

农机工人技术培训教材

# 金属材料与热处理

(初、中级)

机械工业部农机工业局 统编

机械工业出版社

TG1  
27  
3

农机工人技术培训教材

# 金属材料与热处理

(初、中级)

机械工业部农机工业局 统编



机械工业出版社

本教材是根据机械工人技术培训统编教材所要求的初、中级技术工人（包括冷、热加工各工种）对“金属材料与热处理”的应知内容进行编写的。

全书共分十二章。第一章至第六章，阐述了金属和合金的性能、成分和内部构造的相互关系，讲述了钢的热处理以及塑性变形与再结晶等基本知识；第七章至第十一章，介绍了常用金属材料的牌号、成分、性能和用途；第十二章着重叙述了热处理的质量控制及其与其它工序之间的关系。考虑到技术工人的实际情况，力求结合生产实际，由浅入深，表达明了、便于理解。

附录中列出了对不同工种教学时可删减的内容，供教学时参考。

本书可作为初、中级（除热处理中级工外的冷、热加工各工种）技术工人提高基础技术知识的培训教材。也可供机械制造工厂有关人员及技工学校学生参考。

本书由项念祖同志主编，并负责编写一、二、四、五、六、九、十二章（第一、二、六节）；郭大威同志编写了三、七、八、十、十一、十二章（第四、五节）；刘兆邦同志编写了第十二章（第三节）。本书经中国纺织大学王宠武副教授审阅后定稿；贵州柴油机厂李克君同志参加了审稿工作。

## 金属材料与热处理

（初、中级）

机械工业部农机工业局 统编

\*

责任编辑：王明贤

封面设计：田淑文

\*

机械工业出版社出版（北京阜成门外百万庄南里一号）

（北京市书刊出版业营业许可证出字第117号）

机械工业出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

\*

开本  $787 \times 1092 \frac{1}{16}$  · 印张  $13 \frac{1}{2}$  · 字数 323 千字

1987年8月北京第一版·1987年8月北京第一次印刷

印数 0,001—9,000 · 定价：2.85 元

\*

统一书号：15033·6781

## 前 言

贯彻中共中央、国务院《关于加强职工教育工作的决定》，对广大工人进行系统的技术培训，是智力开发的一件大事，是一项战略性的任务。有计划地开展这项工作，教材是关键。有了教材才能统一教学内容；才能逐步建立起正规的工人技术教育制度体系，提高工人的技术素质，以适应四化建设的需要。为此，我们在全中国农机行业有关的重点企业中，组织了有长期从事技术、教育工作经验的工程技术人员和教师，编写了这套农机有关专业工种的初级、中级工人技术培训教材。

这套教材编写的依据是农业机械部一九八二年颁发的《工人技术理论教学计划、教学大纲（专业工种初、中级部分）》。学员学完初级技术理论教学计划规定的课程，可系统地达到部颁《工人技术等级标准》中本工种三级以下的“应知”要求；学完中级技术理论教学计划规定的课程，可系统地达到本工种六级以下的“应知”要求。在教材编写过程中，注意了工人培训和农机行业的特点，既坚持“少而精”的原则，又注意了知识的科学性、系统性、完整性，力求做到既要理论联系生产实际，学以致用，又要循序渐进。

