的重大发展，我国从春秋战国时期（公元前 770～475 年）开始大量使用铁器，推动了奴隶社会向封建社会的过渡。兴隆战国铁器遗址中发掘出了浇铸农具用的铁模，说明了冶铸技术已从泥砂造型进入铁模造型的高级阶段。到西汉时，采用煤作炼铁的燃料，要比欧洲早一千七八百年。

我国古代创造了三种炼钢方法：第一种是从矿石中直接炼出的自然钢。用这种钢做的剑在东方各国享有盛誉，东汉时传入欧洲；第二种是西汉期间经过“百次”冶炼锻打的百炼钢；第三种是南北朝时期的灌钢。先炼铁，后炼钢的两步炼钢技术，我国比其他国家早 1600 多年。明朝宋应星所著《天工开物》一书中明确记载了冶铁、炼钢、铸钟、锻铁、淬火等各种金属的加工方法，它是世界上有关金属加工工艺最早的科学著作之一。

历史充分说明，我国古代劳动人民在金属材料及其工艺方面取得了辉煌的成就，为人类文明作出了巨大的贡献。只是到了近代，由于封建制度的日益腐败和外国列强的侵略，严重阻碍了这门技术的发展。

新中国成立后，我国的金属材料及其工艺学研究水平有了很大的提高，推动了机械制

造、矿山冶金、交通运输、石油化工、电子仪表、宇宙航行等现代化工业的发展。原子弹、氢弹的试验成功以及人造地球卫星和载人宇宙飞船的发射成功等，标志着我国金属材料及其工艺都达到了新的水平，相信在不远的将来定能进入世界先进行列。

《金属工艺学》是一门实践性很强的综合性技术基础课。通过本课程的学习，使学生获得常用机械工程材料、热处理、毛坯生产和工件加工工艺的基础知识，为学习其他有关课程和将来从事生产技术工作及企业管理工作奠定必要的基础。本课程教学以金工实习为基础，教学内容与生产实际紧密结合，强调工艺实践和工程意识训练。因此，《金属工艺学》作为培养学生综合工程素质和技术应用能力是十分重要的工程教育必修课，受到工程教育界的普遍重视。

学习本课程应达到的基本要求是：

(1) 掌握工程材料和热处理基本知识，了解工程材料常用的表面处理方法，具有合理选用常用机械工程材料和热处理方法的初步能力。

(2) 掌握热加工工艺与机械加工工艺的基本知识，具有选用毛坯种类、成形方法和确定工件加工方法、制定简单工件（毛坯）加工工艺规程的初步能力。

(3) 具有综合运用工艺知识，分析毛坯或工件结构工艺性的初步能力，以及建立质量和经济观念。

(4) 了解与本课程有关的新材料、新工艺、新技术及其发展概况。

本课程教学要求学生应具有一定的实践基础，为达到课程教学基本要求，在学习本教材第三篇、第四篇之前必须进行金工实习。实验和课程设计是金工教学的重要环节，应予以合理安排。根据教学内容，应安排适量的课堂讨论和课后作业题，以利于培养学生分析问题和解决问题的能力。

在教育改革中，《金属工艺学》教学应在提高学生的综合素质，特别是在培养创造能力和工程实践能力方面积极进行探索，发挥重要作用。

书中打“\*”号部分为选学内容，各校可根据各专业工种的特点和实际情况，予以适当调整和增删。

# 第一篇 金属学基础知识

## 第一章 金属的性能

机械工业生产中使用的金属材料种类很多,为了要正确地加工和合理地选用金属材料,充分发挥金属材料本身的性能潜力,就必须首先了解金属及其性能。所谓金属是指具有特殊光泽而不透明,富有延展性、导热性及导电性的一类结晶物质。具有金属特性的材料通称为金属材料。金属材料的性能一般分为两类:一类是使用性能,包括物理性能、化学性能和力学性能等,它反映了金属材料使用过程中所表现出来的特性;另一类是工艺性能,包括铸造性能、锻压性能、焊接性能及切削加工性能等,它反映金属材料在制造加工过程中的各种特性。

### 第一节 金属的物理性能和化学性能

#### 一、物理性能

金属的物理性能包括密度、熔点、热膨胀性、导热性、导电性和磁性等。

1. 密度 密度是指金属单位体积的质量,用符号  $\rho$  表示。

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (1-1)$$

式中  $m$ ——金属的质量 (kg);

