

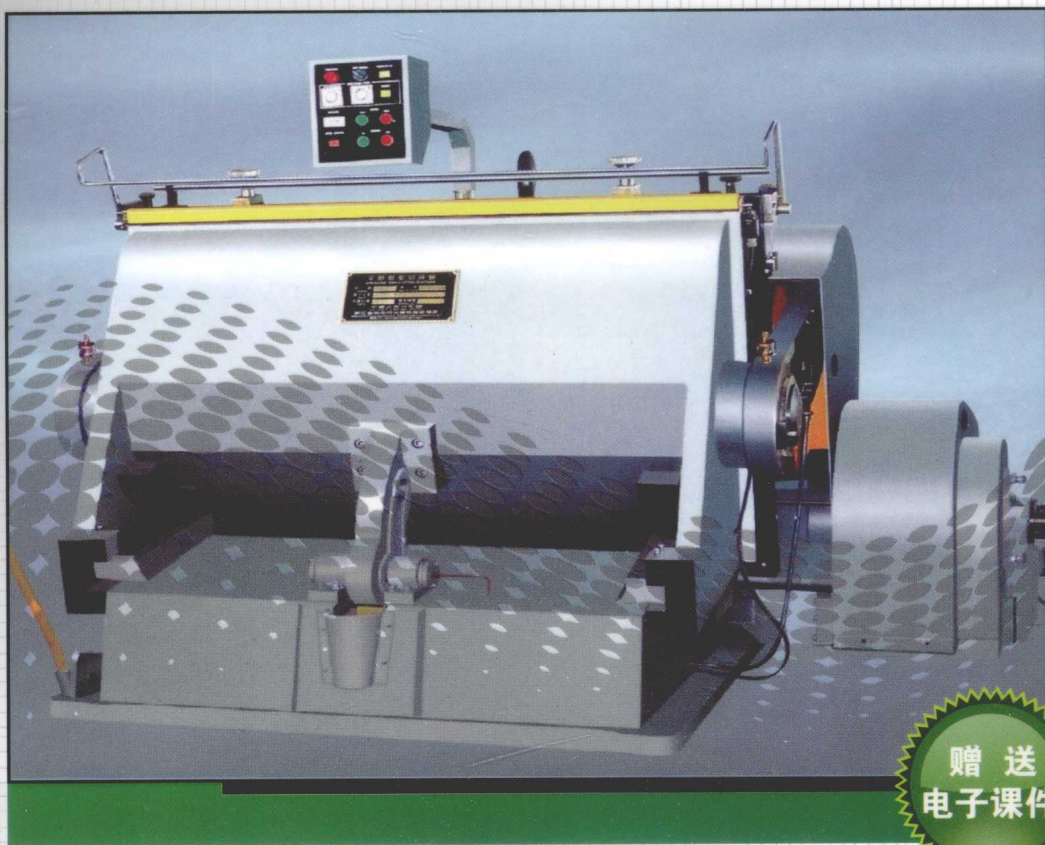


高职高专机电类专业基础课规划教材

# 机械制造基础

JIXIE ZHIZAO JICHU

于文强 张丽萍 主 编  
胡 静 支保军 张兆明 副主编  
张俊玲 主 审  
黄道权



赠 送  
电子课件

## 本书特色

- ❁ 结构严谨，内容丰富，实用性强。
- ❁ 理论知识阐述条理清晰，详简得当，易于掌握。
- ❁ 注重理论与实践相结合、理论与经验相结合、经验与技术相结合。



清华大学出版社



# 机械制造基础

机械制图 公差配合与测量技术



机械制图

机械制图 机械制图 机械制图

机械制图 机械制图 机械制图 机械制图 机械制图

机械制图 机械制图 机械制图 机械制图 机械制图 机械制图 机械制图 机械制图



机械制图 机械制图

高职高专机电类专业基础课规划教材

# 机械制造基础

于文强 张丽萍 主 编  
胡 静 支保军 张兆明 张俊玲 副主编  
黄道权 主 审

清华大学出版社

北 京

## 内 容 简 介

机械制造基础是机械制造及其相关专业的专业基础课。本书参考了大量机械制造行业的有关规范,在训练项目选题的内容上,依据机械制造专业教学和生产特点,结合工作过程系统化课程结构所涉及的教育理论,在传统教学内容的基础上进行了适当的整合规划;以岗位作为主体线索依次介绍了热处理、铸造、锻压、焊接、车削、铣削、刨拉镗削、磨削、钳工、数控加工、电火花加工等内容,充分满足了高职高专机械制造及其相关专业的实际教学需要。

本书可作为高职高专院校机械工程、机电工程、机械制造以及与机械有关专业的本科生或专科生的教材,也可以作为机械制造行业培训或职业资格认证的参考读物。

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签,无标签者不得销售。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

### 图书在版编目(CIP)数据

机械制造基础/于文强,张丽萍主编;胡静,支保军,张兆明,张俊玲副主编;黄道权主审. --北京:清华大学出版社,2010.7

(高职高专机电类专业基础课规划教材)

ISBN 978-7-302-22742-7

I. ①机… II. ①于… ②张… ③胡… ④支… ⑤张… ⑥张… ⑦黄… III. ①金属加工—高等学校:技术学校—教材 ②机械制造—高等学校:技术学校—教材 IV. ①TG ②TH

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 088288 号

责任编辑:孙兴芳 杨作梅

装帧设计:杨玉兰

责任校对:王 晖

责任印制:王秀菊

出版发行:清华大学出版社

地 址:北京清华大学学研大厦 A 座

<http://www.tup.com.cn>

邮 编:100084

社 总 机:010-62770175

邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62776969, [c-service@tup.tsinghua.edu.cn](mailto:c-service@tup.tsinghua.edu.cn)

质 量 反 馈:010-62772015, [zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn](mailto:zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn)

