

高等 学校 教材

# 模具材料 及 表面工程技术

张 蓉 钱书琨 主编



化学工业出版社

高等学校教材

# 模具材料及表面工程技术

张 蓉 钱书琨 主编



化学工业出版社

· 北 京 ·

本书共分9章,分别叙述了模具材料的特性与分类、模具失效、冷作模具材料、热作模具材料、塑料模具材料、压铸模具材料、模具钢的热处理及模具表面强化技术等内容。该书内容精炼,突出了模具材料和表面处理实用技术实例和应用。

本书可作为大学“材料成型及控制工程”专业以及高职高专“模具设计与制造”专业的教材,也可供企业从事模具设计、制造以及模具外贸的人员参考。

#### 图书在版编目(CIP)数据

模具材料及表面工程技术/张蓉,钱书琨主编. —北京:  
化学工业出版社, 2008.1  
ISBN 978-7-122-01556-3

I. 模… II. ①张…②钱… III. ①模具-材料②模具-  
金属表面处理 IV. TG76

中国版本图书馆CIP数据核字(2007)第179084号

---

责任编辑:陶艳玲

装帧设计:关 飞

责任校对:蒋 宇

---

出版发行:化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街13号 邮政编码100011)

印 装:北京市兴顺印刷厂

850mm×1168mm 1/32 印张8 字数208千字

2008年1月北京第1版第1次印刷

---

购书咨询:010-64518888(传真:010-64519686) 售后服务:010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

---

定 价:15.00元

版权所有 违者必究

# 前 言

模具是现代“工业之母”，模具技术已成为衡量一个国家机械制造水平的重要标志。模具的性能好坏、寿命长短，直接影响产品的质量和经济效益，而模具材料的热处理以及表面处理是影响模具寿命诸因素中的主要因素。

为了适应“材料成型及控制工程”专业以及高职高专“模具设计与制造”专业课程开设的需要，在湖南省模具设计与制造学会的指导下，我们编写了《模具材料与表面工程技术》这本教材。

本书由湖南省模具学会理事、湖南工学院钱书琨教授策划并构思，由湖南工学院张蓉老师精心选材与编写，全书共分9章，分别讲述了模具材料的特性与分类、模具失效、冷作模具材料、热作模具材料、塑料模具材料、压铸模具材料、模具钢的热处理及模具表面强化技术等内容。内容精炼，实用性强。

本书在编写过程中得到了湖南大学的叶久新教授、湘潭大学文荫国教授、湖南工学院曾立平教授的大力支持和帮助，在此表示诚挚的感谢。

同时，本书参考了国内外公开出版的同类书籍并引用了部分图和表格，在此向这些书籍的作者表示敬意和感谢。

由于编者水平有限，收集技术资料有限，在书中定有许多不尽如人意的地方，恳切希望同行们不吝赐教，指出改进意见，本人不胜感谢。

编者

2007年10月

# 目 录

|                            |    |
|----------------------------|----|
| 第 1 章 绪论 .....             | 1  |
| 第 2 章 模具材料的特性与分类 .....     | 3  |
| 2.1 模具及模具材料的分类 .....       | 3  |
| 2.1.1 模具的类型 .....          | 3  |
| 2.1.2 模具材料的类型 .....        | 4  |
| 2.2 模具材料与使用寿命 .....        | 4  |
| 2.2.1 模具材料与模具寿命 .....      | 4  |
| 2.2.2 铸造与模具寿命 .....        | 5  |
| 2.2.3 热处理与模具寿命 .....       | 5  |
| 2.3 模具材料的选用原则 .....        | 6  |
| 2.3.1 模具材料的主要性能指标 .....    | 6  |
| 2.3.2 模具材料的工艺性能指标 .....    | 7  |
| 2.4 我国模具材料的生产现状和发展趋势 ..... | 8  |
| 2.4.1 我国模具钢种的发展状况 .....    | 8  |
| 2.4.2 国外模具钢的发展 .....       | 10 |
| 2.4.3 国内外模具钢应用及发展比较 .....  | 11 |
| 2.4.4 我国模具钢产业的展望 .....     | 14 |
| 第 3 章 模具失效概述 .....         | 16 |
| 3.1 模具失效的基本形式和原因 .....     | 16 |
| 3.1.1 塑性变形失效 .....         | 16 |
| 3.1.2 磨损失效 .....           | 17 |
| 3.1.3 疲劳失效 .....           | 18 |
| 3.1.4 冷热疲劳失效 .....         | 19 |
| 3.1.5 断裂失效 .....           | 19 |
| 3.2 影响模具寿命的因素 .....        | 21 |

