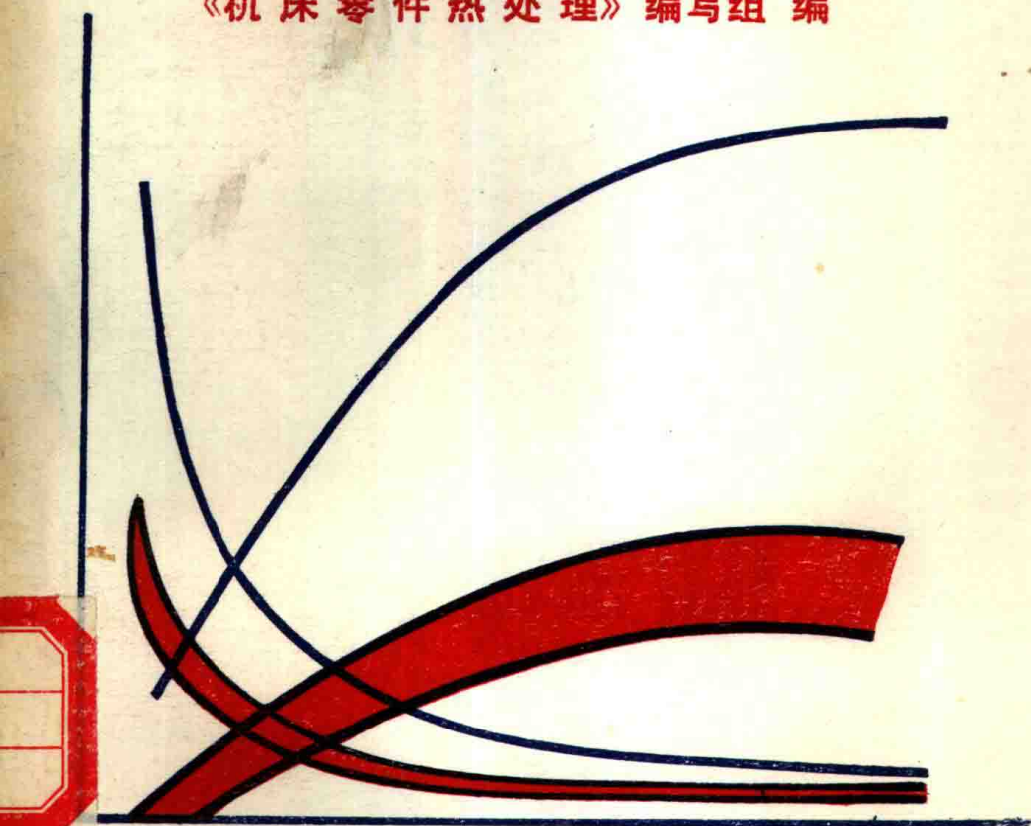


机床零件 热处理

《机床零件热处理》编写组 编



机械工业出版社

机 床 零 件 热 处 理

《机床零件热处理》编写组 编



机 械 工 业 出 版 社

本书讲述了机床主要零件：导轨、主轴、齿轮、丝杠等的材料选用和热处理工艺，还介绍了机床零件热处理工艺的制定原则和程序，以及热处理质量检验规程和工艺守则。附录中选列了机床零件常用材料、热处理设备和仪表等参考数据。

本书可供机床行业广大热处理工作人员、产品设计人员及有关厂的机床维修人员阅读，也可供大专院校有关专业教学参考。

机床零件热处理

《机床零件热处理》编写组 编

*

机械工业出版社出版(北京阜成门外百万庄南街一号)

(北京市书刊出版业营业许可证出字第117号)

冶金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787×1092 1/32·印张 14 1/8·字数 310 千字

1982年 10 月北京第一版·1982年 10 月北京第一次印刷

印数 00, 001—14,000·定价1.45元

*

统一书号：15033·5336

前 言

本书主要介绍机床零件的选材；热处理工艺的选择、编制、实施与工艺守则；热处理的质量检验和常见缺陷的防止；并在附录中选列了机床零件常用的材料、热处理设备和仪表等参考数据。本书可供机床制造厂的热处理技术人员、工人、质量检验人员、产品设计人员以及其它工厂的机床维修人员阅读，也可供大专院校有关专业教学的参考。第六章机床零件热处理质量检验规程经试行修改后，拟申报一机部成为技术标准颁布。