印 刷 者:北京市世界知识印刷厂

装 订 者:北京国马印刷厂

经 销:全国新华书店

开 本:185×260 印 张:25.25 字 数:605 千字

版 次:2010 年 7 月第 1 版 印 次:2010 年 7 月第 1 次印刷

印 数:1~4000

定 价:38.00 元

---

产品编号:032351-01

# 前 言

机械制造基础是机械设计制造及其相关专业的专业基础课,本书以机械制造工作过程为导向依据,以项目课题为专业知识、技能的载体,力求做到工作过程的系统化,为充分满足机械制造及其相关专业的教学需要而编写,尽可能让学生所学的专业理论知识在实践课题中得到应用,从而促进学生对专业基础知识的理解和掌握。项目选题以专业及专业基础知识为背景,以实践教学过程为载体,培养学生对专业理论知识的应用能力,基本工程问题的解决能力;培养学生良好的职业素质、严谨的工作态度、优良的工作作风。

在本书的编写过程中,参考了大量机械制造行业的有关规范。在项目选题的内容上,依据机械制造基础专业教学和生产特点,结合工作过程系统化课程结构所涉及的教育理论,在传统教学内容的基础上进行了适当的整合规划。以岗位作为主体线索,依次介绍了热处理、铸造、锻压、焊接、车削、铣削、刨拉镗削、磨削、钳工、数控加工和电火花加工等内容。

本书的特点及思路如下。

(1) 从我国机械制造及相关专业的培养目标出发,主要讲述了金属材料、热加工与冷加工、刀具、机床等相关的基础知识及训练课题,并对工程项目中经常出现的或可能出现的问题作了深入剖析和论述。

(2) 本书中项目课题的安排以趣味型、成果型为主,深入浅出,以提高学生的学习兴趣。

(3) 书中部分插图采用 SolidWorks 所创建的三维实体模型,增强视觉效果。

(4) 本书创建 QQ 群: 39024033,用于专业教师同行探讨问题、研究教学方法、交流教学资源,同时为本书提供课件下载。

本书由山东理工大学于文强,潍坊教育学院张丽萍,淄博技师学院张兆明,常德计算机专修学院黄道权,淄博市技术学院张俊玲,德州职业技术学院胡静、支保军,湖南同德职业学院谢辅轩,常德财经学院李建辉,常德工业学校刘峰,常德现代技术职业学校郭作杰,常德技术学校喻春富,常德纺织机械技工学校谢功清,常德网络信息学校谢显清等多位教学一线老师合作编写。

本书由黄道权统稿并担任主审,在此表示衷心的感谢。

由于编者水平有限,编写时间仓促,书中不足之处在所难免,恳请广大读者批评指正,编者邮箱: yyu2000@126.com。

编 者

# 目 录

|                            |    |                            |    |
|----------------------------|----|----------------------------|----|
| <b>第 1 章 金属材料</b> .....    | 1  | 2.1.5 落砂和清理                | 41 |
| 1.1 钢的热处理                  | 2  | 2.1.6 项目案例精解               | 43 |
| 1.1.1 钢的退火和正火              | 2  | <b>2.2 特种铸造工艺</b> .....    | 45 |
| 1.1.2 淬火和回火                | 4  | 2.2.1 金属型铸造                | 46 |
| 1.1.3 钢的表面热处理              | 6  | 2.2.2 压力铸造                 | 47 |
| 1.1.4 热处理设备                | 7  | 2.2.3 低压铸造                 | 48 |
| 1.1.5 项目案例精解               | 11 | 2.2.4 离心铸造                 | 49 |
| <b>1.2 钢材的火花鉴别</b> .....   | 11 | 2.2.5 熔模铸造                 | 50 |
| 1.2.1 火花鉴别常用设备及操作          |    | 2.2.6 项目案例精解               | 52 |
| 方法                         | 12 | <b>2.3 拓展训练</b> .....      | 53 |
| 1.2.2 火花的组成和名称             | 12 | 2.3.1 支承轮刮板造型工艺            | 53 |
| 1.2.3 碳钢火花的特征              | 14 | 2.3.2 压力机飞轮铸造工艺            | 56 |
| 1.2.4 项目案例精解               | 15 | <b>2.4 实践中常见问题解析</b> ..... | 59 |
| <b>1.3 拓展训练</b> .....      | 16 | 2.4.1 铸造缺陷分析               | 59 |
| 1.3.1 车床主轴热处理工艺            | 16 | 2.4.2 铸件缺陷鉴别               | 60 |
| 1.3.2 圆拉刀的热处理工艺            | 17 | <b>2.5 本章小结</b> .....      | 63 |
| 1.3.3 20CrMnTi 变速箱齿轮的      |    | <b>2.6 思考与练习</b> .....     | 63 |
| 渗碳热处理工艺                    | 19 | 2.6.1 复习思考题                | 63 |
| <b>1.4 实践中常见问题解析</b> ..... | 22 | 2.6.2 综合训练题                | 64 |
| 1.4.1 过热与过烧                | 22 | <b>第 3 章 锻压</b> .....      | 65 |
| 1.4.2 氧化与脱碳                | 22 | 3.1 锻造                     | 66 |
| 1.4.3 变形与开裂                | 24 | 3.1.1 自由锻与胎模锻              | 67 |
| <b>1.5 本章小结</b> .....      | 24 | 3.1.2 模锻                   | 73 |
| <b>1.6 思考与练习</b> .....     | 25 | 3.1.3 项目案例精解               | 79 |
| 1.6.1 复习思考题                | 25 | <b>3.2 冲压</b> .....        | 82 |
| 1.6.2 综合训练题                | 25 | 3.2.1 冲压设备                 | 82 |
| <b>第 2 章 铸造</b> .....      | 26 | 3.2.2 冲模结构与冲压基本工序          | 84 |
| 2.1 砂型铸造                   | 26 | 3.2.3 项目案例精解               | 86 |
| 2.1.1 常用造型工模具              | 27 | <b>3.3 拓展训练</b> .....      | 88 |
| 2.1.2 造型材料                 | 32 | <b>3.4 实践中常见问题解析</b> ..... | 93 |
| 2.1.3 造型和造芯方法              | 34 | 3.4.1 材料加热缺陷及其防止           |    |
| 2.1.4 熔炼与浇注                | 38 | 措施                         | 93 |



