

# 热处理 工艺设计与选择

马伯龙 编著



工艺设计资料经典实用  
内容系统全面实例丰富

# 热处理工艺设计与选择

马伯龙 编著



机械工业出版社

本书系统地介绍了热处理工艺的设计与选择，主要内容包括：热处理工艺设计基础，热处理工艺设计实践及其质量控制，通用基础件、汽车拖拉机典型件、工具、模具、量具、矿山机械典型件、轻工机械典型件、液压零件、机床及夹具典型件、大型机械零件、农机具典型件的热处理工艺设计实例。本书内容全面，实例丰富，图文并茂，实用性强。

本书可供热处理工程技术人员阅读使用，也可供热处理技术工人及相关专业在校师生参考。

### 图书在版编目（CIP）数据

热处理工艺设计与选择/马伯龙编著. —北京：机械工业出版社，  
2013.5  
ISBN 978 - 7 - 111 - 41844 - 3

I . ①热… II . ①马… III . ①热处理 - 工艺设计  
IV. ①TG156

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2013）第 052059 号

机械工业出版社（北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037）  
策划编辑：陈保华 责任编辑：陈保华  
版式设计：霍永明 责任校对：程俊巧  
责任印制：张楠  
北京京丰印刷厂印刷  
2013 年 5 月第 1 版 • 第 1 次印刷  
169mm×239mm • 23 印张 • 472 千字  
3 000-3 800 册

标准书号：ISBN 978 - 7 - 111 - 41844 - 3  
定价：49.00 元

凡购本书，如有缺页、倒页、脱页，由本社发行部调换

电话服务 策划编辑（010）88379734

社服 务 中 心：(010)88361066

销 售 一 部：(010)68326294

销 售 二 部：(010)88379649

读者购书热线：(010)88379203

网络服务

教 材 网：<http://www.cmpedu.com>

机工官网：<http://www.cmpbook.com>

机工官博：<http://weibo.com/cmp1952>

封面无防伪标均为盗版

# 前　　言

近年来，我国机械制造业有了迅猛发展，已成为装备制造业大国，且向装备制造业强国迈进。如此，对影响机械零件力学、物理、化学等性能的热处理有了更高的要求。可喜的是近年来热处理技术水平不断提高，特别是日趋拓展的真空热处理、离子轰击化学热处理、多用途可控气氛加热和气相沉积，以及计算机自动控制的应用等，大大提升了我国热处理工艺水平。实践证明：正确、合理、先进的热处理工艺技术是机械产品使用性能和使用寿命的重要保证；严格的工艺管理是产品质量稳定并不断提高的重要保证，两者相辅相成，缺一不可。

据考察，我国机械制造业的大型企业和部分中型企业的热处理工艺设计水平和工艺管理水平，已基本与国际标准（ISO）接轨，并不断提高。但据资料所载，我国机械制造业中的中、小、微型企业占80%以上。这些企业的热处理质量普遍不够稳定，其原因主要是工艺管理和工艺技术水平存在较大差距。例如，在工艺管理方面，有的企业热处理工艺设计和生产操作由同一个人完成，而且这种情况的工艺设计仅仅是在其头脑中构思，并不落实在文件上；甚至有的企业由有一定经验的师傅口头指挥代替工艺，由其他人操作等。如此，无论是口头指挥操作或是仅在头脑中构思工艺方案由自己操作，其最大的问题是随意性强，这种粗放型工艺管理，受操作者思想情绪、主观意识等多种因素影响，使其工艺方案、方法和参数等难于定型，因此产品质量忽高忽低，忽好忽坏，而且一旦出现质量问题找不到确切的改进方向。同时，工艺技术水平也往往停留在从热处理手册中查找工艺参数而已，很难做到在全面系统分析的基础上进行工艺设计，更缺少创新和明显提高。

鉴于上述情况，为了满足不同规模热处理企业（车间）的需要，积作者五十余年的热处理工艺设计实践经验，结合现代热处理工艺技术发展现状，编写了这本《热处理工艺设计与选择》，旨在为需要的企业和读者提供一些借鉴。

全书内容共分11章。

第1章热处理工艺设计基础，内容包括：常用钢、铸铁、非铁合金件热处理工艺设计时所需要的各种实用技术。

第2章热处理工艺设计实践及其质量控制，内容包括：热处理工艺设计过程和步骤，以及热处理工艺设计过程的质量控制等。

第3章至第11章分别介绍了通用基础件、汽车拖拉机典型件、工具、模

具、量具、矿山机械典型件、轻工机械典型件、液压零件、机床及夹具典型件、大型机械零件、农机具典型件的热处理工艺设计实例。

在书后附录中载有：工件加热时间的计算方法，典型毛坯、零件的加工预留余量及其热处理允许变形量，典型刀具、量具、模具的热处理允许变形量，以及工艺设计时所需要的常用热处理设备的技术参数等。

在编写内容的取舍上，本书定位于读者已有了一定的热处理理论基础。

在编写热处理工艺设计实例中，参阅了大量以前各种版本的有关资料的典型零件，并重新进行工艺性分析及其工艺设计。在此，对本书所引用的文献、资料的作者，谨致衷心感谢。

本书内容全面，工艺设计程序清晰，实例丰富，图文并茂，实用性强，便于读者掌握和应用。

本书适合热处理工程技术人员阅读使用，也可供热处理技术工人及大专院校相关专业师生参考。

由于作者水平有限，不足之处在所难免，敬请读者批评指正。

作 者

# 目 录

## 前言

<b>第1章 热处理工艺设计基础</b>	1
1.1 热处理工艺技术概述	1
1.1.1 热处理工艺的重要性	1
1.1.2 热处理工艺的特点	1
1.1.3 热处理工艺的种类	3
1.2 热处理工艺设计原则	3
1.2.1 热处理工艺的先进性	4
1.2.2 热处理工艺的合理性	4
1.2.3 热处理工艺的经济性	5
1.2.4 热处理工艺的安全性	6
1.2.5 热处理工艺的可行性	6
1.2.6 热处理工艺的可检性	7
1.2.7 热处理工艺的标准化	7
1.3 热处理工艺性及其影响因素	7
1.3.1 淬透性和淬硬性	8
1.3.2 过热和过烧敏感性	10
1.3.3 变形和裂纹敏感性	10
1.3.4 氧化和脱碳敏感性	12
1.3.5 耐回火性和回火脆性	12
1.3.6 组织和应力的稳定性	13
1.3.7 表面状态的敏感性	14
1.3.8 介质污染的敏感性	14
1.3.9 工艺参数的敏感性	15
1.4 零件设计要素对热处理工艺性的影响	16
1.4.1 零件结构的合理设计	16
1.4.2 零件有效尺寸的合理确定	18
1.4.3 热处理变形和预留加工余量	23
1.4.4 零件材料的合理选择	23
1.4.5 热处理技术要求的合理确定	25
1.4.6 热处理技术要求的正确标注	27
1.4.7 零件设计的热处理工艺性会审控制程序	29
1.5 钢和铸铁件常用热处理工艺方法及其应用范围	30
1.5.1 常用预备热处理工艺方法及其应用范围	30

---

1.5.2 常用整体热处理工艺方法及其应用范围	33
1.5.3 常用表面热处理工艺方法及其应用范围	36
1.5.4 常用化学热处理工艺方法及其应用范围	41
1.6 热处理新工艺的推介	49
1.6.1 整体热处理新工艺简介	49
1.6.2 表面热处理新工艺简介	50
1.6.3 化学热处理新工艺简介	52
1.7 零件热处理的质量要求和检验	54
1.7.1 零件毛坯热处理的质量要求和检验	54
1.7.2 整体淬火回火件的质量要求和检验	55
1.7.3 表面淬火件的质量要求和检验	58
1.7.4 渗碳、碳氮共渗件的质量要求和检验	60
1.7.5 渗氮、氮碳共渗件的质量要求和检验	63
1.7.6 渗硼件的质量要求和检验	66
1.8 铸铁件的热处理特点及工艺方法	67
1.8.1 铸铁件的热处理工艺特点	67
1.8.2 铸铁件的热处理工艺方法	68
1.9 非铁合金件的热处理特点及工艺方法	68
1.9.1 非铁合金件的热处理工艺概述	68
1.9.2 非铁合金件的热处理工艺方法	69
1.10 常用的热处理设备和工艺装备	69
1.10.1 常用热处理设备及其技术参数	69
1.10.2 通用热处理工艺装备	73
1.11 热处理加热和冷却介质	75
1.11.1 热处理常用加热介质	75
1.11.2 热处理常用冷却介质	76
1.11.3 热处理主要工艺材料技术要求	79
<b>第2章 热处理工艺设计实践及其质量控制</b>	81
2.1 热处理工艺设计过程和步骤	81
2.1.1 热处理工艺设计的依据	81
2.1.2 热处理工艺设计的基本内容	82
2.1.3 热处理工艺设计前的技术分析	84
2.1.4 热处理工艺方案的制订	86
2.1.5 整体热处理工艺参数的确定	88
2.1.6 热处理辅助工序及其工艺守则	117
2.1.7 零件简图的绘制及应用	129
2.1.8 热处理设备的选用	130
2.1.9 热处理工艺装备的设计	130
2.1.10 热处理劳动定额的确定方法	133

---

2.1.11 热处理工艺文件的编写 .....	133
2.1.12 热处理工艺的验证及调整 .....	144
2.2 热处理工艺设计过程的质量控制 .....	145
2.2.1 热处理质量管理体系 .....	146
2.2.2 影响热处理质量的因素 .....	148
2.2.3 热处理工艺设计的工作质量要求 .....	148
2.2.4 热处理工艺设计的质量控制程序 .....	152
<b>第3章 通用基础件热处理工艺设计实例 .....</b>	<b>153</b>
3.1 齿轮热处理工艺设计实例 .....	153
3.1.1 钢制齿轮热处理工艺设计 .....	153
3.1.2 铸铁齿轮热处理工艺设计 .....	156
3.1.3 非铁合金齿轮热处理工艺设计 .....	157
3.1.4 粉末冶金齿轮热处理工艺设计 .....	158
3.2 弹簧热处理工艺设计实例 .....	159
3.2.1 螺旋弹簧热处理工艺设计 .....	159
3.2.2 板弹簧热处理工艺设计 .....	160
3.2.3 特殊用途弹簧热处理工艺设计 .....	162
3.3 轴承零件热处理工艺设计实例 .....	163
3.3.1 滚动轴承零件热处理工艺设计 .....	163
3.3.2 滑动轴承零件热处理工艺设计 .....	166
3.4 标准紧固件热处理工艺设计实例 .....	169
3.4.1 螺纹类紧固件热处理工艺设计 .....	169
3.4.2 垫圈类标准件热处理工艺设计 .....	170
<b>第4章 汽车拖拉机典型件热处理工艺设计实例 .....</b>	<b>172</b>
4.1 气缸套和活塞环热处理工艺设计实例 .....	172
4.1.1 气缸套热处理工艺设计 .....	172
4.1.2 活塞环热处理工艺设计 .....	173
4.2 曲轴和连杆热处理工艺设计 .....	175
4.2.1 曲轴热处理工艺设计 .....	175
4.2.2 连杆热处理工艺设计 .....	176
4.3 凸轮轴和挺杆热处理工艺设计 .....	177
4.3.1 凸轮轴热处理工艺设计 .....	177
4.3.2 挺杆热处理工艺设计 .....	178
4.4 排气阀和半轴热处理工艺设计 .....	179
4.4.1 排气阀热处理工艺设计 .....	179
4.4.2 半轴热处理工艺设计 .....	181
4.5 油泵油嘴偶件热处理工艺设计 .....	182
<b>第5章 工具、模具、量具典型件热处理工艺设计实例 .....</b>	<b>185</b>
5.1 工具（刃具）热处理工艺设计实例 .....	185

---

5.1.1 刀具的承载特点及常用钢种的特性 .....	185
5.1.2 碳素工具钢和合金工具钢刃具热处理工艺设计 .....	187
5.1.3 高速工具钢刃具热处理工艺设计 .....	194
5.2 模具热处理工艺设计实例 .....	201
5.2.1 模具的承载特点和常用钢种及工艺路线 .....	201
5.2.2 冷作模具热处理工艺设计 .....	206
5.2.3 热作模具热处理工艺设计 .....	217
5.2.4 塑料模具热处理工艺设计 .....	221
5.3 量具热处理工艺设计实例 .....	225
5.3.1 量具的承载特点和常用钢种及热处理特点 .....	225
5.3.2 卡尺和千分尺零件热处理工艺设计 .....	227
5.3.3 精密量具热处理工艺设计 .....	230
<b>第6章 矿山机械典型件热处理工艺设计实例 .....</b>	<b>238</b>
6.1 矿山凿岩机械典型件热处理工艺设计实例 .....	238
6.1.1 凿岩机典型零件热处理工艺设计 .....	238
6.1.2 凿岩机钎头、钎尾热处理工艺设计 .....	241
6.1.3 牙轮钻机钻头热处理工艺设计 .....	243
6.2 矿用破碎机典型件热处理工艺设计实例 .....	246
6.2.1 破碎机齿板热处理工艺设计 .....	246
6.2.2 球磨机衬板热处理工艺设计 .....	247
6.2.3 球磨机用磨球热处理工艺设计 .....	248
<b>第7章 轻工机械典型件热处理工艺设计实例 .....</b>	<b>250</b>
7.1 自行车零件热处理工艺设计实例 .....	250
7.1.1 自行车零件选材及其热处理特点 .....	250
7.1.2 自行车典型零件热处理工艺设计 .....	251
7.2 纺织机械零件热处理工艺设计实例 .....	254
7.2.1 纺织机械零件的选材及其热处理特点 .....	254
7.2.2 纺织机械典型零件的热处理工艺设计 .....	256
7.3 缝纫机零件热处理工艺设计实例 .....	258
7.3.1 家用缝纫机零件热处理工艺设计 .....	258
7.3.2 工业缝纫机零件热处理工艺设计 .....	260
<b>第8章 液压件热处理工艺设计实例 .....</b>	<b>262</b>
8.1 液压泵零件热处理工艺设计实例 .....	262
8.1.1 齿轮泵零件热处理工艺设计 .....	262
8.1.2 叶片泵零件热处理工艺设计 .....	264
8.1.3 柱塞泵零件热处理工艺设计 .....	268
8.2 液压阀零件热处理工艺设计实例 .....	270
8.2.1 滑阀热处理工艺设计 .....	271
8.2.2 阀座热处理工艺设计 .....	272

---

<b>第 9 章 机床及其夹具典型件热处理工艺设计实例</b>	273
9.1 切削机床的典型件热处理工艺设计实例	273
9.1.1 机床床身热处理工艺设计	273
9.1.2 机床主轴和丝杠热处理工艺设计	274
9.1.3 机床其他典型件热处理工艺设计	277
9.2 机床夹具典型件热处理工艺设计实例	279
9.2.1 轴、套类夹具零件热处理工艺设计	279
9.2.2 夹具传动零件热处理工艺设计	280
9.2.3 夹具弹性零件热处理工艺设计	282
<b>第 10 章 大型机械零件热处理工艺设计实例</b>	284
10.1 冶金机械典型件热处理工艺设计实例	284
10.1.1 轧钢机用典型轧辊热处理工艺设计	284
10.1.2 大型重载零件化学热处理工艺设计	289
10.1.3 大型铸、锻件热处理工艺设计	290
10.2 发电设备典型件热处理工艺设计实例	293
10.2.1 汽轮机典型件热处理工艺设计	293
10.2.2 锅炉构件及输气管热处理工艺设计	295
<b>第 11 章 农机具典型件热处理工艺设计实例</b>	298
11.1 耕整机械典型件热处理工艺设计实例	298
11.1.1 犁铧热处理工艺设计	298
11.1.2 犁壁热处理工艺设计	299
11.1.3 锄铲热处理工艺设计	300
11.1.4 旋耕刀热处理工艺设计	301
11.2 收获机械刀片热处理工艺设计实例	302
11.2.1 收割机刀片热处理工艺设计	302
11.2.2 剪毛机刀片热处理工艺设计	304
11.3 割草机典型件热处理工艺设计实例	305
11.3.1 粗饲料机械的切碎刀片热处理工艺设计	305
11.3.2 作物根茬粉碎机刀片热处理工艺设计	307
<b>附录</b>	309
附录 A 工件加热时间的计算方法	309
附录 B 典型毛坯、零件的加工预留余量及其热处理允许变形量	310
附录 C 典型刃具、量具、模具的热处理允许变形量	315
附录 D 热处理设备分类表	320
附录 E 炉膛式间歇热处理电阻炉技术参数	321
附录 F 真空和离子轰击热处理炉技术参数	327
附录 G 浴槽式热处理电阻炉技术参数	330
附录 H 炉膛式燃料炉技术参数	333
附录 J 炉膛式连续热处理电阻炉技术参数	334

附录 K 表面热处理设备技术参数 .....	337
附录 L 热处理常用冷却设备技术参数 .....	343
附录 M 热处理常用辅助设备技术参数 .....	345
参考文献 .....	356

# 第1章 热处理工艺设计基础

## 1.1 热处理工艺技术概述

### 1.1.1 热处理工艺的重要性

热处理实质是通过赋予和改善金属材料及其制件一定的内部组织结构来实现特定性能要求的工艺技术。实践表明，金属材料的化学成分仅是它所具有各种性能的潜在因素，其性能潜力只有通过热处理工艺技术才能被调动出来。

事实证明，冶金企业生产的许多型材和铸锻件，如果不经过适当的热处理，其力学、物理、化学性能和可切削加工性能以及应力状态等都很差，有的甚至无法使用和进行切削加工；同时，许多机械产品的金属制零件，特别是要求性能较高的零件，如果不经过适当的热处理，就无法达到其使用性能要求和预期的使用寿命。由此奠定了热处理在金属材料研制和应用以及各种金属制产品零件在生产加工过程不可或缺的重要地位。

各种金属型材的热处理，一般是在冶金企业（如钢厂、金属熔炼厂）中进行；金属制产品零件及其毛坯的热处理，通常是在各种机械制造企业（如汽车、拖拉机、机床、化工、轻工、风动及液压工具以及各种工具、模具、量具、夹具厂）或独立的热处理专业厂中进行。

### 1.1.2 热处理工艺的特点

#### 1. 热处理工艺的主要作用

热处理的作用和意义，概括起来有以下几方面：

- 1) 能够充分发挥金属材料的各种性能潜力，赋予机械零件等在工作状态下所需要的各种力学性能和物理、化学性能。
- 2) 可以改变金属材料及其制品的内部组织结构和应力状态，从而保持精密零件、精密量具等尺寸精度、几何精度等的稳定性。
- 3) 可以改善金属材料及其制品零件的可加工性，从而提高各种加工的生产率和节约能源，具有降低生产成本等经济意义。

由此可见，搞好热处理工艺工作，提高热处理工艺技术水平，对提高机械产品质量和降低产品制造成本具有十分重要意义。

## 2. 热处理工序在零件制造工艺流程中的位置

热处理工序在零件制造工艺流程中的位置，主要根据零件使用性能要求和上、下工序的需要来决定。

(1) 预备热处理工序的安排 一般是根据其上、下工序的需要确定。例如，零件毛坯存在较大应力和硬度较高时，应安排正火或退火处理；为了降低零件切削加工后的表面粗糙度和提高表面淬火质量，在其前可安排调质处理；为了减小淬火的变形，在淬火前安排一次正火；为了消除各种加工过程产生的内应力，在其后安排一次低温退火；为了使铸锻件化学成分和组织结构均匀化，一般进行高温均匀化退火等。

(2) 最终热处理工序的安排 一般是根据某种零件的使用性能要求确定的。例如，在动载荷条件下工作的零件要求耐磨性好时，应安排化学热处理或表面热处理；在静载荷条件下工作的零件要求较高强度时，应安排整体淬火和低温回火；在颠簸和往复冲击条件下工作的零件（如机动车辆弹簧等），则应安排淬火和中温回火等。

## 3. 热处理工艺方法与其零件材料种类的关系

1) 低碳碳素钢钢材的热处理，一般通过控制锻轧终止温度，然后空冷即可实现其正火目的。由于其淬透性极差，很难对较大截面的零件进行整体淬火强化。

2) 低碳低合金钢制零件，欲获得整体强度可采用低碳马氏体淬火；欲获得表面耐磨、心部强韧可以进行各种表面渗碳（碳氮共渗）随后淬火、回火；或整体调质后进行各种表面渗氮（氮碳共渗）等。

3) 低碳高合金钢，由于其淬透性极好，即使预备热处理采用缓慢冷却的退火，也很难获得较好的软化，因此，往往采用正火加高温回火来达到预期的软化效果。

4) 中碳碳素钢和中碳合金钢制零件，一般采用各种整体淬火和中、低温回火，以期获得良好的综合力学性能；如果随后进行各种表面淬火硬化，表面具有良好的耐磨性。

5) 高碳碳素钢和高碳合金钢的预备热处理，一般采用球化退火。最终热处理一般是各种整体淬火和低温回火；精密零件和精密量具应进行冷处理和低温时效处理等。

6) 低碳高合金钢（如耐热钢、不锈钢等）一般进行固溶处理和时效处理；耐磨钢（如 Mn13 等）进行水韧处理。

7) 非铁金属及其合金，一般进行固溶处理、时效处理和回归处理等。

上述各种工艺方法及其工艺参数的设计，将在本书第 2 章中详述。

## 4. 热处理质量检验的特点

热处理虽然是赋予零件各种性能的主要方法，但有些性能指标（如强度、韧性、塑性等）在实际生产中不易检测，只能通过金相组织和硬度指标间接地反映出来。例如，在一定范围内硬度越高，其强度越高，耐磨性越好，而韧性和塑性相

应越小，且可加工性越差等。零件的去应力效果（残留应力大小），在日常生产中，往往只用考查去应力工艺的正确性和实际执行情况予以确认。

### 5. 热处理工艺实施过程的环境特点

热处理工艺实施过程，往往是在较高温度下进行，有时在高压状态下实施，也有时接触有害气体、烟尘等。因此，热处理的安全和环保等问题应予以高度重视。

在热处理工艺设计时，对于上述特点均应予以充分考虑。

### 1.1.3 热处理工艺的种类

按 GB/T 12603—2005 规定，金属热处理基础分类及代号，如表 1-1 所示。

表 1-1 热处理工艺种类及代号

工艺总称	代号	工艺类型	代号	工艺名称	代号
热处理	5	整体热处理	1	退火	1
				正火	2
				淬火	3
				淬火和回火	4
				调质	5
				稳定化处理	6
				固溶处理；水韧处理	7
				固溶处理 + 时效	8
	5	表面热处理	2	表面淬火和回火	1
				物理气相沉积	2
				化学气相沉积	3
				等离子体增强化学气相沉积	4
				离子注入	5
	5	化学热处理	3	渗碳	1
				碳氮共渗	2
				渗氮	3
				氮碳共渗	4
				渗其他非金属	5
				渗金属	6
				多元共渗	7

### 1.2 热处理工艺设计原则

通常所说的热处理工艺，一般仅指热处理工艺规程（工艺方法和工艺参数）。本书所阐述的热处理工艺设计，是以热处理工艺规程为主旨的广义热处理工艺设计，即从工艺方案的策划到工艺方法和工艺参数的设计，从工装的设计和设备的选

择到辅助工序工艺守则的制定，从工艺的验证与调整及工艺定型到工艺文件的编制和工时定额的计算，从工艺管理到生产实施，从工艺质量保证体系的建立到热处理质量的检验等全部内容。

正确、合理的热处理工艺设计，要依据相关的技术标准和可借鉴的技术资料、能查获的国内外先进热处理技术，以及本单位创新的热处理专有技术等，从企业实际出发结合企业从事热处理的人员素质、管理水平和生产条件、质量保证和检测能力等展开工作。

正确、合理的热处理工艺，不仅要能够生产出满足零件图样所要求的各种性能指标和预期的使用寿命，同时要能够降低成本、节约能源和满足安全、环保要求等。概括地说，热处理工艺设计应遵循和体现以下若干原则。

### 1.2.1 热处理工艺的先进性

一个企业的热处理先进性，起码应具备领先于同行业其他企业的热处理工艺技术。甚至某方面在国内领先。如此，离不开引进和采用新工艺、新技术和设备改造与更新以及新型工艺材料的应用等。其主要内容和目的，如表 1-2 所示。

表 1-2 热处理工艺的先进性

序号	要素	内 容	目 的
1	采用新工艺、新技术	充分采用新的热处理工艺方法及新的热处理工艺技术	满足设计图样技术要求；提高产品工艺质量和稳定产品热处理质量
2	热处理设备的技术改造和更新	改造旧设备；购置新设备（加热设备、热处理辅助设备）	满足热处理工艺发展的需要；提高生产能力和服务质量；适应技术进步的需求
3	采用新型工艺材料	采用新型加热、冷却介质及防护特性的涂料	提高产品热处理质量；提高产品热处理后的表面质量

### 1.2.2 热处理工艺的合理性

热处理工艺的合理性是相对的。在确保正确性的前提下，其合理性与某零件的重要程度、零件设计对热处理提出的技术要求、经济意义和生产现场的客观条件，以及整个工艺路线的安排等有关。其主要内容和目的，如表 1-3 所示。

表 1-3 热处理工艺的合理性

序号	要素	内 容	目 的
1	工艺安排的合理性	零件制造流程中，热处理工序安排是否恰当；确保零件热处理后各部分质量一致；减少后续工序的加工难度；避免增加不必要的辅助工序	使热处理工艺的特性与机械加工协调，保证零件最终要求，流程中安排好热处理工序；热处理工艺参数、冷却方式要确保零件的力学性能一致性；有效控制零件畸变，确保零件最终尺寸要求；减少辅助工序，使零件生产周期缩短，降低制造成本

(续)

序号	要 素	内 容	目 的
2	零件热处理要求的合理性	热处理工艺应与零件材料特性相适应;零件的几何尺寸和形状应与工艺特性相匹配	满足设计要求,又保证热处理质量;热处理是通过加热、冷却方式完成的,热处理畸变、氧化脱碳等要求控制在一定范围内
3	工艺方法及工艺参数的合理性	为满足产品要求,选择合适的工艺方法;工艺方法应简单;选择合适的工艺参数	选择合适的工艺方法(如不同的淬火方法)会得到事半功倍的效果;减少生产成本,便于操作;选择工艺参数应依据相关标准,与标准不同的工艺参数应有试验根据
4	热处理前零件尺寸、形状的合理性	零件的截面尺寸不应相差悬殊;薄壁件热处理应选用工装或夹具;避免零件留有尖角、锐边	防止零件热处理后变形过大和开裂;减少零件翘曲、畸变过大;避免零件裂纹等缺陷
5	热处理前零件状态的合理性	铸、锻件应经退火、正火等预备热处理;焊接件不应在盐浴炉加热;切削量过大的零件应进行去应力处理;毛坯件应去除氧化皮	消除毛坯应力;防止焊缝被盐侵蚀,清洗不干净,使用过程中开裂;防止零件畸变;防止后续处理出现局部硬度偏低或硬度不足

### 1.2.3 热处理工艺的经济性

工艺设计时,应充分利用企业现有的人员和设备等条件。在保证最终质量的前提下,尽量简化工艺流程,合理利用能源,以相对较少的能源消耗来获取最佳工艺效果。热处理工艺的经济性,可用表1-4所示的几个要素来评价。

表 1-4 热处理工艺设计的经济性

序号	要 素	内 容	目 的
1	能源利用	节能加热设备,采用水溶性淬火冷却介质	减少处理过程能源消耗
2	设备工装的使用	充分利用设备加热能力,合理利用加热室空间 大批量生产的企业,尽量采用机械化和自动化生产	减少单件能源消耗值,降低生产成本
3	工艺方法应简便	工艺流程应简单,充分发挥加热设备特点	减少不必要的程序,缩短生产周期 使设备满足不同工艺要求
4	利用现有设备设计辅助工装	利用箱式加热炉,设计移动式渗氮箱,满足渗氮要求,设计保护箱进行无氧化加热	利用普通设备进行化学热处理 在普通加热炉实现气氛保护,防止氧化脱碳

### 1.2.4 热处理工艺的安全性

热处理工艺的安全性，主要体现在工艺实施过程要确保人身安全、设备安全、环境安全等方面。因此，设计热处理工艺时，要充分顾及到工人操作过程各方面的安全性。特别是接触高温、高压、易燃、易爆、易腐蚀及有害气体的岗位，在工艺设计时不仅有明确的工艺规程，还应提出制度化的工艺安全操作守则。

热处理工艺的安全性，应包括表 1-5 所示的内容。

表 1-5 热处理工艺的安全性

序号	要素	内容	目的
1	工本身的安全性	工艺编制应充分保证安全可靠，对形状复杂的特殊件(如封闭内腔件)要有安全措施 液压罐、真空设备、氢气、氮气等的保护装置应有充分的安全措施 对人体有危害的工艺材料的应用应减少或避免	预防对人身安全造成危害 预防设备发生爆炸，确保运行中的安全 尽可能在工艺中不应用有害工艺材料，以免造成安全事故
2	控制有害作业	尽量不采用有害工艺，如不采用氰化盐渗碳、碳氮共渗 装运零件应有料筐和运载工具	防止影响人身安全，避免有害废弃物的处理 确保零件热处理过程中的安全
3	环境保护	生产场所空气避免受排放、散发的气体污染，使环境不受危害 防止废弃物的再污染	确保生产场所人身安全，保证排放符合标准要求 防止环境及人身受到危害，保护环境

### 1.2.5 热处理工艺的可行性

工艺的可行性，是指所设计的热处理工艺，在企业现有的人员结构和设备特点及管理水平的条件下，或通过外部技术协作即可在生产过程中正常实施，而不需另外增加新设备和大型工装等。热处理工艺的可行性应重点考虑表 1-6 所示的内容和目的。

表 1-6 热处理工艺的可行性

序号	要素	内容	目的
1	企业热处理条件	人员结构及素质；热处理设备配备程度、设备精度及工艺能力	保证工艺的实施正确性；保证工艺完成和发展能力
2	操作人员的专业技术水平	人员的文化程度、专业技术水平及对工艺操作的熟练程度	正确地理解工艺要求，保证工艺要求正确实行
3	工艺技术的合法性	所制订的工艺参数、方法依据合法的技术文件 新技术、新材料、新工艺应在试验基础上经评审签定和认可	保证工艺制订有法可依，有据可查；工艺的合法性

### 1.2.6 热处理工艺的可检性

热处理工艺的可检性，是指在工艺设计中所提出的各项技术指标，在生产实施过程中可检测、在零件使用过程中可追溯。热处理工艺的可检性如表 1-7 所示。

表 1-7 热处理工艺的可检性

序号	要素	内容	目的
1	工艺参数的追溯	工艺参数设定依据加热炉应配备温度、时间等相适应的仪表记录、操作者原始记录,处理产品批次、产品数量等	所设定参数应符合相关标准。产品质量档案备查及产品质量的追溯性
2	检查结论的追溯	产品处理完的检验结果包括力学性能、金相组织、硬度、尺寸等检测数据	产品质量的备查
3	工艺参数的制订可检查性	工艺参数的制订必须依据相关有效标准、材料标准以及工艺试验总结等	保证产品热处理工艺编制的正确性

### 1.2.7 热处理工艺的标准化

标准化工作是企业发展和技术交流的基础，是企业技术进步和参与市场竞争的重要手段和方法。因此，在热处理工艺设计过程必不可少。热处理工艺的标准化内容和目的，参见表 1-8。

表 1-8 热处理工艺的标准化

序号	要素	内容	目的
1	文件的标准化	文件表格、书写格式、术语应用应引用基础标准及法定计量单位	必须遵照有关标准执行
2	制订工艺参数标准化	编制的工艺参数(温度、时间、加热方式、冷却方式等)应按相关标准或计算 检验方法、检测结果的核算也符合标准	保证编制的工艺参数正确、可靠,对超出标准的参数要求,应有完整试验依据并经评审通过 确保测试结果正确
3	文件配套的一致性	应用的概念、术语一致性 企业标准及工艺管理应法制化	同一概念,同一解释 保证企业管理进步及产品质量的稳定

## 1.3 热处理工艺性及其影响因素

所谓热处理工艺性，即热处理过程获得预期结果的难易程度。热处理工艺性，通常包括材料的淬透性和淬硬性、过热和过烧敏感性、变形和裂纹敏感性、氧化和

脱碳敏感性、耐回火性和回火脆性以及某些非铁合金材料的工艺参数敏感性、对接触某种介质的敏感性等。影响热处理工艺性的主要因素，包括零件结构、技术要求、所用的材料特性和原材料质量以及热处理前序的质量状态等。

### 1.3.1 淬透性和淬硬性

#### 1. 淬透性

淬透性是指钢接受淬火的能力，即在淬火时所能达到的淬硬层深度。通常评定淬硬层深度是以达到 50%（体积分数）马氏体组织（即半马氏体区）硬度的深度为标准。

淬透性主要与钢中合金元素种类及其含量有关。除 Co 和 Al 外，所有溶于奥氏体的合金元素均能不同程度地提高钢的淬透性。同时，奥氏体化温度、晶粒度和原始组织及淬火冷却速度等对淬透性也有一定影响。例如，加热温度越高，奥氏体晶粒度越大，则淬透性也越好。另外，奥氏体的不均匀和存在不溶质点（如氧化物、碳化物等），冷却时起结晶核心作用，从而加速转变（即奥氏体等温转变曲线左移），使其淬透性减小。

通常以钢的淬火临界直径表示淬透性。常用钢的淬火临界直径见表 1-9。

表 1-9 常用钢的淬火临界直径 (单位：mm)

钢 种	牌 号	淬 火 介 质			
		静油	20°C 水	40°C 水	20°C, w(NaCl) = 5% 的水溶液
优质结构钢	15	2	7	5	7
	30	7	15	12	16
	45	10	20	16	21.5
	60	12	24	19.5	25.5
	45Mn	17	31	26	32
合金结构钢	50Mn2	28	45	41	46
	42Mn2V	25	42	38	43
	20Cr	10	20	16	21.5
	40Cr	22	38	35	40
	45Cr	25	42	38	43
	20CrMnSi	15	28	24	29
	38CrMoAl	47	69	65	70
	25Cr2MoV	35	52	50	54
	12CrNi2	11	22	18	24
	45B	10	20	16	21.5
	40MnVB	22	38	35	40

(续)

钢 种	牌 号	淬火介质			
		静油	20°C 水	40°C 水	20°C, w(NaCl) = 5% 的水溶液
弹簧钢	65	12	24	19.5	26
	65Mn	20	36	31.5	37
	60Si2Mn	22	38	35	40
轴承钢	GCr15	15	28	24	29
工具钢	T10	<8	26	22	28
	9Mn2V	33	52	50	54
	9SiCr	32	51	47	52
	9CrWMn	75	95	90	96

## 2. 淬硬性

淬硬性是指钢淬火时所能达到的最高硬度。淬硬性主要取决于钢的碳含量。图 1-1 为钢淬火后硬度与其碳含量及马氏体数量的关系。值得指出，这些数据一般是由标准试样测出的。对于不同有效厚度的实际零件整体淬火后，由于尺寸效应的影响而达不到试样的硬度。表 1-10 所示为几种钢整体淬火后表面硬度与有效厚度的关系。

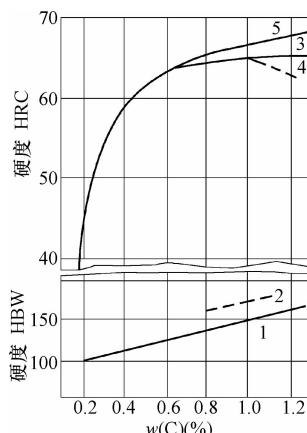


图 1-1 淬火硬度与碳含量及马氏体数量的关系

- 1—碳钢退火后的硬度
- 2—铬钢退火后的硬度
- 3—碳钢淬火后的硬度（加热到  $A_{C1}$  以上：780~800°C）
- 4—碳钢淬火后的硬度（加热到  $A_{Cm}$  以上）且冷处理以后的硬度
- 5—碳钢淬火后的硬度（加热到  $A_{Cm}$  以上）且冷处理以后的硬度

表 1-10 几种钢整体淬火后表面硬度与有效厚度的关系

淬火后硬度值 HRC 截面厚度/mm	<3	4~10	10~20	20~30	30~50	50~80	80~120
材料及工艺							
15, 渗碳淬火	60~66	60~66	60~66	60~66	60~63	52~61	
15, 渗碳油淬	59~63	42~61					
35, 水淬	47~52	47~52	47~52	37~47	32~42		
45, 水淬	58~61	52~60	52~57	50~54	47~52	42~47	27~37
45, 油淬	42~47	32~37					
T8, 水淬	61~66	61~66	61~66	61~66	58~63	52~57	42~47
T8, 油淬	57~63						
T10, 碱浴	61~64	61~64	61~64	60~62			
20Cr, 渗碳油淬	61~66	61~66	61~66	61~66	58~63	47~57	
40Cr, 油淬	52~61	52~57	52~57	42~52	42~47	37~42	
35SiMn, 油淬	50~55	50~55	50~55	47~52	42~47	37~42	
65SiMn, 油淬	60~65	60~65	52~61	50~57	47~52	42~47	37~42
GCr15, 油淬	61~65	61~65	61~65	60~64	54~63	50~52	
GrWMn, 油淬	61~66	61~66	61~66	61~65	60~64	58~63	58~61
9Mn2V, 油淬	61~66	61~66	61~66	61~65	60~64	52~58	

### 1.3.2 过热和过烧敏感性

#### 1. 过热敏感性

过热敏感性，即材料及其零件热处理加热过程易于导致组织（晶粒度）粗化倾向的程度。过热敏感性与钢的本质晶粒度有关，本质粗晶粒钢的过热敏感性极强；在本质细晶粒钢中锰含量较高时也会导致过热敏感性增强。钢中含有形成碳化物合金元素时，可以抑制晶粒长大倾向，因此，过热敏感性较弱。

需要指出，本质细晶粒的普通钢，当加热温度超过 950~1000℃ 时，晶粒度也将急剧长大。

#### 2. 过烧敏感性

钢的过烧敏感性，即钢加热过程易于发生晶界熔化或被氧化的倾向程度。通常，过热敏感性强的钢，其过烧敏感性也强。此外，钢中含有低熔点杂质，在晶界上分布，也易于导致过烧。

对于非铁合金而言，其过热过烧敏感性更加强烈。

### 1.3.3 变形和裂纹敏感性

#### 1. 变形敏感性

变形敏感性，即热处理过程容易产生变形的程度。其中，零部件结构的热处理变形敏感性很强。例如，零部件结构尺寸薄厚相差悬殊、长度与直径比过大、零件

结构应力集中、刚度过小以及形状复杂等，均容易在热处理时产生变形。同时，材料的品种对热处理变形敏感性的影响也很大，其规律是：水淬钢 > 油淬钢 > 空淬（风冷）钢。此外，材料本身的抵抗变形的阻力越大，则越不易变形。例如，由于中、高合金钢比碳素钢和低合金钢的抵抗变形阻力大（强度高），因此，淬火时变形小。

对淬火变形的试验研究表明，除外部机械应力作用外，淬火变形的实质是在内应力作用下的微量塑性变形。因此，淬火变形的敏感性要以淬火应力大小和钢的微量塑性变形抗力（屈服强度）来评定。

实践表明，钢淬火冷却初期因急冷造成的热应力较大，加之高温下钢的塑性变形抗力小，所以热应力对钢的翘曲变形的影响比组织应力影响严重；然而，在  $M_s$  点以下冷却时，组织应力是产生翘曲变形的主要原因。体积变形是钢在其  $M_s$  点以下冷却过程比体积变化的结果。时效变形则是时间因素以及组织结构和内应力的稳定性起主导作用。因此，评定不同类型变形敏感性的依据也不同。

关于钢的微量塑性变形抗力，一般认为，淬火冷却到 500 ~ 600℃ 以上温度，即塑性尚好的情况下，以其该温度下的屈服强度作为衡量指标较合适。但在钢的  $M_s$  点较低温度下，即弹-塑性变形能力较差情况下，钢的微量塑性变形抗力已相当于淬火后常温下的抗拉强度。因此，凡是能影响钢的屈服强度的种种因素，如钢的化学成分、晶粒度、组织状态和淬火工艺参数等均会影响淬火变形敏感性。

## 2. 裂纹敏感性

裂纹敏感性，即零件淬火过程产生裂纹的可能程度。其中，零件结构对淬火裂纹敏感性的影响非常强。例如，零件相邻截面尺寸突变，则淬火时会导致冷却不均，或零件结构的拐角呈急剧过渡状态（清根，或圆角  $R < 6\text{mm}$ 、或角度  $< 90^\circ$ ）导致应力集中等，淬火时极易产生裂纹。另外，原材料的淬火裂纹敏感性也各有不同，其规律也是：水淬钢 > 油淬钢 > 空淬（风冷）钢；钢的破断强度越低，杂质含量越多，淬火时越易于产生裂纹。

试验研究表明，淬火裂纹的实质是在淬火拉应力作用下的脆性断裂。因此，淬火裂纹的敏感性要以淬火过程产生的拉应力大小和淬火时钢的破断抗力大小两方面来评定。然而，淬火过程产生的拉应力大小是由淬火时马氏体转变的不等时性及相应的组织应力造成的。因此，所有减少淬火组织应力的因素均有助于减小淬火裂纹敏感性。

另一方面，淬火钢的破断抗力主要取决于其化学成分。试验数据表明，亚共析钢淬火后的破断抗力，随其碳含量递增不断降低；过共析钢正常加热温度淬火后，如果马氏体中碳含量不增加，则破断抗力没有明显变化。相反，提高加热温度（高于  $A_{Cm}$  点温度）淬火时，将随碳含量增加导致马氏体晶格畸变严重，破断抗力继续降低。

此外，内应力的作用时间对形成裂纹有重要影响。例如，淬火的 30Cr13 钢在

瞬间载荷作用下，需  $1450 \sim 2000 \text{ MPa}$  的应力才能破断，而在长时间（100h）作用下，仅需  $200 \sim 400 \text{ MPa}$  的应力就足以破断。可见，钢中内应力作用的时间较长时，其破断抗力降低。因此，钢淬火后及时回火消除内应力，对避免淬火裂纹具有重要的实际意义。

### 1.3.4 氧化和脱碳敏感性

#### 1. 氧化敏感性

氧化敏感性，即材料及其零件热处理加热过程易于导致其表面的铁及合金元素被氧化的倾向程度。一般地说，热处理加热温度越高，氧化敏感性越强；在同样加热条件下，钢中碳含量越低，被氧化的倾向越大。钢中的合金元素活性越强，则氧化敏感性也越强。

对于非铁合金，如钛合金等的氧化敏感性比钢强烈得多。实践表明，钛合金热处理后表面氧化层对其使用性能影响很大，会大幅度降低塑性和韧性。因此，钛合金的氧化层必须采用喷砂、酸洗或机械加工等方法除掉。对于接近成品的精加工件，除掉氧化层后，还要去除一定深度的基体。因此，钛合金件设计时，要留有足够的加工余量，以避免氧化层引起的有害影响。

#### 2. 脱碳敏感性

脱碳敏感性，即材料及其零件热处理加热过程中易于导致其表面的碳被燃烧的倾向程度。脱碳敏感性与钢中不形成碳化物的 Si、Co 和 Al 的含量有关，由于这些元素促进碳的石墨化，并均能增加碳的活性。因此，钢中 Si、Co 和 Al 的含量越高，其脱碳敏感性越强；钢中形成碳化物的合金元素对其影响也不尽相同。例如，碳化钼不如碳化钨稳定，因而含钼高速钢比钨高速钢的脱碳敏感性强。

氧化和脱碳两者是同时伴生的。通常，影响脱碳的因素，一定程度上均影响氧化的程度。

### 1.3.5 耐回火性和回火脆性

#### 1. 耐回火性

耐回火性，即钢在回火时抵抗软化的能力。钢中含有合金元素 Si 可以明显提高其耐回火性。耐回火性好的钢，在相同硬度条件下可以在较高温度回火后使用。钢中合金元素越多，其耐回火性越好。其规律是：高合金钢 > 中合金钢 > 低合金钢 > 碳素钢。

#### 2. 回火脆性

回火脆性，即淬火钢在回火时，发生韧性降低的倾向程度。回火脆性有第一类回火脆性和第二类回火脆性之分。前者，一般在低温（ $250 \sim 400^\circ\text{C}$ ）回火时产生，而且是不可逆的。如果回火温度选择不当，几乎所有钢低温回火时，都会产生一定程度的第一类回火脆性。后者，一般是因高温（ $450 \sim 650^\circ\text{C}$ ）回火时冷却速度慢

(空冷)产生的。它是可逆的,即重新回火加热后快速冷却(水冷或油冷)便可消除。第二类回火脆性仅在一些铬锰钢、铬镍钢、铬镍钼钢中产生。

试验研究表明,影响可逆回火脆性的主要因素有:

(1) 合金元素的影响 钢中P、N、Mn、Si、Cr、Al、V、Ni和Cu(与Cr、Mn共存时)增加回火脆性;Ti、Zr和Cu(单独存在时)等不改变其脆性。

(2) 钢的冶炼方法的影响 碱性平炉钢回火脆性最高,酸性平炉钢回火脆性次之,碱性电炉钢最小。

(3) 热处理工艺的影响 淬火温度越高,回火脆性倾向越大;较高温度(680℃)回火比较低温度(620℃)回火产生的回火脆性小。另外,增加回火保温时间,则增加回火脆性;回火冷却速度越快,则回火脆性越小。

常用钢产生回火脆性的温度范围,如表1-11所示。

表1-11 常用钢产生回火脆性的温度范围 (单位:℃)

钢 种	第一类回火脆性	第二类回火脆性	钢 种	第一类回火脆性	第二类回火脆性
20Mn2	250~350	500~550	65Mn		有回火脆性
20MnV	300~360		50CrVA	200~300	
35SiMn		500~650	60Si2Mn		有回火脆性
40Cr	300~370	450~650	5CrW2Si	300~400	
38CrSi	250~350	450~550	MnCrWV	约250	
35CrMo	250~400	无明显脆性	30Cr2W8V		550~650
20CrMnMo	250~350		9SiCr	210~250	
30CrMnSi	250~380	460~650	CrWMn	250~600	
20CrNi3A	250~350	450~550	9Mn2V	190~230	
12Cr2Ni4A	250~350		T8~T12	200~300	
38CrMoAlA	300~450	无脆性	GCr15	200~240	有回火脆性
12Cr13	520~560		14Cr17Ni2	400~580	
20Cr13	450~560	600~750	30Cr13	350~550	600~750

为了消减可逆回火脆性,一些有回火脆性倾向的合金结构钢高温回火后应油冷或水冷。

为减小因快冷产生的内应力,可补充一次低温回火予以消除。

### 1.3.6 组织和应力的稳定性

#### 1. 钢的残留奥氏体稳定性

钢的残留奥氏体稳定性,即淬火钢中的残留奥氏体不易发生转变的程度。残留奥氏体稳定性强弱与钢的化学成分及热处理工艺有关。例如,等温淬火后会增加残

留奥氏体量，且稳定性增加。高碳高合金钢制作的零件和工具、模具、量具、夹具经等温淬火后，利用获得一定数量的、稳定的残留奥氏体，可实现微变形淬火和冷态校正变形等。

## 2. 钢的残留应力稳定性

在热处理过程中，伴随组织转变而产生应力是不可避免的。应力有组织应力和热应力之分。试验研究表明，钢件淬火时，组织应力往往呈现拉应力状态，而热应力呈现压应力状态。两者综合作用的结果（残留应力）取决于哪种应力占据上风。试验表明，零件的淬火裂纹，往往是强大残留拉应力造成的。因此，淬火过程应设法减小组织应力，并通过回火将其消除，不让其稳定下来，否则，即使淬火过程没有开裂，在使用或存放过程中也可能产生裂纹和降低零件力学性能。

生产中采用的表面淬火和化学热处理以及喷丸、喷砂等都会使零件表面呈压应力状态，有利于提高零件的强度和使用寿命。对于这种应力则应尽量使其稳定下来。

### 1.3.7 表面状态的敏感性

表面状态敏感性，即表面缺口敏感性。它对超高强度钢和工模具钢十分重要，因其合金元素含量较多，淬火后硬度较高，一旦表面即使有微细缺口也会导致疲劳性能、耐蚀性和韧性等明显降低。因此，超高强度钢和工具钢制零件表面质量要求较严，而且氢含量要低，表面应力要小，无脱碳现象以及不得有划痕等。

在生产实践中，为了改善超高强度钢的表面状态敏感性，往往采用强韧化淬火代替普通淬火和减少表面残留拉应力及防止加热时氧化脱碳等措施。

### 1.3.8 介质污染的敏感性

#### 1. 钢的氢污染敏感性

对于容易产生白点缺陷的钢种，除了钢在精炼时严格控制氢含量外，大型零件毛坯锻造后，应施以预防白点退火处理。其具体加热温度视钢种而别，一般地说，马氏体型钢在 300℃ 左右；珠光体型钢为 580~680℃（原则是尽量接近所处理钢的过冷奥氏体的最不稳定的温度区域），保温后以 30~50℃/h 的速度冷却到 400℃，再以 20~30℃/h 的速度冷却到 250~300℃ 后空冷即可（详见第 10 章中的汽轮机典型件热处理工艺设计实例）。

#### 2. 钛合金的氢污染敏感性

钛合金更容易产生氢脆，当加热到 300℃ 时即开始吸氢，500℃ 时吸氢速度急剧增加。此外，在机械加工、酸洗等过程中都会发生氢污染。因此，钛合金零件一般控制氢含量（质量分数）≤0.02%，超过标准规定需进行真空除氢处理。热处理加热时不得用氢气或含氢的介质进行保护。

### 1.3.9 工艺参数的敏感性

对于非铁合金，热处理工艺参数的敏感性十分明显。

#### 1. 铝合金的热处理工艺参数敏感性

(1) 时效加热温度的敏感性 为了使尽可能多的强化相溶入固溶体，铝合金的时效加热温度应尽量提高，接近其熔点。为了避免极易产生的过热、过烧，必须严格控制加热温度。铝合金的加热温度范围一般在 $10^{\circ}\text{C}$ 以内，要求加热炉的温度均匀度 $\leq \pm 5^{\circ}\text{C}$ 。

(2) 固溶加热速度的敏感性 对于包铝铝合金热处理时，为了防止包铝层与基体铝合金之间扩散而影响其使用性能，应使固溶处理的加热速度尽量快些，限制加热时的最大回复时间，如表 1-12 所示。

表 1-12 包铝铝合金固溶处理加热的最大回复时间

截面有效厚度/mm	允许的最大回复时间/min	截面有效厚度/mm	允许的最大回复时间/min
$\leq 1.5$	10	$> 5 \sim 10$	30
$> 1.5 \sim 5$	20	$> 10 \sim 15$	60

(3) 冷却速度的敏感性 对于大多数铝合金淬火冷却时，都要求在 $400 \sim 250^{\circ}\text{C}$ 范围内以最快的冷却速度冷却，在随后的时效处理才能获得良好的综合力学性能以及较好的抗应力腐蚀能力。因此，要求淬火转移时间为 $5 \sim 15\text{s}$ 。为了确保强化效果，应力求减小处理前的有效尺寸（如在粗加工后处理等）。不难看出，铝合金零件设计时，应考虑到铝合金淬火冷却速度的敏感性。

(4) 淬火与时效的间隔时间的敏感性 表 1-13 为铝合金淬火后塑性保持时间及淬火与人工时效间隔时间的限制。

表 1-13 铝合金淬火后塑性保持时间及淬火与人工时效间隔时间的限制

合 金 牌 号	淬 火 后 塑 性 保 持 时 间 / h	淬 火 与 人 工 时 效 间 隔 时 间 / h
2A02(LY2)	2 ~ 3	< 5 或 15 ~ 100
2A12(LY11)	1.5	不限
2A17(LY17)	2 ~ 3	不限
2A50(LY50)	2 ~ 3	< 6
2A70(LD7)	2 ~ 3	不限
7A10(LC10)	2 ~ 3	< 3 或 > 48
7A04(LC4)	6	< 4 或 2 ~ 10 昼夜

### 2. 钛合金的热处理工艺参数敏感性

(1) 冷却速度的敏感性  $(\alpha + \beta)$ 型和 $\beta$ 型钛合金的热处理工艺主要是固溶强化和时效处理。为了确保时效强化效果，固溶处理的冷却速度越快越好，一般采用水冷或油冷；同时还要严格控制淬火转移时间，如表 1-14 所示。

表 1-14 钛合金零件淬火转移时间的限制

零件厚度/mm	允许的最大淬火转移时间/s	零件厚度/mm	允许的最大淬火转移时间/s
< 5	6	> 25	12
5 ~ 25	8		

(2) 钛合金热处理的尺寸敏感性 试验和生产实践均表明, 钛合金固溶时效强化效果与零件尺寸密切相关, 随零件尺寸增加而抗拉强度降低(见本章 1.4.2 节)。

## 1.4 零件设计要素对热处理工艺性的影响

产品零件的设计对其热处理质量有着重要影响。如果产品零件设计得不合理, 不仅给热处理带来一定困难, 甚至造成不应有的废品, 而且难以达到产品的预期使用性能和使用寿命。因此, 产品及其零件设计的合理性是确保热处理质量的首要环节。

### 1.4.1 零件结构的合理设计

对需要热处理的零件, 在设计零件结构时应满足以下要求:

- 1) 除模具刃口和刀具刃部等特殊情况外, 一般零件的锐边、尖角应倒钝或成圆角。
- 2) 尽量使零件截面均匀, 质量均衡。必要时可加开工艺孔或工艺槽, 并合理分布其数量和位置。
- 3) 轴类零件的细长比不宜过大, 以利于减小变形。
- 4) 当零件内孔需要淬火时, 除特殊情况外尽量是通孔。孔与孔或孔与棱边应有适当的距离。有必要时, 在不影响强度的情况下可在不通孔底处增加工艺通孔, 以便淬火时改善其冷却条件。
- 5) 赋予零件一定刚度, 必要时应增设加强肋, 以便提高零件的抗变形阻力。
- 6) 零件结构和形状应力求简单、对称。
- 7) 零件热处理前, 零件表面应有一定的表面粗糙度要求。一般淬火件表面粗糙度  $R_a$  不大于  $3.2\mu\text{m}$ ; 渗氮件表面粗糙度  $R_a$  不大于  $0.8\mu\text{m}$ ; 渗碳件表面粗糙度  $R_a$  不大于  $6.3\mu\text{m}$ , 且表面不得有较深的划痕或刻痕等缺陷。
- 8) 对大件和细长件设计时, 应尽量考虑到热处理时的装夹和吊挂。
- 9) 形状复杂零件或不同部位有不同性能要求时, 应尽量采用组合结构。
- 10) 有花键孔的零件, 如需高频感应淬火或渗碳时, 设计时应考虑到内孔键槽与外圆之间的壁厚不应过小。

图 1-2 和图 1-3 分别为不均匀截面的零件、带尖角的零件与合理结构的对比。

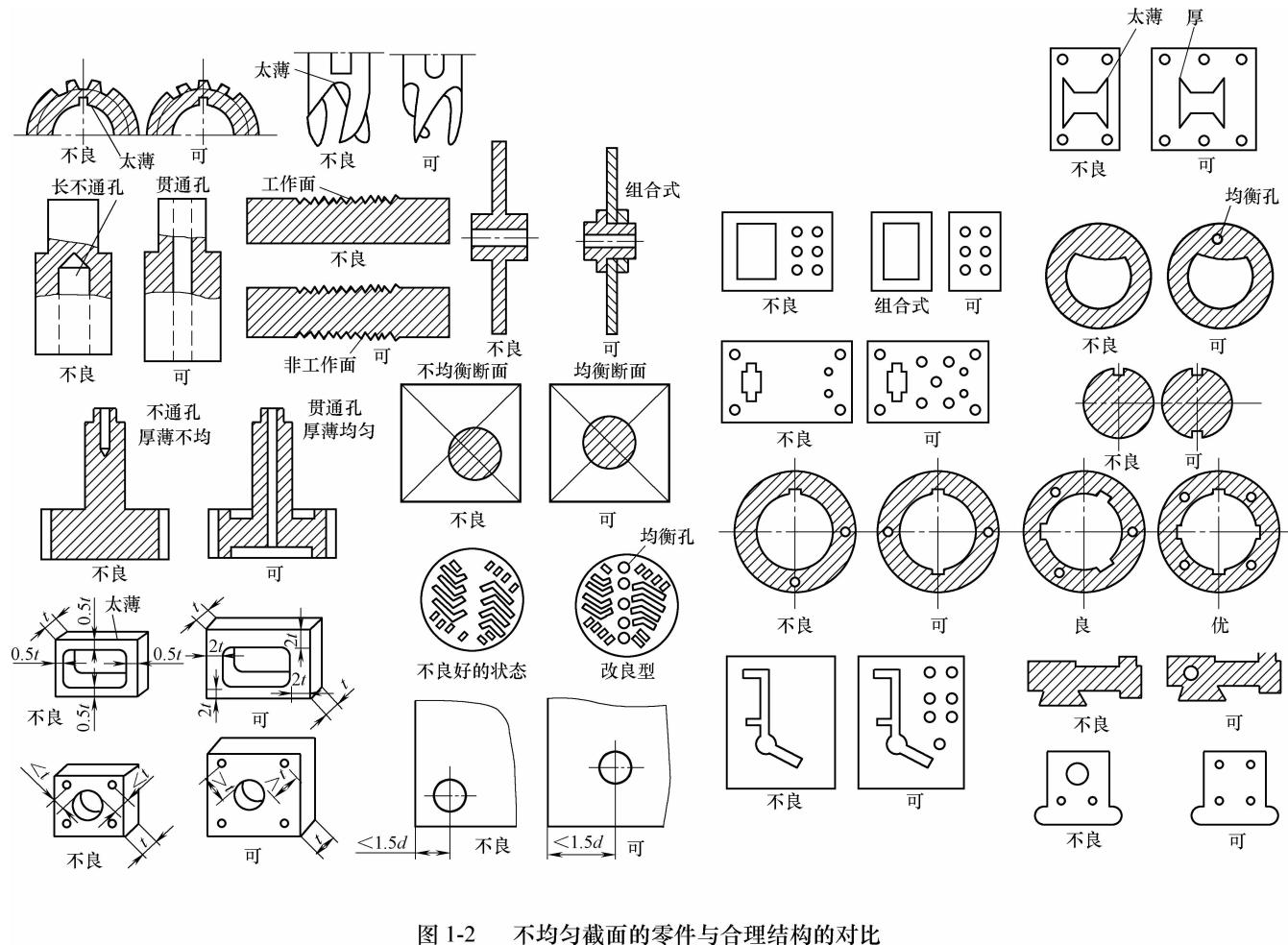


图 1-2 不均匀截面的零件与合理结构的对比

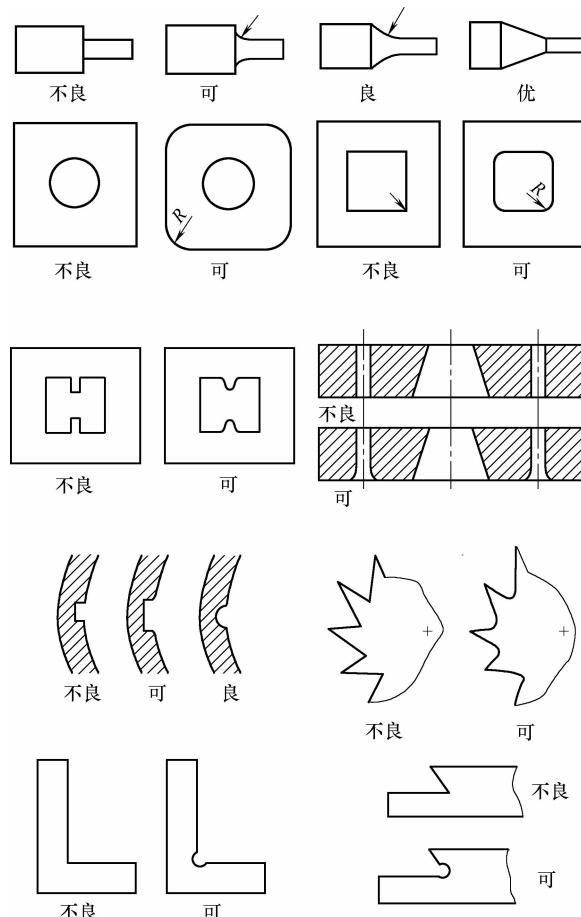


图 1-3 带尖角的零件与合理结构的对比

### 1.4.2 零件有效尺寸的合理确定

就热处理工艺性角度而言，零件有效尺寸的合理性主要受所用材料的淬透性和变形、裂纹敏感性三方面的限制。

#### 1. 钢的淬透性对零件有效尺寸的限制

钢的淬透性对其淬火后的组织及性能有着重要影响。为了使零件的组织及其性能均匀一致，一般要求淬火时完全淬透。试验表明，常用钢的淬透最大断面临界直径，如前面的表 1-9 所示。航空结构钢淬透的最大尺寸限制，如表 1-15 所示。

表 1-15 航空结构钢淬透的最大尺寸限制 (单位: mm)

牌号	热处理工艺	最大限制尺寸	
		零件形状	尺寸
30CrMnSiA	油淬	圆柱体	25

(续)

牌号	热处理工艺	最大限制尺寸	
		零件形状	尺寸
30CrMnSiA	等温淬火	圆柱体	12
		双面冷却扁平或管件	6
		单面冷却件	3
40CrNiMoA	油淬	圆柱体	35
18Cr2Ni4WA	油淬	圆柱体	80
12CrNi4A	油淬	圆柱体	30
12CrNi3A	油淬	圆柱体	25
18CrMn2MoSiA	空冷	圆柱体	80
30CrMoSiNi2A	油淬	圆柱体或正方体	80
	180~230°C 等温淬火	型材	60
	280~320°C 等温淬火	双面冷却板平或管件	40
	310~330°C 等温淬火	单面冷却管件	20
40CrMnSiMoA	油淬	圆柱体	50
	180~230°C 等温淬火	单面冷却管材	20
	290~320°C 等温淬火	圆柱体	40
	300~340°C 等温淬火	圆柱体	40
40CrNi2Si2MoVA	油淬	圆柱体	100
45CrNiMo1VA	油淬	圆柱体	127

## 2. 钢的裂纹敏感性与零件有效尺寸的关系

试验研究表明，钢的淬火裂纹敏感性与零件的有效尺寸有一定的关系。图 1-4 所示为 T8A 钢和 Cr 钢在水中淬火时裂纹形成与试样尺寸的关系。从图中看出，T8A 钢随其试样尺寸增加，其产生裂纹的倾向增加。Cr 钢产生淬火裂纹的临界尺寸为  $30\text{mm} \times 30\text{mm}$ 。显然，这是由于钢中合金元素使淬透性增加所致。生产实践表明，由于钢中合金元素增加，伴随淬透性增加，其淬火时产生裂纹的临界尺寸也增加。

对普通钢而言，一般都存在一个淬裂危险尺寸。大多情况下水淬时淬裂的危险尺寸为  $8\sim12\text{mm}$ ，油淬时的淬裂危

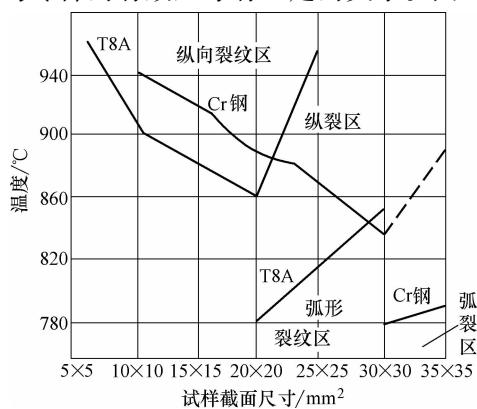


图 1-4 T8A 钢和 Cr 钢在水中淬火后  
裂纹形成与试样尺寸的关系

险尺寸为 25~39mm。图 1-5 所示为常用钢 900°C 加热后淬入室温油中后，淬裂倾向与碳含量及理想临界直径的关系。因此，要求心部淬透的零件和工模具，在设计时应尽量避开危险断面尺寸。

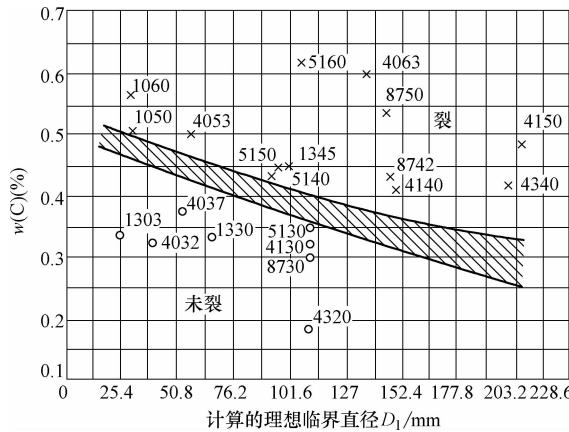


图 1-5 常用钢 900°C 加热后淬入室温油中后，  
淬裂倾向与碳含量及理想临界直径的关系

### 3. 钢的变形倾向与零件结构形状和尺寸的关系

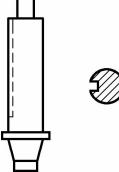
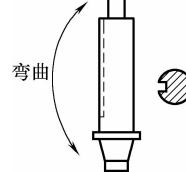
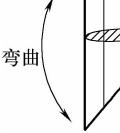
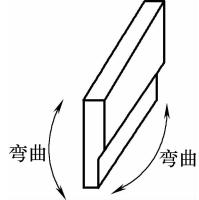
生产实践中所遇到的零件和工模具，其结构形状和尺寸各种各样十分复杂。表 1-16 所示为几种简单形状的工件，热应力及组织应力引起的淬火变形倾向。表 1-17 所示为几种简单形状工件的变形倾向与零件形状的关系。

表 1-16 热应力和组织应力引起的淬火变形倾向

项目	轴类	扁平体	正方体	套类	圆环类
原始状态					
热应力作用			趋向球状		
组织应力作用			平面内凹		

注：“+”表示增大，“-”表示减小。

表 1-17 几种简单形状工件的变形倾向与零件形状的关系

工件形状	变形倾向	说 明	减 小 措 施	备 注
		凸向冷却速度快的一侧	1) 力求工件各面冷却均匀 2) 槽口用石棉绳堵塞后淬火 3) 厚大部分向下倾斜淬火 4) 厚大部分或冷却速度较慢部分迎向水面摆动淬火 5) 校直	50 钢, 820°C, 水淬
		凸向冷却速度快的一侧	1) 力求工件各面冷却均匀 2) 槽口用石棉绳堵塞后淬火 3) 厚大部分向下倾斜淬火 4) 厚大部分或冷却速度较慢部分迎向水面摆动淬火 5) 校直	T10 钢, 800°C, 水淬
		凸向冷却速度快的一侧	1) 力求工件各面冷却均匀 2) 槽口用石棉绳堵塞后淬火 3) 厚大部分向下倾斜淬火 4) 厚大部分或冷却速度较慢部分迎向水面摆动淬火 5) 校直	T10 钢, 800°C, 水淬