|            |                               |           |
|------------|-------------------------------|-----------|
| 3.2.1      | 结构设计不合理引起的失效 .....            | 22        |
| 3.2.2      | 模具材料质量好坏引起的失效 .....           | 23        |
| 3.2.3      | 模具的机工加工不当引起的失效 .....          | 26        |
| 3.2.4      | 模具热处理工艺不合适引起的失效 .....         | 28        |
| 3.2.5      | 操作方法不正确造成的失效 .....            | 30        |
| <b>第4章</b> | <b>冷作模具材料 .....</b>           | <b>32</b> |
| 4.1        | 冷作模具材料及性能要求 .....             | 32        |
| 4.1.1      | 使用性能 .....                    | 34        |
| 4.1.2      | 工艺性能 .....                    | 34        |
| 4.2        | 碳素工具钢 .....                   | 35        |
| 4.2.1      | 牌号 .....                      | 35        |
| 4.2.2      | 力学性能 .....                    | 35        |
| 4.2.3      | 工艺性能 .....                    | 37        |
| 4.2.4      | 选用范围 .....                    | 41        |
| 4.3        | 高碳低合金钢 .....                  | 41        |
| 4.3.1      | 类型及牌号 .....                   | 41        |
| 4.3.2      | 工艺性能 .....                    | 42        |
| 4.3.3      | 典型钢种介绍 .....                  | 44        |
| 4.4        | 高碳高铬模具钢 .....                 | 48        |
| 4.4.1      | Cr12 钢 .....                  | 49        |
| 4.4.2      | Cr12MoV 和 CrMo1V1(D2) 钢 ..... | 50        |
| 4.5        | 高碳中铬模具钢 .....                 | 53        |
| 4.5.1      | 力学性能 .....                    | 54        |
| 4.5.2      | 工艺性能 .....                    | 54        |
| 4.5.3      | 典型钢种介绍 .....                  | 56        |
| 4.6        | 高速耐磨模具钢 .....                 | 60        |
| 4.6.1      | 力学性能 .....                    | 61        |
| 4.6.2      | 工艺性能 .....                    | 61        |
| 4.6.3      | 典型钢种介绍 .....                  | 64        |
| 4.7        | 特殊用途冷作模具钢 .....               | 68        |
| 4.7.1      | 7CrSiMnMoV (CH-1) 钢 .....     | 68        |

|            |                                        |           |
|------------|----------------------------------------|-----------|
| 4.7.2      | 马氏体时效钢 .....                           | 69        |
| 4.7.3      | 7Mn15Cr2Al3V2WMo (7Mn15) 无磁冷作模具钢 ..... | 69        |
| 4.7.4      | 金属陶瓷型硬质合金 .....                        | 70        |
| 4.7.5      | 钢结硬质合金 .....                           | 71        |
| 4.7.6      | 低熔点合金 .....                            | 71        |
| 4.7.7      | 锌基合金 .....                             | 72        |
| 4.8        | 冷作模具材料的选用 .....                        | 72        |
| 4.8.1      | 冲裁模 .....                              | 72        |
| 4.8.2      | 拉深模 .....                              | 74        |
| 4.8.3      | 弯曲模 .....                              | 74        |
| 4.8.4      | 拉丝模 .....                              | 74        |
| 4.8.5      | 冷挤压模 .....                             | 75        |
| 4.8.6      | 冷镦模 .....                              | 75        |
| 4.8.7      | 冷冲模结构零件材料的选用 .....                     | 76        |
| <b>第5章</b> | <b>热作模具材料 .....</b>                    | <b>77</b> |
| 5.1        | 热作模具材料分类及性能要求 .....                    | 77        |
| 5.2        | 低耐热高韧性热作模具钢 .....                      | 80        |
| 5.2.1      | 工艺性能 .....                             | 81        |
| 5.2.2      | 几种典型钢种介绍 .....                         | 83        |
| 5.3        | 中耐热韧性热作模具钢 .....                       | 89        |
| 5.3.1      | 工艺性能 .....                             | 90        |
| 5.3.2      | 几种典型钢种介绍 .....                         | 92        |
| 5.4        | 高耐热热作模具钢 .....                         | 96        |
| 5.4.1      | 类型与牌号 .....                            | 96        |
| 5.4.2      | 工艺性能 .....                             | 97        |
| 5.4.3      | 几种典型钢种介绍 .....                         | 99        |
| 5.5        | 特殊用途热作模具钢 .....                        | 109       |
| 5.5.1      | 奥氏体耐热钢 .....                           | 109       |
| 5.5.2      | 高温耐蚀热作模具钢 .....                        | 111       |
| 5.6        | 热作模具材料的选用 .....                        | 111       |
| 5.6.1      | 热锻模具材料的选用 .....                        | 111       |