本书是在一九六三年编写的机床零件材料选用和热处理技术文件基础上，广泛收集近十七年来的科研成果和生产实践经验，重新改写的，并增编了机床导轨热处理、工艺守则和附录三个部分。在编写过程中，全国各地机床厂和有关单位提供了大量的资料。初稿完成后曾邀请二十五个单位的专业人员开会审稿。其中第六章还经一机部机床工具总局一九七九年召开的机床热处理专业会议讨论修改。其后又向六十多个机床厂书面征求了意见。

本书由一机部机床研究所主编。各章的编写单位及其执笔人如下：

- 第一章 武汉重型机床厂 周彩玲、鲁定一
- 第二章 一机部机床研究所 李必治
- 第三章 上海机床厂 吴健耕
- 第四章 沈阳第一机床厂 蒋公天、胡永棠
- 第五章 一机部机床研究所 张魁武

IV

第六章 北京第一机床厂 吴永新

第七章 中捷人民友谊厂 王广仁

齐齐哈尔第一机床厂 叶敏

附 录 武汉重型机床厂 周彩玲

一机部机床研究所 李必治、张魁武

由于我们水平所限，书中一定存在不少缺点和错误，衷心希望广大读者批评指正。

《机床零件热处理》编写组

一九八〇年六月

目 录

| | |
|----------------------------------|----|
| 第一章 机床零件热处理工艺的制定 | 1 |
| 一、机床零件热处理的特点及工艺选择 | 1 |
| 1. 机床零件热处理的特点 | 1 |
| 2. 机床零件常用的热处理工艺 | 3 |
| 3. 机床零件材料及热处理工艺选择 | 9 |
| 二、热处理符号、硬化层深度选定及常用钢材的 热处理工艺规范 | 13 |
| 1. 热处理符号的含义 | 13 |
| 2. 硬化层深度选定 | 13 |
| 3. 机床零件常用钢铁材料的热处理工艺规范及应用举例 | 13 |
| 三、热处理工艺的制定 | 35 |
| 1. 编制热处理工艺的主要依据 | 35 |
| 2. 编制热处理工艺的程序 | 35 |
| 3. 热处理工艺文件的修改 | 37 |
| 4. 加热方式和零件有效厚度的计算 | 38 |
| 5. 热处理用工艺文件 | 41 |
| 6. 热处理零件的工艺性考虑 | 41 |
| 第二章 导轨热处理 | 62 |
| 一、热处理工艺的选择 | 62 |
| 二、铸铁导轨感应加热淬火 | 64 |
| 1. 技术条件 | 64 |
| 2. 淬火机 | 65 |
| 3. 感应器 | 68 |
| 4. 工艺参数 | 73 |
| 5. 缺陷及防止措施 | 79 |

| | |
|------------------------|------------|
| 三、铸铁导轨接触电阻加热淬火 | 82 |
| 1. 原理 | 82 |
| 2. 接触电阻加热淬火装置 | 83 |
| 3. 工艺参数 | 95 |
| 四、镶钢导轨热处理 | 97 |
| 1. 材料选用 | 97 |
| 2. 热处理特点 | 100 |
| 3. 热处理实例 | 101 |
| 第三章 主轴的材料选用和热处理 | 110 |
| 一、材料和热处理要求 | 110 |
| 1. 工作特性 | 110 |
| 2. 材料选择及热处理要求 | 111 |
| 3. 设计中对热处理工艺性的考虑 | 118 |
| 二、主轴制造的工艺过程 | 119 |
| 1. 不同热处理主轴的工艺流程 | 119 |
| 2. 材料的选择 | 120 |
| 3. 锻造 | 120 |
| 4. 对机械加工的要求 | 122 |
| 三、主轴热处理 | 123 |
| 1. 预先热处理 | 123 |
| 2. 最终热处理 | 124 |
| 3. 热处理实例 | 137 |
| 四、主轴配合副发展的技术分析 | 152 |
| 第四章 齿轮的材料选用和热处理 | 156 |
| 一、材料的选用 | 156 |
| 1. 对材料的性能要求 | 156 |
| 2. 齿轮的分类及材料选用 | 157 |
| 二、结构设计与热处理工艺性及冷热加工工序安排 | 162 |
| 1. 热处理工艺性对齿轮设计的要求 | 162 |