|                                          |           |                      |            |
|------------------------------------------|-----------|----------------------|------------|
| 3.4.2 自由锻件的缺陷及其产生原因.....                 | 94        | 4.5.2 焊接裂纹.....      | 143        |
| 3.4.3 模锻件的缺陷及其产生原因.....                  | 94        | 4.5.3 气孔.....        | 145        |
| 3.4.4 常见冲压件废品和缺陷的主要形式及产生的原因.....         | 95        | 4.5.4 咬边.....        | 145        |
| 3.5 本章小结.....                            | 96        | 4.5.5 未焊透.....       | 146        |
| 3.6 思考与练习.....                           | 96        | 4.5.6 未熔合.....       | 146        |
| 3.6.1 复习思考题.....                         | 96        | 4.5.7 夹渣.....        | 147        |
| 3.6.2 综合训练题.....                         | 97        | 4.5.8 焊瘤.....        | 147        |
| <b>第4章 焊接.....</b>                       | <b>98</b> | 4.5.9 塌陷.....        | 147        |
| 4.1 手工电弧焊.....                           | 98        | 4.5.10 凹坑.....       | 148        |
| 4.1.1 焊接设备与焊接材料.....                     | 99        | 4.5.11 烧穿.....       | 148        |
| 4.1.2 焊接常用工具.....                        | 103       | 4.5.12 夹钨.....       | 148        |
| 4.1.3 焊接工艺.....                          | 104       | 4.6 本章小结.....        | 148        |
| 4.1.4 焊接方法与操作.....                       | 107       | 4.7 思考与练习.....       | 149        |
| 4.1.5 项目案例精解.....                        | 112       | 4.7.1 复习思考题.....     | 149        |
| 4.2 气焊与气割.....                           | 115       | 4.7.2 综合训练题.....     | 149        |
| 4.2.1 设备与工具.....                         | 116       | <b>第5章 车削加工.....</b> | <b>150</b> |
| 4.2.2 气焊的焊接工艺与操作.....                    | 119       | 5.1 内、外圆与端面的车削.....  | 150        |
| 4.2.3 气割原理与操作.....                       | 121       | 5.1.1 设备与工具.....     | 150        |
| 4.2.4 项目案例精解.....                        | 123       | 5.1.2 外圆与端面车削方法..... | 157        |
| 4.3 其他焊接方法.....                          | 124       | 5.1.3 内圆表面加工方法.....  | 158        |
| 4.3.1 埋弧自动焊.....                         | 124       | 5.1.4 项目案例精解.....    | 162        |
| 4.3.2 气体保护焊.....                         | 126       | 5.2 槽的加工和工件的切断.....  | 162        |
| 4.3.3 压焊与钎焊.....                         | 128       | 5.2.1 刀具与切削参数.....   | 163        |
| 4.3.4 项目案例精解.....                        | 132       | 5.2.2 槽的车削和切断方法..... | 167        |
| 4.4 拓展训练.....                            | 135       | 5.2.3 项目案例精解.....    | 171        |
| 4.4.1 骑座式管板角接手弧焊工艺.....                  | 135       | 5.3 螺纹与圆锥面车削.....    | 172        |
| 4.4.2 小管径对接手工钨极氩弧焊工艺.....                | 137       | 5.3.1 设备与刀具.....     | 173        |
| 4.4.3 中厚板对接 CO <sub>2</sub> 气体保护焊工艺..... | 139       | 5.3.2 螺纹加工的基本方法..... | 175        |
| 4.4.4 中厚板对接埋弧焊工艺.....                    | 141       | 5.3.3 圆锥车削加工方法.....  | 176        |
| 4.5 实践中常见问题解析.....                       | 142       | 5.3.4 项目案例精解.....    | 182        |
| 4.5.1 焊缝表面尺寸不符合要求.....                   | 142       | 5.4 偏心与特型面的加工.....   | 184        |
|                                          |           | 5.4.1 偏心车削加工方法.....  | 185        |
|                                          |           | 5.4.2 特型面的车削方法.....  | 190        |
|                                          |           | 5.4.3 项目案例精解.....    | 194        |
|                                          |           | 5.5 拓展训练.....        | 195        |
|                                          |           | 5.5.1 球状手柄加工工艺.....  | 195        |
|                                          |           | 5.5.2 螺纹车削工艺.....    | 196        |