#### 4. 铝合金固溶冷却速度敏感性与其允许的最大厚度尺寸

为了确保铝合金制零件固溶时效后获得高的综合力学性能和最佳耐蚀性，应对铝合金固溶处理最大厚度尺寸进行限制，如表 1-18 所示。

表 1-18 铝合金件固溶处理所允许的最大厚度尺寸

淬火冷却介质	合 金 牌 号	品 种	最 大 厚 度 尺 寸/mm
水	2024、2124、2219、6061	全部	101.6
	7049、7050	全部	127.0
	7075	全部	76.2
	7475	薄板、中厚板	76.2
聚合物水溶液	2024 <sup>①</sup>	薄板、管材	1.0
	2124	薄板	1.6
	2219	薄板	2.0
	6061	薄板	4.6
	7049	锻件	76.2
	7050	锻件	25.4
	7050	锻件	50.8
		薄板	6.3

① 2024—T42 最大厚度尺寸为 1.0mm；2024—T62 所有厚度薄板都可淬透。

### 5. 钛合金固溶冷却速度敏感性及其允许的最大厚度尺寸

为了确保钛合金制零件固溶时效后获得高的综合力学性能和最佳耐蚀性，也应对钛合金固溶处理最大厚度尺寸进行限制。表 1-19 所示为钛合金固溶、时效处理后的抗拉强度与尺寸的关系。

表 1-19 钛合金固溶、时效处理后的抗拉强度与尺寸的关系

合金牌号 抗拉强度/MPa	截面厚度/mm					
	13	25	50	75	100	150
Ti-6Al-4V	1105	1070	1000	930		
Ti-6Al-6V-2Sn-0.5Cu-0.5Fe	1205	1205	1070	1035		
Ti-6Al-2Sn-4Zr-6Mo	1170	1170	1170	1140	1105	
Ti-5Al-2Sn-2Zr-4Mo-4Cr	1170	1170	1170	1105	1105	1105
Ti-10V-2Fe-3Al	1240	1240	1240	1240	1170	1170
Ti-13V-11Cr-3Al	1310	1310	1310	1310	1310	1310
Ti-11.5Mo-6Zr-4.5Sn	1310	1310	1310	1310	1310	
Ti-3Al-8V-6Cr-4Zr-4Mo	1310	1310	1240	1240	1170	1170

### 6. 钛合金的氧化敏感性与去除基体金属的最小深度

钛合金的氧化敏感性特点及其一般的去除方法前已述及。为了保证钛合金零件的使用性能不受氧化效应的影响，在实际零件设计时往往要考虑：在实施一般去除方法的基础上，对零件基体再去除一定深度。表 1-20 所示为钛合金零件去除基体金属的最小深度。

表 1-20 钛合金零件去除基体金属的最小深度

去除深度/ $\mu\text{m}$ 加热温度/ $^{\circ}\text{C}$	加热时间/h						
	$\leq 0.2$	0.2 ~ 0.5	0.5 ~ 1	1 ~ 2	2 ~ 6	6 ~ 10	10 ~ 20
500 ~ 600	不要求	8	13	13	13	25	51
600 ~ 700	8	13	25	25	51	76	76
700 ~ 760	13	25	25	51	76	76	152
760 ~ 820	25	25	51	76	142	152	
820 ~ 930	51	76	142	152	254		
930 ~ 980	76	142	152	254			
980 ~ 1100	152	254	356				

注：在进行多道次加热时，可在最后一道加热后消除氧化层，加热时间以各次相加计算。

### 1.4.3 热处理变形和预留加工余量

热处理过程产生的变形会给其后序，特别是金属切削加工增加不同程度的麻烦，影响其生产效率，增加制造成本和浪费材料等。因此，应设法减少热处理变形，以减少切削加工余量。对于一些有变形规律的热处理件，应规定出热处理工序及其前序的允许变形量，以及热处理后序的切削加工余量。典型零件预留的加工余量和热处理变形允差及典型刃具、量具、模具的热处理变形允差，详见本书附录B所示。

对于一些特殊情况，可经冷、热加工工艺设计者协商处理，作为临时规定。

### 1.4.4 零件材料的合理选择

#### 1. 材料选择的要点

零件设计时，材料选择得合理是决定其使用性能和寿命的基础，同时对热处理的工艺性也有重要影响。因此，材料选择是产品设计质量和热处理工艺质量的另一关键环节。零件材料选择的要点如下：

(1) 根据零件工作条件和通常的失效特点选择材料 零件的工作条件包括零件所受载荷类型及大小、环境温度和介质；零件失效形式包括磨损、变形、韧性断裂和脆性断裂等。所选择的材料必须确保零件工作过程所需要的性能，如各种力学性能、耐磨性、抗咬合粘滞性、耐蚀性、持久强度和低温脆性，以及其他特殊性能要求，如电性、磁性、密度等。例如：

1) 对于疲劳失效的零件，应根据其疲劳类型（接触疲劳、冲击疲劳、腐蚀疲劳等）和预选材料本身的特性以及疲劳强度与抗拉强度的关系、以往的经验等进行选材。

2) 对于承受冲击频率不大但冲击载荷较大的零件，通常选择的材料其化学成分（质量分数）碳含量不大于0.4%，磷、硫含量在0.025%以下，锰含量不大于1.4%，铬含量小于1.0%。其性能以韧性为主（硬度为45HRC左右）。对于承受冲击频率较大但冲击载荷较小的零件，应以强度为主，硬度以48~52HRC为宜。

3) 对于要求耐磨的零件，应根据磨损类型（颗粒磨损、粘着磨损、接触磨损和腐蚀磨损）和工作时承受的压力等具体情况，先确定选材方向，进而再确定材料的具体牌号及热处理方法和硬度等性能要求。

4) 对于工作温度低于-45℃或工作温度高于350℃要求特殊性能的零件，可参考材料手册中推荐的含镍、铬量较高的钢种。

(2) 材料选择应与零件有效截面尺寸相适应 对于要求整体淬透的零件选材时，必须考虑钢的淬透性。一般机械零件以心部获得50%（体积分数）马氏体视为淬透；重要零件（如航空零件等）以心部获得90%（体积分数）马氏体视为淬透。钢完全淬透的最大直径称为淬火临界直径( $D_0$ )。常用钢的淬火临界直径

( $D_0$ ) 和制造航空零件的结构钢最大尺寸限制, 分别如表 1-19 和表 1-16 所示。表 1-21 所示为常用钢正火后硬度与尺寸效应的关系。

表 1-21 常用钢正火后硬度与尺寸效应的关系

牌号	正火温度/°C	在下列直径(mm)时的正火后硬度 HBW			
		12.0	25.0	50	100
15	930	126	121	116	116
20	930	131	131	126	121
20Mn	930	143	143	137	131
30	930	156	149	137	137
40	900	183	170	167	167
50	900	223	217	212	201
60	900	229	229	223	223
80	900	293	293	285	269
12Cr2Ni4	890	269	262	252	248
40Mn2	870	269	248	235	235
30CrMo	870	217	197	167	163
42CrMo	870	302	302	285	241
40CrNiMo	870	388	363	341	321
40Cr	870	235	229	223	217
50Cr	870	262	255	248	241

(3) 选择材料应与热处理工艺相适应 各种钢都有其最佳的热处理工艺。例如, 制造模具的高碳钢和高碳合金钢, 适合整体淬火硬化后进行化学热处理; 低、中碳素钢和低、中碳合金钢适合化学热处理后进行整体淬火硬化; 38CrMoAl 钢适合渗氮; 高锰钢仅适合水韧处理; 奥氏体钢适合固溶处理等。

(4) 选择材料时应考虑热处理工艺性 例如, 结构复杂的零件要考虑淬火开裂和变形问题。在保证性能要求和不过多增加成本的前提下, 采用淬透性好的合金钢用油淬火比碳素钢用水淬火的开裂、变形的敏感性小得多; 在满足性能要求的前提下, 应尽量采用碳含量较低的钢, 以便淬火时产生较小的内应力, 从而降低产生裂纹和变形的敏感性。

(5) 尽量选用可简化热处理工序的材料 例如, 在保证性能要求的前提下, 采用低碳钢淬火代替中碳钢调质, 既能满足零件性能要求, 又能降低成本; 再如, 在不受很大冲击的条件下, 要求表面耐磨的零件采用中碳钢高频淬火代替低碳钢渗碳淬火, 不仅可以满足性能要求, 而且因大大简化工序和节约能耗而降低成本等。

(6) 关注当前新材料和热处理新工艺 掌握先进技术的发展态势, 对材料的

选择不断推陈出新；挖掘传统材料的性能潜力，拓展其应用范围等。

## 2. 改善热处理工艺性的材料选择及代用

在大量生产实践中，广大热处理工作者在改善热处理工艺性的选材方面，积累了许多经验。例如，机床齿轮用中碳结构钢高频淬火代替低碳钢渗碳淬火；汽车钢板弹簧用低碳合金钢进行板条马氏体淬火代替合金弹簧钢淬火+中温回火；用20SiMn2MoV代替40CrNi和35CrMo制造矿用轻型吊环、吊卡；用60Si2Mn弹簧钢制造冷作模具；高速钢采用低温淬火和低温回火制造模具；用廉价的Q235等普通低碳钢板条马氏体淬火制造农机具（犁铧和铁锹）等。

## 1.4.5 热处理技术要求的合理确定

零件设计过程与热处理有关的另一重要环节是在合理选择材料的基础上，确定其热处理工艺方法和硬度、金相组织以及硬化层深度、渗氮层脆性等要求。

### 1. 硬度和力学性能要求

由于硬度试验方法简单、快捷，又不破坏零件，且硬度与强度等其他力学性能有一点的对应关系，即可间接地反映其他力学性能。因此，硬度成为热处理质量的重要指标，而且是唯一不可缺少的技术要求。

对于重要零件，除了硬度要求外，还有抗拉强度、屈服强度和断裂韧度要求，以及在特殊条件下工作的零件所需要的特殊性能要求等。

在确定硬度等力学性能指标时，要顾及强度与韧性的配合，以避免忽视或过分强调韧性的偏向；特别要兼顾组合件硬度与强度的匹配，提高其使用寿命，例如滚珠轴承的滚珠应比套圈高2HRC；汽车主动齿轮的表面硬度应比从动齿轮硬度高2~5HRC；处理好表面硬化零件（如渗碳、渗氮和表面淬火等）硬化层深度及表面硬度与心部硬度的关系，使其达到最佳匹配，以适应零件的工作条件。

由于材料强度、零件的结构强度和系统强度三者不完全一致，所以零件设计过程要处理好三者的关系。对于某些重要零件，应根据模拟试验的结果确定所要求的力学性能指标。

值得指出，在材料手册中查得的某些材料的硬度值一般是用标准试样测定的。然而，材料性能的尺寸效应会直接影响热处理的结果。因此，确定某种零件的具体硬度时，要根据已确定的材料牌号和零件的有效截面尺寸两个参数来确定，如表1-10所示。

### 2. 表面硬化层深度的选择

选择硬化层深度时，除考虑零件的工作条件和使用性能要求外，还要顾及表面强化的工艺的特点。

对于以磨损为主要失效形式的零件，根据零件的设计寿命和磨损速度确定硬化层深度。一般不宜过深，特别是工模具的硬化层过深会导致崩刃或断裂。

对于以疲劳为主要失效形式的零件，根据表面硬化方法、心部和表面的载荷特

点及零件形状、尺寸等确定硬化层深度，已达到最佳硬化率（硬化率 = 硬化层深度/零件截面厚度），如渗碳或碳氮共渗齿轮，最佳硬化率为 0.1~0.15 较好。

各种表面硬化方法（表面淬火、渗碳和渗氮等）都有一定的合理硬化层深度和偏差，应根据实际工作条件恰当选择。推荐的各种表面硬化层深度及其偏差，如表 1-22~表 1-24 所示。从热处理工艺和节约能源角度考虑，硬化层深度选择，以在满足零件使用要求的条件下，尽量浅些为好。

表 1-22 表面淬火有效硬化层深度分级和相应的上偏差

最小有效硬化层深度 $DS/\text{mm}$	上偏差/mm		最小有效硬化层深度 $DS/\text{mm}$	上偏差/mm	
	感应淬火	火焰淬火		感应淬火	火焰淬火
0.1	0.1	—	1.6	1.3	2.0
0.2	0.2	—	2.0	1.6	2.0
0.4	0.4	—	2.5	1.8	2.0
0.6	0.6	—	3.0	2.0	2.0
0.8	0.8	—	4.0	2.5	2.5
1.0	1.0	—	5.0	3.0	3.0
1.3	1.1	—			

表 1-23 渗碳和碳氮共渗有效硬化层深度及上偏差

有效硬化层深度 $DC/\text{mm}$	上偏差/mm	有效硬化层深度 $DC/\text{mm}$	上偏差/mm
0.05	0.03	1.2	0.5
0.07	0.05	1.6	0.6
0.1	0.1	2.0	0.8
0.3	0.2	2.5	1.0
0.5	0.3	3.0	1.2
0.8	0.4		

表 1-24 渗氮有效硬化层深度及上偏差

有效渗氮层深度 $DN/\text{mm}$	上偏差/mm	有效渗氮层深度 $DN/\text{mm}$	上偏差/mm
0.05	0.02	0.35	0.15
0.1	0.05	0.4	0.2
0.15	0.05	0.5	0.25
0.2	0.1	0.6	0.3
0.25	0.1	0.75	0.3
0.3	0.1		

### 3. 金相组织要求

由于零件的某些使用性能不能通过简单的硬度完全表征出来，所以对热处理质量又提出一些金相组织的要求。例如，中碳钢和中碳合金结构钢淬火的马氏体等级，低、中碳钢的球化体评级，渗碳、渗氮的金相组织检验，钢件感应加热淬火金相组织检验，钢铁零件渗金属层金相组织检验，球墨铸铁热处理金相组织检验等。在零件设计时，应对金相组织的合格级别予以明确要求。

### 4. 热处理变形量要求

由于热处理是一种加热和冷却过程，并伴有相变发生，所以零件热处理后必然产生不同程度的变形。因此，热处理变形量也是其质量的重要指标。当热处理是零件加工的最后一道工序时，热处理变形的允许范围就是零件图样中规定的尺寸公差。

当热处理是零件加工过程的中间工序时，零件热处理前序预留的加工量应为热处理变形量与后序加工余量之和。

## 1.4.6 热处理技术要求的正确标注

在零件图样上，正确、统一采用热处理技术要求符号和具体的技术要求是机械图的重要内容。这对热处理质量和产品质量以及技术交流都很重要，并在 JB/T 8555—2008《热处理技术条件在图样上的标注方法》中作了统一规定。

### 1. 热处理方法和技术条件用符号

在零件图样上，应统一采用标准的热处理技术要求符号。图样上标注热处理技术要求用符号如表 1-25 所示。

表 1-25 图样上标注热处理技术要求用符号表

热处理方法	符 号	表示方式举例	含 义
退火	Th	Th179 ~ 229	退火至 179 ~ 229HBW
正火	Z	Z170 ~ 217	正火至 170 ~ 217HBW
调质	T	T235	调质至 220 ~ 250HBW
淬火	C	C48	淬火后回火至 48 ~ 53HRC
感应淬火	G	G52	感应淬火后回火至 52 ~ 57HRC
调质-感应淬火	T-G	T-G52	调质后感应淬火回火至 52 ~ 57HRC
火焰淬火	H	H42	火焰淬火后回火至 42 ~ 47HRC
渗碳淬火	S-G	S0.5-C58	渗碳层深度为 0.40 ~ 0.70mm, 淬火后回火至 58 ~ 63HRC
渗碳-感应淬火	S-G	S0.9-G58	渗碳层深度为 0.70 ~ 1.10mm, 感应淬火后回火至 ≥ 58HRC
碳氮共渗淬火	Td-C	Td0.5-C58	碳氮共渗层深度为 0.40 ~ 0.70mm, 淬火后回火至 58 ~ 63HRC

(续)

热处理方法	符 号	表示方式举例	含 义
氮碳共渗	Dt	Dt0.012-480	化合层深度 $\geq 0.012\text{mm}$ , 硬度 HV0.1 $\geq 480$
渗氮	D	D0.4-900	渗氮层深度为 0.35~0.50mm, 成品表面硬度 $\geq 900\text{HV}$
回火	Hh	Hh	弹簧钢丝冷卷后回火
发蓝			用文字标注

注：1. 标注某种牌号钢的热处理表示方法（代号）时，在一般情况下省略钢的牌号。

- 布氏硬度的公称值是硬度允许范围的平均值，其允差为 $\pm 15\text{HBW}$ ，例如，235HBW 表示硬度值为 220~250HBW；洛氏硬度  $< 40\text{HRC}$  时，允差  $\pm 5\text{HRC}$ ，硬度公称值是允许范围的平均值，例如，35HRC 表示 30~40HRC；40~58HRC 时，允差  $\text{HRC}^{+5}_{-0}$ ，其公称值是硬度允许范围的低限值，例如，48HRC 表示 48~53HRC； $\geq 59\text{HRC}$  时，上差不限，下差为零，其硬度公称值表示允许范围的低限值。
- 如有特殊要求需要变动标准硬度范围时，则应当标注所需硬度值的上下限，但此时应考虑到热处理工艺的可能性。

## 2. 在图样上热处理技术要求的正确标注

在图样上标注的热处理技术要求，是指成品零件热处理最终状态所具有的性能要求和应达到的技术指标。对于退火、正火或淬火、回火（含调质）作为最终热处理状态的零件，硬度要求通常用布氏硬度或洛氏硬度表示，也可用其他硬度表示。对于其他力学性能要求，应注明其技术指标和取样方法。对于大型铸、锻件不同部位、不同方向的性能要求，也应在图样上标注。

热处理技术要求的指标，一般以范围法表示，标出上、下限值，如 60~65HRC。也可用偏差法表示，以技术要求的下限为名义值，则下偏差为零，再加上偏差表示，如  $60^{+5}_{-0}\text{HRC}$ 。特殊情况也可只标下限或上限值，此时用不小于或不大于表示，如不大于 229HBW。在同一产品的所有零件图上，必须采用统一表达形式。

对于局部热处理的零件，在技术要求的文字说明中要写明“局部热处理”。在需要热处理的部位用细点画线框出；如果是轴对称零件或在不致引起误会的情况下，可用一根细点画线在热处理部分的外侧标注，如图 1-6 所示。

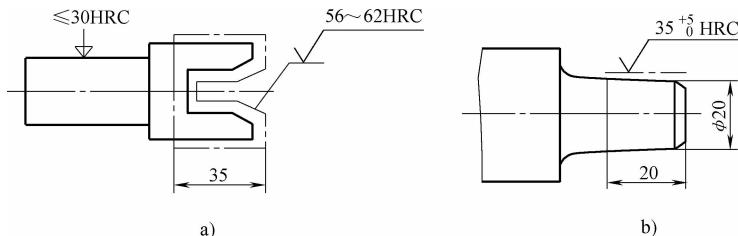


图 1-6 局部热处理在图样上的标注案例

a) 范围标注法 b) 偏差标注法

如果零件形状复杂或容易与其他工艺标注混淆，且热处理标注有困难，而用文字说明也很难说清楚时，可以用另加附图专门标注对热处理的技术要求。

对于表面淬火零件，除要标注表面和心部硬度外，还要标注有效硬化层深度。图 1-7 所示为一个要求局部感应加热淬火零件，离轴端  $(15 \pm 5)$  mm 处开始，在长度  $30^{+5}_0$  mm 一段内感应淬火并回火。

对于渗碳（含碳氮共渗）和渗氮（含氮碳共渗）零件，要标注表面和心部硬度、有效硬化层深度，还要标注出不允许渗碳或渗氮及硬化的位置，如图 1-8 和图 1-9 所示。其中图 1-8 表示一个局部渗碳零件，要求渗碳并淬火的部位用点画线框出，其表面硬度为 57~63HRC，有效硬化层深度（DC）为 1.2~1.9mm；虚线框出的部分表示渗碳淬硬或不渗碳淬硬均可；而未标出的部分表示不允许渗碳，也不允许淬硬。图 1-9 所示为一个表面整体渗氮的零件，表面硬度为 850~950HV10，有效硬化层深度（DN）为 0.3~0.4mm，渗氮层脆性不大于 3 级。

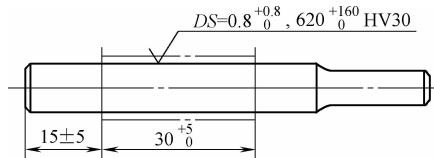


图 1-7 零件表面淬火技术要求标注案例

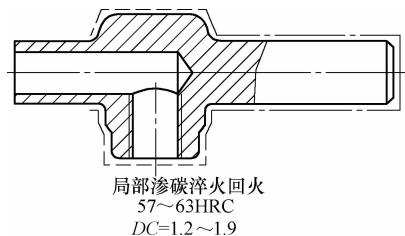


图 1-8 零件渗碳、淬火回火技术  
要求标注案例

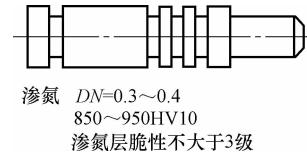


图 1-9 零件表面整体渗氮技术  
要求标注案例

### 1.4.7 零件设计的热处理工艺性会审控制程序

零件设计中的热处理工艺性的控制，除按产品设计部门执行的“产品设计过程质量控制程序”保证外，一般采用工艺性“审查会签”的形式予以控制。零件设计的热处理工艺性会审对确保热处理工艺性和产品零件质量起着重要作用。

#### 1. 热处理工艺性会审的内容

热处理工艺性会审，即由材料及热处理技术人员（或生产现场技术工人）对零件设计图样中的材料选择、零件几何形状、结构特点和热处理方面的技术要求，逐一逐条地进行工艺性审查，并与设计部门协商一致后会签。

#### 2. 热处理工艺性会审及更改控制程序

图 1-10 所示为某热处理厂的零件图样的热处理工艺性会审和更改控制程序。

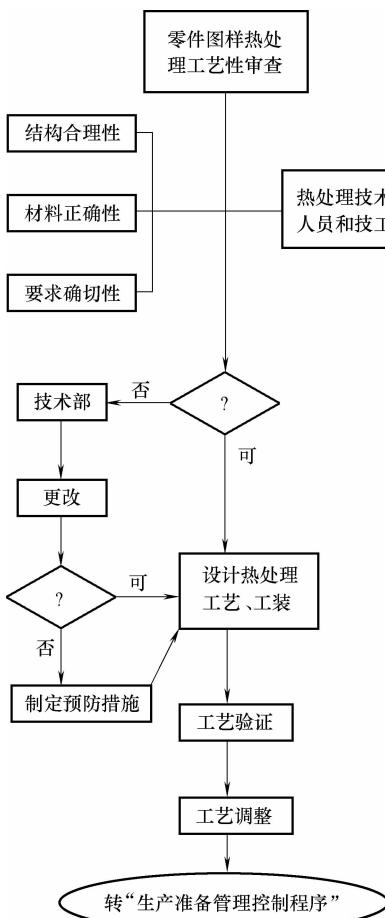


图 1-10 零件图样的热处理工艺性会审及更改控制程序

## 1.5 钢和铸铁件常用热处理工艺方法及其应用范围

机械零件及工模构件的热处理工艺方法，包括毛坯和半成品的预备热处理（各种退火、正火、调质等）和零件的最终热处理（各种淬火、回火、冷处理和时效处理以及表面热处理、化学热处理等）。

### 1.5.1 常用预备热处理工艺方法及其应用范围

毛坯预备热处理是指经冶炼、铸造、锻造、轧制、冲压和挤压等工艺手段生产的钢材或毛坯及半成品等，为改善其力学性能和后序加工工艺性等实施的热处理技术。具体应用可根据实际需要按表 1-26 预备热处理种类和应用范围进行选择。

毛坯预备热处理各种工艺的加热温度允许偏差较大，且对加热炉类别要求也不

高, 如表 1-27 所示。其加热和保温时间按附录 A 所示公式进行计算。

表 1-26 预备热处理种类和应用范围

序号	工 艺 名 称	应 用 范 围
1	正火	用于低中碳钢和低合金结构钢铸、锻件, 消除应力和淬火前的预备热处理, 也可用于某些低温化学热处理件的预备热处理。消除网状碳化物, 为球化退火作准备; 细化组织, 改善可加工性
2	等温正火	用于某些碳素钢、低合金钢工件在淬火返修时, 消除内应力和细化组织, 以防重新淬火时产生畸变或开裂 也可用于某些结构件的最终热处理
3	二级正火	用于对正火引起的畸变要求较严的工件
4	完全退火	用于中碳钢和中碳合金钢铸、焊、锻、轧制件等, 也可用于高速钢、高合金钢淬火返修前的退火, 以细化组织, 降低硬度, 改善可加工性, 去除内应力
5	不完全退火	用于晶粒并未粗化的中、高碳钢和低合金钢锻、轧件等。主要目的是降低硬度, 改善可加工性, 消除内应力
6	等温退火	用于中碳合金钢和某些高合金钢的大型铸锻件及冲压件等, 也可作低合金钢件在渗碳、碳氮共渗前的预备热处理。其目的与完全退火相同, 但等温退火能够得到更为均匀的组织和硬度
7	球化退火	用于共析钢、过共析钢的锻、轧件, 以及结构钢的冷挤压、冷拉件等。其目的在于降低硬度, 改善可加工性, 改善组织, 提高塑性等
8	去应力退火	用于中碳钢和中碳合金钢, 以去除由于形变加工、机械加工、铸造、锻造、热处理、焊接等所产生的残留应力
9	预防白点退火	用于中碳钢和中碳合金钢, 以降低钢中的氢含量, 避免形成白点
10	均匀化退火	用于中碳合金钢和高合金钢。目的是减少铸件或锻、轧件的化学成分和组织的偏析, 使其均匀化
11	再结晶退火	用于碳钢和低合金钢。目的是使形变晶粒重新转变为均匀的等轴晶粒, 以消除形变强化和残留应力
12	光亮退火	用于碳钢和低合金钢, 以防止工件氧化, 保持表面光亮
13	稳定化退火	用于耐蚀钢, 以使微细的显微组成物沉淀或球化, 可防止抗晶间腐蚀性能的降低
14	调质	用于中、高合金超高强度钢、渗氮钢。目的是获得粒状索氏体, 为最终热处理作好组织准备

表 1-27 预备热处理加热温度和允许偏差

序号	工 艺 名 称	加 热 温 度 / °C	允 许 温 度 偏 差 / °C	选 择 加 热 炉 类 别 ( 优 于 )
1	正火	$Ac_3$ ( 或 $Ac_{cm}$ ) + ( 30 ~ 50 )	$\pm 25$	VI
2	等温正火	$Ac_3$ ( 或 $Ac_{cm}$ ) + ( 30 ~ 50 )		
3	二段正火	$Ac_3$ ( 或 $Ac_{cm}$ ) + ( 30 ~ 50 )		
4	完全退火	$Ac_3$ + ( 30 ~ 50 )		
5	不完全退火	$Ac_1$ + ( 30 ~ 50 )		
6	等温退火	$Ac_3$ + ( 30 ~ 50 ) ( 亚共析钢 ) $Ac_1$ + ( 20 ~ 40 ) ( 共析、过共析钢 )		

(续)

序号	工 艺 名 称	加热温度/℃	允许温度偏差/℃	选择加热炉类别(优于)
7	球化退火	$Ac_1 + (10 \sim 20)$	$\pm 15$	IV
8	去应力退火	$Ac_1 - (100 \sim 200)$	$\pm 25$	VI
9	预防白点退火	620 ~ 680	$\pm 30$	VI
10	均匀化退火	$Ac_3 + (50 \sim 150)$	$\pm 35$	VI
11	再结晶退火	$Ac_1 - (50 \sim 100)$ $T_z + (100 \sim 250)$ ( $T_z$ —再结晶温度)	$\pm 30$	VI
12	光亮退火	保护空气或真空条件下进行	$\pm 25$	VI
13	稳定化退火	400 ~ 700	$\pm 30$	VI
14	调质	淬火: 亚共析钢 $Ac_3 + (30 \sim 50)$ 共析、过亚共析钢 $Ac_1 + (30 \sim 50)$ 回火: 650 ~ 710	$\pm 10$	III

普通退火的冷却，一般是随炉降温冷到 550 ~ 350℃ 以下出炉空冷。球化退火工艺的冷却方式，如图 1-11 所示。

各种正火工艺的冷却方式，如图 1-12 所示。

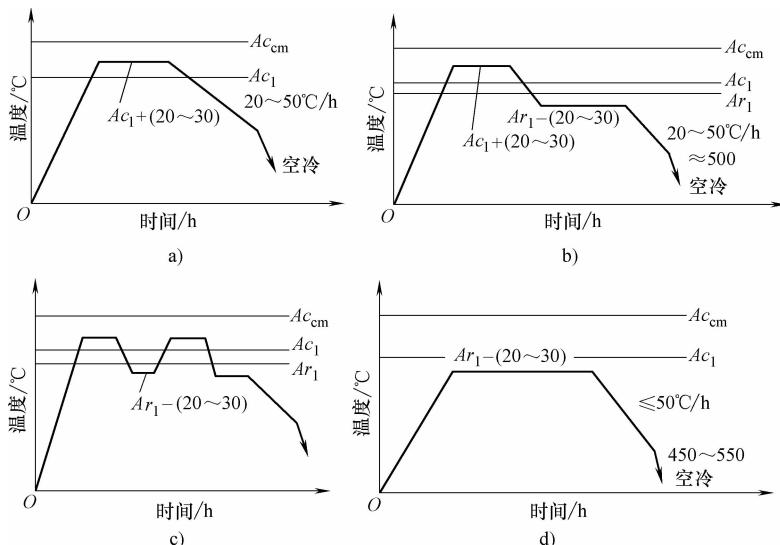


图 1-11 球化退火工艺的冷却方式

- a) 一次球化退火    b) 一次等温球化退火  
c) 循环球化退火    d) 低温球化退火

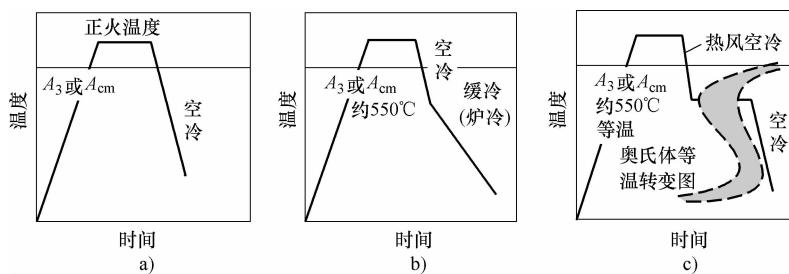


图 1-12 各种正火工艺的冷却方式

a) 普通正火 b) 分级正火 c) 等温正火

### 1.5.2 常用整体热处理工艺方法及其应用范围

#### 1. 整体淬火的常用工艺方法

机械零件及工模具的整体淬火方法很多。常用淬火方法及其适用范围如表 1-28 所示。零件整体淬火加热温度：亚共析钢一般为  $A_{C_3} + 30 \sim 50^{\circ}\text{C}$ ；共析钢和过共析钢一般为  $A_{C_1} + 30 \sim 50^{\circ}\text{C}$ 。整体淬火加热温度允许偏差取决于零件类别，见表 1-29 所示。

表 1-28 常用淬火方法及其适用范围

淬火方法	冷却过程示意图	特 点	适 用 范 围
单介质淬火		淬火冷却是在单一淬火介质(油、水、空气等)中完成的	无尖锐棱角、截面无突变的简单形状零件
双介质淬火		奥氏体化后零件先在冷却能力强的淬火介质中急冷到 $M_s$ 点以上温度，使其不发生转变；然后转入冷却能力弱的淬火介质中，使过冷奥氏体在缓慢冷却条件下转变成马氏体。通常有水-油、水-空气、油-空气等淬火冷却方法	中、高碳钢零件和合金钢大型零件

(续)

淬火方法	冷却过程示意图	特 点	适 用 范 围
分级淬火		奥氏体化后零件淬入稍高或稍低于Ms点的浴槽内,停留一段时间,使零件内外层达到介质温度,但不发生相变,然后在缓冷条件下,使过冷奥氏体转变成马氏体	稍高于Ms的分级淬火适用于尺寸较小的合金钢、碳钢零件及工模具 稍低于Ms的分级淬火适用于尺寸较大零件和淬透性较差的钢种
等温淬火		奥氏体化后的零件,淬入贝氏体转变区温度介质中保温,进行贝氏体转变;或者淬入Ms以下温度介质中,保温,进行马氏体转变,相变后空冷。前者称为贝氏体等温淬火,后者称为马氏体等温淬火	适用于合金钢,w(C)>0.6%的碳钢零件
复合淬火		奥氏体化后的零件先在Ms以下温度冷却,形成一定量马氏体,然后再在下贝氏区温度等温淬火	工模具钢、结构钢,特别适用于奥氏体稳定的钢种
预冷淬火		奥氏体化后零件先在空气或热水或热浴中预冷,然后再淬火	厚薄差异较大的零件

表 1-29 淬火和回火加热温度允许偏差值

序号	零件类别	淬 火		回 火	
		允许温度偏差/℃	加热炉类别	允许温度偏差/℃	加热炉类别
1	特殊重要件	±10	Ⅲ类以上	±10(±5)	Ⅲ类(Ⅱ类)以上
2	重要件	±15	Ⅳ类以上	±15	Ⅳ类以上
3	一般件	±25	Ⅵ类以上	±20	Ⅴ类以上

冷却是淬火的关键环节，碳素结构钢制零件和碳素工具钢制工具、模具、量具件淬火时，一般采用水冷却或先水后油双介质冷却；合金钢零件淬火时，一般采用油冷却或先油后空气双介质冷却；高合金钢有时加热后直接空冷即可。对于形状复杂零件为了减小变形和防止开裂，往往采用熔碱或熔盐分级淬火或等温淬火等。

## 2. 机械零件和工模具的常用回火工艺

零件淬火后，根据不同性能要求必须进行回火。常用的回火方法如表 1-30 所示。

表 1-30 常用的回火方法

回火方法	特    点	适  用  范  围
低温回火	150 ~ 250℃回火，获得回火马氏体组织。目的是在保持高硬度条件下，提高塑性和韧性	超高强度钢、工模具钢、量具、刀具、轴承及渗碳件
中温回火	350 ~ 500℃回火，获得托氏体组织。目的是获得高弹性和足够的硬度，保持一定韧性	弹簧、热锻模具
高温回火	500 ~ 650℃回火，获得索氏体组织。目的是达到较高强度与韧性的良好配合	结构钢零件、渗氮件预备热处理
多次回火	淬火后进行二次以上回火，进一步促使残留奥氏体转变，消除内应力，使尺寸稳定	超高强度钢、工模具钢、高速钢
等温回火	高速钢工具淬火并在 550 ~ 570℃第一次回火后，转移到 $M_s$ 点附近(250℃)热浴中等温，然后空冷	高速钢工具
自行回火	利用工件淬火余热使其回升到回火温度，达到回火目的	硬度要求不高的手工工具

回火温度允许偏差和应选择的加热炉类别，根据零件的类别而定，见表 1-29 所示。

## 3. 调质处理在机械零件与工模具加工中的应用

调质处理是淬火和高温回火的联合操作。一般按实际需要，淬火后在稍低于其  $Ac_1$  点或 500 ~ 680℃温度范围进行高温回火。

在机械零件和工模具零件制造中，一般在以下三种情况下进行调质处理：

- 1) 为了使机械零件或工模具零件整体具有较高的综合力学性能，然后通过表面热处理使其表面获得硬化，以确保其既耐磨，又能承受较大冲击载荷。
- 2) 为了使机械零件和工模量夹具表面机械加工后获得较低的粗糙度值及可加工性，通过调质处理可获得适中硬度（一般要求 28 ~ 32HRC）。
- 3) 对于要求精度高、变形小的工具、模具、量具、夹具件，利用调质处理为其最终热处理（淬火和回火）作好组织准备。

## 4. 机械零件和工模具的冷处理工艺

冷处理工艺，根据处理温度不同分为：冰冷处理（0 ~ -80℃），中冷处理

( $-80 \sim -150^{\circ}\text{C}$ )，深冷处理( $-150 \sim -200^{\circ}\text{C}$ )三种。按所用介质可分为：用干冰制冷的冷处理和用液氮等制冷的深冷处理。

由于处理目的和零件结构的复杂程度等不同，冷处理工序的安排也不同，一般有如下三种类型：

- I——淬火→冷处理→低温回火。
- II——淬火→低温回火→冷处理→低温回火。
- III——淬火→冷处理→低温回火→冷处理→时效。

渗碳零件和高碳钢制工模具的冷处理，通常在淬火后立即进行，然后再进行一次低温回火，以便减少内应力；高合金钢工具、模具、量具、夹具件冷处理时，往往安排在淬火和低温回火后进行，然后再进行一次低温回火，以免产生裂纹等缺陷；对于标准量具和高精密夹具，通常淬火后立即进行第一次冷处理以防残留奥氏体发生稳定化，随后进行低温回火，再进行第二次冷处理，使剩余的残留奥氏体进一步转变为马氏体，最后进行一次低温时效处理。

生产中常用的冷处理温度一般在 $-30 \sim -80^{\circ}\text{C}$ 之间。对于特殊要求的零件可用更低的温度进行冷处理。

### 5. 机械零件及工模具的时效工艺方法

1) 精密零件的人工时效工艺：在 $120 \sim 140^{\circ}\text{C}$ 温度下，经长时间(12~36h)保温后空气中冷却。

2) 铸件人工时效的工序流程，有如下几种：

铸造→机械粗加工→人工时效→机械精加工。

铸造→机械粗加工→人工时效→机械半精加工→人工时效→机械精加工。

铸造→机械粗加工→自然时效。

铸件人工时效工艺规范，如表1-31所示。

表1-31 铸件人工时效工艺规范

类别	铸件质量/kg	时效规范							时效次数
		装炉温度/ $^{\circ}\text{C}$	加热速度/ $(^{\circ}\text{C}/\text{h})$	保温温度/ $^{\circ}\text{C}$		保温时间/h	冷却速度/ $(^{\circ}\text{C}/\text{h})$	出炉温度/ $^{\circ}\text{C}$	
一般铸件	<200	200	$\leq 100$	530~550	550~570	4~6	30	$\leq 200$	1
	200~2500	200	$\leq 80$	530~550	550~570	6~8	30	$\leq 200$	1
	>2500	200	$\leq 60$	530~550	550~570	8	30	$\leq 200$	1
精密铸件	<200	200	$\leq 100$	530~550	550~570	4~6	20	$\leq 200$	2
	200~3500	200	$\leq 80$	530~550	550~570	6~8	20	$\leq 200$	2

### 1.5.3 常用表面热处理工艺方法及其应用范围

机械零件和工模具的表面热处理，通常是指感应淬火、火焰淬火、接触电阻淬

火和激光淬火以及电解液淬火等。表面淬火是对零件进行快速加热，使零件一定深度的表面层快速地加热到淬火温度，然后迅速冷却，从而使表面获得具有高硬度的马氏体组织，而心部则仍然保持韧性和塑性较好的原来组织。

### 1. 感应淬火

感应淬火，是指利用一定频率的电流通过欲淬火件附近的导体（感应器），在磁场作用下使其表面产生感应电流而加热，达到预期温度后立即迅速冷却的热处理工艺。

感应淬火主要适用于碳含量（质量分数）为0.3%~0.6%的碳素钢和合金钢制零件的表面硬化；也可采用适当措施，对机械零件和工模具进行局部或整体加热的正火、退火、回火以及钎焊等。

主要工艺参数的确定：

(1) 频率的确定 淬硬层深度要求与电流频率的关系如表1-32所示。淬硬层深度和轴件直径与频率的关系如表1-33所示。

(2) 比功率的选择 轴件表面加热比功率的选择如表1-34所示。

表1-32 淬硬层深度要求与电流频率的关系

淬硬层深度/mm	最高频率/kHz	最佳频率/kHz	最低频率/kHz	推荐使用设备
1.0	250	60	15	晶体管式
1.5	100	25	7	晶体管式或发电机式(8kHz)
2.0	60	15	4	晶体管式或发电机式(8kHz)
3.0	30	7	1.5	发电机式(8kHz)
4.0	15	4	1	发电机式(2.5kHz)
6.0	8	1.5	0.5	发电机式(2.5kHz)
10.0	2.5	0.5	0.15	发电机式(0.5kHz, 1.0kHz)

表1-33 淬硬层深度和轴件直径与频率的关系

淬硬层深度 /mm	工件直径 /mm	频 率			
		1000Hz	3000Hz	10000Hz	20~600kHz
0.4~1.3	6~25	—	—	—	好
1.3~2.5	11~16	—	—	中	好
	>16~25	—	—	好	好
	>25~50	—	中	好	中
	>50	中	好	好	差
2.5~5.0	25~50	—	好	好	差
	>50~100	好	好	中	
	>100	好	中	差	

表 1-34 轴件表面加热比功率的选择

频率/kHz	硬化层深度/mm	比功率/(kW/cm <sup>2</sup> )		
		低 值	最 佳 值	高 值
500	0.4 ~ 1.1	1.1	1.6	1.9
	>1.1 ~ 2.3	0.5	0.8	1.2
10	1.5 ~ 2.3	1.2	1.6	2.5
	>2.3 ~ 3.0	0.8	1.6	2.3
	>3.0 ~ 4.0	0.8	1.6	2.1
2.5	2.5 ~ 4.0	1.0	3.0	7.0
	>4.0 ~ 7.0	0.8	3.0	6.0
	>7.0 ~ 10.0	0.8	3.0	5.0
8	1.0 ~ 2.0	1.2	2.3	4.0
	>2.0 ~ 4.0	0.8	2.0	3.5
	>4.0 ~ 6.0	0.4	1.7	2.8
3	2.3 ~ 3.0	1.6	2.3	2.6
	>3.0 ~ 4.0	0.8	1.6	2.1
	>4.0 ~ 5.0	0.8	1.6	2.1
1	5.0 ~ 7.0	0.8	1.6	1.9
	>7.0 ~ 9.0	0.8	1.6	1.9

(3) 加热温度和冷却介质的确定 对不同材料推荐的感应淬火加热温度和淬火冷却介质及硬度，见表 1-35 所示。

表 1-35 不同材料推荐的感应淬火加热温度和淬火冷却介质及硬度

钢材的碳含量	淬火温度/°C	淬火冷却介质	硬度 HRC
w(C) = 0.30%	900 ~ 925	水	50
w(C) = 0.35%	900	水	52
w(C) = 0.40%	870 ~ 900	水	55
w(C) = 0.45%	870 ~ 900	水	58
w(C) = 0.50%	870	水	60
w(C) = 0.60%	845 ~ 870	水	64
		油	62

(4) 感应淬火典型的加热和冷却方式 (图 1-13)

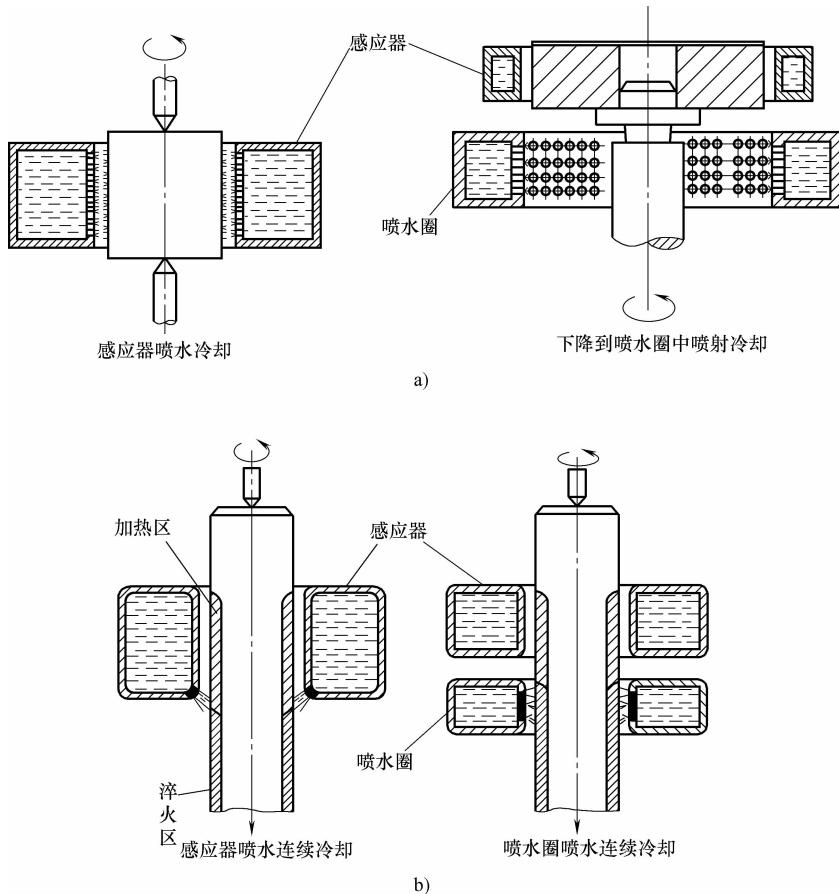


图 1-13 感应淬火典型的加热和冷却方式

a) 周期式加热-冷却方式 b) 连续式加热-冷却方式

## 2. 火焰淬火

火焰淬火，是指利用氧-乙炔（或其他可焰气体）火焰对机械零件或工模具表面进行加热，温度达到预期效果后立即迅速冷却的热处理工艺。

火焰淬火主要适用于中碳钢和中碳低合金钢制机械零件或工模具表面淬火。同时，也适用于表面无任何缺陷、且基体组织中大部分（体积分数 $\geq 70\%$ ）为珠光体球墨铸铁制机械零件和工具、模具、量具、夹具件。

(1) 火焰淬火方法 主要有固定法、旋转法、推进法和旋转推进法，如图 1-14 所示。

(2) 火焰移动速度与淬硬层深度 推进法加热的火焰移动速度与淬硬层深度的关系，见表 1-36 所示。

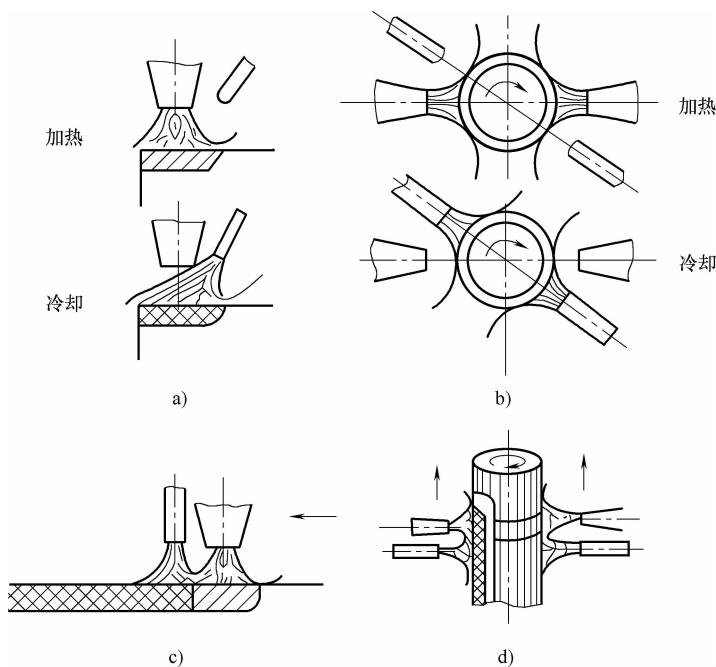


图 1-14 火焰淬火示意图

a) 固定法 b) 旋转法 c) 推进法 d) 旋转推进法

表 1-36 推进法加热火焰移动速度与淬硬层深度的关系

火嘴推进速度/(mm/min)	50	70	100	125	140	150	175
淬硬层深度/mm	8.0	6.4	4.8	3.2	2.6	1.6	0.8

(3) 火焰喷嘴和喷水嘴，通常情况下喷火孔径为  $\phi 0.5\text{mm}$ ；喷水嘴孔径为  $\phi 0.8 \sim \phi 1.0\text{mm}$ ；喷嘴与工件表面距离为  $10 \sim 15\text{mm}$ ，即火焰焰心与工件表面距离为  $1.5 \sim 3.0\text{mm}$ （此处温度最高）；喷火孔与喷水孔距离为  $10 \sim 15\text{mm}$ 。火焰喷嘴和喷水嘴的典型结构，如图 1-15 所示。

### 3. 接触电阻加热淬火

接触电阻加热淬火，是指利用与工件接触的电极通电后产生的电阻热来加热工件表面，温度达到预期效果后立即迅速冷却的热处理工艺。接触电阻加热淬火工艺主要适用于形状简单的机械零件和工模具，如机床和夹具体导轨表面淬火等。

接触电阻加热淬火工艺参数：

1) 电源为电压为  $220\text{V}$ 、 $50\text{Hz}$  的工业用电。用  $25 \sim 200\text{kW}$  的变压器降至  $2 \sim 8\text{V}$  使用。通常将电压作为不变的固定参数。

2) 一般推荐电流密度为  $350 \sim 400 \text{ A/cm}^2$ ; 滚轮直径为  $\phi 200 \sim \phi 300 \text{ mm}$ , 宽度  $10 \sim 15 \text{ mm}$  (特殊需要时, 可增至  $100 \text{ mm}$ )。

3) 滚轮移动速度, 根据变压器功率、滚轮宽度及硬化层深度确定。一般可取  $3 \sim 5 \text{ mm/s}$ , 最大不超过  $10 \text{ mm/s}$ 。例如, 当硬化层深度为  $2 \sim 3 \text{ mm}$  时, 移动速度可取  $5 \sim 8 \text{ mm/s}$ ; 硬化层深度为  $4 \sim 5 \text{ mm}$  时, 移动速度以取  $2 \sim 4 \text{ mm/s}$  为宜。硬化层深度、滚轮宽度与电流的关系, 如表 1-37 所示。

4) 操作时, 滚轮压力不宜过大或过小, 一般推荐  $100 \sim 150 \text{ MPa}$ 。否则, 工件表面会被压凹陷或因接触不良而打火烧伤。

#### 4. 激光淬火

激光淬火, 是指利用激光发生器发出的激光束, 在专门的激光热处理装置上对机械零件或工模具表面进行加热, 温度达到预期效果后自行冷却硬化的热处理工艺。

激光淬火, 可用于常用钢和铸铁制机械零件和工模具进行一定深度的相变硬化, 也可对工具、模具、量具、夹具表面进行合金化处理; 以及对高硬度的工模具表面进行硬质合金化等。

表 1-37 硬化层深度、滚轮宽度与电流的关系

硬化层深度/mm	$1.5 \sim 2.6$	$3.6 \sim 24.5$	75.0
滚轮宽度/mm	$8 \sim 10$	$12 \sim 15$	718
变压器次极线路中电流/A	$6000 \sim 7000$	$9000 \sim 14000$	$2000 \sim 25000$

激光淬火工艺参数:

- 1) 激光淬火用的激光器功率一般为  $0.1 \sim 10 \text{ kW}$ 。
- 2) 扫描速度一般为  $300 \sim 750 \text{ mm/min}$ 。
- 3) 光束摆动宽度一般为  $5 \sim 20 \text{ mm}$ 。
- 4) 光束射入角度小于  $45^\circ$ 。
- 5) 光斑功率密度一般为  $1000 \sim 10000 \text{ W/cm}^2$ , 常用  $1000 \sim 6000 \text{ W/cm}^2$ 。

#### 1.5.4 常用化学热处理工艺方法及其应用范围

机械零件和工模具的化学热处理, 根据渗入的元素种类和数量不同分为: 渗碳和碳氮共渗、渗氮和氮碳共渗、渗硼、渗硫、渗硅和渗铝、渗铬、渗钛、渗铌以及

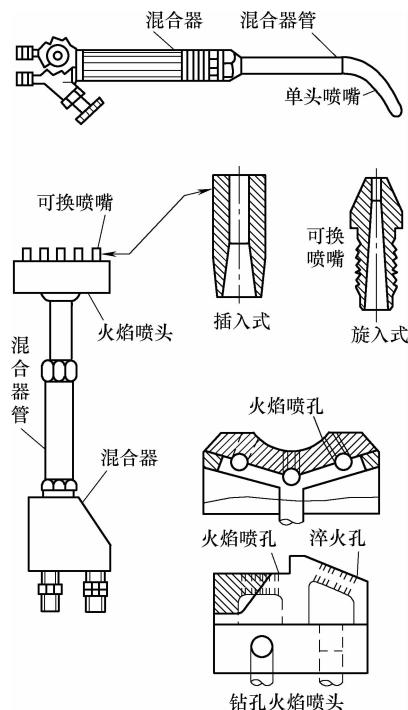


图 1-15 火焰喷嘴和喷水嘴的典型结构

其二元、三元和多元共渗等。下面，将逐一阐述广泛使用的几种化学热处理工艺方法。

### 1. 渗碳和碳氮共渗

渗碳和碳氮共渗通常按渗剂形态不同分为：气体、液体和固体渗碳及碳氮共渗；按所用设备不同分为真空、离子和流态床以及感应加热渗碳及碳氮共渗等。常用的渗碳和碳氮共渗方法及其特点，如表 1-38 所示。

表 1-38 渗碳和碳氮共渗常用的方法及其特点

渗 碳 方 法	渗碳层深度/mm	优 点	缺 点
固体渗碳	0.25 ~ 3.0	可以处理大件；适于少量生产；设备费用低	渗碳层深度偏差大；容易产生过渗碳；劳动条件较差
液体渗碳	0.05 ~ 1.0	有利于小件处理；可以获得薄的硬化层；设备费用低	需要配置废水处理设备
气体渗碳	0.25 ~ 3.0	碳含量可以调节控制；容易实现自动化；适于大量生产	设备费用高；产量少时处理费用较高
气体碳氮共渗	0.2 ~ 0.8 (或 <0.2)	共渗温度低，变形小，可直接淬火；淬透性好，可淬油；表层碳含量低，接触疲劳性能好；适于大批量生产	容易出现黑色组织和残留奥氏体过多等缺陷，从而降低使用性能

### 2. 渗氮和氮碳共渗

渗氮和氮碳共渗均在钢的相变点温度（727℃）以下进行。因此，具有变形小、渗层薄和硬度高等特点。渗氮广泛应用于机械零件和工模具等要求硬化层薄、载荷较小、对变形要求严格且耐磨的情况。但渗氮有其不足之处，如生产周期长、效率低和成本高、适用的钢种有限以及渗层脆性大等。为此，出现氮碳共渗（即软氮化）技术。氮碳共渗虽然硬度（根据材料不同，可达 600 ~ 1100HV）稍逊于渗氮（可达 1000 ~ 1200HV），但具有生产周期大大缩短、生产效率显著提高和成本有效降低以及适用的钢种几乎不受限制、脆性明显降低等优点，因此，大大拓展了其应用范围。

常用的渗氮和氮碳共渗方法，如表 1-39 所示。渗氮和氮碳共渗目的大致相同，即都是为了提高表面硬度、耐磨性和耐疲劳性能以及耐蚀性等。

表 1-39 各种渗氮和氮碳共渗方法及特点

渗氮方法	优 点	缺 点
气体渗氮	500 ~ 550℃ 渗氮，变形小；渗氮可控；设备简单，操作容易；适于大量生产，特别适于形状复杂、渗层要求深的零件	渗氮时间长，生产效率低

(续)

渗氮方法	优 点	缺 点
液体渗氮	570 ~ 580℃ 渗氮；渗速快，效率高；适于薄层渗氮	有公害，废液处理费用高
离子渗氮	520 ~ 570℃ 渗氮；渗速快，效率高；节约渗剂，节约能源，无公害；适于形状均匀大量生产的单一零件	设备投资费用高；温度不均匀，也不好测量
气体氮碳共渗	550 ~ 600℃ 渗氮；渗速较快；适于较轻载荷零件；用于小批量零件和工模具	心部硬度较低
液体氮碳共渗	530 ~ 570℃ 共渗，渗速较快；适于较轻载荷零件大批量生产	心部硬度较低

### 3. 渗硼

目前，工厂采用的主要是固体渗硼和盐浴渗硼。此外，还有气体渗硼、电解渗硼等。

渗硼有以下特点：

- 1) 零件渗硼后形成铁的硼化物，具有很高的硬度，可达 1800 ~ 2000HV，大大提高零件的耐磨性。
- 2) 渗硼可以提高刃具的热硬性，在 800℃ 以下硬度不会降低。
- 3) 渗硼后，零件在硫酸、盐酸及碱中具有良好的耐蚀性，可用于各种腐蚀条件下工作的零件。
- 4) 渗硼层可以提高机械零件的抗氧化能力，可以代替某些不锈钢制零件。

渗硼不足之处是渗硼层脆性较大；零件渗硼后其表面的残留物不易清理。

#### (1) 固体法渗硼工艺特点

1) 固体渗硼与固体渗碳的装箱方法相近，如图 1-16 所示。零件与零件之间、零件与箱壁之间保持 10 ~ 20mm 距离；零件与箱盖之间距离不小于 20mm。为了便于清理箱壁上的残留物，可在渗箱四周先垫一层纸，然后填充渗剂。

2) 固体法渗硼采用 600 ~ 700℃ 装炉，以免在低温加热过程零件被氧化（600℃ 以下渗剂不发生反应，不起保护作用）。

3) 固体法渗硼后，中、高合金钢件可将渗箱随炉降至所处理钢的淬火温度，保持一段时间后出炉，开箱直接淬火；碳素钢和低合金钢件应将渗箱随炉降至室温，开箱后，按普通淬火温度重新加热淬火。

#### (2) 盐浴法渗硼工艺特点

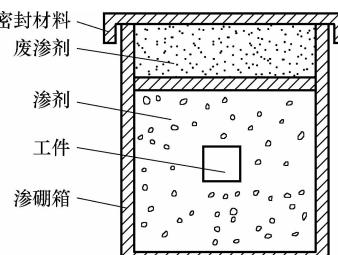


图 1-16 固体渗硼箱示意图

1) 盐浴渗硼介质的配制：还原剂为碳化硅时，一般获得单相( $\text{Fe}_2\text{B}$ )硼化物层。欲得到双相( $\text{FeB} + \text{Fe}_2\text{B}$ )硼化物层，则需选用铝、硅、钙、硅钙或稀土等。活化剂为氟化钠、碳酸钠。当用氟硼酸钠和氟硼酸钾时，也兼有供硼剂作用。

2) 将坩埚加热到 $850^{\circ}\text{C}$ ，把脱水后的硼砂分批加入到坩埚内，待硼砂全部熔化后，再加入混合好的添加剂，最后加入还原剂；也可将还原剂与添加剂混合均匀后同时加入，将盐浴搅拌均匀并升温到所需温度。常用的盐浴渗硼介质的配方如表1-40所示。

表 1-40 常用的盐浴渗硼介质的配方

盐浴成分(质量分数)	处理工艺		渗层厚度/mm	备注
	温度/℃	时间/h		
70% ~ 80% $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ + 20% ~ 30% SiC	900 ~ 950	5	0.07 ~ 0.1 (45钢)	获得 $\text{Fe}_2\text{B}$ 单相层，工件粘盐较多
80% $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ + 13% SiC + 3.5% $\text{Na}_2\text{CO}_3$ + 3.5% KCl	950	3	0.12 (20钢)	$\text{Fe}_2\text{B}$
80% $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ + 10% Al + 10% NaF	950	6	0.2 (45钢)	$\text{FeB} + \text{Fe}_2\text{B}$
60% $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ + 15% NaCl + 15% $\text{Na}_2\text{CO}_3$ + 10% Si-Fe	900 ~ 950	3	0.12 ~ 0.14 (45钢)	盐浴流动性好，粘盐较易清洗
80% NaCl + 15% $\text{NaBF}_4$ + 5% $\text{B}_4\text{C}$	950	5	0.2	盐浴流动性好
80% $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ + 5% Si-Ca + 8% SiC + 3.5% $\text{Na}_2\text{CO}_3$ + 3.5% $\text{K}_2\text{CO}_3$	930	3	0.08 (T10钢)	$\text{FeB} + \text{Fe}_2\text{B}$

#### 4. 渗硫

广泛使用的渗硫方法是电解法。

##### (1) 电解渗硫的特点

- 1) 渗硫后零件表面呈灰白色。
- 2) 渗硫层组织为 $\text{FeS}$ ，或 $\text{FeS}$ 与 $\text{Fe}_2\text{S}$ 的混合物。
- 3) 渗层深度为 $5 \sim 15 \mu\text{m}$ 。

##### (2) 低温电解渗硫工艺规范（见表1-41）

#### 5. 硫氮共渗

硫氮共渗方法有气体硫氮共渗、盐浴硫氮共渗和离子硫氮共渗等。

##### (1) 硫氮共渗的特点

- 1) 硫氮共渗后零件表面呈灰白色。
- 2) 硫氮共渗层组织，最外层为 $\text{Fe}_2\text{S}$ ，次层为 $\text{Fe}_{1-x}\text{S}$ ，次层以里为硫化物和氮化物共存层。

表 1-41 低温电解渗硫工艺规范

序号	熔盐成分(质量分数)	工 艺 参 数			主要渗硫反应
		温度 /℃	时间 /min	电流密度 /(A/dm <sup>2</sup> )	
1	75% KCNS, 25% NaCNS	180 ~ 200	10 ~ 20	1.5 ~ 3.5	
2	序号 1 盐, 再加 0.1% K <sub>4</sub> Fe(CN) <sub>6</sub> , 0.9% K <sub>4</sub> Fe(CN) <sub>6</sub>	180 ~ 200	0 ~ 20	1.5 ~ 2.5	
3	73% KCNS, 24% NaCNS, 2% K <sub>4</sub> Fe(CN) <sub>6</sub> , 0.07% KCN, 0.03% NaCN; 通氮气搅拌, 氮气流量为 59m <sup>3</sup> /h	180 ~ 200	10 ~ 20	2.5 ~ 4.5	熔盐中: KCNS → K <sup>+</sup> + CNS <sup>-</sup> NaCNS → Na <sup>+</sup> + CNS <sup>-</sup> 盐槽为阴极: CNS <sup>-</sup> + 2e → CN <sup>-</sup> + S <sup>2-</sup> 工件为阳极: Fe → Fe <sup>2+</sup> + 2e Fe <sup>2+</sup> + S <sup>2-</sup> → FeS
4	60% ~ 80% KCNS, 20% ~ 40% NaCNS, 1% ~ 4% K <sub>4</sub> Fe(CN) <sub>6</sub> S <sub>x</sub> 添加剂	180 ~ 200	10 ~ 20	2.5 ~ 4.5	
5	30% ~ 70% NH <sub>4</sub> CNS, 70% ~ 30% KCNS	180 ~ 200	10 ~ 20	2.5 ~ 4.5	

3) 硫氮共渗层深度为 0.45 ~ 0.95 μm。

4) 基体硬度与材料成分及淬火回火工艺有关。

(2) 气体硫氮共渗 以氨气和硫化氢为介质, 按 NH<sub>3</sub>: H<sub>2</sub>S = (9 ~ 12): 1 (体积比) 通入炉中。氨分解率约为 15%。炉容积较大时, 硫化氢供给量应减少。气体硫氮共渗温度为 550 ~ 570°C, 保温时间为 4 ~ 6h, 随后油中冷却。渗层深度达 95 ~ 97 μm。

(3) 盐浴硫氮共渗 在成分 (质量分数) 为 50% CaCl<sub>2</sub> + 30% BaCl<sub>2</sub> + 20% NaCl 的熔盐中添加 8% ~ 10% 的 FeS<sub>2</sub>, 并按 13L/min 的流量通入氨气 (容积较大时, 取上限)。盐浴硫氮共渗温度为 520 ~ 600°C, 保温时间为 0.25 ~ 2.0h。共渗层可达 30 ~ 60 μm。

(4) 离子硫氮共渗 通常在离子渗氮炉中进行。渗剂为 NH<sub>3</sub> (162L/h) + H<sub>2</sub>S (5.4L/h), 离子硫氮共渗温度为 520 ~ 600°C, 保持 2 ~ 4h, 炉内压力 (7 ~ 8) × 133.32Pa。炉中冷却到室温出炉。电参数: 电压为 700 ~ 750V, 电流密度为 1.7 ~ 2.0mA/cm<sup>2</sup>。

## 6. 渗硅

渗硅方法有: 固体渗硅、液体渗硅和气体渗硅等。

(1) 渗硅的特点

1) 渗硅旨在提高零件在硫酸、硝酸、海水及多数盐、碱液中的耐蚀性。

2) 硅含量低的硅钢片渗硅含量达 7% (质量分数) 后, 可显著降低铁损。

- 3) 渗硅后，经 170 ~ 200°C 油中浸煮后，有较好的减摩性。
- 4) 在一定程度上，提高零件的高温抗氧化能力。
- 5) 渗硅后的组织：表层为含硅的铁素体，过渡区为含碳增多的珠光体 + 铁素体。
- 6) 表面硬度为 250 ~ 300HBW；渗层深度一般为 0.4 ~ 1.4mm。

#### (2) 固体渗硅

1) 渗剂：常用以下几种配方（质量分数）：75% 硅铁 + 20% 耐火土 + 5% 氯化铵，适用于普通渗硅；80% 硅铁 + 15% 氧化铝 + 5% 氯化铵，适用于普通渗硅；80% 硅铁 + 8% 氧化铝 + 12% 氯化铵，适用于多孔减摩渗硅；30% 硅铁 + 60% 氧化铁 + 10% 氯化铵，适用于消除孔隙渗硅。渗剂通常按上述配方研成，粒度小于 0.297mm（约为 50 目）。

2) 工艺：在 950 ~ 1050°C 的渗入时间可根据零件图样或工艺文件要求的渗层深度，按 0.25 ~ 0.3mm/h 计算；在温度 1100 ~ 1200°C 的渗入时间，按 0.08 ~ 0.10mm/h 计算。

3) 固体渗硅的装箱方法和其他操作等，参照固体渗碳操作要点。固体渗硅后，缓冷或出炉空冷均可。

#### (3) 液体渗硅

1) 介质：液体渗硅介质以硅酸钠：氯化钠 = 2:1（质量分数）为基盐，另加含硅的其他物质的混合盐。例如，质量分数为 65% 基盐 + 35% 碳化硅；质量分数为 80% ~ 85% 基盐 + 15% ~ 20% 硅钙合金；质量分数为 90% 基盐 + 10% 硅铁合金。将其研成 1.0 ~ 1.4mm 的粒度后放入炉中熔化。