| | |
|-----------------------------|------------|
| 2. 齿轮冷热加工的相互配合····· | 164 |
| 3. 典型齿轮的加工工序与加工留量····· | 164 |
| 三、齿轮热处理····· | 166 |
| 1. 预先热处理····· | 166 |
| 2. 渗碳····· | 169 |
| 3. 碳氮共渗····· | 171 |
| 4. 渗氮····· | 172 |
| 5. 氮碳共渗····· | 175 |
| 6. 火焰淬火····· | 175 |
| 四、齿轮感应加热淬火····· | 180 |
| 1. 几种方法简介····· | 180 |
| 2. 频率选用与淬硬层的形状····· | 181 |
| 3. 电参数的选择····· | 184 |
| 4. 感应器····· | 187 |
| 5. 淬火与回火····· | 194 |
| 6. 缺陷及其防止····· | 194 |
| 第五章 丝杠的材料选用和热处理····· | 208 |
| 一、精度等级和对材料的一般要求····· | 208 |
| 1. 精度等级标准····· | 208 |
| 2. 对材料的一般要求····· | 208 |
| 二、结构与热处理工艺性及冷热加工工序的安排····· | 212 |
| 1. 结构与热处理工艺性····· | 212 |
| 2. 冷热加工工序的合理安排····· | 213 |
| 三、普通丝杠····· | 213 |
| 1. 常用材料····· | 214 |
| 2. 典型热处理工艺····· | 215 |
| 四、精密丝杠····· | 227 |
| 1. 精密不淬硬丝杠····· | 227 |
| 2. 精密淬硬丝杠····· | 229 |

| | |
|-------------------------|-----|
| 3. 渗氮丝杠····· | 240 |
| 五、滚珠丝杠····· | 248 |
| 1. 中频感应外圆加热淬火····· | 249 |
| 2. 沿滚道感应加热浸液淬火····· | 254 |
| 3. 整体加热淬火····· | 256 |
| 4. 滚珠螺母和反向器····· | 257 |
| 六、特殊条件下工作的丝杠····· | 258 |
| 1. 沉淀硬化不锈钢丝杠····· | 258 |
| 2. 沉淀硬化不锈钢滚珠丝杠····· | 259 |
| 3. 碳氮共渗空心滚珠丝杠····· | 260 |
| 第六章 机床零件热处理质量检验规程····· | 263 |
| 一、编制与审批····· | 263 |
| 二、热处理质量检验工作的几项规定····· | 263 |
| 三、检验的内容及方法····· | 264 |
| 1. 硬度····· | 264 |
| 2. 变形····· | 264 |
| 3. 外观····· | 265 |
| 4. 金相····· | 265 |
| 5. 材料····· | 265 |
| 6. 机械性能····· | 265 |
| 四、各种热处理工序的检验项目及要 求····· | 266 |
| 1. 退火、正火件····· | 266 |
| 2. 调质件····· | 267 |
| 3. 淬火件····· | 267 |
| 4. 渗碳件····· | 269 |
| 5. 渗氮件····· | 269 |
| 6. 氮碳共渗件····· | 273 |
| 7. 碳氮共渗件····· | 274 |
| 8. 高频加热淬火件····· | 275 |

| | |
|---------------------------|------------|
| 9. 火焰加热淬火件 | 281 |
| 10. 发蓝件 | 282 |
| 11. 普通圆柱螺旋弹簧的质量检验 | 283 |
| 12. 铸铁导轨表面感应加热淬火的质量检验 | 284 |
| 13. 铸铁导轨接触电阻加热淬火的质量检验 | 286 |
| 14. 铸件时效的质量检验 | 288 |
| 五、抽查率 | 289 |
| 第七章 工艺守则 | 291 |
| 一、退火和正火 | 291 |
| 二、调质 | 297 |
| 三、淬火、回火 | 303 |
| 四、校正、清洗、喷砂和防锈 | 320 |
| 五、气体渗碳 | 325 |
| 六、固体渗碳 | 334 |
| 七、气体渗氮 | 336 |
| 八、离子渗氮 | 341 |
| 九、气体碳氮共渗 | 349 |
| 十、气体氮碳共渗 | 351 |
| 十一、高频感应加热淬火 | 356 |
| 十二、中频感应加热淬火 | 360 |
| 十三、除应力时效 | 363 |
| 十四、发蓝 | 367 |
| 附录 | 373 |
| 一、我国钢号表示方法 | 373 |
| 二、机床零件常用钢的主要化学成分及其与各国钢号对照 | 376 |
| 三、机床零件常用铸铁和铸钢牌号及其表示方法说明 | 386 |
| 四、机床零件常用有色金属牌号及其表示方法说明 | 387 |
| 五、机床厂常用的热处理设备 | 388 |
| 1. 电阻炉 | 388 |