$V$ ——金属的体积 ( $\text{m}^3$ );

$\rho$ ——金属的密度 ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )。

在机械制造中,一般将密度小于  $5\text{kg}/\text{m}^3$  的金属称为轻金属;密度大于  $5\text{kg}/\text{m}^3$  的金属称为重金属。

在实际工作中,常用密度公式计算大型零件的质量。某些机械零件选材时,必须考虑金属的密度,如发动机中要求质轻、运动时惯性小的活塞,常采用密度小的铝合金制成。在航空工业领域中,密度更是选用材料的关键性能指标之一。

2. 熔点 金属由固态转变为液态时的温度称为熔点。纯金属都有固定的熔点,金属可分为低熔点(低于  $700^\circ\text{C}$ )金属和难熔金属两大类。例锡、铅、锌等属低熔点金属,钨、钼、铬、钒等属难熔金属。

熔点是制定热加工(冶炼、铸造、焊接等)工艺规范的重要依据之一,常用低熔点金属制造印刷铅字、熔断器和防火安全阀等;难熔金属可制造耐高温零件,在火箭、导弹、燃气轮机等方面获得广泛的应用。

3. 热膨胀性 金属受热时, 它的体积会增大, 冷却时则收缩, 金属的这种性能称为热膨胀性。热膨胀的大小用线胀系数或体胀系数来表示。线胀系数的计算公式如下:

$$\alpha_l = \frac{L_2 - L_1}{L_1 t} \quad (1-2)$$

式中  $L_1$ ——膨胀前长度 (cm);

$L_2$ ——膨胀后长度 (cm);

$t$ ——温度差 (K 或  $^{\circ}\text{C}$ );

$\alpha_l$ ——线胀系数 ( $1/\text{K}$ ) 或 ( $1/^{\circ}\text{C}$ )。

从式 (1-2) 可知, 线胀系数是指温度每升高 1K (或  $1^{\circ}\text{C}$ ) 时, 金属材料的长度增量与原长度的比值。线胀系数不是一个固定不变的数值, 它随温度的增高而增大。

体胀系数约为线胀系数的 3 倍。在实际工作中应该考虑热膨胀的影响, 例如铸造冷却时工件的体积收缩、精密量具因温度变化而引起读数误差等。

例 有一车工, 车削一根长 1000mm 的黄铜棒, 车削时铜棒温度由  $10^{\circ}\text{C}$  升高到  $30^{\circ}\text{C}$ , 求这时铜棒的长度为多少 (黄铜线胀系数为  $0.00001781/^{\circ}\text{C}$ )?

解

$$\alpha_l = \frac{L_2 - L_1}{L_1 t}$$

$$\alpha_l = 0.00001781 (^{\circ}\text{C})$$

$$L_1 = 1000\text{mm}$$

$$t = 30^{\circ}\text{C} - 10^{\circ}\text{C} = 20^{\circ}\text{C}$$

代入式 (1-2): 
$$0.00001781 = \frac{L_2 - 1000}{1000 \times 20}$$

$$L_2 = 0.00001781 \times 20000\text{mm} + 1000\text{mm} = 1000.356\text{mm}$$

答: 这时铜棒的长度为 1000.356mm。

上例中, 由于夹头和顶针间的距离一般是固定的, 在这种情况下, 工件 (特别是细长轴) 往往会因之而发生弯曲。所以, 在加工细长轴时, 常采用弹性顶针, 或车削时注意充分冷却。

4. 导热性 金属传导热量的能力称为导热性。

金属导热能力的大小常用热导率  $\lambda$  表示。热导率说明维持单位温度梯度 (即温度差) 时, 在单位时间内, 流经物体单位横截面的热量, 单位是  $\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ 。金属材料的热导率越大, 说明导热性越好, 一般说来, 金属越纯, 其导热能力越大。

导热性好的金属散热也好, 在制造散热器、热交换器等零件时, 就要注意选用导热性好的金属。

5. 导电性 金属能够传导电流的性能称为导电性。

金属导电性的好坏, 常用电阻率  $\rho$  表示。长 1m 截面积为  $1\text{mm}^2$  的物体在一定温度下所具有的电阻数, 叫做电阻率, 单位是  $\Omega \cdot \text{m}$ 。电阻率越小, 导电性就越好。

电导率是电阻率的倒数, 显然, 电导率大的金属, 电阻值小, 则导电性好。在金属中, 银的导电性最好, 把银的电导率规定为 100%, 其他金属与银相比, 所得的百分数则是该金属的电导率, 如铜为 95%, 铝为 60%。