这套教材的出版，得到了有关省市机械（农机）厅和有关企业、学校的大力支持，在此特致以衷心的感谢。

由于时间仓促，加上编写经验不足，教材中难免存在缺点和错误，我们恳切地希望同志们在使用中提出批评和指正，以便进一步修订。

机械工业部农机工业局  
工人技术培训教材编审领导小组  
一九八六年三月

# 目 录

## 前言

## 绪论..... 1

## 第一章 金属材料的性能..... 3

### 第一节 金属的物理性能和化学性能.....3

### 第二节 金属的机械性能.....4

### 第三节 金属的工艺性能.....12

### 复习题.....13

## 第二章 金属的结晶和固态金属的结构..... 14

### 第一节 纯金属的构造和结晶.....14

#### 一、晶体构造的基本知识.....14

#### 二、纯金属的结晶.....16

#### 三、铸造金属的组织特征.....18

### 第二节 合金的构造.....20

#### 一、合金的基本概念.....20

#### 二、合金中的相结构.....20

### 第三节 二元合金的结晶及其相图.....21

#### 一、二元合金相图的表示方法 和测定方法.....22

#### 二、Cu-Ni 合金相图.....22

#### 三、Pb-Sb合金相图.....23

### 复习题.....25

## 第三章 金属的塑性变形与再结晶..... 26

### 第一节 金属的冷塑性变形.....26

#### 一、单晶体的塑性变形.....26

#### 二、多晶体的塑性变形.....27

### 第二节 冷塑性变形对金属组织和性能的影响.....27

#### 一、冷塑性变形对性能的影响.....27

#### 二、冷塑性变形对组织结构的影响.....28

#### 三、塑性变形产生的内应力.....28

#### 四、切削加工时的加工硬化.....30

### 第三节 回复与再结晶.....30

#### 一、回复.....30

#### 二、再结晶.....30

#### 三、再结晶退火后的晶粒度.....31

## 四、金属中的再结晶组织和退火孪晶.....32

## 第四节 金属的热塑性变形.....33

### 一、金属的热压力加工与冷压力加工.....33

### 二、热压力加工对组织和性能的影响.....33

## 复习题.....34

## 第四章 铁-渗碳体相图..... 35

### 第一节 纯铁的同素异构变化.....35

### 第二节 铁碳合金的基本组织.....36

#### 一、铁素体.....36

#### 二、奥氏体.....37

#### 三、渗碳体.....37

#### 四、珠光体.....37

#### 五、莱氏体.....38

### 第三节 铁-渗碳体相图.....38

#### 一、铁-渗碳体相图的分析.....39

#### 二、钢与铁的区别.....41

#### 三、几种典型合金的结晶过程 及其组织.....41

### 第四节 铁-渗碳体相图的实际应用—— 铁碳合金的组织 and 性能.....45

#### 一、不同含碳量的铁碳合金在平衡 状态下的组织.....45

#### 二、平衡状态下的组织及其对性能 的影响.....45

#### 三、铁-渗碳体相图的实用意义.....47

## 复习题.....47

## 第五章 钢的热处理..... 48

### 第一节 热处理的目的与意义.....48

#### 一、热处理的目的.....48

#### 二、热处理的作用和意义.....48

#### 三、热处理的分类.....49

### 第二节 钢在加热时的转变.....50

#### 一、奥氏体的形成.....50

#### 二、奥氏体的晶粒度.....51

### 第三节 钢在冷却时的转变.....53

#### 一、过冷奥氏体的等温转变.....54

#### 二、过冷奥氏体的连续冷却转变.....58

|                               |    |                             |     |
|-------------------------------|----|-----------------------------|-----|
| 三、钢的奥氏体等温转变曲线的<br>应用与意义 ..... | 59 | 复习题 .....                   | 96  |
| 第四节 退火与正火 .....               | 60 | 第六章 钢的化学热处理 .....           | 97  |
| 一、退火 .....                    | 60 | 第一节 化学热处理的基本过程 .....        | 97  |
| 二、正火 .....                    | 62 | 一、化学介质的分解 .....             | 97  |
| 三、退火及正火后的机械性能 .....           | 63 | 二、活性原子被钢件的表面吸收 .....        | 98  |
| 第五节 淬火 .....                  | 63 | 三、渗入元素原子的扩散 .....           | 98  |
| 一、淬火的定义与目的 .....              | 63 | 四、影响化学热处理过程的主要因素 .....      | 98  |
| 二、淬火加热温度 .....                | 63 | 第二节 渗碳 .....                | 99  |
| 三、淬火冷却介质 .....                | 64 | 一、渗碳的目的与用途 .....            | 99  |
| 四、钢的淬透性 .....                 | 65 | 二、渗碳件的技术要求 .....            | 99  |
| 五、各种淬火冷却方法 .....              | 68 | 三、渗碳方法 .....                | 101 |
| 六、钢的冷处理 .....                 | 69 | 四、渗碳后的热处理 .....             | 102 |
| 第六节 回火 .....                  | 70 | 五、渗碳件的加工工艺路线 .....          | 103 |
| 一、回火的目的 .....                 | 70 | 六、渗碳零件的常见缺陷及其<br>防止措施 ..... | 103 |
| 二、淬火钢回火时的组织和性能变化 .....        | 71 | 第三节 渗氮 .....                | 104 |
| 三、回火的分类及其应用 .....             | 73 | 一、渗氮的目的与用途 .....            | 104 |
| 四、回火脆性 .....                  | 74 | 二、渗氮的特点 .....               | 104 |
| 五、回火稳定性 .....                 | 75 | 三、氮化用钢 .....                | 104 |
| 第七节 热处理常见缺陷及其防止措施 .....       | 75 | 四、渗氮前的预先热处理和工艺路线 .....      | 105 |
| 一、淬火缺陷与防止措施 .....             | 76 | 五、渗氮方法 .....                | 105 |
| 二、回火时常见的问题和解决办法 .....         | 83 | 第四节 碳氮共渗 .....              | 106 |
| 三、正火与退火时的常见缺陷及其<br>防止措施 ..... | 84 | 一、软氮化 .....                 | 106 |
| 第八节 表面淬火 .....                | 84 | 二、一般碳氮共渗 .....              | 107 |
| 一、表面淬火用钢 .....                | 84 | 第五节 其它化学热处理 .....           | 108 |
| 二、火焰加热表面淬火法 .....             | 84 | 一、渗硼 .....                  | 108 |
| 三、感应加热表面淬火法 .....             | 85 | 二、渗铝 .....                  | 108 |
| 四、电接触加热表面淬火 .....             | 87 | 三、渗铬 .....                  | 109 |
| 五、激光和电子束加热表面淬火 .....          | 87 | 复习题 .....                   | 109 |
| 第九节 强韧化处理 .....               | 88 | 第七章 碳素钢 .....               | 111 |
| 一、低碳马氏体强化 .....               | 88 | 第一节 碳素钢的分类方法 .....          | 111 |
| 二、低碳马氏体的扩大应用 .....            | 88 | 一、按钢的含碳量分类 .....            | 111 |
| 三、等温淬火 .....                  | 89 | 二、按钢的质量分类 .....             | 111 |
| 四、奥氏体晶粒细化和碳化物超细化 .....        | 89 | 三、按钢的用途分类 .....             | 111 |
| 五、亚温加热淬火 .....                | 91 | 第二节 常存杂质对碳素钢性能的影响 .....     | 112 |
| 六、形变热处理 .....                 | 90 | 一、碳素钢的一般性能 .....            | 112 |
| 第十节 热处理加热炉 .....              | 91 | 二、钢中杂质对性能的影响 .....          | 112 |
| 一、热处理加热炉的种类与分类方法 .....        | 91 | 第三节 碳素钢的牌号及应用 .....         | 114 |
| 二、筑炉材料 .....                  | 91 | 一、普通碳素结构钢 .....             | 114 |
| 三、常用热处理炉的性能、特点<br>与用途 .....   | 92 | 二、优质碳素结构钢 .....             | 116 |
|                               |    | 三、碳素工具钢 .....               | 116 |
|                               |    | 四、易切削钢 .....                | 117 |