2) 工艺：由于渗硅层深度与其温度成正比，因此具体的温度和时间，可根据设备实际条件和零件图样要求的深层深度，参照图 1-17 所示规律来确定。

### 7. 渗铝和铝硅共渗

常用渗铝和铝硅共渗方法有：固体法、液体法和膏剂法等。

#### (1) 渗铝和铝硅共渗的特点：

1) 渗铝和铝硅共渗旨在提高零件的耐热性、耐蚀性和抗高温氧化能力。

2) 渗铝后的零件表面硬度为 500HV 左右。

3) 渗铝层组织：表面为铁铝金属间化合物，中间层为针状或网状铁铝化合物及含铝的铁素体，心部为原始组织。

4) 铝硅共渗后耐热度比单一渗铝进一步提高，渗层深度达 115μm。

5) 渗铝和铝硅共渗后，零件表面呈银灰色。

#### (2) 固体渗铝

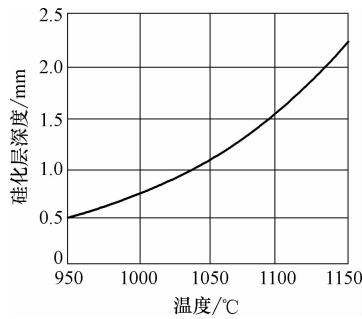


图 1-17 温度对渗硅层深度的影响（时间为 2h）

1) 固体渗铝剂：生产中常用的介质有以下几种，质量分数为 60% 铝铁合金 + 39% ~ 39.5% 氧化铝 + 0.5% ~ 1.0% 氯化铵；质量分数为 99% ~ 99.5% 铝铁合金 + 0.5% ~ 1.0% 氯化铵；质量分数为 50% 铝 + 49% ~ 49.5% 氧化铝 + 0.5% ~ 1.0% 氯化铵。

2) 固体渗铝工艺：固体渗铝装箱与固体渗碳方法相似，只是在盖上留一小孔即可；固体渗铝加热温度为 850 ~ 1100℃，保温时间 3 ~ 12h（具体时间按零件图样或工艺文件规定的渗层深度确定）。例如，在 900℃ 固体渗铝时，渗层深度与时间的关系如表 1-42 所示。

表 1-42 900℃ 固体渗铝时，渗层深度与时间的关系

渗层深度/mm	0.13	0.17	0.19	0.21	0.22	0.24	0.25	0.27	0.28
时间/h	3	4	5	6	7	8	9	10	11

### (3) 液体热浸渗铝

1) 液体热浸渗铝剂：生产中使用的液体热浸渗铝剂有以下两种：在 100% 铝浴槽中以 760 ~ 780℃ 热浸；质量分数为 92% ~ 94% 铝 + 6% ~ 8% 硅，另加总质量的 2% 氯化铵，在 760 ~ 820℃ 浴槽中热浸。

2) 液体渗铝工艺：经 760 ~ 780℃ 或 760 ~ 820℃ 热浸后，在 950 ~ 1050℃ 进行 3 ~ 8h 的均匀化退火，以降低表面铝的浓度和增加深度。渗铝时间按零件图样或工艺文件规定的渗层深度确定。表 1-43 所示为液体渗铝温度和时间与渗层深度的关系。

表 1-43 液体渗铝温度和时间与渗层深度的关系

时间/h	渗铝温度/℃		
	760	780	810
	渗层深度/mm		
30	0.25	0.34	0.46
40	0.32	0.41	0.54
50	0.37	0.44	0.58
60	0.39	0.45	0.59

### (4) 膏剂铝硅共渗

1) 膏剂铝硅共渗剂：膏剂铝硅共渗剂成分（质量分数）为 60% ~ 70% 铝铁 + 28% ~ 38% 硅 + 1% ~ 2% 氯化铵。

2) 膏剂铝硅共渗流程：清除零件表面油污和其他污物及锈迹→将渗剂与粘结剂混合均匀后，调成悬液状→将渗剂刷涂于零件表面，厚度约 3mm→在 150℃ 温度下，烘干 3 ~ 10min→零件表面包裹约 4mm 厚度的耐火泥进行密封→在 150℃ 预热 10 ~ 15min（如表面有裂纹再重新封补）。

3) 膏剂铝硅共渗工艺：在电阻炉中于 950℃ 加热，保持 2h，然后清除零件表

面耐火泥；重新加热到 1050℃，保持 1h 后在水中淬火冷却。

### 8. 渗铬和铬铝共渗

(1) 渗铬和铬铝共渗方法 生产实践中采用的渗铬有固体渗铬、液体渗铬，另外还有真空蒸发渗铬和气体渗铬等。铬铝共渗，可以两种元素同时渗入，也可先渗铬后渗铝或者先渗铝后渗铬。

#### (2) 渗铬和铬铝共渗的特点

1) 低碳钢渗铬后表面硬度为 200 ~ 250HV；高碳钢为 1250 ~ 1300HV。

2) 渗铬层深度：一般为 0.1 ~ 0.3mm。

3) 渗层组织：低碳钢为 50% 左右（质量分数）铬在铁素体中的固溶体；高碳钢为含铬的碳化物 Cr<sub>7</sub>C<sub>3</sub> 和 (CrFe)<sub>7</sub>C<sub>3</sub>。

4) 渗铬层的耐蚀性：在盐、碱和弱酸中浸 24h 不产生锈蚀痕迹。

5) 铬铝共渗后的最佳效果取决于渗层中的铬与铝的比例。试验表明，以 Cr: Al = 5: 1（质量分数）最好。

#### (3) 固体渗铬

1) 渗剂：常用的固体渗铬剂有两种配方：质量分数为 50% ~ 55% 铬铁 + 40% ~ 50% 氧化铝 + 2% ~ 3% 氯化；质量分数为 60% ~ 65% 铬铁 + 30% ~ 35% 氧化铝 + 3% ~ 4% 氯化铵。将按比例混合好的渗剂研成粒度小于 0.297mm（约 50 目）的粉末状备用。

2) 产前准备：将渗剂与清理干净的零件相间摆放在渗铝箱内，同时放一只同种材料的试样。装箱方法与固体渗碳相似，只是箱盖上留一小孔便于排除多余气体。

3) 工艺：装炉温度为 800 ~ 850℃，保温 1 ~ 1.5h 后升温到 1000 ~ 1050℃，保温 12 ~ 15h（视层深要求而定）。然后，随炉冷却到 600 ~ 700℃ 出炉空冷即可。

#### (4) 液体渗铬

1) 液体渗铬剂：可采用质量分数为 70% 氯化钡 + 30% 氯化钠为基盐，将金属铬或铬铁粉末经盐酸处理后放入基盐中。

2) 工艺：在 1000 ~ 1050℃ 加热，保温 1.0 ~ 1.5h（视层深要求而定）。渗铬过程应不间断地用惰性气体或还原气体保护盐浴表面，以免发生氧化。

(5) 固体铬铝共渗 常用的固体铬铝共渗剂及其渗工艺如表 1-44 所示。

表 1-44 铬铝共渗剂及共渗工艺

渗剂成分(质量分数, %)	共渗工艺	
	温度/℃	时间/h
50 铬铁 + 50 铝铁，外加 1 氯化铵	950 ~ 1050	5 ~ 15
50 铬 + 40 铝铁 + 10 氧化铝，外加 1 氯化铵	1050	8 ~ 10
50 铁铝合金 + 50 氧化铝	1040	5 ~ 10

## 9. 渗锌

渗锌，除了传统的固体渗锌、液体渗锌外，还有蒸汽法渗锌等。

### (1) 渗锌的特点

1) 渗锌后，表层为含锌较多的  $\text{FeZn}_7$  锌铁合金；里层为含铁较多的  $\text{FeZn}_3$  锌铁合金，两者总厚度应为  $10 \sim 15 \mu\text{m}$ 。

2) 渗锌后，在  $40^\circ\text{C}$  的氯化钠水溶液中浸放 300h，没有锈蚀痕迹。

### (2) 固体渗锌

1) 固体渗锌介质：常采用的配方有两种：质量分数为 100% 纯锌粉，另加 0.05% 氯化铵；质量分数为 50% 纯锌粉 + 30% 三氧化二铝 + 20% 氧化锌。每次使用需要新加质量分数为 1% ~ 2% 新渗剂，连续使用时，用过 18 ~ 20 次后去除 1/3 旧渗剂，以等量新渗剂补充即可。

2) 固体渗锌工艺：固体渗锌可在较宽的温度范围进行，温度和时间与渗层深度的关系如图 1-18 所示。通常是根据渗层深度要求和生产条件等确定其加热温度和保温时间。

(3) 热浸渗锌 一般在  $430 \sim 460^\circ\text{C}$  熔融的锌浴中浸渍数分钟，即可获得  $0.02 \sim 0.03\text{mm}$  的渗锌层。具体时间应根据所需渗层深度要求，通过试验和积累经验确定。

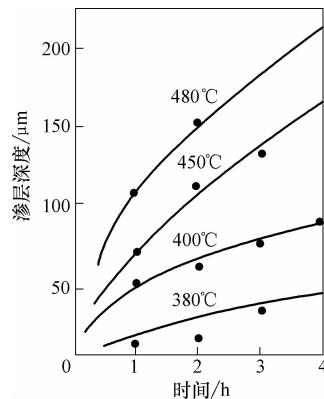


图 1-18 粉末渗锌温度和时间

与渗层深度的关系

## 1.6 热处理新工艺的推介

传统材料及其工艺方法，往往是为了提高强度和硬度就要牺牲韧性和塑性，反之则相反。因此，对于一些要求强度和韧性兼备的机械零件和工模具，采用传统材料和工艺方法已远远不能满足要求了。同时，当代的机械工业正向着高速、高压、高温和重载方向发展，要求其零件的使用性能更高、寿命更长。此外，当代低碳生产和节能减排的重任也摆在热处理面前，如此这些都给我们提出了新的挑战。下面，将近代研发的、并在生产实践中取得实效的新工艺予以简单推介，具体应用将在第 3 ~ 11 章中的典型工艺设计实例中详述。

### 1.6.1 整体热处理新工艺简介

#### 1. 机械零件和工模具的整体强韧化处理

机械零件和工模具的整体强韧化工艺，通常采用以下几种方法：

1) 低碳马氏体淬火：该工艺使传统材料的性能潜力被大大挖掘出来，使普通低碳钢和低碳合金钢制零件具有强韧兼优的力学性能。

- 2) 亚温淬火工艺：将不完全淬火工艺发展为亚温淬火工艺，由于组织组成合理搭配和形态的改善，使得中、高碳钢制机械零件和工模具淬火后，在强度不降低的同时，韧度却大大提高。
- 3) 复合等温淬火工艺：这种工艺方法，得到的是马氏体和贝氏体混合组织的强韧性，在机械零件和工模具制造中已得到了多方面应用。
- 4) 快速加热循环淬火工艺：由于使工具、模具、量具、夹具的显微组织得到超细化，所以使强度和韧度同时提高。

- 5) 在确保晶粒度不超标情况下，适当提高淬火温度的热处理工艺，使组织成分更加均匀，也使强度和韧度不同程度的提高。
- 6) 关于碳化物数量、大小、形态及其分布对性能强韧化的研究，在高碳高合金工具钢制工、模、量具的制造中也得到大量实际应用等。

## 2. 锻轧毛坯的形变热处理

形变热处理是对金属材料进行形变强化和热处理相变强化相结合的工艺方法，使材料性能得到综合提高。这种方法不但能获得一般加工方法达不到的高强度和韧性的良好结合，而且大大简化材料或零件的生产工艺过程。

目前，形变热处理已有多种工艺方法，综合起来可归纳为高温形变热处理、中温（亚温）形变热处理、低温形变热处理等主要类型。

(1) 高温形变淬火 高温形变淬火是将钢材或零件毛坯加热到高温奥氏体区域，保温透烧后，在再结晶温度以上进行形变并淬火的联合操作的热处理工艺。高温形变淬火对钢种没有特殊要求，在一般锻轧设备上进行均可，故可行性强。

(2) 中温（亚温）形变淬火 这是对结构钢在  $Ac_3 \sim Ac_1$  温度区间进行形变并淬火的联合操作的热处理工艺。亚温形变淬火有两种情况：其一是首先将钢材或零件毛坯进行完全奥氏体化加热透烧，然后冷却到  $Ac_3 \sim Ac_1$  温度区间保温适当时间，随后进行形变并淬火。另一种方法是将钢材或零件毛坯进行一次完全淬火，然后再加热到  $Ac_3 \sim Ac_1$  温度区间保温适当时间，进行形变并淬火。后者处理效果比前者可获得更细小、均匀的组织结构和更好的力学性能。

(3) 低温形变淬火（也称亚稳奥氏体形变淬火） 其工艺过程是将钢材或零件毛坯加热到完全奥氏体状态并保温透烧后急速冷却到  $Ac_1 \sim Ms$  某一温度实行锻轧成形，随后立即淬火，以获得马氏体组织。实践表明，奥氏体化温度、形变温度、形变量，以及形变后的停留时间和形变后的再加热及冷却速度等均影响低温形变淬火的效果。

各种形变淬火的具体应用，将在第 3 ~ 11 章的典型零件热处理工艺设计中详述。

### 1.6.2 表面热处理新工艺简介

以表面感应加热和表面火焰加热淬火为基础而研发的表面形变淬火工艺和表面

人工时效工艺，受到人们的青睐。试验表明，将钢件表面喷丸、滚压等冷作强化工艺与表面热处理强化相结合，可显著提高其表面疲劳强度，延长机械零件和工模具的使用寿命。目前，表面形变热处理工艺主要有：表面高温形变淬火、预先冷形变表面高温形变淬火、表面形变时效工艺方法等。

### 1. 表面高温形变淬火

对钢制零件或工模具采用感应表面加热或火焰表面加热，使其一定深度的表层呈完全奥氏体状态，并在这种状态下用滚压或喷丸等加工方法进行形变，然后立即实施淬火的工艺过程，称为表面高温形变淬火。试验表明，这种工艺方法可显著提高其表面的疲劳强度和耐磨性。表 1-45 所示为 9Cr 钢表面高温形变淬火后的力学性能。

表 1-45 9Cr 钢表面高温形变淬火后的力学性能

形变温度/℃	弯矩/kN·m	弯曲强度 $\sigma_{bb}$ /MPa	挠度 f/mm	强化层深度/mm	硬度 HRC
850	3133/3194	3747/3790	18.7/17.5	3.0/2.7	67/66
900	3270/3318	3932/3940	18.2/17.7	5.0/4.5	68/67
950	3044/3518	3714/4438	13.7/16.6	穿透	66/66
1000	2911/3268	3431/3842	10.0/9.3	穿透	66/67

注：1. 拉伸速度为 0.5m/min，140℃回火 1.5h。

2. 数据中分子的形变量为 10%，分母的形变量为 15%。

### 2. 预先冷形变表面高温形变淬火

这是一种将钢材或零件预先进行一定压力的冷形变，然后再进行表面高温形变淬火的工艺方法。试验表明，预先的冷形变有遗传作用，使之随后的表面高温形变淬火进一步提高强化效果。表 1-46 所示为 40Cr 钢经预先冷形变表面高温形变淬火后的强化深度和耐磨性。

表 1-46 40Cr 钢经预先冷形变表面高温形变淬火后的强化深度和耐磨性

滚压力 /kN	中间回火温度/℃					
	未回火	200	400	未回火	200	400
强化深度/mm				相对耐磨性		
200	0.80/0.90	0.70/0.75	0.80/0.70	0.96/1.09	1.15/1.18	1.03/1.02
250	1.00/1.00	0.85/0.10	1.00/0.90	1.01/1.25	1.20/1.25	1.10/1.18
300	1.80/1.80	1.70/1.90	1.80/1.80	1.08/1.30	1.28/1.30	1.12/1.12
350	2.10/2.40	2.20/2.20	1.85/2.20	1.02/1.10	1.19/1.10	1.08/1.08
400	2.40/2.40	2.50/2.30	2.30/2.40	1.00/1.08	1.10/1.08	1.05/0.99

注：1. 以高频淬火效果为 1。

2. 数据中分子为 850℃淬火时的数值，分母为 950℃淬火时的数值。

### 3. 表面形变时效

表面形变时效是将钢制零件或工模具在喷丸或滚压冷形变后再加以补充回火的热处理工艺。实验表明，这种工艺方法可使疲劳强度进一步提高。图 1-19 所示为喷丸强化后补充回火对 55Si2 和 60Si2Mn 疲劳强度的影响。

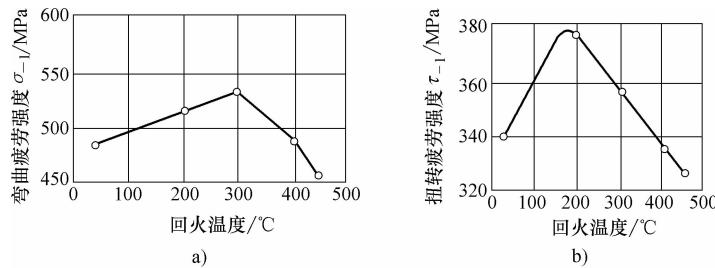


图 1-19 喷丸强化后补充回火对钢材疲劳强度的影响

a) 55Si2 钢的弯曲疲劳强度 b) 60Si2Mn 钢的扭转疲劳强度

### 1.6.3 化学热处理新工艺简介

近年来，在科学试验和生产实践中，化学热处理的多元共渗（例如，硼氮碳、氧氮碳、钛氮碳、硫氮碳、氧硫氮、铬铝硅等三元共渗和氧硫氮碳四元共渗以及氧硫氮碳硼五元共渗等）有了显著发展。另外，气相沉积工艺、碳化物覆层工艺和镍-磷覆层工艺等也在生产实践中得到较广泛应用。更值得提及的还有形变化学热处理（例如，淬火后冷变形和晶粒多边化后化学热处理以及化学热处理后表面高温形变淬火等）的研发给多种工艺联合操作带来新意。各种多元共渗将在第 3~11 章的典型零件工艺设计中详述。

下面，简单介绍几种形变化学热处理工艺的特点。

#### 1. 零件化学热处理后冷形变

这是一种经渗碳、渗氮等化学热处理的钢件，再施以滚压、喷丸等冷形变的联合操作。钢制零件化学热处理后冷形变，可以获得进一步强化的效果，得到更高的表面硬度、耐磨性和疲劳强度及其使用寿命。例如，18Cr2Ni4WA 钢经化学热处理后冷形变，使渗层内亚结构中的残留奥氏体转变为马氏体，表面产生强大的压应力，从而使得疲劳抗力和硬度提高。表 1-47 所示为 18Cr2Ni4WA 钢经化学热处理后冷形变和一般热处理后的力学性能比较。

表 1-47 18Cr2Ni4WA 钢化学热处理后冷形变和一般热处理后的力学性能比较

序号	处理方式	硬化层深度 /mm	硬度 HRC		弯曲疲劳 强度/MPa
			表 面	心 部	
1	淬火 + 低温回火	—	—	36~38	270
2	调质 + 渗氮	0.35~0.40	650~750HV	32~34	480

(续)

序号	处理方式	硬化层深度 /mm	硬度 HRC		弯曲疲劳 强度/MPa
			表 面	心 部	
3	渗碳、高温回火+淬火、低温回火	0.9~1.1	57~60	36~38	510
4	同序号3	0.55~0.7	57~59	36~40	540
5	淬火、低温回火+2000kN 压力的滚压	0.6	38~40	36~38	425
6	同序号3,随后2500kN 压力下滚压	渗碳层1.0,滚压 强化层~0.5	59~62	36~38	559
7	同序号3,随后喷丸强化	渗碳层1.0,滚压 强化层~0.2	58~61	36~38	629

## 2. 零件渗碳后表面高温形变淬火

这是一种钢制零件经渗碳等化学热处理后，再施以高温滚压、喷丸等热形变后淬火的联合操作。试验表明，中碳结构钢渗碳后再施以表面高温形变淬火，可以比单一的渗碳淬火或单一的表面高温形变淬火进一步提高强化效果。图1-20所示为20CrMnTi钢渗碳后表面高温形变淬火的渗层磨损失重量的比较。

## 3. 钢件晶粒多边化处理后化学热处理

这是一种将钢件经低温形变的晶粒多边化处理后再施以渗氮的联合操作法。试验研究表明，这种处理使其力学性能、蠕变抗力和持久强度提高。其原因是基于多边化建立的亚晶界（位错墙）被间隙原子（N）钉扎的结果。表1-48所示为含碳质量分数为0.08%钢经该工艺和其他工艺处理后力学性能的对比。

表1-48 w(C)0.08%钢多边化+渗氮与其他工艺处理后的力学性能

处理工艺	抗拉强度/MPa	屈服强度/MPa	伸长率(%)
原始状态	357	495	38.8
多边化处理：室温拉伸2.1%后600℃退火8h	372	231	36.9
400℃渗氮6h、550℃退火110h	418	246	34.3
室温拉伸2.1%后，600℃退火8h，400℃渗氮6h、550℃退火110h	420	272	26.2

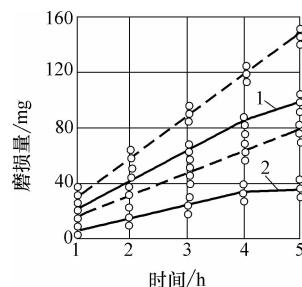


图1-20 20CrMnTi钢渗碳后表面高温形变淬火的渗层磨损失重量的比较

1—普通高频感应淬火 2—渗碳后表面形变淬火  
——与45钢块对磨 ——与铸铁对磨

## 1.7 零件热处理的质量要求和检验

### 1.7.1 零件毛坯热处理的质量要求和检验

零件毛坯预备热处理的质量要求和检验，应满足以下条件：

#### 1. 预备热处理后的硬度

预备热处理后的硬度应较低，且允许在较大的范围内波动，如表 1-49 所示。

表 1-49 预备热处理后硬度允许的波动范围

工 艺 名 称	硬 度 偏 差 范 围 HBW	工 艺 名 称	硬 度 偏 差 范 围 HBW
正火	50 ~ 70	等温退火	60
完全退火	70		
不完全退火	70	球化退火	50

#### 2. 预备热处理后的显微组织

预备热处理后的显微组织，应满足以下具体规定：

1) 碳素工具钢球化退火后的显微组织按 GB/T 1298—2008 第一、第二级别图评定，珠光体 2~4 级合格。网状碳化物当毛坯截面尺寸  $\leq 60\text{mm}$  时，1~2 级合格；当截面尺寸  $> 60\text{mm}$  时，1~3 级合格。

2) 合金工具钢球化退火后的显微组织按 GB/T 1299—2000 第一、第二级别图评定，珠光体 2~5 级合格。网状碳化物 1~3 级合格。

3) 高碳轴承钢球化退火后的显微组织按 GB/T 9943—2008 第六、第七级别图评定，珠光体 2~5 级合格。网状碳化物 1~2 级合格。

4) 碳素结构钢、合金结构钢毛坯正火后的显微组织应为均匀分布的铁素体加珠光体。晶粒度按 GB/T 3077—1999 第一级别图评定，5~8 级合格。

5) 碳素结构钢、合金结构钢毛坯调质后的显微组织一般为回火索氏体和  $\leq 5\%$  的铁素体。

显微组织检验按 GB/T 13298—1991 规定的方法在同炉处理的试样上观察，当有异议时须在毛坯上观察。

6) 结构钢毛坯球化退火后的显微组织按 JB/T 5074—2007 评级标准评定。对于冷镦、冷挤压和冷弯加工的中碳结构钢，在变形量  $\leq 80\%$  时要求 4~6 级为合格；变形量  $> 80\%$  时 5~6 级为合格；对于易削钢要求 1~4 级为合格；自动切削用钢要求 1~3 级为合格。

#### 3. 外观质量

表面不得有超过预留加工余量单边  $1/3$  的氧化-脱碳层和凹坑；关键零件的毛坯形状和位置公差应符合毛坯图的规定等。在无明确规定的情况下，预备热处理后

只进行磨削加工或不加工的毛坯变形量，应控制在  $0.2 \sim 0.5\text{mm}$ ，而随后进行其他机械加工的毛坯变形量应控制在  $3 \sim 5\text{mm}$ （具体预留加工余量和变形量见附录 B）。

#### 4. 毛坯预备热处理的常见缺陷

常见的退火和正火缺陷及其补救措施，如表 1-50 所示。

表 1-50 常见的退火和正火缺陷及其补救措施

缺陷类型	说 明	补 救 措 施
过烧	加热温度过高使晶界局部熔化	报废
过热	加热温度高使奥氏体晶粒粗大，冷却后形成魏氏体组织或粗晶组织，钢的冲击韧度下降	完全退火或正火补救
黑斑	碳素工具钢由于终锻温度过高( $>1000^\circ\text{C}$ )，冷却缓慢或退火加热度过高，在石墨化温度范围长时间停留，或多次返修退火导致在钢中出现石墨碳，并在其周围形成大块铁素体，断口呈黑灰色	报废
反常组织	$Ar_1$ 附近冷速过低或在 $Ar_1$ 以下长期保温，会在先共析铁素体晶界上出现粗大渗碳体或在先共析渗碳体周围出现宽铁素体条	重新退火
网状组织	加热温度过高及冷速慢形成网状铁素体或渗碳体	重新退火
球化不均匀	球化退火前未消除网状碳化物，形成残存大块状碳化物，或球化退火工艺控制不当出现片状碳化物	正火后重新球化退火
硬度偏高	退火冷速过快或球化不好	重新退火
脱碳	工件表面脱碳层严重超过技术条件要求	在保护气氛中退火或复碳处理

### 1.7.2 整体淬火回火件的质量要求和检验

#### 1. 整体淬火回火后的质量和检验

机械零件和工模具整体淬火回火后的质量和检验，应满足以下条件：

(1) 外观质量 表面应清洁，不允许有裂纹、烧伤及超过加工余量的麻点、锈蚀和碰伤；在无氧化条件下处理的工具、模具、量具、夹具表面一般应无氧化色泽。

外观质量用肉眼或低倍放大镜观察，必要时可采用浸油喷砂法或探伤法检验裂纹。

(2) 表面硬度 零件的表面硬度应符合其图样和工艺文件的规定。表面硬度偏差一般为  $0 \sim +5\text{HRC}$ 。

硬度检验应按 GB/T 230.1—2009、GB/T 230.2—2002 和 GB/T 230.3—2002 规定的方法在零件有代表性的工作表面测量，当不宜采用规定的方法时，也可采用其他硬度试验方法。

(3) 淬硬区尺寸 局部淬火的零件其淬硬区的尺寸偏差应符合表 1-51 的规定。

对硬化区尺寸有特殊要求的零件应按工艺文件执行。

表 1-51 局部淬火的硬化区尺寸偏差

(单位: mm)

零件直径或有效厚度	淬硬区长度	淬硬区尺寸偏差
<30	<20	淬硬区长度的 1/2
	≥20	±10
≥30~60	<30	淬硬区长度的 1/2
	≥30	±15
>60	<40	淬硬区长度的 1/2
	≥40	±20

(4) 显微组织 整体淬火回火后的显微组织应符合以下规定:

1) 中碳结构钢、中碳合金结构钢零件淬火后的显微组织按 JB/T 9211—2008 评定, 马氏体 1~5 级合格; 弹簧钢零件, 马氏体 1~4 级合格。

2) 碳素工具钢、合金工具钢零件淬火回火后的显微组织按 ZB J36003—1987 第十至第十三级别图评定, 马氏体 1~3.5 级合格。

3) 滚铬轴承钢零件淬火-回火后的显微组织按 JB 1255—2001 第二级别图评定, 主要零件 1~3 级合格, 非主要零件 1~7 级合格。

4) 高速钢零件淬火后显微组织按 ZB J36003 第二、第六级别图评定, 晶粒度 9~11 级合格。

5) 零件淬火-回火后的脱碳层按 GB 224 规定检验, 表面总脱碳层深度应小于单边加工余量的 1/3。

检验显微组织按 GB/T 13298—1991 规定的方法, 在零件有代表性的部位或同炉的试样上观察。

(5) 力学性能 弹性零件的力学性能应符合零件图样的规定。

(6) 变形量 零件淬火-回火后的变形量应符合图样或冷热加工协商的结果。变形量超差的零件一般可以校正, 精度稳定性要求高的零件校正后应进行去应力处理。

## 2. 整体淬火、回火常见缺陷及其预防措施

机械零件和工模具整体淬火回火常见缺陷及其预防措施, 归纳于表 1-52~表 1-54。

表 1-52 整体淬火后硬度不足及其预防措施

序号	淬火硬度不足的原因	控制措施
1	介质冷却能力差, 工件表面有铁素体、托氏体等非马氏体组织	1) 采用冷速较快的淬火介质 2) 适当提高淬火加热温度
2	淬火加热温度低, 或预冷时间长, 淬火冷却速度低, 出现非马氏体组织	1) 确保淬火加热温度正常 2) 减少预冷时间

(续)

序号	淬火硬度不足的原因	控制措施
3	亚共析钢加热不足，有未溶铁素体	严格控制加热温度、保温时间和炉温均匀性
4	碳钢或低合金钢采用水-油双介质淬火时，在水中停留时间不足，或从水中提出零件后，在空气中停留时间过长	严格控制零件在水中停留时间及操作规范
5	钢的淬透性差，且工件截面尺寸大，不能淬硬	采用淬透性好的钢
6	高碳高合金钢淬火加热温度高，残留奥氏体过量	降低淬火加热温度或采用冷处理
7	等温时间过长，引起奥氏体稳定化	严格控制分级或等温时间
8	表面脱碳	采用可控气氛加热或其他防脱碳措施
9	硝盐或碱浴中水分含量过少，分级冷却时有托氏体等非马氏体形成	严格控制盐浴和碱浴中的水分
10	合金元素内氧化，表层淬透性下降，出现托氏体等非马氏体而内部则为马氏体组织	1) 降低炉内气氛中氧化性组分含量 2) 选用冷速快的淬火介质

表 1-53 整体淬火产生软点的原因及其预防措施

序号	软点形成原因	控制措施
1	淬火时工件表面气泡未及时破裂，致使气泡处冷速降低，出现非马氏体组织	1) 增加介质与工件的相对运动速度 2) 控制水温和水中的杂质（油、皂类）
2	工件表面局部的氧化皮、锈斑或其他附着物（涂料）淬火时未剥落，使冷速降低	淬火前清理工件表面
3	原始组织不均匀，有严重的带状组织或碳化物偏析	原材料进行锻造和预备热处理，使组织均匀化

表 1-54 零件回火缺陷产生原因及其预防措施

序号	回火缺陷	产生原因	控制措施
1	回火硬度偏高	回火不足（回火温度低、回火时间不够）	提高回火温度、延长回火时间
2	回火硬度低	1) 回火温度过高 2) 淬火组织中有非马氏体	1) 降低回火温度 2) 改进淬火工艺，提高淬火硬度
3	回火畸变	回火时淬火应力松弛引起畸变	加压回火或趁热校直
4	回火硬度不均	回火炉温不均，装炉量过多，炉气循环不良	炉内应有气流循环风扇或减少装炉量
5	回火脆性	1) 在回火脆性区回火 2) 回火后未快冷，引起第二类回火脆性	1) 避免第一类回火脆性区回火 2) 在第二类回火脆性区回火后快冷

(续)

序号	回火缺陷	产生原因	控制措施
6	网状裂纹	回火加热速度过快，表层产生多向拉应力	采用较缓慢的回火加热速度
7	回火开裂	淬火后未及时回火形成显微裂纹，在回火时裂纹发展至断裂	减少淬火应力，淬火后应及时回火
8	表面腐蚀	带有残盐的零件回火前未及时清洗	回火前应及时清洗残盐

### 1.7.3 表面淬火件的质量要求和检验

#### 1. 感应淬火的质量要求和检验

##### (1) 感应淬火的质量要求和检验

1) 外观质量：零件表面不得有任何形式的裂纹；不得有后序加工余量 1/3 的锈蚀和灼伤等缺陷。一般零件 100% 目测检验；重要零件应 100% 进行无损探伤检验；批量生产时，根据不同零件类别，按工艺文件规定进行检验。

2) 表面硬度：单件或零星生产时，应 100% 检验硬度；批量生产时，按 5% ~ 10% 抽检硬度；淬火区范围的检验，依据零件图样的规定进行，或根据淬火区的颜色用卡尺或钢直尺测量；形状复杂或无法用硬度计检测的零件，可用硬度笔或锉刀进行检验。硬度值应满足零件图样中规定的技术要求，误差范围应符合表 1-55 规定。

表 1-55 感应淬火表面硬度允许的波动范围

工件类型	表面硬度波动范围 HRC			
	单件		同一批件	
	≤50	>50	≤50	>50
重要性	≤5	≤4	≤6	≤5
一般件	≤6	≤5	≤7	≤6

3) 有效硬化层深度：表面淬火的有效硬化层深度应符合零件图样中技术要求的规定值。

形状简单的零件硬化层深度波动范围，应符合表 1-56 中的规定。大型或复杂零件的有效硬化层深度的允许范围，可适当放宽。

表 1-56 感应淬火有效硬化层深度波动范围

有效硬化层深度 /mm	硬化层深度波动范围/mm		有效硬化层深度 /mm	硬化层深度波动范围/mm	
	单件	同一批件		单件	同一批件
≤1.5	0.2	0.4	3.5 ~ 5.0	0.8	1.0
>1.5 ~ 2.5	0.4	0.6	>5	1.0	1.5
>2.5 ~ 3.5	0.6	0.8			

4) 金相组织检验：中碳结构钢和中碳合金结构钢零件感应淬火后的金相组织，按马氏体大小分 10 级。其中，4~6 级，即细小马氏体为正常组织；1~3 级为粗大或中等大小的马氏体，是由于加热温度偏高造成的；7~10 级组织中有未溶铁素体或网状托氏体，是由于加热温度偏低或冷却不足产生的。

5) 变形度要求：感应淬火回火后的变形量，根据零件图样和工艺文件的规定检验。其中，轴类零件的直线度不得超过加工余量的 1/3。

6) 硬化区和硬化层深度：不同形状结构的零件，表面淬火后的合理硬化区和硬化层深度，应符合以下规定：

① 轴类零件端头在一次加热淬火时，允许有 2~3mm 的过渡区；连续加热时，允许有 2~8mm 的过渡区。

② 局部淬火的零件，淬火区长度允许误差为  $\pm 3\text{mm}$ 。

③ 阶梯轴高频感应加热淬火后，允许在阶梯处有一定宽度的未淬硬区：即直径差  $< 10\text{mm}$  时未淬硬区  $< 5\text{mm}$ ；直径差  $10 \sim 20\text{mm}$  时未淬硬区  $< 8\text{mm}$ ；直径  $20\text{mm}$  时未淬硬区  $< 12\text{mm}$ 。

④ 淬火部分带槽的轴，在槽两端应倒角  $2 \sim 3\text{mm}$ 。如不能倒角，则两端允许有  $< 8\text{mm}$  的软带，其硬度可低于图样规定下限 15HRC。

⑤ 如果淬火部分有槽或孔，而孔或槽距轴端  $< 8\text{mm}$  时，则应允许该处  $< 8\text{mm}$  不淬硬。

⑥ 有空刀槽的轴，距空刀槽处允许有  $\leq 5\text{mm}$  的软带，其硬度可低于图样规定下限 15HRC。

⑦ 轴的端面与轴均需淬火时，允许一个表面上有  $8\text{mm}$  的回火带，或允许有一面距边缘  $5\text{mm}$  不淬硬。

## (2) 火焰淬火质量的要求和检验

1) 火焰淬火后的表面硬度和硬化层深度，应满足产品设计图样中规定的技术要求。

2) 火焰淬火后的金相组织：硬化层为回火马氏体，过渡层为托氏体和索氏体，心部为原始组织。

3) 火焰淬火后表面不得有严重氧化和被烧伤迹象。

4) 一般件不允许有回火带，特殊件回火软带宽度不得大于  $12\text{mm}$ ，且硬度不得低于允许硬度范围下限 15HRC。

5) 质量的其他要求，参照“感应淬火质量要求”的相关内容执行。

## 2. 零件和工模具表面淬火常见缺陷及其预防措施，归纳于表 1-57 和表 1-58。

表 1-57 感应淬火裂纹产生的原因及其预防措施

序号	淬火裂纹形成原因	预防措施
1	过热，如轴端裂纹，齿面弧形裂纹，齿顶延伸到齿面裂纹	降低比功率，减少加热时间，增大感应器与表面距离，同时加热时降低感应器高度

(续)

序号	淬火裂纹形成原因	预防措施
2	冷却过于激烈	采用冷速较缓慢的淬火冷却介质，降低喷液供给量和喷液压力
3	钢材碳含量较高，如 $w(C) \geq 0.5\%$ ，开裂倾向急剧增加	精选碳含量，使 45 钢中的碳控制在下限，采用冷却速度缓慢的淬火冷却介质
4	工件表面沟槽、油孔使感应电流集中	用铁屑堵塞
5	未及时回火	及时回火或采用自回火

表 1-58 火焰淬火的常见缺陷及其预防措施

缺陷名称	产生原因	预防措施
硬度不足	1) 钢材碳含量低，淬硬性差 2) 加热温度低 3) 冷却不及时，温度下降 4) 冷却不足，水量少或水压低	1) 采用碳的质量分数大于 0.3% 的钢 2) 提高到正常加热温度 3) 加快操作速度，及时冷却 4) 加大冷却水量或提高水压
开裂	1) 温度过高，冷却太激烈 2) 重复淬火，如环状工件沿圆周连续淬火时的交接处、推进法淬火的交接处，易出现重复淬火现象，产生淬火裂纹 3) 淬火与回火间隔太长	1) 适当降低加热温度和冷却速度，工件不冷透或采用自回火 2) 淬火开始时，降低加热温度，使其成为一个低硬度区。当淬火快要结束时，喷嘴一旦进入该区，应立即关闭火焰，并加大冷却水量 3) 淬火后及时回火
畸变	加热或冷却不均匀	改进喷嘴的加热和冷却条件，使工件旋转，实现均匀加热和冷却
烧伤	加热温度过高，由供氧量太大、烧嘴变形、淬火机床停转等引起	检查氧气阀、烧嘴及淬火机床，并采取措施修整

#### 1.7.4 渗碳、碳氮共渗件的质量要求和检验

##### 1. 渗碳和碳氮共渗质量要求和检验

渗碳和碳氮共渗质量要求和检验，应满足以下条件：

(1) 外观质量 渗碳和碳氮共渗后零件不得有裂纹、碰伤和锈蚀等缺陷。

(2) 硬度要求

1) 表面硬度和心部硬度应达到零件图样或工艺文件技术要求。表面硬度一般为 56~64HRC。

2) 对渗碳和碳氮共渗并淬火回火后的零件心部硬度没有统一规定。渗碳齿轮轮齿心部是指从齿顶至 $2/3$ 全齿高处的硬度。齿轮模数 $\leq 8\text{mm}$ 时，心部硬度要求 $30 \sim 45\text{HRC}$ ；模数 $>8\text{mm}$ 的齿轮，心部硬度为 $33 \sim 48\text{HRC}$ 。

### (3) 渗层深度要求

1) 用金相法或断口法测得渗层深度，仅作为零件中间检验指标，而渗碳和碳氮共后渗淬火和回火的最终指标，只能采用硬度法所测得的有效硬化层深度来判断。

有效硬化层的检验方法，按 GB/T 9450—2005《钢件渗碳淬火硬化层深度的测定和校核》中的规定执行。有效硬化层深度误差不得超过表 1-59 的规定。具体检测方法有两种：

表 1-59 渗碳和碳氮共渗件硬化层深度偏差 (单位：mm)

硬化层深度	单 件	同 批	硬化层深度	单 件	同 批
<0.50	0.10	0.20	>1.50 ~ 2.50	0.30	0.40
0.50 ~ 1.50	0.20	0.30	>2.50	0.50	0.60

注：局部渗碳或碳氮共渗的零件，硬度测量位置不应在渗层边界附近。

合金渗碳钢渗层，即由表面测至原始组织处的距离，包括过共析层、共析层和过渡层三者之和作为渗层深度。

碳素渗碳钢渗层，即由表面过共析层、共析层和 $1/2$ 过渡层处的距离作为渗层深度，且过共析层加共析层之和不小于 75% 渗层总深度。

2) 渗层深度是指成品零件的渗层深度，即零件图样要求的渗层深度。如渗碳后还需磨削加工时，则渗层深度应为零件图样要求的渗层深度加预留的磨量。

### (4) 显微组织要求 显微组织检验主要是对渗层组织和心部组织的检验。

1) 渗层组织检验，包括马氏体的形态和粗细；碳化物的形状、大小、多少和分布；残留奥氏体的数量等。渗层组织应是细片状或细板条状马氏体、少量残留奥氏体和数量不多且分布均匀的细小的粒状碳化物。马氏体和残留奥氏体 1~5 级合格；一般零件的碳化物 1~6 级合格，受冲击的零件 1~5 级合格。

2) 心部组织检验主要是游离铁素体的数量、大小和分布等。心部组织为细板条马氏体；对模数 $\leq 5\text{mm}$ 的齿轮心部铁素体以 1~4 级为合格；对模数 $>5\text{mm}$ 的齿轮心部铁素体以 1~5 级为合格。

(5) 变形度要求 按零件图样和工艺文件规定进行检验。渗碳后有磨削加工时，其变形量一般不得超过预留加工量的 $1/3$ 或冷、热加工协商确定。

为了确保渗碳及碳氮共渗层深度不超差，应严格控制加热炉温度。

## 2. 常见的渗碳缺陷及其预防措施

常见的渗碳缺陷及其预防措施如表 1-60 所示。

表 1-60 常见的渗碳缺陷及其预防措施

缺 陷 名 称	产 生 原 因	预 防 措 施
表面碳含量低	1) 炉温低 2) 渗剂滴量少 3) 炉子漏气 4) 盐浴成分不正常 5) 零件表面不干净	1) 校验仪表, 调整温度 2) 调整滴量 3) 检查炉子密封系统 4) 调整盐浴成分 5) 清理工件表面
残留奥氏体过多	1) 炉气碳势过高 2) 渗碳或淬火温度过高 3) 奥氏体中碳及合金元素含量过高	1) 按正常值调整渗剂滴量 2) 按正常值调整渗碳及直接淬火温度或重新加热淬火 3) 冷处理或高温回火后重新加热淬火
渗层深度不够	1) 保温时间不够 2) 表面碳含量低	1) 适当延长保温时间 2) 按正常渗剂滴量补渗
渗层深度不均匀	1) 炉温不均匀 2) 炉气循环不良 3) 零件表面沉积炭黑 4) 固体渗碳时渗碳箱内温差大或催渗剂分布不均匀	1) 正确摆放工件 2) 检查风扇 3) 渗剂量不要过多 4) 固体渗碳时均匀分布催渗剂
表面硬度低	1) 表面碳含量低 2) 残留奥氏体过多 3) 形成托氏体组织	1) 按正常渗剂滴量渗碳 2) 形成托氏体组织是表面碳含量低, 淬火时冷速不够 3) 表面上有托氏体组织者可重新加热淬火
表面有粗大的网状碳化物	1) 炉气碳势过高, 渗碳剂浓度太高或活性太大 2) 预冷温度过低 3) 渗碳温度高或保温时间太长 4) 冷却太慢	1) 严格控制表面碳含量, 或当渗层要求较深时, 保温后期适当降低渗剂滴量 2) 提高预冷温度, 适当加快出炉后的冷却速度 3) 提高淬火温度加热, 延长保温时间重新淬火 4) 渗碳后通过正火处理, 予以消除
心部铁素体过多	淬火温度低, 加热保温时间不足	执行正常工艺重新加热淬火
切削加工困难, 硬度大于 30HRC	出炉温度太高	按正常温度出炉; 进行退火或高温回火处理

(续)

缺陷名称	产生原因	预防措施
表面脱碳	1) 渗碳后期炉气碳势太低 2) 炉子漏气 3) 出炉温度高，在空气中引起氧化脱碳 4) 淬火加热时保护不当 5) 液体渗碳的碳酸盐含量过高	1) 严格控制渗碳后期炉气碳势 2) 检查炉子密封系统 3) 按正常温度出炉，放入冷却罐并滴入煤油 4) 淬火时注意保护 5) 在配比合格的介质中补渗
渗碳后变形	1) 夹具选择及装炉方式不当，因零件自重而产生变形 2) 零件本身截面不均，在加热和冷却过程中因热应力和组织应力而变形	1) 合理装夹零件 2) 对易变形零件采用压床淬火或淬火时趁热校直

### 1.7.5 渗氮、氮碳共渗件的质量要求和检验

#### 1. 渗氮和氮碳共渗件的质量要求和检验

渗氮和氮碳共渗件的质量要求和检验，应满足以下条件。

(1) 外观质量要求 任何方法处理的渗氮件表面不得有剥落现象。此外，离子渗氮件表面还不得有灼伤现象。渗氮件表面应呈现银灰色或暗灰色，不允许有明显氧化色。但气体渗氮件在硬度、渗层深度和脆性等各项要求均合格的前提下，表面有氧化色时允许作为合格品。

(2) 表面硬度要求 渗氮件表面硬度应符合零件图样或工艺文件中规定的技术要求，且硬度偏差不得超过表 1-61 的规定。

表 1-61 渗氮层硬度偏差

类型	单 件		同 一 批	
	≤600HV	>600HV	≤600HV	>600HV
偏差	45HV	60HV	70HV	100HV

(3) 渗氮层深度 渗氮层深度应符合零件图样或工艺文件中规定的技术要求，且深度偏差不得超过表 1-62 的规定。

表 1-62 渗氮层深度偏差 (单位：mm)

渗氮层深度范围	深度偏差		渗氮层深度范围	深度偏差	
	单 件	同 一 批		单 件	同 一 批
≤0.3	0.05	0.10	>0.6	0.15	0.20
0.3~0.6	0.10	0.15			

#### (4) 金相组织要求

- 1) 心部组织应为细小的回火索氏体，不允许有多量大块自由铁素体存在。
- 2) 渗氮层中的白亮层厚度不大于 0.03mm（渗后精磨件除外）。
- 3) 渗氮层中的氮化物，执行 GB/T 11354—2005《钢铁零件渗氮层深度检测和金相组织检验》标准，一般件 1~3 级合格；重要件 1~2 级合格，即渗氮层中不得有粗大的网状、脉状、波纹状或骨状氮化物存在。

(5) 渗氮层脆性 渗氮层脆性，执行 GB/T 11354—2005《钢铁零件渗氮层深度检测和金相组织检验》标准，压痕完整无缺为 1 级，不脆；一边或一角有碎裂为 2 级，略脆；压痕两边或两角有碎裂为 3 级，脆；压痕三边或三角有碎裂为 4 级，很脆；四边或四角有碎裂为 5 级，极脆。一般件 1~3 级合格；重要件 1~2 级合格。

(6) 渗氮层疏松 渗氮层疏松程度，按照 GB/T 11354—2005《钢铁零件渗氮层深度检测和金相组织检验》标准中的疏松级别图进行评定。共分五级，一般零件 1~3 级为合格；重要零件 1~2 级为合格，即不允许微孔呈密集分布，厚度不得超过化合物层的 2/3。由于铁素体氮碳共渗后疏松一般较严重，故该项检验不可缺少。

(7) 变形度检查 渗氮件变形量应符合零件图样或工艺文件规定。其变形虽小，但体积有所膨胀，一般为渗层厚度的 3%~4%。按此规律渗氮前可预留变形量，即适当减小零件尺寸。对于弯曲变形应尽量避免校直，如工艺文件允许条件下，可采用适当方法校直。

### 2. 渗氮件常见缺陷及其预防措施

渗氮件常见缺陷及其预防措施如表 1-63 所示。

表 1-63 渗氮件常见缺陷及其预防措施

缺 陷	产 生 原 因	预 防 措 施
渗氮层硬度低	1) 渗氮温度高 2) 分段渗氮时第一阶段氨分解率偏高 3) 使用新渗氮罐时未经预渗氮 4) 渗氮罐久用未退氮	1) 校正测温仪表，严格控制渗氮工艺参数 2) 严格控制氨分解率 3) 加大氨气流量 4) 渗氮罐每渗氮 10 炉后，应在 800~860℃空载保温 2~4h，进行一次退氮处理
渗氮层硬度不均	1) 炉温不均匀 2) 炉气循环不畅 3) 装炉量太大 4) 工件表面有油污 5) 非渗氮面镀锡层淌锡	1) 注意均匀装炉 2) 保持间隙，保证炉气循环畅通 3) 合理装炉 4) 认真清洗工件表面 5) 严格控制镀层厚度，镀锡前对工件进行喷砂处理

(续)

缺 陷	产 生 原 因	预 防 措 施
渗氮层厚度浅	1) 渗氮温度低 2) 时间不足 3) 渗氮时第二阶段氨分解率低  4) 渗氮罐漏气 5) 渗氮罐久用未退氮  6) 装炉量太大, 炉气循环不良	1) 适当提高渗氮温度 2) 保证渗氮时间 3) 提高氨分解率, 按第二阶段工艺规范重新处理  4) 检查渗氮罐是否漏气 5) 渗氮罐每渗氮 10 炉后, 应在 800 ~ 860℃空载保温 2 ~ 4h, 进行一次退氮处理 6) 均匀装炉, 工件间隙不小于 5mm, 保证炉气循环畅通
渗氮层脆性太大或易剥落	1) 氨分解率低 2) 炉气氮势高 3) 退氮工艺不当  4) 工件表面有脱碳层 5) 工件有尖角、锐边	1) 严格控制操作 2) 按工艺操作 3) 将氨分解率提高到 70% 以上, 重新进行退氮处理, 以降低脆性 4) 增大加工余量 5) 尽可能将尖角、锐边倒圆
表面氧化色	1) 渗氮罐漏气, 冷却时造成负压  2) 出炉温度过高  3) 干燥剂失效	1) 检查设备, 密封性应完好; 冷却时少量供氨, 保持炉内正压 2) 炉冷至 200℃以下出炉 3) 定期更换干燥剂
畸变	1) 消除机械加工应力不充分 2) 装炉方式不合理, 因自重产生蠕变畸变 3) 加热或冷却速度太快, 热应力大 4) 炉温不均匀  5) 工件结构不合理, 对称性差	1) 渗氮前充分去应力 2) 合理装炉, 注意工件自重的影响, 细长杆件要垂直吊挂 3) 控制加热和冷却速度 4) 合理装炉, 保证 5mm 以上间隙, 保持炉气循环畅通 5) 合理设计工件
渗氮层出现网状及波纹状氮化物	1) 渗氮温度过高 2) 液氨含水量高 3) 调质时淬火温度过高, 致使晶粒粗大 4) 工件有尖角或锐边	1) 严格控制渗氮温度, 定期检验测温仪表 2) 将氨气严格干燥, 更换干燥剂 3) 严格控制淬火温度  4) 避免尖角锐边
渗氮层出现针状或鱼骨状氮化物	1) 表面脱碳层未去净 2) 液氨含水量高, 使工件脱碳 3) 原始组织中有较多大块铁素体	1) 增加工件的加工余量 2) 将氨气严格干燥, 更换干燥剂 3) 严格控制调质的淬火温度

(续)

缺 陷	产 生 原 因	预 防 措 施
渗氮层不致密，耐蚀性差	1) 表面氮含量过低，化合物层太薄 2) 表面上有锈斑 3) 冷却速度太慢，氧化物分解造成疏松层偏厚	1) 氮分解率不宜过高 2) 仔细清理工件表面 3) 适当调整冷却速度

## 1.7.6 渗硼件的质量要求和检验

### 1. 渗硼件的质量要求和检验

渗硼件的质量要求和检验，执行 JB/T 4215—2008《渗硼》标准。

(1) 外观检查 零件渗硼后表面应呈现灰色或深灰色，且色泽均匀。渗层无剥落及裂纹。

(2) 硬度要求  $\text{Fe}_2\text{B}$  的硬度为  $1290 \sim 1680 \text{HV}0.1$ ； $\text{FeB}$  为  $1890 \sim 2340 \text{HV}0.1$ 。

(3) 渗层深度 渗层深度应满足零件图样或工艺文件的规定。硼化物层偏差不大于表 1-64 规定。

(4) 渗硼层组织 渗硼层共分六类，大多数采用 I 类（单相  $\text{Fe}_2\text{B}$ ），非重要零件采用 II 类（双相  $\text{FeB}$ 、 $\text{Fe}_2\text{B}$ ， $\text{FeB}$  约占  $1/3$ ），即应符合 JB/T 7709—2008 的规定。

表 1-64 硼化物层偏差 (单位:  $\mu\text{m}$ )

硼化物层厚度范围	单 件	同批 (工件和材质相同)
100 以下	$\pm 5$	$\pm 10$
100 以上	$\pm 10$	$\pm 10$

### 2. 渗硼常见缺陷及其预防措施

渗硼常见缺陷及其预防措施如表 1-65 所示。

表 1-65 渗硼常见缺陷及其预防措施

缺 陷 名 称	产 生 原 因	预 防 措 施
渗硼层深度不够	1) 渗硼温度低 2) 保温时间短 3) 渗剂活性不足	1) 按工艺正确定温、检查或鉴定仪表 2) 延长保温时间 3) 检查渗剂的活性及质量
渗硼层存在疏松及孔洞	1) 渗硼温度高 2) 渗硼剂中氟硼酸钾及硫脲等活化剂较多 3) 与钢种有关	1) 适当降低渗硼温度 2) 降低渗硼剂中氟硼酸钾及硫脲的含量 3) 采用高碳钢或高碳合金钢，比采用中碳钢渗硼好些
垂直表面的裂纹	渗硼后冷速过快	渗硼后采用较缓和的冷速，如油冷或空冷
平行于表面的裂纹	渗硼层中 $\text{FeB}$ 和 $\text{Fe}_2\text{B}$ 之间存在相间应力	获得 $\text{Fe}_2\text{B}$ 单相渗硼层组织；渗硼后 $600^\circ\text{C}$ 去应力

(续)

缺陷名称	产生原因	预防措施
渗硼层剥落	1) 渗硼层太深 2) 渗硼层存在严重疏松裂纹或软带等缺陷	1) 适当控制渗硼层深度 2) 获得单相 $Fe_2B$ 渗硼层, 避免产生疏松、裂纹或软带等缺陷
硼化物层与基体之间有软带	合金元素硅在渗硼过程中向内部扩散, 富集于硼化物层下面。硅为铁素体形成元素, 硅元素富集区在高温时为铁素体状态, 冷却后仍为铁素体状态, 故在硼化物层与基体之间形成软带	渗硼工件选材时的硅含量应在 0.5% (质量分数) 以下
渗硼层过烧	1) 渗硼温度太高 2) 渗硼后重新加热淬火温度过高	1) 控制渗硼温度在正常范围内 2) 重新淬火的加热温度不得超过 1080℃

## 1.8 铸铁件的热处理特点及工艺方法

铸铁与钢的最大的不同是, 所含的碳量除了以渗碳体形式存在外, 大量的碳以不同形态的石墨形式存在。如此, 导致其组织结构和各种性能与钢不同。

### 1.8.1 铸铁件的热处理工艺特点

由于铸铁的化学成分和组织结构与钢有较大差异, 尤其是不同形态的石墨存在, 使铸铁热处理具有一定的特点, 值得热处理工艺设计过程确定加热参数时注意。

- 1) 热处理只能改变铸铁的基本组织, 而不能改变石墨的形态和分布。
- 2) 由于铸铁中的硅含量较高, 使其共析转变温度升高, 奥氏体化温度提高。因此, 铸铁热处理时, 其加热温度较高。同时, 较高的加热温度有利于铸铁中磷共晶组织的溶解, 降低铸铁的脆性。
- 3) 由于铸铁中存在大量石墨, 使其传热速度减慢。因此, 铸铁热处理时应降低其加热速度, 特别是结构较复杂的铸铁件以缓慢加热为宜, 且保温时间要适当延长, 以期获得较均匀的奥氏体组织。
- 4) 为了防止铸铁件淬火时产生裂纹和减小变形, 冷却时不宜采用冷速过快的介质。
- 5) 由于铸铁中硅含量较高, 有阻止碳扩散的作用。因此, 铸铁的回火稳定性好, 要获得同样硬度时, 要采用比钢件稍高的回火温度和稍长的保温时间, 有利于消减其内应力。
- 6) 可以通过改变球墨铸铁加热温度和保温时间的方法, 调整奥氏体中的碳含量, 以改善冷却后铁素体和珠光体数量的比例, 从而达到不同的性能要求。

### 1.8.2 铸铁件的热处理工艺方法

上述的铸铁热处理工艺特点，大多是在工艺参数方面与钢的不同。除此之外，几乎钢的所有热处理工艺方法（如预备热处理的各种退火、正火工艺，最终热处理的各种整体淬火、回火以及各种表面淬火和渗氮等）都可在不同类型铸铁中应用。

## 1.9 非铁合金件的热处理特点及工艺方法

非铁金属及其合金的种类很多，其产量和在生产、生活中的使用量虽不像钢铁材料那样多，但由于其具有某些特有的性能，因而成为现代工业中不可或缺的材料。这里，仅就铜、铝、镁、钛及其他们的合金以及粉末冶金材料等的热处理工艺予以简介，以便在有关非铁合金热处理工艺设计时参考。

### 1.9.1 非铁合金件的热处理工艺概述

常用非铁金属热处理状态的名称及代号和产品状态的名称及代号，分别如表1-66、表1-67所示。

表 1-66 常用非铁金属热处理状态的名称及代号

代号	热处理状态名称	代号	热处理状态名称
T1	人工时效	T6	淬火加部分完全时效
T2	退火	T7	淬火加稳定化处理
T4	淬火加自然时效	T8	淬火加软化回火
T5	淬火加部分人工时效		

表 1-67 常用非铁金属产品状态名称及代号

名 称	代 号	名 称	代 号
退火	M	优质表面（淬火）	CO
淬火	C	加厚包铝的	J
淬火（自然时效）	CZ	不包铝的	B
淬火（人工时效）	CS	不包铝（热轧）	BR
硬	Y	不包铝（退火）	BM
3/4 硬、1/2 硬、1/3 硬、1/4 硬	Y1、Y2、Y3、Y4	不包铝（淬火，冷作硬化）	BCY
特硬	T	不包铝（淬火，表面优质）	BCO
热轧、热挤	R	不包铝（淬火，冷作硬化，表面优质）	BCYO
优质表面	O	淬火，自然时效，冷作硬化，表面优质	CZYO
优质表面（退火）	MO		

## 1.9.2 非铁合金件的热处理工艺方法

非铁金属及其合金的热处理工艺方法，包括：均匀化退火、去应力退火、再结晶退火、固溶处理（淬火）、时效处理、回归及再时效等。将在第3~11章中结合非铁合金制零件的热处理设计实例进行详述。

## 1.10 常用的热处理设备和工艺装备

热处理设备是实施热处理工艺所必需的基础装备。由于热处理工艺的复杂性和多样性，决定了热处理设备具有相应的特点。通常，将热处理设备分为主要设备和辅助设备两大类，如附录D所示。

### 1.10.1 常用热处理设备及其技术参数

#### 1. 常用热处理加热设备

根据GB/T 10067.4—2005《电热装置基本技术条件第4部分：间接电阻炉》的规定，热处理炉的分类和编号如表1-68所示。热处理加热装置的种类及特点如表1-69所示。热处理气相装置及其特点如表1-70所示。各种加热设备的使用，可根据热处理工艺设计的具体需要，结合每种设备的技术参数进行选择。常用的热处理加热设备技术参数如附录E所示。

表1-68 热处理炉的分类和编号

序号	类别代号	类别名称	序号	类别代号	类别名称
1	RB	罩式炉	16	RT	台车式炉
2	RC	传送带式炉	17	RUN	转底式炉
3	RCW	网带式炉	18	RW	步进炉
4	RD	电烘炉	19	RX	箱式炉
5	RF	强迫对流井式炉	20	RY	电热浴炉
6	RG	滚筒式炉	21	RZ	振底式炉
7	RJ	自然对流井式炉	22	ZC	真空淬火炉
8	RK	坑式炉	23	ZT	真空退火炉
9	RL	流态粒子炉	24	ZR	真空热处理炉和钎焊炉
10	RM	密封箱式淬火炉(多用炉)	25	ZST	真空渗碳炉
11	RN	气体渗氮炉	26	ZS	真空烧结炉
12	RQ	井式渗碳炉	27	SG	实验用坩埚式炉
13	RR	辊底式炉	28	SK	实验用管式炉
14	RS	推送式炉	29	SX	实验用箱式炉
15	RSU	隧道式炉	30	SY	实验用油浴炉

注：序号24真空热处理炉无淬火装置。

表 1-69 热处理加热装置的种类及特点

序号	加热装置名称	特    点
1	感应加热装置	这是一种利用感应电流加热的内热源加热装置,具有加热速度快,生产效率高的特点;被处理工件耐疲劳性和冲击韧度高于普通加热;易于实现机械化、自动化生产。应用十分广泛
2	火焰加热装置	具有简便易行,方法灵活,适宜品种多、不限量、不限工件规格大小等优点。但结构复杂的工件受很大限制。多用于大型齿轮、大直径轴类的表面淬火和小件小批量淬火
3	接触电阻加热装置	具有设备简单,操作方便,淬火变形小和不需回火等优点。但也有淬火硬度不均和应用范围有限等缺点。目前主要用于机床维修和零星的轴件淬火等
4	直接电阻加热装置	具有设备简单,热效率高和易实现机械化、自动化生产等特点;有时因加热不均,导致淬火后易出现软点和软带等缺点。广泛用于钢丝、钢管的通电加热
5	电解液加热装置	该装置由直流电源、电解槽和工件夹持装置组成,通过低电压大电流将工件加热,然后停电,在电解液中冷却淬火。一般应用于形状简单的小型零件的局部淬火
6	等离子加热装置	该装置由真空容器、工作台、产生等离子体的气源及供排气管道以及控制电路组成。一般主要应用于离子渗氮、离子渗碳和离子氮碳共渗等的处理
7	激光加热装置	该装置由激光器、导光系统、工作台和控制系统组成。通过高能密度的激光束在工件上扫描加热,随后自行冷却淬火。具有加热速度快,生产效率高的特点。常用于套筒、导轨等淬火
8	电子束加热装置	该装置由电子束发生器(电子枪)、聚焦系统、扫描系统、低真空工作室和控制系统组成。通过高速电子束流轰击工件加热,随后自行冷却淬火。目前在生产中应用较少

表 1-70 热处理气相装置及其特点

序号	气相沉积装置名称	特    点
1	化学气相沉积装置	该装置由气源系统、反应沉积室、抽气系统和尾气处理系统等组成。气源(如 $TiCl_4$ 、 $N_2$ 和 $H_2$ )进入高温沉积室发生化学反应,产物(如 TiN)随即沉积于工件表面
2	离子化学气相沉积装置	该装置由气源系统、离子沉积反应室和抽气系统等组成。原料气进入离子沉积真空室后,在电场作用下发生电离而形成等离子体,进而轰击作为阴极的工件,将其加热,并将产物沉积于工件表面
3	物理气相沉积装置	该装置由真空沉积室、盛沉积原料的坩埚、电子枪(或加热元件)等组成。在低压下电子束轰击(或电热元件加热)沉积物原料,使其蒸发成分子或原子而沉积于工件表面
	离子镀膜装置	它是使镀膜原料形成离子而沉积于工件上的。其装置是在真空室内设有形成辉光或弧光的装置,并使工件带负偏压。离子镀膜是发展最快的物理气相沉积法

(续)

序号	气相沉积装置名称		特 点
3	物理气相沉积装置	溅射镀膜装置	该装置由真空室、阴极靶(沉积物)、工作架和电源等组成。在工作室内的氩气被电离而轰击阴极靶,使靶材原子逸出沉积在工件上

## 2. 常用热处理冷却设备

根据热处理冷却方法和所用的冷却介质不同,热处理冷却设备的类别和用途归纳为表1-71所示。

表 1-71 热处理冷却设备的类别和用途

序号	类 别	用 途	
1	连续冷却设备	缓慢冷却设备	埋灰冷却、缓冷坑、缓冷井、缓冷炉等 适于各种退火工艺冷却
		中速冷却设备	空冷、吹风冷却装置、喷雾冷却装置、流态粒子冷却装置等 适于结构钢正火冷却和高合金钢淬火冷却等
			惰性气体冷却、金属板或埋金属粉末冷却装置 高合金钢淬火冷却等
		快速冷却设备	水冷、油冷、盐碱水溶液冷、乳化液冷、合成冷却液等固定式、可移动式淬火槽及其喷射淬火装置等 适于各种钢淬火冷却
		冷处理设备	冰冷箱、中冷处理和深冷处理冷冻机 适于高碳钢和高碳合金钢
2	等温冷却设备	箱体式冷却设备	低温恒温箱等 适于液-气双介质淬火冷却
		浴槽式冷却设备	低温熔盐、低温熔碱、低温油浴槽等 适于分级或等温淬火冷却
		炉膛式冷却设备	适于等温正火、等温退火、复合等温淬火、复合等温回火的冷却
3	强制冷却设备	淬火机	轴类淬火机、大型环类淬火机、齿轮淬火机、板弹簧淬火机等
		淬火压床	板件淬火压床、摩擦片淬火压床、锯片淬火压床、直柄钻头淬火压床
		冷却液搅拌装置	开式搅拌装置、闭式搅拌装置 适于各种淬火槽
		介质流速测量仪	采用皮托管测速、轮式测速仪等 适于单向流动和紊流
4	辅助装置	零件冷却传送机械	工件冷却提升机、连续冷却输送机械 适于批量生产
		排烟和净化装置	淬火油槽上排烟系统、侧排烟系统;静电净化、湿式净化系统等
		清淬火槽污物装置	V形槽螺旋输送杆装置、液体冲刷装置、提升装置和人工清除等
		热处理冷却工夹具	各种手钳、吊具、挂具和料筐、料篮、料网、料盘等

## 3. 热处理辅助设备

热处理辅助设备主要包括清洗设备、清理设备、防锈设备、可控气氛发生装置、矫正设备和起重运输设备等。表1-72~表1-74所示分别为热处理清洗设备及其特点,热处理常用的清理设备及其特点和可控气氛发生装置及其特点。

表 1-72 热处理清洗设备及其特点

序号	清洗设备类别		特 点
1	一般清洗机	间歇式	有清洗槽、室式清洗机、强力喷射清洗机等适用于清洗工件表面的残油、残盐等
		连续式	有输送带式、板链式、悬挂链式、推杆式和往复式清洗机等。适用于清洗连续生产线上的工件
2	超声波清洗机	单槽式	超声波清洗机以三氯乙烯为清洗剂。适用于特殊零件(如有不通孔、深窄槽等)的清洗
		双槽式	
		三槽式	
3	真空清洗机	单室式	真空清洗机是一种少无污染的新型清洗设备。特别适用于零件表面存在易蒸发的残留物的清洗
		双室式	
4	溶剂型真空清洗机		同时具有真空清洗和溶剂型清洗双重优点
5	脱脂炉清洗设备		是一种在450~550°C使工件上的残油汽化的装置