|            |                           |            |
|------------|---------------------------|------------|
| 5.6.2      | 热挤压模具材料的选用 .....          | 113        |
| 5.6.3      | 热切边模具与热锻模具材料的选用 .....     | 114        |
| <b>第6章</b> | <b>塑料模具材料 .....</b>       | <b>116</b> |
| 6.1        | 塑料模具的工作条件、失效形式及性能要求 ..... | 116        |
| 6.1.1      | 塑料模具的分类与工作条件 .....        | 116        |
| 6.1.2      | 塑料模具的失效形式 .....           | 117        |
| 6.1.3      | 对塑料模具材料的性能要求 .....        | 118        |
| 6.2        | 塑料模具用钢 .....              | 119        |
| 6.2.1      | 塑料模具用钢分类 .....            | 119        |
| 6.2.2      | 渗碳型塑料模具用钢 .....           | 121        |
| 6.2.3      | 预硬型塑料模具钢 .....            | 123        |
| 6.2.4      | 淬硬性塑料模具钢 .....            | 128        |
| 6.2.5      | 时效硬化型塑料模具用钢 .....         | 128        |
| 6.2.6      | 耐腐蚀型塑料模具钢 .....           | 134        |
| 6.3        | 其他塑料模具材料 .....            | 136        |
| 6.3.1      | 非铁合金材料 .....              | 136        |
| 6.3.2      | 钢结硬质合金 .....              | 137        |
| 6.3.3      | 环氧树脂 .....                | 138        |
| 6.3.4      | 低熔点合金 .....               | 138        |
| 6.4        | 塑料模具材料的选用 .....           | 139        |
| 6.4.1      | 塑料模具成型零件材料的选用 .....       | 139        |
| 6.4.2      | 塑料模具结构零件材料的选用 .....       | 141        |
| <b>第7章</b> | <b>压铸模具材料 .....</b>       | <b>143</b> |
| 7.1        | 压铸模具分类及工作条件 .....         | 143        |
| 7.1.1      | 压铸模具的分类 .....             | 143        |
| 7.1.2      | 国外压铸模具钢 .....             | 143        |
| 7.1.3      | 压铸模具的工作条件及性能要求 .....      | 145        |
| 7.2        | 锌合金压铸模具 .....             | 146        |
| 7.3        | 铝合金压铸模具 .....             | 146        |
| 7.4        | 铜合金压铸模具 .....             | 148        |
| 7.4.1      | 模具工作条件及失效形式 .....         | 148        |