|                                |     |                                     |     |
|--------------------------------|-----|-------------------------------------|-----|
| 第四节 碳素钢的切削性能 .....             | 118 | 三、灰口铸铁的热处理 .....                    | 149 |
| 一、化学成分的影响 .....                | 118 | 第四节 可锻铸铁 .....                      | 150 |
| 二、金相组织对切削性能的影响 .....           | 119 | 一、可锻铸铁的成分、组织和性能 .....               | 150 |
| 三、热处理对切削性能的影响 .....            | 120 | 二、可锻铸铁的牌号和用途 .....                  | 150 |
| 四、金相组织对表面粗糙度的影响 .....          | 121 | 三、生产可锻铸铁的退火工艺 .....                 | 151 |
| 第五节 铸钢 .....                   | 121 | 第五节 球墨铸铁 .....                      | 151 |
| 复习题 .....                      | 122 | 一、球墨铸铁的成分、组织和性能 .....               | 152 |
| 第八章 合金钢 .....                  | 123 | 二、球墨铸铁的牌号和用途 .....                  | 156 |
| 第一节 合金元素对钢的性能的影响 .....         | 123 | 三、球墨铸铁的热处理 .....                    | 156 |
| 一、合金元素对钢在平衡状态时的<br>组织的影响 ..... | 123 | 四、提高球铁性能和进一步扩大应用的<br>途径 .....       | 159 |
| 二、合金元素对钢的热处理的影响 .....          | 124 | 第六节 特殊性能铸铁 .....                    | 159 |
| 三、合金元素对钢的切削性能的影响 .....         | 125 | 一、高强度合金铸铁 .....                     | 159 |
| 第二节 合金钢的分类和编号方法 .....          | 126 | 二、耐热铸铁 .....                        | 160 |
| 一、合金钢的分类 .....                 | 126 | 三、耐磨铸铁 .....                        | 160 |
| 二、合金钢的编号方法 .....               | 127 | 四、耐蚀铸铁 .....                        | 161 |
| 第三节 合金结构钢 .....                | 127 | 复习题 .....                           | 161 |
| 一、调质钢 .....                    | 127 | 第十章 粉末冶金和硬质合金 .....                 | 162 |
| 二、表面硬化钢 .....                  | 132 | 第一节 粉末冶金的基本概念 .....                 | 162 |
| 三、弹簧钢 .....                    | 134 | 第二节 常用的硬质合金 .....                   | 163 |
| 四、滚动轴承钢 .....                  | 136 | 一、硬质合金的种类和用途 .....                  | 163 |
| 第四节 合金工具钢 .....                | 137 | 二、常用硬质合金的牌号和性能 .....                | 164 |
| 一、刀具用合金工具钢 .....               | 137 | 复习题 .....                           | 165 |
| 二、高速钢 .....                    | 137 | 第十一章 有色金属及其热处理 .....                | 166 |
| 三、模具钢 .....                    | 139 | 第一节 铝及其合金 .....                     | 166 |
| 四、合金量具钢 .....                  | 140 | 一、工业纯铝 .....                        | 166 |
| 第五节 不锈钢和耐热钢 .....              | 140 | 二、铸造铝合金 .....                       | 166 |
| 一、不锈钢 .....                    | 140 | 三、形变铝合金 .....                       | 169 |
| 二、耐热钢 .....                    | 141 | 四、铝及其合金的切削加工性能 .....                | 169 |
| 第六节 农机具用钢 .....                | 142 | 第二节 铜及其合金 .....                     | 171 |
| 复习题 .....                      | 143 | 一、工业纯铜 .....                        | 171 |
| 第九章 铸铁及其热处理 .....              | 145 | 二、铜合金 .....                         | 172 |
| 第一节 铸铁的分类 .....                | 145 | 三、黄铜 .....                          | 172 |
| 一、白口铸铁 .....                   | 145 | 四、青铜 .....                          | 172 |
| 二、灰口铸铁 .....                   | 145 | 第三节 轴承合金 .....                      | 177 |
| 三、可锻铸铁 .....                   | 145 | 一、锡基巴氏合金 .....                      | 177 |
| 四、球墨铸铁 .....                   | 146 | 二、铅基巴氏合金 .....                      | 178 |
| 第二节 影响石墨化的主要因素 .....           | 146 | 三、铜铅合金 .....                        | 178 |
| 一、化学成分对石墨化的影响 .....            | 146 | 四、铝锡轴承合金 .....                      | 179 |
| 二、冷却速度对石墨化的影响 .....            | 147 | 复习题 .....                           | 180 |
| 第三节 灰口铸铁 .....                 | 147 | 第十二章 热处理的质量控制及其与<br>其它工序之间的关系 ..... | 181 |
| 一、灰口铸铁的组织 and 性能 .....         | 147 |                                     |     |
| 二、灰口铸铁的牌号和用途 .....             | 148 |                                     |     |

|                                          |     |
|------------------------------------------|-----|
| 第一节 热处理的质量控制与影响因素 .....                  | 181 |
| 一、热处理件的质量检验 .....                        | 181 |
| 二、影响热处理质量的其他因素 .....                     | 182 |
| 第二节 热处理在工艺流程中的位置及<br>其与机械加工工序之间的关系 ..... | 183 |
| 一、热处理在工艺流程中的位置、作用<br>与影响 .....           | 183 |
| 二、热处理与机械加工工序之间<br>的关系 .....              | 183 |
| 第三节 热处理与铸造工序的关系 .....                    | 188 |
| 一、铸件性能与热处理的关系 .....                      | 189 |
| 二、铸造生产过程与热处理的关系 .....                    | 189 |
| 三、热处理对改善铸造缺陷的关系 .....                    | 190 |

|                        |     |
|------------------------|-----|
| 四、铸造生产与热处理关系的新变化 ..... | 191 |
| 第四节 热处理与锻造工序的关系 .....  | 193 |
| 一、锻造与热处理的关系 .....      | 193 |
| 二、锻后热处理的几个问题 .....     | 194 |
| 第五节 热处理与焊接工序的关系 .....  | 198 |
| 一、焊后热处理 .....          | 199 |
| 二、焊后热处理时应注意的几个问题 ..... | 199 |
| 第六节 材料选择和热处理应用实例 ..... | 201 |
| 一、选材的基本原则 .....        | 201 |
| 二、实例 .....             | 203 |
| 复习题 .....              | 206 |
| 附录 .....               | 207 |