表 1-73 热处理清理设备及其特点

序号	清理设备类别		特 点
1	机械式抛丸机	滚筒式、履带式、转台式、台车式、悬挂输送链式	根据不同类型工件和生产规模适当选择机型 机械式抛丸机一般由抛丸器、输送装置、弹丸循环装置、粉尘分离装置和清理强化室组成
2	抛丸强化清理机	通用喷丸强化机	适用于连杆、轴类、齿轮、弹簧的强化和清理
		室式抛丸强化机	适用于重载机械的各种传动齿轮强化和清理
3	喷丸和喷砂机	吸入式、重力式、压出式	以压缩空气为动力,由丸粒喷射与循环、工件输送、粉尘分离装置等组成。适于清理工件表面污物和氧化皮及强化性能
4	液体喷砂清理机	手动式、半自动式	这是由主机、分离器和收砂器等组成的少无污染的新型清理设备。适于清理和强化各种工件

表 1-74 可控气氛发生装置及其特点

序号	可控气氛发生装置的类别		特 点
1	吸热式气氛制备法	工作炉外发生装置	产气稳定,适于大规模生产等
		炉内裂解发生装置	装置结构简单,操作方便等 适于小批生产,应用广泛
		内置式发生装置	节省能源和占地;产气速度与工作炉同步等
2	放热式气氛制备法	卧式燃烧室	立式与卧式相比,便于调节空气与原料气比例;燃烧室与洗涤冷却器为一体;干燥剂再生操作方便等
		立式燃烧室	

(续)

序号	可控气氮发生装置的类别		特 点
3 工业氮气制备法	空气分馏、或分离制氮	空气液化分馏制氮	高纯度氮气和液氮可直接通过管道输送供应或压缩装罐供应
		碳分子筛空气分离制氮	这是一种变压吸附制氮法,即通过增压和减压利用碳分子筛实现对空气吸附和解吸,连续循环排除空气的方法
		沸石分子筛空气分离制氮	这是一种优先吸附空气中的氮,然后经真空泵解吸制氮的方法
		薄膜分离空气制氮	需输入净化的压缩空气;用氢催化除氧,脱水处理可获得高纯度氮气
	氨分解或燃烧制氮	氨分解气氮发生装置	该装置由液氨分解炉反应罐、铁镍催化剂和蒸发器组成。其中蒸发器有电加热式和蒸汽加热两种
		氨燃烧制氮装置	一种是氨分解后燃烧制备 另一种是用气态氨直接燃烧制备
4	甲醇裂解气氮发生装置	低温催化裂解装置	用铜基合金触媒,由于温度低(250~320℃),则易于积炭。有待改进
		高温催化裂解装置	用镍基合金触媒,反应温度在930℃以上,产生氢气和一氧化碳气
5	气体净化法	吸收净化法	气体通过吸收液,使欲净化的组分溶解在液体中,然后解吸获得纯净气体
		吸附净化法	气体通过硅胶和铝胶吸附剂将混合气粗吸附后,再由分子筛精吸附
		化学净化法	除氧催化剂常用活性铜、镍铬合金以及钯分子筛、银分子筛
		冷凝净化法	利用冷却水、冷冻水或制冷机将气体中的水分冷却到饱和点以下而析出水分,分为水冷和冷冻干燥法两种

## 1.10.2 通用热处理工艺装备

### 1. 通用热处理工艺装备

通用的热处理工艺装备,包括整体淬火、回火使用的吊具、夹具、钩钳、撬棒、垫铁等;表面淬火通用的感应器、淬火机床等;化学热处理使用的渗碳箱、篮筐以及通用的吊具、夹具、料盘等,如图1-21和图1-22所示。

### 2. 专用热处理工艺装备

专用的热处理工艺装备,是指专门为某种零件设计的淬火感应器、回火定形夹具、淬火压模、异形心轴等。专用工艺装备的设计,将在第2章的2.1.9节中详述。

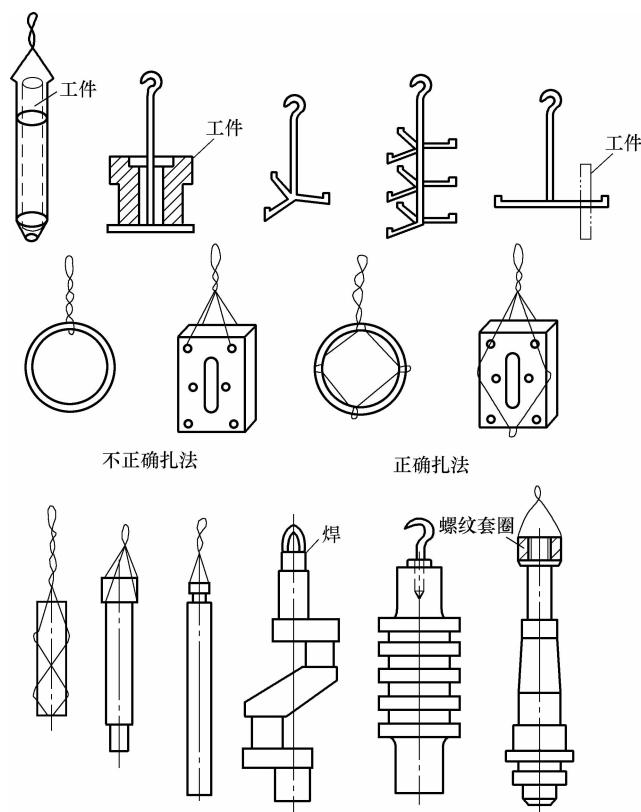


图 1-21 零件吊挂方式示例

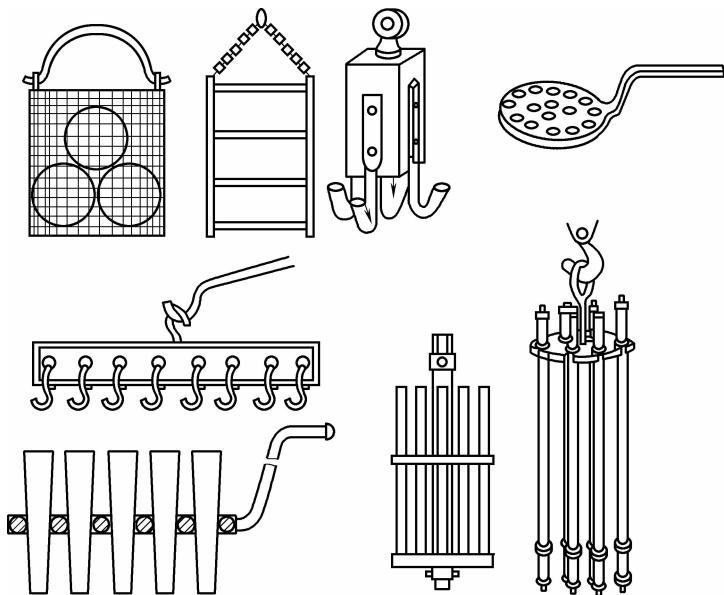


图 1-22 零件夹具示例

## 1.11 热处理加热和冷却介质

热处理所用加热介质和冷却介质是其工艺设计时，必不可少的选项。工艺设计所选择的加热介质和冷却介质，在一定程度上可以反映该工艺的先进性。下面，逐一介绍热处理常用加热和冷却介质的种类及其特点。

### 1.11.1 热处理常用加热介质

整体热处理加热介质，可分为炉膛式热处理炉的加热介质和浴槽式热处理炉加热介质。前者，除了传统的以空气为介质和燃料炉的燃烧产物为介质外，还采用多种防氧化脱碳的加热介质，如吸热或放热式可控气氛、真空、涂料保护、固体粉粒掩埋和不锈钢箔包装等。后者为中、高温加热使用的各种氯化钡、氯化钠、氯化钙以及它们的混合物的熔盐及其脱氧剂和低温加热的硝酸盐以及熔碱等。表 1-75 所示为炉膛式炉的加热介质及其使用要点。表 1-76 为浴槽式炉常用的加热介质及用途。

表 1-75 炉膛式炉的加热介质及其使用要点

序	加热介质名称	使 用 要 点
1	空 气	尽量减少炉内空气与炉外空气对流，以减少热损失
2	燃 烧 产 物	调节好空气与可燃物比例，使其成为中性燃烧产物
3	可 控 气 氛	1) 利用露点仪等自动控制装置对炉内气氛碳势进行测量与控制 2) 尽量提高被加热零件的清洁度，以减少污物与炉内气氛发生反应 3) 淬火冷却产生的烟雾、蒸汽等不得混入可控气氛 4) 高温可控气氛，入炉时不得直接冲刷热电偶和工件 5) 溢出炉外的废气必须燃烧掉，以免污染环境
4	真 空	1) 尽量提高被加热零件的清洁度，并去除水分，防止真空度下降 2) 严格控制炉内的升压率，预防空气进入炉内 3) 炉内真空度必须达到 $6.67\text{Pa}$ ，零件方可入炉，以免产生不同程度的氧化
5	涂 刷 保 护 涂 料	1) 可采用市场供应的各种特性的保护涂料，以满足不同目的 2) 采用浸涂、刷涂和喷涂等方法均可。涂层在零件棱边、尖角处应加厚 3) 务必涂层烘干后方可入炉，最好将有涂层的零件装箱、装盘加热
6	固 体 粉 粒 掩 埋	1) 最好选用中性粉粒，如氧化铝粉和新的铸铁屑及不加催渗剂的炭块等 2) 应装箱或装盘掩埋，以免固体粉粒散落在炉内而不易清理 3) 为防止加热时金属粉粒粘附于零件表面，零件可用废纸包装后再掩埋
7	不 锈 钢 箔 包 装	1) 不锈钢箔厚度不宜过厚，一般 $0.2 \sim 0.3\text{mm}$ 较好，否则不易包装 2) 不锈钢箔可反复使用，也可拼焊使用 3) 用钢箔包装时尽量密封，不让空气再度进入其中

表 1-76 浴槽式炉常用的加热介质及用途

盐浴组成(质量分数, %)	熔点/°C	工作温度/°C	用 途
100BaCl <sub>2</sub>	960	1100 ~ 1350	高速钢及高合金钢淬火加热
70BaCl <sub>2</sub> + 30Na <sub>2</sub> B <sub>4</sub> O <sub>7</sub>	940	1050 ~ 1350	
95BaCl <sub>2</sub> + 5NaCl	850	1100 ~ 1350	
100NaCl	810	850 ~ 1100	
50NaCl + 50KCl	670	700 ~ 1000	碳钢与合金钢淬火加热, 高速钢及高合金钢预热
20 ~ 30NaCl + 70 ~ 80BaCl <sub>2</sub>	650	700 ~ 1000	
50BaCl <sub>2</sub> + 50KCl	640	670 ~ 1000	
50BaCl <sub>2</sub> + 50CaCl <sub>2</sub>	600	650 ~ 900	
44NaCl + 56KCl	660	700 ~ 870	高速钢及高合金钢预热
50BaCl <sub>2</sub> + 30KCl + 20NaCl	540	560 ~ 880	
50KCl + 20NaCl + 30CaCl <sub>2</sub>	530	560 ~ 870	
100NaNO <sub>3</sub>	317	325 ~ 600	
100KNO <sub>3</sub>	337	350 ~ 600	等温淬火, 分级淬火
100NaNO <sub>2</sub>	284	325 ~ 500	
100KNO <sub>2</sub>	297	325 ~ 500	
50KNO <sub>3</sub> + 50NaNO <sub>3</sub>	218	230 ~ 550	
50KNO <sub>3</sub> + 50NaNO <sub>2</sub>	140	150 ~ 550	光亮淬火, 低温加热
100KOH	360	400 ~ 550	
100NaOH	322	350 ~ 550	
50KOH + 50NaOH	230	300 ~ 550	
65KOH + 35NaOH	155	170 ~ 300	

## 1.11.2 热处理常用冷却介质

热处理常用的淬火冷却介质包括：气体介质（空气、惰性气体、可控气氛等）；液体介质（水、水溶液、乳化液、熔盐、熔碱等）；固体介质（金属粉末、金属板等）。表 1-77 ~ 表 1-82 所示分别为常用淬火冷却介质的相对冷却能力、常用各种淬火介质的特性、各种熔盐、熔碱的技术特性和常用冷冻剂的技术特性等，可供热处理工艺设计时选择。

表 1-77 自来水冷却能力

冷却 介质	温度 /°C	状态	最大冷却速度		300 ~ 200°C 平均冷却速度/(°C/s)
			所在温度/°C	速度/(°C/s)	
自来水	20	静止	259	908	566
	20	循环	478	1116	630

(续)

冷却介质	温度/°C	状态	最大冷却速度		300~200°C 平均冷却速度/(°C/s)
			所在温度/°C	速度/(°C/s)	
自来水	40	循环	473	1039	588
	60	循环	467	827	475

表 1-78 20°C 无机盐水溶液静止状态的冷却性能

冷却介质	浓度(质量分数)(%)	密度/(g/cm³)	最大冷却速度		300~200°C 平均冷却速度/(°C/s)
			所在温度/°C	速度/(°C/s)	
氯化钠水溶液	5	1.0311	506	1702	800
	10	1.0714	529	1827	710
	20	1.1017	719	624	408
	30	1.1199	744	419	266
氯化钙水溶液	5	1.0399	536	2018	1199
	10	1.0818	560	2136	840
	20	1.1838	562	1966	725
	40	1.3299	570	1062	322
硝酸钙水溶液	5	1.0232	486	1668	715
	10	1.0421	528	1965	795
	20	1.0818	562	1434	705
	30	1.1311	640	1001	480
氢氧化钠水溶液	5	1.0529	596	1868	700
	10	1.1144	602	2053	740
	20	1.2255	635	2018	625
	30	1.3277	640	1925	525

表 1-79 一些淬火用油静止状态的冷却性能

油品	温度/°C	最大冷却速度	
		所在温度/°C	速度/(°C/s)
L—N15 全损耗系统用油(机械油)	40	412	163
	60	413	172
	80	416	175
L—N32 全损耗系统用油(机械油)	40	446	146
	60	474	160
	80	476	159

(续)

油 品	温度/°C	最大冷却速度	
		所在温度/°C	速度/(°C/s)
2号普通淬火油	40	505	208
	60	507	237
	80	507	255
快速淬火油	40	541	283
	60	541	312
	80	541	300
光亮淬火油	40	488	178
	60	483	200
	80	482	203
1号分级淬火油	100	593	215
	120	590	217
	150	576	217
真空淬火油	40	551	214
	60	551	234
	80	551	219

表 1-80 常用熔融硝酸盐和熔碱的使用温度

名称	组成(质量分数)	熔点/°C	使用温度/°C
碱浴	20% NaOH + 80% KOH, 另加 3% KNO <sub>3</sub> + 3% NaNO <sub>2</sub> + 6% H <sub>2</sub> O	120	140 ~ 180
	20% NaOH + 80% KOH, 另加(2% ~ 6%) H <sub>2</sub> O	130	150 ~ 250
硝盐浴	45% NaNO <sub>2</sub> + 55% KNO <sub>3</sub>	137	150 ~ 500
	45% NaNO <sub>2</sub> + 55% KNO <sub>3</sub> , 另加(2% ~ 6%) H <sub>2</sub> O	137	160 ~ 220
	50% KNO <sub>3</sub> + 50% NaNO <sub>3</sub>	220	250 ~ 500
中性盐浴	50% BaCl <sub>2</sub> + 30% KCl + 20% NaCl	540	580 ~ 800

表 1-81 聚乙烯醇水溶液静止状态的冷却能力

质量分数(%)	温度/°C	最大冷却速度		300 ~ 200 °C 平均冷却速度/(°C/s)
		温度/°C	速度/(°C/s)	
0.1	20	332	742	632
0.3	20	323	309	266
0.3	40	314	302	222
0.3	60	271	146	126
0.5	20	281	360	273

表 1-82 常用冷冻剂的技术特性

介 质	达到的最低温度 /°C	介 质	达到的最低温度 /°C
干冰(固体 CO <sub>2</sub> ) + 酒精	-78	F-12 (CF <sub>2</sub> Cl <sub>2</sub> )	-29.8
液氧	-183	F-13 (CF <sub>3</sub> Cl)	-81.5
液氮	-195.8	F-14 (CF <sub>4</sub> )	-128
液氨	-33.4	F-21 (CHFCl <sub>2</sub> )	-135
液态空气	-192	F-22 (CHF <sub>2</sub> Cl)	-40.8

### 1.11.3 热处理主要工艺材料技术要求

热处理工艺材料的质量对热处理加热和冷却等工艺过程质量的影响很大，主要表现在腐蚀、氧化、脱碳以及粘着污物等。这些影响不仅会增加辅助工序，甚至严重时将导致零件报废。因此，热处理工艺设计过程对加热介质和冷却介质的配制、用料质量要严加控制。表 1-83 所示为热处理常用工艺材料的技术要求及主要用途。

表 1-83 热处理常用工艺材料的技术要求及主要用途

名 称	技 术 要 求	推 荐 复 验 项 目	主 要 用 途
氩气	JB/T 7530—2007 或 HB 5412—1988	纯度、水、氧	保护气氛、真空冷却、回充气
氮气	JB/T 7530—2007 或 HB 5413—1988	纯度、水、氧	保护气氛、钢的真空冷却、回充气
氢气	JB/T 7530—2007	纯度、水、氧	保护气氛
氨气	GB 536—1988	纯度、水	渗氮、氮碳共渗、碳氮共渗等
氯化钠	JB/T 9202—2004 或 HB 5408—2004	纯度、pH 值、硫酸根、硝酸根、水、使用性能	热处理加热
氯化钾	JB/T 9202—2004 或 HB 5408—2004	纯度、pH 值、硫酸根、硝酸根、水、使用性能	热处理加热
氯化钡	JB/T 9202—2004 或 HB 5408—2004	纯度、pH 值、硫酸根、总氯量、水、使用性能	热处理加热
硝酸钾	JB/T 9202—2004 或 HB 5408—2004	纯度、pH 值、硫酸根、碳酸根、氯离子	铝合金热处理、钢回火加热或等温淬火冷却
硝酸钠	JB/T 9202—2004 或 HB 5408—2004	纯度、pH 值、硫酸根、碳酸根、氯离子	铝合金热处理、钢回火加热或等温淬火冷却
亚硝酸钠	JB/T 9202—2004 或 HB 5408—2004	纯度	等温淬火冷却
氢氧化钠	GB 209—2006	纯度、碳酸盐	回火加热、等温淬火冷却

(续)

名 称	技术 要求	推荐复验项目	主要用 途
氢氧化钾	GB/T 1919—2000	纯度、碳酸盐	回火加热、等温淬火冷却
校正剂	JB/T 4390—2008	硫酸根、使用性能	高、中温盐浴脱氧
保护涂料	JB/T 5072—2007	使用性能	热处理加热保护
防渗涂料	JB/T 9197—2008	使用性能	防渗
固体渗碳剂	JB/T 9203—2008	碳酸钡、硫含量、粒度、使用性能	渗碳、加热保护
甲醇	GB/T 338—2004 或 GB/T 683—2006	—	渗碳、保护气氛
酒精	GB/T 394.1、2—2008 或 GB/T 678—2002	—	保护气氛、渗碳
乙酸乙酯	GB/T 3728—2007	—	渗碳
甲苯	GB/T 684—1999 或 GB/T 2284—1993	—	渗碳
苯	GB/T 690—2008 或 GB/T 2283—2008	—	渗碳
煤油	GB 253—2008	—	渗碳
3号喷气燃料	GB 6537—2006	—	渗碳
1号渗碳油	专用技术条件	—	渗碳
尿素	GB 2440—2001	—	碳氮共渗
硼砂	GB/T 537—1997	—	渗硼、渗金属
淬火油	GB 443—1989 或 HB 5415—1988	运动粘度、酸值、水分、闪点、使用性能	淬火冷却
有机淬火介质	专用技术条件	—	淬火冷却
氧化铝	YS/T 274—1998	—	吹砂、隔离零件

# 第2章 热处理工艺设计实践及其质量控制

## 2.1 热处理工艺设计过程和步骤

### 2.1.1 热处理工艺设计的依据

热处理工艺设计的依据，主要是产品零件图样及其技术要求、毛坯图样及其技术要求、有关工艺设计的技术标准、热处理前序和后序对热处理的技术要求，以及生产现场操作者技术水平和设备具体条件等。下面，分别详述这些依据的具体内容和应用。

#### 1. 产品零件图样及其技术要求

产品零件图样应是按规定程序审批的有效版本。零件图样上，应有明确的热处理技术要求：

- 1) 材料牌号（必要时，需要提供相应的材料标准）。
- 2) 最终热处理后的硬度值（必要时，提出同炉处理的标准试样的其他力学性能指标）。
- 3) 对于化学热处理的零件，图样上应标明其化学热处理部位及其尺寸，渗层有效深度及其表面硬度，渗层组织及其相关标准。
- 4) 对于热处理后有特殊检验要求的零件，应标明其检验类别及相关标准等。

#### 2. 零件毛坯图样及其技术要求

零件毛坯图样，是按零件图样派生的铸、锻、焊件或其半成品件图样。单件生产时毛坯图样一般可在零件图样上用红蓝色笔勾画出来即可；批量生产时应另行绘制毛坯图样，并按规定程序由相关工序技术负责人会签和审核才可用于生产。毛坯图样中应有明确的技术要求：

- 1) 材料牌号（必要时，需要提供相应的材料标准）。
- 2) 毛坯的最终硬度值及其检测部位和检测方法。
- 3) 必要时，应标明毛坯的最终组织状态及执行的相关标准等。

#### 3. 工艺技术标准

工艺技术标准（含工艺设计工作质量标准），是提高工艺设计工作质量和评价工艺设计水平的重要依据。近年来，不同级别（国家、行业、企业）的工艺技术标准不断完善和提高，为工艺设计提供了更加可靠的依据，大大提高了各企业的工艺设计水平和设计质量。从事工艺设计的工程技术人员，在具体工作中应认真贯

彻、执行工艺技术标准，并不断提升工艺技术标准级别，有利于进一步提高产品质量。

特别指出，所谓“企业标准”有两种情况：一种是由于企业某种原因暂时无法达到行业标准和国家标准要求，或行业标准和国家标准暂时涵盖不了企业特殊产品的内容。这时，需企业自行制定适用于本企业的“企业标准”。另一种是企业为了增强市场竞争力，在某些技术指标超越行业标准而制定的“企业内控标准”。

#### 4. 企业条件

所设计的任何有实际意义的热处理工艺，都需要通过相应的生产条件来实现。因此，本企业的或准备外委企业的热处理条件是工艺设计的基础和主要依据之一。

### 2.1.2 热处理工艺设计的基本内容

前述及,热处理工艺的先进性、合理性、可行性、经济性、安全性和可检测性以及贯彻标准化程度等是衡量其设计质量的综合指标。然而,热处理工艺设计是通过若干过程完成的,每一过程的工作质量都会影响设计的最终质量。因此,热处理工艺设计的全过程要体现其正确性、一致性、完整性(具体内容和考核办法,详见本章2.3.2节)。

#### 1. 热处理件明细表的建立

对于产品定型的企业，工艺设计部门应编制热处理件明细表（其表头见表 2-1 和表 2-2）作为工艺设计总体策划和工艺管理使用，并有利于工艺设计者对每种热处理件的基本参数有所概括了解。

表 2-1 热处理件明细表表头格式

× × × × 热处理厂 (文件类别)			文件编号: 版本      章/页      生效日期				
热处理件明细表							
序号	代号	名称	外形尺寸	数量	材料	质量	备注
1							
2							
编写者及日期		审核者及日期		批准者及日期			

表 2-2 热处理件明细表

## 2. 热处理工艺设计的总体策划

对于产品定型的企业，工艺设计部门的热处理主管负责人应对产品的全部热处理件工艺设计任务进行人力资源和物资的准备、工作计划、方针目标和相关措施等统筹安排，并编制“工艺设计总体策划说明书”（参见表 2-70 所示）。同时将具体设计任务以“工艺设计任务书”（参见表 2-75 的序号 4）方式送达给下属，并对下属，特别是设计新手以各种形式（如口头授权、资料提供、经验交流等）进行指导。

## 3. 热处理工艺设计规程

为了确保热处理工艺设计质量，设计工作应按其一定的规律和程序进行。一般的热处理工艺设计流程，如图 2-1 所示。

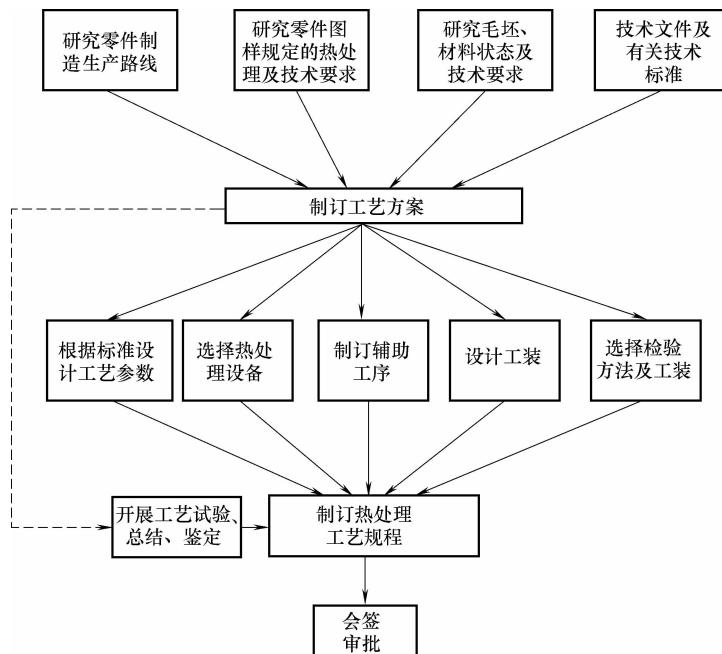


图 2-1 热处理工艺设计流程

## 4. 热处理工艺规程的要素和内容

在热处理工艺设计总体策划的基础上，设计者首先遇到的是逐一对每种零件的热处理工艺规程的设计，其基本要素和内容如表 2-3 所示。

表 2-3 热处理工艺规程的要素和内容

序号	要素	内 容
1	零件概况 (工艺规程表头栏)	零件所属产品 零件图号 零件名称

(续)

序号	要 素	内 容
1	零件概况 (工艺规程表头栏)	材料牌号 热处理工序名称、工序号 单台数量 单件重量 热处理检验类别
2	零件简图 (简图栏)	零件结构图 (示意图) 基本尺寸 硬度检验位置及其打磨方法和允许磨去深度 热处理变形要求部位及尺寸 化学热处理 (局部) 部位及尺寸
3	装炉示意图 (简图栏)	零件热处理装载示意图 模具淬火示意图 高频感应淬火示意图 装炉摆放示意图 矫正示意图
4	热处理技术要求	依据技术标准 (上级标准或企业标准) 热处理前质量要求 (如零件材料状态、表面状态、表面粗糙度、热处理使用试件尺寸及数量) 热处理后质量验收及检验要求数据 (如力学性能、硬度、表面状态、变形及尺寸要求、增脱碳要求、化学热处理渗层深度及组织、晶粒度等)
5	热处理工艺	零件装炉加热方式 (装炉夹具, 数量及装炉示意图等) 热处理设备 (加热炉、冷却设备等) 热处理工艺参数 (加热升温方式、加热介质、加热温度、真空中度、保温时间、冷却方式及介质等)
6	辅助工序	清洗与清理 (设备、方式及要求) 涂或镀防氧化、防渗层 (涂、镀层性质、表面质量要求及验收要求等) 校正 (校正方式、设备及技术要求)
7	检验工序	硬度、力学性能、金相组织、渗层深度、尺寸及变形要求和表面质量等
8	工艺规程审批	编制者、校对、标准化审查、审定或批准会签 (相关单位)

## 2.1.3 热处理工艺设计前的技术分析

### 1. 分析零件的制造工艺路线及热处理工序的具体位置

了解零件的制造工艺路线及热处理工序的具体位置, 可以掌控热处理前序的加

工特点及其质量对热处理工序的影响和热处理后序对热处理工序的要求。有利于工序与工序之间冷、热加工之间的沟通和协调；有利于确定热处理生产所在的场所和零件周转所需要的装备等。例如，同样的高频感应淬火可安排在流水线上，有利于减少零件的周转，适于大批量生产；也可安排在高频间内，减少人员配备，适于单件小批量生产等。

## 2. 分析零件结构、形状和尺寸以及图样所规定材料和热处理技术要求

这些分析内容是热处理工艺设计的主要依据，是热处理工艺设计质量的前提条件。否则，热处理工艺设计无的放矢，难于满足零件性能要求、材料选择、热处理工艺性三者的一致性和正确性。例如，当零件形状很复杂，要求高硬度而所选择的材料为T10A钢时，淬火过程极易产生裂纹。同样的零件如选用高碳低合金钢（CrWMn、9Mn2V等），则可以减小淬火开裂敏感性。

## 3. 分析所选定的具体材料特性及其供应状态

同一种材料因其规格和原始状态不同，则力学性能及热处理工艺性等有很多差别。例如，高碳高合金钢（Cr12MoV、W18Cr4V等）直径 $\phi 40\text{mm}$ 以上轧材的碳化物不均匀性可达4级，甚至更高。如果不经过反复锻造直接制造刀具，热处理时，极易产生裂纹等缺陷。再如，用未经锻造的棒材直接制造齿轮，由于切削加工过程原来的纤维组织被切断，不仅热处理时易产生裂纹和变形，而且使用时也易断齿。

## 4. 分析相关的热处理工艺标准

贯彻、执行热处理工艺标准的重要意义前已述及。由于标准层次不同（国际标准、国家标准、行业标准和企业标准），体现的技术档次也有一定的差别，因此，热处理工艺设计选择标准时，应在客观条件具备的情况下，尽量采用高一级的标准。

## 5. 分析热处理前序的加工特点

为了预防因热处理前序加工特点对热处理工艺性的不良影响，在热处理工艺性审查过程如有异议问题，则应与工艺路线编制者及时沟通，经冷、热加工协商确定可否更改。例如：

- 1) 各序间的变形允差和预留的加工余量。
- 2) 为了改善热处理工艺性，在不影响零件使用性能的情况下，在热处理前的半成品上增加工艺孔、槽和加强肋等，并在前序工艺文件中作出明确规定。
- 3) 外观和表面质量的要求。对于淬火裂纹敏感性较强的零件，热处理前的表面粗糙度不得大于 $Ra3.2\mu\text{m}$ ；各拐角处不得是清根，棱角需倒钝（工模具刃口除外）；表面刻字深度不得大于 $0.25\text{mm}$ ，且字根应倒圆等。

## 6. 分析企业条件及外委热处理的可能性

通过分析而掌握了本企业（或外委的热处理企业）所具有的热处理实际条件，并在工艺设计时加以合理运用，所设计的热处理工艺才是合理可行的。

分析企业条件，包括热处理生产的设备条件、人员结构及其专业素养、质量管

理水平和企业的热处理核心技术（专利技术、专有技术）以及热处理的生产类型（大批量生产、成批生产、单件多品种的小批量生产）和专业化程度、专业特色等。

在上述各项分析中，如有需要与零件设计者或前序工艺设计者协商之处，应按企业规定的“技术沟通（协商）控制程序”进行，如图 2-2 所示。

## 2.1.4 热处理工艺方案的制订

热处理工艺方案的制订，即根据零件图样和技术要求，以及零件的制造工艺路线来确定热处理工序和工艺方法。

### 1. 热处理工序位置的安排

在零件的制造工艺路线中，热处理工序的位置安排大致归纳为四种类型：

- 1) 安排在机械切削加工前的热处理工序有：正火、退火和人工时效等。
- 2) 安排在粗加工后和半精加工前的热处理工序有：调质处理、时效和退火等。
- 3) 安排在半精加工后和精加工前的热处理工序有：渗碳、碳氮共渗、多元共渗、淬火回火、表面感应淬火、去应力退火等。
- 4) 安排在精加工后的热处理工序有：渗氮、氮碳共渗、接触电阻加热淬火、激光淬火，以及渗金属和沉积碳化物、氮化物等。

### 2. 零件制造工艺路线的编制

由于零件结构、选材和技术要求繁简程度不同，使其制造工艺路线很复杂，概括起来如图 2-3 所示。大致可分为三类：

- (1) 要求一般性能的普通零件 其工艺路线：原材料（或铸锻毛坯、或半成品）→正火或退火→机械切削加工→成品零件，即图 2-3 中的工艺路线 1。其正火或退火，既是预备热处理，也是最终热处理；既为机械切削加工改善工艺性，又为零件赋予使用时所需的必备性能。
- (2) 要求较高性能的普通零件 其工艺路线：原材料（或铸锻毛坯、或半成品）→预备热处理（正火或退火）→机械切削粗加工→最终热处理（淬火和回火）→机械切削精加工→成品零件，即图 2-3 中所示的工艺路线 2。对于要求硬度不高的

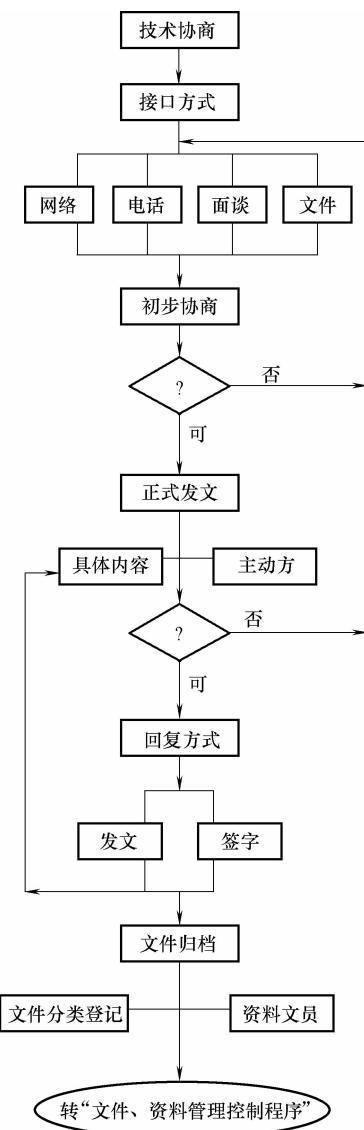


图 2-2 技术沟通（协商）控制程序

零件，机械加工又不困难时，可将机械切削加工与最终热处理调换位置，即在预备热处理和最终热处理后机械切削粗加工和精加工。这样可以减少零件在热处理车间与机械切削加工车间之间的周转次数。

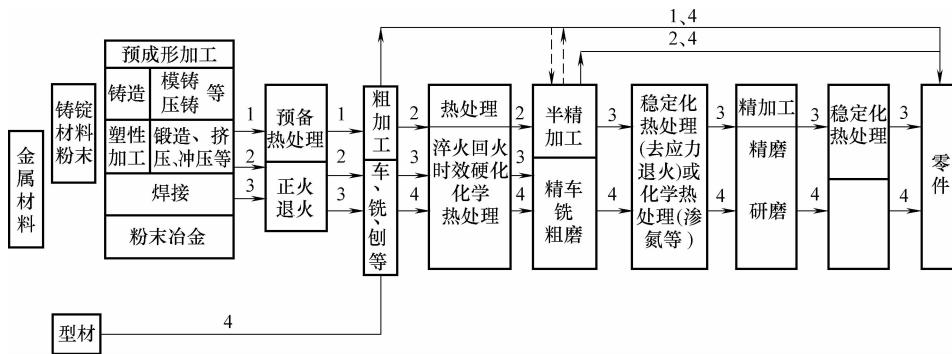


图 2-3 金属零件的制造工艺路线

(3) 要求较高性能的精密零件 即不仅使用性能要求较高，而且零件的尺寸加工精度要求很严格，且其形状和位置精度以及表面粗糙度的要求也较严格，其工艺路线：原材料（或铸锻毛坯、或半成品）→预备热处理（正火或退火）→机械切削粗加工→调质热处理→机械切削半精加工→整体热处理（淬火和回火）或渗碳、淬火、回火→进行精加工→稳定化处理或渗氮、渗金属→成品零件，即图 2-3 所示工艺路线 3 或 4。对于一些高精密零件，如高精度量具和精密齿轮等，在半精加工后要进行一次或多次精加工和稳定化处理。

在上述的热处理工序位置安排和零件加工工艺路线确定的基础上，还要注意以下内容：

1) 热处理工序与机械加工工序安排要合理。例如，零件的调质处理，一般放在机械精加工之前；硬度要求高的零件，最终热处理放在粗加工与磨削加工之间。

2) 采用先进技术和简化热处理工艺。在保证零件组织和性能的条件下，尽量使不同工序能互相结合。例如，利用锻造余热进行淬火；以及贝氏体钢板金件淬火空冷过程进行校正变形等。

3) 尽量缩短生产周期。例如，为了减少变形校正量，在零件薄壁部分于热处理前增加结构强度，或粗加工时为后序增加预留加工余量。对于复杂结构易变形零件，在热处理前增设加强肋，热处理后再切掉。

4) 有时为了提高产品质量和延长使用寿命，需要增加热处理工序。例如，工模具球化退火前的正火；淬火后的多次回火等。

5) 对于复杂易变形零件，为了达到更高的精度要求，可进行热处理与机械加工多次往复循环等。

### 3. 热处理工艺方法的确定

热处理工序的安排和制造工艺路线的制订，一般是由综合工艺（统筹冷、热加工）部门确定的，对热处理工序不可能规定得很具体，往往是只标明热处理工序名称（如正火、退火、淬火、渗碳、渗氮等），至于采用哪种工艺方法（例如，哪种退火，哪种渗碳等），需要热处理工艺设计者具体确定。在确定了工艺方法后，才能进一步确定其工艺参数（如加热速度、加热温度、冷却介质、冷却中转温度等）。

确定工艺方法的原则：

- 1) 慎重分析所处理零件的重要性（一般件、重要件、关键件）及其图样中已规定的热处理工艺方法的难易程度和在企业内外实施的可行性。以尽量满足零件图样中规定的工艺方法为出发点，如果实在不可行要及时与产品设计部门沟通、协调，最终由产品设计部门决定取舍或更改，并按企业规定的审批程序以文件形式反馈到工艺设计部门。
- 2) 确定具体工艺方法，应以本企业所具备的条件为出发点，只有在产品及其零件技术条件不可更改的情况下，才考虑外委热处理的可行性。
- 3) 在确定工艺方法时，只能将重要性低的零件当做重要性高的来处理，不可相反。材料代用时，只能用高级优质材料代替优质材料和普通材料，不可相反。且按企业规定的审批程序处理，任何人不得擅自代用。
- 4) 在产品及其零件图样等技术文件中对热处理无明确技术要求时，热处理工艺设计者需查找可靠的技术标准和相关资料，有据可查地确定工艺方法，不得盲目确定。
- 5) 整体热处理、表面热处理和化学热处理不得互相替换。确实须替换时，应按企业规定的审批程序处理，任何人不得擅自替换。
- 6) 确定具体工艺方法时，就高不就低。例如，高碳碳素钢和高碳合金钢退火需采用球化退火，不得用普通退火工艺应付；真空炉淬火加热不得用普通炉淬火加热代替；碳氮共渗不得用渗碳代替；氮碳共渗不得用渗氮代替等。如需代替，应按企业规定的审批程序处理，任何人不得擅自代替。
- 7) 确定工艺方法时，应兼顾技术先进性与技术经济性的统一；经济性与安全性统一；安全性与生产效率的统一等，处理好各项确定原则之间的关系。

## 2.1.5 整体热处理工艺参数的确定

热处理的工艺参数，包括各种工艺方法的加热方式、加热介质、加热速度、加热温度及其保温时间、冷却方式、冷却介质及其温度、冷却中转温度和终止温度等。

### 1. 加热介质和冷却介质的确定

加热介质和冷却介质的正确选择对热处理质量有着极重要影响，是热处理工艺

主要参数之一。加热介质和冷却介质的种类及应用，在第1章的1.11节已详述，在此不再赘述。

## 2. 加热速度的确定

热处理加热速度的确定，与所处理的金属材料种类和所处理对象的牌号、规格、结构复杂程度以及装炉量等有关。

(1) 预备热处理的加热速度 预备热处理一般主要应用于冶金企业生产的锻轧型材和机械制造企业生产的铸锻毛坯件的处理。由于所处理的对象装炉量及型号、规格差别等都较大，故预备热处理的加热速度也不尽相同。

1) 冶金企业生产的大锻件预备热处理的加热速度。根据工艺类型（正火、高温回火、退火）和钢种、坯料截面大小以及装炉温度等的不同而异。

①对于碳素结构钢和低合金结构钢大锻件锻后采用热装炉正火和高温回火时，其加热速度不限，即按炉子的有效功率升温即可。

②对于中碳合金结构钢和弹簧钢大锻件锻后采用热装炉正火和高温回火时，坯料截面小于300mm的加热速度不限（按炉子有效功率升温）；坯料截面300~1000mm的加热速度一般控制在不大于60~80°C/h（截面越大，加热速度越慢）。

③对于碳素结构钢和低碳低合金结构钢以及中碳低合金结构钢和弹簧钢大锻件锻后采用冷装炉正火和高温回火时，坯料截面小于300mm的加热速度不限，截面300~500mm按炉子有效功率升温，坯料截面500~700mm的加热速度一般控制在不大于100°C/h，坯料截面尺寸300~500mm的控制在60~80°C/h（截面越大，加热速度越慢）。

④对于高碳低合金钢大锻件锻后采用热装炉球化退火时，截面200mm以下的加热速度不限，截面200~500mm的按炉子有效功率升温，坯料截面500~700mm的控制在小于80°C/h，坯料截面700mm以上的加热速度应控制在不大于70°C/h。

⑤对于高碳低合金钢、高速工具钢、滚珠轴承钢和热锻模钢大锻件锻后采用冷装炉球化退火时，其加热速度不限，即按炉子的有效功率升温即可。

2) 机械制造企业生产的钢质铸锻件预备热处理的加热速度，根据钢种和毛坯规格以及毛坯结构的复杂程度等，参照上述不同规格型材的加热速度确定。铸铁毛坯件，虽然有效厚度一般不大，但应力较大、热传导慢，因此，加热速度不宜过快。

①灰铸铁毛坯件的预备热处理加热速度一般控制在80~100°C/h即可，其截面越大加热速度越慢。

②可锻铸铁石墨化退火升温阶段的加热速度应控制在30~40°C/h或从室温加热到300~400°C时停留3~4h，以便石墨充分形核。

③球墨铸铁去应力退火的加热速度视其结构复杂程度而定，一般控制在80~100°C/h即可。

④合金铸铁，特别是高合金铸铁去应力退火的加热速度应根据其形状复杂程度

和有效厚度确定：形状简单的中、小件控制在小于  $100^{\circ}\text{C}/\text{h}$ ，形状复杂件最好浇注凝固后  $700^{\circ}\text{C}$  出型直接入炉或视复杂程度以  $20 \sim 50^{\circ}\text{C}/\text{h}$  的加热速度升温为宜。

3) 非铁金属及其合金的锻轧型材和铸造毛坯件，一般有效截面尺寸不大且导热性好。因此，非铁金属及其合金的预备热处理的加热速度不限，可按炉子有效功率升温即可。

## (2) 最终热处理的加热速度

### 1) 钢制零件的最终热处理加热速度：

① 大型零件淬火的加热速度。大型零件经过切削加工后，其最大有效截面尺寸不超过  $300\text{mm}$  者，可不控制加热速度，即炉温达到淬火（或回火）温度，零件装炉后随炉升温即可，如图 2-4b 所示；有效截面尺寸  $300 \sim 500\text{mm}$  者，冷态零件装入  $200^{\circ}\text{C}$  以下的炉子中并随炉升温到指定的淬火温度进行保温。

② 中、小型（有效厚度  $\leq 200\text{mm}$ ）零件淬火的加热速度。除零件结构复杂或高碳高合金钢制零件外，一般可进行快速加热。即将炉温升至淬火温度以上  $100 \sim 200^{\circ}\text{C}$  装入零件，随之炉温降至淬火温度进行保温，如图 2-4d 所示。

③ 结构复杂的零件或高碳高合金制零件的加热速度。为了避免产生裂纹和减小变形，结构复杂的零件和高碳高合金钢制零件，其淬火加热速度，一般采用分级加热（即  $1 \sim 2$  次预热后，再在淬火温度加热，如图 2-4a 所示。

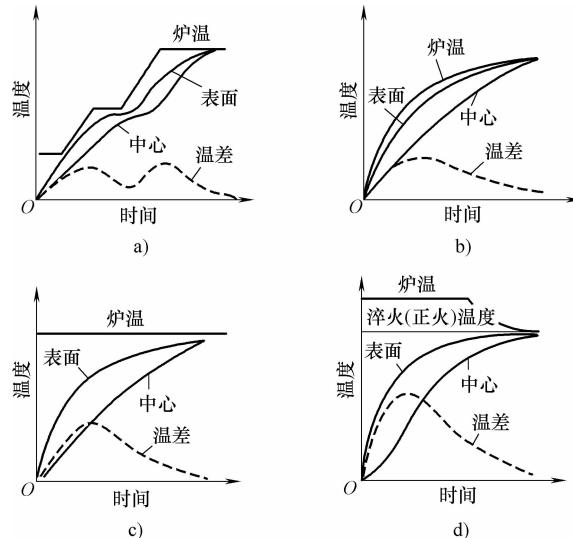


图 2-4 零件整体热处理常用的加热方式

a) 分级（阶梯）加热 b) 随炉升温加热 c) 高温加热 d) 快速加热

### 2) 铸铁件的最终热处理加热速度：

球墨铸铁件的淬火加热速度，视其有效厚度决定加热速度。一般有效厚度  $\leq 100\text{mm}$  者不控制加热速度，即按炉子的有效功率随炉升温；有效厚度  $100 \sim 200\text{mm}$

者可在 200~300℃ 预热后直接加热到淬火温度；有效厚度 >200mm 者可在 650℃ 和 850℃ 分两次预热后升温到淬火温度进行保温，或者以 ≤100℃/h 的加热速度从室温直接加热到淬火温度进行保温。

其他类型铸铁件一般较少进行整体淬火处理，其预备热处理就是最终热处理。

3) 非铁合金件的最终热处理加热速度：非铁合金件的最终热处理，主要是铝、镁、钛等三类合金的固溶处理（淬火），其加热速度一般应严格控制在 3~5℃/min。

### 3. 加热温度及其保温时间的确定

各种材料及其零件的热处理加热温度和保温时间，是热处理各种工艺方法的最主要工艺参数之一，是确保热处理质量的关键因素。设计各种热处理工艺方法的加热温度和保温时间时，可参照以下推荐的参数，并结合实际零件结构特点和技术要求等予以确定。

#### （1）常用钢的型材和锻轧毛坯预备热处理加热温度及保温时间

1) 结构钢锻轧毛坯的正火。碳素结构钢和低合金结构钢毛坯的预备热处理，通常是正火处理；高合金结构钢正火后增加一次高温回火。表 2-4 所示为常用钢的正火加热温度及处理后的硬度。

表 2-4 常用钢的正火加热温度及处理后的硬度

牌号	正火温度/℃	硬度 HBW	备注
35	860~900	≤197	
45	840~880	170~217	
20Cr	870~900	143~197	
20CrMnTi	920~970	160~207	
35CrMo	850~880	241~285	
40Cr	870~890	179~229	
40MnB	860~920	197~207	
40MnVB	860~890	159~207	正火或经高温回火
40CrNi	840~870	≤250	
50CrVA	850~880	≤302	
50Mn2	820~860	197~241	正火或经高温回火
40CrNiMoA	890~920	220~270	
38CrMoAlA	930~970	179~229	正火或经高温回火
T8 (T8A)	760~780	241~302	
T10 (T10A)	810~850	255~321	
T12 (T12A)	850~870	269~341	
9Mn2V	860~880	—	消除网状碳化物
GCr15	900~950	270~390	消除网状碳化物
CrWMn	970~990	388~514	消除网状碳化物

实践表明，对于本质细晶粒钢，其加热温度不超过 950~1000℃，保温时间不是过分的长，基本不会过热。因此，有的企业在可控气氛加热条件下，通过提高加热温度来提高生产率并不影响正火质量。

2) 常用铸钢件完全退火的加热温度和保温时间如表 2-5 所示。

表 2-5 常用铸钢件毛坯完全退火的工艺参数

钢 种	有效尺寸 /mm	装 炉		650~700℃		700℃~退火温度		冷却速度 /(℃/h)	出炉温度 /℃
		温度 /℃	保温时间 /h	升温速度/(℃/h)	保温时间 /h	升温速度/(℃/h)	保温时间 /h		
铸造碳钢	ZG200-400	<200	≤650	—	—	2	120	1~2	≥120
	ZG230-450	201~500	400~500	2	70	3	100	2~5	≥120
	ZG270-500								400
	ZG200-400	501~800	300~350	3	60	4	80	5~8	350
	ZG230-450	801~1200	260~300	4	40	5	60	8~12	300
	ZG270-500	1201~1500	≤200	5	30	6	50	12~15	250
铸造低合金钢	ZG310-570	<200	400~500	2	80	3	100	1~2	350
	ZGD650-830 (ZG20SiMn)	<200	400~500	2	80	3	100	1~2	≥80
	ZG35Cr1Mo (ZG35CrMo)								
	ZGD840-1030 (ZG35SiMn)	201~500	250~350	3	60	4	80	2~5	≥80
	ZG35SiMnMo								
	ZG35CrMnSi	501~800	200~300	4	50	5	60	5~8	≥80
	ZG5CrMnMo	<500	250~300	2	40	2~4	70	2~5	200
	ZG55CrMnMo	501~1000	≤200	4	30	5~8	50	5~10	200

3) 常用结构钢的完全退火加热温度及处理后的硬度如表 2-6 所示。

表 2-6 常用结构钢的完全退火加热温度及处理后的硬度

牌 号	温度/℃	退火后的硬度 HBW
35	850~880	≤187
45	820~840	≤207
35CrMo	830~850	197~229
40Cr	840~860	≤207
40MnB	820~860	≤207
40CrNiMo	840~880	197~229

(续)

牌号	温度/℃	退火后的硬度 HBW
42CrMo	810~870	197~229
50CrVA	810~870	179~255
65Mn	790~840	197~229
60Si2MnA	840~860	184~255
38CrMoAlA	900~930	≤229

4) 常用钢的球化退火加热温度和保温时间。表2-7~表2-9分别为常用合金结构钢毛坯等温退火工艺参数、常用工具钢毛坯球化退火工艺参数、几种冷挤压钢件的球化退火工艺参数。

表2-7 常用合金结构钢毛坯等温退火工艺参数

钢号	奥氏体化温度 /℃	等温分解温度 /℃	保持时间 /h	大致硬度 HBW
40Mn2	830	620	4.5	183
20CrNi	885	650	4	179
40CrNi	830	660	6	187
50CrNi	830	660	6	201
12Cr2Ni4	870	595	14	187
30CrMo	855	675	4	174
35CrMo	845	675	5	197
42CrMo	830	675	6	212
20CrNiMo	885	660	6	197
40CrNiMo	830	650	8	223
20Cr	885	690	4	179
30Cr	845	675	6	183
40Cr	830	675	6	187
50Cr	830	675	6	201
50CrV	830	675	6	201
20CrNiMo	885	660	4	187
60Si2Mn	860	660	6	229

表2-8 常用工具钢毛坯球化退火工艺参数

钢号	加热温度 /℃	保温时间 /h	冷却速度 /(°C/h)	出炉温度 /°C	硬度 HBW
T7、T8、T9	750~770	~4	20~30	500	187~192
T10、T11、T12	760~780	~4	20~30	500	197~217

(续)

钢号	加热温度 /°C	保温时间 /h	冷却速度 /(°C/h)	出炉温度 /°C	硬度 HBW
9SiCr	790 ~ 810	4 ~ 6	≤20 ~ 30	500 ~ 650	197 ~ 241
CrWMn	770 ~ 790				207 ~ 255
Cr2	770 ~ 790				187 ~ 229
Cr12MoV	850 ~ 870				207 ~ 255
GCr15	780 ~ 800				170 ~ 207
95Cr18	850 ~ 870				197 ~ 255
9Mn2V	750 ~ 770				≤229
W18Cr4V	850 ~ 870				207 ~ 255
W6Mo5Cr4V2	840 ~ 860	3 ~ 4	15 ~ 20	< 500	207 ~ 255
					207 ~ 255

表 2-9 几种冷挤压钢件的球化退火工艺参数

钢号	加热温度 /°C	保温时间 /h	等温温度及时间 /°C (h)	冷却速度 /(°C/h)	出炉温度 /°C	硬度 HBW
15Cr、20Cr	860 ± 10	3 ~ 4		< 50	300	< 130
15Cr、20Cr	780 ± 10	2 ~ 3	700 ± 10 6 ~ 8		500	125 ~ 131
15Cr、20Cr	720	5 ~ 6		< 50	450	≤ 125
35、45、40MnB	720	6 ~ 7		< 50	550	≤ 145
08、15、20	720	2 ~ 3		空冷		≤ 120
20MnV、 40Cr、50	950 ~ 1000	1 ~ 1.5	700 ± 10 2 ~ 2.5	60	500	140
40Cr	770 ± 10	4 ~ 5	670 ± 10 5 ~ 6	炉冷	500	≤ 160

(2) 常用钢制零件最终热处理的加热温度及保温时间

1) 常用钢的淬火加热温度及处理后的硬度如表 2-10 所示。

表 2-10 常用钢的淬火加热温度及处理后的硬度

牌号	淬火温度/°C	淬火冷却介质	淬火后硬度 HRC	备注
35	860 ~ 880	盐水	≥ 50	
45	820 ~ 840	水或盐水	≥ 50	
38CrMoAlA	930 ~ 950	油	≥ 55	

(续)

牌号	淬火温度/°C	淬火冷却介质	淬火后硬度 HRC	备注
40Cr	840 ~ 860	油或水淬油冷	≥50	
42CrMo	840 ~ 860	油	≥45	
40CrMnMo	850 ~ 870	油	≥52	
40MnVB	830 ~ 850	油	≥45	
50CrV	850 ~ 870	油	≥52	
60Si2Mn	840 ~ 870	油	≥60	
65Mn	790 ~ 820	油	≥55	
T7, T8	800 ~ 820	水或水淬油冷	≥60	
T10	780 ~ 800	水或水淬油冷	≥60	
9SiCr	850 ~ 870	油或硝盐	≥60	
9Mn2V	790 ~ 810	油	≥60	
CrWMn	830 ~ 850 820 ~ 840	硝盐 油	≥60	
5CrNiMo	840 ~ 860	油	≥53	
5CrMnMo	830 ~ 850	油	≥52	
3Cr2W8V	1050 ~ 1100	油	≥50	
Cr12	980 ~ 1020	油	≥60	
Cr12MoV	980 ~ 1020 1080 ~ 1130	油	≥60 ≥42	
GCr15	830 ~ 850	油	≥60	
GCr15SiMn	820 ~ 840	油	≥60	
W18Cr4V	1260 ~ 1300	油或熔盐	≥63	
12CrNi3	860	油	≥43	渗碳后
20CrMnTi	840 ~ 860	油	≥55	渗碳后
20Cr13	980 ~ 1050	油	≥45	
30Cr13	980 ~ 1050	油	≥47	

2) 常用钢的回火加热温度及处理后的硬度如表 2-11 所示。

表 2-11 常用钢的回火加热温度及处理后的硬度

牌号	回火后硬度 HRC								备注
	25 ~ 30	30 ~ 35	35 ~ 40	40 ~ 45	45 ~ 50	50 ~ 55	55 ~ 60	≥60	
	回火温度/°C								
35	520	460	420	330 ~ 350	290	< 170			
45	550	520	450	360 ~ 380	300 ~ 320	280 ~ 300	180		

(续)

牌号	回火后硬度 HRC								备注
	25~30	30~35	35~40	40~45	45~50	50~55	55~60	≥60	
	回火温度/°C								
35CrMnSi	560	520	460	400	350	200			
40Cr	580	510	470	380~420	300~340	200~240	<160		
40CrMo	620	580	500	380~400	280~300				
40CrMnMo		550	500	450	380~400	250			
40MnB	650	450	420	360~380	280~320	200~240	180~220		
50CrV	650	560	500	460~480	360~380	280~320	180~200		
60Si2Mn	620	600	550	520	470	420	380	180	
65Mn	660	600	520	440	360~400	300	230	<170	
T7、T8	580	530	470	420	370	320	250	160~180	
T10	580	540	490	430	380	340	250	160~180	
9SiCr	670	620	580	520	450	380	280~300	180~200	
9Mn2V				500	400	320~340	260~280	180~200	
CrWMn				420~440	380~400	320~340	280~300	180~200	
5CrNiMo	700	640	550	450	380~400	260~300	200		
5CrMnMo		580	500~540	460~500	380~400	260~300	200		
3Cr2W8V		730	700	600	540				
Cr12		650~750	620~660	600~620	560~580	480~520	360~380	180~220	一次硬化
Cr12MoV	770	710~740	650~670	610~620	560~580	480~520	360~380	180~200	
GCr15	680	580	530	480	420	380	270	<180	
GCr15SiMn				480	420	350	280		
W18Cr4V						680	650	560	回火三次
12CrNi3					400	370	240	180~200	渗碳淬火后
20CrMnTi							240	180~200	
20MoVB								180~200	
20Cr13	600	560	520	450	<400				
30Cr13	620	600	570	540	<500				

3) 常用钢冷处理温度和保持时间：根据处理温度的不同，冷处理分为冰冷处理（0~ -80℃），中冷处理（-80~ -150℃），深冷处理（-150~200℃）三种。

由于冷处理目的是将钢件淬火后的残留奥氏体继续转变成马氏体，故冷处理温度一般大多在  $M_f$  点附近即可。由于大多数钢种的  $M_f$  点不低于 -100℃（如表 2-12

所示), 所以, 常用的冷处理温度在  $-30 \sim -80^{\circ}\text{C}$ , 即属于冰冷处理, 对于  $M_f$  点低于  $-100^{\circ}\text{C}$  的钢种, 根据特殊技术要求可采用更低的处理温度。

冷处理的保持时间: 由零件有效厚度、装炉量多少决定, 以确保零件内外整体温度一致为原则。当零件与介质直接接触时, 单件和小批生产的保持时间为  $0.5 \sim 1\text{h}$ , 批量生产和零件与介质非直接接触时采用  $1 \sim 2\text{h}$ 。

表 2-12 常用钢种的  $M_s$  点和  $M_f$  点及冷处理效果

牌号	转变范围		淬火后残留奥氏体量 <sup>②</sup> (体积分数, %)		冷到 $M_f$ 温度后 增加的硬度 HRC
	$M_s/^{\circ}\text{C}$ <sup>①</sup>	$M_f/^{\circ}\text{C}$	+20°C	冷到 $M_f$	
T8	250 ~ 230	-55	3 ~ 8	1 ~ 6	< 1.0
T10	210 ~ 175	-60	6 ~ 18	4 ~ 12	1.5 ~ 3.0
T12	175 ~ 160	-70	10 ~ 25	5 ~ 14	3 ~ 4
9SiCr	210 ~ 185	-60	6 ~ 17	4 ~ 12	1.5 ~ 2.5
GCr15	180 ~ 145	-90	9 ~ 28	4 ~ 14	3 ~ 6
CrWMn	150 ~ 120	-110	13 ~ 45	2 ~ 17	< 10
15Cr, 20Cr	175 ~ 150	-85	10 ~ 25	5 ~ 12	3 ~ 5
60Mn					
65Mn	290 ~ 230	-55	≤ 8	≤ 6	< 1.0
70Mn					

①  $M_s$  点温度范围的变化是由于钢发生化学成分的波动而引起的。

② 在保证形成均匀的奥氏体的淬火温度淬火后, 得到的奥氏体数量 (冷却剂为通常适合于该类钢的冷却剂)。

### (3) 常用铸铁件的正火和退火加热温度和保温时间

1) 典型灰铸铁件去应力退火加热温度和保温时间如表 2-13 所示。

表 2-13 典型灰铸铁件去应力退火工艺参数

铸铁类型	截面尺寸/mm	工艺参数
普通灰铸铁	< 50	565 ~ 580°C, 2h
	50 ~ 100	565 ~ 580°C, 1h/20mm
	> 100	565 ~ 580°C, 6h
低合金灰铸铁	< 50	565 ~ 595°C, 2h
	50 ~ 100	565 ~ 595°C, 1h/20mm
	> 100	565 ~ 595°C, 6h
高合金灰铸铁	< 50	595 ~ 650°C, 2h
	50 ~ 100	595 ~ 650°C, 1h/20mm
	> 100	595 ~ 650°C, 6h

2) 灰铸铁正火和退火加热温度和时间, 如表 2-14 所示。

表 2-14 灰铸铁正火和退火加热温度和时间

热处理工艺	加热过程	冷却过程	其他
正火	加热至 875 ~ 900°C, 保温时间按 $1h/25mm$ 计算, 使铸件全部奥氏体化	空冷得到珠光体组织。对大截面尺寸允许风冷, 防止铁素体出现。对合金铸铁施行这种处理	可增加强度和硬度, 对复杂或重要件正火后需再进行去应力退火
退火	加热至 700 ~ 760°C (略低于共析温度), 使珠光体分解成铁素体, 保温时间取决于截面尺寸和化学成分, 原则上为 $1h/25mm$ 。合金铸铁件应增加时间	冷却速度不大于 100°C/h, 以免产生应力	铸件处理后降低硬度、强度, 改善可加工性
	加热至 800 ~ 900°C (高于共析温度), 保温时间按 $1h/25mm$ 计算。含 Cr、Mn、Cu、Ni 和 Sn 的铸铁件, 应增加保温时间	缓慢冷却通过共析转变温度范围, 使其形成铁素体基体, 冷至 675°C 后再行空冷	
	最低加热温度为 870°C, 每增加 55°C, 碳化物分解速度将增加 1 倍。一般生产中采用 900 ~ 950°C。保温时间由几分钟到几小时。国内推荐为 $[2 + \text{铸件厚度}(mm)/25]h$	冷却速度取决于要获得的组织	为了消除麻口和激冷铸铁中的粗大碳化物
退火后要获得铁素体基体, 则应炉冷至 540°C; 如要获得珠光体基体, 保持高的强度及耐磨性, 则采用空冷至 540°C, 540°C 以后以 11°C/h 的冷却速度冷至 290°C, 以减小残留应力。铸铁退火后抗拉强度和疲劳强度比铸态降低 55% ~ 65%, 而冲击韧度略有增加			

3) 球墨铸铁退火和正火的加热和冷却如表 2-15 所示。

表 2-15 球墨铸铁退火和正火的加热和冷却

热处理工艺	加 热	冷 却	其 他
去应力退火	去应力退火温度为 500 ~ 600°C; 以 50°C/h 从 200°C 加热至 600°C; 保温时间以 $[1 + \text{铸件厚度}(mm)/25]h$ 计算	以 50°C/h 速度炉冷至 200°C, 再空冷至室温	目的: 消除应力, 稳定组织 组织: 同原始组织
石墨化退火	方法 1 铸件加热至 900 ~ 950°C, 保温时间按 $[1 + \text{铸件厚度}(mm)/25]h$ 计算, 当铸件含碳化物稳定元素时, 时间应选 6 ~ 8h	冷至 680 ~ 700°C, 并保温 4 ~ 12h, 铸件杂质含量少则时间短些; 对简单形状铸件, 保温后炉冷至 650°C 后空冷, 对复杂形状铸件则按上述去应力退火冷却方式进行冷却	目的: 为了得到铁素体基体球墨铸铁, 获得最大的塑性和韧性; 改善可加工 组织: 铁素体 + 石墨; 或铁素体 + 珠光体 + 石墨 注意: ①避免在 500 ~ 600°C 激冷; ②珠光体球墨铸铁由于石墨化, 会使工件尺寸增大; ③方法 3 只能使珠光体分解, 而不能使共晶碳化物分解
	方法 2 铸件加热同方法 1	在 800 ~ 650°C 范围内, 以 30 ~ 60°C/h 速度冷却, 杂质含量高则冷速应慢些; 然后按铸件形状复杂或简单情况, 以上述方式冷却至室温	
	方法 3 铸件从室温加热至 680 ~ 700°C, 然后保温 2 ~ 16h, 使珠光体石墨化	按方法 1 冷至室温	

(续)

热处理工艺	加 热		冷 却	其 他
正火	方法1	高温完全奥氏体化正火：同石墨化退火方法1进行加热	在空气中冷却	目的：可获得700~900MPa抗拉强度的珠光体球墨铸铁，改进 $\sigma_{0.2}/\sigma_b$ 比值。当冷速增加时，珠光体片间距更细，强度、硬度提高，伸长率减小 组织：细珠光体+少量铁素体+石墨
	方法2	分级正火：加热至920~980℃，保温1~3h，炉冷至860℃~880℃，保温1~2h	空冷、风冷或雾冷	目的：消除铸态过量的自由渗碳体，防止形成二次网状渗碳体 组织：同上
	方法3	亚温正火：加热至750~800℃，保温1~2h	空冷、风冷或雾冷	目的：获得较高的综合力学性能 组织：细珠光体+条块状铁素体+石墨
	方法4	分级亚温正火：加热至950~980℃，保温1~3h，炉冷至700~780℃，保温1~2h	风冷或雾冷	目的：获得综合的力学性能 组织：细珠光体+条块状铁素体+石墨

注：复杂铸件正火后需进行回火。

4) 可锻铸铁的石墨化退火加热和保温如表2-16所示。

表2-16 可锻铸铁的石墨化退火过程及其加热温度

工艺过程	石墨化退火
过程1	加热至保温温度，该阶段石墨形核
过程2	在900~970℃保温，称为第一阶段石墨化，以较快速度(100℃/h)冷至725~740℃
过程3	在725~740℃保温，称为第二阶段石墨化，以2~7℃/h的速度缓冷，得到铁素体基体可锻铸铁。冷却速度提高至85℃/h，可以形成珠光体基体可锻铸铁

(4) 常用铸铁件的淬火回火加热温度和保温时间

1) 可锻铸铁整体淬火和回火的加热温度和保温时间如表2-17所示。

表2-17 可锻铸铁淬火回火的加热温度和保温时间

热处理工艺	淬 火	回 火	其 他
整体淬火	加热至840~870℃，保温1h，使基体奥氏体化，然后淬入加热和搅拌的80~105℃油中，得到硬度为555~627HBW的马氏体及贝氏体的基体组织	回火处理时间应不少于2h。回火温度为550~650℃，可根据断面厚度及淬火组织进行调整	一般要求回火处理后，最合适的硬度为241~321HBW

(续)