|                             |            |
|-----------------------------|------------|
| 7.4.2 对模具用钢的性能要求与模具用钢 ..... | 148        |
| 7.5 黑色金属压铸模具 .....          | 149        |
| 7.5.1 黑色金属压铸模的工作条件 .....    | 149        |
| 7.5.2 模具材料 .....            | 149        |
| 7.6 压铸模具材料的选用 .....         | 150        |
| <b>第8章 模具钢的热处理</b> .....    | <b>153</b> |
| 8.1 模具钢热处理的基本工艺 .....       | 153        |
| 8.1.1 退火 .....              | 153        |
| 8.1.2 正火 .....              | 157        |
| 8.1.3 淬火 .....              | 158        |
| 8.1.4 回火 .....              | 162        |
| 8.2 冷作模具钢的热处理 .....         | 164        |
| 8.2.1 模具钢性能的要求 .....        | 165        |
| 8.2.2 碳素工具钢的热处理 .....       | 166        |
| 8.2.3 高碳低合金模具钢的热处理 .....    | 171        |
| 8.2.4 高耐磨冷作模具钢的热处理 .....    | 180        |
| 8.3 热作模具钢的热处理 .....         | 185        |
| 8.3.1 锤锻模具钢的热处理 .....       | 185        |
| 8.3.2 压铸和挤压模具钢的热处理 .....    | 190        |
| 8.4 特殊用途模具钢的热处理 .....       | 193        |
| 8.4.1 高速钢类型模具钢的热处理 .....    | 193        |
| 8.4.2 其他种类模具钢的热处理 .....     | 196        |
| 8.5 塑料模具钢的热处理 .....         | 198        |
| 8.6 模具热处理缺陷 .....           | 199        |
| 8.6.1 过热过烧 .....            | 200        |
| 8.6.2 氧化与脱碳 .....           | 200        |
| 8.6.3 变形 .....              | 201        |
| 8.6.4 淬火裂纹 .....            | 202        |
| <b>第9章 模具表面强化</b> .....     | <b>207</b> |
| 9.1 渗碳 .....                | 207        |
| 9.1.1 固体渗碳 .....            | 207        |

|                                |     |
|--------------------------------|-----|
| 9.1.2 气体渗碳 .....               | 210 |
| 9.2 渗氮 .....                   | 215 |
| 9.2.1 气体渗氮 .....               | 217 |
| 9.2.2 离子渗氮 .....               | 220 |
| 9.2.3 渗碳件常见缺陷, 产生原因及预防措施 ..... | 221 |
| 9.3 碳氮共渗 .....                 | 222 |
| 9.3.1 中温气体碳氮共渗 .....           | 222 |
| 9.3.2 气体软氮化 .....              | 225 |
| 9.4 渗硼 .....                   | 230 |
| 9.4.1 渗硼方法 .....               | 230 |
| 9.4.2 渗硼层的组织与性能 .....          | 231 |
| 9.4.3 渗硼后的热处理 .....            | 231 |
| 9.4.4 渗硼模具用钢的选择 .....          | 232 |
| 9.4.5 渗硼的应用 .....              | 232 |
| 9.5 其他化学热处理 .....              | 233 |
| 9.5.1 渗铬 .....                 | 233 |
| 9.5.2 渗硫和硫氮共渗 .....            | 234 |
| 9.6 气相沉积技术 .....               | 236 |
| 9.6.1 气相沉积技术概述 .....           | 236 |
| 9.6.2 碳化钛涂层 .....              | 236 |
| 9.7 激光强化技术 .....               | 238 |
| 9.7.1 激光相变硬化 (激光淬火) .....      | 238 |
| 9.7.2 激光非晶化 .....              | 238 |
| 9.7.3 激光表面合金化 .....            | 238 |
| 9.8 热喷涂 .....                  | 239 |
| 参考文献 .....                     | 240 |

# 第 1 章 绪 论

模具是一种重要的加工工艺装备。模具加工具有效率高、质量好、节约原材料、降低成本等优点，因而被广泛应用于机械工业生产的各个领域。模具的性能好坏、寿命长短，直接影响产品的质量和经济效益，而模具材料与热处理以及表面处理是影响模具寿命诸因素中的主要因素。

目前在世界先进的工业发达国家中，由于广泛采用和发展了模锻法和模压法成型的少、无切削加工工艺，促使模具制造业成为一个发展极为迅速的、独立的新兴行业，已有不少工业发达国家如美国、日本等国家的模具制造业的产值已经超过机床行业，在基础工业中占有重要地位。近年来，我国的少、无切削工艺也在飞速发展，一些高效率、高性能、多工位加工机床的不断涌现，对配套使用的模具在性能和寿命上，提出了愈来愈高的要求，模具的寿命问题已逐渐上升为主要问题。