## 绪 论

对机器制造厂的技术工人来说,《金属材料与热处理》是一门必读的技术基础课程。

现代机械工业中,各种加工设备和加工工件,使用的刀、量、刃具和工、夹、模具,几乎都是用金属材料制成的。在工作中经常会遇到:有些刀具使用寿命较长;而有些刀具则不耐用,往往会崩裂,或者很易磨损;有些金属材料制成的工件加工性能较好,表面粗糙度也细;而有些则不然,同样条件下加工,表面粗糙度很粗,加工费劲,刀具损耗也大;有时工件或刀具加工好以后尺寸还会变化;即使同样材料制成的工件,有时也会发生很大的差异。加工好的工件装配在机器上以后,在使用过程中有的耐用,有的不耐用,发生过早磨损,甚至断裂……。为什么会产生这些现象的呢?从事机械制造的技术工人都很想了解产生这些现象的原因,以便更好地使用工具和维护机器,提高生产效率。这就需要对金属材料的内部构造和性能有一个比较清楚的了解。

为了合理地使用和充分发挥金属材料性能的潜力,做到材尽其用,热处理方面的知识是必不可少的。所以凡是机械工业中各技术工种的技术等级标准里,都把这方面的知识列入“应知”内容。

《金属材料与热处理》是专门介绍金属材料方面的知识以及热处理对材料性能的影响的一门课程。本教材根据实际需要,着重介绍机械类冷、热加工各工种初、中级技术工人“应知”要求中必须掌握的有关内容。而对为了阐明这些内容所必须了解的基础知识只作概要叙述。希望通过学习本课程后,能掌握金属材料 and 热处理方面的基础知识以及它与各工序之间的相互关系;能初步分析日常生产中经常遇到的有关金属材料方面的问题;认识到冷、热加工各工序之间的良好配合是保证质量的关键之一,有助于技术水平的提高。

本书包括如下三部分内容:

(1) 金属学基础知识 概要介绍金属材料各种性能的实用意义,金属和合金的内部结构,合金成分与组织和性能之间的关系。从而了解金属材料所以具有不同性能的原因,懂得金属材料的性能与组织和成分有关,因此不同用途的工件必须选用不同的材料。

(2) 热处理基本概念 热处理的主要目的是改善金属材料的性能。这部分介绍正火、退火、淬火、回火……等各种热处理操作的作用、目的和方法。同一牌号的钢材,经过不同的热处理后,可以获得不同的组织,使其性能产生很大的差别。除了概要介绍钢在加热和冷却时转变的基础知识外,着重介绍热处理后得到的不同组织对性能的影响。对热处理的质量控制及其与各工序之间的相互关系和影响也作了简要叙述。

(3) 金属材料的性能和用途 介绍机械工业中常用的金属材料。碳素钢、合金钢、铸铁、有色金属及其合金、硬质合金的基本性能与用途以及与切削加工有关的基础知识。

我国是一个文明古国,也是最早使用金属材料的国家之一。早在四千年以前就已掌握了炼铜技术,在出土文物中发现的商代大型青铜铸件,饰纹精细,造型优美,令人叹为观止。生铁的冶炼和使用,我国比欧洲早了一千七百年左右。距今二千四百余年前的春秋战国时代,已经采用热处理技术来提高兵器的质量。最近从河南省巩县出土的西汉时期的铁镞,经金相

鉴定石墨形态是球状的。说明当时劳动人民已经懂得用改变内部组织以提高金属性能的规律。这些事实足以证明我国人民在金属材料和热处理领域中很早以前就有过卓越的贡献。但是，在旧中国由于封建制度的束缚与统治阶级的腐朽和愚昧，阻碍了这些成果的进一步发展，在很长一段时期内，停滞不前。

解放后，我国工业生产有了很大的发展，建成了比较完整的工业体系，建立了适合我国资源情况的合金钢系统。但与四个现代化的要求以及和国外先进水平比较，还存在着差距。有许多机械产品的性能指标落后于国外同类型的产品；使用寿命较短也是一个明显的不足。

“落后”的教训唤醒了中国人民，往者已矣，来者可追，勤劳而智慧的中国人民正在奋发图强，共同努力，为四化建设开创新的局面。

《金属材料与热处理》涉及的面很广。各工种要求掌握的内容不尽相同。本教材根据工人技术等级标准中机械类冷、热加工各工种初、中级技术工人“应知”内容中有关金属材料与热处理方面的要求进行编写。教课时应视专业的不同和等级的高低作适当删节。学员学习时，不同于学校中的学生，都已具有一定的实践经验和感性知识，重点要加强基本理论方面的学习，并联系生产实践中遇到的问题，结合所学的内容，在实践中消化，在学习中提高。利用工厂有利条件，组织现场参观，结合必要的实验（金相，机械性能），做到边工作、边学习、边提高。

# 第一章 金属材料的性能

现代工业中所使用的金属材料种类很多而性能各异。如此众多的材料是为了满足各种不同的需要。制造零件时，材料选用是否恰当，将直接影响到使用效果和经济效益；同一零件由于选材不同，可能使用效果有明显差异，而且制造成本也可能相差很大。要恰如其分地正确选材，既要做到材尽其用，又要充分保证零件的质量，满足它的使用性能，至少应对金属材料的性能有个初步认识。

## 第一节 金属的物理性能和化学性能

金属的物理性能，主要包括密度、比容、熔点、导热性、导电性、热膨胀性和磁性等。化学性能主要是耐腐蚀性和热安定性。

### 一、密度

物体的质量与它体积的比值称为密度。 $(\rho = M/V)$ 。它的单位为 $\text{kg}/\text{m}^3$ 。

### 二、比热容（比热）

金属的比热容是单位质量的金属每升高 1 开尔文温度所需要的热量，用符号  $c$  表示。

### 三、熔点

金属或合金的熔化温度称为熔点。凡是纯金属都有固定的熔点。例如：铝的熔点是  $660^\circ\text{C}$ ，铁是  $1538^\circ\text{C}$ ，铜是  $1083^\circ\text{C}$ 。制造保险丝和焊锡采用熔点低的合金；制造耐高温的机械零件应用熔点高的合金。