热处理工艺	淬 火	回 火	其 他
马氏体分级淬火	可锻铸铁淬入油中,对裂纹是很敏感的,淬入 205℃ 的盐浴或油是安全的	回火处理时间应不少于 2h。回火温度为 550 ~ 650℃,可根据断面厚度及淬火组织进行调整	分级淬火后再施行回火。这样处理可获得与常规淬火、回火相似的力学性能
等温淬火	奥氏体化温度为 870 ~ 920℃,保温 1h,分别淬入 320 ~ 360℃ 和 280℃ 熔盐中,保持 1.5h,空冷,可获得上贝氏体和下贝氏体的基本组织,相应性能为 $R_m = 850 \sim 1050 \text{ MPa}$ , $\delta = 2.0\%$ , 硬度 350HBW 和 $R_m = 1050 \sim 1470 \text{ MPa}$ , $\delta = 1.0\%$ , 硬度 430HBW 左右		铁素体与珠光体可锻铸铁可获得上贝氏体或下贝氏体的基本组织,提高抗拉强度和硬度,但降低塑性

2) 球墨铸铁整体淬火和回火的加热温度和保温时间如表 2-18 所示。

表 2-18 球墨铸铁淬火回火的加热温度和保温时间

热处理工艺	淬 火	回 火	其 他
整体淬火	加热至 875 ~ 925℃ 温度,保温 2 ~ 4h,淬入油中,获得马氏体基本组织	550 ~ 600℃ 高温回火,得到回火索氏体组织 + 少量铁素体 + 球状石墨	目的:可得到高强度( $> 700 \text{ MPa}$ )、低伸长率的性能 注意:①为防止开裂,可淬入 200℃ 热油中;②淬火前最好进行正火
		350 ~ 500℃ 中温回火,得到回火托氏体组织 + 少量铁素体 + 球状石墨	
		150 ~ 250℃ 低温回火,得到回火马氏体组织 + 少量铁素体 + 球状石墨	
等温淬火	高温等温淬火:加热至 875 ~ 925℃,保温 2 ~ 4h,淬入 400 ~ 450℃ 盐浴槽中保持 1 ~ 6h,然后冷至室温		得到的组织主要是上贝氏体 + 较多残留奥氏体。铸件可具有高韧度、高强度和中等硬度,并且有很好的加工硬化能力。其性能为具有高的伸长率和高断裂韧度,这应归功于残留奥氏体
	低温等温淬火:加热过程同上。淬入 235 ~ 350℃ 盐浴槽中,保持 1 ~ 6h,然后冷至室温		得到的组织主要是下贝氏体 + 部分残留奥氏体。具有很高的强度,一定的塑性和韧性,并且具有加工硬化的能力,比其他球墨铸铁具有高得多的耐磨性

3) 灰铸铁的淬火温度,一般为850~900℃,回火温度范围大致为370~510℃。具体确定方法如表2-19所示。

表2-19 灰铸铁淬火和回火加热温度与时间

热处理工艺	加热过程	冷却过程	其他
淬火	<p>普通灰铸铁相变温度<math>A_1</math>由下式计算:</p> $A_1(\text{℃}) = 730\text{℃} + [28.0w(\text{Si}) - 25.0w(\text{Mn})]\text{℃}$ <p>(铸铁的临界温度常在750~850℃范围内)</p> <p>为了保证全部奥氏体化,实际生产上采用的加热温度比上式计算结果高95℃。国内推荐的淬火加热温度为850~900℃</p> <p>为了避免淬火裂纹的产生,铸件在595~650℃以下应缓慢加热,在此温度范围(消除应力区)以上可以采用任意加热速度。加热保温时间按<math>20\text{min}/25\text{mm}</math>计算</p>	<p>淬火冷却介质为油。由于淬火态铸件对裂纹极为敏感,故铸铁件淬火冷却到150℃左右应取出,立即在低温区的温度回火,时间按<math>1\text{h}/25\text{mm}</math>计算</p>	目的是改善力学性能,特别是强度和耐磨性。耐磨性比珠光体灰铸铁提高5倍左右
回火	回火温度范围:370~510℃		提高强度和冲击韧度,降低硬度
等温淬火	奥氏体化加热与淬火处理相同。等温温度常采用230~425℃。等温时间常为4~6h。有研究表明,等温时间6h可得到拉伸力学性能最佳配合	等温淬火中铸铁的淬透性是很重要的。如加入Mn约1.5% (质量分数)时,油淬可淬透38mm截面,水淬可淬透64mm截面(淬火冷却介质通常采用热油或硝盐)	Mn、Cu、Ni、Cr、Mo、C、S和P提高淬透性,Co降低淬透性
马氏体分级淬火	奥氏体化加热与淬火处理相同。热浴温度对普通铸铁为205~260℃。在200℃左右回火2h。 $Ms(\text{℃}) = 500\text{℃} - [300w(\text{C}) - 33w(\text{Mn}) - 22w(\text{Cr}) - 17w(\text{Ni}) - 11w(\text{Si}) - 11w(\text{Mo})]\text{℃}$	冷却到略高于 $Ms$ 的热浴中,待工件达到热浴温度后立即取出冷至室温,这样处理得到的是马氏体	减少因变形和开裂引起的工件报废

### (5) 非铁金属及其合金的热处理加热温度和保温时间

1) 铜及其合金的热处理加热温度和保温时间,如表2-20~表2-30所示。

表2-20 纯铜的再结晶退火加热温度

有效厚度/mm	<0.5	0.5~1	1~5	>5
退火温度/℃	380~450	450~550	550~620	620~680
保温时间/min	30	30~40	40~60	60~100

表 2-21 黄铜的去应力退火加热温度

牌号	退火温度/℃	牌号	退火温度/℃
H96	150~170	H62	260~270
H90	200	HPb59-1	280
H80	200~210	HSn62-1	350~370
H68	250~260		

表 2-22 黄铜冷变形加工的序间退火加热温度

牌号	有效厚度/mm			
	>5	1~5	0.5~1	<0.5
	退火温度/℃			
H96	560~600	540~580	500~540	450~550
H90	650~720	620~780	560~620	450~560
H80	650~700	580~650	540~600	500~560
H68	580~650	540~600	500~560	440~500
H62、H59	650~700	600~660	520~600	460~530
HFe59-1-1	600~650	520~620	450~550	420~480
HMn58-2	600~660	580~640	550~600	500~550
HSn70-1	600~650	580~620	470~560	450~500
HSn62-1	600~650	550~630	520~580	500~550
HPb63-3	600~650	540~620	520~600	480~540
HPb59-1	600~650	580~630	550~600	480~550

表 2-23 黄铜管材和棒材的再结晶退火加热温度

产品类型	牌号	退火温度/℃		
		硬	拉制或半硬	软
管材	H96			550~600
	H80			480~550
	H68、H62	340	400~450 (半硬)	
	HPb59-1、HSn70-1		420~500 (半硬)	
	H60 圆形、矩形波导管	200~250		
棒材	H96			550~620
	H90、H80、H70		250~300	650~720
	H68		350~400	500~550
	H62、HSn62-1		400~450	
	HPb59-1 HFe59-1-1		350~400	
	HMn58-2		320~370	

表 2-24 黄铜线材的再结晶退火加热温度

牌号	直径/mm	退火温度/℃		
		硬	半硬	软
H96	0.3~0.6			390~410
H90、H80	0.3~6.0	160~180		390~410
H68	0.3~6.0	160~180	350~370	460~480
H62	0.3~1.0	160~180	160~180	390~410
	1.1~4.8	160~180	240~260	390~410
	5.0~6.0	160~180	260~280	390~410
HPb59-1	0.5~6.0	250~270	330~350	410~430
	0.3~6.0	160~180		390~410

表 2-25 锡青铜的序间的退火加热温度

牌号	有效厚度/mm			
	>5	1~5	0.5~1	<0.5
	退火温度/℃			
QSn4-3	600~650	580~630	500~600	460~500
QSn4-4-2.5	580~650	550~620	520~680	450~520
QSn7.0-0.2	620~680	600~650	530~620	500~580
QSn6.5-0.1	600~660	600~650	520~580	470~530
QSn6.5-0.4	600~650	600~650	520~580	470~530

表 2-26 镍青铜固溶处理和时效加热温度

合金元素(质量分数, %)	固溶处理温度/℃	时效温度/℃
Cu + 1.9~2.2 Be + 0.2~0.5 Ni	780~790	320~330
Cu + 2.0~2.3 Be + (<0.4Ni)	780~800	300~345
Cu + 1.6~1.85 Be + 0.2~0.4 Ni + 0.10~0.25 Ti	780~800	320~330
Cu + 1.85~2.1 Be + 0.2~0.4 Ni + 0.10~0.25 Ti	780~800	320~330
Cu + 1.9~2.15 Be + 0.25~0.35 Co	785~790	305~325
Cu + 1.6~1.8 Be + 0.25~0.35 Co	785~790	305~325
Cu + 0.45~0.6 Be + 2.35~2.60 Co	920~930	450~480
Cu + 0.25~0.5 Be + 1.4~1.7 Co + 0.9~1.1 Ag	925~930	450~480
Cu + 0.2~0.3 Be + 1.4~1.6 Ni	950~960	450~500
Cu + 0.63 Be + 2.48 Ti	780~800	400~450
Cu + 2~2.3 Be + 0.35~0.45 Co + 0.07~0.11 Fe	800~820	295~315

表 2-27 薄板、带材和有效厚度很小的工件固溶处理保温时间

有效厚度/mm	保温时间/min	有效厚度/mm	保温时间/min
<0.13	2~6	0.25~0.76	6~10
0.11~0.25	3~9	0.74~2.30	10~30

表 2-28 白铜铸锭的均匀化退火加热温度

牌号	加热温度/℃	保温时间/h
B19、B30	1000~1050	3~4
BMn3-12	830~870	2~3
BMn40-1.5	1050~1150	3~4
BZn15-20	940~970	2~3

表 2-29 白铜的序间再结晶退火加热温度

牌号	有效厚度/mm			
	>5	1~5	0.5~1	<0.5
退火温度/℃				
B19、B25	750~780	700~750	620~700	530~620
BZn15-20、BMn3-12	700~750	680~730	600~700	520~600
BAl6-1.5、BAl13-3	700~750	700~730	580~700	550~600
BMn40-1.5	800~850	750~800	600~750	550~600

表 2-30 白铜成品棒材、线材的最终退火加热温度

牌号	直径/mm	退火温度/℃	
		半硬	软
BZn15-20	棒材		650~700
	线材 0.3~6.0	400~420	600~620
BMn3-12	线材 0.3~6.0		500~540
	线材 0.3~0.8		670~680
BMn40-1.5	线材 0.85~2.0		690~700
	线材 2.1~6.0		710~730

2) 铝及其合金的热处理加热温度和保温时间, 如表 2-31~表 2-36 所示。

表 2-31 几种防锈铝合金去应力退火加热温度和保温时间

牌号		退火温度/℃	保温时间/min	
新	旧		厚度 < 6mm	厚度 > 6mm
5A02	LF2	150~180	60~120	—
5A03	LF3	270~300	60~120	—
3A21	LF21	250~280	60~150	60~150

表 2-32 变形铝合金再结晶退火加热温度和保温时间

牌号		退火温度/℃	保温时间/min		冷却方法
新	旧		厚度 < 6mm	厚度 > 6mm	
工业纯铝		350 ~ 400	热透为止	30	空冷或炉冷
3A21	LF21	350 ~ 420			
5A02	LF2	350 ~ 400			
5A03	LF3	350 ~ 400			
5A05	LF5	310 ~ 335			
5A06	LF6	310 ~ 335			
2A11	LY11	350 ~ 370	40 ~ 60	60 ~ 90	炉冷
2A12	LY12	350 ~ 370			
2A16	LY16	350 ~ 370			
6A02	LD2	350 ~ 370			
2A50	LD5	350 ~ 400			
2B50	LD6	350 ~ 400			
2A14	LD10	350 ~ 370			
7A04	LC4	350 ~ 390			

注：表中所列是在空气循环炉中的加热制度。盐浴加热时，保温时间可按表中数据缩短 1/3，在静止空气炉中应增加 1/2。

表 2-33 变形铝合金的固溶处理加热温度

牌号		加热温度/℃	熔化开始温度/℃
新	旧		
2A01	LY1	495 ~ 505	535
2A02	LY2	495 ~ 506	510 ~ 515
2A06	LY6	503 ~ 507	518
2A10	LY10	515 ~ 520	540
2A11	LY11	500 ~ 510	514 ~ 517
2A12	LY12	495 ~ 503	506 ~ 507
2A16	LY16	528 ~ 593	545
2A17	LY17	520 ~ 530	540
6A02	LD2	515 ~ 530	595
2A50	LD5	503 ~ 525	> 525
2A70	LD7	525 ~ 595	—
2A80	LD8	525 ~ 540	—

(续)

牌号		加热温度/℃	熔化开始温度/℃
新	旧		
2A90	LD9	510~525	—
2A14	LD10	495~506	>509
7A03	LC3	460~470	>500
7A04	LC4	465~485	>500

表 2-34 变形铝合金的时效加热温度和保温时间

牌号		制品种类	时效温度/℃	时效时间/h
新	旧			
2A02	LY2	管、棒、型材、锻件	165~170	16
2A06	LY6	板材	室温	≥96
		板材	125~135	10
2A11	LY11	板材	室温	≥96
2A12	LY12	板材	室温	≥96
2A16	LY16	板材	160~170	14
		管、棒、型材	165~170	16
2A17	LY17	板材	室温	≥96
7A04	LC4	板材	125~135	16
		管、棒、型材	138~143	16
		锻件	135~140	16
7A09	LC9	板材	125~135	16
7A10	LC10	板材	125~135	16
		线材	150~160	8
2A50	LD5	板材	室温	≥96
		管、棒、型材	150~155	3
		锻件	153~160	6~12
2B50	LD6	管、棒、型材	150~155	3
		锻件	153~160	6~12
2A70	LD7	管、棒、型材	185~190	8
		锻件	185~190	10~14
2A80	LD8	管、棒、型材	170~175	8
		锻件	160~180	8~12
2A90	LD9	管、棒、型材	165~170	8

(续)

牌号		制品种类	时效温度/℃	时效时间/h
新	旧			
2A14	LD10	板材	室温	≥96
		板材	155~165	12
		管、棒、型材	150~155	8
6A02	LD2	管、棒、型材	155~160	8
		锻件	150~165	8~15
		板材	室温	240~360

表 2-35 几种硬铝合金回归处理加热温度和保温时间

牌号		回归处理温度/℃	回归处理时间/s
新	旧		
2A11	LY11	240~250	20~45
2A12	LY12	265~275	15~30
2A06	LY6	270~280	10~15

表 2-36 铸造铝合金件的热处理工艺参数

合金代号	热处理状态	固溶处理			时效			力学性能			零件工作条件及要求
		加热温度/℃	保温时间/h	冷却	加热温度/℃	保温时间/h	冷却	$R_m$ /MPa	HBW	A(%)	
ZL101	T4(J)	535±5	2~6	60~100℃水				190	50	4	要求高塑性
	T4(S)							180	50	4	
	T5(J)	535±5	2~6	60~100℃水	150±5	2~4	空冷	210	60	2	要求高屈服强度、高硬度
	T5(S)							200	60	2	
	T6(SB)	535±5	2~6	60~100℃水	200±5	3~5	空冷	230	70	1	要求高强度
	T7(SB)	535±5	2~6	60~100℃水	225±5	3~5		200	60	2	要求一定强度,较高尺寸稳定性
	T8(SB)	535±5	2~6	60~100℃水	250±5	3~5		160	55	3	要求高的尺寸稳定性和塑性

(续)

合金代号	热处理状态	固溶处理			时效			力学性能			零件工作条件及要求
		加热温度/℃	保温时间/h	冷却	加热温度/℃	保温时间/h	冷却	R <sub>m</sub> /MPa	HBW	A(%)	
ZL104	T1(J)	—	—	—	175 ± 5	5 ~ 7		200	70	1.5	中等负荷
	T6(J)	535 ± 5	2 ~ 6	60 ~ 100℃水	175 ± 5	10 ~ 15		240	70	2	高负荷
	T6(S,B)							230	70	2	
ZL105	T1(S,J)	—	—	—	180 ± 5	5 ~ 10		160	65	0.5	中等负荷
	T5(S)	525 ± 5	3 ~ 5	100℃水	160 ± 5	3 ~ 5		230	70	0.5	中等负荷
	T6(J)	525 ± 5	3 ~ 5	60 ~ 100℃水	180 ± 5	5 ~ 10		260	70	0.5	高负荷
	T7(S,J)	525 ± 5	3 ~ 5	60 ~ 100℃水	240 ± 10	3 ~ 5		200	65	1.0	较高温度下工作
ZL107	T6	515 ± 5	10	60 ~ 100℃水	155 ± 5	10		—	—	—	—
ZL108	T1	—	—	—	190 ~ 210℃	10 ~ 14	—	—	—	—	—
	T6	515 ± 5	3 ~ 8	60 ~ 80℃水	205 ± 5℃	6 ~ 10	空冷				高温下工作的大负荷零件
ZL109	T1	—	—	—	230 ± 5	7 ~ 9		—	—	—	改善切削加工性的零件
	T4	535 ± 5	2 ~ 6	60 ~ 100℃水	—	—		—	—	—	要求高塑性零件
	T5	535 ± 5	2 ~ 6	60 ~ 100℃水	155 ± 5	2 ~ 7	—	—	—	—	要求屈服强度高、硬度高的零件
	T6	535 ± 5	2 ~ 6	60 ~ 100℃水	225 ± 5	7 ~ 9		—	—	—	要求高强度、高硬度的零件
	T7	535 ± 5	2 ~ 6	60 ~ 100℃水	250 ± 5	2 ~ 4		—	—	—	—
ZL201	T4(S)	535 ± 5 545 ± 5	5 ~ 9	60 ~ 100℃水	—	—	—	300	70	8	分级加热
	T5(S)	535 ± 5 545 ± 5	5 ~ 9	60 ~ 100℃水	175 ± 5	3 ~ 5	空冷	340	80	4	分级加热高强度、高温工作

(续)

合金代号	热处理状态	固溶处理			时效			力学性能			零件工作条件及要求
		加热温度/℃	保温时间/h	冷却	加热温度/℃	保温时间/h	冷却	R <sub>m</sub> /MPa	HBW	A(%)	
ZL202	T6(S)	510±5	12	60~100℃水	155±5	10~14		—	—	—	要求高强度、高硬度零件
	T6(J)	510±5	12	60~100℃水	175±5	7~14		—	—	—	
	T2	—	—	—	290±5	3		—	—	—	消除残留应力,要求尺寸稳定
	T7	515±5	3~5	80~100℃水	200~250	3		—	—	—	高温下工作
ZL203	T4	515±5	10~15	60~100℃水	—	—	—	220	65	8	高强、高塑性零件
	T5	515±5	10~15	60~100℃水	150±5	2~4		250	80	5	高屈服强度、高硬度
ZL301	T4	435±5	8~20	80~100℃水	—	—	—	350	80	10	—

注：J—金属型；S—砂型；B—变质。

3) 镁及其合金的热处理加热温度和保温时间,如表2-37~表2-38所示。

表2-37 变形镁合金退火加热温度和保温时间

合 金 牌 号	完 全 退 火		去 应 力 退 火			
	温 度 / ℃	时 间 / h	板 材		挤 压 件 和 锻 件	
			温 度 / ℃	时 间 / h	温 度 / ℃	时 间 / h
M2M	340~400	3~5	205	1	260	0.25
AZ40M	350~400	3~5	150	1	260	0.25
AZ41M	—	—	250~280	0.5	—	—
ME20M	280~320	2~3	—	—	—	—
ZK61M	380~400	6~8	—	—	260	0.25

注：1. 完全退火保温时间应以工件发生完全再结晶为限，时间可适当缩短。

2. 当ME20M要求强度较高时，可以在260~290℃进行退火；当要求较高的塑性时，则需要在320~350℃进行退火。

表 2-38 常用镁合金的热处理加热温度和保温时间

类别	合金牌号	热处理类型	固 溶 处 理			时 效			
			加热温度 /℃	保温时间 /h	冷却介质	加热温度 /℃	保温时间 /h	冷却介质	
变形镁合金	M2M	T2	—	—	—	340 ~ 400	3 ~ 5	空气	
	ME20M	T2	—	—	—	280 ~ 350	3 ~ 5	空气	
	AZ41M	T2	—	—	—	250 ~ 280	0.5	空气	
	AZ61M	T2	—	—	—	320 ~ 380	4 ~ 8	空气	
	AZ62M	T2	—	—	—	320 ~ 350	4 ~ 6	空气	
		T4	380 ± 5	—	—	—	—	—	
	AZ80M	T2	—	—	—	200 ± 10	1	空气	
		T6	415 ± 5	—	—	175 ± 5	10	—	
	ME20M	T2	—	—	—	280 ~ 320	2 ~ 3	空气	
	ZK61M	T1	—	—	—	150	2	空气	
		T6	515	2	水	150	2	空气	
铸造镁合金	ZM1	T1	—	—	—	175 ± 5	28 ~ 32	空气	
		T1	—	—	—	195 ± 5	16	空气	
	ZM2	T1	—	—	—	325 ± 5	5 ~ 8	空气	
	ZM3	T1	—	—	—	250 ± 5	10	空气	
	ZM4	T2	—	—	—	325 ± 5	5 ~ 8	空气	
		T4	570 ± 5	4 ~ 6	压缩空气	—	—	—	
		T6	570 ± 5	4 ~ 6	压缩空气	200	12 ~ 16	空气	
	ZM5	I	T4	415 ± 5	6 ~ 12	空气	175 ± 5	16	空气
		I	T6	415 ± 5	6 ~ 12	空气	200 ± 5	8	空气
		II	T4	415 ± 5	6 ~ 12	空气	175 ± 5	16	空气
		II	T6	415 ± 5	6 ~ 12	空气	200 ± 5	8	空气
	ZM6	T6	530 ± 5	8 ~ 12	压缩空气	205	12 ~ 16	空气	
	ZM8	T6	480	24	空气	150	24	空气	

4) 钛及其合金的热处理加热温度和保温时间, 如表 2-39 ~ 表 2-41 所示。

表 2-39 钛及钛合金去应力退火加热温度和保温时间

牌 号	加热温度/℃	保温时间/h	牌 号	加热温度/℃	保温时间/h
工业纯钛 <sup>①</sup>	480 ~ 595	0.25 ~ 4	TA5	640 ~ 660	1 ~ 1.5
TA4	640 ~ 660	1 ~ 1.5	TA6	640 ~ 660	1 ~ 1.5

(续)

牌号	加热温度/℃	保温时间/h	牌号	加热温度/℃	保温时间/h
TA7 <sup>②</sup>	610~630	1~1.5	TC6 TC7 TC9 TC10 <sup>④</sup> TB2	630~670	1~1.5
TA8	610~630	1~1.5		550~650	0.5~2
TC1	520~560	1~1.5		550~650	0.5~4
TC2	550~580	1~1.5		480~650	1~8
TC3	550~650	0.54		610~630	1~1.5
TC4 <sup>③</sup>	580~620	1~1.5			

① 可采用的规范: 540℃, 0.5~1h; 480℃, 2~4h; 427℃, 8h。

② 可采用的规范: 540~650℃, 0.25~4h。

③ 可采用的规范: 480~650℃, 1~5h, 或用590℃, 1h。

④ 可采用的规范: 590℃, 2h。

表 2-40 钛和钛合金的各种退火加热温度和保温时间

牌号	退火处理类别	加热温度/℃	保温时间/h	冷却介质
工业纯钛	完全退火	500~700	30~120	空冷
TA4	完全退火	500~750	30~120	空冷
TA5	完全退火	750~850	30~120	空冷
TA6	完全退火	750~850	30~120	空冷
TA7	完全退火	750~850	—	空冷
TA8	完全退火	750~800	60~120	空冷
TC1	完全退火	650~730	—	空冷
	等温退火	840±10	—	炉冷
		650±10	60~90	空冷
TC2	完全退火	650~730	—	空冷
	等温退火	840±10	—	炉冷
		650±10	60~90	空冷
TC3	完全退火	700~800	60~120	空冷
TC4	完全退火	700~800	60~120	空冷
	等温退火	840±10	60~90	炉冷
		550±10	60~90	空冷
	多次退火	730℃以55℃/s冷到565℃	240	炉冷, 空冷
		950℃以55℃/s冷到565℃	—	炉冷, 空冷
		675℃以55℃/s冷到565℃	60	炉冷, 空冷
	预防白点退火	700~810℃炉冷到590℃	30~120	炉冷, 空冷

(续)

牌号	退火处理类别	加热温度/℃	保温时间/h	冷却介质
TC6	完全退火	750 ~ 850	60 ~ 120	空冷
	等温退火	870 ± 10		炉冷
		650 ± 10	60 ~ 90	空冷
TC7	完全退火	800 ~ 850	60 ~ 120	空冷
	双重退火	920 ± 10		空冷
		590 ± 10		空冷
TC9	完全退火	600	60	空冷
TC10	完全退火	700 ~ 830	45 ~ 120	空冷
TB2	完全退火	800 ± 10	30	空冷

表 2-41 钛合金固溶处理和时效加热温度和保温时间

牌号	固 溶 处 理			时 效		
	加热温度/℃	保 温 时间/h	冷 却 介 质	加 热 温 度/℃	保 温 时间/h	冷 却 介 质
TC3	800 ~ 850	—	水	420 ~ 500	4 ~ 6	空气
TC4	925 ± 10	0.5 ~ 2	水	500 ± 10	4	空气
	900 ~ 950	0.5 ~ 1	水	510 ~ 590	2 ~ 3	空气
TC6	840 ~ 880	1 ~ 1.5	水	550 ~ 600	2 ~ 4	空气
TC9	900 ~ 950	1 ~ 1.5	水	500 ~ 600	2 ~ 6	空气
TC10	870 ~ 930	0.25 ~ 5	水	540 ~ 620	4 ~ 8	空气
TB2	800 ± 10	0.5	水	500 ± 10	8	空气

## (6) 粉末冶金件的热处理加热温度和保温时间

1) 铁基粉末冶金件的淬火回火工艺参数, 如表 2-42 所示。

表 2-42 铁基粉末冶金件的淬火回火工艺参数

合 金 类 别	淬 火	回 火
铁碳系列		
铁碳铜系列	790 ~ 900℃ 加热后油中冷却	175 ~ 250℃ 加热, 保温 0.5 ~ 1.0h 后空冷

2) 几种典型钢结硬质合金的淬火工艺参数, 如表 2-43 所示。

表 2-43 几种典型钢结硬质合金的淬火工艺参数

牌号或代号	淬火设备	淬火工艺条件					淬火硬度 HRC
		预热温度 /℃	预热时间 /min	加热温度 /℃	保温时间 <sup>①</sup> 按速率计 / (min/mm)	淬火冷却介质	
GT35	盐浴炉	800 ~ 850	30	960 ~ 980	0.5	油	69 ~ 72
R5	盐浴炉	800	30	1000 ~ 1050	0.6	油或空气	70 ~ 73

(续)

牌号或代号	淬火设备	淬火工艺条件					淬火硬度 HRC
		预热温度 /℃	预热时间 /min	加热温度 /℃	保温时间 <sup>①</sup> 按速率计 / (min/mm)	淬火冷却介质	
R8	盐浴炉	800	30	1150 ~ 1200	0.5	油或空气	62 ~ 66
T1	高温盐浴炉	800	30	1240	0.3 ~ 0.4	600℃盐浴空冷	73
D1	高温盐浴炉	800	30	1220 ~ 1240	0.6 ~ 0.7	560℃盐浴油冷	72 ~ 74
TLMW50	盐浴炉	820 ~ 850	30	1050	0.5 ~ 0.7	油	68
GW50	箱式炉	800 ~ 850	30	1050 ~ 1100	2 ~ 3	油	68 ~ 72
GJW50	盐浴炉	800 ~ 820	30	1020	0.5 ~ 1.0	油	70

① 保温时间 = 工件有效尺寸 × 热透速率, min。

3) 几种时效硬化型钢结硬质合金的淬火工艺参数, 如表 2-44 所示。

表 2-44 几种时效硬化型钢结硬质合金的淬火工艺参数

牌号 Ferro-TiC	基体类型	热处理工艺	牌号 Ferro-TiC	热处理工艺	硬度 HRC	
		固溶处理		时效硬化	退火态	硬化态
M-6 M-6A M-6B	超低碳高镍马氏体时效钢	在 816℃ 下保温 1 ~ 1.5h 后空冷	M-6	在 482℃ 下保温 3 ~ 6h 后空冷	49	63
MS-5			M-6A		54	67
HT-2			M-6B		58	68
MS-5	镍铬马氏体不锈钢	在 980℃ 下保温 30min 后空冷	MS-5	在 482℃ 下保温 10h 后空冷	46 ~ 50	60 ~ 62
HT-2	铁铬镍奥氏体合金	在 1093℃ 下保温 15h 后空冷	HT-2	在 788℃ 下保温 8h 后空冷	43 ~ 45	51 ~ 54

#### 4. 热处理的冷却方式及其冷却速度的确定

热处理冷却方式, 根据组织转变产物的形成特点分为连续冷却和等温冷却。连续冷却使用得最为普遍, 几乎在各种热处理工艺方法中都有应用。采用等温冷却方式的处理结果, 组织及其性能均匀一致、应力小, 但操作比连续冷却麻烦, 成本也较高些。

(1) 连续冷却方式 由于采用的冷却介质不同, 则冷却速度也不同, 分为以下几种:

1) 连续缓慢冷却: 如各种原材料及零件毛坯退火加热保温后的随炉冷却, 或埋灰冷却、缓冷坑、缓冷井、缓冷炉中冷却等。

2) 连续中速冷却: 如钢和铸铁正火和回火加热保温后的空冷、风冷、雾冷和高碳高合金钢制模具为减少淬火变形, 加热保温后模具刃口在金属板上或埋入金属粉末中冷却等。

3) 连续快速冷却: 如各种材料及零件淬火冷却和为避免回火脆性的回火加热保温后的水冷、油冷、盐碱水溶液冷和乳化液以及一定温度的熔盐、熔碱冷却等。

4) 连续负温冷却: 如高碳高合金钢制机械零件和刀具、模具、量具等的冷处理在固体二氧化碳加酒精、液氨、液氧中的冷却等。

5) 连续分级冷却: 有利于减小淬火应力和变形。例如, 钢和铸铁淬火的先慢冷后快冷的预冷淬火、先快冷后慢冷的分级淬火等。表 2-45 和表 2-46 所示分别为常用钢的预冷温度和高速钢分级回火与普通回火后性能比较。

表 2-45 常用钢的预冷温度

牌号	预冷温度/℃	牌号	预冷温度/℃
45	770 ~ 790	GCr15	720 ~ 740
40Cr	750 ~ 770	9SiCr	750 ~ 770
T7 ~ T12	720 ~ 740	3Cr2W8V	840 ~ 860
Cr12	730 ~ 750	Cr12MoV	1000 ~ 1100

表 2-46 高速钢分级回火与普通回火后性能比较

回火工艺过程	硬度 HRC	冲击韧度 $\sigma_{bb}/\text{MPa}$	挠度/mm	热硬性 HRC		回火程度	
				600°C	625°C		
560°C, 60min, 三次	64.1	27	2650	2.73	60.2	58.4	回火充分
590°C, 30min, 一次	64.5	21	2390	2.29	60.6	58.6	回火一般
(590°C, 30min) + (560°C, 60min)	64.5	26	2650	2.79	61.3	58.7	回火充分
(590°C, 20min) + (560°C, 30min) + (560°C, 60min)	64.9	23	2400	2.51	61.0	59	回火充分

分级淬火的分级温度, 一般在所淬火钢的  $M_s$  点以上 10 ~ 20°C 或  $M_s$  点以下 10 ~ 20°C。

(2) 等温冷却方式 等温冷却方式越来越多地应用于钢和铸铁材料及其零件的预备热处理和最终热处理各种工艺方法中。例如:

1) 冷作变形用的结构钢和工具钢的等温退火。常用钢等温退火的等温温度及球化退火工艺参数, 如表 2-7 和表 2-8 所示。

2) 为减小变形和细化组织的等温正火。其操作为加热保温后, 通入热风冷却到所处理钢的等温转变图鼻部温度(约 550°C), 等温保持到转变终了线后空冷。适用于某些碳素钢和低合金钢淬火返修去除内应力和细化组织, 也可作为一些结构钢的最终热处理。

3) 为使零件性能强韧化和减小变形的等温淬火等。

几种常用钢的淬火等温温度如表 2-47 所示。

表 2-47 几种常用钢的淬火等温温度

牌号	等温温度/°C	牌号	等温温度/°C
30CrMnSi	325~400	9SiCr	260~280
65	280~350	W18Cr4V	260~280
65Mn	270~350	Cr12MoV	260~280
60Si2Mn	270~340	3Cr2W8V	280~300
T12	210~220		

4) 索氏体化等温淬火。该工艺主要适用于碳含量(质量分数)0.6%~0.9%，直径 $\phi 0.2\sim\phi 8.0\text{mm}$ 的碳素钢钢丝和直径 $\phi 1.0\sim\phi 6.0\text{mm}$ 的65Mn钢丝的热处理。这些钢丝经索氏体化处理并冷拔后，绕制成弹簧，不需淬火，仅经210~320°C回火即可使用。

索氏体化的等温淬火，即将符合上述牌号、规格的材料，加热到奥氏体后，在其过冷奥氏体发生珠光体型转变的下部某一温度范围等温保持一段时间，使其发生完全索氏体转变，处理后硬度一般为32~38HRC。索氏体化等温淬火是在专用的铅浴等温淬火生产线上进行的。其淬火加热温度按下式计算：

$$t = [900 - 50w(\text{C})] + 10d$$

式中  $t$ —淬火加热温度(°C)；

$w(\text{C})$ —钢中碳的质量分数(%)；

$d$ —钢丝直径(mm)。

钢丝在铅浴中的等温保持时间，应确保发生完全索氏体转变。钢丝在加热炉中的加热温度和在铅浴中的等温温度均与钢丝直径和碳含量有关，如图2-5和图2-6所示。

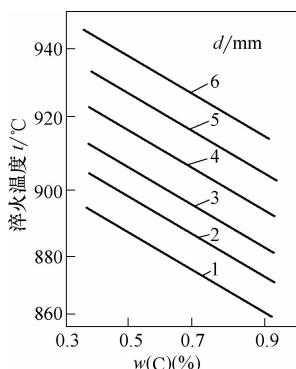


图 2-5 钢丝铅浴淬火温度与其碳含量及钢丝直径的关系

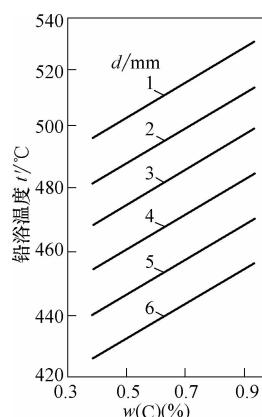


图 2-6 钢丝铅浴等温温度与其碳含量及钢丝直径的关系

## 5. 冷却的中转温度和终止温度的确定

冷却中转温度，是指金属材料及其零件在热处理冷却中途，调换两种冷却速度的接点温度。例如，零件加热后采用水-油双液淬火冷却时，从水冷转入油冷时的零件温度；冷却终止温度，是指金属材料及其零件在热处理冷却过程组织转变完成的温度。

热处理冷却过程的中转温度和终止温度直接影响其质量和生产效率，必须严格控制。

### (1) 预备热处理的中转温度和冷却终止温度的控制

#### 1) 完全退火的冷却终止温度与冷却速度有关。

①碳素钢和低合金钢完全退火时，在确保冷速足够缓慢（ $20 \sim 30^{\circ}\text{C}/\text{h}$ ）的情况下，则冷却到  $500 \sim 650^{\circ}\text{C}$  以上某温度，组织转变已经终了，即可出炉。但为了出炉操作方便，通常在炉中冷却到  $200^{\circ}\text{C}$  左右中转出炉空冷。

②中、高合金钢完全退火时，应以  $15 \sim 20^{\circ}\text{C}/\text{h}$  的速度冷却，且需冷至  $500^{\circ}\text{C}$  以下中转为空冷（仍有部分未转变的组织继续发生转变），直至转变终了温度为止。

③碳素铸钢毛坯件完全退火时，在  $120^{\circ}\text{C}/\text{h}$  左右的冷速条件下，可在  $250 \sim 450^{\circ}\text{C}$ （具体视碳含量和有效尺寸而定，参见表 2-5）出炉，中转为空冷直到转变终了温度为止。

④低合金铸钢毛坯件完全退火时，在  $80^{\circ}\text{C}/\text{h}$  左右的冷速条件下，可在  $200 \sim 350^{\circ}\text{C}$ （具体视碳含量和有效尺寸而定，参见表 2-5）出炉，中转为空冷直到转变终了温度为止。

完全退火时，冷却终止温度过低可能导致退火后组织转变产物中出现索氏体，造成硬度偏高；冷却终止温度过低，长时间占据设备影响其生产周期及生产率。如果退火后设备不急于另用，退火可以冷却到室温结束。

2) 去应力退火的冷却终止温度。为了预防冷却过程产生新应力，一般零件通常冷却到  $200^{\circ}\text{C}$  左右即可出炉，对于要求精度高的零件毛坯，去应力退火应在炉中冷却到室温后出炉。

#### 3) 正火的冷却终止温度。一般在中速冷却介质中冷却至室温为止。

#### (2) 最终热处理的中转温度和冷却终止温度的控制

1) 普通淬火的冷却终止温度，一般在单介质中连续冷却时，其终止温度为介质在常温下的温度。

2) 普通淬火在双介质（水-油）中连续冷却时，在水中冷却的中转温度一般为钢的  $M_s$  点以上  $10 \sim 20^{\circ}\text{C}$  为最佳，然后立即转入油中继续冷却到油在室温下的温度终止。

3) 普通淬火在双介质（水-热浴）中连续冷却时，在水中冷却的中转温度一般为钢的  $M_s$  点以上  $10 \sim 20^{\circ}\text{C}$  最佳，然后立即转入热浴中保持到零件内外温度与热浴温度一致后，立即转入空冷到室温终止。

4) 分级淬火时, 零件加热保温后直接淬入钢的  $M_s$  点附近的热浴中, 保持到零件内外温度与热浴温度一致后, 立即转入空冷到室温终止。等温淬火与分级淬火的区别是在热浴中停留时间较长(组织发生完全贝氏体转变为准)。

## 2.1.6 热处理辅助工序及其工艺守则

热处理辅助工序是对热处理主要工序而言, 其作用分为三种:

1) 一种是安排在热处理主要工序前的, 起预防产生某种缺陷的辅助工序。例如, 简易工装制作、零件的装夹、保护涂料的涂刷和烘干、焊接加强肋、预先变形的措施、对上序特殊技术要求项目的复检等。

2) 另一种是安排在主要工序后的, 挽救或预防某种缺陷的辅助工序。例如, 清洗、清理、校正变形、质量检验、防锈蚀等。

3) 再一种是通用的辅助工序。例如, 材料及其零件的运输、装卸、防火、防尘、介质制备等。

热处理工艺设计时, 一般不作辅助工序的具体工艺参数的确定, 仅是标明辅助工序名称及其质量要求。例如, 零件装夹方法及要点、清洗(清理)及注意事项、校正及其变形度要求等。

由于辅助工序对主要工序起着补充或替代作用, 不允许随意操作而影响热处理件的整体质量, 因此, 热处理工艺设计工作, 包括设计一套“辅助工序工艺操作守则”。例如, 零件清洗(清理)操作守则; 零件喷丸(喷砂)操作守则; 序间防锈(发蓝)操作守则; 零件变形校正操作守则; 加热和冷却介质制备守则等, 作为辅助工序质量控制的技术措施。下面, 重点推荐几项现场实用的辅助工序操作守则。

### 1. 零件清洗工艺守则

(1) 适用范围 清洗工序旨在清除零件表面的油污、赃物及盐渣等, 主要应用于油淬火、分级淬火和热油回火后的零件。

(2) 清洗方法 根据零件的清洁度要求、生产方式及其批量和零件结构特点等选择人工清洗或机械清洗等具体方法。其中, 机械清洗有: 一般清洗机中清洗、超声波装置中清洗、真空清洗设备中清洗和脱脂炉中清洗等。

(3) 清洗介质 金属清洗剂主要是水溶型清洗液, 其配方及清洗工艺规范如表2-48所示。

表 2-48 常用水溶型清洗液配方及清洗工艺规范

序号	溶液成分	工艺规范	
		工作温度/℃	处理时间/min
1	碳酸钠( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ )5~8g/L水溶液	90~100	20~30
2	碳酸钠( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ )10~15g/L水溶液	100	15~20
3	氢氧化钠( $\text{NaOH}$ )15g/L水溶液	100	15~20
4	氢氧化钠( $\text{NaOH}$ )5g/L 碳酸钠( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ )10g/L 水溶液	100~120	20~30

#### (4) 清洗操作要点

- 1) 清洗过程一般在清洗液沸腾状态下进行，连续使用时，每0.5h加入溶液总量的(质量分数)1.5%~2.0%的清水，以保持溶液浓度。
- 2) 处理时间，一般以将油污和赃物清除干净为准。
- 3) 当零件表面附着重油时，应首先用流水冲洗一次后在清洗液中煮沸30min左右，再用流水冲洗，最后在沸水中煮沸2~3min取出，用热风吹干水分以防锈蚀。
- 4) 零件表面附有氯化钡残盐时，应采用氢氧化钠水溶液清洗，不得用碳酸钠水溶液清洗。
- 5) 当零件表面附有硝酸盐时，在清水中清洗即可，清洗后吹干。
- 6) 清洗液应定期更换，随时清除液面上的浮着物和液底的沉积物。
- 7) 完工后盖上槽盖，以防尘土和赃物落入，切断电源。

### 2. 喷丸和喷砂工艺守则

- (1) 适用范围 喷丸和喷砂旨在清理零件表面氧化皮和不易清除的残盐、残碱等。喷丸和喷砂工艺主要适用于淬火和低温回火后的高硬度零件，对于中等硬度零件，有后序加工余量时也可采用。喷丸同时具有强化零件表面疲劳强度的作用。
- (2) 使用的砂粒和弹丸 喷丸和喷砂在专用的喷砂机和抛丸机中进行，喷砂的砂粒最好采用强度较好的5号石英砂，也可选用干净、粒度较均匀的河砂或海砂。丸的粒度为 $\phi 0.8\sim 1.5\text{mm}$ (适用于中小零件)或 $\phi 2.0\sim 3.0\text{mm}$ (适用于毛坯件)。

#### (3) 喷砂和喷丸的操作要点

- 1) 喷砂操作可在吸砂式喷砂机上进行。其压缩空气的压力通常为0.49~0.58MPa。
- 2) 手动喷砂时，喷嘴应不断移动或翻转零件，以便喷得均匀一致和避免局部被喷坏。
- 3) 对于细长件、薄壁件和硬度低的零件，应降低压缩空气的压力，通常为0.3~0.4MPa，且喷嘴不得垂直喷吹零件。
- 4) 对精密零件喷砂时，应使用含有少量粉粒的旧砂进行喷吹，且喷嘴距被喷零件为350~450mm，压缩空气的压力通常以0.3~0.4MPa为宜。
- 5) 喷丸时，按照所用喷丸机的使用说明书，并参照喷砂操作要点执行。

### 3. 零件表面发蓝工艺守则

零件表面发蓝处理，即将零件置于一定浓度的碱和氧化剂组成的溶液中加热煮沸，使其表面形成一层致密的氧化薄膜，以抵抗零件在存放和使用过程中表面被锈蚀；同时增加零件表面的美观和光泽。

- (1) 适用范围 发蓝主要适用于成品零件整体或局部的长期防锈并增加其美观性。

## (2) 零件表面发蓝技术要求

1) 表面氧化层厚度要求：零件发蓝后表面层组织应为  $0.6 \sim 0.8 \mu\text{m}$  厚度的致密的氧化膜。

2) 表面色泽要求：零件发蓝后表面色泽视钢种而别，碳素钢和一般低合金钢表面为黑色；铬硅钢表面为红棕色或棕黑色；高速钢表面为黑褐色；铸铁表面紫褐色等。

3) 氧化膜疏松度要求：零件发蓝并皂化后，在表面无油状态向其滴数滴质量分数为 3% 的中性硫酸铜溶液，在 30s 内不得显现出铜的颜色。

(3) 表面发蓝操作流程 零件装夹→清洗除油→冷水清洗→酸洗除锈→冷水清洗→发蓝处理→冷水清洗→沸水清洗→皂化→浸油→检验→包装。

## (4) 零件表面发蓝液的配制：

1) 热发蓝溶液的配制。通常使用的热发蓝液，推荐以下成分（质量分数）：氢氧化钠（NaOH）100g/L + 碳酸钠（Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>）30g/L + 含水磷酸三钠（Na<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> · 12H<sub>2</sub>O）30g/L，其余为水。

2) 皂化液的配置。用 20 条民用肥皂 + 200L 水，按比例配置。

(5) 热发蓝溶液的调节 伴随使用过程亚硝酸钠（NaNO<sub>2</sub>）和水分不断消耗，一旦着色呈灰色或红色，说明发蓝液温度偏低或偏高（一般情况下，温度应控制在 138 ~ 142°C 最佳）。发蓝液温度过高，说明水分偏少，需补充水分；或发蓝液温度过低，说明水分偏多，则需继续加热消耗水分。即随时根据发蓝液的温度变化，通过增加水分或消耗水分来调节发蓝液成分。

(6) 零件表面发蓝工艺 零件发蓝处理的温度和时间，与钢种有别，如表 2-49 所示。

表 2-49 零件发蓝处理的温度和时间

钢 种	温度/°C	时间/min
硅铬钢	138 ~ 142 入炉 145 ~ 146 出炉	60 ~ 120
碳素钢和低合金钢	142 ~ 145 入炉 146 ~ 150 出炉	90 ~ 120
高速钢	142 ~ 145 入炉 146 ~ 150 出炉	90 ~ 120

(7) 皂化处理 在 80 ~ 90°C 的皂化液中进行，一般停留 2 ~ 3min 后取出。

(8) 浸油 一般在 75 ~ 85°C 的全损耗系统用油 L-AN15（10 号机械油）中停留 1 ~ 2min 即可。

(9) 零件包装时，不得将水分和杂质混入其中。

#### 4. 零件变形校正工艺守则

(1) 适用范围 变形度超差的零件通过校正可以挽救其不合格。所推荐的各种校正方法，适用于细长件、薄片件、槽形件、圆环件、方框件以及各种异型件变形的校正。

(2) 常用的校正方法 常用的校正方法如表 2-50 所示。

表 2-50 零件热处理变形的各种校正方法

类 别	方 法	
冷态校正	冷压校正法	1) 正向冷压校正 2) 偏向冷压校正 3) 碰弯冷压校正
	冷态正敲校正法	1) 冷态正向锤击校正 2) 冷态预弯锤击校正
	冷态反敲校正法	1) 冷态反向锤击校正 2) 冷态反向喷砂校正
热态校正	热压校正法	1) 烧红热压校正 2) 局部热压校正
	局部烘热校正法	局部烘热校正
	热态反敲校正法	热态反向锤击校正
	热点校正法	1) 热点校正 2) 热点、加压校正
淬火状态校正	淬火趁热校正法	1) 趁热正向加压校正 2) 趁热嵌镶校正 3) 趁热滚搓校正
	残留奥氏体稳定化校正法	1) 淬火时残留奥氏体稳定化校正 2) 回火时残留奥氏体稳定化校正
淬火状态校正	局部速冷校正法	1) 正向局部速冷校正 2) 反向局部速冷校正 3) 内孔收缩校正
回火状态校正	回火校正法	1) 回火加压校正 2) 回火定形校正 3) 偶件配合回火校正

#### (3) 各种校正方法的操作守则

1) 冷压校直法：图 2-7 所示为零件在室温状态下，将静压力施加在其承受拉应力的一侧（即弯曲零件的凸面），使其发生塑性变形，去除压力后即可将变形矫

正过来的方法。这种校直方法适用于对硬度低于35HRC的各种零件的校正；或用于高硬度的渗碳件和表面淬火件；也适用于细长的弹性零件的校正。

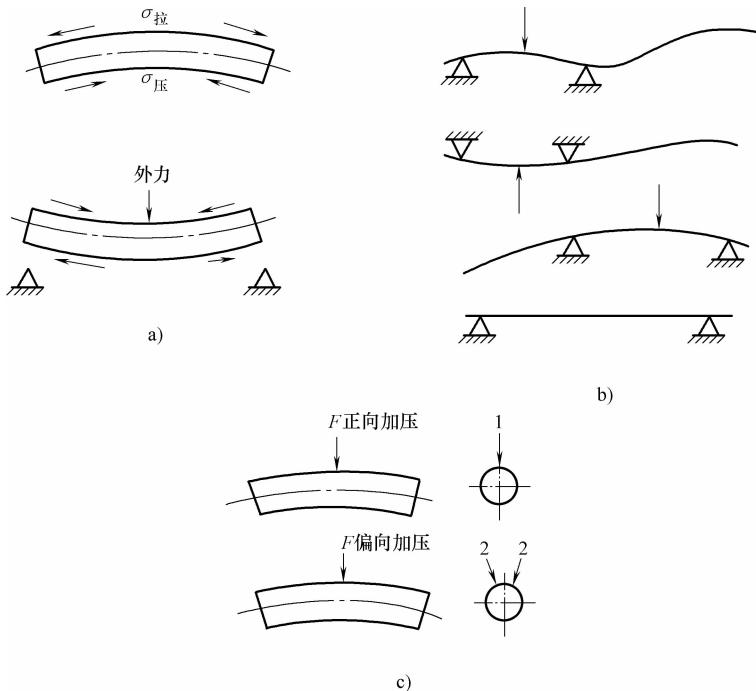


图 2-7 冷压校直法

a) 冷压校直示意图 b) “S”形变形校直步骤 c) 偏向加压冷压校直示意图

冷压校正操作的要点：

①为了防止支撑点和施压点受到损伤，压头和支撑垫应选用软质材料（如铜和软铁等）制作。

②对于形成“S”形的零件校直时，分两步进行，即应首先校直成一个弯后再继续进行第二步操作。

③冷压校正时，由于一般材料受力变形后均有回弹性，所以应当遵循“矫枉必须过正”的规律，即将变形压到比理想的状态稍过一些，靠回弹将过量的变形矫正过来。

④施压过程应缓慢加力，以免反向变形量过大，甚至零件被压断。

2) 冷态正敲（正击）校直法：该校正方法与冷压校直原理相同，也是通过塑性变形使原来变形被矫正过来。其施加外力的方式有别。冷敲正向校直操作如图2-8所示。

冷态正敲校直的操作要点：

①如果被敲零件硬度为25~35HRC时，应选用铜质材料制作锤子，以免损伤被校正的零件。在生产实践中，为了校平铁皮和极薄的零件，需要用木质或橡皮锤

子等。

②在生产中可用这种方法根据变形规律在热处理前将零件预先反向变形，通过热处理变形再将预先的变形矫正过来，达到允许的变形范围，即所谓的“预弯校正法”。

3) 冷态反敲(反击)校直：在室温下用高硬度钢锤连续敲击变形零件的凹处，使其压应力得以松弛；同时，零件的凸面在平台受力后的反作用下，其拉应力也得以松弛，从而原有的变形被矫正过来。冷敲法适用于对硬度大于50HRC的高硬度零件的变形校正。图2-9为冷态反敲校直法示意图。

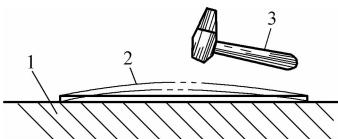


图 2-8 冷态正敲校直示意图  
1—平台 2—零件 3—锤子

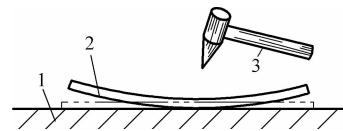


图 2-9 冷态反敲校直法示意图  
1—平台 2—零件 3—锤子

冷态反敲校正操作要点如下：

①使用的锤子用淬透性好、硬度和韧性兼备的材料（如高速钢等）制作，硬度62~64HRC为佳；平台和垫铁应选用高强度灰铸铁或硬度为40~45HRC的钢板制作，在锤击时可起减振和一定的退让作用。

②操作时，应从凹面最低点开始，有规律地向轴件两端逐渐过渡。

③校正板件时，锤子一端做成R1~3mm的圆锥形；校正轴件时，作成刃部R1~3mm的刀形，以便敲击的落点更准确、力量更集中。

④锤击点要对应于零件与平台（或垫铁）接触处，且落锤方向应垂直于平台（或垫铁）。锤击频率以2~3次/s为宜。

在生产中，对产生碟状变形的高硬度零件，如片铣刀等进行冷敲时，锤子落点应在中心到外周的中间部分，并进行对称敲击。如对图2-10所示的碟形翘曲的片铣刀校平时，应首先在1和1'点敲击数十次后，改为敲击2和2'点。以此类推，均匀对称确定敲击点。

对于薄板件和细长件，如直径或厚度小于5~6mm的淬火回火后高硬度零件校直或校平时，用喷

砂方法也可起到冷态反敲作用，即用砂粒强力喷打零件的凹面十分有效。为了不损伤零件，应根据零件形状和硬度等特点，适当调整砂粒粒度和喷吹距离以及喷吹部位等。

应当指出，对于淬火后未经回火的零件不宜用这种方法校正，以免发生脆断。为了防止高硬度的零件和锤子在校正时掉渣伤人，操作者应戴好劳动保护手套和眼

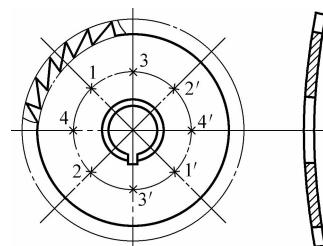


图 2-10 碟形翘曲的片铣刀校平示意图

镜。

4) 热压校正法: 热压校正可以将零件加热到接近回火温度, 然后在变形的凸面施加压力, 使变形被矫正过来; 也可在变形最大的部位用氧乙炔焰或高频感应等加热到稍高的温度, 边加热边施加外力的方法进行校正, 如图 2-11 所示。

对于经淬火回火的重要零件热压校正时, 其加热温度应不超过回火温度, 否则零件产生软点, 影响其使用性能。对于一般零件的不重要部位可以稍许降低硬度, 但最低硬度不得低于规定硬度下限的 5HRC。热压校正的要点如下:

①热压校正时, 应注意加热温度与压力大小以及加压时间的关系。在钢的奥氏体状态施加的压力比珠光体状态要小得多, 而且时间要短; 钢在 500~650℃ 加热时, 可采用较小压力保持相对较长时间的方法进行校正; 温度再低, 用较大压力才能将变形矫正过来。

②在局部加热校正时, 应尽量减小加热面积, 避免大面积降低硬度。

③对于较低温度的热压校正, 为避免被压断, 可校正到一定程度后进行一次不超过回火温度的去应力退火, 然后再继续进行校正操作。

5) 局部烘烤校正法: 局部烘烤校正是零件淬火后在其凸起部分, 用氧乙炔焰缓慢烘烤 (烘烤温度不超过回火温度), 使被烘烤部分的淬火马氏体转变为回火马氏体, 则发生体积收缩, 从而将变形矫正过来。

这种方法在高速钢制作的工模具上应用, 获得明显效果。实践表明, 烘烤温度以 300~400℃ 为宜。烘烤后应立即进行回火, 以免产生裂纹。

6) 热态反敲校正法: 这种校正操作方法与冷态反敲方法相同, 只是零件在热态下的应力在敲击时更易于松弛。

热态反敲校正法仅适用于淬火回火后具有热硬性的高速钢和高铬钢制件。因为它们在淬火回火后在热态下具有很高的硬度, 敲击时不会损伤零件。值得指出, 热态反敲校正时应在第 2、3 次回火后进行。如果在淬火或一次后进行, 会因残留奥氏体过多而伤及零件表面。

7) 热点校正法: 用氧乙炔焰小面积加热零件变形的凸起部分, 然后急速冷却下来 (碳素钢用水冷, 合金钢用油冷), 使变形被矫正过来的操作。其校正原理如图 2-12 所示, 即零件局部加热过程, 其加热部分欲膨胀但受到周围冷态基体的限制, 使加热部分产生一定的压应力, 从而产生压缩的塑性变形, 随后由于急速冷却致使收缩, 如此变形得以矫正。

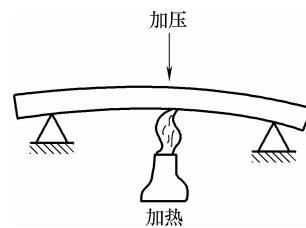


图 2-11 边加热边施加外力的校正法示意图

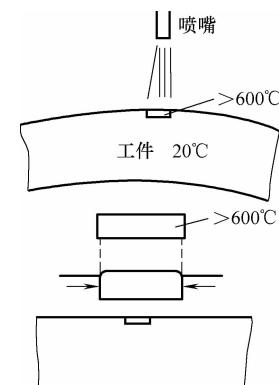


图 2-12 热点校正原理示意图

热点校正法广泛应用于硬度  $35 \sim 40\text{HRC}$  以上的零件上。例如，含碳（质量分数） $0.35\% \sim 1.3\%$  的碳素钢，经整体淬火、低温回火后的零件和渗碳淬火件以及表面淬火件均可用这种方法校正。实践表明，渗碳层和表面淬火层深度小于  $0.8 \sim 0.9\text{mm}$  时，变形不易被矫正。具有高硬度的零件采用热点校正法矫正变形效果最好。

热点校正变形时，应注意以下要点：

- ①淬火零件须回火后再进行热点校正操作，否则，容易产生校正裂纹。
- ②合金钢零件最好加热到  $160 \sim 180^\circ\text{C}$  预热后，趁热进行热点校正变形；也可在零件回火温度下进行校正，即边冷却边热点校正操作。

③热点校正法加热温度一般为  $750 \sim 850^\circ\text{C}$ 。其加热时间不宜过长，通常加热时间为  $3 \sim 5\text{s}$ 。否则，热影响区过大，将影响周围硬度。

④热点处的加热面积，视零件的有效截面而定，一般在  $\phi 10 \sim \phi 20\text{mm}$  范围内，即零件有效截面越大，随之加热面积可相应增大。

⑤零件变形较大时，可采用多点校正，甚至在凸起一侧重新连续表面淬火一次。变形被矫正后进行一次低温回火，以便消除应力。

⑥采用热点校正法，尽量在零件的不重要部位进行，不得影响零件关键部位的使用性能。

⑦实践表明，热点校正与冷压校正联合操作，可收到更好的矫正变形效果。如图 2-13 为热点校正与冷压校正联合操作的典型案例：零件材料为 45 钢整体淬火和回火后硬度为  $40 \sim 45\text{HRC}$ ，槽口胀大。为校正变形可用三种不同方式，如图 2-13b、c 和 d 所示。利用加热反敲和热点校正联合操作，可将环形零件圆度校正到  $0.20\text{mm}$  以下。如图 2-14 所示的外径  $\phi 604\text{mm}$ 、内径  $\phi 430\text{mm}$ 、厚度  $12\text{mm}$  的 45 钢圆环件，要求硬度  $35 \sim 38\text{HRC}$ ；热处理后平面度变形小于  $5\text{mm}$ 、圆度不大于  $0.20\text{mm}$ 。淬火、回火后，用加热反敲法将平面度矫正到  $0.5\text{mm}$  以下（由于后序磨削有加工余量，校平时允许有深度不大于  $0.4\text{mm}$  的凹坑）。然后用热点校正法矫正圆度，即在圆环长轴的外径两端处和短轴的内径两端处分别进行热点校正，使圆度小于  $0.20\text{mm}$  为止。

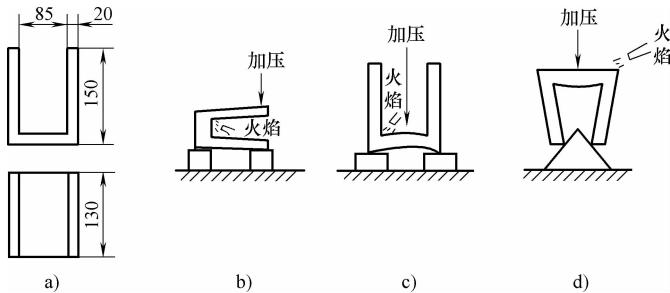


图 2-13 槽型零件热点加压校正示意图

8) 淬火趁热校正法：即在零件淬火冷却过程中，当温度冷却到接近其  $M_s$  点或稍许低于  $M_s$  点（过冷奥氏体具有高塑性和马氏体转变过程具有超塑性）时，进行的校正操作。

这种方法，适用于所有钢制零件淬火变形的校正，特别是淬透性好的合金钢零件用油淬火冷却时，其变形的校正尤其便于控制温度。

淬火趁热校正时，应注意以下要点：

①零件在淬火冷却介质中应正确控制冷却的中转温度。合金钢在油中淬火冷却时，可根据零件出油时表面附油的状态判断零件所具有的温度，即在零件冷却到一定程度后间断地提出油面进行观察，一般附油不冒黑烟，仅是热油往下滚并略带微烟，即可出油转而边空冷边趁热校正。碳素钢水冷淬火的中转温度，可根据零件在水中发出“吱吱”声并有轻微振动（零件温度约为  $150 \sim 200^{\circ}\text{C}$ ）时，立刻提出转而边空冷边趁热校正。

②将零件从油中取出后立即揩净表面污油和残杂质，避免影响变形度检查的准确性。

③由于零件冷却过程，伴随校正过程还有新的马氏体不断产生，因此，这种趁热校正需反复检查和校正，直至零件冷却到温度  $50 \sim 80^{\circ}\text{C}$  为止。终止校正的温度过高，会产生新的变形；温度过低，容易被压断。

④校正合格的零件应吊挂存放，不得堆放，以免产生新的变形。

9) 残留奥氏体稳定化校正法：这是根据高合金钢（如高速钢和高铬钢等）淬火后可以保留大量（有时可达体积分数  $40\% \sim 50\%$ ）塑性良好的残留奥氏体的特性，利用这种特性在室温下进行冷压校正的操作，然后通过回火催变反应，使稳定的残留奥氏体转变为马氏体，使零件变得坚硬和强韧。这种校正方法的突出特点是，零件淬火后可以在室温下从容地进行校正操作，无须趁热校正法那样必须淬火与校正操作紧张的配合。因此，特别适用于批量生产。这种方法特别适用于高速钢制作的细长刀具，如细长拉刀和细长钻头等。

使高速钢淬火后获得大量残留奥氏体的方法有两种：

①按常规加热温度加热并保温后，先淬入  $150 \sim 160^{\circ}\text{C}$  热浴（油或熔盐）中停留  $2 \sim 2.5\text{ min}$ ，然后转入  $280 \sim 320^{\circ}\text{C}$  的另一硝盐浴中停留  $15 \sim 20\text{ min}$ 。最后空冷到室温。

②另一种方法是，将加热好的零件直接淬入  $280 \sim 320^{\circ}\text{C}$  硝盐浴中，停留  $45 \sim 60\text{ min}$ ，然后空冷到室温。

随后在水中清洗零件上附着的残盐并刮净顶尖孔，继而检查其变形度和进行冷压校正操作。实践表明，经这两种工艺处理后，组织中均可保留  $35\% \sim 45\%$ （体积分数）的残留奥氏体。在这种情况下，淬火后硬度不够均匀，一般在  $57 \sim$

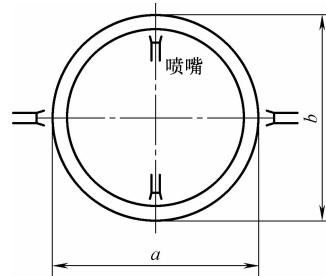


图 2-14 热点法校正圆环件

椭圆度示意图

63HRC 范围内。但经过正常的 3~4 次高温回火后，二次硬化使硬度达到 63~66HRC。回火后一旦产生微小变形，用冷态反敲法弥补即可。

10) 局部速冷校正法：是在零件淬火冷却过程中，强化易产生凸起部分的冷却速度，使该部分产生较大的拉应力，以此将变形校正过来的方法。

局部速冷校正操作需要与淬火密切配合。对于大批生产的零件，在摸清变形规律的基础上，可采用不同方法达到局部速冷。例如，可以通过控制零件投入淬火冷却介质时各部位的先后时间；或整体冷却前对凹入一侧进行水淋；或使用专用夹具减缓凸起部分在  $M_s$  点以下的冷却速度；或控制零件不同部位提出淬火冷却介质的时间等。此外，还可以将零件冷却到  $M_s$  点稍上某温度时立即提出零件，然后让凸起部分速冷，其余部分稍慢冷却。图 2-15 所示为扁拉刀局部速冷校正示意图。

局部速冷校正操作要点如下：

① 正确掌握零件从淬火冷却介质中的提出时间，对于高速钢一般在 450℃ 左右即可；其他钢种按其  $M_s$  点以上 20~30℃ 即可。

② 提出后，如果零件内部热量传到表面时，可重新将零件浸入淬火冷却介质中冷却片刻，即不得使表面温度超过  $M_s$  点以上 20~30℃。

③ 零件变形被矫正后，应立即使其各个部分进行均匀冷却，避免产生新的变形。

综上所述，无论零件凹面速冷或是凸面速冷，均为有意使凹面产生拉应力，凸面产生压应力，以抵消原来正常冷却时产生的凹面压应力和凸面拉应力。

另外，利用局部速冷还可以收缩套类和环类零件内孔，以挽救不合格品。生产实践表明，一定壁厚的套类或环类零件淬火后，通常因内孔胀大导致不合格。此时，可以加热到 650~730℃ 保温透烧后，利用局部速冷方法收缩内孔。例如，将图 2-16 所示的 T8 钢模具在炉中加热到 730℃ 保温透烧，取出后立即用两块木板堵住内孔，用夹钳夹住木板在水中只冷却零件周围外表面，使之向内收缩，经 1~3 次操作后内孔可收缩 0.20~0.25mm。

再如，内孔直径  $\phi 54 \times 43\text{mm}$  的 45 钢套筒 5 件，经 660℃ 加热透烧后，用木板夹持两端在水中冷却，每件先后进行三次。结果内孔总收缩量为 0.35~0.65mm。

为了消除内应力，缩孔后应进行一次低温回火。

11) 回火加压校正法：对于要求一定硬度的零件，采用回火过程加压校正变形比冷压校正变形方便得多，而且效果也好。例如，薄片型零件

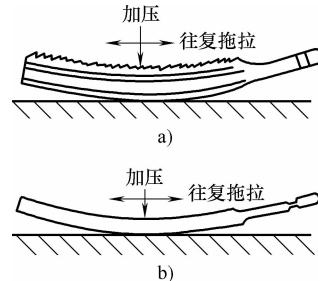


图 2-15 扁拉刀局部速冷校正示意图

a) 扁拉刀正面变形的校正  
b) 拉刀侧面变形的校正

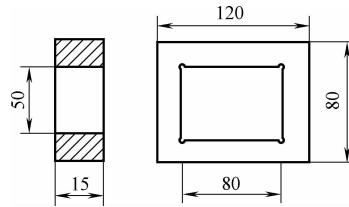


图 2-16 收缩内孔件案例

多采用图 2-17 所示夹具进行回火过程加压校正变形。其操作要点如下：

①所用的压板应在回火温度下具有足够的强度，不得在加压时产生变形。

②零件摆放时，应相邻两件凸面与凸面相对，凹面与凹面相对。

③装炉时，只对零件稍许加压，使其不移动即可。不得加压过大，以免零件在淬火状态下夹压而发生脆裂。

④回火出炉后立即利用楔铁夹压零件，直至各相邻零件无间隙为止，随后再放入炉中保持一定时间（一般不少于 0.5h）即可。

12) 偶件配合回火校正法：机械中的偶件或模具中的无间隙凸、凹模等，单件分别回火后，往往处理后配合间隙超差。此时，可以通过机械加工方法分别保证两件的精度，然后将两件装配好后一起回火，可以收到较好效果。