导电性和导热性一样, 随合金成分的复杂化而降低, 因而纯金属导电性总比合金好。为

此，工业上常用纯铜、纯铝做导电材料；而用电阻大的铜合金（例康铜-铜、镍、锰合金）做电阻材料。

6. 磁性 金属材料在磁场中被磁化而呈现磁性强弱的性能称为磁性。

按磁性来分，金属材料可分为：

铁磁性材料——在外加磁场中，能强烈被磁化到很大程度，如铁、镍、钴等。

顺磁性材料——在外加磁场中呈现十分微弱的磁性，如锰、铬、钼等。

抗磁性材料——能够抗拒或减弱外加磁场的磁化作用的金属，如铜、金、银、铅、锌等。

铁磁性材料中，铁及其合金（包括钢与铸铁）具有明显磁性。镍和钴也具有磁性，但远不如铁。

磁性只存在于一定温度内，在高于一定温度时，其磁性就会消失。如铁在  $770^{\circ}\text{C}$  以上就没有磁性，这一温度称为居里点。

常用金属的物理性能见表 1-1。

表 1-1 常用金属的物理性能

| 金属名称 | 符 号 | 密 度<br>$\rho(20^{\circ}\text{C})$<br>$/\times 10^3(\text{kg}/\text{m}^3)$ | 熔 点<br>$/^{\circ}\text{C}$ | 热导率<br>$\lambda$<br>$/[\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})]$ | 线胀系数<br>$\alpha_t(0\sim 100^{\circ}\text{C})$<br>$/(\times 10^{-6}/^{\circ}\text{C})$ | 电阻率<br>$\rho(0^{\circ}\text{C})$<br>$/(\times 10^{-8}\Omega\cdot\text{m})$ | 电导率<br>(%) |
|------|-----|---------------------------------------------------------------------------|----------------------------|-----------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------|------------|
| 银    | Ag  | 10.49                                                                     | 960.8                      | 418.6                                                     | 19.7                                                                                  | 1.5                                                                        | 100        |
| 铝    | Al  | 2.6984                                                                    | 660.1                      | 221.9                                                     | 23.6                                                                                  | 2.655                                                                      | 60         |
| 铜    | Cu  | 8.96                                                                      | 1083                       | 393.5                                                     | 17.0                                                                                  | 1.67~1.68 ( $20^{\circ}\text{C}$ )                                         | 95         |
| 铬    | Cr  | 7.19                                                                      | 1903                       | 67                                                        | 6.2                                                                                   | 12.9                                                                       | 12         |
| 铁    | Fe  | 7.87                                                                      | 1538                       | 75.4                                                      | 11.76                                                                                 | 9.7                                                                        | 16         |
| 镁    | Mg  | 1.74                                                                      | 650                        | 153.7                                                     | 24.3                                                                                  | 4.47                                                                       | 36         |
| 锰    | Mn  | 7.43                                                                      | 1244                       | 4.98 ( $-192^{\circ}\text{C}$ )                           | 37                                                                                    | 185 ( $20^{\circ}$ )                                                       | 0.9        |
| 镍    | Ni  | 8.90                                                                      | 1453                       | 92.1                                                      | 13.4                                                                                  | 6.84                                                                       | 23         |
| 钛    | Ti  | 4.508                                                                     | 1677                       | 15.1                                                      | 8.2                                                                                   | 42.1~47.8                                                                  | 3.4        |
| 锡    | Sn  | 7.298                                                                     | 231.91                     | 62.8                                                      | 2.3                                                                                   | 11.5                                                                       | 14         |
| 钨    | W   | 19.3                                                                      | 3380                       | 166.2                                                     | 4.6 ( $20^{\circ}\text{C}$ )                                                          | 5.1                                                                        | 29         |

## 二、化学性能

金属的化学性能是指金属在化学作用下表现的性能，包括耐腐蚀性和抗氧化性。

1. 耐腐蚀性 金属材料在常温下抵抗周围介质（如大气、燃气、油、水、酸、碱、盐等）腐蚀的能力，称为耐腐蚀性，简称耐蚀性。

2. 抗氧化性 金属在高温下对氧化的抵抗能力，称为抗氧化性，又称抗高温氧化性。工业用的锅炉、加热设备、汽轮机、喷气发动机、火箭、导弹等，有许多零件在高温下工作，制造这些零件的材料，就要求具有良好的抗氧化性。