### 四、导热性

金属传导热量的能力称为导热性，用导热系数  $\lambda$  表示导热性能的好坏。单位是  $\text{W}/\text{m}\cdot\text{K}$ 。其值愈大，导热性愈好。

金属中银和铜的导热性最好，纯金属的导热性比合金好。导热性好的金属散热性必定也好。散热器、热交换器等要求散热快的零件常选用导热系数高的材料。工作时易发热的零件，如内燃机中的活塞，也应选用导热性好的材料。

### 五、导电性

金属传导电流的性能称导电性。常用电阻率  $\rho$  来衡量导电性的好坏，其值愈小，导电性愈好。银的导电性最好，铜和铝次之，工业上常用铜或铝做导线；而 Ni-Cr 合金、Fe-Cr-Al 合金的电阻率大，可用作电阻丝。

### 六、热膨胀性

金属和合金的体积与温度有关，受热时膨胀，冷却时收缩，这种性能称为热膨胀性，用线膨胀系数  $\alpha$  表示。其计算公式：

$$\alpha = \frac{l_1 - l_0}{l_0 t} \quad (\text{K}^{-1})$$

式中  $l_0$ ——膨胀前的长度(m)；

- $l_1$ ——膨胀后的长度(m);  
 $t$ ——膨胀前后的温度差(K);  
 $\alpha$ ——线膨胀系数(K<sup>-1</sup>)。

金属在不同温度区段内的线膨胀系数不完全相同,不同材料的线膨胀系数也不同。

在实际工作中,许多情况下要考虑热膨胀的影响。例如:精密量具在温度变化时会影响测量精度,故量具的鉴定必须在恒温室内进行。又如:切削加工精密零件时,工件的温度会升高,加工尺寸的控制必须考虑到由于工件温度升高而引起的膨胀和温度降低而引起的收缩;制造铸造模型和锻模时,都要考虑到铸、锻件热胀冷缩的因素,制造精密零件应选用膨胀系数小的金属材料,以免在温度变动时引起尺寸变化。配合间隙极小的部件,例如柴油机燃油系统的喷油嘴偶件,选材时,两种材料的线膨胀系数要尽量接近,否则,由于热膨胀的量不同而不能保证配合间隙。

### 七、磁性

金属能导磁的性能称为磁性。凡是能导磁的金属都能被磁铁吸引。铁具有最大的磁性,钴、镍次之,故称为磁性金属。磁性金属加热到某一温度时,磁性会消失,铁在769℃(居里点)以上磁性便消失。金属的磁性对电机、变压器和电器元件至关重要。

### 八、耐腐蚀性

金属材料在常温下对周围介质(大气、水蒸气、各种电解液)侵蚀的抵抗能力称为耐腐蚀性。在腐蚀性介质中工作的零件,必须选用耐腐蚀性好的材料。全世界因腐蚀而失效的钢铁约占全年产量的30%左右,因此防腐蚀是节约金属材料的重要措施。

### 九、热安定性

金属材料在高温下抗氧化的能力称为热安定性。高温下工作的零件必须具有良好的热安定性。

## 第二节 金属的机械性能

机器零件在使用过程中都要受到外力(载荷)的作用,在外力作用下,金属会发生变形,当外力过大时,便会断裂。金属在外力作用下所表现的行为称为机械性能(或称力学性能)。因此机械性能是选择材料的主要依据。

常用的机械性能指标有弹性、塑性、强度、硬度、冲击韧性和疲劳强度等。

### 一、强度

金属材料在外力作用下抵抗塑性变形和破断的能力称为强度。测定强度的一种最常用的方法是拉伸试验。它是将被测材料加工成拉伸试样,如图1-1 a所示。试样被夹紧在拉伸试验机上,按规定缓慢加载,随着载荷增加,试样产生伸长变形,经历了不同的变形阶段后断裂。断裂后的试样如图1-1 b所示。

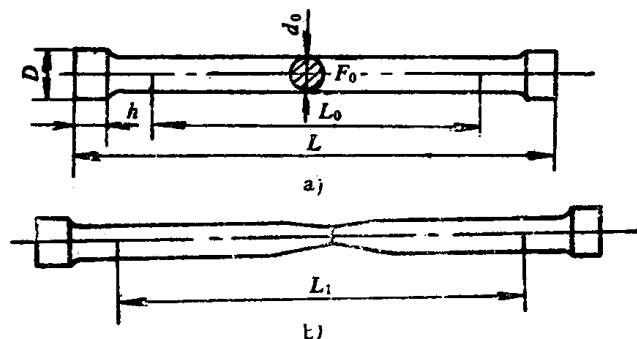


图1-1 钢的标准拉伸试样

a) 钢的拉伸试样 b) 拉断后的试样示意图

根据拉力与变形量之间的关系绘出的

曲线，称为拉伸曲线图，如图 1-2 所示。

在拉伸曲线图上  $a$  点以前，变形与外力成直线（即正比）关系，外力去除后，试样恢复原状，故  $oa$  段内的变形称为弹性变形。继续增加外力至  $b$  点时， $ab$  段内的变形量与外力不成直线关系，稍有弯曲，但是仍属弹性变形范围，因为此时如果去除外力，变形还会立即消失。

当外力超过  $b$  点时，试样开始产生塑性变形，此时如果去除外力，试样已不能完全恢复原状。

外力达到  $c$  点后，拉伸曲线图上出现  $cd$  水平平台，说明试样在不增加外力的情况下，变形量仍会继续增加，这种现象称为“屈服”。

出现屈服现象后，材料因内部结构发生了某些变化，使它抗塑性变形的能力增大，因此，必须继续增加外力才能再产生变形。直到  $B$  点，此时塑性材料在试样的局部区段内开始出现截面缩小的现象，这种现象称为“缩颈”。之后，试样在“缩颈”处断裂。