13) 镊块回火校正法：图 2-18 所示凹模结构比较复杂且精度要求较高，即使淬火后用线切割方法加工，由于应力的松弛也会产生变形。此时，用镊块方法进行一次低温回火，可以确保硬度和尺寸精度均满足要求。

14) 回火定型校正法：图 2-19 所示为三种零件（圆锥套、螺旋弹簧和圆环件）回火定型示意图，即将零件在回火温度下压入满足精度要求的胎具上，然后再一起放入炉中继续正常回火，出炉后一起冷却到室温即可卸下胎具。

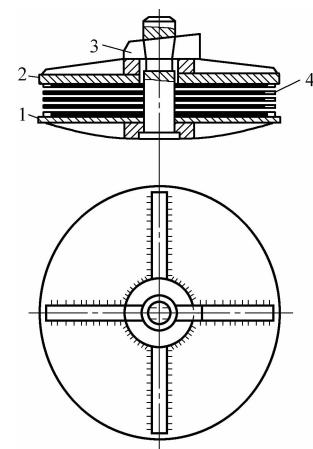


图 2-17 薄片零件回火过程  
加压夹具示意图

1—下压板 2—上压板  
3—楔铁 4—零件

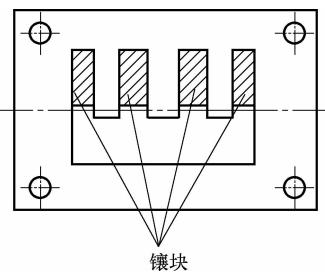


图 2-18 硅钢片凹模镊块  
回火校正示意图

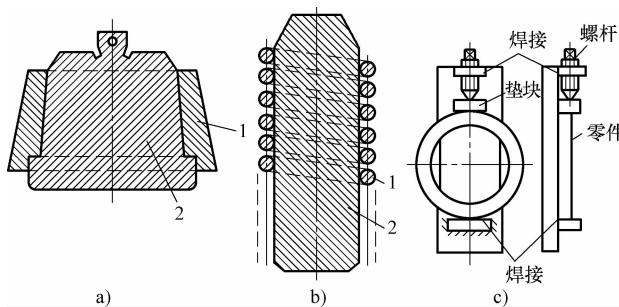


图 2-19 回火定型校正示意图

1—零件 2—胎具

### 5. 零件裂纹挽救工艺守则

(1) 有裂纹零件的处理原则 带有表面裂纹的零件，其处理原则分为三种情况：

1) 报废品：当零件的裂纹在后序加工过程可能不断扩展、或使用过程没有安全性保证、或使用性能不可靠，以及裂纹出现在重要零件上等。

2) 让步处理品：即有裂纹的零件，在没达到必须报废的程度时，且无须返修也有一定的使用价值的情况下，将其判为让步处理品（或次品）。

3) 返修品：即有裂纹的零件，经过返修有可能避免报废而成为让步处理品（或次品）。

然而，判为返修是有条件的。一般承受静载荷的零件，且裂纹存在于零件的不重要部位，则可通过一定措施予以补救。补救后不再有报废的条件，方可按让步处理品对待。如果有裂纹的零件工作时，承受动载荷、或是承受较大负载，则不得判为返修品而直接判为报废品。除非十分贵重的零件，在不影响安全性和使用性能的条件下，仅一定程度的影响使用寿命时，可另行考虑。

(2) 适用范围 本操作守则主要适用于有返修价值的、存在表面裂纹的零件。

(3) 挽救方法 对有返修价值的存在裂纹的零件，进行有效补救的方法大致有两种：

1) 裂纹的切除和焊补法：图 2-20 所示为在锻模本体与燕尾过渡处有裂纹的情况，建议参考下列处理方案。

①上模的裂纹长度小于 10mm，或下模的裂纹小于 35mm 的情况下，允许修补合格后使用。

②若  $a:b \geq 2$  时，裂纹深度在 25mm 以内，可以焊补后使用。

③若  $a:b \leq 2$  时，裂纹深度在 35mm 以内，也可以焊补后使用。

④如果裂纹深度超出上述规定时，则须报废。

⑤焊补时，应将裂纹全部切除，直至露出完全金属面为止，切口宽度最小不得小于 22mm，且切口和切槽必须便于焊补操作。

⑥焊补后，须经检验部门确认合格后才可转至下序或入库。

⑦焊补前，锻模要进行 450~550℃ 预热透烧，随即进行焊接。

⑧焊补时，用直流电或交流电均可。使用的焊条应符合或接近被焊模具的化学成分和性能。焊条规格选择直径  $\phi 4 \sim \phi 5$ mm 者即可。

⑨用直径  $\phi 4$ mm 焊条时，电流强度为 160~180A；用直径  $\phi 5$ mm 焊条时，电流强度为 180~200A。

⑩焊补后应立即放入 450~550℃ 炉中预热，然后升温到 650~680℃ 进行去应力退火。

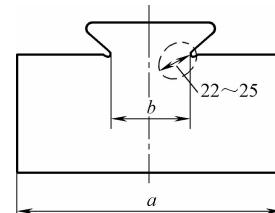


图 2-20 锻模裂纹  
切除示意图

⑪检查合格后，进行机械加工整形，然后进行正常淬火和回火。

2) 裂纹的截止和嵌镶法：对于某些零件产生裂纹后，还可以采用其他补救方法，即截止和嵌镶法。有些零件产生裂纹后，并不至于影响其使用性能和安全性，但裂纹继续扩展将带来其精度超差，导致最终失效。如此，怎样将裂纹终止于原有状态而不扩展，成为补救这种零件的主要问题。目前，多半采用截止法和嵌镶法。如图 2-21 所示为零件尖角处产生裂纹示意图，为了截止裂纹继续扩展，在裂纹最尖端钻一圆孔，即通过钻孔消除裂纹尖端的应力集中，从而阻止裂纹扩展。操作时，应注意两个要点：

①具有一定厚度的零件，应正、反两面观察哪一面裂纹较长以及两面裂纹的扩展方向是否一致等。钻孔的位置应以裂纹长的一侧为准，而且应将孔钻到对侧，并使孔缘落在对侧裂纹的尖端。否则，应在对侧裂纹尖端处进行补钻。

②钻孔直径视裂纹的宽度而定。一般钻孔直径以比裂纹宽度大 3 倍为宜。实践证明，彻底消除裂纹尖端应力集中现象，必须确保有  $R6mm$  以上的圆角。然而，在不必完全消除的情况下，圆角半径可以稍小些。

应当指出，裂纹的补救要充分估计到补救过程所需要的工时、材料以及补救后所具有的价值等。如果补救所需费用与新制品相差不大，除非是急用件或很贵重的零件外，不必进行补救。

## 2.1.7 零件简图的绘制及应用

(1) 零件简图的用途 在热处理工艺卡片中，通常需要附零件简图，其作用是：

1) 便于识别和核对零件。由于热处理工序多数是中间工序，处理对象多为零件的毛坯或半成品，其形状和尺寸与零件不一样，有时几种件混合装炉等，用简图核对零件毛坯或半成品比较方便。

2) 利用简图便于更清楚地说明工艺。对于很难用文字叙述清楚的内容，用简图表示则可以一目了然。例如，某零件需局部淬火，热处理过程需要保护的部位，化学热处理时零件需防渗的部位，淬火易于产生裂纹的部位以及规定检测硬度的位置等。

3) 企业生产过程一般不是每道工序都有零件图，或零件图很大使用不方便等，利用简图来表示则更便捷。

### (2) 绘制零件简图的要求

1) 应把零件在所处理的工序的实际形状和尺寸等清楚地表示出来，一般只画一个能说明问题的视图即可。

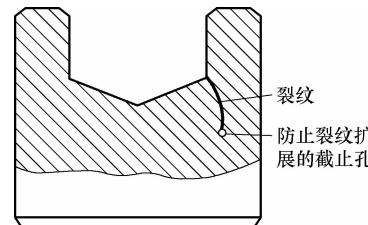


图 2-21 零件尖角处挽救  
裂纹示意图

2) 简图除标注零件外形或轮廓尺寸外,与热处理有关的尺寸也需标出,如局部淬火部位的尺寸,最厚和最薄尺寸,需控制变形部位的尺寸,检测硬度部位的深度尺寸等。

3) 绘制零件简图时,其线条粗细、虚实,剖面线、中心线等需按机械制图的一般规则进行绘制,但大小比例可根据实际需要确定而不受限制;倒角、表面粗糙度、台阶等可从简。

4) 如需在零件上切取试样,应在简图上标出其部位和尺寸。

5) 如有可能,可将装炉方式要求、装夹要求以及淬火方法要求等的示图与零件简图绘制在一起。

## 2.1.8 热处理设备的选用

(1) 热处理设备的选用 主要依据所要进行的热处理工艺方法、生产批量、被处理零件的尺寸及变形度要求、表面质量要求等来选用。

(2) 热处理设备技术参数的选择 主要依据是热处理件尺寸、生产批量大小以及热处理加热温度和零件精度要求等。常用的热处理设备的技术特性,参见附录E~附录M。

## 2.1.9 热处理工艺装备的设计

为了满足热处理工艺及其生产实施的需要,保证热处理质量和生产安全等,所使用的一切工具、模具、量具、夹具、吊具和工位器具以及为扩大热处理设备应用范围而自制的附件(如堵孔用的螺栓、保护零件螺纹所用的螺母、高频感应加热用的铜键以及各种试样)等统称为热处理工艺装备(简称为热处理工装)。

完备的热处理工装,有利于保证热处理质量,提高热处理生产率,减小热处理变形,减轻操作者劳动强度,确保安全生产,维护零件的完整性和提高经济效益等。

在设计热处理工艺时,凡工艺在生产实施过程中需使用的工装,均由工艺设计者提出申请,按企业规定的审批程序交由有关部门或本部门其他人员设计和制造,并在工艺实施前提供给使用部门。

### 1. 热处理工装的类别

热处理工装通常分为三类:

(1) 通用工装 即实施各种(或某些)热处理工艺所共同使用的工装,如钩钳、篮筐、料盘和通用吊具、挂具等,参见图1-21和图1-22。

(2) 专用工装 即专门为某一零件或某一工艺所设计、制造的工装,如高频感应加热用的专用感应器、回火定形专用夹具、某种零件的专用淬火压模等。

(3) 标准工装 即已由企业、行业、部门、国家标准化了的工装。标准工装有的是专用工装,也有的是通用工装,即已被商品化在市场上可买到的工装,例

如，利用标准件组合的工装（标准吊钩）等。

热处理工装，也有其他分类方法，如按工艺、用途、特征等进行分类的，可根据每个企业的具体情况而定。

## 2. 热处理工装编号及管理

(1) 工装编号方法 目前，各企业的热处理工装编号方法各异。可参照 JB/T 9164—1998 的具体规定执行。

(2) 工装的管理 工装是企业完成生产任务所需的重要装备之一。每个企业都有统一的工装管理制度，包括工装申请、审批、设计（或申购）、制造（或采购）、鉴定、管理和维修及报废以及改进等。没有一套完备的工装，其工艺很难充分发挥出应有的作用。

对于热处理工艺装备，热处理工艺设计者应完成以下工作：

- 1) 确定所设计的工艺采用（或借用）何种工装。
- 2) 提出工装设计任务书（见表 2-51）并申请制造。

表 2-51 热处理工装设计任务书

年   月   日

产品型号		工序编号		工装编号	
零件编号		加工工序		工装名称	
零件名称		所用设备		工装等级	
工装使用说明及技术要求(或草图)：					
工艺设计者	日期	主管工艺者	日期	审核者	日期

- 3) 确定工装编号并填写到工艺卡中。

- 4) 对工装设计的图样进行会签，并参与工装使用试验和鉴定等。

应当指出，在确定使用工装时应尽量选择已有的通用工装和标准工装或用其他

专用工装代用，以减少制造成本和缩短制造周期。

### 3. 热处理工艺装备的设计

由于企业规模和类型不同，负责工艺装备设计的部门和人员也不同。对于工程技术人员配备较多、专业较齐全的大、中型企业，一般由工艺设计人员提出一份较详细的工装设计任务书（包括所需要的工装形式、结构、大小等内容），按企业规定的程序进行申请、审批后，由工艺部门配备专门设计工装的组织和人员进行设计；对于小、微型企业，工装设计通常由工艺设计人员提出工装设计的初步构想和申请，经审批后自己进行设计。

工装设计与选择，应当遵循其一定原则、依据和程序。

#### （1）设计与选用工装的基本原则和要求

1) 所设计与选用的工装，必须是实施相应工艺确实需要的，并能发挥其应有作用。

2) 工装系数与生产批量相适应。所谓热处理工装系数，即其工装数量与所处理的零件总的数量之比，是控制热处理工装合理数量的指标。为了缩短生产周期和降低生产成本，工装系数应尽量低些。随着生产批量增加，工装系数也相应增加。不同产品及其生产批量都有一个合理的控制数值，可与企业总工艺师（或总工程师）协商确定。

3) 选择和确定热处理工装时，应尽量以通用工装和标准工装为先，或能否借用其他的专用工装等。确实需要重新设计时再考虑设计方案和填写设计任务书等。

4) 设计热处理工装时，应合理选材。关于随同零件一起加热的工装应选择耐热材料，并考虑高温状态下的刚度和蠕变等问题；对于不随零件一起加热的工装，主要考虑其刚度和弹性强度问题。此外，对于经常接触酸、碱、盐的工装要考虑使用耐蚀材料制造。

5) 工装结构应轻巧、使用方便。例如，一些撬棒等质量较大的工装器具，可局部设计成空心的；料盘等采用带加强肋的结构，以利于在保证刚度的前提下，减轻质量。

6) 设计热处理工装时，应考虑尽量减少其热能损耗，特别是与零件一起加热的工装，其有效厚度和体积越大，无效热量越多。

7) 工装设计应向机械化、自动控制方向发展，如采用简易机械手等。

#### （2）工装设计的依据

1) 使用该工装的零件图样及其热处理工艺规程。

2) 所设计的工装设计任务书。

3) 所使用的热处理设备及其性能特点。

4) 使用该工装的热处理生产批量和技术经济意义。

5) 有关的设计标准和相关的规定等。

（3）热处理工装设计程序 由于各企业的热处理规模、性质等不同，其工装

设计程序也不尽相同，有繁有简。较正规的（特别是较大型、较复杂的工装）设计程序为：

- 1) 设计准备工作。掌握必要的设计资料，仔细分析设计依据。
- 2) 拟定工装设计方案，并对几个方案进行比较后选择其一。
- 3) 在设计任务书中，绘制所选用方案的草图，并以书面形式提出设计申请。
- 4) 工装设计任务书及其制造申请书得到审批后，按机械制图规则进行正式设计。
- 5) 所设计的工装总图及其零件图经校对、审核、会签和批准后，分发到有关部门制造。

对于没有建立完善质量管理体系的企业，可根据各企业的具体情况，工装设计程序可以适当精简。

## 2.1.10 热处理劳动定额的确定方法

劳动定额是企业管理的一项重要基础。劳动定额是产品（或零件）生产过程中劳动消耗的一种标准。其中分为产量定额和时间定额。

### 1. 产量定额

产量定额，是指在一定的生产技术和生产组织的条件下，规定在一定时间内应当生产出合格品（零件）的件数（或重量）；以产量表示的叫做产量定额；其中，产量定额比较简单，即以每人在一定时间内完全零件的总重量进行计算。但其缺点是，这种产量定额的可比性极差，且不能反映劳动的复杂程度等。

### 2. 时间定额

时间定额，是指规定生产一件或一批合格品（零件）所需要的时间。以时间表示的叫做时间定额，也称工时定额。

热处理工时定额，是其劳动定额的表示形式之一。这是按一个或一批零件的热处理总生产时间计算，并规定每个工人在一定时间内完全多少工时。在大批量生产的企业多采用这种方法考核劳动生产率。单件或小批量生产的情况下，采用产量定额和时间定额都比较困难，因为生产的准备工时对于工艺设计人员来说很难预估。所以，目前大多数热处理企业或车间，在单件或小批量生产的情况下，多采用“实用工时”来评价劳动效率。

## 2.1.11 热处理工艺文件的编写

工艺文件的编写，即将工艺设计过程所确定的工艺方案、工艺方法、工艺参数等以文件形式表述出来。为了便于科学管理和技术交流，其编写格式和内容要求等，在 JB/T 9165.2—1998《工艺规程格式》和 JB/T 9165.3—1998《管理用工艺文件格式》中作了具体规定。

### 1. 热处理工艺规程编写格式的类型

目前，国内外常用的热处理工艺规程格式类型主要有以下几种：

- 1) 单列式热处理工艺规程。
- 2) 总工艺规程加工艺卡片。
- 3) 工艺说明书加指令卡片。
- 4) 计算机热处理工艺自动控制等。

上述各种类型的热处理工艺规程格式特点及适用范围，如表 2-52 所示。

表 2-52 热处理各种类型工艺规程特点及适用范围

序号	类 型	特 点	适 用 范 围
1	单列式工艺规程	1) 现常用的工艺规程模式，独立性强，操作时，受其他文件约束小 2) 整个工艺规程应编写热处理流程的各个工步并叙述详细，直接指导生产 3) 此类工艺规程缺少对工艺的质量控制要求，不适应现代的质量管理要求	适用于中小型企业
2	工艺说明书加工艺卡	1) 对工艺过程中的人（人员）、机（设备）、料（材料）、环（环境）提出要求及控制方法 2) 说明书中将企业或对象产品所涉及的同类钢种的工艺规范统一 3) 说明书中给出了工艺程序，确保工艺质量的稳定 4) 说明书规定了质量保证措施 5) 说明书是企业质量体系保证满足 GB/T 19000 (idtISO 9000) 质量管理和质量保证要求的必备的工艺文件，属企业的指令性文件 6) 相对而言，工艺卡可给出对象零件具体的工艺参数，简单明了	适用于产品多、热处理工种多的大中型企业
3	工艺说明书加指令卡	1) 在工艺说明书加工艺卡的基础上，指令卡代替工艺卡是工艺管理的发展 2) 说明书中热处理工艺规范化，使每种工艺均有具体代码，指令卡仅给出零件的执行代码，操作者按代码号从工艺说明书中找出工艺规范进行生产	适用于产品多、热处理工种多的大中型企业
4	计算机热处理工艺自动控制	1) 将工艺说明书中各类工艺设计成每一种编码给出固定代码，按代码号输入计算机 2) 指令卡给出执行代码号，操作者从计算机中提取代码工艺，计算机按代码要求控制设备运转	适用于产品多、热处理工种多的大中型企业或批量生产

热处理工艺规程的编写格式，各企业可根据本企业的产品及其每个零件特点、生产批量等自行设计或选择。这里推荐的几种热处理工艺规程编写格式，如表 2-53 ~ 表 2-59 所示。

表 2-53 热处理工艺卡片

编号：

(厂名)				热处理工艺卡			标记	工件名称				工件编号								
								产品型号				共 页	第 页							
(工件草图)				材料及牌号						化学成分(质量分数)(%)			处理要求		处理前之要求					
				外形尺寸																
				工件重量																
				每车件数																
				工件送来部门																
				工件送往部门																
				处理前状态																
工 序 号	工 序	设备 型号 名称	工具 编 号	加 热			冷 却			同 时 装 炉 数 量	工 序 之 要 求	工 人 等 级	工时定额							
				温 度 /℃	加 热 时 间 /h	保 温 时 间 /h	冷 却 剂	温 度 /℃	时 间 方 式				基 本 工 时 /min	辅 助 工 时 /min	每 件 工 时 /min					
描图																				
底图号																				
档案号																				
日期	签 字											编 制	日 期	校 对	日 期	审 核	日 期	批 准	日期	
	标记	处数	更改文件号	签字	日期															

表 2-54 感应淬火工艺卡片

编号：

(厂名)		感应加热热处理工艺卡片			产品型号		工件名称		工件号		共 页																
		车间									第 页																
				钢 号			每台件数			净 重	kg																
技术 要 求							检 验 方 法																				
硬度:																											
变形:																											
设 备 工 作 规 范																											
(工件简图)	灯 式 高 频 机	工 序 编 号	单 位 功 率 /(kW/cm <sup>2</sup> )	加 热 面 积 /cm <sup>2</sup>	需 要 功 率 /kW	阳 极 电 压 /kV	阳 极 电 流 /A	偶 合 数	棚 极 电 流 /A	回 授 数	回 路 电 压 /kV																
	机 式 中 频 机	工 序 编 号	单 位 功 率 /(kW/cm <sup>2</sup> )	加 热 面 积 /cm <sup>2</sup>	需 要 功 率 /kW	电 压 /V	电 流 /A	电 容 /pF	变 压 器 匝 数 比 二次侧/一次侧		功 率 因 数 cosφ																

(续)

总工序 编号	热处理 工序号	工 序 名 称	设备	感应器	工装	加 热		冷 却		移动速度 /(mm/s)	工 人 等 级	工时定额 /min	
			型号或 名称	编 号	名称或 编号	温 度 /℃	时 间 /s	方 式	介 质	温 度 /℃	时 间 /s		
编 制	日期	校对	日期	审核	日期	会签	日期	批准	日期	描图	日期		

表 2-55 通用型热处理工艺卡片

厂 车间			热处理工艺卡						处理前要求:					
零件名称:														
零件号:			材料:		工 序 号:									
装炉方法及数量:												热处理技术要求:		
												硬度: 表面_____		
												心部_____		
												硬化层深度: _____ mm		
												允许变形量: _____		
工 步 号	名 称	设备	工装、 夹具	加 热		保 温		冷 却		操作要点:				
				温度 /℃	时间 /min	温度 /℃	时间 /min	介 质	温 度 /℃					
编制:	校对:	审定:	批准:				更改 日期	更改 单号	更改 标记	更改者				

表 2-56 横式热处理工艺规程表

厂		热处理工艺规程				材料	零件号:		页次:	产品型号		
车间							零件名称:		工序号:			
硬度			渗碳(渗氮)深度			检验类别:						
指导文件			单台数量/件			零件质量/kg						
纤维方向	L	$R_m/\text{MPa}$		$R_{eL}/\text{MPa}$		A (%)	Z (%)		$a_K/( \text{kJ/m}^2)$			
工步号	工步名称	设备	工装夹具	装炉量/件	加热		保温		冷却			备注
					装炉	时间 /min	温度 /°C	时间 /min	介质	介质温度/°C	时间 /min	
操作要点:												

表 2-58 竖式热处理工艺规程表

厂	热处理工艺规程		型号: /	页次: /
车间	图号:			
	零组件名称:		版次: /	
材料牌号:	硬度:	检验等级:	单台件数:	
指导文件:	单件重量: kg	工序名称:	工序号:	

零件简图:

说明:

序号	工步名称	设备	装炉量	工 艺 内 容	工装 夹具

编 制	校 对	标 审	审 定	会 签	批 准

表 2-59 热处理作业指导书

编号:

热处理作业指导书			产品名称				产品型号				厂名: 年 月 日编订													
			零件名称				零件号				(简图)													
材料		工 艺 路 线																						
每台件数																								
单件质量/kg		技术条件																						
热处理前零件状况																								
工艺 规格	序号	工序名称	设备编号及名称	工具编号及名称	装炉(盘)数量	加热温度/℃	推料周期/min	加热时间/min	冷 却			管理点	注: (1) 检查频次 全: 百分之百检查 $1/N$ : N 件检查 1 件 $N/C$ : 每炉检查 N 件 $K \times N/D$ : 每班 K 次 每次 N 件  (2) 重要程度 a: 关键 b: 重要 c: 一般  (3) 管理手段 a: 管理图 b: 计量用表 c: 计数用表 d: 不用记录  (4) 首检 a: 开始工作时 b: 调整设备时 c: 换工序时											
特别注意事项																								
工序质量 管理点表	代号	检查项目	检查部位	工艺要求	管理界限	测量方法	测量频次			重要程度	管理手段	编制												
							自检	首检	巡检															
												校对												
												会签												
												审批												

## 2. 热处理工艺方案策划书的编写要点

新建或扩建的热处理企业，在热处理工艺总体策划时，应根据其产品零件特点及生产批量等，繁简适度地编制其工艺方案策划说明书。热处理工艺方案总策划书的章目和编写要点，如表 2-60 所示。

表 2-60 热处理工艺方案总策划书的章目和编写要点

序号	主要章目	编写要点
1	范围	明确说明书的主题及其包括的方面，从而指明该说明书使用范围的限制
2	引用文件	应编写出说明书中所引用的标准和技术文件。标准和技术文件应是现行有效版本，标准引用应是上级（国家标准或行业标准）以及已正式颁发的企业标准
3	术语或定义	说明书中使用术语或定义应限定选用已颁布的国家与行业标准。在说明书中应明确的术语与定义应给出确切的概念，文字表述应清楚
4	材料控制	“材料”是指本说明书适用于制造零件的材料和热处理过程中使用的工艺材料。本章节中应列出它们的牌号、材质、技术条件（标准）及状态等
5	制造工艺	<p>这是工艺说明书的核心部分，可根据工艺流程涉及的主要工序绘制工艺流程图</p> <p>1) 工艺前的辅助工序：表述预处理、清洗、清理及装夹等的技术要求和控制</p> <p>2) 工艺方法：表述各种材料所要求的工艺方法、工艺条件及其工艺参数和限制条件</p> <p>3) 过程控制：生产环境的要求和控制、各工序间的要求和限制、过程中原始数据的表格填写要求以及对有其他特殊要求的规定等</p> <p>4) 试件：处理过程中所需试件的牌号、尺寸、状态及数量的要求规定</p> <p>5) 热处理后的辅助工序：清洗、清理、打磨及校正等的要求</p>
6	工装设备控制	<p>1) 写明所购设备、自制设备以及大修后的设备投入生产的要求</p> <p>2) 明确现场使用的工装、测量器具的使用要求</p> <p>3) 工艺对使用设备型号、规格及精度等的要求</p> <p>4) 设备定检要求（如控温精度、槽液定检）、设备检定结果的标识（挂牌）</p>
7	技术安全	写明在操作时，危及人身、产品、设备的安全及有害操作者身体健康的预防措施和事故发生时的应急措施
8	质量检验（过程检验）	<p>1) 写明工序与工序间的检验项目、方法及关键工序控制要求</p> <p>2) 产品检验，写明产品检验项目、方法及其依据文件</p> <p>3) 检验记录：对生产监控的原始记录，检验结果记录的填写要求与规定</p> <p>4) 检验控制：对检测设备、工量具、仪器仪表等的要求与规定</p>

### 3. 热处理工艺守则的编写要点

热处理工艺守则是属于通用性工艺技术文件，如热处理辅助工序的清洗（清理）工艺守则、零件变形校正工艺守则等。顾名思义，工艺守则是热处理某些通用工艺在生产实施过程所必须遵守的原则。其中，工艺守则内容应包括：工艺方法、所用设备和工装、操作要点和安全卫生以及某些特殊要求等。如本章 2.1.6 节热处理辅助工序的各种工艺守则等。

### 4. 热处理工艺曲线的绘制

热处理工艺曲线，是把热处理工艺规程的主要内容用二元坐标曲线图来表示的方法，是最直观、简捷和实用的方法。其缺点是有些细节难以表达出来，必要时需加以说明。

图 2-22 ~ 图 2-28 所示为几种零件的典型热处理工艺曲线。

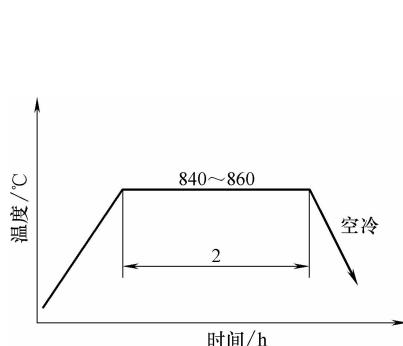


图 2-22 45 钢齿轮正火工艺曲线

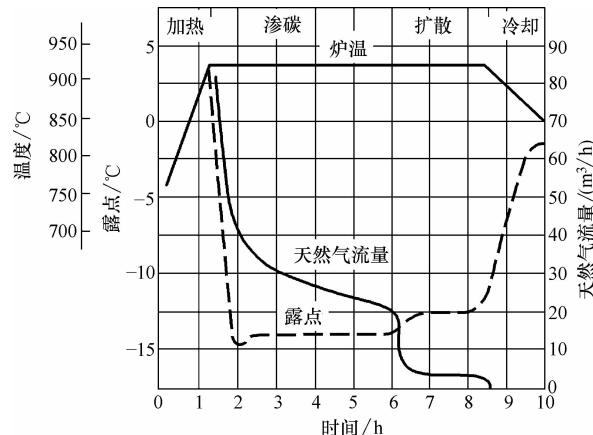


图 2-23 在控制气氛炉内的渗碳工艺曲线

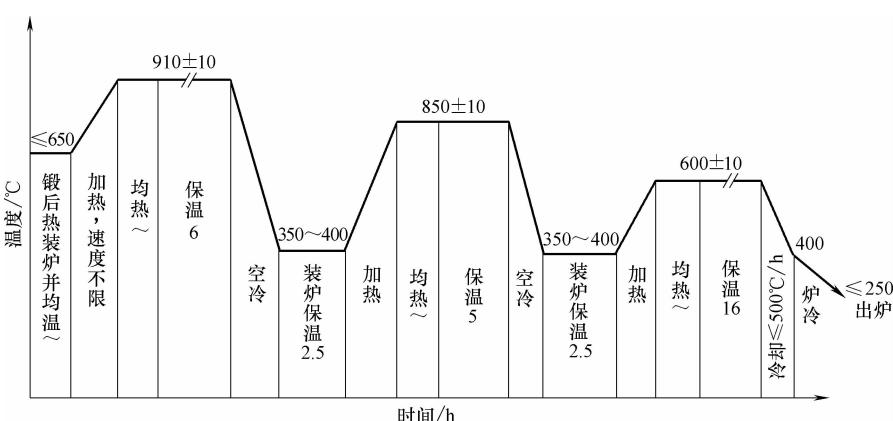


图 2-24 25000kN 水压机柱塞的预备热处理工艺曲线

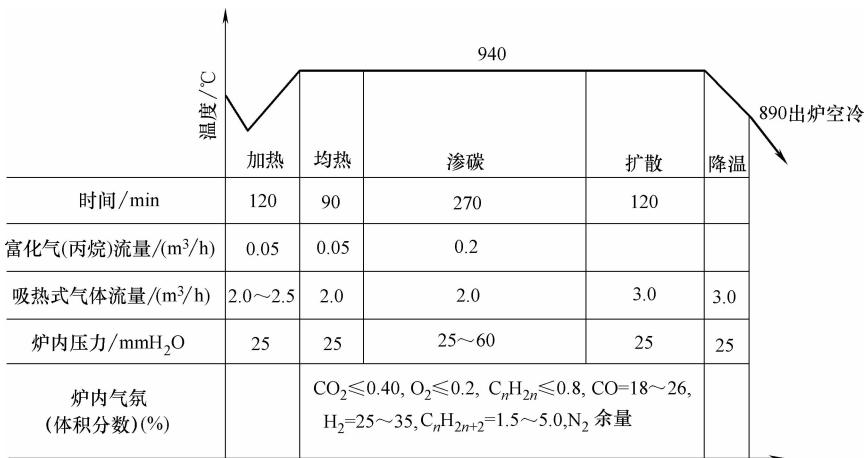


图 2-25 15Cr 钢活塞销在 RJJ-101-9 型炉内气体渗碳工艺曲线

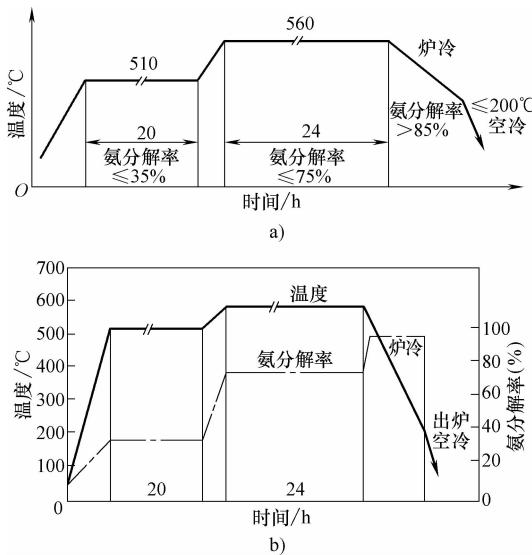


图 2-26 38CrMoAl 钢镗杆两段渗氮工艺曲线

a) 和 b) 为两种不同的表示方法

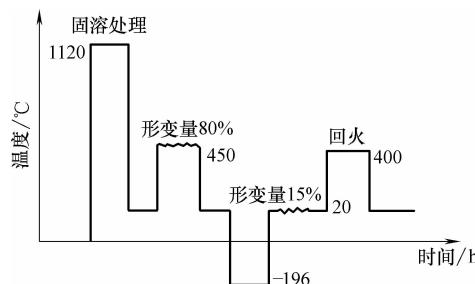


图 2-27 超塑性钢形变热处理工艺曲线

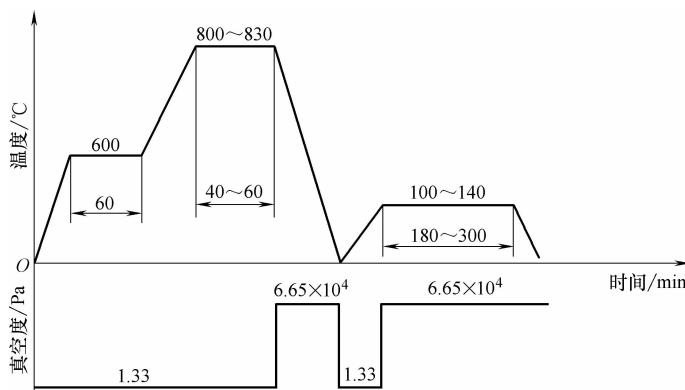


图 2-28 CrWMn 钢滚丝模真空淬火工艺曲线

## 5. 管理用热处理工艺文件及其格式

管理用热处理工艺文件主要是各种表格。其中包括：工艺文件目录、产品零件工艺路线表、热处理零件明细表、关键零件明细表、外委热处理件明细表、工艺装备明细表、热处理常用工艺材料明细表以及工艺文件更改通知单等。各种表格形式，如表 2-61 ~ 表 2-63 所示。

表 2-61 工艺文件目录表

文件编号:

表 2-62 工艺文件更改通知单表

××××热处理厂 (文件类型)		工艺文件更改通知单			产品型号		共 页
					产品名称		第 页
产品型号	产品名称	零件图号	零件名称	文件名称及文号	更改标记和处数	实施日期	
更改原因				零件处理		发往部门	
更改前:			更改后:			同时更改的资料	
编 制		审 核			批 准		

表 2-63 工艺关键件明细表

文件编号:

××××热处理厂 (文件类型)		工艺关键件明细表			产品型号		共 页
					产品名称		第 页
序号	零件图号	零件名称	材 料	每台件数	关 键 内 容		
1							
2							
3							
4							
5							
编 制		审 核			批 准		

其他明细表，参照表 2-61 的表头、表尾样式绘制，其内容根据实际情况编制。

## 2.1.12 热处理工艺的验证及调整

在工艺设计过程，采用了新技术、新工艺、新工装和新设备以及关键零件热处理等，正式投产前必须在所设计的各种条件下，进行工艺验证，即通过工艺验证找出设计中存在的各种问题，然后根据暴露出的具体问题进行相应的调整。如有必要，则进行新一轮的验证，直至全面符合要求才能正式投产。验证的主要内容，包括工艺方案、工艺方法、工艺参数、设备及工装使用、检验方法以及原辅材料供应等所涉及的各个方面验证与调整。其控制程序如图 2-29 所示。

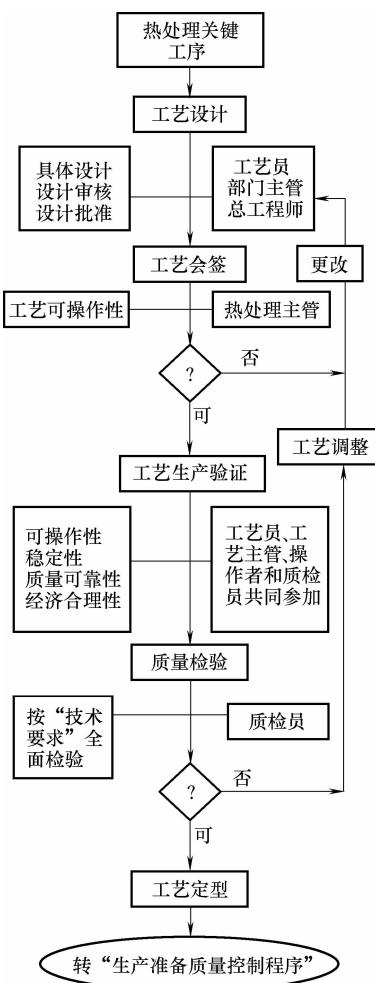


图 2-29 热处理工艺的验证-调整控制程序

## 2.2 热处理工艺设计过程的质量控制

大量实践证明，再好的技术没有好的质量管理作保证，则无法实现其价值；再好的质量管理没有好的技术支持，也无法实现其先进性。两者缺一不可的重要性和相辅相成的关系，已是人们的重要理念和共识。

现代质量管理的特点是：依据标准执行，这个标准就是 GB/T 19000（ISO—9000）系列标准。现代质量管理是对生产全过程实施质量控制。其中包括：从产品及其工艺设计到其生产实施，再到质量检验；从产品及其工艺对用户的提供到跟踪服务，再到信息反馈；从对信息分析到持续改进，再到新一轮循环。这是一套规范化、法制化、程序化和文件化的管理模式。它不仅能够保证产品质量，而且提供

了保证依据。下面，重点介绍热处理工艺设计过程的质量控制。

## 2.2.1 热处理质量管理体系

热处理工艺设计工作是热处理全部活动的重要组成部分。因此，热处理工艺设计者必须了解热处理全面质量管理体系的概况，并认真执行与工艺设计有关的规定。

### 1. 热处理质量管理体系的建立

参照图 2-30 以过程为基础的质量管理体系模式，建立热处理质量管理体系。主要包括以下内容：

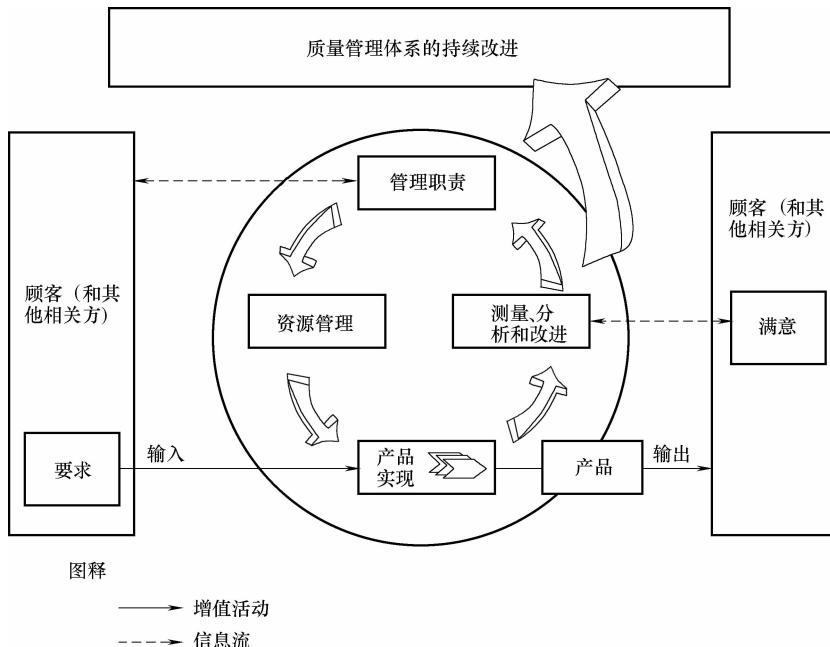


图 2-30 以过程为基础的质量管理体系模式

- 1) 有完整的质量管理体系文件。根据企业规模和产品的繁简程度，按体系要求编制“质量管理手册”、“程序控制”文件和“质量记录”以及相关的“支持性”文件等。
- 2) 有健全的质量管理组织机构和明确的管理职责以及内部沟通方式，特别强调各级领导层的作用，定期开展质量评审并做好评审记录。
- 3) 有完善的“资源管理控制程序”，特别是要有计划地进行质量意识教育和人员培训，并做好培训记录。
- 4) 对产品及其工艺从无到有的全过程进行完整的策划并编制出成套的“技术支持”性文件，并确保其正确性、一致性和齐全（完整）性。
- 5) 在检验、分析和改进方面，应监视和测量各种过程的质量状态，考察用户（上、下工序）的满意度，并编制不合格项目的纠正和预防措施的程序控制文件及质量记录。

## 2. 必要的管理文件

(1) “质量管理手册” 按 GB/T 19001 (ISO 9001) 质量管理体系的要求进行编写，并按“文件控制程序”予以审批。独立型热处理企业必备“质量管理手册”，企业的热处理车间、班组则无需另行编写，而是使用企业统一的“质量管理手册”。

(2) “控制程序”文件 作为大、中型企业的热处理分厂（或车间）以及独立的热处理厂均应有适度的“控制程序”文件，以便对相关过程的有效控制，如图 2-31 ~ 图 2-34 所示。还有前面提及的图 1-10 零件图样的热处理工艺性会审及更改控制程序、后面将提及的工艺设计和工装设计的质量控制程序等。

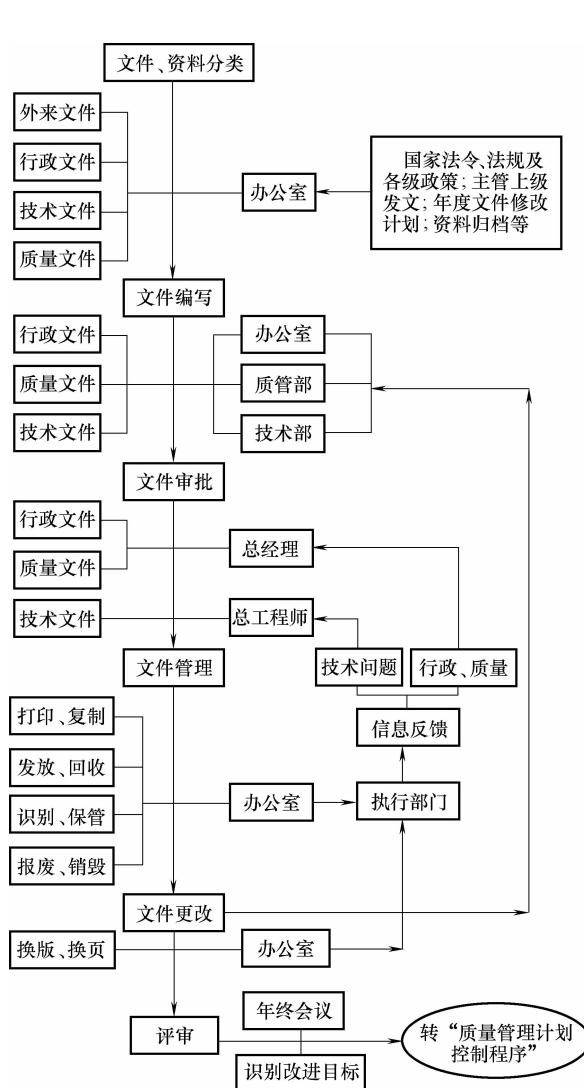


图 2-31 文件和资料管理控制程序

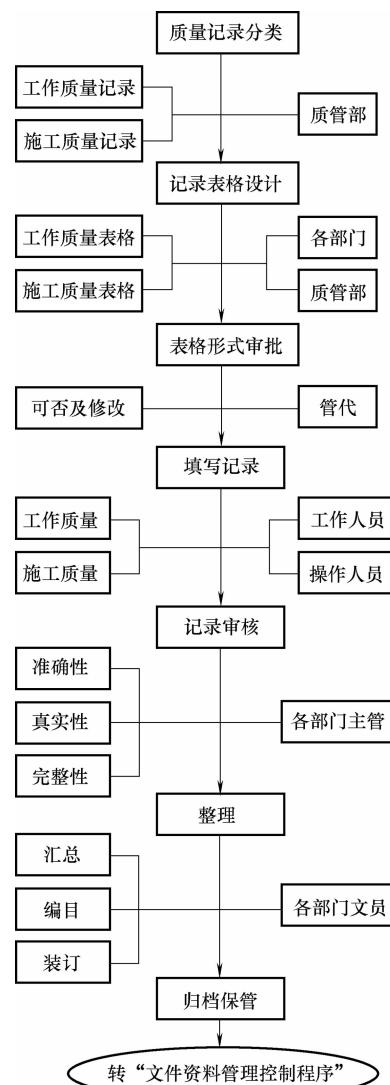


图 2-32 质量记录管理控制程序

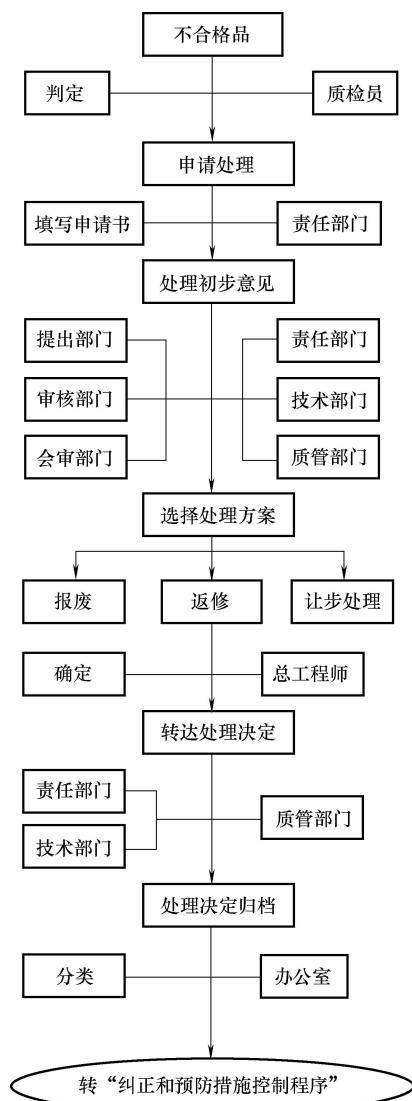


图 2-33 不合格品处理控制程序

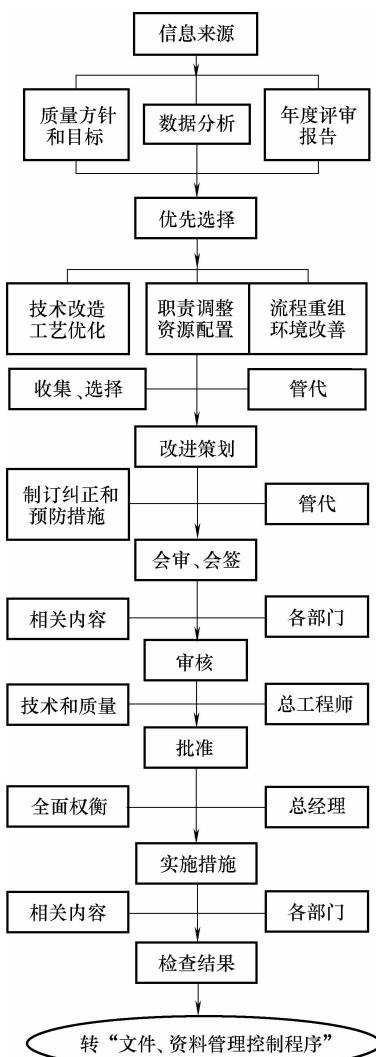


图 2-34 持续改进控制程序

## 2.2.2 影响热处理质量的因素

在上述质量管理方面有了可靠保证的基础上，尚需要正确、完善的热处理技术支持才能将热处理质量要求得到最大的满足。影响热处理过程质量的各方面因素，可概括于图 2-35 所示。

## 2.2.3 热处理工艺设计的工作质量要求

工艺设计的工作质量是取得设计成功的关键，是评定设计成果的具体指标。在

企业内部对某项设计工作质量的考核过程，往往以该项设计全过程出现的差错率、各个环节保持一致性的程度，以及该项目技术文件的完整程度等，作为评定设计工作优秀、良好、一般、较差的依据。

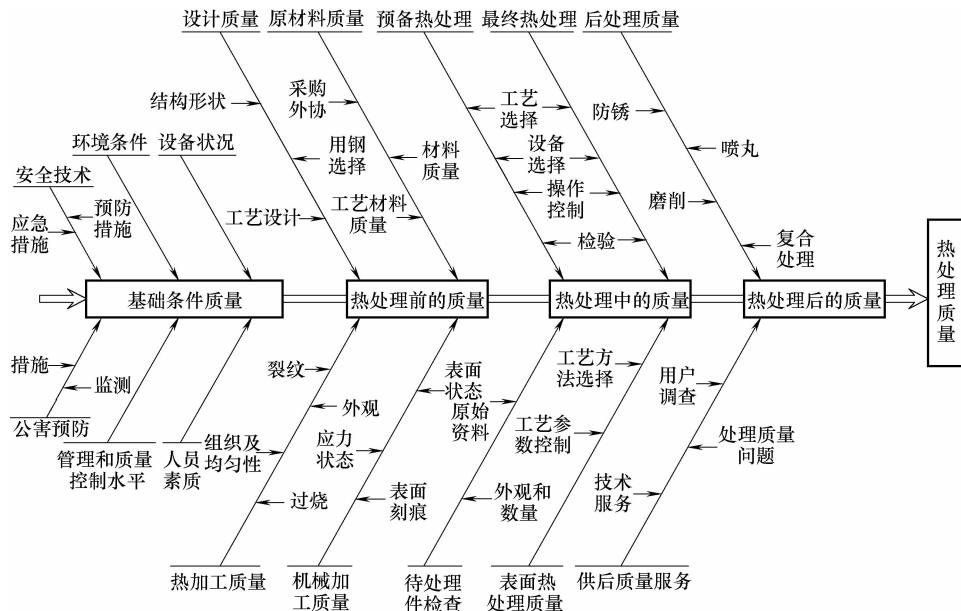


图 2-35 热处理过程质量控制内容

工艺设计的工作质量总要求，通常应满足所谓的“三性”，即正确性、一致性和完整性的要求。下面，摘要介绍某企业内部对设计任务的工作质量要求及其考核方法。

### 1. 工艺设计的正确性

(1) 工艺设计的正确性 是指整个设计过程，包括设计程序的安排、专业技术术语的使用和工艺方案、工艺方法、工艺参数的设计以及工序技术条件的拟定等各个环节的内容符合相关标准规定和满足设计项目技术要求的正确程度。

应当指出，设计的正确性，包含设计的合理性。从生产需要出发，“正确而不合理”的设计是一种脱离实际的设计。因此，评审某项设计的正确性时，既要考核其科学的严谨性，又要考核其可行性。

(2) 正确性的考核办法 一般采用定性考核和定量考核相结合的办法，即根据设计中出现的错误严重程度和文字、标点等的差错率进行综合评定。具体办法如下：

- 1) 在某项工艺设计中，出现错误的处数和严重程度，以极严重、一般严重、不严重和没有错误，作为设计工作质量定性评定的依据。分为工作质量较差、一般、良好和优秀等四级；出现的文字和标点符号等不合理或错误的处数与该设计的

技术文件总字数之比作为“差错率”，用于对设计工作质量的定量考核的依据。

2) 以正确性的定性考核结果为基础，再根据差错率进行正确性的升、降级综合评定（差错率升降级标准，视各企业具体情况而定）。

## 2. 工艺设计的一致性

工艺设计的一致性，是企业内部考核某项设计工作质量的另一重要内容。

(1) 工艺设计的一致性 是指某项工艺设计的全过程，所使用的技术术语、设计步骤、前后序的关系以及设计的其他因果关系等始终保持一致。其中包括：设计结果与设计任务书要求保持一致；所用材料与性能要求保持一致；工艺参数与工艺方法保持一致、工艺文件资料与零件设计文件资料保持一致；所选设备的技术参数与工艺的需要保持一致等。

(2) 设计一致性的考核 一般根据设计中出现的不一致的处数作为定量的评定办法。

1) 在某项设计中，根据出现不一致的处数，可评定为较差、一般、良好和优秀。

2) 根据每个企业或部门对设计的要求不同，可用出现的不一致的处数作为评定设计质量不一致性较差、一般、良好和优秀的依据。

例如，某热处理企业以不一致处数为零者视为工作质量优秀；不一致处数 $\leq 2$ 处者为工作质量良好；不一致处数 $3 \sim 5$ 处者为工作质量一般；不一致处数 $> 5$ 处者为质量较差等。

## 3. 工艺设计的完整性

工艺设计的完整性，是企业内部考核某项设计工作质量的另一重要内容。

(1) 工艺设计的完整性 是指工艺文件种类及其内容的完整程度。

(2) 设计完整性的考核 根据每个企业或部门对设计工作质量要求不同和设计项目的繁简程度差异，对设计的完整性要求也不同。表 2-64 所示为热处理工艺文件的完整性表，供参考。

表 2-64 热处理工艺文件的完整性表

序号	工艺文件名称	新建的热处理企业	日常生产企业					
			单件和小批生产		中批生产		大批大量生产	
			简单零件	复杂零件	简单零件	复杂零件	简单零件	复杂零件
1	工艺设计总体策划书	△	+	+	+	+	+	+
2	工艺方案说明书	△	+	+	△	△	△	△
3	零件加工工艺路线表	△	+	△	△	△	△	△
4	热处理工艺卡片	△	△	△	△	△	△	△
5	工艺附图	△	+	+	+	+	+	+
6	工艺守则	○	○	○	○	○	○	○
7	( )热处理件明细表	△	+	△	△	△	△	△
8	热处理关键件明细表	△	+	△	△	△	△	△

(续)

序号	工艺文件名称	新建的热处理企业	日常生产企业					
			单件和小批生产		中批生产		大批大量生产	
			简单零件	复杂零件	简单零件	复杂零件	简单零件	复杂零件
9	热处理外委件明细表	△	△	△	△	△	△	△
10	热处理外协件明细表	△	+	+	+	△	△	△
11	热处理自制工装明细表	△	+	+	△	△	△	△
12	专用工装外委明细表	△	△	△	△	△	△	△
13	热处理工艺设计任务书	△	+	+	+	△	△	△
14	热处理工装设计任务书	△	+	+	△	△	△	△
15	热处理质量管理程序文件	△	+	+	△	△	△	△
16	热处理质量记录	△	+	+	△	△	△	△
17	热处理质量检验卡片	△	△	△	△	△	△	△
18	热处理文件更改通知单	△	+	△	△	△	△	△
19	工艺验证调整总结报告	△	+	△	△	△	△	△
20	热处理工艺文件目录	△	△	△	△	△	△	△

注：△——必须具备的；

+——酌情自定的；

○——通用的（与生产类型无关的）。

工艺设计工作质量的最终评定，以上述的正确性、一致性和完整性等三项进行综合评定，按“就高不就低”原则得出优秀、良好、一般和较差的结论。

#### 4. 热处理工艺设计总结报告的基本要求

工艺设计总结报告，主要是设计者表述其设计思想、观点；论述设计方案的正确性；阐述设计过程以及对所设计的工艺进行技术性说明和总结等。设计总结报告的形式和主要内容可参考表 2-65 所示。

表 2-65 工艺设计总结报告的形式和主要内容

序号	要素	内 容
1	封面	在封面上端的适当位置标明企业及部门的全称；其下面注明总结报告的全称；在中间位置可放置企业标志图案；再下面是设计者、审校者的姓名；封面最底端标明报告完成的日期
2	前言	主要是设计者表述其设计思想、观点；论述设计方案的特点；阐述设计过程及对所设计的工艺加以说明和总结报告的内容摘要；设计后的感悟和自感不足之处以及对阅读者的恳切希望等
3	目录	按设计总结报告编写的大、小标题的顺序依次编目出来，并注明其页码
4	设计任务书	按企业规定的标准格式进行填写。其中包括设计题目及说明；设计者及要求设计完成的期限；产品（制件）图样和对热处理的技术要求；设计的全部任务及细目；可供参考的技术资料；设计任务的提出者及日期等

(续)

序号	要 素	内 容
5	正文	1) 零件的工艺性分析 2) 零件工艺方案的讨论及确定 3) 热处理工艺参数的设计 4) 热处理工艺参数的论证 5) 关于热处理工艺准备 6) 所用设备的选择 7) 需要说明的其他问题 8) 工艺验证调整情况 9) 结论 10) 主要参考文献
6	感谢语	尚待讨论的问题;对设计过程得到的帮助和支持,表达感谢等

#### 2.2.4 热处理工艺设计的质量控制程序

热处理工艺设计是通过若干过程完成的,每一过程的工作质量都会影响设计的最终质量。对工艺设计工作质量的控制,可参照图 2-36 所示的工艺和工装设计质量控制程序执行。

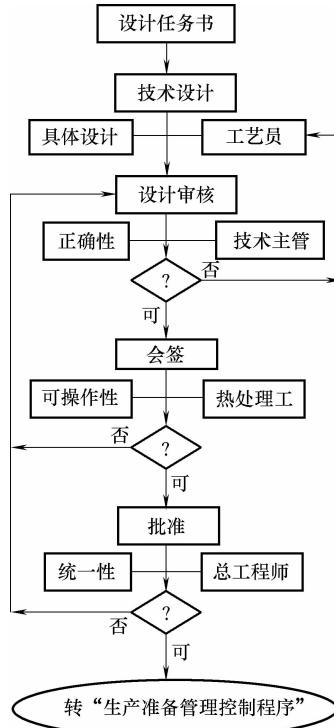


图 2-36 工艺和工装设计质量控制

# 第3章 通用基础件热处理工艺设计实例

## 3.1 齿轮热处理工艺设计实例

### 3.1.1 钢制齿轮热处理工艺设计

#### 1. 20CrMnTi 钢制齿轮的渗碳和淬火回火工艺设计

(1) 齿轮的失效特征 20CrMnTi 钢制齿轮以往多采用普通气体渗碳后二次淬火工艺。渗碳后表面碳浓度（质量分数）为 1.0% ~ 1.3%，在后续磨削时经常出现网状或平行的条状裂纹，且表面有时出现麻点等缺陷。分析认为，这种缺陷产生的原因是碳含量较高的渗碳层淬火后，存在较多的残留奥氏体。这种不稳定的组织，在高速磨削冲击和压力作用下转变为应力较大的新生马氏体，在表面强大拉应力的作用下而产生的。为此，进行了新工艺的尝试并取得良好效果。

(2) 新工艺的试制条件 20CrMnTi 钢制直齿轮在 RQ3-60-9 气体渗碳炉中，以图 3-1 所示各项工艺参数进行渗碳并直接淬火，然后在 RJJ-36-6 回火炉中进行低温回火，随后清洗。

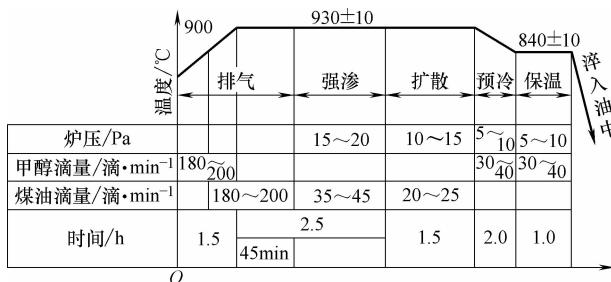


图 3-1 20CrMnTi 钢制齿轮渗碳和淬火回火工艺曲线

(3) 试制结果 表面硬度为 61 ~ 63HRC，心部硬度为 42 ~ 44HRC；表层碳含量（质量分数）为 0.8% 左右；渗层金相组织为回火马氏体 + 颗粒状碳化物，心部为板条马氏体；磨削后产生表面裂纹的数量由原来的 11% 降至低于 1%。

#### 2. 12Cr2Ni4A 钢制锥齿轮的热处理工艺设计

(1) 热处理工艺性分析 12Cr2Ni4A 钢属于淬透性极好的高级优质合金渗碳钢，渗碳后空冷即可硬化，而且热处理变形敏感性和过热敏感性都很小；经恰当热

处理后，具有耐磨性好、疲劳强度高等特点；常用于制造轿车齿轮。由于该钢合金元素含量较高，渗碳淬火后组织中存在较多的不稳定的残留奥氏体。因此，往往施以冷处理使其转变为马氏体，从而进一步提高齿轮的硬度和耐磨性，同时有利于稳定齿轮精度。

### (2) 热处理工艺设计

1) 12Cr2Ni4A 钢制锥齿轮制造工艺路线：锻坯预备热处理→机械切削加工→渗碳后空冷→高温回火→分级淬火→清洗→冷处理→低温回火→喷砂清理。

2) 锻坯预备热处理：880~900℃，保温70~90min后空冷；在640~680℃保温2h后空冷。

3) 渗碳：齿轮在室温下以心棒定位（每个齿轮下面装适当厚度的垫块），整挂一起吊装到RQ3-75-9气体渗碳炉中。经860~880℃加热透烧60min后，升温到900~910℃保温90min，再升温到920℃保温2~4h（视装炉量而定）后空冷。

4) 高温回火：在RJJ-36-6回火炉中加热到640~680℃，并保温2h后空冷。

5) 分级淬火：将齿轮装入浅盘中，并用木炭或新铸铁屑保护，在RX3-45-9中温箱式电阻炉中800~820℃加热并保温40~60min。出炉后去除保护屑，将齿部向上平放在铁丝网的吊框内，迅速吊入160~220℃的熔融硝盐浴内冷却7~12min，空冷到室温。

6) 冷处理：齿轮清洗后装入干冰+酒精为制冷剂的冷处理箱中，保持1~1.5h后回升到室温。

7) 回火：在RJJ-36-6电阻炉中180℃加热，保温2h后空冷。

8) 喷砂：在履带式喷砂机中人工翻转操作，两面清理后检查质量。

(3) 处理结果 渗层深度为0.85~1.05mm，碳化物≤5级，马氏体≤4级，残留奥氏体≤3级，硬度≥61HRC。齿面修磨后精度达5~6级。锥齿轮的质量全面合格。

### 3. 42CrMo钢制钻机转盘齿轮的热处理工艺设计

(1) 钻机转盘齿轮特征及失效形式 图3-2所示为2P-520型钻机从动锥齿轮的外形，其主要参数为：模数 $m=20\text{mm}$ ，齿数 $z=58$ ，压力角 $\alpha=20^\circ$ ，外径 $\phi=1160\text{mm}$ 。该齿轮工作时在钻杆旋转带动下，承受很大的扭矩和输出功，其主要失效形式为磨损。

(2) 材料的选择 为了提高齿轮的屈服强度并具有高的硬度和耐磨性，以及尽量小的热处理变形，增加齿的接触面积等多方面考虑，拟采用42CrMo钢制造。

(3) 热处理工艺方案 预备热处理为毛坯锻造后正火和粗加工后调质处理；其最终热处理为气体渗氮或离子渗氮。

(4) 技术要求 调质处理后硬度应为250~280HBW，渗氮层深度为0.5~

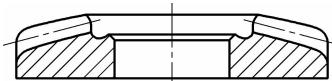


图3-2 转盘齿轮

0.7mm，表面硬度为 $\geq 600\text{HV}$ 。深层脆性按 GB/T 11354—2005《渗氮层脆性分等规定》不得小于3级。

#### (5) 热处理工艺设计

1) 42CrMo钢制大型锥齿轮的制造工艺路线：锻造→正火→车齿坯→粗滚齿→调质→精滚齿→离子渗氮→质量检验。

2) 锻坯正火工艺：在 RT2-105-9 台车式电阻炉中，880~890℃加热，锻坯整体透烧后拉出台车，两侧同时吹风冷却，防止铁素体成网状或大块状呈现。

3) 调质处理：在 RX3-60-9 箱式电阻炉中淬火：860~870℃加热，整体透烧后油中冷却；在同一炉子进行高温回火：560~600℃加热透烧油冷，防止产生回火脆性。

4) 在 LD-500BZ 型炉内进行离子渗氮：工艺参数如图 3-3 所示。

(6) 质量检验结果 渗层表面用超声波硬度计检测为 $\geq 50\text{HRC}$ ；随炉试样金相检测渗层脆性等级合格；齿轮平面度误差大多数小于 0.08mm，个别达 0.10mm。

### 4. 20CrMnTi 钢制油泵齿轮轴的热处理工艺设计

#### (1) 齿轮轴材料及其技术条件

1) 材料：20CrMnTi 钢。

2) 热处理技术要求：图 3-4 所示齿轮轴全渗碳层深度为 0.8~1.1mm ( $\phi 30\text{mm}$  处表面不渗碳)；表面硬度为 58~63HRC，心部硬度为 32~45HRC；同轴度误差 $\leq 0.03\text{mm}$ 。

(2) 齿轮轴的制造工艺路线 锻造→正火→机械切削加工（齿形滚、剃加工）预留 0.3~0.5mm 加工余量→ $\phi 30\text{mm}$  处表面镀铜或涂防渗剂→渗碳（含加工余量深度为 1.1~1.6mm）→淬火→回火→校直→去应力回火→齿形磨削加工→时效→清洗→防锈。

#### (3) 热处理工艺设计

1) 锻后正火：在 RX3-45-9 箱式电阻炉中 930~950℃加热，整体透烧后散开空冷。

2) 产前准备： $\phi 30\text{mm}$  处镀铜或涂防渗剂。

3) 渗碳、淬火和回火：在 SOH-SL-M1 可控气氛炉中进行渗碳。其中，载气为吸热式气氛，富化气为  $\text{C}_3\text{H}_8$ 。渗碳后出炉采用热油直接淬火，然后在熔融硝盐浴炉中低温回火。各项工艺参数如图 3-4 所示。