当前在我国的许多企业中，模具的使用寿命很低，因为模具寿命低，而使一些少、无切削新工艺（如黑色金属压铸、高速模锻冷轧齿轮、黑色金属热挤压等）迟迟未能大量投入生产；因为模具寿命低，而使一些高效率先进的多工位机床（如多工位高速模锻轴承环的热锻机，多工位大规格冷锻机等）不能发挥其应有的先进作用；因为模具寿命低，国内的精密模锻和冷挤压技术及冷锻十字槽螺栓等，虽然已经投入生产，其成本远远高于先进工业国家外，一些工厂经常使用的冲压模、冷锻模、热锻模及有色金属压铸模等，也往往由于未能综合考虑影响使用寿命的因素，也使模具使用寿命偏低。由于上述种种原因，对模具造成极大的浪费，目前我国用于制造模具而消耗的模具钢，已接近或超过某些工业生产发达的国家，这说明我国的模具制造技术与国际先进水平相比差距甚大，设

计、制造及使用模具的各类人员，对模具的工作条件、使用性能、损坏原因、模具材料特性等问题，缺乏足够的认识，全国由于模具寿命低而带来的浪费，估计每年不下数亿元人民币（其中主要是高级合金钢材和能源）。如将由于模具寿命低对产品的质量和产量所带来的损失也考虑在内，则浪费更为严重。

现代模具有以下几个特点。一是产品覆盖面广，批量大。根据统计，飞机、坦克、汽车、拖拉机、电机电器、仪器仪表等产品 60% 以上的零件，自行车、洗衣机、电冰箱、电风扇、照相机等产品 85% 以上的零件，都需要采用模具生产。由于产品的批量大，模具在提高经济效益方面起着关键的作用。二是模具生产影响产品的开发、更新换代和发展速度。为了适应产品更新，必须转向多品种小批量产品的开发，这就需要快速、经济地制模。三是模具的成本占产品成本的 20% 左右，其使用寿命直接影响到产品成本。四是模具向大型化、复杂化、精密化和自动化发展。

总之，模具用量与日俱增，对其要求也越来越高。为了提高模具的使用寿命，降低成本，增加效益，这就要求合理选用模具材料，合理实施热处理和表面强化，大力推广应用新材料、新工艺和新技术。

## 第 2 章 模具材料的特性与分类

随着工业技术的迅速发展，为了提高产品质量，降低生产成本，提高生产效率和材料利用率，国内外的制造业广泛地采用各种先进的无切削、少切削工艺，如精密冲压、精密锻造、压力铸造、冷挤压及等温超塑性成型等新技术，代替传统的切削加工。据统计，目前家用电器约 80% 左右的零部件依靠模具加工，机电工业中约 70% 的零部件采用模具成型，塑料制品、陶瓷制品、橡胶制品、建材产品的大部分也采用模具成型。

1959 年，我国根据资源状况，制定了我国冶金工业部标准 YB7—59，到 1977 年，在整顿原有钢种系列的基础上，吸收我国历年来开发工作的成就，制定了我国第一个合金工具钢国家标准 GB 1299—77；1985 年，又对该标准进行了修正，颁发了 GB/T 1299—85，初步建立起具有我国特色的、接近世界先进水平的，包括冷作模具钢、热作模具钢、塑料模具钢和无磁模具钢的模具钢种标准系列，基本上可以适应使用部门和生产部门的需要。

### 2.1 模具及模具材料的分类

模具是一种高效率的工艺装备，在电子、冶金、轻工、机械制造等行业的生产中广泛应用。而模具的使用效果、使用寿命在很大程度上取决于模具的结构设计和制造水平，尤其与模具材料的选用和热处理质量的好坏有关。

#### 2.1.1 模具的类型

为了便于模具材料的选用，通常根据工作条件将模具分为冷作模具、热作模具、型腔模具三大类。

① 冷作模具 根据工艺特点，可将冷作模具分为冷冲裁模具

和冷变形模具两类。冷冲裁模具主要包括各种薄板冷冲裁模具和厚板冷冲裁模具。冷变形模具主要包括各种冷挤压模具、冷镦模具、冷拉深模具和冷弯曲模具等。

② 热作模具 热作模具可分为热冲切模具、热变形模具和压铸模具三类。热冲切模具包括各种热切边模具和热切料模具。热变形模具包括各种锤锻模具、压力机锤锻模具和热挤压模具。压铸模具包括各种铝合金压铸模具、铜合金压铸模具及黑色金属压铸模具等。