X

| | |
|--------------------------------|-----|
| 2. 台车式电阻炉 | 395 |
| 3. 燃料炉 | 396 |
| 4. 浴炉 | 400 |
| 5. 渗氮装置 | 404 |
| 6. 氮碳共渗炉 | 407 |
| 7. 感应加热装置及淬火机 | 408 |
| 六、热处理辅助设备 | 413 |
| 1. 喷丸机 | 413 |
| 2. 清洗机 | 414 |
| 3. 校正机 | 414 |
| 七、常用测温仪表 | 416 |
| 1. 热电偶 | 416 |
| 2. 非接触测量温度计 | 420 |
| 3. 指示、调节仪 | 421 |
| 4. 指示、调节、记录仪 | 422 |
| 八、热处理用辅助材料 | 426 |
| 1. 淬火、回火用油 | 426 |
| 2. 感应加热用导磁体 | 426 |
| 3. 感应器用绝缘搪瓷 | 430 |
| 九、显示钢铁材料渗氮层的腐蚀剂 | 431 |
| 十、黑色金属硬度换算 | 432 |
| 1. 洛氏 (HRC、HRA)、表面洛氏、维氏、布氏硬度换算 | 432 |
| 2. 洛氏 (HRB)、表面洛氏、维氏、布氏硬度换算 | 436 |
| 3. 肖氏与洛氏硬度换算 | 440 |
| 十一、热处理车间安全防护标准 | 441 |
| 1. 空气中有害气体蒸气和灰尘许可含量 | 441 |
| 2. 气体爆炸范围 | 441 |
| 十二、钢料加热温度火色和回火温度颜色 | 442 |

第一章 机床零件热处理工艺的制定

机床是“制造机器的机器”，是一种工作母机，因此必须有较高的精度和精度保持性。

机床的精度主要决定于关键零件的制造精度和装配精度。这些零件的强度、光洁度、耐磨性及尺寸稳定性等性能直接与热处理工艺有关。因此机床零件的热处理在机床制造业中占有很重要地位。

随着科学技术的迅速发展，高速自动化机床、数控机床、高精度精密机床以及重型机床发展很快。机床的工作载荷加重；运动速度更快；零件精度要求更高。因此对机床零件材料与热处理提出了更高的要求。

机床行业中广大热处理工作者工作的重点，应放在提高关键零件的使用寿命、减少机床修理过程更换零件的数量、延长机床大修周期上。为此应了解机床结构和使用情况，研究国内外同类型机床使用寿命情况及关键零件耐磨性高的原因，协助设计人员正确地选用零件材料及热处理工艺。工艺卡片是零件加工的依据。热处理工作者应会同冷加工工艺人员正确地安排加工工序，并编制好热处理工艺卡片。同时要正确地进行热处理操作，才能得到高质量的热处理零件。

一、机床零件热处理的特点及工艺选择

1. 机床零件热处理的特点

我国机床业，中小型机床一般为成批生产；大型及重型

机床为单个或小批生产。同时机床的工作条件优越于汽车、拖拉机及重型机械，润滑条件较好，冲击载荷较小。但对零件的精度和精度保持性要求较高。故其热处理特点如下述。

1) 用钢简单

一般采用碳素结构钢及低合金结构钢。少数零件，如镶钢导轨、淬硬丝杠及滚柱等采用合金工具钢及轴承钢。

2) 采用周期式作业炉

不是大量生产，故不采用连续式作业炉。大部分零件热处理后，因需进行磨削加工，所以较少采用可控气氛炉。真空炉仅在个别情况应用。中小零件的无氧化加热采用盐浴炉或在气体渗碳炉中滴煤油生成保护气氛中进行。