## 第二节 金属的力学性能

金属的力学性能是指在力或能的作用下,材料所表现出来的一系列力学特性,如强度、塑性、硬度、韧性和疲劳等,力学性能指标反映了金属材料在各种形式外力作用下抵抗变形或破坏的某些能力,它是选用金属材料的重要依据,而且与各种加工工艺也有密切关系。

1. 载荷 载荷就是指外力,也称负载或负荷,由于载荷的性质不同,对金属材料的力学性能要求也不同,载荷按其作用性质不同可分为下列三种:

- (1) 静载荷 指大小不变或是逐渐变化的载荷。
- (2) 冲击载荷 指大小突然变化的载荷。
- (3) 交变载荷 指大小、方向随时间发生周期性变化的载荷,又称循环载荷。

载荷按其作用形式不同,又可分为拉伸、压缩、剪切、扭转和弯曲等。图 1-1 是不同作用形式载荷的示意图。

2. 变形 金属材料受载荷作用后,形状和尺寸发生变化,称为变形。变形按卸除载荷后能否完全消失,分为弹性变形和塑性变形两种。

(1) 弹性变形 材料在载荷作用下发生变形,当载荷卸除后,变形也完全消失。这种随载荷的卸除而消失的变形称为弹性变形。

(2) 塑性变形 当作用在材料上的载荷超过某一限度,此时若卸除载荷,大部分变形随之消失(弹性变形部分),但是留下了部分变形不能消失。这种不能随载荷的去除而消失的变形称为塑性变形,又称永久变形。

3. 内力和应力 物体在载荷作用下,导致物体内部之间的相互作用力称为内力。内力的大小与外力相等,方向则与外力相反,和外力保持平衡,单位面积上的内力称为应力。可用下式表示:

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad (1-3)$$

式中  $F$ ——外力 (N);

$A$ ——横截面积 ( $\text{mm}^2$ );

$\sigma$ ——应力 (MPa)。

必须指出,应力往往不是均匀地分布在截面上的,如果零件截面有突变,如有孔或沟槽等存在时,在其附近的一定范围内应力显著升高,这种应力局部增大的现象称为应力集中。显然,应力集中对零件的安全使用是不利的,一般计算物体应力是以均匀分布为条件的。

几种常用金属力学性能及其测量方法如下:

### 一、强度、塑性及其测定

强度是指金属材料在静载荷作用下,抵抗永久变形和断裂的能力。

根据载荷作用形式的不同,强度可分为抗拉、抗压、抗剪、抗扭和抗弯强度等,一般是以抗拉强度作为最基本的强度指标。

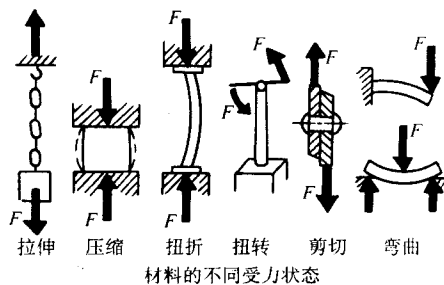


图 1-1 载荷的作用形式

塑性是指断裂前材料发生不可逆永久变形的能力。

金属的抗拉强度和塑性是通过拉伸试验测定的，拉伸试验在拉伸试验机（图 1-2）上进行的。拉伸试验是用静拉伸力对试样轴向拉伸，测量力和相应的伸长，一般拉至断裂，测定其力学性能的试验。拉伸试验方法简单，测量数据准确，因此，拉伸试验是工程上最广泛采用的力学性能试验方法之一。