③ 型腔模具 根据成型材料的不同,可将型腔模具分为塑料模具、橡胶模具、陶瓷模具、玻璃模具、粉末冶金模具等。

### 2.1.2 模具材料的类型

用于制造模具的材料很多,通常可分为钢铁材料、非铁金属和非金属材料三大类,目前应用最多的还是钢铁材料。

① 钢铁材料 用于制造模具的钢铁材料主要是模具钢。通常将模具钢分为冷作模具钢、热作模具钢、塑料模具钢三类。

② 非铁金属材料 用于制造模具的非铁金属材料主要有铜基合金、低熔点合金、难熔合金、硬质合金、钢结硬质合金等。

③ 非金属材料 用于制造模具的非金属材料主要有陶瓷、橡胶、塑料等。

## 2.2 模具材料与使用寿命

模具寿命的提高,最根本的办法是采用高性能的模具材料。尽管影响模具寿命的因素很多,但模具材料的合理选用是一个很重要的因素。

### 2.2.1 模具材料与模具寿命

近年来,我国研制出不少适合我国特点的新型高效模具材料,如塑料模具钢中的 0Cr16Ni4Cu3Nb、10Ni3MnCuAlMo、Y55CrNiMnMoV、5CrNiMnMoVSCa、8Cr2MnWMoVS、06Ni6CrMoVTiAl、Y20CrNi3AlMnMo 等,冷作模具钢中的 6Cr4W3Mo2VNb、

7Cr7Mo3V2Si、7CrSiMnMoV、6CrNiSiMnMoV 等, 热作模具钢中的 3Cr3Mo3W2V、5Cr4W5Mo2V、4CrMnSiMoV、4Cr2NiMoV、5Cr4Mo3SiMnVAI 等, 这些新钢种的采用, 都获得提高模具寿命数倍的效果。因此作为模具工作者, 应正确选用并合理使用模具材料, 以保证模具的正常使用, 并提高模具的使用寿命。

模具钢的冶金质量对模具寿命有很大的影响, 应提出相应的要求, 检验合格后再进行加工。采用先进的冶金生产技术, 如电渣重熔、炉外精炼、真空脱气等都能明显提高模具钢的冶金质量和模具寿命。

### 2.2.2 铸造与模具寿命

目前, 我国模具的标准化程度很低, 钢材的规格较少, 用户需将所购的圆钢改锻成模具毛坯, 因此, 锻造的第一个目的是使钢材达到模具毛坯的尺寸及规格, 为后续加工做好准备。锻造的第二个目的是改善模具钢的组织 and 性能, 使大块碳化物破碎, 并均匀分布, 改善金属纤维的方向性, 使流线合理分布, 消除或减轻冶金缺陷, 提高模具钢的致密度。

从冶金厂购进的钢材首先要检验碳化物的不均匀度, 如果碳化物的不均匀度级别大于 3 级, 则钢材的力学性能会明显下降。对这类钢材, 要采取多向多次锻拔, 以便尽量击碎碳化物, 改善锻件金属纤维的方向性。

模具钢的碳含量、合金元素含量都较高, 导热性差, 特别是高碳高合金钢的锻造温度范围较窄, 如操作不当极易锻裂。因此, 模具钢的锻造要严格遵守锻造工艺。加热温度不能过高, 加热要均匀, 加热速度不能太快。锻造时要轻重掌握适度, 停锻后应慢冷。

### 2.2.3 热处理与模具寿命

热处理可使模具获得所需的组织和性能, 保证在正常服役条件下有一定的使用寿命。但是, 如果热处理工艺不合理或操作不当, 将会产生明显的热处理缺陷, 使模具出现早期失效。