|                                    |     |                                 |     |
|------------------------------------|-----|---------------------------------|-----|
| 5.6 实践中常见问题解析 .....                | 196 | 6.5.4 铣削外花键 .....               | 230 |
| 5.6.1 外圆车削加工的注意<br>事项 .....        | 196 | 6.6 实践中常见问题解析 .....             | 231 |
| 5.6.2 平面车削的注意事项 .....              | 197 | 6.6.1 平面和斜面铣削的质量<br>分析 .....    | 231 |
| 5.6.3 孔加工的常见问题 .....               | 197 | 6.6.2 台阶、直角沟槽的质量<br>分析 .....    | 232 |
| 5.6.4 圆锥车削加工容易产生的<br>问题和注意事项 ..... | 198 | 6.6.3 铣削直齿圆柱齿轮的质量<br>分析 .....   | 232 |
| 5.6.5 车螺纹时的注意事项 .....              | 198 | 6.6.4 铣削斜齿圆柱齿轮的质量<br>分析 .....   | 233 |
| 5.6.6 偏心车削加工的注意<br>事项 .....        | 199 | 6.6.5 提高铣削加工平面质量的<br>途径 .....   | 233 |
| 5.6.7 滚花加工注意事项 .....               | 199 | 6.7 本章小结 .....                  | 234 |
| 5.7 本章小结 .....                     | 199 | 6.8 思考与练习 .....                 | 234 |
| 5.8 思考与练习 .....                    | 200 | 6.8.1 复习思考题 .....               | 234 |
| 5.8.1 复习思考题 .....                  | 200 | 6.8.2 综合训练题 .....               | 235 |
| 5.8.2 综合训练题 .....                  | 200 |                                 |     |
| <b>第6章 铣削加工</b> .....              | 201 | <b>第7章 刨、拉、镗削加工</b> .....       | 236 |
| 6.1 平面铣削 .....                     | 201 | 7.1 刨削加工 .....                  | 236 |
| 6.1.1 设备与刀具 .....                  | 202 | 7.1.1 刨削插削设备与刀具 .....           | 237 |
| 6.1.2 平面铣削方法 .....                 | 206 | 7.1.2 刨削操作 .....                | 242 |
| 6.1.3 项目案例精解 .....                 | 209 | 7.1.3 拉削简介 .....                | 248 |
| 6.2 铣斜面 .....                      | 212 | 7.1.4 项目案例精解 .....              | 249 |
| 6.2.1 附件与刀具 .....                  | 212 | 7.2 镗削加工 .....                  | 250 |
| 6.2.2 斜面铣削方法 .....                 | 212 | 7.2.1 镗削设备与刀具 .....             | 251 |
| 6.2.3 项目案例精解 .....                 | 214 | 7.2.2 镗削操作 .....                | 253 |
| 6.3 直角沟槽、键槽和台阶的铣削 .....            | 215 | 7.2.3 项目案例精解 .....              | 258 |
| 6.3.1 切削用量与刀具 .....                | 215 | 7.3 拓展训练 .....                  | 260 |
| 6.3.2 直角沟槽、键槽和台阶的<br>铣削工艺与方法 ..... | 216 | 7.3.1 轴上键槽刨削工艺 .....            | 260 |
| 6.3.3 项目案例精解 .....                 | 222 | 7.3.2 阀体镗削工艺 .....              | 261 |
| 6.4 圆柱齿轮铣削 .....                   | 223 | 7.4 实践中常见问题解析 .....             | 263 |
| 6.4.1 齿轮成型方法 .....                 | 223 | 7.4.1 刨平面中常出现的问题及<br>解决方法 ..... | 263 |
| 6.4.2 成形法铣直齿圆柱齿轮的<br>齿形 .....      | 224 | 7.4.2 镗削加工时应避免出现的<br>问题 .....   | 264 |
| 6.4.3 项目案例精解 .....                 | 225 | 7.5 本章小结 .....                  | 264 |
| 6.5 拓展训练 .....                     | 228 | 7.6 思考与练习 .....                 | 265 |
| 6.5.1 阶台式键零件铣削工艺 .....             | 228 | 7.6.1 复习思考题 .....               | 265 |
| 6.5.2 压板内沟槽铣削工艺 .....              | 229 | 7.6.2 综合训练题 .....               | 265 |
| 6.5.3 铣角度面 .....                   | 229 |                                 |     |





|                               |     |                                          |     |
|-------------------------------|-----|------------------------------------------|-----|
| <b>第8章 磨削加工</b> .....         | 266 | 9.2.3 铣削 .....                           | 310 |
| 8.1 平面磨削 .....                | 266 | 9.2.4 项目案例精解 .....                       | 316 |
| 8.1.1 平面磨床 .....              | 267 | 9.3 钻、扩、铰、铰孔加工 .....                     | 317 |
| 8.1.2 砂轮的特征要素 .....           | 268 | 9.3.1 钻孔加工设备 .....                       | 318 |
| 8.1.3 平面磨削操作 .....            | 272 | 9.3.2 钻孔与扩孔、铰孔、铰孔<br>操作 .....            | 323 |
| 8.1.4 项目案例精解 .....            | 272 | 9.3.3 项目案例精解 .....                       | 326 |
| 8.2 外圆磨削 .....                | 273 | 9.4 攻丝和套丝 .....                          | 327 |
| 8.2.1 外圆磨削设备 .....            | 273 | 9.4.1 攻丝套丝工具 .....                       | 328 |
| 8.2.2 外圆磨削操作 .....            | 275 | 9.4.2 攻丝和套丝操作 .....                      | 330 |
| 8.2.3 项目案例精解 .....            | 277 | 9.4.3 项目案例精解 .....                       | 332 |
| 8.3 内圆磨削 .....                | 278 | 9.5 刮削与研磨 .....                          | 332 |
| 8.3.1 内圆磨削设备 .....            | 278 | 9.5.1 刮削用工具 .....                        | 333 |
| 8.3.2 内圆磨削操作 .....            | 279 | 9.5.2 刮削操作 .....                         | 335 |
| 8.3.3 项目案例精解 .....            | 280 | 9.5.3 研具与研磨剂 .....                       | 337 |
| 8.4 拓展训练 .....                | 281 | 9.5.4 平面的研磨方法 .....                      | 339 |
| 8.4.1 薄阀片磨削工艺 .....           | 281 | 9.5.5 项目案例精解 .....                       | 341 |
| 8.4.2 连杆双端面磨削工艺 .....         | 281 | 9.6 拓展训练 .....                           | 342 |
| 8.4.3 精密细长轴磨削工艺 .....         | 281 | 9.6.1 拼接燕尾铰配工艺 .....                     | 342 |
| 8.4.4 薄壁套零件的磨削工艺 .....        | 283 | 9.6.2 油槽铣削实例 .....                       | 343 |
| 8.5 实践中常见问题解析 .....           | 284 | 9.6.3 钻模板加工 .....                        | 343 |
| 8.5.1 平面磨削常见缺陷产生的<br>原因 ..... | 284 | 9.7 实践中常见问题解析 .....                      | 344 |
| 8.5.2 外圆磨削常见缺陷产生的<br>原因 ..... | 285 | 9.7.1 锯条损坏、锯削质量问题及分析<br>产生的原因、预防方法 ..... | 344 |
| 8.5.3 内圆磨削常见缺陷产生的<br>原因 ..... | 288 | 9.7.2 铣削质量问题及分析产生的<br>原因 .....           | 344 |
| 8.6 本章小结 .....                | 289 | 9.7.3 钻孔质量问题及分析产生的<br>原因 .....           | 344 |
| 8.7 思考与练习 .....               | 289 | 9.7.4 刮削质量问题及分析产生的<br>原因 .....           | 345 |
| 8.7.1 复习思考题 .....             | 289 | 9.8 本章小结 .....                           | 346 |
| 8.7.2 综合训练题 .....             | 290 | 9.9 思考与练习 .....                          | 346 |
| <b>第9章 钳工</b> .....           | 291 | 9.9.1 复习思考题 .....                        | 346 |
| 9.1 划线 .....                  | 291 | 9.9.2 综合训练题 .....                        | 346 |
| 9.1.1 划线工具及使用 .....           | 292 | <b>第10章 数控机床加工</b> .....                 | 347 |
| 9.1.2 划线操作 .....              | 296 | 10.1 数控铣削加工 .....                        | 347 |
| 9.1.3 项目案例精解 .....            | 299 | 10.1.1 数控铣床概述 .....                      | 348 |
| 9.2 锯、锉、铣削 .....              | 300 | 10.1.2 数控铣床坐标系 .....                     | 349 |
| 9.2.1 锯削 .....                | 301 |                                          |     |
| 9.2.2 锉削 .....                | 304 |                                          |     |