以上是塑性材料的拉伸试样在拉伸过程中经历的三个不同的变形阶段。由此可以求出材料的强度与塑性指标。

强度指标最重要的有强度极限和屈服极限。

1. 强度极限（又称抗拉强度）是材料抵抗外加拉力时不致断裂的最大应力，用  $\sigma_b$  表示。计算公式：

$$\sigma_b = \frac{P_b}{F_0}$$

式中  $P_b$ ——试样拉断前的最大拉力；

$F_0$ ——拉伸前试样的截面积。

2. 屈服极限（又称屈服强度）是材料产生屈服现象时的最小应力，用  $\sigma_s$  表示。计算公式：

$$\sigma_s = \frac{P_s}{F_0}$$

式中  $P_s$ ——屈服时的外力；

$F_0$ ——拉伸前试样的截面积。

屈服极限是设计零件时的重要依据。机械零件不允许在服役过程中产生永久变形，所以零件设计时允许承受的最大应力必须小于屈服极限。

有些金属材料在拉伸过程中不出现明显的屈服现象，此时，规定当试样产生 0.2% 塑性变形时的应力作为屈服极限，称为条件屈服极限，用  $\sigma_{0.2}$  表示。

$\sigma_s/\sigma_b$  的比值叫屈强比。其值愈高，材料强度的有效利用率也高，但可靠性小，因为从出现屈服到断裂的过程短。灰口铸铁是一种脆性材料，拉伸时，不产生明显的塑性变形，屈服极限接近于强度极限，断裂前也没有明显的缩颈。

## 二、弹性

材料的弹性是指材料在外力去除后，恢复原状的能力。一般用弹性极限来衡量，弹性极

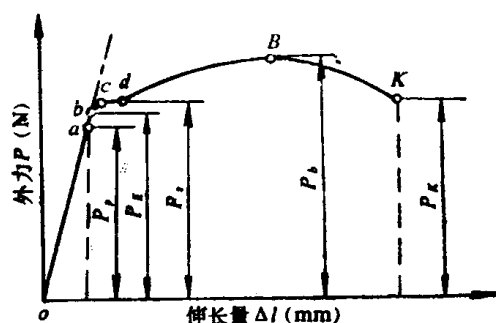


图1-2 塑性材料的拉伸曲线图

限高, 材料的弹性好。

比例极限是指外力与变形量成正比关系时的最大应力, 用  $\sigma_p$  表示。计算公式:

$$\sigma_p = \frac{P_p}{F_0}$$

式中  $P_p$ ——外力与变形量成正比关系时的最大载荷;

$F_0$ ——拉伸试样的截面积。

弹性极限较比例极限略高一些, 但相差极小, 所以国家标准中只规定比例极限, 而没有弹性极限。

### 三、塑性

材料在受力时能产生塑性变形而不破坏的能力称为塑性。材料在断裂前产生塑性变形量越大, 表明其塑性越好。塑性指标可用拉伸试验时的延伸率和断面收缩率表示。

1. 延伸率 拉伸试样拉断后标距长度范围内的伸长量与原标距长度之比值的百分率。用  $\delta$  表示。即:

$$\delta = \frac{l_1 - l_0}{l_0} \times 100\%$$

式中  $l_1$ ——试样拉断后的标距长度;

$l_0$ ——试样拉伸前的标距长度。

延伸率的大小与试样尺寸有关。为便于比较, 规定试样的标距长度为其直径的 5 倍和 10 倍两种, 分别用  $\delta_5$  和  $\delta_{10}$  表示。

2. 断面收缩率 拉伸试样拉断后断口截面积的减少量与原截面积之比值的百分率。用  $\psi$  表示。即:

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

式中  $F_0$ ——试样拉伸前的原截面积;

$F_1$ ——试样拉断后断口的截面积。

塑性指标在工程上很有实用意义。冷冲、冷拔、冷镦、锻压等成型工艺必须选用塑性好的材料, 否则在加工时易产生裂纹。另外, 零件使用过程中, 万一超负荷, 塑性好的材料由于塑性变形可以避免突然断裂, 而脆性材料几乎不产生明显的塑性变形就突然断裂了。所以, 一般的零件都要求有较高的塑性指标。

造船、锅炉、汽车等制造厂, 许多零件都要用弯曲、冷冲压等工艺。塑性差的材料, 加工过程中会出现大量废品。用于这方面的材料, 除了拉伸试验测定塑性指标是否合格外, 还需增加冷弯试验来衡量材料的塑性。

冷弯试验的条件按照材料及试样的厚度不同而不同。图 1-3 是钢板的 180° 冷弯试验。根据试样弯曲后表面有无裂纹、折断等情况来评定材料的质量。弯心直径愈大, 冷塑性变形的能力愈差; 弯心直径愈小, 塑性愈好。同一牌

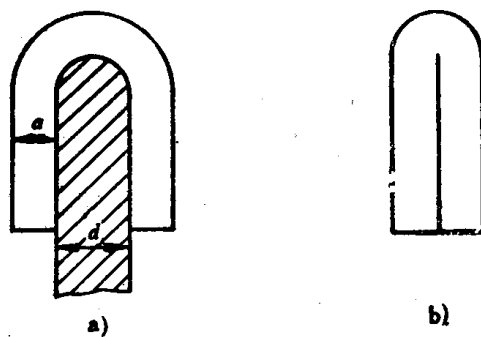


图1-3 180°冷弯试验

a)  $d = 1.5a$  b)  $d \rightarrow 0$

号的钢板，由于冶金和表面质量等因素，经冷弯试验后差异很大。因此许多工厂都把冷弯试验作为钢板入厂的验收条件。

#### 四、韧性

材料抵抗冲击力的作用而不致破坏的能力叫韧性。

1. 冲击韧性试验 不少零件在使用过程中受到冲击载荷（以很大速度作用于机件上的载荷），如内燃机中的活塞销、冲模和冲头、锻锤的锤杆、锻模等，用静载荷下的性能指标不足以衡量该材料是否适宜，历来的习惯都用冲击韧性作为指标。所谓冲击韧性是在冲击载荷作用下，冲断试样时试样单位面积上所消耗的冲击功。冲击韧性是在冲击试验机上测定，以往采用的标准试样如图 1-4 所示，a 为梅氏 U 型缺口冲击试样。