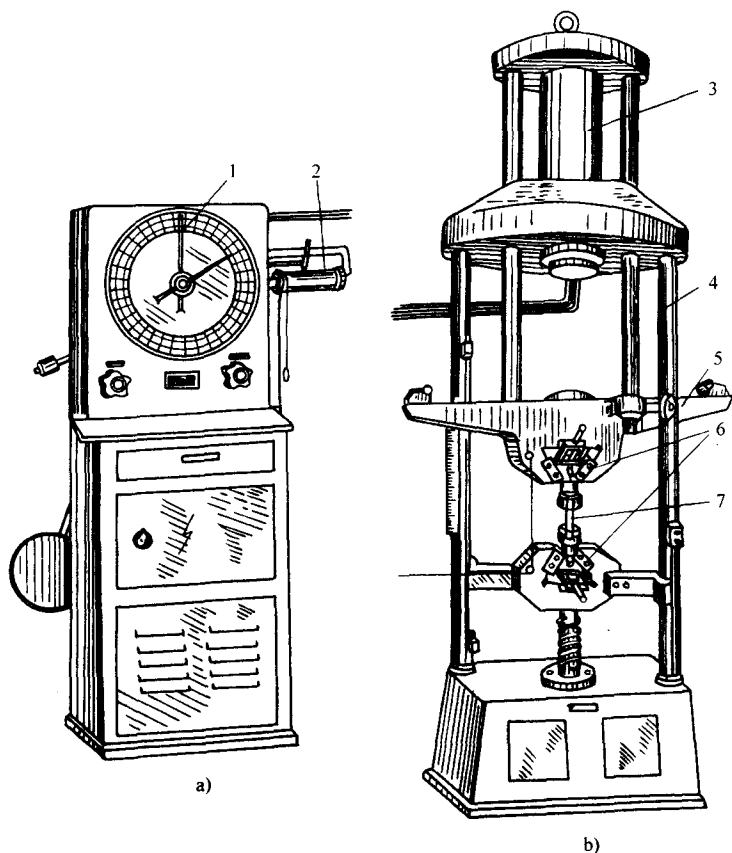


图 1-2 拉伸试验机外形图

1—负荷指示器 2—自动绘图装置 3—工作油缸  
4—立柱 5—活动横梁 6—拉伸夹头 7—试样

### 1. 拉伸试验和力—伸长曲线图

(1) 拉伸试样 拉伸试样的形状有圆形和矩形等，在国家标准 GB/T 228—1987 中，对试样的形状、尺寸及加工要求都有明确的规定。图 1-3a 为圆形标准拉伸试样，图中  $d_0$  表示试样原始直径， $L_0$  表示试样原始标距，它是试样的有效长度。根据标距长度与直径之间的关系，试样可分长试样 ( $L_0 = 10d_0$ ) 和短试样 ( $L_0 = 5d_0$ )。

(2) 拉伸试验 用静拉伸力对试样轴向拉伸，测量力和相应的伸长，一般拉至断裂，测定其力学性能的试验。在整个拉伸过程中，载荷与试样的相应伸长量由拉伸机上的自动绘图装置（见图 1-4）绘制出拉伸力对伸长的关系曲线，即力—伸长曲线图，也称拉伸曲线图。

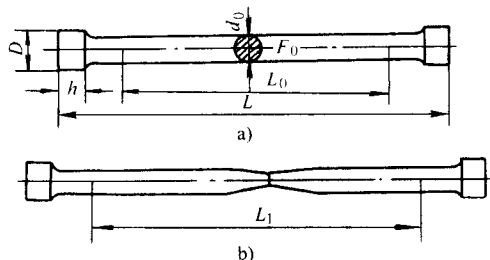


图 1-3 钢的标准拉伸试样  
a) 拉伸前 b) 拉伸后

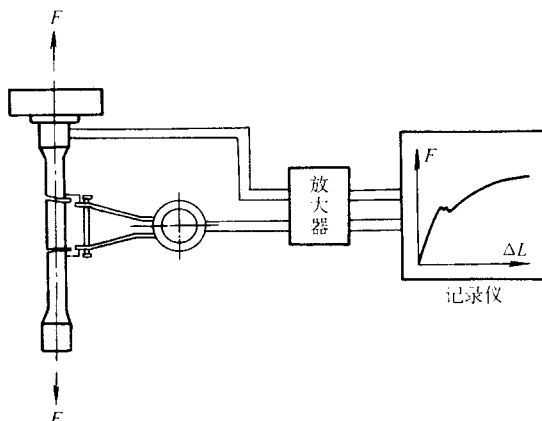


图 1-4 拉伸机自动绘图装置

(3) 力—伸长曲线图 图 1-5 为低碳钢的力—伸长曲线图，因低碳钢在拉伸试验过程中明显地表现出不同的变形阶段，所以常用低碳钢的力—伸长曲线图作典型来说明材料的拉伸特性。

由图 1-5 可见，低碳钢在拉伸过程中其  $F-\Delta L$  的关系有以下几个阶段：

**OE——弹性阶段。**试样变形完全是弹性的，卸力后试样即恢复原状。在  $P$  点以下，试样伸长随载荷成正比地增加，超过比例伸长力  $F_p$  后， $F-\Delta L$  不成正比关系，直至最大弹性伸长力  $F_e$ 。一般来说  $F_p$  与  $F_e$  非常接近。