|                                    |     |                                 |            |
|------------------------------------|-----|---------------------------------|------------|
| 10.1.3 数控铣床编程基础.....               | 352 | <b>第 11 章 电火花加工.....</b>        | <b>374</b> |
| 10.1.4 项目案例精解.....                 | 355 | 11.1 数控电火花加工.....               | 374        |
| 10.2 数控车削加工.....                   | 358 | 11.1.1 电火花加工原理.....             | 374        |
| 10.2.1 数控车床概述.....                 | 358 | 11.1.2 电火花加工设备.....             | 375        |
| 10.2.2 数控车床坐标系.....                | 361 | 11.1.3 电火花成型加工的操作.....          | 377        |
| 10.2.3 数控车削加工中的装刀<br>与对刀.....      | 362 | 11.1.4 项目案例精解.....              | 379        |
| 10.2.4 数控车床编程基础.....               | 363 | 11.2 数控线切割加工.....               | 380        |
| 10.2.5 项目案例精解.....                 | 365 | 11.2.1 数控线切割加工设备.....           | 380        |
| 10.3 拓展训练.....                     | 366 | 11.2.2 数控线切割加工的操作.....          | 381        |
| 10.3.1 UG NX 数控车削锥孔零件<br>工艺实例..... | 366 | 11.2.3 项目案例精解.....              | 384        |
| 10.3.2 UG NX 平面铣削加工工艺<br>实例.....   | 369 | 11.3 拓展训练.....                  | 386        |
| 10.4 实践中常见问题解析.....                | 372 | 11.3.1 电机转子冲孔落料模的<br>电火花加工..... | 386        |
| 10.4.1 数控加工质量分析.....               | 372 | 11.3.2 半圆形孔样板切割.....            | 387        |
| 10.4.2 螺纹加工常见问题<br>解析.....         | 372 | 11.4 实践中常见问题解析.....             | 388        |
| 10.4.3 数控机床常见故障<br>排除.....         | 372 | 11.4.1 电火花成型加工质量<br>分析.....     | 388        |
| 10.5 本章小结.....                     | 373 | 11.4.2 线切割加工质量分析.....           | 388        |
| 10.6 思考与练习.....                    | 373 | 11.5 本章小结.....                  | 388        |
| 10.6.1 复习思考题.....                  | 373 | 11.6 思考与练习.....                 | 389        |
| 10.6.2 综合训练题.....                  | 373 | 11.6.1 复习思考题.....               | 389        |
|                                    |     | 11.6.2 综合训练题.....               | 389        |
|                                    |     | <b>参考文献.....</b>                | <b>390</b> |

# 第1章 金属材料

**学习要点：**本章介绍了钢材的退火、正火、淬火、回火以及表面热处理和钢材火花鉴别的方法，同时对热处理常用设备进行了扼要讲解。对于热处理实践中常见的问题和缺陷原因进行了深入剖析。重点介绍了淬火、回火等热处理工艺，并以工程实例介绍了常见零件的热处理工艺规程。

**知识目标：**通过本章熟悉典型零件的热处理工艺，掌握基本热处理方法。

钢的热处理是将钢在固态下，通过加热、保温和冷却，以获得预期组织和性能的工艺。热处理与其他加工方法(如铸造、锻压、焊接和切削加工等)不同，它只改变金属材料的组织和性能，而不以改变形状和尺寸为目的。

## 知识链接

含碳量  $W_c < 2.11\%$  的铁碳合金称为钢，按化学成分可分为碳素钢和合金钢；含碳量  $W_c > 2.11\%$  的铁碳合金称为铸铁，根据碳的存在形式不同，可将铸铁分为白口铸铁和灰口铸铁两大类。

热处理的作用日趋重要，因为现代机器设备对金属材料的性能不断提出新的要求。热处理可提高零件的强度、硬度、韧性、弹性等，同时还可改善毛坯或原材料的切削加工性能，使之易于加工。可见，热处理是改善金属材料的工艺性能、保证产品质量、延长使用寿命、挖掘材料潜力不可缺少的工艺方法。据统计，在机床制造中，热处理件占 60%~70%；在汽车、拖拉机制造中，热处理件占 70%~80%；在刀具、模具和滚动轴承制造中，几乎全部零件都需要进行热处理。