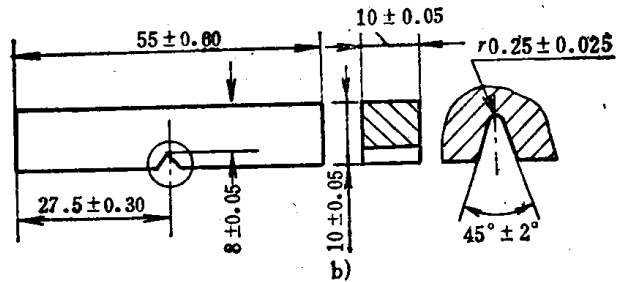


图1-4 夏氏冲击试样

用梅氏试样测定的冲击韧性，用  $a_K$  表示。即：

$$a_K = \frac{A_K}{F_0} \quad (\text{J/cm}^2)$$

式中  $A_K$ ——冲击功(J)；

$F_0$ ——试样缺口处的截面积( $\text{cm}^2$ )。

$a_K$  值愈大，说明该材料抵抗冲击载荷的能力愈大，韧性愈好。但须指出，这种方法虽然习惯上已经长时期来用作衡量金属材料的韧性指标，其实是欠妥的。往往还会造成错觉，似乎冲断试样的功是消耗在缺口处的横断面上，其实不然，消耗的功并不是用于破断，而是用于破断前在缺口附近体积内的变形。因此有些国家的标准已改为直接用冲击功  $A_K$  值表示材料的抗冲击能力。

夏氏 V 型试样的缺口比较尖锐（见图 1-4），应力集中大，参与塑性变形的体积较小，对材料脆性转化反应灵敏，其冲击韧性值用  $a_{Kv}$  表示。今后将逐步取代  $a_K$ 。

冲击韧性与试验温度有关。在低温下，钢的冲击韧性显著降低，这种现象称为钢的冷脆。冷脆对低温下工作的零件有实用意义。

图 1-5 是冲击韧性与温度变化的关系曲线。 $a_K$  值由高变低的这个温度区段称脆性转变温度范围。工程上希望材料的脆性转变温度愈低愈好。脆性转变温度也是衡量金属材料质量的指标之一。

机器零件在实际工作中所承受的冲击载荷不同于一次摆锤冲击，所以用  $a_K$  值来衡量并不恰当。因此，当材料的其它性能指标都能满足技术要求，仅仅由于  $a_K$  值稍低而改用更好的材料，不能认为是合理的。

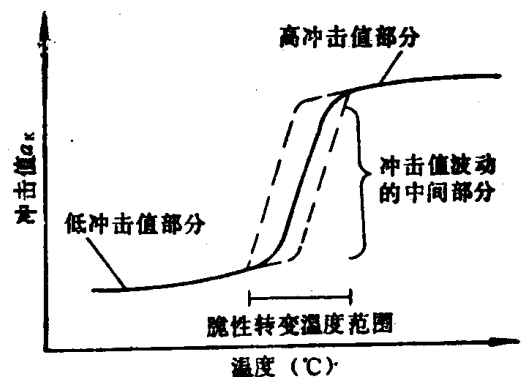


图1-5 冲击值—温度曲线示意图

2. 小能量多次冲击试验 许多零件在工作过程中承受的冲击载荷往往是小能量多次冲击负荷，也就是零件在服役时经过千百万次能量不大的冲击载荷作用后，因损伤而产生的裂

缝逐步发展以致断裂。例如：一些本来不受冲击载荷的齿轮和轴类零件，由于严重磨损后造成的冲击就属于这一类。所以不能用一次大能量冲击的  $a_K$  值来衡量，而必须采用小能量多次冲击抗力指标。

根据近代研究和生产实践证明，小能量多次冲击抗力主要取决于强度；而大能量一次冲击抗力主要取决于材料的塑性。为了片面追求过高的  $a_K$  值而牺牲强度，提高塑性，恰恰降低了比较符合于实际工况的小能量多次冲击抗力，使效果适得其反。例如：某厂的锻锤锤杆过去片面追求  $a_K$  值而降低强度，结果仍经常断裂，改用提高强度降低  $a_K$  值的办法，使多次冲击抗力提高，锤杆的使用寿命显著增加。球墨铸铁曲轴的  $a_K$  值仅为锻钢曲轴的 10~20% 左右，实践证明，很多情况下能够成功地取代锻钢制造曲轴，也是这个道理。因此，有必要指出，设计时单纯追求过高的  $a_K$  值是没有必要的。在某些情况下，为了追求较高的  $a_K$  值而降低强度，并非善策。

### 五、硬度

硬度的含义是材料表面抵抗另一硬物刻入的能力。是衡量金属材料软硬的一个指标。

由于测定硬度的方法比较简单，可以在工件上直接测定，不必加工试样，也不会破坏工件，适用于成批检验零件的质量；而且硬度值也是衡量材料抗塑性变形能力的指标，它与强度存在一定的关系。因此在生产中被广泛采用，并作为设计图纸中主要技术条件之一。

但应指出：硬度与强度之间虽然存在一定的关系，但不是绝对的。不同的钢材在相同的硬度时，其强度并不一定相等；同一种钢采用不同的热处理方法得到相同的硬度值时，其强度也可能不同，性能和使用效果也不一定相同，有时相差还很大。

常用的硬度测定法有布氏硬度、洛氏硬度和维氏硬度三种。

1. 布氏硬度 布氏硬度试验法是加一定的载荷于一定直径的小钢球上，压入被测金属材料的表面，停留一定时间，然后卸除载荷，使其表面留下一个压痕，如图 1-6 所示。根据所用载荷的大小和所得压痕的面积来计算压痕球面积上所受的 average 压力，即为布氏硬度值。用符号 HB 表示。