**ES——屈服阶段。**当力超过  $F_e$  再卸力时，伸长的试样只能部分地恢复，而保留一部分残余变形（塑性变形）。当载荷增加到一定值时，力指示器的指针停止转动或开始往回转，力—伸长曲线图上出现平台或锯齿状，这种在载荷不增加或减少的情况下，试样还继续伸长的现象叫做屈服。屈服平台恒定的力为屈服力  $F_s$ ，屈服后材料开始出现明显塑性变形。

**SB——强化阶段。**在屈服阶段以后，欲使材料继续变形，必须继续施力。随着塑性变形增大，材料变形抗力不成比例地逐渐增加。这种现象叫做形变强化或加工硬化。力—伸长曲线上的最大力  $F_b$ ，即为材料在拉伸时的最大力。此阶段试样的变形是均匀发生的。

**BK——局部塑性变形阶段。**当载荷达到  $F_b$  后，试样的某一部位横截面急剧缩小，出现“缩颈”。试样抗力下降，施加的力也随之下降，而变形继续增加。这时变形主要局限于缩颈附近，直到断裂。

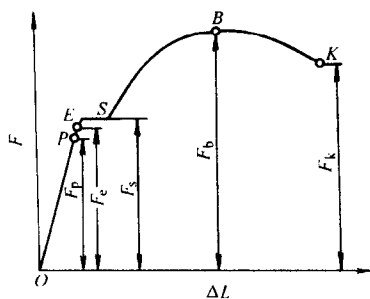


图 1-5 低碳钢的力—伸长曲线图

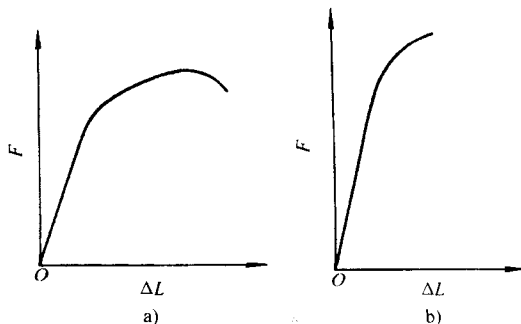


图 1-6 调质钢和铸铁的力—伸长曲线图  
a) 调质钢 b) 铸铁

工程上使用的金属材料，多数没有明显的屈服现象，其力—伸长曲线图如图 1-6 所示。

## 2. 强度和塑性指标

(1) 屈服点和规定残余伸长应力（条件屈服强度） 屈服点  $\sigma_s$  表示材料在试验过程中，载荷不增加（保持恒定）仍能继续伸长时的应力。

其计算公式如下：

$$\sigma_s = \frac{F_s}{A_0} \quad (1-4)$$

式中  $F_s$ ——试样发生屈服时的载荷 (N)；

$A_0$ ——试样原始横截面积 ( $\text{mm}^2$ )；

$\sigma_s$ ——屈服点 (MPa)<sup>①</sup>。

工业上使用的多数金属材料，在拉伸试验过程中，没有明显的屈服现象发生。按国标 GB/T 228—1987 规定，可用规定残余伸长应力  $\sigma_{0.2}$  表示，它表示材料在卸除载荷后，标距部分残余伸长率达到规定数值（常见为 0.2%）时的应力。用  $\sigma_{0.2}$  表示。即

$$\sigma_{0.2} = \frac{F_{0.2}}{A_0} \quad (1-5)$$

式  $F_{0.2}$ ——残余伸长率为 0.2% 时的载荷 (N)；

$A_0$ ——试样原始横截面积 ( $\text{mm}^2$ )；

$\sigma_{0.2}$ ——规定残余伸长率达 0.2% 时的应力 (MPa)。

零件在工作中如发生少量塑性变形，会导致零件精度降低或影响与其他零件的配合。为保证零件正常工作，材料的屈服点应高于零件的工作应力。因此，材料的屈服点是机械零件设计时的主要依据，也是评定金属材料性能的重要指标之一。