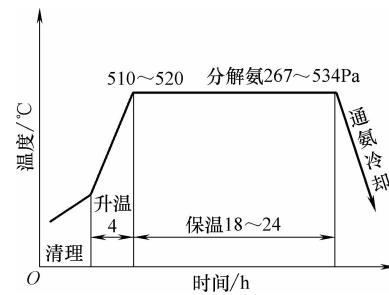


图 3-3 转盘齿轮离子渗氮工艺曲线

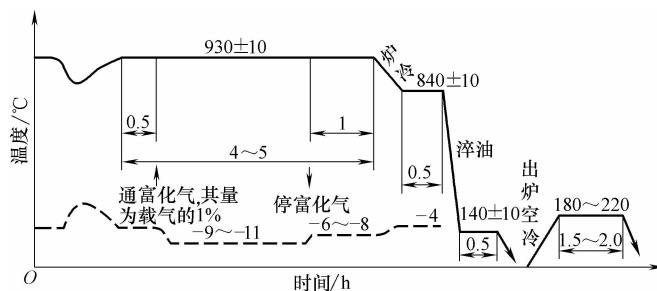


图 3-4 油泵齿轮轴及其热处理工艺曲线（虚线为炉内露点变化曲线）

### 3.1.2 铸铁齿轮热处理工艺设计

#### 球墨铸铁制拖拉机减速齿轮的热处理工艺设计

(1) 铸铁齿轮失效分析 齿轮运转时齿根承受往复弯曲应力的作用，以往采用 QT800-2 制造，经淬火和低温回火后（硬度在 55~60HRC）使用。其耐磨性良好，但使用到不足 500h 就发生断齿现象。破断面呈现不明显的疲劳源及其扩展纹，以脆性断裂特征为主。初期分析认为是由于韧性较差导致弯曲疲劳强度不佳造成的。为了提高韧性曾采用降低硬度的办法，结果硬度降低到 48~50HRC，仍解决不了断齿问题。同时，有的未断齿的齿轮耐磨性却大幅度降低。

根据资料所载，球墨铸铁等温淬火后，具有强韧兼优的性能，且耐磨性良好。由此进行了球墨铸铁牌号选优及其等温淬火工艺设计。

(2) 球墨铸铁牌号的选择 试验研究表明，材料的疲劳强度既与其抗拉强度有直接关系，也与其韧性有密切关系。为了在提高韧性的条件下而不降低其强度，拟选择 QT900-2 牌号的球墨铸铁制造该减速齿轮并最终施以等温淬火处理。球墨铸铁成分（质量分数）：C 3% ~ 3.6%，Si 2.8% ~ 3.1%，Mn 0.3% ~ 0.5%，P < 0.06%，S < 0.03%，Mo 0.15%，Mg 0.03% ~ 0.60%，RE 0.03% ~ 0.05%。

(3) 毛坯预备热处理 为了给最终的等温淬火奠定良好组织基础，该齿轮毛坯进行雾冷正火，以便彻底消除铁素体。试验表明，空冷正火后的组织（体积分数）为 85% ~ 90% 珠光体，风冷正火后的为 90% ~ 95% 珠光体，喷雾冷却正火后的珠光体可达 98% 以上，其力学性能相应提高，如表 3-1 所示。为了改善可加工性，正火后进行一次高温回火。

表 3-1 球墨铸铁雾冷正火和空冷正火后的性能比较

工艺	$R_m/\text{MPa}$	A	$a_K/(\text{J}/\text{cm}^2)$	硬度 HBW
空冷正火	730	3.0	2.2	260
雾冷正火	893	3.8	2.4	266

球墨铸铁齿轮预备热处理工艺曲线，如图 3-5 所示。

(4) 等温淬火工艺 拖拉机减速齿轮的等温淬火工艺曲线如图 3-6 所示。

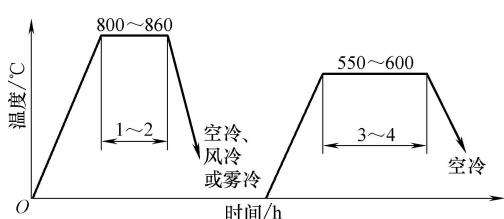


图 3-5 球墨铸铁齿轮预备  
热处理工艺曲线

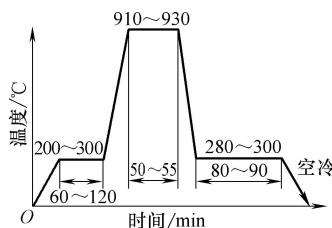


图 3-6 拖拉机减速齿轮的  
等温淬火工艺曲线

(5) 处理结果 齿轮实物硬度为 43~45HRC；同炉处理的试样力学性能  $R_m$  为 905MPa,  $A$  为 1%~2%,  $a_k$  为 60J/cm<sup>2</sup>, 硬度为 45HRC。齿轮断齿问题得到根本解决, 且耐磨性良好。

### 3.1.3 非铁合金齿轮热处理工艺设计

#### 1. 制造齿轮的常用非铁合金

用于制造齿轮的非铁金属主要是铜合金。常用的铸造铜合金及其力学性能如表 3-2 所示。

表 3-2 常用铸造铜合金及其力学性能

序号	合金牌号	状态	力学性能 $\geq$				主要用途
			$R_m$ /MPa	$R_{eL}$ /MPa	A	硬度 HBW	
1	ZCuZn25Al6Fe3Mn3	S	725	380	10	160	蜗轮
		J	740	400	7	170	
2	ZCuZn40Pb2	S	20	—	15	80	齿轮
		J	280	120	20	90	
3	ZCuZn38Mn2Pb2	S	245	—	18	70	蜗轮
		J	345	—	13	80	
4	ZCuSn5Pb5Zn5	S	200	90	13	60	较高载荷、中等滑动下工作的蜗轮
		J	200	90	3	60	
5	ZCuSn10Pb1	S	200	130	2	85	高载荷、耐冲击、高滑速的齿轮
		J	310	170	20	95	
6	ZCuAl9Mn2	S	390	—	20	100	耐蚀、耐磨齿轮
		J	440	—	13	110	
7	ZCuAl10Fe3	S	490	180	15	100	高载荷大型齿轮、蜗轮
		J	540	200	15	110	

(续)

序号	合金牌号	状态	力学性能 $\geq$				主要用途
			$R_m/\text{MPa}$	$R_{el}/\text{MPa}$	A	硬度 HBW	
8	ZCuAl10Fe3Mn2	S	490	—	20	110	高温、重载荷、耐蚀齿轮、蜗轮
		J	540	—	20	120	
9	ZCuAl8Mn13Fe3Ni2	S	645	280	20	160	高强耐蚀，重要齿轮、蜗轮
		J	670	310	18	170	
10	ZCuAl9Fe4Ni4Mn2	S	630	250	16	160	高强、耐蚀、400°C 以下工作的重要齿轮和蜗轮

## 2. 铸造铜合金制齿轮的热处理工艺设计

常用铸造铜合金制齿轮的热处理，主要是消除铸造内应力的退火。一般在保护气氛（水蒸气、惰性气体和氮气等）炉或真空（ $132.322 \times 10^{-1} \sim 133.322 \times 10^{-3}$  Pa）炉中 420°C 加热，透烧后随炉冷却到室温。

### 3.1.4 粉末冶金齿轮热处理工艺设计

以铁基粉末冶金制汽车发动机定时齿轮的热处理为例说明。

(1) 材料成分和密度的设计 定时齿轮成分（质量分数）：Fe-C0.9%；齿部密度  $6.6 \sim 6.7 \text{ g/cm}^3$ ，轮毂部分密度  $\geq 6.3 \text{ g/cm}^3$ 。具体成分和力学性能如表 3-3 所示。

表 3-3 烧结高碳钢定时齿轮成分及力学性能

钢种	牌号	密度/ ( $\text{g/cm}^3$ )	化学成分(质量分数, %)			力学性能		
			Fe	C <sub>化合</sub>	其他	抗拉强度 $R_m/\text{MPa}$	冲击韧度 $a_K/(J/cm^2)$	硬度 HRC
烧结高碳钢	FTG90-30(55R)	$\geq 6.8$	余量	$>0.7 \sim 1.0$	$\leq 2.0$	$\geq 550$	$\geq 5$	$\geq 55$

#### (2) 热处理工艺设计

1) 淬火：将定时齿轮放入浅盘中用木炭掩埋，装入 RX3-30-9 箱式电阻炉于 780 ~ 800°C 加热，整体透烧后出炉，散放在铁丝网框内，立即淬火于盐水中，冷却到 250°C 左右空冷。

2) 回火：在 RJJ-36-6 电阻炉中加热至 180°C，保温 1.5h 后空冷。

3) 喷砂后，全面检测质量。

(3) 处理结果 硬度为 55 ~ 57HRC；密度为  $6.5 \text{ g/cm}^3$ 。

## 3.2 弹簧热处理工艺设计实例

### 3.2.1 螺旋弹簧热处理工艺设计

#### 1. 50CrA 钢制气门弹簧的热处理工艺设计

(1) 气门弹簧的失效特点 该弹簧以往采用 65Mn 钢制造, 由于其承受高频率、高的非对称交变应力作用, 以及在燃烧产物的较高温度下工作, 往往以疲劳断裂和应力松弛为主, 多数断裂在 1~3 圈, 断面与轴线成 45°, 断裂源一般在弹簧的内表面。此外, 应力松弛后其精度失准也导致弹簧失效。

分析认为, 气门弹簧是汽车发动机中特别主要的弹簧, 其精度失准会降低发动机工作效率而增加油耗量; 一旦断裂掉入气缸内, 严重时甚至引发机毁人亡事故等。然而, 65Mn 钢是合金弹簧钢中力学性能最低的一种, 其仅适用于制造低应力弹簧。为了提高气门弹簧的使用性能和安全性, 应选择力学性能更好的材料并正确设计其热处理工艺。

(2) 气门弹簧选材 从该种弹簧的重要性考虑, 首先应当选择高级优质合金钢, 如 60Si2MnA、60Si2CrA、50CrVA 等。从经济、易得和不浪费功能以及强韧兼优等角度出发, 认为 50CrVA 钢更适合制造气门弹簧。

(3) 50CrVA 钢制气门弹簧的热处理工艺设计 在正确选材的基础上, 为了充分发挥其性能特点, 拟选择复合等温淬火方法, 即旨在获得马氏体和下贝氏体混合组织, 来提高其强韧性。

1) 在充分脱氧的中温盐浴炉中 900~910℃ 加热, 透烧后立即油冷至 250~300℃ 后进行 260~280℃ 等温转变, 保持 1~1.5h 后空冷。

2) 在 280~310℃ 硝盐浴中保温 60min 后空冷到室温。

3) 在清水流中彻底除净硝盐后进行钝化处理。

(4) 处理结果 同批试样的力学性能为:  $R_m = 1816 \sim 1896 \text{ MPa}$ ,  $Z = 46.7\% \sim 49.1\%$ 。传统的普通淬火回火处理弹簧使用寿命均低于  $2.24 \times 10^6$  次, 而复合等温淬火的弹簧在  $\tau_{max} > 780 \text{ MPa}$  的试验条件下, 其疲劳寿命达  $1 \times 10^7$  次。

#### 2. 60Si2MnWA 钢制缓冲弹簧的热处理工艺设计

(1) 缓冲弹簧的工作特点分析 缓冲弹簧和蝶形弹簧等, 其主要作用是缓冲减振, 具有负荷重 (28~32kN)、硬度高 (50~54HRC)、旋绕比小 (仅 1.75) 等特点。因此, 这种弹簧多用 60Si2MnWA 钢制造。其热处理工艺为 870℃ 加热透烧后, 在油中冷却淬火, 在 420℃ 保温 2.5~3h 回火。

(2) 缓冲弹簧的失效分析 以往这种弹簧在压缩过程中, 常发生脆断, 有时甚至脆断成若干小段。分析认为, 造成脆断的主要原因是强度、硬度高, 塑性、韧性不足或弹簧表面有缺陷 (如凹坑、深度划痕等) 所致。因此, 在保证原材料表

面质量的前提下，如何选择强度和韧性等的最佳配合极为重要。

(3) 缓冲弹簧的热处理工艺设计 为了确保 60Si2MnWA 钢制缓冲弹簧具有强韧兼优的性能，拟采用等温淬火方法，其工艺参数如下：

1) 在充分脱氧的中温盐浴炉中 850~870℃ 加热，透烧后立即进行等温冷却转变。

2) 在 280~310℃ 硝盐浴中恒温保持 30min 后空冷到室温。

3) 在清水流中彻底除净硝盐。

4) 回火：在硝盐浴中 290~330℃ 加热，保持 1.5h 后空冷。

(4) 处理结果 表 3-4 所示为不同工艺处理后的力学性能。

表 3-4 60Si2MnWA 钢制缓冲弹簧不同工艺处理后的力学性能

工艺类别	热处理工艺	HRC	$R_m/\text{MPa}$	$R_{el}/\text{MPa}$	$a_K/(\text{J}/\text{cm}^2)$	Z(%)	A(%)
常规工艺	870℃ 加热油淬 + 420℃ 回火	52	1931	1784	19.6	9	34
等温处理 工艺	870℃ 加热， 260℃ 等温 30min + 400℃ 回火	51	1852	1715	29.4	12	39
	870℃ 加热， 260℃ 等温 30min + 300℃ 回火	51	1862	1656	49.98	13	43

### 3.2.2 板弹簧热处理工艺设计

#### 1. 60Si2Mn 钢制汽车板弹簧的强韧化工艺设计

目前普遍认为：只有高温状态下的奥氏体中碳质量分数在 0.6% 以下，淬火后才能获得板条马氏体。以此认识为基础，对 60Si2Mn 弹簧钢进行强韧化工艺试验。

(1) 工艺试验条件 对 60Si2Mn 钢加热温度试验表明，随淬火加热温度提高，其淬火马氏体形态发生明显变化。加热温度低于 860℃ 时，淬火组织以片状马氏体为主，当温度提高到 880℃ 以上时，淬火马氏体逐渐由片状转为板条状，且随温度的提高，板条数量逐渐增加，板束逐渐增大。同时，随温度提高残留奥氏体也逐渐增多。加热温度低于 900℃ 时，残留奥氏体呈块状分布在板条状马氏体之间，待温度达到 920℃ 时，已明显地形成条状残留奥氏体并沿着条状马氏体束分布。上述马氏体形态变化，一般认为是由于加热温度提高，使钢中碳充分扩散而均匀化的结果。即较低温度加热时，原来的碳化物附近具有较高的碳浓度，淬火后转变为脆性较大的孪晶型片状马氏体。较高温度使更多区域的碳含量处于形成位错型板条马氏体的碳含量范围。因此，提高加热温度可使板条马氏体的比例明显增加。

表 3-5 所示为加热温度对 60Si2Mn 钢力学性能的影响。

表 3-5 加热温度对 60Si2Mn 钢力学性能的影响

试样编号	淬 火			回 火		
	加热温度 /℃	加热系统 /(min/mm)	冷却介质	温度 /℃	时间 /h	冷却介质
1	840	1.5	油	480	1.5	水
2	860	1.5	油	480	1.5	水
3	880	1.2	油	480	1.5	水
4	900	1.2	油	460	1.5	水
5	920	1.2	油	460	1.5	水

图 3-7 所示为淬火温度对 60Si2Mn 钢断裂韧度的影响。

(2) 60Si2Mn 钢板弹簧的强韧化工艺设计 在工艺试验的基础上, 将强韧化工艺纳入生产汽车板簧热处理正式工艺规程。

1) 淬火: 在燃气式步进炉中 920 ~ 930℃快速加热, 加热时间按 1.5 ~ 2.0min/mm 计算; 加热后在油中夹持摆动淬火, 冷却时间按 6s/mm 计算。

2) 回火: 在箱式电阻炉中 460℃加热, 保温 1.5 ~ 2.0h, 回火后在水中冷却, 以防产生回火脆性。

(3) 结果 现场生产数次抽检表明, 弹簧板片实际加热温度绝大多数为 900 ~ 940℃。经近一年的生产质量统计, 产品合格率在 95% 以上。

## 2. 20Mn2 钢制汽车板簧的低碳马氏体强韧化设计

低碳马氏体具有强韧兼优的力学性能, 特别是低碳低合金钢由于提供了较好的淬透性, 使低碳马氏体的应用大大拓展了范围。研究发现, 低碳低合金马氏体的力学性能与 60Si2Mn 钢制板弹簧的力学性能相近, 个别指标甚优。

(1) 力学性能对比试验 以同种规格不同材料的钢板进行试验, 结果如下:

1) 60Si2Mn 钢经 860℃加热后在油中冷却, 于 520℃回火后其抗拉强度为 1260MPa, 屈服强度为 1070MPa, 断面收缩率为 27%, 断后伸长率为 6%, 冲击韧度为 21.6J/cm<sup>2</sup>。

2) 20Mn2 钢 920℃加热后水中冷却。其抗拉强度为 1430MPa, 屈服强度为 1210MPa, 断面收缩率为 62%, 冲击韧度为 73.5J/cm<sup>2</sup>。

3) 20Mn2 钢与 60Si2Mn 钢力学性能对比试验表明: 20Mn2 钢的综合力学性能有利于提高汽车板弹簧的使用性能和寿命。

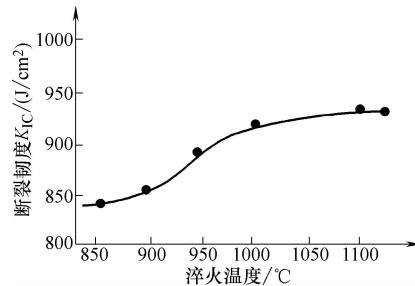


图 3-7 淬火温度对 60Si2Mn 钢  
断裂韧度的影响

(2) 板弹簧实物台架疲劳寿命试验 在生产的 60 架 CA-10 型汽车板簧总成中, 随机抽取 12 架进行试验。试验结果如下:

- 1) 按汽车板簧行业标准, 静载性能(刚度、残留变形等)全部合格。
- 2) 12 架总成样品的台架疲劳寿命试验, 全部超过行业标准规定的优等品指标。
- 3) 实物装车道路试验, 在矿山上运输铁矿石, 历时半年的跑车试验, 实际已运行近  $3 \times 10^4$  km 仍一切正常。

### 3.2.3 特殊用途弹簧热处理工艺设计

#### 1. 2Cr19Ni9Mo 不锈钢制手表发条的热处理工艺设计

(1) 手表发条要求的性能 手表发条是机械手表的动力源, 在反复储能、释放过程中承受交变载荷的作用。因此, 要求其制造材料具有高的弹性极限、弹性模量和弹性储能, 经恰当的热处理后具有较高的疲劳强度, 使发条工作过程保有低的力矩落差、力矩变动率和力矩疲劳衰减率, 以确保在使用期内发条的稳定性和走时准确。此外, 要求发条具有耐蚀和无磁性等。我国统一机芯手表发条材料采用 2Cr19Ni9Mo 不锈钢。

#### (2) 2Cr19Ni9Mo 不锈钢制发条的热处理工艺设计

1) 盘条的退火: 每次拉丝后均应进行同样的处理, 即在保护气氛炉中, 于 1160 ~ 1180°C 保温 15 min 后水冷。

2) 固溶处理: 在保护气氛炉中, 同样于 1160 ~ 1180°C 保温 15 min 后水冷。

3) 时效并定形处理: 发条装入定形夹具后, 在真空度为  $1.3 \times 10^2$  Pa 的真空炉中 510 ~ 530°C 加热, 保温 1 ~ 2 h 后用氮气吹冷或在真空炉内缓冷到 100°C 以下出炉。

#### 2. Ni42CrTi 恒弹性合金制手表游丝的热处理工艺设计

(1) 手表游丝要求的性能 手表游丝是一种螺旋线形的小弹簧, 是手表调速机构的主要元件, 对手表走时的精确性有着决定性影响。当其宽度、厚度和摆轮转动惯性一定时, 振动周期就只受材料的弹性模量和游丝长度的影响。因此, 游丝材料应具有较高的弹性模量、较低的弹性模量温度系数、尽量小的线胀系数和较高的弹性极限和疲劳极限等。此外, 制造过程应严格控制冷热加工质量。我国统一机芯手表游丝材料采用 Ni42CrTi 恒弹性合金。

#### (2) Ni42CrTi 恒弹性合金制手表游丝的热处理工艺设计

1) 冷轧后的再结晶退火: 在充分脱氧的 100% BaCl 盐浴炉中, 于 1040 ~ 1080°C 加热, 保温 30 min 后水冷。

2) 粗拉后的再结晶退火: 每次拉丝后均应进行同样的处理, 即在充分脱氧的 100% BaCl<sub>2</sub> 盐浴炉中,  $\phi 7.5 \sim \phi 4.5$  mm 的游丝在 1040 ~ 1080°C 加热, 保温 30 min 后水冷;  $\phi 4.5 \sim \phi 3.0$  mm 的游丝在 1040°C 加热。

3) 中拉后的再结晶退火: 每次拉丝后均应进行同样的处理, 即在充分脱氧的

100% BaCl<sub>2</sub> 盐浴炉中，于 975 ~ 1000℃ 加热，保温 30min 后水冷。

4) 固溶处理：在充分脱氧的 100% BaCl<sub>2</sub> 盐浴炉中，于 1045 ~ 1055℃ 加热，保温 20min 后水冷。

5) 时效并定形处理：在真空度为  $1.3 \times 10^2$  Pa 的真空炉中，于 750℃ 加热，保温 15min 后用氮气吹冷或在真空炉内缓冷到 100℃ 以下出炉。

### 3.3 轴承零件热处理工艺设计实例

#### 3.3.1 滚动轴承零件热处理工艺设计

##### 1. GCr15 钢制精密轴承环的强韧化工艺设计

(1) 精密轴承的失效分析 精密轴承工作时，承受高达 300 ~ 500 MPa 的交变接触压应力及摩擦，并承受介质的浸蚀等。其失效特征为：因过度磨损或应力松弛而失去精度；因接触疲劳表面产生麻点；因原材料碳化物形态及分布不良或韧性不足而脆裂等。因此，精密轴承零件对坯料原始组织要求很高，且热处理后应具有高强度，良好的韧性、耐磨性、耐蚀性及尺寸稳定性等，在特殊环境中工作的轴承，还需要耐腐蚀、耐高温、无磁性等。

(2) 精密轴承环生产的制造工艺路线 坯料锻轧 → 球化退火 → 机械切削加工 → 淬火 → 冷处理 → 低温回火 → 粗磨 → 时效 → 精磨 → 时效。

(3) 精密轴承环的预备热处理工艺 为了改善坯料的质量和为最终热处理奠定良好基础，对坯料采用锻轧余热淬火加高温回火处理，以期碳化物和晶粒度同时得到细化。其工艺曲线如图 3-8 所示。

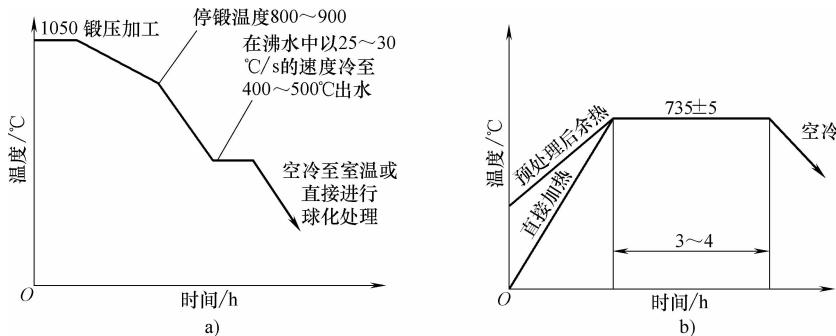


图 3-8 锻轧余热淬火加高温回火工艺曲线

a) 锻造余热沸水淬火 b) 高温回火

(4) 精密轴承环的最终热处理 为了使轴承环获得强韧化效果，拟采用马氏体分级淬火、回火和冷处理，以及粗磨、精磨后分别进行时效处理等工艺方案。其

工艺如下：

- 1) 分级淬火：在充分脱氧的  $\text{BaCl}_2$  和  $\text{NaCl}$  各 50%（质量分数）的盐浴炉中，于  $840 \sim 850^\circ\text{C}$  加热透烧后转入  $200^\circ\text{C}$  热油中保持 3min 后油冷。
- 2) 回火：在  $215 \sim 225^\circ\text{C}$  的硝盐浴中保持  $2.5 \sim 3.5\text{h}$  后空冷。
- 3) 冷处理：在液体二氧化碳 + 酒精的介质中，约  $-78^\circ\text{C}$  保持  $2 \sim 3\text{h}$ （冷透）后自然回升到室温转入粗磨工序。
- 4) 时效：在带风扇的保温箱中，于  $135^\circ\text{C}$  保持  $5\text{h}$ ，空冷到室温后转入精磨工序。
- 5) 精磨后再时效： $130 \sim 140^\circ\text{C}$ ，保温  $10\text{h}$  后空冷。
- (5) 处理结果 实测硬度为  $61\text{HRC}$ ，碳化物颗粒平均约  $0.5\mu\text{m}$ ，残留奥氏体（体积分数）约 2.8%，尺寸稳定（变形小于  $1\mu\text{m}$ ）。

## 2. G20CrNi2MoA 钢制特大型轴承零件的热处理工艺设计

- (1) 特大型轴承的应用及所需性能 特大型轴承多用于铁路车辆和飞机起落架轴承箱的轴承等。这类轴承零件表面需具有极好的耐磨性、高抗疲劳性，而心部则需具有良好的强韧性。
- (2) 特大型轴承选材特点 为了满足其使用性能要求，一般选择低碳中、高合金钢（如  $\text{GCr2Ni4A}$ 、 $\text{G10CrNi3A}$ 、 $16\text{Cr2Ni4A}$  和  $\text{G20CrNi2MoA}$  等）制造。其特点是淬透性好、力学性能潜力大，是制造特大型轴承的极佳材料，经恰当热处理后可完全满足使用性能要求。
- (3)  $\text{G20CrNi2MoA}$  钢的预备热处理 锻后在  $670 \sim 690^\circ\text{C}$  低温退火加热，保温  $8 \sim 12\text{h}$  后随炉冷却至  $100^\circ\text{C}$  以下出炉。
- (4)  $\text{G20CrNi2MoA}$  钢的最终热处理

- 1) 渗碳淬火：在 RQ3-105-9 型井式气体渗碳炉中采用控制气氛，于  $930 \sim 950^\circ\text{C}$  预渗  $24 \sim 30\text{h}$  后升至  $950 \sim 960^\circ\text{C}$  进行强渗  $6 \sim 10\text{h}$ ，随后炉冷到  $890^\circ\text{C}$  淬入油中，冷却  $15 \sim 30\text{min}$ （约  $150^\circ\text{C}$  以下）出油空冷。
- 2) 高温回火：在 RJ2-75-6 低温井式炉中，于  $600^\circ\text{C}$  保温  $10\text{h}$ ，升温到  $650^\circ\text{C}$  保温  $12\text{h}$  后空冷。
- 3) 二次淬火（模压）：在 RM3-75-9 型密封箱式电阻炉中，于  $820 \sim 830^\circ\text{C}$  保温  $57 \sim 120\text{min}$ ，转入自动模压校正机加压淬油冷却（单件出炉）。
- 4) 低温回火：在 RJ2-75-6 低温井式炉中，于  $160^\circ\text{C}$  保温  $12\text{h}$  后空冷。
- 5) 时效处理：在 RJ2-75-6 低温井式炉中，于  $130 \sim 140^\circ\text{C}$  保温  $6\text{h}$  后炉冷到室温。
- (5) 处理结果 渗碳层深度  $\geq 4.7\text{mm}$ ，表面层碳含量（质量分数）为  $0.8 \sim 0.9\%$ ，表面硬度为  $66 \sim 64\text{HRC}$ ，心部硬度  $> 25\text{HRC}$ ，组织为隐针马氏体 + 均匀分布的碳化物 + 少量残留奥氏体，无明显可见的粗大碳化物网或块。

### 3. HGCr15 钢制微型轴承套圈的真空热处理工艺设计

微型轴承是指其内径小于9mm的具有高精度、高灵敏度、长寿命和稳定可靠等特点的轴承。

(1) 微型轴承零件的失效形式和适用材料 由于微型轴承零件接触应力小(小于1960MPa)，则不易疲劳剥落，其主要失效形式是磨损。因此，所用材料有HGCr15、95Cr18(原9Cr18)和W18Cr4V等钢。

(2) 微型轴承零件所要求的性能 根据其失效特点，热处理后应具有均匀的硬度、耐磨性和高的尺寸稳定性等。

#### (3) 热处理工艺设计

1) 淬火工艺：微型轴承零件一般应在可控气氛炉或真空炉中进行热处理。现对HGCr15钢制微型轴承零件采用WZ-20Z真空炉840~850℃加热，保持75~90min(装炉量为10kg)。随后立即在压力为0.04MPa、温度为60~80℃的热油中冷却，3~5min后出炉。

2) 冷处理工艺：在淬火出炉30min以内，装入液体二氧化碳+酒精的介质中，在约-78℃保持0.5~1h(冷透)后自然回升到室温，转入清洗工序。

3) 回火工艺：在RJ2-30-6低温井式炉中，于150~160℃保温2.5~3h后空冷。

(4) 处理结果 硬度为62~64HRC，组织为隐针马氏体+分布均匀的碳化物。

### 4. 95Cr18钢制耐腐蚀轴承零件的热处理工艺设计

(1) 耐腐蚀轴承零件的适用材料 一般用不锈钢制造，如95Cr18、102Cr17Mo(原9Cr18Mo)、06Cr19Ni10(原0Cr18Ni9)、14Cr17Ni2(原1Cr17Ni2)和12Cr13(原1Cr13)等钢。

#### (2) 95Cr18钢的热处理工艺设计

1) 预备热处理：该牌号钢的轴承零件采用在RM3-75-9型密封箱式电阻炉中等温退火，其工艺参数为850~870℃加热，保温2~4h(视装炉量而定，以透烧为准)后，温度降至730℃，等温停留3~5h(视装炉量而定，透烧后延长0.5h)后随炉冷却到600℃以下出炉空冷。

2) 淬火：在WZ-20Z型真空炉中淬火，其工艺参数为600~650℃预热，透烧后升温到850℃，保温45~60min(视装炉量而定，以透烧为准)，再升温到1030~1050℃，保温30~60min后，在压力为0.04MPa，温度为60~80℃的热油中冷却3~5min出炉。

3) 回火：在RJ2-30-6低温井式炉中，于150~300℃保温2.5~3h后空冷。

4) 时效处理：在带风扇的保温箱中于140~150℃保温2~3h，空冷到室温。

### 5. Cr4Mo4V钢制耐高温轴承零件的热处理工艺设计

(1) 耐高温轴承零件的适用材料 一般用Cr4Mo4V、8Cr14Mo4V和H13Cr4Mo4Ni4V及W18Cr4V等钢制造。但它们有各自不同的适用温度范围，对于

Cr4Mo4V 钢则适于在  $-55 \sim 315^{\circ}\text{C}$  条件下工作的轴承零件，即使 W18Cr4V 钢长时间使用最高温度也不得超过  $500^{\circ}\text{C}$ ，即所谓高温轴承其使用温度也是有限度的。因此，应根据具体使用条件选择材料。此外，还与高温下的介质有关。例如，制造在高温腐蚀介质中工作的轴承需用 8Cr14Mo4V 钢制造，且仅适于制造在  $-55 \sim 430^{\circ}\text{C}$  条件下工作的轴承零件。

### (2) Cr4Mo4V 钢轴承零件的热处理工艺设计

1) 退火：采用一般退火或等温退火均可，毛坯的退火工艺曲线如图 3-9 所示。

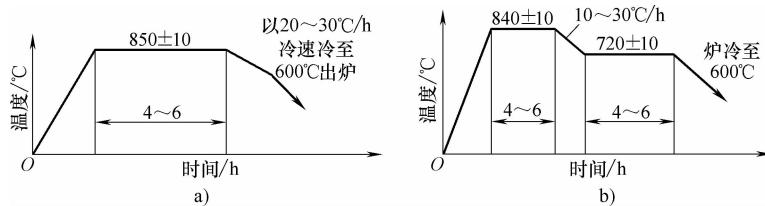


图 3-9 Cr4Mo4V 钢毛坯的退火工艺曲线

a) 一般退火工艺曲线 b) 等温退火工艺曲线

2) 淬火：Cr4Mo4V 钢制轴承零件的真空热处理工艺曲线如图 3-10 所示。

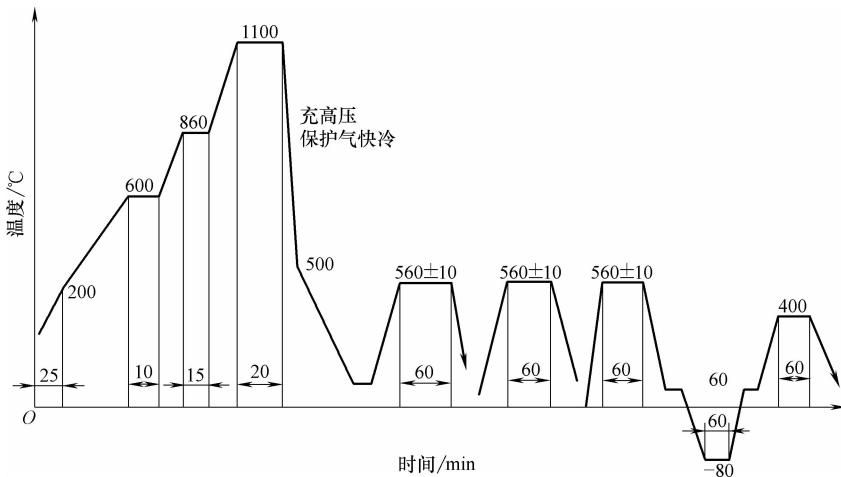


图 3-10 Cr4Mo4V 钢制轴承零件的真空热处理工艺曲线

### 3.3.2 滑动轴承零件热处理工艺设计

滑动轴承一般由轴承体和轴瓦构成，轴瓦直接支撑着转动轴。与滚动轴承比较，具有承压面积大、工作稳定、无噪声及装拆方便等优点。滑动轴承所用的合金具有减磨性好、足够的力学性能及良好的耐蚀性、导热性等特点。

#### 1. 常用的非铁滑动轴承合金及其热处理工艺设计

(1) 非铁轴承合金牌号种类及其用途 非铁滑动轴承合金一般为铸态合金。

常用的有：锡基合金、铅基合金、铜基合金和铝基合金等。表 3-6 所示为常用铸造轴承合金的牌号、成分和用途。

表 3-6 常用铸造轴承合金的牌号、成分和用途

类别	牌号	$w_{Me}$ (%)					硬度 HBW ≥	用途举例
		Sb	Cu	Pb	Sn	杂质		
锡基轴承合金	ZSnSb12Pb10Cu4	11.0 ~ 13.0	2.5 ~ 5.0	9.0 ~ 11.0	余量	0.55	29	一般发动机的主轴承，但不适用于高温工作
	ZSnSb11Cu6	10.0 ~ 12.0	5.5 ~ 6.5	—	余量	0.55	27	1500kW 以上蒸汽机、370kW 涡轮压缩机、涡轮泵及高速内燃机轴承
	ZSnSb8Cu4	7.0 ~ 8.0	3.0 ~ 4.0	—	余量	0.55	24	一般大机器轴承及高载荷汽车发动机的双金属轴承
	ZSnSb4Cu4	4.0 ~ 5.0	4.0 ~ 5.0	—	余量	0.50	20	涡轮内燃机的高速轴承及轴承衬
铅基轴承合金	ZPbSb16Sn16Cu2	15.0 ~ 17.0	1.5 ~ 2.0	余量	15.0 ~ 17.0	0.6	30	110 ~ 880kW 蒸汽涡轮机、150 ~ 750kW 电动机和小于 1500kW 起重机及重载荷推力轴承
	ZPbSb15Sn5Cu3Cd2	14.0 ~ 16.0	2.5 ~ 3.0	Cd As 0.6 ~ 1.0 Pb 余量	5.0 ~ 6.0	0.4	32	船舶机械、小于 250kW 电动机、抽水机轴承
	ZPbSb15Sn10	14.0 ~ 16.0	—	余量	9.0 ~ 11.0	0.5	24	中等压力的机械，也适用于高温轴承
	ZPbSb15Sn5	14.0 ~ 15.5	0.5 ~ 1.0	余量	4.0 ~ 5.5	0.75	20	低速、轻压力机械轴承
	ZPbSb10Sn6	9.0 ~ 11.0	—	余量	5.0 ~ 7.0	0.75	18	重载荷、耐蚀、耐磨轴承

(2) 非铁轴承合金的热处理 主要是铸造后的去应力退火，一般在 420 ~ 480℃ 加热，透烧后随炉冷却到 100℃ 以下出炉。

## 2. 常用的铸铁滑动轴承材料及其热处理工艺设计

(1) 常用铸铁轴承材料 一般为珠光体灰铸铁，其化学成分如表 3-7 所示。

(2) 灰铸铁轴承的热处理工艺设计 为了使得灰铸铁获得尽量多的珠光体，一般采用普通正火处理，其工艺曲线如图 3-11a 所示。对于有效厚度较大的毛坯或

铸造冷却后组织中铁素体较多的铸件，应采用等温正火，其工艺曲线如图 3-11b 所示。

表 3-7 珠光体灰铸铁轴承成分

序号	牌号	化学成分(质量分数, %)				
		C	Si	Mn	P	S
1	HT100	3.2~3.8	2.1~2.7	0.5~0.8	<0.3	≤0.15
2	HT150	3.3~3.6	1.8~2.2	0.5~0.8	<0.2	≤0.12
3	HT200	3.1~3.4	1.5~2.0	0.6~0.9	<0.15	≤0.12

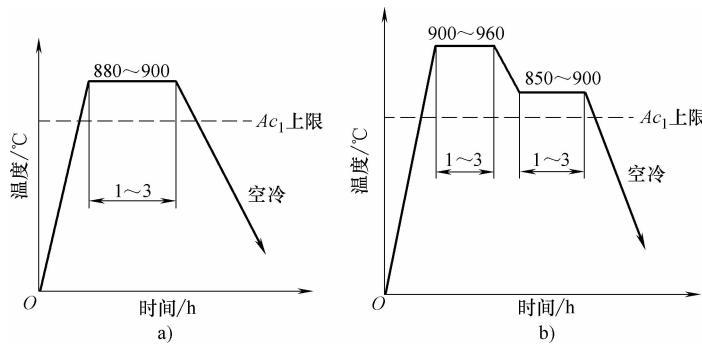


图 3-11 灰铸铁的正火工艺曲线

a) 普通正火 b) 等温正火

### 3. 铁基含油轴承化学成分及其热处理工艺设计

#### (1) 铁基粉末冶金制含油轴承的种类

1) 铁-石墨 ( $w_C = 0.5\% \sim 3\%$ ) 粉末合金制品。其硬度为  $30 \sim 110 \text{ HBW}$ ，组织为珠光体 (体积分数  $>40\%$ ) + 铁素体 + 碳化物 (体积分数  $<5\%$ ) + 石墨 + 空隙。

2) 铁-硫 ( $w_S = 0.5\% \sim 1\%$ ) 粉末冶金制品。其硬度为  $35 \sim 70 \text{ HBW}$ ，组织为珠光体 (体积分数  $>40\%$ ) + 铁素体 + 碳化物 (体积分数  $<5\%$ ) + 石墨 + 空隙 + 硫化物。

组织中的石墨和硫化物起着固体润滑剂作用，能改善减摩性。石墨还能吸附一定的润滑油，形成胶质状高效能的润滑剂。

#### (2) 铁基含油轴承的热处理工艺设计

1) 淬火：在有保护气氛的炉中，于  $790 \sim 900^\circ\text{C}$  加热透烧后油冷。

2) 回火：在  $175 \sim 250^\circ\text{C}$  的热油浴炉中，保温  $0.5 \sim 1.0\text{h}$  后空冷。

(3) 处理结果：同炉试样  $R_m = 350 \sim 400 \text{ MPa}$ ，表面硬度  $\geq 35 \sim 40 \text{ HRA}$ ，基体硬度  $\geq 600 \sim 800 \text{ HV0.2}$ 。

#### 4. 铜基含油轴承化学成分及其热处理工艺设计

(1) 常用的铜基含油轴承的特性 常用的铜基含油轴承是 QSn6-6-3 青铜与石墨粉末合金制品，其硬度为 20~40HBW。其成分与 QSn6-6-3 青铜相近，只是含质量分数为 0.5%~2% 的石墨。组织为  $\alpha$  固溶体 + 石墨 + 铅 + 空隙。该铜基含油轴承具有导热性好，耐蚀、抗咬合等性能，但承压能力不如铁基含油轴承。

(2) 铜基含油轴承的热处理工艺 主要是 420℃ 加热的退火，旨在消除烧结和压制过程中产生的内应力。

### 3.4 标准紧固件热处理工艺设计实例

#### 3.4.1 螺纹类紧固件热处理工艺设计

螺纹类紧固件主要是螺钉、螺栓和螺母等。

##### 1. 螺纹类紧固件所用材料

螺纹类紧固件的要求，一般以较高的综合力学性能为主，因此通常采用中碳碳素钢和中碳合金钢制造，如 35、45、40Cr、35CrMo、42CrMo 等。

##### 2. 螺纹类紧固件的热处理工艺设计

(1) 中碳碳素钢制螺栓和螺母的热处理工艺 工艺参数如表 3-8 所示。

(2) 常用的中碳合金钢制螺栓和螺母的热处理工艺 工艺参数如表 3-9 所示。

表 3-8 中碳碳素钢制螺栓和螺母的热处理工艺参数

钢牌号	螺栓、螺母名义 直径/mm	淬 火		回 火		硬度 HRC
		加热温度/℃	冷却介质	温度/℃	冷却介质	
35	$\leq M16$	830~850	质量分数为 5% 的盐水	440~460	空气	30~36
				460~520	空气	25~30
				520~580	空气	18~25
	$> M16$	840~860	质量分数为 5% 的盐水	440~460	空气	30~36
				460~520	空气	25~30
				520~580	空气	18~25
45	$\leq M16$	810~830	质量分数为 5% 的盐水	420~460		35~40
				460~490		30~36
				490~540		25~30
				540~590		18~25
	$> M16$	820~840	质量分数为 5% 的盐水	410~450		35~40
				450~490		30~36
				490~540		18~30

表 3-9 常用的中碳合金钢制螺栓和螺母的热处理工艺参数

钢牌号	螺栓名义 直径或试 样截面 /mm	热处理规范				力学性能					硬度 HRC	备注
		淬火 温度 /℃	冷却 介质	回火 温度 /℃	冷却 介质	$R_m$ /MPa	$R_{eL}$ /MPa	A (%)	Z (%)	$a_K$ (J/cm <sup>2</sup> )		
30CrMnSi	≤25	890	370℃ 硝盐浴			1357.3	1073.1		57	109.8		适用于≤ M24 最终热 处理件
	25	880	油	540	水或油	≥1078	≥882	≥10	≥45	≥49		
	60	880	油	540 ~ 560	水或油	≥882	≥735	≥15	≥45			> φ50 者 可水淬
30CrMo	≤20	860 ~ 880	水淬 油冷	600 ~ 630	水或油	≥784	≥588	≥15	≥50	≥78.4		也可用 880 ~ 900℃ 油淬
	22 ~ 36	860、 880	水淬 油冷	570 ~ 590	水或油	≥784	≥588	≥15	≥50	≥78.4		
35CrMo 和 40Cr	≤20	840 ~ 860	油	620 ~ 650	水或油	≥784	≥588	≥15	≥50	≥78.4	24 ~ 32	硬度供参 考(下同) > φ50 者可水 淬
	20 ~ 39	840 ~ 860	油	600 ~ 630	水或油	≥784	≥588	≥15	≥50	≥78.4	24 ~ 32	
	>39 ~ 90	860 ~ 880	油	580 ~ 610	水或油	≥784	≥588	≥15	≥50	≥78.4	24 ~ 32	
40Cr	25	850	油	500	水或油	≥980	≥784	≥9	≥45	≥58.8		28 ~ 33
	≤20	840 ~ 860	油	540 ~ 560	水或油	≥980	≥784	≥9	≥45	≥58.8		
35CrMo	25	850	油	500	水或油	≥980	≥784	≥12	≥45	≥78.4		
42CrMo	60	840	油	570 ~ 600	水或油	≥980	≥784	≥10	≥45		30 ~ 35	可用于大 截面螺栓
40B	25	840	水	550	水	≥784	≥637	≥12	≥45			
25Cr2MoVA	25	900	油	620	空气	≥931	784	≥14	≥55	≥78.4		
	55 ~ 85	900	油	620	空气	833	686	14		58.8		
	>85 ~ 130	900	油	620	空气	784	833	14		58.8		

### 3.4.2 垫圈类标准件热处理工艺设计

垫圈类标准件，经常使用的是弹性垫圈和弹性挡圈等。

### 1. 弹性垫圈和弹性挡圈所用材料

制造这些标准件通常采用 65Mn 和 60Si2Mn 等弹簧钢制造。要求性能不高、有效厚度 5mm 以下的也可用 60、65、70 钢制造。一般垫圈、挡圈可用 35、45 钢制造。

### 2. 弹性垫圈和弹性挡圈的热处理工艺设计

弹性垫圈和弹性挡圈的热处理工艺参数如表 3-10 所示。

表 3-10 弹性垫圈和弹性挡圈的热处理工艺参数

材 料	淬 火			回 火	
	加热温度/℃	保温时间	冷却介质	回火温度/℃	保温时间
70	780 ~ 830	透烧	水/油	360 ~ 400	透烧
65Mn	820 ~ 840	透烧	油	380 ~ 450	透烧
60Si2Mn	860 ~ 880	透烧	油	380 ~ 450	透烧

注：透烧时间，可根据所用炉型和装炉量而定，见本书附录 A。

## 第4章 汽车拖拉机典型件 热处理工艺设计实例

### 4.1 气缸套和活塞环热处理工艺设计实例

#### 4.1.1 气缸套热处理工艺设计

##### 1. 气缸套的热处理工艺分析

(1) 气缸套的失效分析 在长时间工作状态下，气缸套失效往往有两个主要原因：

- 1) 因高温、高压的燃气介质造成其内表面腐蚀磨损。
- 2) 因润滑不良导致与活塞间的严重划伤而失效。

(2) 主要性能要求 气缸套的主要作用是混合空气与可燃性气体（或雾化柴油），并在其中燃烧，且是活塞上、下运动的轨道。所以，气缸套整体应具有一定的强度、刚度和尺寸稳定性；其内壁应具有良好的耐磨性、耐热性和耐蚀性等。

(3) 选材要点 气缸套最常用的材料是铸铁。选材时，应选择硫含量为下限的灰铸铁和含镍、铬、铜的合金灰铸铁等。

##### 2. 典型气缸套的热处理工艺设计

(1) 气缸套材料及其成分 气缸套材料为灰铸铁，其成分（质量分数）为：C3.2% ~ 3.5%；Si1.8% ~ 2.2%，Mn0.5% ~ 0.8%，P < 0.2%，S ≤ 0.12%。

##### (2) 气缸套技术要求

- 1) 整体硬度：363 ~ 444HBW。
- 2) 金相组织：毛坯基体组织为体积分数 ≥ 85% 的珠光体和 ≤ 3% 的磷化物；成品基体组织为回火马氏体 + 细小片状石墨（其长度为 5 ~ 7 级）。
- 3) 变形量：不得大于加工余量的 1/3。
- 4) 表面质量：整体不得有任何形式的裂纹，内表面不得有肉眼可见的铸造缺陷及划痕。

(3) 生产批量及铸造方法 1500 件筒形毛坯，全部采用有砂衬的离心铸造法。

##### (4) 气缸套毛坯预备热处理工艺设计

1) 预备热处理设备的选择：在台车式电阻炉中进行，温度测量与控制为自动控制仪表；装炉量为 500kg/炉。

2) 预备热处理工艺参数: 根据同批铸件毛坯试样的硬度及金相检验结果, 确定为 510~530℃ 的去应力退火 (硬度和金相组织合格, 只为消除铸造应力时采用), 或低温石墨化退火 (在铸态无共晶渗碳体或数量不多时采用), 或高温石墨化退火 (当硬度  $\geq 240\text{HBW}$  或出现白口时采用), 或正火 (当硬度  $\leq 180\text{HBW}$  时采用)。

#### (5) 气缸套的最终热处理工艺设计

1) 淬火准备工作: 在台车式电阻炉中进行, 温度测量与控制为自动控制仪表; 为防止氧化脱碳, 采用单件浸蘸市场供应的保护涂料。装炉方式: 单件立式摆放在料盘中, 吊入台车后入炉加热。

2) 淬火工艺参数: 840~860℃, 透烧后保温 25~30min, 随即在油中冷却到 200℃ 左右出油, 继续空冷到室温。

3) 清洗: 在沸水中煮沸 20~30min 彻底去油。

4) 回火: 在带风扇并自动控温的回火炉中进行, 温度为 300~320℃, 到温后保温 30~45min 出炉空冷。

(6) 质量检验 按技术要求中的各项逐一检验, 全面合格后方可转入下序。

### 4.1.2 活塞环热处理工艺设计

#### 1. 活塞环的热处理工艺分析

(1) 活塞环的失效分析 经长时间工作的活塞环失效的主要原因:

- 1) 因高温、高压的燃气介质造成腐蚀磨损。
- 2) 因润滑不良导致与缸套间的严重划伤。
- 3) 因长时间往复运动造成疲劳断裂而失效。
- 4) 因弹力保持性差而失效等。

(2) 主要性能要求 活塞环分为气环和油环。气环用于密封气体, 油环用于调节和控制气缸壁上的润滑油。因此, 活塞环在工作温度下应保持足够的强度和弹性, 具有一定的耐磨性和较小的摩擦因数, 并有一定的韧性、耐疲劳性和良好的耐燃气腐蚀性, 以及良好的可加工性等。

(3) 选材要点 活塞环用料在 GB/T 1149.4—2008《内燃机 活塞环 第3部分 材料规范》中规定了气缸直径小于或等于 200mm 的往复活塞式内燃机活塞环的基本材料规格。其中, 包括具有最低抗弯强度及典型弹性模量要求的灰铸铁、球墨铸铁、合金铸铁、半可锻铸铁; 碳素弹簧钢 (80~85 钢)、合金弹簧钢 (65Mn、50CrVA 钢)、铬硅合金钢、铬钼钒合金钢以及粉末冶金材料等。表 4-1 和表 4-2 所示分别为几种铸铁活塞环材料的性能比较和粉末冶金活塞环材料成分及力学性能。

值得指出, 活塞环的材料种类较多, 选择材料时不仅要根据不同内燃机的各道环的工作要求, 还要从气缸-活塞-活塞环摩擦副的材料相匹配, 以及制造方便和经济合理等各方面综合考虑, 以取得最佳组合和较高的工作效率。

表 4-1 几种铸铁活塞环材料的性能比较

材料名称 (成分:质量分数)	抗弯强度 /MPa	抗拉强度 $R_m$ /MPa	断后伸长率 $A$ (%)	硬度 HRB	冲击韧度 $a_K/J \cdot cm^{-2}$	弹性模量 E/GPa
灰铸铁	≥350	—	—	96~106	—	77~82
合金铸铁(Cr0.3%)	500~550	—	—	96~106	—	90~101
合金铸铁(Cr0.2%,Mo0.2%)	500~530	—	—	100~105	—	85~90
合金铸铁(W0.4%,Cr0.2%,Mo0.2%)	≥400	—	—	98~108	—	90~110
球墨铸铁	1300~1600	650~750	≥3	100~112	≥20	155~175
球墨铸铁	≥1200	≥600	≥2	—	—	160
半可锻铸铁	880	—	—	98~108	—	142~171

表 4-2 粉末冶金活塞环材料成分及力学性能

化学成分(质量分数,%)								力学性能		
C	Si	Mn	S	P	Mo	Cu	Fe	$R_m$ /MPa	E/GPa	硬度 HV
0.9~2.0	≤0.3	≤0.5	≤0.2	≤0.2	0.4~1.7	2.0~4.5	余量	385	117	150

## 2. 活塞环的热处理工艺设计

根据所选择的材料, 设计与之相应的热处理工艺。

(1) 去应力退火 铸铁活塞环在机械加工后进行去应力退火, 如图 4-1a 和图 4-1b 所示。螺旋撑簧的去应力退火、如图 4-1c 所示。

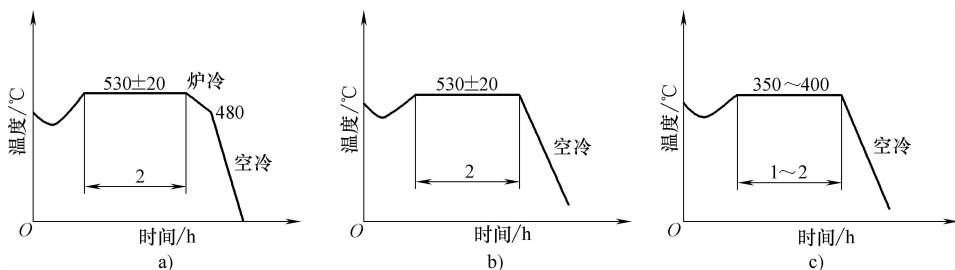


图 4-1 活塞环去应力退火工艺曲线

a)、b) 铸铁活塞环 c) 螺旋撑簧

(2) 热定形处理 当没有仿形车削设备时, 筒体铸造正圆形活塞环还需进行热定形, 即在定形前用椭圆形心轴或用 T 形撑板将开口的环装夹, 使开口撑开所要求的间隙, 然后按图 4-2 所示铸铁活塞环热定形工艺曲线执行。

(3) 铸铁活塞环的淬火与回火 为了提高铸铁活塞环的硬度和耐磨性, 需在保护气氛炉中进行淬火与回火。球墨铸铁活塞环淬火与回火工艺曲线如图 4-3 所

示。操作时，应将活塞环重叠装夹并压紧，以减少变形。

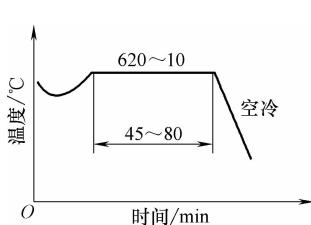


图 4-2 铸铁活塞环热定形工艺曲线

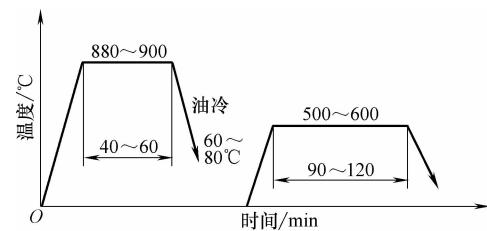


图 4-3 球墨铸铁活塞环淬火与回火工艺曲线

为了进一步提高活塞环的耐磨性，可表面镀铬；为提高耐热性，可以表面喷涂金属钼等。

## 4.2 曲轴和连杆热处理工艺设计

### 4.2.1 曲轴热处理工艺设计

#### 1. 曲轴的热处理工艺分析

##### (1) 曲轴的失效分析

1) 多数曲轴因轴颈与曲柄过渡圆角处应力集中而产生疲劳裂纹，进一步拓展后断裂。

2) 有时因在轴颈中部的油道内壁产生裂纹，发展为曲柄处的断裂。

3) 因长期使用造成轴颈表面严重磨损而失效。

(2) 曲轴主要性能要求 首先应满足其整体力学性能要求，其次要满足曲拐轴颈的疲劳强度和耐磨性。

(3) 曲轴选材要点 曲轴材料有钢和球墨铸铁两种。其中，钢质材料包括45和50碳素结构钢和40Cr、50Mn、35CrMn、42CrMn、35CrNiMo、18Cr<sub>2</sub>Ni<sub>4</sub>WA等合金结构钢以及45V、48MnV、49MnVS等非调质钢。在GB/T 23339—2009《内燃机曲轴 技术条件》中对锻钢曲轴的选材有严格要求。

球墨铸铁曲轴应按GB/T 1348—2009中的规定，即采用不低于牌号为QT700-2的球墨铸铁制造；内燃机转速低于1500r/min的曲轴，可采用不低于QT600-3的球墨铸铁制造；农业用发动机曲轴，也有的企业规定球墨铸铁力学性能不低于牌号QT600-3的。

(4) 曲轴的热处理方法 各种曲轴的预备热处理为正火或调质处理；其最终热处理有感应淬火回火、渗氮和氮碳共渗等方法。

#### 2. 典型球墨铸铁曲轴的热处理工艺设计

(1) 球墨铸铁典型成分 其成分（质量分数）为C3.5%~3.8%，Si1.8%~

2.2%，Mn0.5% ~ 0.8%，P < 0.1%，S ≤ 0.03%，Mg0.045% ~ 0.06%，RE0.035% ~ 0.05%。

### (2) 热处理技术要求

1) 毛坯硬度：240 ~ 280HBW；整体淬火回火后硬度为40 ~ 45HRC；轴颈表面淬火和自回火后硬度为52 ~ 57HRC。

2) 金相组织：毛坯基体为（体积分数）球化级别≥4级、珠光体≥80%、碳化物≤2%；成品基体组织为回火马氏体+球状石墨；弯曲度不得大于加工余量的1/3；表面质量为不得有肉眼可见的裂纹、划痕和铸造气孔、夹渣、砂眼等缺陷。

(3) 生产批量及铸造方法 1500件毛坯，全部采用砂型铸造法。

(4) 曲轴毛坯预备热处理设备 在台车式电阻炉中进行，温度测量与控制为自动控制仪表；装炉量为8 ~ 10件/炉。

1) 预备热处理工艺：根据同批铸件毛坯试样的硬度及金相检验结果确定，可在500 ~ 600℃去应力退火（硬度和金相组织合格，只为消除铸造应力时采用），或在720 ~ 760℃低温石墨化退火（在铸态无共晶渗碳体或数量不多时采用），或在900 ~ 960℃高温石墨化退火（当硬度≥240HBW或出现白口时采用），或在840 ~ 880℃正火（当硬度≤180HBW时采用）。

2) 操作要点：300℃以下装炉，加热保温时间为4.5h，随后正火空冷或退火，采用炉中缓冷到200℃以下出炉。

(5) 曲轴的整体热处理 成品的整体热处理为淬火和回火。

1) 淬火准备工作：在台车式电阻炉中进行，温度测量与控制为自动控制仪表；为防止氧化脱碳，采用单件浸蘸市场供应的保护涂料。浸涂操作要点详见其产品使用说明书。

2) 装炉方式：单件立式吊挂，吊入RJ2-105-12井式电阻炉加热。

3) 淬火工艺参数：850 ~ 900℃，透烧后保温25 ~ 30min，随即在油中冷却到200℃左右出油，继续空冷到室温。

4) 清洗：在清洗机中喷淋20 ~ 30min，彻底去油。

5) 回火：在带风扇并自动控温的回火炉中进行，温度为250 ~ 300℃，到温后保温30 ~ 45min出炉空冷。

(6) 质量检验 按技术要求中的各项逐一检验，全面合格后方可转入轴颈高频感应淬火。

## 4.2.2 连杆热处理工艺设计

### 1. 连杆的热处理工艺分析

#### (1) 连杆的失效分析

1) 在高应力区（杆身中间、小头与杆身的过渡区、大头与杆身的过渡区）易产生疲劳裂纹，进一步拓展后断裂。

2) 常因原材料缺陷、锻造折叠及隐藏的淬火裂纹等导致连杆断裂。

(2) 连杆主要性能要求 为了适应连杆工作时能够承受交变的拉-压应力和弯曲应力需要，在GB/T 23340—2009《内燃机 连杆 技术条件》中规定，连杆热处理后抗拉强度  $R_m \geq 735\text{ MPa}$ ；屈服强度  $\geq 539\text{ MPa}$ ；冲击韧度  $\alpha_k \geq 58.8\text{ J/cm}^2$ 。连杆调质后应进行强化喷丸处理，使其表面呈压应力状态，以增强表面抗疲劳性能。

(3) 连杆选材要点 制造连杆的材料，目前有两大类：钢质材料（调质钢和非调质钢）；铸铁材料（球墨铸铁和可锻铸铁）等。

球墨铸铁和可锻铸铁因其可加工性优良，在交变载荷作用下的疲劳极限与一般碳钢相近，且成本较低，则在少数机型中得到应用。

用非调质钢制造连杆，与调质钢相比具有简化工艺、提高材料利用率、改善连杆质量、节约能耗和降低成本等优点。改革开放以来，我国在非调质钢研制和应用方面取得了一定成果，并逐渐在连杆和曲轴等零件上推广应用。

(4) 连杆的热处理方法 连杆的热处理一般为调质处理和喷丸强化。非调质钢制连杆可通过控制锻后冷却速度来获得预期的组织和性能。

## 2. 典型连杆的热处理工艺设计

以轿车和小型拖拉机连杆为例，对其进行热处理工艺设计。

(1) 材料选择 轿车和小型拖拉机连杆常用45、40Cr和45Mn2钢制造。

(2) 热处理工艺设计 连杆的调质处理既是其预备热处理，也是其最终热处理。目前有些企业用锻后余热淬火回火代替调质，取得较好效果，既简化工艺、节能，又改善可加工性，还提高力学性能。表4-3所示为轿车和小型拖拉机连杆的调质处理工艺。调质质量全面合格后转入喷丸强化。

表4-3 轿车和小型拖拉机连杆的调质处理工艺

序号	钢牌号	淬 火		回 火			硬度 HBW
		加热温度 /℃	冷却介质	加热温度 /℃	保温时间 /min	冷却方式	
1	40Cr	850~870	油冷	610~330	60	水冷	241~298
2	45	830~850	盐水12s后入油	670~680	30(盐浴)	空冷	207~241
3	45Mn2	840~860	油冷	620~640	162	喷水	228~269

## 4.3 凸轮轴和挺杆热处理工艺设计

### 4.3.1 凸轮轴热处理工艺设计

#### 1. 凸轮轴的热处理工艺分析

(1) 凸轮轴的失效分析

1) 由于凸轮轴工作时，其凸轮处承受周期性挤压应力，导致凸轮表面产生麻

点，甚至表面剥落而失效。

2) 因凸轮与挺杆体反复周期接触而产生滑动摩擦，使凸轮尖部严重磨损失效。

(2) 凸轮轴主要性能要求 汽车拖拉机用内燃机凸轮轴，由于凸轮-挺杆间的接触应力较大，因此，要求具有良好的耐磨性和抵抗点蚀的能力，以及适宜的硬化层深度，以防硬化层剥落。

(3) 凸轮轴选材要点 由于凸轮轴的使用条件及工况不同，则对材料要求也不同。目前，汽车拖拉机和柴油机用的凸轮轴材料有钢和球墨铸铁两种。其中，钢的牌号包括碳素钢45钢(调质)、20钢和20CrMnTi钢(渗碳)以及QT900-2等。

(4) 凸轮轴的热处理 凸轮轴的预备热处理工艺：球墨铸铁和合金铸铁凸轮轴采用去应力退火；钢制凸轮轴多采用正火或调质。其最终热处理：球墨铸铁和合金铸铁凸轮轴采用贝氏体等温淬火和氮碳共渗；低碳钢制凸轮轴采用渗碳淬火、回火；中碳钢采用感应淬火、回火等。

## 2. 典型凸轮轴的热处理工艺设计

以铬钼合金铸铁制凸轮轴为例，对其进行热处理工艺设计。

(1) 铬钼合金铸铁典型成分 其成分(质量分数)为：C3.2%~3.4%，Si1.9%~2.1%，Mn0.7%~0.9%，P<0.1%，S≤0.01%，Cr0.9%~1.1%，Mo0.4%~0.6%。

(2) 铬钼合金铸铁制凸轮轴加工路线 铸造毛坯→加工中心孔→中频感应淬火→粗磨→精磨→校直→清洗→离子氮碳共渗→抛光。

(3) 主要技术要求 氮碳共渗层深度为0.10~0.15mm；表面硬度≥860HV。

### (4) 热处理方法及工艺参数设计

1) 工艺方法：铬钼合金铸铁制凸轮轴在LD-75A离子渗氮炉中进行氮碳共渗，采用竖直插入式装夹，装炉量为300根/炉。

2) 主要工艺参数：共渗温度为550~600℃，时间为2.5~4h；氨气供给量0.6~1.5L/min，丙烷气供给量为5~15mL/min；炉内压力为1500~2200Pa；电压为500~800V，电流为20~80A；冷却方式为真空炉冷。

(5) 处理结果 化合物层深为0.008~0.016mm，扩散层深大于0.20mm。

## 4.3.2 挺杆热处理工艺设计

### 1. 挺杆的热处理工艺分析

(1) 挺杆的失效形式 由于挺杆与凸轮接触的端面为球面，与凸轮相对滑动的过程为点接触，承受较大接触应力，致使挺杆的主要失效方式为磨损、擦伤及接触疲劳性破坏。

(2) 主要性能要求 如前所述，挺杆主要失效方式是端头磨损、擦伤和接触疲劳破坏。因此，挺杆整体应具有足够的强度、抗疲劳能力和一定韧性；端头应具

有较高硬度，确保良好的耐磨性。

(3) 选材要点 挺杆材料主要有20、15Cr、20Cr等渗碳钢；35、45、45Cr等调质钢。使用铸铁制作挺杆的多数为铬钼或铬镍钼合金铸铁。例如： $w(\text{Ni}) = 0.40\% \sim 0.50\%$ ， $w(\text{Cr}) = 0.50\% \sim 1.0\%$ ， $w(\text{Mo}) = 0.40\% \sim 0.60\%$ ，有的企业采用35钢堆焊合金铸铁等。

#### (4) 挺杆的热处理工艺方法

1) 预备热处理：低碳碳素钢挺杆毛坯锻造后直接空冷正火；低碳合金钢和合金铸铁需进行普通退火。

2) 挺杆加工工艺路线：一般挺杆的工艺路线为热镦成形。其工艺路线为：下料→热镦→机械加工→渗碳→淬火和回火→精加工→磷化→成品。

筒状挺杆的工艺路线为冷挤压成形。其工艺路线为：下料→退火→磷化、皂化→精加工→磷化→成品。

3) 最终热处理：挺杆的最终热处理视所用材料而定，低碳碳素钢和低碳合金钢制挺杆需进行渗碳或碳氮共渗后淬火、回火；合金结构钢制挺杆进行普通淬火和回火处理。

### 2. 典型挺杆的热处理工艺设计

以35钢制挺杆为例，对其进行热处理工艺设计。

(1) 预备热处理 35钢锻造时适当控制终锻温度（在 $A_{c1}$ 以上 $10\sim50^{\circ}\text{C}$ ），锻后空冷。无需重新正火，直接进行机械加工成形。

(2) 最终热处理 采用碳氮共渗后直接淬火，随后进行低温回火。

1) 碳氮共渗直接淬火。其工艺曲线如图4-4所示。

2) 回火。在带风扇并自动控温的回火炉中进行，加热温度为 $180\sim200^{\circ}\text{C}$ ，到温后保温 $30\sim45\text{min}$ 出炉空冷。