3) 局部淬硬及表面淬硬零件较多

机床很多零件只要求局部表面有高的耐磨性，除少数零件采用盐浴炉局部淬硬外，大部分零件采用感应加热（少数用火焰加热），局部表面淬硬。

4) 精密零件要求具有高的尺寸稳定性

因此在工序中常安排有一次或多次稳定化处理，如除应力处理、低温时效处理及冷处理等。

5) 广泛采用低温化学热处理

机床零件的设计多数从刚性考虑，对热处理主要要求变形小，耐磨性高，尺寸稳定性好。因而渗氮、氮碳共渗等低温化学热处理得到广泛应用。

6) 大部分钢制零件须经过预先热处理

无论铸钢件、锻件及轧材，都须经过退火、正火或调质以提高强度，改善显微组织及加工性能。同时预先热处理也为以后的热处理作好显微组织的准备，减少热处理的变形。必须予以重视。

2. 机床零件常用的热处理工艺

退火、正火和调质等常作为预先热处理，一般在锻造或粗加工后进行。淬火、回火和表面热处理、化学热处理等常在半精加工后（个别在精加工后）进行，总称为最终热处理。

1) 退火

退火的目的在于调整显微组织，降低硬度，提高韧性和塑性，改善切削加工性能和加工光洁度，消除或改善铸造、锻造及冷轧等工序产生的化学成分不均匀、组织偏析及内应力，为下一步热处理作好准备。

(1) 完全退火 加热到 A_{c_3} (或 $A_{c_{cm}}$)以上 $30\sim 50^{\circ}\text{C}$ ，保温后缓冷。主要用于亚共析钢。

(2) 不完全退火 加热到 A_{c_1} 以上 $20\sim 30^{\circ}\text{C}$ ，保温后缓冷。一般用于过共析钢。处理后珠光体晶粒细化，渗碳体基本上都保存下来。

(3) 等温退火 亚共析钢加热到 A_{c_3} 以上 $20\sim 30^{\circ}\text{C}$ ，共析钢和过共析钢加热到 A_{c_1} 以上 $20\sim 30^{\circ}\text{C}$ 保温后，为了缩短在炉中冷却的时间，快冷到低于 A_{r_1} $20\sim 30^{\circ}\text{C}$ ，保温到奥氏体完全分解为止，然后出炉空冷。这种方法适用于亚共析钢和共析钢，特别是广泛用于合金钢退火。

(4) 球化退火 过共析钢加热到 A_{c_1} 以上 $20\sim 30^{\circ}\text{C}$ ，保温后缓冷到略低于 A_{r_1} 温度等温或在此温度上下周期变动，使奥氏体中未溶渗碳体及新析出的渗碳体球化。冷却后得到球状碳化物小颗粒均匀地分布在铁素体基体上的显微组织，具有良好的加工性能。

(5) 高温扩散退火 铸钢中有树枝状结晶，显微组织和化学成分极不均匀。为了消除上述缺陷，须采用高温扩散

退火。将毛坯加热到接近固相线温度，长时间保温，使奥氏体的化学成分均匀化，然后缓冷。或与其他退火、正火工艺结合进行，以细化晶粒，改善机械性能和加工性能。

08钢作软磁材料使用时，也进行高温退火。其目的是为了使其晶格达到平衡状态，粗化晶粒度，以降低矫顽力，改善磁性能。

(6) 软化退火和再结晶退火 软化退火是把钢材加热到 A_{c1} 以下，保温后冷却，以降低硬度，提高韧性。再结晶退火是把经过冷变形的金属加热到再结晶温度保温，使变形晶粒转变为均匀的等轴晶粒，消除冷作硬化和内应力，降低硬度。

2) 正火

正火是将工件加热到 A_{c3} (或 $A_{c_{cm}}$)以上 $30\sim 50^{\circ}\text{C}$ ，保温后空冷，以改善机械性能和加工性能，提高加工光洁度。一般用于亚共析钢。过共析钢当截面较大时，应加速冷却，否则会在晶界析出碳化物网。