(2) 抗拉强度 试样拉断前承受的最大标称拉应力，用符号  $\sigma_b$  表示。即

$$\sigma_b = \frac{F_b}{A_0} \quad (1-6)$$

式中  $F_b$ ——试样拉断前承受的最大载荷 (N)；

$A_0$ ——试样原始横截面积 ( $\text{mm}^2$ )；

$\sigma_b$ ——抗拉强度 (MPa)。

零件在工作中所承受的应力，不允许超过抗拉强度，否则就会产生断裂。它也是机械设计和评定金属材料质量的主要依据。

(3) 断后伸长率<sup>②</sup> 试样拉断后标距的伸长与原始标距的百分比，用  $\delta$  表示，其计算公式为

$$\delta = \frac{L_1 - L_0}{L_0} \times 100\% \quad (1-7)$$

式中  $L_1$ ——试样拉断后的标距 (mm)；

$L_0$ ——试样原始标距 (mm)；

$\delta$ ——断后伸长率 (%)。

①  $1\text{N}/\text{mm}^2 = 10^6\text{Pa} = 1\text{MPa}$ 。

② 常用的塑性指标伸长率指断后伸长率。

短、长试样的断后伸长率分别用符号  $\delta_5$ 、 $\delta_{10}$  表示。断后伸长率能够在数值上准确地反映材料塑性变形的能力，这在热变形条件下尤其重要。

(4) 断面收缩率 试样拉断后缩颈处横截面积的最大缩减量与原始横截面积的百分比，用  $\psi$  表示，其计算公式为

$$\psi = \frac{A_0 - A_1}{A_0} \times 100\% \quad (1-8)$$

式中  $A_0$ ——试样原始横截面积 ( $\text{mm}^2$ )；

$A_1$ ——试样拉断后缩颈处最小横截面积 ( $\text{mm}^2$ )；

$\psi$ ——断面收缩率 (%)。

用断面收缩率表示最大变形量时比断后伸长率合理，而且  $\psi$  值不受试样标距长短的影响，所以  $\psi$  值比  $\delta$  值更能反映材料的塑性。

比较  $\delta$  和  $\psi$  数值可判断材料是否形成缩颈，当  $\psi$  大于  $\delta$  时则形成缩颈，且  $\psi$  与  $\delta$  之差越大，缩颈越严重；当  $\psi$  等于  $\delta$  时不形成缩颈。

断后伸长率和断面收缩率都是衡量塑性好坏的主要指标，其百分率越大，表示材料的塑性越好。

具有良好塑性的材料，有利于进行锻压、冷冲和冷拔等压力加工成型工艺。用塑性好的材料制成的零件在使用时，万一超载，也能由于形变强化，而避免突然断裂。所以，大多数工程材料除要求高强度外，还要求具有一定的塑性。

下面举例说明强度和塑性指标的计算方法。

例 有一根钢试棒，原标距长度为 100mm，直径为 10mm。在拉伸试验时，拉力增加至 26690N 时出现屈服现象，拉力达 47100N 时，试样产生缩颈，随后被拉断。断裂后测得的标距长度是 116mm，断裂处直径是 7.75mm，试求此钢材的屈服点、抗拉强度、断后伸长率和断面收缩率。

解

已知： $d_0 = 10\text{mm}$ ， $d_1 = 7.75\text{mm}$ ， $L_0 = 100\text{mm}$ ， $L_1 = 116\text{mm}$

$F_s = 26690\text{N}$ ， $F_b = 47100\text{N}$

则 
$$A_0 = \frac{\pi d_0^2}{4} = \frac{3.14 \times 10^2}{4} \text{mm}^2 = 78.5 \text{mm}^2$$

$$A_1 = \frac{\pi d_1^2}{4} = \frac{3.14 \times 7.75^2}{4} \text{mm}^2 = 47.12 \text{mm}^2$$

求得 
$$\sigma_s = \frac{F_s}{A_0} = \frac{26690}{78.5} \text{MPa} = 340 \text{MPa}$$

$$\sigma_b = \frac{F_b}{A_0} = \frac{47100}{78.5} \text{MPa} = 600 \text{MPa}$$

$$\delta = \frac{L_1 - L_0}{L_0} \times 100\% = \frac{116 - 100}{100} \times 100\% = 16\%$$

$$\psi = \frac{A_0 - A_1}{A_0} \times 100\% = \frac{78.5 - 47.12}{78.5} \times 100\% = 40\%$$

答：此钢材的屈服点  $\sigma_s = 340\text{MPa}$ ；抗拉强度  $\sigma_b = 600\text{MPa}$ ；断后伸长率  $\delta = 16\%$ ；断面