预备热处理的主要目的是为模具的机械加工和最终热处理作组织准备, 其最关键的因素是加热温度、冷却速度或等温温度的

选择。

最终热处理的关键是淬火工艺的制定,其中包括淬火加热温度、淬火冷却速度的合理选择。淬火加热时的保护也很重要,如果保护不当,将引起模具表面脱碳,从而降低模具的耐磨性和疲劳强度。对于精密模具或性能要求高的模具,可以采用真空加热或保护气氛加热,确保模具表面无加热缺陷。

回火工艺也是最终热处理中的重要工序,回火一定要充分,高合金钢一般要回火二次以上,这是因为钢中的残留奥氏体是在回火冷却过程中转变为马氏体的,经两次以上的回火,可使残余奥氏体充分转变,否则,将在模具中残留较大的淬火应力,降低模具的韧性。

对于用高合金钢制造的高精度模具,为提高模具的硬度和尺寸稳定性,淬火后可采用 $-80\sim-40^{\circ}\text{C}$ 的冷处理。冷处理后,立即进行回火。

## 2.3 模具材料的选用原则

一般地说,应根据模具加工能力和模具的服役条件,结合模具材料的性能和其他因素来选择符合要求的模具材料。对于某一种类的模具,很多材料从基本性能上看都能符合要求,然而必须根据所制成模具的使用寿命、生产率、模具制造工艺的难易程度及成本高低来做出综合评价,这就必须同时考虑模具材料的使用性能、工艺性能和生产成本等因素。

### 2.3.1 模具材料的主要性能指标

各种模具的服役条件不同,对模具材料的性能要求也不相同。模具工作者常要根据模具的服役条件和使用寿命要求,合理地选用模具材料及热处理工艺,使之达到主要性能最优,而其他性能损失最小的最佳状态。对各类模具材料提出的使用性能要求主要包括硬度、强度、塑性、韧性等。

① 硬度和热硬性 硬度是模具材料的主要性能指标,模具在应

力的作用下,应能保持其形状和尺寸不变。因此,模具应具有足够的硬度,如冷作模具的硬度一般应保持在 60HRC 左右,而热作模具和塑料模具的硬度可适当降低,一般要求在 40~50HRC 范围内。

热硬性是指模具在高温工作条件下,保持其组织和性能稳定的能力,这是热作模具和重载快速冷作模具的重要性能指标。一般要求在 500~600℃ 条件下,仍能保持足够的硬度。

② 耐磨性 决定模具使用寿命的重要因素往往是模具材料的耐磨性,模具在服役中承受相当大的压应力和摩擦力,要求模具能够在强烈摩擦下仍保持其精度不变。模具的磨损可分为机械磨损、氧化磨损和熔融磨损三种类型。模具的耐磨性不仅取决于材料的成分、组织和性能,而且与模具的工作温度、压力状态、润滑状态等因素有很大的关系。

③ 强度和韧性 模具在服役中承受拉压、冲击、振动、扭转和弯曲等应力,重负荷的模具往往由于强度不够、韧性不足,造成模具局部塌陷、崩刃和断裂而发生早期失效。因此,使模具材料保持足够的强度和韧性,将有利于延长模具的服役期限。实践证明,根据服役条件和性能要求,合理地选择模具材料的化学成分、组织状态和热处理工艺,能够得到最佳的强度和韧性配合。

④ 抗疲劳性 模具工作时承受着机械冲击和热冲击的交变应力,热作模具在服役过程中,热交变应力更明显地导致模具热裂。受应力和温度梯度的影响而引起裂纹,往往是在型腔表面形成浅而细的裂纹,它的迅速传播和扩展导致灾难性事故而使模具报废。提高材料的抗疲劳性,可有效地推迟疲劳裂纹的形成与扩展。

### 2.3.2 模具材料的工艺性能指标

在模具生产成本中,材料费用只占 15% 左右,而机械加工、热处理、装配和管理等费用占 80% 以上。所以,模具材料的工艺性能就成为影响模具生产成本和制造难易的主要因素之一。模具材料的工艺性能主要有以下几种。

① 可加工性 钢材的可加工性主要包括切削、磨削、抛光、冷拔等加工性和锻压加工性等。模具钢大多属于过共析钢和莱氏体钢,热