3) 调质

零件粗加工后，加热淬火，然后在 $450\sim 650^{\circ}\text{C}$ 高温回火，得到均匀的回火索氏体组织，以提高材料的综合机械性能。直径大于250毫米的零件，调质后不能得到索氏体组织，一般为细片状珠光体，但以不出现游离铁素体为限。

零件调质也为下步热处理作显微组织准备。若淬火前材料组织为索氏体，淬火温度可降低，奥氏体化时间可减少，故可减少淬火变形。对淬火易变形的零件，制定工艺时，往往增加调质工序。

4) 淬火

将钢铁加热到相变点以上温度，保温获得奥氏体组织，

以大于临界速度快速冷却，得到马氏体组织。一般淬火件应根据使用性能要求，进行不同温度的回火。

根据淬火加热温度的不同，即奥氏体化的程度不同，可分为：

(1) 完全淬火 亚共析钢加热到 A_{c_3} 以上 $30\sim 50^{\circ}\text{C}$ ，共析钢加热到 A_{c_1} 以上 $30\sim 50^{\circ}\text{C}$ ，保温后快冷。

(2) 不完全淬火 过共析钢加热到 A_{c_1} 以上 $30\sim 50^{\circ}\text{C}$ ，保温后快冷，渗碳体未全部溶于奥氏体而保存下来。亚共析钢在特殊情况下，也采用不完全淬火，也称亚温淬火。这时铁素体未全部溶于奥氏体淬火冷却后被保存下来，起一定的软垫作用。适用于在低温下工作的零件及某些零件易于开裂部位的淬火。

淬火介质和淬火方法的选择见第七章。

5) 表面淬火

把零件表面层加热到淬火温度后快冷，使表面层硬化称为表面淬火。

(1) 感应加热淬火 利用感应电流的集肤效应，使零件的表面层加热到相变以上温度后急速冷却的工艺，称为感应加热淬火。根据加热电流的频率，又分为高频、超音频、中频和工频。机床零件目前常用的电流频率，高频为 $200\sim 400$ 千赫兹，超音频为 $30\sim 70$ 千赫兹，中频为 2500 及 8000 赫兹。

(2) 火焰加热表面淬火 利用乙炔-氧、煤气-氧或石油液化气-氧的火焰，将零件表面层快速加热到淬火温度，然后淬冷，使表面层硬化。目前国内火焰淬火测温及自动控制尚未解决，淬火质量尚不够理想。但它具有很大机动性和灵活性，设备投资少，故尚有应用价值，特别对大件的表面

淬火比较适用。

(3) 接触电阻加热表面淬火 我国创造性地用于机床导轨表面淬火。利用电流通过电极及零件表面的接触电阻,使零件浅层表面加热,移开电极,靠零件自身导热冷却淬硬。

6) 化学热处理

把零件放在一定活性介质(气态、液态或固态)中加热到一定温度,使其他元素渗入工件表面层,改变表面层化学成分和组织,以提高表面层硬度、耐磨性、疲劳强度和抗腐蚀等性能。

(1) 渗碳 把零件置于含有活性碳的介质中,加热到奥氏体化温度,使碳原子渗入钢表面层的过程,称为渗碳。常用的渗碳工艺,有固体、液体和气体三种。液体渗碳由于原料有毒或浴槽有毒,近年来采用较少。零件经渗碳后,再进行淬火,可获得高硬度表面层,而心部仍保持高的韧性和塑性。

(2) 渗氮 把零件置于含有活性氮的介质中加热到 $450\sim 650^{\circ}\text{C}$,使氮原子渗入钢表面层的过程,称为渗氮。常用的渗氮工艺有气体渗氮和离子渗氮。含铬、钼、铝等合金元素的钢材表面经渗氮后可获得很高的硬度,显著地提高耐磨性和疲劳强度。碳素结构钢通过短时间 600°C 渗氮,使表面生成 $0.02\sim 0.04$ 毫米的 ϵ 相层,以提高表面抗蚀能力,称为抗蚀渗氮,在机床零件上也有应用。

(3) 碳氮共渗 一般系指将钢材加热到 $800\sim 860^{\circ}\text{C}$,使钢件表面同时渗入碳与氮元素的过程。固体和液体碳氮共渗采用有毒原料或浴槽有毒,不推荐采用。常用的为气体碳氮共渗工艺。