热处理的工艺方法很多，大致可分如下三大类。

- 普通热处理：包括退火、正火、淬火、回火等。
- 表面热处理：包括表面淬火和化学热处理(如渗碳、氮化等)。
- 特殊热处理：包括形变热处理和磁场热处理等。

各种热处理都可用以温度、时间为坐标的热处理工艺曲线来表示，如图 1-1 所示。

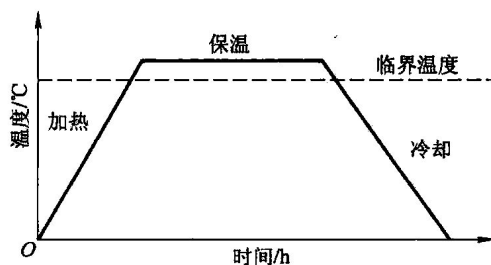


图 1-1 热处理工艺曲线示意图

## 1.1 钢的热处理

**项目案例导入：**鍍口榔头热处理。

**工件简图：**如图 1-2 所示。

**工件材料：**45 钢。

**项目要求：**锤头要求高硬度、耐磨损、抗冲击，热处理后硬度为 42~47HRC。

**工艺流程：**根据其力学性能要求，制定热处理方法为：淬火后低温回火。加工工艺流程为：备料—锻造—刨削或铣削—锉削—划线—锯削—锉削—钻孔—攻螺纹—热处理—抛光—表面处理—装配。

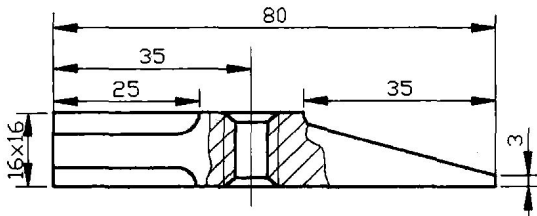


图 1-2 锤头热处理

### 1.1.1 钢的退火和正火

退火和正火是生产中应用很广泛的预备热处理工艺，安排在铸造、锻造之后，切削加工之前，用以消除前一工序所带来的某些缺陷，为随后的工序作准备。例如，经铸造、锻造等热加工以后，工件中往往存在残余应力、硬度偏高或偏低、组织粗大、成分偏析等缺陷，这样的工件其力学性能低劣，不利于切削加工成形，淬火时也容易造成变形和开裂。经过适当的退火或正火处理可消除工件的内应力，调整硬度以改善切削加工性能，使组织细化，成分均匀，从而改善工件的力学性能并为随后的淬火作准备。对于一些受力不大、性能要求不高的机器零件，也可直接作为最终热处理。

#### 知识链接

硬度是指金属材料抵抗比它更硬物体压入其表面的能力。常用的硬度指标有布氏硬度和洛氏硬度。

① 布氏硬度。布氏硬度的测定方法是，用一定的载荷将直径为  $D$  的淬硬钢球压入被测金属的表面，保持规定的时间后，卸除载荷，测出金属表面上的凹痕直径后，从硬度换算表上查出布氏硬度值。布氏硬度用 HBS 表示。

② 洛氏硬度。洛氏硬度的测定方法是，用一定的载荷将顶角为  $120^\circ$  的金刚石圆锥或直径为 1.588mm 的淬硬钢球压入被测表面，以凹痕深度来确定硬度值，硬度值直接从硬度计的刻度盘上读出，非常方便。洛氏硬度用 HRA、HRB 或 HRC 表示，常用的为 HRC。

## 1. 退火

退火是将钢加热、保温,然后随炉或埋入灰中使其缓慢冷却的热处理工艺。由于退火的具体目的不同,其具体工艺方法有多种,常用的有3种。

### 1) 完全退火

它是将亚共析钢加热到铁素体转变为奥氏体的终了温度  $A_{c3}$  以上  $30\sim 50^{\circ}\text{C}$ ,保温后缓慢冷却,以获得接近平衡状态组织。完全退火主要用于铸钢件和重要锻件,因为铸钢件铸态下晶粒粗大,塑性、韧性较差;锻件因锻造时变形不均匀,致使晶粒和组织不均,且存在内应力。完全退火还可降低硬度,改善切削加工性。

完全退火的原理是:钢件被加热到  $A_{c3}$  以上时,呈完全奥氏体化状态,由于初始形成的奥氏体晶粒非常细小,缓慢冷却时,通过“重结晶”使钢件获得细小晶粒,并消除了内应力。必须指出,应严格控制加热温度、防止温度过高,否则奥氏体晶粒将急剧长大。

### 2) 球化退火

主要用于过共析钢件。过共析钢经过锻造以后,其珠光体晶粒粗大,且存在少量二次渗碳体,致使钢的硬度高、脆性大,进行切削加工时易磨损刀具,且淬火时容易产生裂纹和变形。

球化退火时,将钢加热到珠光体转变为奥氏体的温度  $A_{c1}$  以上  $20\sim 30^{\circ}\text{C}$ 。此时,初始形成的奥氏体内及其晶界上尚有少量未完全溶解的渗碳体,在随后的冷却过程中,奥氏体经共析反应析出的渗碳体便以未溶渗碳体为核心,呈球状析出,分布在铁素体基体之上,这种组织称为“球化体”。它是人们对淬火前过共析钢最期望的组织,因为车削片状珠光体时容易磨损刀具,而球化体的硬度低、节省刀具。必须指出,对二次渗碳体呈严重网状的过共析钢,在球化退火前应先进行正火,以打碎渗碳体网。

### 3) 去应力退火

它是将钢加热到  $500\sim 650^{\circ}\text{C}$ ,保温后缓慢冷却。由于加热温度低于临界温度,因而钢未发生组织转变。去应力退火主要用于部分铸件、锻件及焊接件,有时也用于精密零件的切削加工,使其通过原子扩散及塑性变形消除内应力,防止钢件产生变形。

#### 知识链接

塑性是指金属材料仅产生塑性变形而不断裂的能力。常用的指标有伸长率  $\delta$  和断面收缩率  $\psi$ 。 $\psi$  和  $\delta$  值越大,说明材料的塑性越好;反之,则塑性越差。钢和有色金属的塑性较好,而铸铁的塑性很差。

## 2. 正火

正火是将钢加热到  $A_{c3}$  以上  $30\sim 50^{\circ}\text{C}$ (亚共析钢)或二次渗碳体溶入奥氏体的终了温度  $A_{cm}$  以上  $30\sim 50^{\circ}\text{C}$ (过共析钢),保温后在空气中冷却的热处理工艺。

正火和完全退火的作用相似,也是将钢加热到奥氏体区,使钢进行重结晶,从而解决铸钢件、锻件的粗大晶粒和组织不均问题。但正火比退火的冷却速度稍快,形成了索氏体组织。索氏体比珠光体的强度、硬度稍高,但韧性并未下降。正火主要用于以下方面。