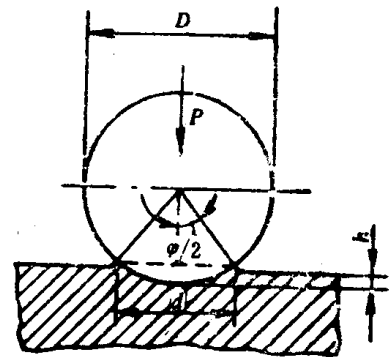


图1-6 计算布氏硬度压痕面积示意图

$$HB = \frac{P}{F} = \frac{2P}{\pi D (D - \sqrt{D^2 - d^2})} \quad (\text{kgf/mm}^2)$$

式中  $F$ ——压痕球面积；  
 $P$ ——所加载荷；  
 $D$ ——钢球直径；  
 $d$ ——压痕直径。

布氏硬度 HB 的单位是  $\text{kgf/mm}^2$ ，但在实际应用上只写明硬度的数值，而不标出单位。例如  $HB = 240 \text{ kgf/mm}^2$ ，一般只写 HB240。在实际测试时，硬度值并不需要用上述公式计算，一般都用刻度放大镜测出压痕直径  $d$  以后，可以直接从硬度表中查到 HB 的硬度值。

布氏硬度的压头是淬火钢球，因此只适用于硬度较低的金属材料，如铸铁、有色金属以及硬度在 HB400 以下的钢。对薄壁零件和金属薄板也不适用。

为了使试验结果精确,按国标 GB231—63 规定,压痕中心距试样边缘的距离应不小于压痕直径的 2.5 倍;相邻两压痕的中心距离应不小于压痕直径的 4 倍;被测试表面要制成尽可能光洁的平面;压痕直径  $d$  的大小应在  $0.25D < d < 0.6D$  范围内。

布氏硬度的特点是压痕较大,代表着金属在较大体积内的平均性能。对铸铁和其它轴承合金等,是其它硬度试验法所不能代替的。对于碳钢和一般低合金结构钢,布氏硬度与强度之间有如下的近似关系(但不能看作很准确的):

$$\sigma_s = 0.34 \sim 0.36 \text{ HB}$$

布氏硬度试验法的缺点:测量压痕比较麻烦,操作也慢,并且在被测工件的表面留有较大的压痕,故不宜测试成品。

生产中的大型工件需要测定布氏硬度时,常用可携带的锤击式布氏硬度计。它的特点是试验方法简单,操作方便,但精确度较低(误差范围 7~10%),故仅仅用在难于搬运的大型工件。

2. 洛氏硬度 洛氏硬度试验法是目前工厂中应用最广泛的试验方法。它的测量原理和布氏硬度基本相似,不同的是洛氏硬度不是测量压痕的面积,而是测量压痕的深度,压痕愈浅硬度值愈高。硬度值可以在测定时直接读出,使用上比布氏硬度方便。

洛氏硬度常用的一种标准是用  $120^\circ$  角圆锥形金刚石压头,如图 1-7 所示。图中 0-0 为圆锥压头的初始位置;1-1 为初载荷(10kgf)作用下的压头压入深度为  $h_1$  时的位置,加初载荷的目的是使压头与被测工件的表面紧密接触,避免由于工件表面不平整而影响测定结果的精确性;2-2 为总载荷(初载荷+主载荷)作用下压头压入深度为  $h_2$  时的位置;3-3 为卸除主载荷后,由于被测试金属弹性变形恢复,而使压头略为提高时的位置。这时,压头实际压入的深度为  $h_3$ 。故由于主载荷所引起的塑性变形而使压头压入深度  $h = h_3 - h_1$ ,并以此来衡量硬度。显然,  $h$  愈大则硬度愈低,反之则硬度愈高。考虑到习惯上都是数值愈大,硬度愈高,因此采用一个常数  $K$  减去  $h$  来表示硬度大小,并用每 0.002mm 的压痕深度为一个硬度单位,由此获得的硬度值称为洛氏硬度值,用符号 HR 表示。因此

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

式中的  $K$  为常数,用金刚石圆锥体作压头时  $K = 0.2\text{mm}$ ;用淬火钢球作压头时  $K = 0.26\text{mm}$ 。由此获得的洛氏硬度值 HR 为一无名数,所得的硬度值由硬度计的指示器上直接读出。

为了能用同一硬度计测定从软到硬的各种金属材料的硬度,洛氏硬度采用了不同的压头和载荷,组成多种不同的洛氏硬度标尺,其中最常用的是 HRA、HRB、HRC 三种,这三种标尺所用的压头、载荷及硬度许用范围见表 1-1。

由上可知,洛氏硬度的测定范围可以从较软的有色金属到极硬的硬质合金和淬火钢,压痕极小,在成品上也可以测量,并能直接读出硬度值,操作迅速简便,因此在生产中被广泛

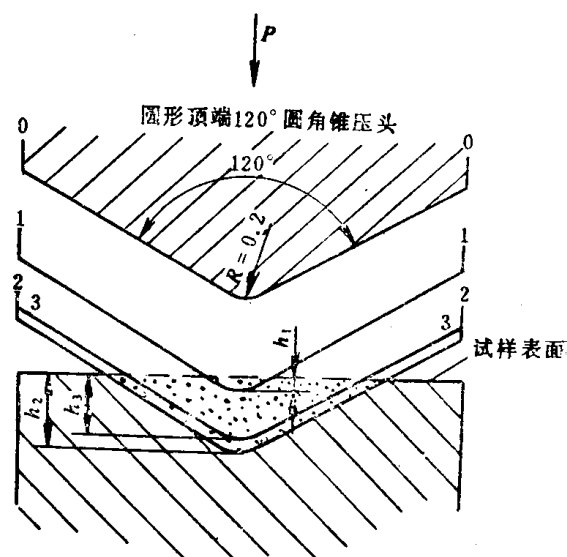


图1-7 洛氏硬度试验原理示意图