(1) 取代部分完全退火。正火是在炉外冷却,占用设备时间短,生产率高,故应尽量用正火取代退火(如低碳钢和含碳量较低的中碳钢)。必须看到,含碳量较高的钢,正火后

硬度过高,使切削加工性变差,且正火难以消除内应力。因此,中碳合金钢、高碳钢及复杂件仍以退火为宜。

(2) 用于普通结构件的最终热处理。

(3) 用于过共析钢,以减少或消除二次渗碳体呈网状析出。

图 1-3 为几种退火和正火的加热温度范围示意图。

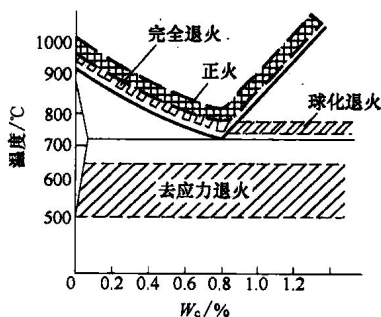


图 1-3 几种退火和正火的加热温度范围

#### 知识链接

冲击韧度是指金属材料抵抗冲击载荷作用而不破坏的能力。不少机械零件,如活塞销、冲模、锻模等都是在冲击载荷作用下工作的,对于这类工件,必须考虑它们在冲击载荷作用下的性能,即冲击韧度。冲击韧度常用一次摆锤冲击试验机测定。测定方法是,将被测的金属材料制成带缺口的标准试样,用摆锤将试样一次冲断,以试样被冲断所消耗的功(单位为 J)除以试样缺口处的截面积(单位为  $\text{cm}^2$ )来表示冲击韧度值,用  $\alpha_k$  表示。

### 1.1.2 淬火和回火

淬火和回火是强化钢最常用的工艺。通过淬火、再配以不同温度的回火,可使钢获得所需的力学性能。

#### 1. 淬火

淬火是将钢加热到  $A_{c3}$  或  $A_{c1}$  以上  $30\sim 50^\circ\text{C}$ (见图 1-4),保温后在淬火介质中快速冷却,以获得马氏体组织的热处理工艺。淬火的目的是提高钢的强度、硬度和耐磨性,淬火是钢件强化最经济有效的方法之一。

#### 知识链接

强度是指金属材料在外力作用下,抵抗塑性变形和断裂破坏的能力。常用的强度指标有屈服极限和抗拉强度。

① 屈服极限:是指金属材料在外力作用下,刚开始出现塑性变形时的应力,用  $\sigma_s$  表示。

② 强度极限:是指金属材料在拉断前所能承受的最大应力,用  $\sigma_b$  表示。

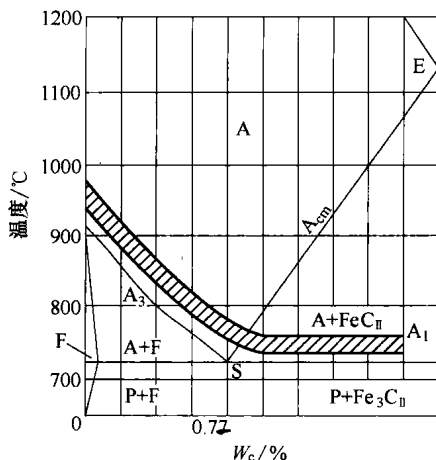


图 1-4 碳钢的淬火加热温度范围

由于马氏体形成过程伴随着体积膨胀,造成淬火件产生了内应力,而马氏体组织通常脆性又较大,这些都使钢件淬火时容易产生裂纹或变形。为防止上述淬火缺陷的产生,除应选用适合的钢材和正确的结构外,在工艺上还应采取如下措施。

(1) 严格控制淬火加热温度。对于亚共析钢,若淬火加热温度不足,因未能完全形成奥氏体,致使淬火后的组织中除马氏体外,还残存少量铁素体,使钢的硬度不足;若加热温度过高,因奥氏体晶粒长大,淬火后的马氏体组织也粗大,增加了钢的脆性,致使钢件裂纹和变形的倾向加大。对于过共析钢,若超过如图 1-4 所示的温度,不仅钢的硬度不会增加,而且裂纹、变形倾向加大。

(2) 合理选择淬火介质,使其冷却速度略大于临界冷却速度  $V_k$ 。淬火时钢的快速冷却是依靠淬火介质来实现的,水和油是最常用的淬火介质。水的冷却速度大,使钢件易于获得马氏体,主要用于碳素钢;油的冷却速度较水低,用它淬火钢件的裂纹、变形倾向小。合金钢因淬透性较好,以在油中淬火为宜。

(3) 正确选择淬火方法。生产中最常用的是单介质淬火法,它是在一种淬火介质中连续冷却到室温。由于操作简单,便于实现机械化和自动化生产,故应用最广。对于容易产生裂纹、变形的钢件,有时采用先水后油双介质淬火法或分级淬火等其他淬火法。

## 2. 回火

将淬火的钢重新加热到  $A_{c1}$  以下某温度,保温后冷却到室温的热处理工艺,称为回火。回火的主要目的是消除淬火内应力,以降低钢的脆性,防止产生裂纹,同时也使钢获得所需的力学性能。

淬火所形成的马氏体是在快速冷却条件下被强制形成的不稳定组织,因而具有重新转变成稳定组织的自发趋势。回火时,由于被重新加热,原子活动能力加强,所以随着温度的升高,马氏体中过饱和碳将以碳化物的形式析出。总的趋势是回火温度愈高、析出的碳化物愈多,钢的强度、硬度下降,而塑性、韧性升高。

根据回火温度的不同(参见 GB/T 7232—1999),可将钢的回火分为如下 3 种。

(1) 低温回火(250℃以下):目的是降低淬火钢的内应力和脆性,但基本保持淬火所获得的高硬度(56~64HRC)和高耐磨性。淬火后低温回火用途最广,如各种刀具、模具、滚



动轴承和耐磨件等。

(2) 中温回火( $250\sim 500^{\circ}\text{C}$ ): 目的是使钢获得高弹性, 保持较高硬度( $35\sim 50\text{HRC}$ )和一定的韧性。中温回火主要用于弹簧、发条、锻模等。

(3) 高温回火( $500^{\circ}\text{C}$ 以上): 淬火并高温回火的复合热处理工艺称为调质处理。它广泛用于承受循环应力的中碳钢重要件, 如连杆、曲轴、主轴、齿轮、重要螺钉等, 调质后的硬度为  $20\sim 35\text{HRC}$ 。由于调质处理后其渗碳体呈细粒状, 与正火后的片状渗碳体组织相比, 在载荷作用下不易产生应力集中, 从而使钢的韧性显著提高, 因此经调质处理的钢可获得强度及韧性都较好的综合力学性能。

### 1.1.3 钢的表面热处理

机械中的许多零件都是在弯曲和扭转等交变载荷、冲击载荷的作用或强烈摩擦的条件下工作的, 如齿轮、凸轮轴、机床导轨等, 要求金属表层具有较高的硬度以确保其耐磨性和抗疲劳强度, 金属芯部具有良好的塑性和韧度以承受较大的冲击载荷。为满足零件的上述要求, 生产中采用了一种特定的热处理方法, 即表面热处理。

表面热处理可分为表面淬火和化学热处理两大类。

#### 1. 表面淬火

表面淬火是通过快速加热, 使钢的表层很快达到淬火温度, 在热量来不及传到钢件心部时就立即淬火, 从而使表层获得马氏体组织, 而心部仍保持原始组织。表面淬火的目的是使钢件表层获得高硬度和高耐磨性, 而心部仍保持原有的良好韧性, 常用于机床主轴、发动机曲轴、齿轮等。

表面淬火所采用的快速加热方法有多种, 如电感应、火焰、电接触、激光等, 目前应用最广泛的是电感应加热法。

感应加热表面淬火法就是在一个感应线圈中通以一定频率的交流电(有高频、中频、工频三种), 使感应线圈周围产生频率相同、方向相反的感应电流, 这个电流称为涡流。由于集肤效应, 涡流主要集中在钢件表层。由涡流所产生的电阻热使钢件表层被迅速加热到淬火温度, 随即向钢件喷水, 将钢件表层淬硬。

感应电流的频率愈高, 集肤效应愈强烈, 故高频感应加热用途最广。高频感应加热常用的频率为  $200\sim 300\text{kHz}$ , 此频率加热速度极快, 通常只有几秒钟, 淬硬层深度一般为  $0.5\sim 2\text{mm}$ , 主要用于要求淬硬层较薄的中、小型零件。

感应加热表面淬火质量好, 加热温度和淬硬层深度较易控制, 易于实现机械化和自动化生产。缺点是设备昂贵、需要专门的感应线圈。因此, 主要用于成批或大量生产的轴、齿轮等零件。

#### 2. 化学热处理

化学热处理是将钢件置于适合的化学介质中加热和保温, 使介质中的活性原子渗入钢件表层, 以改变钢件表层的化学成分和组织, 从而获得所需的力学性能或理化性能。化学热处理的种类很多, 依照渗入元素的不同, 有渗碳、渗氮、碳氮共渗等, 以适应不同的场合, 其中以渗碳应用最广。

渗碳是将钢件置于渗碳介质中加热、保温,使分解出来的活性碳原子渗入钢的表层。渗碳是采用密闭的渗碳炉,并向炉内通以气体渗碳剂(如煤油),加热到  $900\sim 950^{\circ}\text{C}$ ,经较长时间的保温,使钢件表层增碳。井式气体渗碳过程由排气、强烈渗碳、扩散及降温四个阶段组成,如图 1-5 所示。

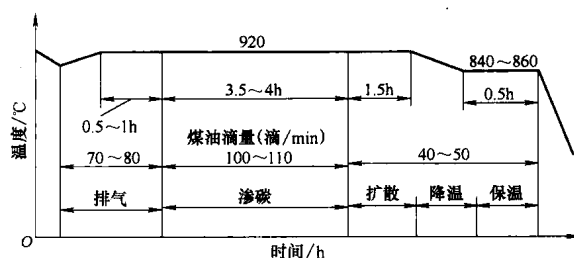


图 1-5 井式气体渗碳工艺曲线

渗碳件通常采用低碳钢或低碳合金钢,渗碳后渗层深一般为  $0.5\sim 2\text{mm}$ ,表层含碳量  $W_c$  将增至 1%左右,经淬火和低温回火后,表层硬度达  $56\sim 64\text{HRC}$ ,因而耐磨;而心部因仍是低碳钢,故保持其良好的塑性和韧性。渗碳主要用于既承受强烈摩擦,又承受冲击或循环应力的钢件,如汽车变速箱齿轮、活塞销、凸轮、自行车和缝纫机的零件等。

渗氮又称氮化。它是将钢件置于氮化炉内加热,并通入氨气,使氨气分解出活性氮原子渗入钢件表层,形成氮化物(如  $\text{AlN}$ 、 $\text{CrN}$ 、 $\text{MoN}$  等),从而使钢件表层具有高硬度(相当  $72\text{HRC}$ )、高耐磨性、高抗疲劳性和高耐腐蚀性。渗氮时加热温度仅为  $550\sim 570^{\circ}\text{C}$ ,钢件变形甚小。常用的渗氮工艺有 3 种,即等温渗氮法(又称一段渗氮法)、二段渗氮法和三段渗氮法。图 1-6 所示为  $38\text{CrMoAlA}$  钢的等温渗氮工艺。

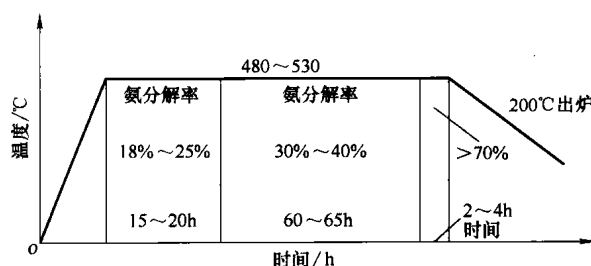


图 1-6  $38\text{CrMoAlA}$  钢等温渗氮工艺曲线

由图 1-6 可知,渗氮生产周期长(需几十小时),生产效率低,需采用专用的中碳合金钢,成本高。工件渗氮层厚度较薄且脆性大,不能承受过大的接触应力和冲击载荷,从而使渗氮的应用受到一定的限制。因此渗氮主要用于制造耐磨性和尺寸精度要求均高的零件,如排气阀、精密机床丝杠、齿轮等。

### 1.1.4 热处理设备

#### 1. 加热设备

##### 1) 箱式电阻炉

箱式电阻炉是利用电流通过金属或非金属时产生的热能,借助于辐射或对流而对工件