3) 精加工后磷化处理。

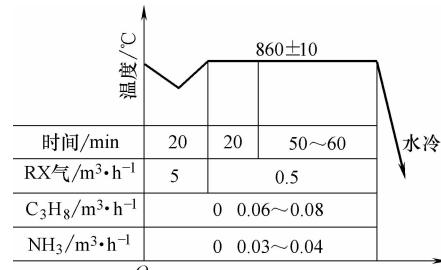


图4-4 35钢挺杆在RJJ-60井式炉中碳氮共渗工艺曲线

## 4.4 排气阀和半轴热处理工艺设计

### 4.4.1 排气阀热处理工艺设计

#### 1. 排气阀的热处理工艺分析

##### (1) 排气阀的失效形式

1) 由于排气阀的最高工作温度处于其盘部和颈部，将导致这两部分极易因严

重烧蚀而失效。

2) 由于盘锥面与阀座接触处长时间承受严重热腐蚀、热磨损和热疲劳而失效。

3) 杆部和颈部因疲劳折断也时有发生。

(2) 主要性能要求 从对排气阀的主要失效方式分析可知, 其整体应具有足够的强度、抗疲劳能力和一定的韧性; 防止盘部烧蚀应有耐热性, 盘锥面应有良好耐蚀性和耐磨性等。

(3) 选材要点 由于其工作条件的特殊性, 目前多数选用马氏体型的 Cr-Si 钢和奥氏体型的 Cr-Mn-Ni 和 Cr-Ni 钢, 如 42Cr9Si2、40Cr10Si2Mo、45Cr14Ni14W2Mo 和 53Cr21Mn9Ni4N 以及 53Cr21Mn9Ni4N 与 45Mn2 (或 42Cr9Si2) 钢焊接等。

(4) 排气阀的热处理工艺方法 典型的 42Cr9Si2 钢制排气阀调质处理工艺参数和 40Cr10Si2Mo 钢排气阀的热处理工艺参数, 分别如表 4-4 和表 4-5 所示。

表 4-4 42Cr9Si2 钢制排气阀调质处理工艺参数

工序	加热温度/℃	加热介质	保温时间/min	冷却方式	显微组织
淬火	1030 ~ 1050	盐浴	5 ~ 20	水淬油冷	马氏体 + 碳化物
回火	680 ~ 700	空气	90 ~ 120	油冷或水冷	回火索氏体 + 碳化物

表 4-5 40Cr10Si2Mo 钢排气阀的热处理工艺参数

序号	淬 火				回 火			硬度 HRC	
	温度/℃		加热介质	时间 /min	冷却方式	温度 /℃	时间 /min		
	预热	淬火							
1	850	1040 ± 10	盐浴	5 ~ 8	油冷	630 ± 10	150	水冷 31 ~ 36	
2	850	1050 ± 10	盐浴	5	油冷	680 ± 10	120	空冷 32 ~ 37	
3	840	1050 ± 10	盐浴	15	油冷	750 ± 10	180	空冷 30 ~ 35	

## 2. 典型挺杆的热处理工艺设计

以 45Cr14Ni14W2Mo 钢制机车和大马力柴油机的排气阀为例, 对其进行热处理工艺设计。

(1) 材料的化学成分 45Cr14Ni14W2Mo 钢的化学成分, 如表 4-6 所示。

表 4-6 45Cr14Ni14W2Mo 钢的化学成分 (质量分数) (%)

C	Si	Mn	S	P	Ni	Cr	Mo	W	Fe
0.40 ~ 0.50	≤0.8	≤0.7	≤0.03	≤0.035	13.0 ~ 15.0	13.0 ~ 15.0	0.25 ~ 0.40	2.00 ~ 2.75	余量

(2) 热处理工艺设计 45Cr14Ni14W2Mo 钢排气阀的最终热处理为普通渗氮或离子渗氮。其工艺参数分别见图 4-5 的工艺 1 或工艺 2。如果原材料在冶金厂已经

固溶处理，则机械制造厂不再固溶处理，只进行时效处理。

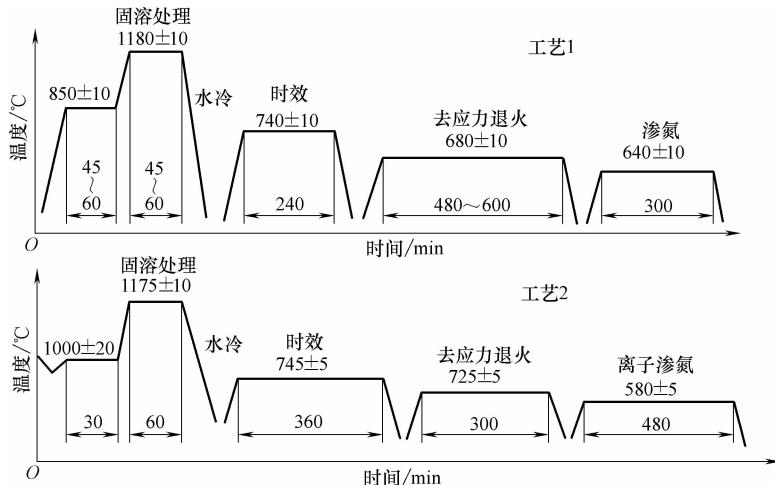


图 4-5 45Cr14Ni14W2Mo 钢排气阀热处理工艺曲线

#### 4.4.2 半轴热处理工艺设计

##### 1. 半轴的热处理工艺分析

###### (1) 半轴的失效形式

1) 汽车拖拉机半轴的失效方式，主要是因长时间使用或热处理硬度不当，导致花键齿被压陷或磨损而报废。

2) 另种失效方式，是因杆部与花键连接处以及杆部与凸缘连接处应力集中严重，易产生疲劳断裂。

(2) 主要性能要求 由于半轴是汽车和轮式拖拉机上驱动行走轮的杆件，它主要承受驱动和制动转矩，故半轴整体需要具有良好的扭转强度和抗疲劳能力；同时，汽车拖拉机行走的路况十分复杂，不可避免有大幅度的颠簸，因此半轴还需具有较好的冲击韧性；特别是花键齿部分，需要具有耐磨性和抗压陷的能力。

(3) 选材要点 半轴一般采用淬透性较好的中、低碳合金钢制造。其中，中碳合金钢包括 40Cr、42CrMo、40MnB、40CrMnMo、40CrMn、35CrMnSi 和 40CrV 等；低碳合金钢包括 20CrMnTi 和 12Cr2Ni4A 等。应当指出，以往拖拉机半轴常采用低合金渗碳钢制造，目前多用 40Cr 和 40MnB 钢制造，可以简化热处理工艺、大大缩短生产周期和节约能源。

###### (4) 半轴的预备热处理工艺方法

1) 半轴的加工工艺路线为：下料→锻造成形→正火或退火→机械加工→调质→喷丸→校直→精加工→成品。

2) 正火：锻造毛坯一般采用正火处理，对于正火后硬度过高的锻件应进行退火。

(5) 半轴的最终热处理工艺方法 为了改善半轴的可加工性和为感应淬火奠定良好的组织基础，通常采用调质处理，然后进行中频感应加热淬火、回火，以期提高半轴的疲劳寿命。

## 2. 典型半轴的热处理工艺设计

以 40MnB 钢制 CA-10 汽车半轴为例，对其进行热处理工艺设计。

### (1) 40MnB 钢制半轴的半成品调质工艺

1) 淬火：在台车式电阻炉中进行，温度测量与控制为自动控制仪表；装炉量为 20~24 件/炉。其工艺参数为：830~850℃ 加热，透烧后在油中冷却。

2) 回火：在带风扇并自动控温的回火炉中进行，温度为 300~350℃，到温后保温 30~45min 出炉水冷。

3) 硬度检测为 40~45HRC。

### (2) 半轴感应淬火工艺参数（表 4-7）

表 4-7 半轴感应淬火工艺参数

序号	项 目	连 续 淬 火			整体淬火
		法 兰 圆 角	杆 部	花 键	
1	发动机空载电压/V	340	400	400	750
2	发动机负载电压/V	335	410	400	730
3	发动机负载电流/A	280	285	250	460
4	发动机有效功率/kW	80	89	85	260
5	功率因数 $\cos\phi$	1.0	0.99	0.98	0.9
6	变压器匝比	11/1			12/4
7	电容量/ $\mu\text{F}$	147.35			—
8	加热时间/s	—			58
9	冷却时间/s	—			—
10	水压/MPa	0.15~0.35			—
11	淬火冷却介质温度/℃	25~45			30~40
12	淬火介质(质量分数)	0.2%~0.3% 聚乙稀醇水溶液			水
13	感应器移动速度/(mm/s)	3~12, 常用 3~6			—

(3) 处理结果 表面硬度：52~58HRC；硬化层深度：花键处为 4~5mm，杆部为 5~6mm；磁力探伤无裂纹可见；直线度误差（全长校直后）小于 0.20mm。

## 4.5 油泵油嘴偶件热处理工艺设计

### 1. 油泵油嘴偶件的热处理工艺分析

#### (1) 偶件的失效形式

1) 喷油泵柱塞偶件和喷油嘴偶件均为精密偶件, 常因长时间使用或材料选择或热处理硬度偏低被磨损, 导致间隙超差而失效。

2) 因喷油嘴受上部燃烧室热量影响, 如果材料的耐回火性或耐蚀性差, 也会因使用时硬度降低造成不耐磨或轻微腐蚀破坏其精度而失效。

(2) 偶件主要性能要求 喷油泵柱塞偶件由柱塞和柱塞套组成, 喷油嘴偶件由针阀和针阀体组成。两种偶件都是精密偶件, 尺寸配合精度高, 因而要求尺寸稳定性好。为此, 偶件需要具有良好的耐蚀性、耐磨性和组织稳定性, 以及较小的热膨胀系数, 且与配合件相似等。

(3) 偶件选材要点 在生产实践中, GCr15 和 GCr15SiMn 滚珠轴承钢和 CrWMn 合金工具钢被广泛用于柱塞偶件和小马力柴油机的针阀偶件; 大马力柴油机常用 W18Cr4V 和 W6Mo5Cr4V2 高速钢制作针阀; 常用 18Cr2Ni4WA 等合金渗碳钢制造针阀体。

(4) 偶件的预备热处理工艺方法 大多数合金工具钢和轴承钢毛坯的预备热处理为球化退火; 高速钢常用普通退火; 高合金渗碳钢毛坯的预备热处理为正火加高温回火。

#### (5) 偶件的最终热处理工艺方法

1) 偶件制造的工艺路线为: 热轧棒料预备热处理→机械加工→热处理→精加工→稳定化处理→成品。

2) 偶件的最终热处理 有低碳合金钢制偶件的渗碳淬火及冷处理、回火和稳定化处理; 轴承钢和合金工具钢以及高速钢制偶件的淬火及冷处理、回火和稳定化处理等。

## 2. 典型偶件的热处理工艺设计

以几种常用钢制精密偶件为例, 对其进行热处理工艺设计。

(1) GCr15 钢制柱塞偶件的马氏体分级淬火 其工艺曲线如图 4-6 所示。

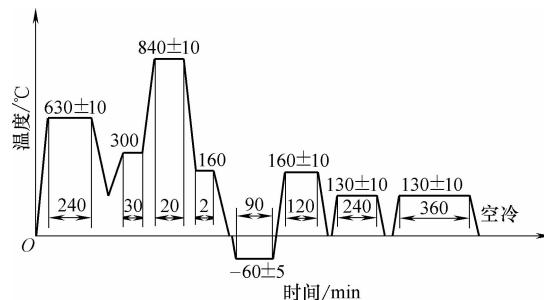


图 4-6 GCr15 钢制柱塞偶件的马氏体分级淬火工艺曲线

(2) GCr15SiMn 钢制柱塞偶件的热处理工艺 其工艺曲线如图 4-7 所示。

(3) 18Cr2Ni4WA 钢制针阀体的热处理工艺 其工艺曲线如图 4-8 所示。

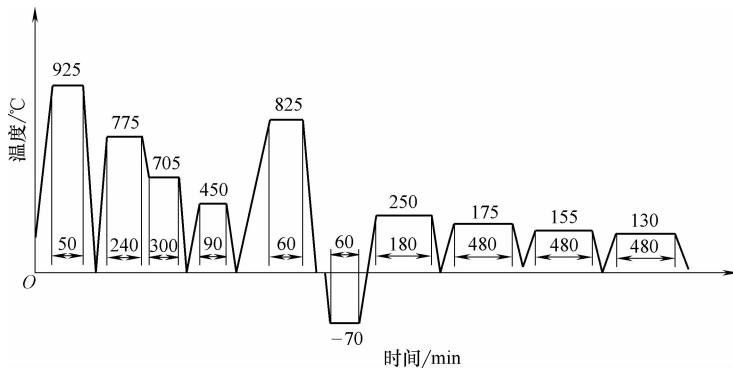


图 4-7 GCr15SiMn 钢制柱塞偶件的热处理工艺曲线

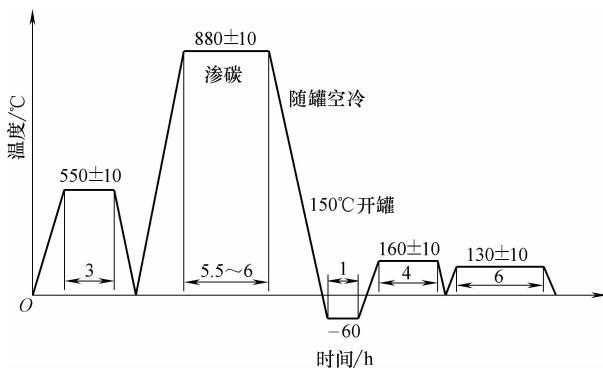


图 4-8 18Cr2Ni4WA 钢制针阀体的热处理工艺曲线

(4) W6Mo5Cr4V2 钢制针阀的热处理工艺 其工艺曲线如图 4-9 所示。

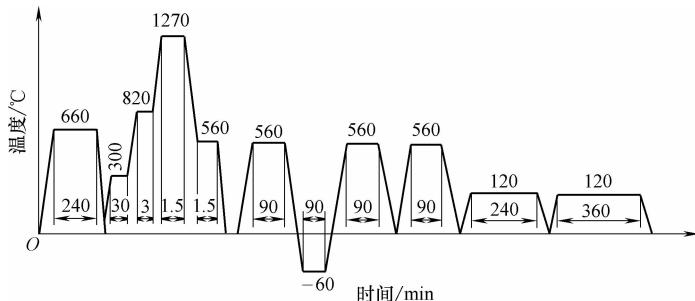


图 4-9 W6Mo5Cr4V2 钢制针阀的热处理工艺曲线

# 第5章 工具、模具、量具典型件 热处理工艺设计实例

## 5.1 工具（刃具）热处理工艺设计实例

### 5.1.1 刀具的承载特点及常用钢种的特性

机械工业金属切削加工使用的刀具种类繁多，如各种车刀、铣刀、刨刀、镗刀、拉刀、插齿刀、滚齿刀、剃齿刀和钻头、铰刀、锪钻以及丝锥、板牙等。其中分为机用和手用两类，因各自的承载特点不同，则所需性能也有别。

#### 1. 各种刃具的承载特点

1) 在机用刃具中，由于工作时的切削状态不同，这些刃具又分为连续切削（如车刀、钻头和铰刀、铣刀、滚齿刀等）和断续切削（如刨刀、插齿刀等）两种。

2) 由于各种刃具切削形式的差异，有的刃部以承受弯曲应力为主兼受高速摩擦（如车刀和镗刀等）；有的以承受扭转应力为主兼受高速摩擦（如钻头和锪钻等）；有的以冲击应力为主兼受低速摩擦（如刨刀和插齿刀等）；有的以扭转应力为主兼受低速摩擦（如铰刀和丝锥等）；有的承受弯曲应力为主兼受冲击和高速摩擦（如卧铣刀和滚齿刀）等。

3) 对于手用刃具，一般均承受低速切削摩擦和一定的弯曲、扭曲应力的作用。

鉴于上述各种刃具的不同承载特点，其常见的失效形式是磨损、折断、崩刃和不适应性失效等。

#### 2. 刀具的常见失效形式

1) 磨损 在力学性能满足的前提下，刃具磨损是最常见的失效形式。导致刃具正常磨损的主要原因是被加工物中的硬质相（如碳化物、磷硫化物、硅酸盐和氧化物等）和切屑上的结瘤以及混入其中的氧化硅微粒等硬性杂质的摩擦。因此，这种磨损以颗粒磨损为主，兼有粘着磨损。

2) 折断 这是一种非正常失效，即未达到预期使用寿命而早期报废。刃具产生折断一方面是由于其抗弯或抗扭强度低；另一方面，有时是刃具设计时的安全系数过小、选材不当以及使用不合理等造成的。

3) 崩刃和碎裂 崩刃是刃具常见的失效形式之一，严重时，甚至大块碎裂。

产生这种现象，如果不是使用上的不当，就是材料和热处理方面存在问题。例如，原材料中的碳化物偏析或夹杂物严重超标；热处理淬火加热温度过高导致晶粒度粗大，韧性降低等。

4) 不适应性失效 在刃具使用过程中，在有一定的磨损后，对于加工一般零件虽然仍具有使用价值，但对于要求精度较高和表面粗糙度值要求小的精密零件加工已不适应而失效。对于成形刃具这种失效即为报废。对于磨损后可以重新刃磨继续使用的刃具不属于此类。

### 3. 刀具的性能要求

从上述对刃具的失效分析，不难看出金属切削加工所用刃具对性能的要求是多方面的。例如，影响耐磨性的硬度和内部组织的组成以及耐回火性、热硬性；影响折断的破断抗力（弯曲强度和扭转强度）；影响崩刃和碎裂的冲击韧度和疲劳强度等。

### 4. 刀具用钢的选择

为了减少刃具使用过程的不正常失效，根据每种刃具的承载特点和失效形式，正确选材和进行恰当的热处理是关键环节。下面，主要阐述刃具常用钢种的特性和具体选择。

常用于制作刃具的钢种，有碳素工具钢、合金工具钢和高速工具钢以及钢结硬质合金等。

表 5-1 为几种常用的刃具钢主要性能的相对比较。

表 5-1 几种常用的刃具用钢主要性能的相对比较

钢 种	耐磨性	韧性	热硬性	淬透性	成本
碳素工具钢	2~4	3~7	1	浅	1
合金工具钢	4	3	3	中	1
高速工具钢	7~9	1~3	8~9	深	3~5

从表 5-1 可见，在几种常用的刃具用钢中，由于碳素工具钢的耐磨性和热硬性最差，淬透性最浅，而且淬火时的裂纹和变形敏感性强等弱点，所以一般只用于制作低速切削的手用刃具。

合金工具钢的耐回火性和淬透性以及力学性能（弯曲强度和扭转强度等）比碳素工具钢要好，而且淬火裂纹和变形敏感性小。因此，淬火时可以用油或低温融熔的盐浴、碱浴冷却。这种钢常用于制作结构较复杂的、负载稍大的、低速切削的手用刃具。

高速工具钢的耐磨性和热硬性以及淬透性最好，而且强度高。因此，高速钢在机用金属切削刃具上应用最广泛，通过恰当的热处理，适用于制作不同规格、各种承载条件下的刃具。

在实际生产中，金属切削刃具的所用材料牌号，可参照表 5-2 所示进行选择。

表 5-2 制作各种刃具推荐的钢牌号

刃具名称	推荐的钢牌号
丝锥、圆板牙	9SiCr、Cr06、GCr15、T10、T12、W6Mo5Cr4V2 等
搓丝板、滚丝轮	9SiCr、W6Mo5Cr4V2 等
铣刀、钻头、铰刀	W6Mo5Cr4V2、W2Mo9Cr4V2、W18Cr4V、CrWMn、9SiCr 等
齿轮刀具	W6Mo5Cr4V2、W6Mo5Cr4V2Co5、W2Mo9Cr4VC08 等
拉刀	W6Mo5Cr4V2、W18Cr4V、CrWMn 等
车刀	W6Mo5Cr4V2、W12Cr4V5Co5、W6Mo5Cr4V3、W6Mo5Cr4V2Al 等

## 5.1.2 碳素工具钢和合金工具钢刃具热处理工艺设计

### 1. 碳素工具钢和合金工具钢的预备热处理

碳素工具钢和合金工具钢的预备热处理，包括球化退火、去应力退火、正火和调质等。

(1) 球化退化的质量要求 碳素工具钢和合金工具钢球化退化后的珠光体级别和网状碳化物级别分别按 GB/T 1298—2008 和 GB/T 1299—2000 的第一级别图和第二级别图评定，合格级别见表 5-3 规定。

表 5-3 碳素工具钢和合金工具钢退火后组织要求

钢牌号	珠光体组织	网状碳化物
T7、T8、T8Mn、T9	$\leq \phi 60\text{mm}$ 者，1~5 级	$\leq \phi 60\text{mm}$ 者，≤2 级
T10、T11、T12、T13	$\leq \phi 60\text{mm}$ 者，2~4 级	$\leq \phi 60\text{mm}$ 者，≤2 级 $> \phi 60 \sim \phi 100\text{mm}$ 者，≤3 级
9SiCr、Cr6、CrWMn、CrMn	≤5 级	$\leq \phi 60\text{mm}$ 者，≤3 级
供作丝锥用 9SiCr	2~4.5 级	$\leq \phi 60\text{mm}$ 者，≤2 级

(2) 球化退火 球化退化旨在降低钢材硬度，便于切削加工；获得良好的原始组织，为淬火作好准备等。对于不易球化的钢可采用循环退火工艺，即第一次等温后重新加热到退火温度，然后再冷却到等温温度，往复数次（一般 2~3 次）即可获得满意结果。对于正火和淬火状态下的毛坯或半成品，可采用低温球化退火。

(3) 去应力退火 去应力退化旨在消除因冷塑性变形加工产生的加工硬化或因切削加工产生的内应力。去应力退火一般使用 600~700℃ 的温度。根据毛坯或半成品有效尺寸大小及装炉量确定保温时间（一般 1~3h），随后空冷。对于薄壁件和要求残留应力小的情况下，应采用随炉冷却；对为消除磨削加工产生的内应力，可采用 500~550℃ 退火；对消除精磨后的内应力，可在 300~350℃ 加热透烧后炉中缓慢冷却。

(4) 正火 正火旨在消除过热组织的晶粒度和钢中的网状碳化物；对于淬火返修件重新淬火前也可进行一次正火。正火后的组织为片状珠光体，一般需进行一次低温球化退化，使珠光体成球粒状。

(5) 调质处理 旨在使机械粗加工后的半成品，在继续精加工时获得较低的表面粗糙度值；细化淬火前的晶粒度，以期减少淬火时的变形和提高韧性。

## 2. 碳素工具钢和合金工具钢刃具的最终热处理

碳素工具钢和合金工具钢刃具的最终热处理，即成品刃具的淬火、回火、冷处理和化学热处理等。

碳素工具钢和合金工具钢刃具淬火和回火的技术要求：

1) 表面质量：刃具本体表面应进行防锈处理（如发黑、磷化和镀铬等），除磨削加工部分外，其余部分应有防锈层。

2) 不同材料制作的刃具，整体淬火和回火后刃部一般为 58HRC 以上的高硬度；个别情况下使用的刃具可适当调整硬度值。

3) 刀具淬火回火后显微组织应为 3 级以下的隐针（或细针）状回火马氏体 + 少量残留奥氏体 + 分布均匀的粒状碳化物。

4) 刀具淬火回火后不得有深度超过预留磨削加工余量 1/3 的脱碳层；不得有任何形式的裂纹；变形度应不超过附录 C 的规定。

## 3. T10 钢制手用丝锥的淬火和回火工艺设计

(1) 所用材料和技术要求 手用丝锥大多采用 T10 和 T12 钢制作，技术要求如下：

1) 刀部硬度：规格 M1 ~ M3 丝锥为 59 ~ 61HRC；规格 M3 ~ M8 丝锥为 60 ~ 62HRC；规格 > M8 丝锥为 61 ~ 63HRC；柄部硬度；规格 < M12 者为 30 ~ 55HRC；规格  $\geq M12$  者为 30 ~ 45HRC。

2) 金相组织为回火马氏体（<3 级）+ 少量残留奥氏体 + 分布均匀的碳化物。

3) 表面发蓝处理。

(2) 热处理工艺性分析 手用丝锥是低速切削刀具，主要失效形式为摩擦磨损，小规格丝锥容易折断。因此，首先刃部要有足够高的硬度和耐磨性。此外，整体应有很好的韧性和抗扭强度。鉴于上述，淬火加热时，除严格控制加热温度外，其加热时间不宜过长，保证齿根以下 1mm 左右达到规定的淬火温度即可，但心部硬度不得低于 50 ~ 55HRC，以确保有良好的韧性和抗脆断能力。

(3) 热处理工艺设计 高碳钢手用丝锥的淬火和回火工艺见表 5-4。

## 4. T10A 钢制圆板牙的淬火和回火工艺设计

(1) 所用材料和技术要求 碳素工具钢圆板牙一般是在低硬度的软质材料套扣时使用，通常用 T10A 钢制作。其淬火和回火技术要求如下：

1) 硬度要求：刃部为 58 ~ 60HRC。

2) 变形度要求：椭圆度  $\leq 0.12\text{mm}$ ，最终修整深度不得  $> 0.15\text{mm}$ 。

表 5-4 高碳钢手用丝锥的淬火和回火工艺

预热	加热	冷却			柄部处理	回火
		≤M12	M12 ~ M25	> M25		
600 ~ 650°C	770 ~ 790°C	200 ~ 220°C 硝盐中保温 2 ~ 3min 后空冷	160 ~ 180°C 碱浴分级冷透后空冷	盐水-油双介质冷却	600°C, 10 ~ 60s 后水冷	180 ~ 220°C, 保温 90 ~ 120min 空冷

3) 金相组织为回火马氏体 <3 级 + 少量残留奥氏体 + 分布均匀的碳化物。

4) 表面发蓝处理。

(2) 热处理工艺性分析 圆板牙的承载特点属低速切削，工作时齿尖承受往复弯曲应力，而且有些许冲击作用等。因此，热处理后应有很好的耐磨性和优良的强度和韧性。由于碳工钢本身淬火后强度不高、脆性较大，所以淬火加热温度和最终硬度不宜过高，何况其工作时通常是加工低硬度的软质材料，如非铁金属及其合金等。

(3) 热处理工艺设计 高碳工具钢制圆板牙的淬火和回火工艺参数见表 5-5 所示。

表 5-5 T10A 钢制圆板牙淬火和回火工艺参数

预热	加热	冷却			回火
		M6 ~ M9	M10 ~ M15	M16 ~ 24	
600 ~ 650°C	770 ~ 790°C	200 ~ 220°C 硝盐中保温 2 ~ 3min 后空冷	160 ~ 180°C 碱浴分级冷透后空冷	盐水-油双介质冷却	180 ~ 220°C, 保温 90 ~ 120min 后空冷

### 5. T12A 钢制锉刀的热处理工艺设计

锉刀是一种多刃的切削工具，主要用于锉削硬度为 18 ~ 58HRC 范围内的金属材料。工作中承受强烈磨损和弯曲变形以及一定的冲击。因此，要求锉刀具有较好耐磨性的同时，还需要具有一定的抗弯强度和韧性。

(1) 锉刀的失效分析 同种材料制作的优质锉刀使用过程的失效形式是磨损；质量不佳的锉刀往往是早期断齿和崩刃。失效分析表明，两者仅仅是组织结构的差异，即碳化物形态和基体组织形态不同。

(2) 热处理工艺性分析 由于 T12A 钢是过共析钢，脆性较大。常规热处理一般是以获得细小碳化物为目的，改善其韧性并获得强韧化效果。然而，对锉刀而言要得到良好的锉削性能，认为在组织中保持一定数量的大颗粒碳化物是很有效的方法。同时，为了保持良好的韧性，热处理后基体应是低碳马氏体组织并将碳化物棱角钝化。

(3) 锉刀的热处理工艺设计

1) 预备热处理：采用图 5-1 所示的两段等温球化退火工艺，旨在改变锉刀的

原始组织状态。首先加热到比  $A_{c_{cm}}$  ( $820^{\circ}\text{C}$ ) 稍高的  $840 \sim 850^{\circ}\text{C}$ ，经适当保温，使组织中仅保留为数不多的碳化物，且奥氏体组织不均匀。然后，进入第一阶段球化退火，组织中不均匀奥氏体的高浓度碳偏析区和未溶碳化物成为大颗粒碳化物长大的核心。同时，在周边组织中碳浓度降低，为淬火后获得低碳马氏体做好组织准备。在进入第二阶段球化退火时，即在  $A_{c_1}$  以下等温，碳化物进一步扩散、析出、聚集球化，使大颗粒碳化物进一步长大，并新生许多弥散分布的小颗粒碳化物。如此，一定数量的大颗粒碳化物和大量的珠光体为最终热处理奠定了良好基础。

2) 最终热处理：采用快速加热短时保温的热处理工艺。由于实际刃部加热温度较低，加热时间较短，碳化物大小不均，溶解速度不同，故得到成分极不均的奥氏体和一定数量的碳化物，淬火后组织性能良好。

(4) 处理结果 组织为一定数量的低碳马氏体 + 较多的隐针马氏体 + 棱角钝化且大小不均碳化物；断口形貌为大量浅韧窝和撕裂棱；锉刀使用寿命达到 50 万次的较高水平。

## 6. 9SiCr 制圆板牙的淬火和回火工艺设计

(1) 所用材料和技术要求 合金工具钢圆板牙通常用 9SiCr 制作，其热处理技术要求如下：

- 1) 硬度为  $60 \sim 63\text{HRC}$ 。
- 2) 金相组织为回火马氏体 ( $< 3$  级) + 少量残留奥氏体 + 分布均匀的碳化物。
- 3) 螺孔椭圆度  $\leq 0.12\text{mm}$ ，最终修整深度不得  $> 0.15\text{mm}$ 。
- 4) 表面发蓝处理。

(2) 热处理工艺性分析 圆板牙属低速切削的手用刃具，要求齿部有较好的耐磨性和高硬度。同时齿部不宜太脆，即要有较好的韧性。9SiCr 钢脱碳倾向较大，特别应注意加热介质的选择。另外，该材料的耐回火性较好，在确定回火温度时，在要求同等硬度的情况下，应比碳素工具钢和其他合金工具钢要高些。

(3) 热处理工艺设计 9SiCr 钢制圆板牙淬火和回火工艺参数见表 5-6 所示。

表 5-6 9SiCr 钢制圆板牙淬火和回火工艺参数

预热温度/ $^{\circ}\text{C}$	淬 火 参 数						回火
	圆板牙规格	M1 ~ 2.5	M3 ~ 5	M6 ~ 9	M10 ~ 15	M16 ~ 24	
600 ~ 650	加热温度/ $^{\circ}\text{C}$	860 ~ 870	860 ~ 870	860 ~ 870	850 ~ 860	850 ~ 860	190 ~ 200 $^{\circ}\text{C}$ 保温 90 ~ 120min 后空冷
	等温温度/ $^{\circ}\text{C}$	160 ~ 170	170 ~ 180	180 ~ 190	190 ~ 200	200 ~ 210	

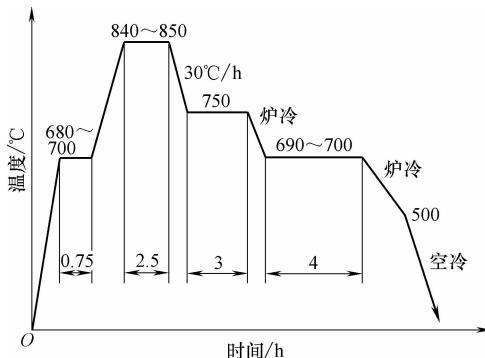


图 5-1 T12A 钢两段球化退火工艺

## 7. 9SiCr钢制手用铰刀的淬火和回火工艺设计

(1) 所用材料和技术要求 合金工具钢手用铰刀通常用9SiCr制作，淬火回火技术要求如下：

1) 刃部硬度：规格 $\phi 3 \sim \phi 8\text{mm}$ 者为 $62 \sim 64\text{HRC}$ ；规格 $> \phi 8\text{mm}$ 者为 $63 \sim 65\text{HRC}$ 。

2) 柄部硬度： $30 \sim 45\text{HRC}$ 。

3) 弯曲变形度，根据不同规格要求，在 $0.15 \sim 0.30\text{mm}$ 范围内。

4) 淬火回火后发蓝处理。

(2) 热处理工艺性分析 该铰刀属低速切削的手用刀具，要求齿部有极好的耐磨性和高硬度。但齿部不宜太脆，即要有一定的韧性。

9SiCr钢脱碳倾向较大，特别应注意加热介质的选择。另外，该材料的耐回火性较好，在确定回火温度时，当要求同等硬度的情况下应比碳素工具钢和其他合金工具钢要高些。

(3) 热处理工艺设计 9SiCr钢手用铰刀淬火和回火工艺参数如表5-7所示。

表5-7 9SiCr钢制手用铰刀淬火和回火工艺参数

预热温度 /℃	加热温度 /℃	冷却		回火	
		$\phi 3 \sim \phi 13$	$\phi 13 \sim \phi 50$	$\phi 3 \sim \phi 8$	$\phi 10 \sim \phi 50$
600 ~ 650	850 ~ 870	160 ~ 180℃，硝盐，45min	$\leq 80\text{℃}$ 油冷到约100℃出油	170 ~ 180℃，90 ~ 120min，空冷	140 ~ 160℃，90 ~ 120min，空冷

## 8. 9SiCr钢制搓丝板的淬火和回火工艺设计

(1) 所用材料和技术要求 合金工具钢搓丝板材料多数用9SiCr钢，其淬火和回火技术要求如下：

1) 硬度：齿部以下 $3 \sim 5\text{mm}$ 为 $58 \sim 61\text{HRC}$ 。

2) 基体组织：隐针马氏体( $< 3$ 级)+少量的残留奥氏体+粒状碳化物。

3) 变形度不得超过磨削加工余量的 $1/3$ 。

4) 表面发蓝处理。

(2) 热处理工艺性分析 搓丝板是滚压螺纹的刀具，工作时齿部承受强烈挤压、磨损和冲击。其失效特点是齿尖磨损和齿面疲劳损坏。因此，搓丝板要求齿部有较高的硬度和疲劳强度以及一定的韧性。9SiCr钢具有耐回火性好和脱碳敏感性强的特点，加热时应采取有效措施防止氧化脱碳；在同等硬度下，其回火温度比其他合金工具钢和碳素工具钢高。

(3) 9SiCr钢搓丝板的淬火和回火 其工艺规范如表5-8所示。

## 9. 9SiCr钢制圆刀片冷处理急热法工艺设计

9SiCr钢制三种圆刀片的基本尺寸和技术要求，如表5-9所示。

表 5-8 9SiCr 钢制搓丝板淬火和回火工艺参数

预热温度 /℃	加热温度 /℃	冷却		回火 170 ~ 180℃, 保温 90 ~ 120min 后空冷
		≤ M6	> M6	
600 ~ 650	850 ~ 870	160 ~ 180℃, 硝盐, 45min	≤ 80℃ 油冷到 100 ~ 150℃ 后空冷	

表 5-9 9SiCr 钢制圆刀片的尺寸和硬度

序号	外径/mm	厚度/mm	内孔/mm	热处理后硬度	平面度/mm
1	130	12	35	90 ~ 100HS (64.7 ~ 69HRC)	< 0.10
2	180	6	80		< 0.08
3	286	10	45		< 0.10

(1) 热处理工艺性分析 根据表 5-9 所示条件, 欲想达到硬度要求, 又要防止淬火和磨削产生裂纹, 并把变形控制在最小范围内, 用常规热处理工艺方法难于实现。采用激冷淬火加冷处理急热工艺, 获得较好效果。

### (2) 热处理工艺设计

1) 去应力退火: 在 450 ~ 500℃ 加热, 保温 1.5 ~ 2h。

2) 淬火与回火: 在 860 ~ 870℃ 加热, 按 0.5min/mm 计算保温时间; 于密度为 1.28 ~ 1.33g/cm<sup>3</sup> CaCl<sub>2</sub> 水溶液中淬火。在 140 ~ 150℃ 保温 1 ~ 2h 回火后空冷。

3) 冷处理: 在 -78℃ 保温 1h 后, 立即在 100℃ 热水中煮沸, 5 ~ 8min 后取出。

4) 时效处理: 在 125 ~ 135℃ 保温 24h。

(3) 处理效果 按上述处理的三种刀片, 硬度为 65 ~ 67HRC (90.5 ~ 95HS); 无磨削裂纹, 粗磨后应再度进行一次 125 ~ 135℃ 保温 24h 的时效处理, 以便消除磨削应力。

## 10. GCr15 钢制落料刀片快速加热“薄壳”淬火工艺设计

GCr15 钢制落料刀片用于 35 钢制六方螺母毛坯的下料, 原热处理工艺及其使用情况如表 5-10 所示。

表 5-10 刀片原热处理工艺及使用情况

序号	热处理工艺	硬度 HRC	使用寿命	失效形式	废品分析
1	830 ~ 850℃ × 12min, 油淬, 170 ~ 190℃ × 1.5h 回火, 空冷	58 ~ 60	1/3 ~ 1/2 工作班	掉角、崩刃	冲击韧度差
2	830 ~ 850℃ × 12min, 油淬, 340 ~ 360℃ × 1.5h 回火, 空冷	50 ~ 52	1/2 ~ 1.0 工作班	掉角、磨钝	冲击韧度差, 耐磨性差
3	830 ~ 850℃ × 12min, 油淬, > 400℃ × 1.5h 回火, 空冷	< 52	无法使用	塑性变形	强度不足

(1) 失效分析 从表5-10中可见，尽管回火温度提高到340~360℃，仍然掉角而且已明显不耐磨。再度提高回火温度到400℃以上时，已无法满足刀片使用时的硬度要求。因此，在常规淬火条件下，通过提高回火温度的办法，以期提高韧性而大幅度提高使用寿命的愿望无法实现。通过试验，采用快速加热“薄壳”淬火工艺获得较满意效果。

### (2) “薄壳”淬火工艺设计

1) 预热：分别在箱式炉中于500~550℃加热、保温时间按2min/mm计算和840~860℃加热保温时间按7~8s/mm计算两次预热，以减小热应力和有利于后续加热时均匀相变。

2) 加热：在1040℃盐浴炉中快速加热，按4~5s/mm计算停留时间，随后淬油。淬火后硬度为62~66HRC。

3) 回火：在240~250℃加热，保温1.5~2h后空冷。硬度为53~59HRC。

(3) 处理效果：经上述工艺处理后，使用寿命比原来提高3倍以上。这是由于刀片心部硬度低，可吸收较多的冲击功，使整体韧性提高的结果。

## 11. CrW5钢制铰刀的热处理工艺设计

(1) 热处理工艺性分析 CrW5钢的淬透性不高，淬火时需要在水中冷却。但由于碳含量较高（质量分数为1.25%~1.50%），所以淬火后具有较高的硬度和耐磨性，但裂纹敏感性强。该钢的另一特点是抗回火性较差，淬火后有时要在沸水中较长时间回火。

### (2) 热处理工艺设计

1) 预热：选择适当的夹具，铰刀在夹具中不得密装。在450~500℃井式炉或箱式炉中预热透烧（按加热时间的2~3倍计算）。

2) 加热：在820~840℃盐浴炉中加热，按1.0~1.2min/mm计算保温时间。柄部1/2长度浸入盐浴中。

3) 冷却：加热后立即淬入水中（水温≤40℃），冷却到120℃左右出水空冷；或淬入“两硝”水溶液中冷却（水溶液温度≤70℃）。

4) 回火：在130~150℃保温2~3h后空冷。

5) 校直：回火后清洗干净，逐一检测弯曲度，超差者一般借柄校直。

(3) 处理结果 硬度为≥63HRC；直线度≤0.20mm，磨削后达到设计图样要求。

## 12. 6CrW2Si钢制冷剪刀的热处理工艺设计

2000kN冷剪机用的6CrW2Si钢制剪刃，其外形尺寸为650mm×150mm×50mm。根据剪刃工作条件，刃口需要有足够高的强度和硬度，同时还需要一定的韧性和塑性，即具有良好的强韧性和耐磨性。

(1) 失效分析 剪刃使用过程主要失效形式为崩刃和掉块。实际情况是一个班平均要报废2~3副剪刃，导致操作者劳动强度大大增加、生产效率降低、成本

提高。为此，进行了重要改进。

(2) 热处理工艺设计 加热前涂防氧化涂料，烘干后在 940℃ 加热 90min 后淬油，冷却到  $M_s$  点稍许停留，使其产生少量马氏体后迅速转入 260℃ 硝盐浴中保温 45min，空冷；经 260℃ 加热回火 90min 后空冷。

(3) 处理效果 经上述处理后其变形度极小，直线度由原来的 1~2mm 降到 0.2~0.3mm；硬度为 52~53HRC。使用寿命提高 5~8 倍，即由原来一个班使用 2~3 副，提高到一副剪刃连续使用 3 个班。其失效形式为正常磨损和局部压塌。磨损后的剪刃可以刃磨后继续使用。

### 5.1.3 高速工具钢刃具热处理工艺设计

#### 1. 高速钢的种类、牌号及其特性

高速钢种类及其牌号，如表 5-11 所示。其中包括通用高速钢、高性能高速钢和国产的低合金高速钢以及国外已使用的典型粉末高速钢也列入表中。

表 5-11 高速钢种类及其牌号

种类	牌号
通用高速钢	W6Mo5Cr4V2、W18Cr4V、W9Mo3Cr4V、W6Mo5Cr4V3、W2Mo9Cr4V2、CW6Mo5Cr4V2、CW6Mo5Cr4V3
高性能高速钢	W18Cr4VC05、W18Cr4V2Co8、W6Mo5Cr4V2Co5、W7Mo4Cr4V2Co5、W2Mo9Cr4VC08、W12Cr4V5Co5、W6Mo5Cr4V2Al
低合金高速钢	W4Mo3Cr4VSi、W3Mo2Cr4VSi
国外粉末高速钢	ASP23 (W6Mo5Cr4V3)、ASP30 (W6Mo5Cr4V3Co5)、ASP53 (W4Mo3Cr4V8)、CPM-RexT15 (W12Cr4V5Co5)、CPMex76 (W10Mo5Cr4V3Co5)

通用高速钢主要用于制作各种普通切削刃具。高碳高钒高速钢和含铝高速钢的耐磨性极好，但可磨削性差，仅适用于制作形状简单或热处理后少无磨削的刃具。含钴高速钢具有很高的热硬性和耐磨性，主要用于制作切削各种耐热合金等难加工材料的刃具。

#### 2. 高速钢的质量要求

(1) 碳化物不均匀度 高碳钢的碳化物不均匀度按 GB/T 9943—2008 第一、第二级别图评定，并应符合表 5-12 规定。用户自行锻造后的碳化物不均匀度级别按 GB/T 4290—2011《高速钢锻件 技术条件》评定。

表 5-12 高速钢碳化物不均匀度级别的规定

规格(直径或边长)/mm	碳化物不均匀度级别	规格(直径或边长)/mm	碳化物不均匀度级别
≤40	≤4	60~80	≤7
40~60	≤5.5		

(2) 大块角状碳化物 高速钢中大块角状碳化物尺寸, 应符合 GB/T 4462—2008 的规定。钨系高速钢中的大块角状碳化物, 无论集中或是分散分布, 其最大尺寸根据钢材规格大小应符合表 5-13 的规定。钼系高速钢钢丝的碳化物尺寸不得大于  $12.5\mu\text{m}$ 。

表 5-13 钨系高速钢大块角状碳化物的允许尺寸

钢材尺寸/mm	$\leq 15$	$> 15 \sim 40$	$> 40 \sim 80$	$> 80 \sim 120$	$> 120$
合格级别(不大于)	1	2	3	4	双方协商

(3) 宏观组织 高速钢的宏观组织按 GB/T 1979—2001 标准中第一组的规定, 中心疏松、一般疏松和偏析均不得大于 1 级。

(4) 微观组织和脱碳层 高速工具钢棒材的微观组织和脱碳层按 GB/T 9943—2008《高速工具钢棒技术条件》的相关规定评定。在标准中对不同类型、不同规格(尺寸)刃具的碳化物等级作了明确规定, 如表 5-14~表 5-16 所示。

表 5-14 一般刃具的碳化物不均匀度规定

规格(直径或边长)/mm	碳化物不均匀度级别	规格(直径或边长)/mm	碳化物不均匀度级别
$\leq 40$	$\leq 4$	$60 \sim 80$	$\leq 7$
$40 \sim 60$	$\leq 5.5$		

表 5-15 拉刀、钻头、铣刀的碳化物的不均匀度

规格(直径或边长)/mm	碳化物不均匀度级别	规格(直径或边长)/mm	碳化物不均匀度级别
$\leq 30$	$\leq 3$	$60 \sim 80$	$\leq 6$
$30 \sim 40$	$\leq 4$	$80 \sim 100$	$\leq 7$
$40 \sim 60$	$\leq 7$		

表 5-16 螺纹刃具(如滚丝模、搓丝板、齿轮刃具等)的碳化物不均匀度

规格(直径或边长)/mm	碳化物不均匀度级别	规格(直径或边长)/mm	碳化物不均匀度级别
$40 \sim 60$	$\leq 4$	$80 \sim 100$	$\leq 6$
$60 \sim 80$	$\leq 5$		

### 3. 通用高速钢薄片铣刀的热处理工艺设计

(1) 薄片铣刀的规格和用料 薄片铣刀规格为  $\phi 230 \times 4\text{mm}$ ; 所用高速钢应经反复锻造成厚盘状, 碳化物不均匀度应  $\leq 5$  级。下料时从盘状毛坯上锯切。薄片铣刀应选择韧性相对较好的高速钢制作, 如 W6Mo5Cr4V2 和 W2Mo9Cr4V2 钢等。

(2) 技术要求 W6Mo5Cr4V2 高速钢的热处理技术要求:

1) 硬度:  $63 \sim 66\text{HRC}$ 。晶粒度: 10.5~11 级。

- 2) 平面度 $\leq 0.15\text{mm}$ 。
- 3) 脱碳层深度 $<$ 预留磨量的 $1/2$ 。

(3) 热处理工艺性分析 该铣刀的技术难度在于淬火变形和热处理后有较好的韧性和良好的耐磨性以及一定的热硬性。为此，采取多种措施解决变形问题，并兼顾性能要求。

1) 淬火前进行 $600\sim 650^\circ\text{C} \times 4\sim 6\text{h}$ 的去应力处理，消除机械加工后的残余应力。

- 2) 采用多段预热和多段分级冷却，以减小加热和冷却过程中的热应力。

3) 采用较低的淬火加热温度，以增加高温状态下的变形抗力，获得较高的韧性，并兼顾耐磨性和热硬性等。

(4) 淬火和回火工艺设计 薄片铣刀示意图及其淬火和回火工艺曲线如图 5-2 所示。

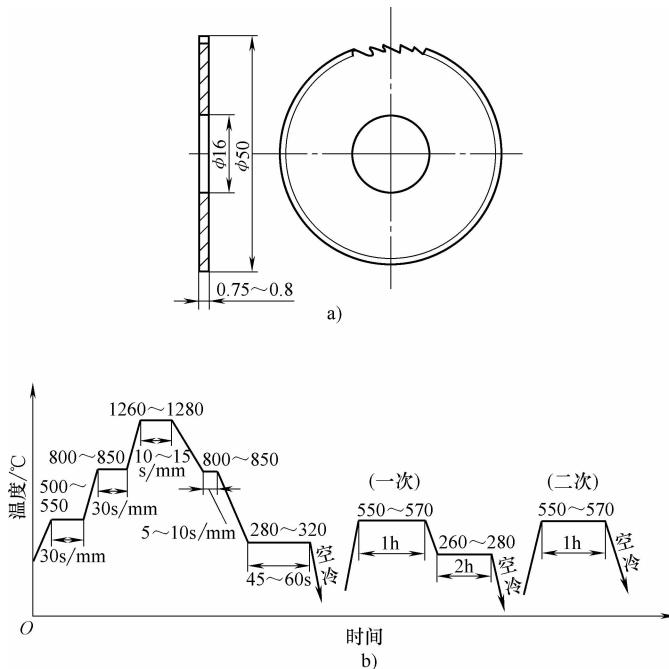


图 5-2 薄片铣刀及其淬火和回火工艺曲线

a) 薄片铣刀 b) 淬火和回火工艺曲线

#### 4. 通用高速钢齿轮滚刀的热处理工艺

(1) 齿轮滚刀用料及质量要求 由于齿轮滚刀工作时承载较重，要求精度高、内孔尺寸稳定性好，在性能上要求足够高的硬度和强度、较高的耐磨性和热硬性、较好的可磨削性以及一定的韧性等，因此，通常用高速钢 W18Cr4V 和

W6Mo5Cr4V2 制作，在切削难加工材料或高速切削时，常选用 W6Mo5Cr4V2Co5、W2Mo9Cr4VC08 钢制作。对原材料质量要求如下：

1) 由于大直径棒料碳化物偏析较严重。因此，制作较大规格齿轮滚刀的材料必须经过反复锻造，毛坯碳化物不均匀度≤5 级。

2) 图 5-3a 所示的模数为 M5 的齿轮滚刀，用料为 W18Cr4V 钢。

3) 毛坯锻后组织不得有任何裂纹、折叠和过热现象。

4) 毛坯脱碳层深度不得超过切削加工预留量的 1/2（见附录 B）。

#### (2) 齿轮滚刀热处理技术要求

1) 硬度：切削一般材料时要求 63 ~ 66HRC；切削难加工材料时要求 65 ~ 68HRC。

2) 晶粒度为 10.5 ~ 11 级。

3) 变形度：邻齿螺距  $\pm 0.04\text{mm}$ ；三圈螺距  $\pm 0.06\text{mm}$ ；内空和键槽不得超过预留磨量的 1/2。

4) 表面不得氧化脱碳和腐蚀。

(3) 热处理工艺性分析 该滚刀的失效特点是在长期使用过程中因内孔胀大而失去精度；有时内孔淬火后尺寸超差，甚至产生纵向裂纹；个别情况出现表面腐蚀等。因此，解决上述问题是热处理的关键。具体采用如下措施。

1) 为减少滚刀孔径和轴向变形，滚刀粗铲加工后进行 600 ~ 650℃、保温 4 ~ 6h 随后炉冷的去应力退火。

2) 为降低切削加工表面粗糙度，在粗加工后进行硬度为 38 ~ 43HRC 的调质处理。

3) 考虑该滚刀模数较大 (M5)，采用偏低的淬火加热温度，确保晶粒度为 10.5 ~ 11 级，有利于减少淬火变形和提高韧性。

4) 采用完全贝氏体等温淬火，即淬火冷却和第一次回火冷却均予以等温处理，旨在减少回火过程产生的马氏体量。

5) 淬火冷却过程，先在 500 ~ 550℃ 分级，一方面减少热应力，另一方面避免直接淬入硝盐浴中发生高温腐蚀。

6) 为避免滚刀在使用过程发生时效变形，回火后进行 360 ~ 380℃，保温 6 ~ 8h 的稳定化处理等。如果有条件，进行冷处理效果会更好。

(4) 淬火回火工艺设计 W18Cr4V 钢滚刀完全贝氏体淬火回火工艺曲线如图 5-3b 所示。

#### 5. 通用高速钢车刀的淬火和回火工艺设计

(1) 车刀用料及性能要求 切削金属材料使用的车刀，由于是连续高速切削，且承受较大的弯曲负载，因此，要求很好的耐磨性、热硬性和良好的抗弯强度等。在加工一般钢铁材料和非铁金属材料时，可选用通用高速钢制作，如 W18Cr4V 和 W6Mo5Cr4V2 等牌号；在切削难加工材料或切削尺寸较长零件且中途不允许换刀

时，应选用高性能高速钢，如 CW6Mo5Cr4V2、W12Cr4V5Co5、W6Mo5Cr4V2Al 和 CW6Mo5Cr4V3 等牌号制作。

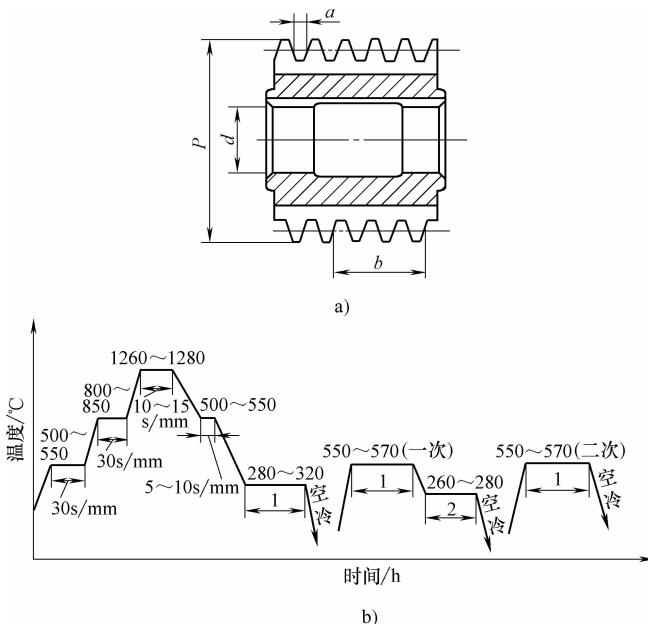


图 5-3 W18Cr4V 钢齿轮滚刀及其淬火回火工艺曲线

a) 齿轮滚刀 b) 淬火和回火工艺曲线

## (2) 淬火和回火技术要求

1) 硬度：通用高速钢淬火回火后硬度 $\geq 64\text{HRC}$ ；高性能高速钢 $\geq 66\text{HRC}$ 。  
2) 变形度：车刀淬火和回火后直线度，依规格不同应满足附录 C 所载变形允差。一般件为 $0.15 \sim 0.3\text{mm}$ 。

3) 脱碳层：一般不得超过预留磨削加工余量的 $1/3$ 。

(3) 热处理工艺性分析 为了获得足够高的热硬性和耐磨性，车刀淬火加热应采用较高的加热温度，即最高加热温度在其熔点以下 $20^\circ\text{C}$ 附近。在这样温度下加热时，钢中的二次碳化物充分溶解，其晶粒粗大，具有轻度过热表征。但不允许出现拖尾的角状碳化物和连续的网状碳化物。因此，应当严格控制加热温度和加热时间。尽量在满足不同使用条件对热硬性的要求情况下，采用不过高的加热温度，以便减少其脆性。

## (4) 车刀淬火和回火工艺设计

1) 淬火加热：通用高速钢车刀淬火加热，应经 $800 \sim 850^\circ\text{C}$ 预热，然后参照表 5-17 所示的淬火加热温度在盐浴炉中进行加热。具体加热时间，一般可按有效尺寸（厚度） $8 \sim 12\text{s/mm}$ 计算。装炉量较大时，参照图 5-4 拉刀淬火加热系数进行计算。

表 5-17 通用高速钢车刀的淬火加热温度

钢牌号	车刀断面尺寸/mm	加热温度/℃	晶粒度
W6Mo5Cr4V2	≤9×9	1235~1245	9.5~9.0
	9×9~26×26	1240~1250	8.5~8.0
W18Cr4V	≤9×9	1290~1300	8.0~8.5
	9×9~26×26	1300~1310	8.5~7.5
CW6Mo5Cr4V	≤9×9	1215~1225	8.5~8.0
	9×9~26×26	1220~1230	8.0~7.5

2) 淬火冷却: 车刀淬火冷却一般采用油冷。对于要求变形小的车刀可在580~620℃或280~320℃的一次分级冷却; 或先在580~620℃温度冷却, 然后再在280~320℃的第二次分级冷却、最后空冷的两次分级淬火冷却。车刀一般长度与截面比不大, 只要加热时稍加注意, 则变形度即不会超差。所以淬火后通常不用校正。如果需要校正, 可在室温下用前面介绍的各种冷态校正法校正。

3) 回火; 高速钢刀具一般采用560℃三次回火, 每次保温1~1.5h。

4) 冷处理; 高速钢车刀施以冷处理可提高其切削性能。冷处理一般在-65~-75℃温度下进行; 采用-120℃或更低的温度, 则效果会更好。

## 6. 通用高速钢大型拉刀的淬火和回火工艺设计

(1) 大型拉刀的承载特点和技术要求 拉刀工作时属于低速切削, 但承受较大的拉应力。主要的失效形式是刃部磨损和个别情况下被拉断。因此, 拉刀必须有很好的耐磨性和很高的抗拉强度以及一定的韧性。鉴于上述情况, 大型拉刀通常用高速钢W18Cr4V和W6Mo5Cr4V2制作。

热处理技术要求:

1) 淬火和回火后硬度: 切削齿部分为63~67HRC; 前导向和后导向部分≥50HRC; 柄部为40~50HRC。

2) 大型拉刀热处理后直线度应符合表2-18的规定。

表 5-18 大型拉刀热处理后的直线度允差

全长/mm	直 径 /mm		
	≤50	50~90	>90
	直线度/mm		
≤900	0.25	0.30	0.35
900~1200	0.30	0.35	0.40
>1200	0.35	0.40	0.40

3) 脱碳层深度不得超过预留磨削加工量的1/3。预留磨削量见附录B所示或

冷热加工工艺协商确定。

(2) 热处理工艺性分析 拉刀毛坯一般从钢厂出厂的圆钢上下料。不同规格(特别是直径 $\geq \phi 50\text{mm}$ )的圆钢中心碳化物均匀度较差,容易在加热时产生过热和冷却时产生裂纹。因此,淬火加热温度,应根据所用原材料直径的增加而稍许降低。此外,拉刀的长度与截面的比值一般很大,淬火过程中产生的直线度变形严重,拉刀淬火校正是其关键操作技术之一。为了减少拉刀的淬火变形,在确保满足硬度要求的前提下,一般采用较低的淬火加热温度和较长的加热时间。

(3) 热处理工艺 大型拉刀的最终热处理工序参照以下程序执行。

1) 拉刀最终热处理流程:淬火预热→淬火加热→冷却并趁热校直→清洗→回火并趁热校直→回火→柄部处理→清洗→质量检查→表面处理(发蓝防锈或化学热处理表面强化)等。

2) 淬火加热;通常直径 $\leq 60\text{mm}$ 的拉刀经中温 $850\sim 900^\circ\text{C}$ 的一次预热即可;直径 $>60\text{mm}$ 的拉刀需增加一次 $550\sim 600^\circ\text{C}$ 的低温预热,然后进行中温预热,最后在盐浴炉中进行淬火加热。其具体加热温度与拉刀所用材料和规格大小有关,如表5-19所示。

表 5-19 通用高速钢拉刀淬火加热温度

钢牌号	拉刀直径/mm	加热温度/℃	晶粒度/级
W18Cr4V	$\leq 50$	1270~1280	9.5~10
	50~90	1265~1275	10~10.5
	$>90$	1260~1270	10.5~11
W6Mo5Cr4V2	$\leq 50$	1215~1225	11~10.5
	50~90	1210~1220	10.5~10
	$>90$	1205~1215	10.5~11.0

在盐浴炉中的预热时间,一般是加热时间的2~3倍(在气氛炉中预热以拉刀透烧,即内外温度一致为准)。拉刀淬火加热时间系数可参考图5-4进行计算。

3) 淬火冷却:大型拉刀的淬火冷却,可根据现场实际情况选择不同的冷却方法,无论采用哪种冷却方法都要与趁热校直相结合(如油冷到 $200\sim 300^\circ\text{C}$ 出油趁热校直淬火;一段或两段分级冷却趁热校直淬火;等温淬火后趁热校直等)。任何趁热校直后均需悬挂空冷,并减少空冷过程的不均匀冷却。

4) 回火:普通淬火和分级淬火的拉

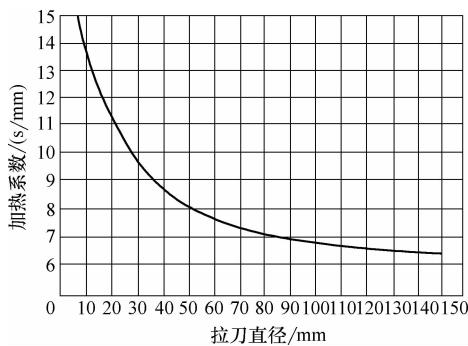


图 5-4 拉刀淬火加热系数

刀在 560℃，保温 1~3h 后空冷。一般是回火 2~3 次；等温淬火后需进行 3~5 次回火，并均需在第一次回火冷却过程中趁热补充校直。

5) 柄部处理：拉刀柄部加热温度为 900℃ 左右，保温时间按 15s/mm 左右计算（加热温度高，加热时间系数小些，反之亦然），以柄部硬度合格为准。柄部加热后立即油冷，防止余热导致齿部过回火。

## 5.2 模具热处理工艺设计实例

### 5.2.1 模具的承载特点和常用钢种及工艺路线

模具是机械行业加工产品的重要工艺装备之一，是实现少、无切削加工，节约原材料和提高产品性能的先进制造技术。模具质量的优劣不仅影响到被加工产品的质量和性能，而且关系其生产效率和生产成本。根据模具的使用条件、承载特点和常见的失效形式等，正确地选择材料和制订合理的热处理工艺以及认真地进行操作显得非常重要。

制造模具的材料很多，机械制造业最常用的模具材料有碳素工具钢、低合金工具钢和中、高合金工具钢以及钢结硬质合金、普通硬质合金等。按模具的用途可分为冷作模具材料、热作模具材料和塑料模具材料以及玻璃模具材料等。

#### 1. 冷作模具的常用材料及其特性和应用

不同类型的冷作模具钢种及其牌号如表 5-20 所示。

表 5-20 冷作模具钢的类别和主要牌号

类型	钢 牌 号
低淬透性钢	T7A、T8A、T9A、T10A、T11A、T12A、MnSi、Cr2 (GCr15)、9Cr2、CrW5
低变形钢	9Mn2V、CrWMn、9CrWMn、9Mn2、MnCrWV、SiMnMo
高耐磨微变形钢	Cr12、Cr12MoV、Cr5MoV、Cr4W2MoV、Cr2Mn2SiWMoV、Cr6WV、Cr6W3MoV
高强度高耐磨钢	W18Cr4V、W6Mo5Cr4V2、W12Mo3Cr4V3Nb
高强韧性钢	6W6Mo5Cr4V、6Cr4W3Mo2VNb、7Cr7Mo2V2Si、7CrSiMnMoV、6CrNiMnSiMoV
抗冲击性钢	4CrW2Si、5CrW2Si、6CrW2Si、9SiCr、60Si2Mn、5CrMnMo、5CrNiMo、5SiMnMoV

为了适应高耐磨、高抗压、高精度、高寿命等的需要，如冷冲裁、冷挤压和冷镦锻等的凸凹模部分，常用硬质合金和钢结硬质合金制作，如表 5-21 和表 5-22 所示。

表 5-21 钢结硬质合金牌号及性能

合金牌号	硬质相含量 (质量分数, %)	硬度 HRC		抗弯强度 $\sigma_{bb}/\text{MPa}$	冲击韧度 $a_K/(\text{J/cm}^2)$	密度 $/(\text{g/cm}^3)$
		加工态	工作态			
TLMW50	WC50	35~42	66~68	2000	8~10	10.2

(续)

合金牌号	硬质相含量 (质量分数, %)	硬度 HRC		抗弯强度 $\sigma_{bb}/\text{MPa}$	冲击韧度 $a_K/(\text{J}/\text{cm}^2)$	密度 $/(\text{g}/\text{cm}^3)$
		加工态	工作态			
DT	WC40	32 ~ 38	61 ~ 64	2500 ~ 3600	1.8 ~ 2.5	9.8
GW50	WC50	35 ~ 42	66 ~ 68	1800	1.2	10.2
GW40	WC40	34 ~ 40	63 ~ 64	2600	9	9.8

表 5-22 普通硬质合金牌号及性能

牌号	成分(质量分数, %)			密度 $/(\text{g}/\text{cm}^3)$	硬度 HRC	抗弯强度 $/\text{MPa}$	抗压强度 $/\text{MPa}$	弹性模量 $/\text{MPa}$
	WC	Co	TiC					
YG6	94.0	6	—	14.6 ~ 15	89.5	1400	4600	62000
YGX	93.7	6	0.3	14.6 ~ 15	91.0	1450	4600	—
YGA	92.0	6	2.0	14.6 ~ 15	92.0	1450	4600	—
YG8	92.0	8	—	14.5 ~ 14.9	89.0	1500	4470	—
YG15	58.0	15	—	13.9 ~ 14.1	87.0	2100	3660	54000
YG20	80.0	20	—	13.4 ~ 13.7	85.6	2600	3500	—
YG20C	80.0	20	—	13.4 ~ 13.9	83	1800	3600	50000

## 2. 热作模具的常用材料及其特性和应用

热作模具钢的类型和牌号如表 5-23 所示。

表 5-23 热作模具钢的类型和牌号

类型	牌号
高强韧热作模具钢	5CrNiMo、5CrMnMo、4CrMnSiMoV、5SiMnMoV、5Cr4Mo、5CrMnSiMoV、4SiMnMoV、5Cr2NiNoV、3Cr2WMoVNb
高热强热作模具钢	3Cr2W8V、4Cr5MoSiV、4Cr5MoSiVAl、4Cr5W2VSi、5Cr4Mo3SiMnVAl、3Cr3Mo3W2V、5Cr4W5Mo2V、4Cr3Mo3SiV、4Cr4Mo2WSiV、4Cr5WMoSiV、25Cr3Mo3VNb、3Cr3Mo3V、5Cr4W2Mo2VSi、5Cr4W3Mo2VNb
高耐磨热作模具钢	7Cr3、8Cr3
特殊用热作模具钢	奥氏体耐热钢 5Mn15Cr8Ni5Mo3V2、7Mn10Cr8Ni10Mo3V2、Cr12Ni25Co2V、4Cr14Ni14W2Mo 超高强度钢 40CrMo、40CrNi2Mo、30CrMnSiNi2A 马氏体时效钢 18Ni (250)、18Ni (300)、18Ni (350) 高速钢 W18Cr4V、W6Mo5Cr4V2

下面，主要介绍几种热作模具钢的性能及应用。

(1) 锤锻模用钢及其特性 制造锤锻模的钢种及其牌号主要是具有高强韧性

的 5CrNiMo、5CrMnMo、5SiMnMoV 和 5Cr4Mo 等。其中，前两个牌号应用较广。5CrMnMo 和 5CrNiMo 钢经正常热处理后的常温下的力学性能如表 5-24 所示。表 5-25 为 5CrNiMo 钢在较高温度下的力学性能。

表 5-24 5CrMnMo 和 5CrNiMo 钢常温下的力学性能

钢牌号	热 处 理			力 学 性 能			
	淬火温度 /℃	冷却介质	回火温度 /℃	$R_m$ /MPa	A (%)	Z (%)	$a_K$ /(J/cm <sup>2</sup> )
5CrNiMo	850	油	500	1400	9.5	42	38
			550	1370	11.0	44	51
			600	1200	12.0	49	73
5CrMnMo	850	油	450	1640	5.1	14	19
			500	1600	—	—	20
			550	1440	10.0	10.5	27
			600	1260	10.0	30.0	43

表 5-25 5CrNiMo 钢在较高温度下的力学性能

加热温度/℃	$R_m$ /MPa	$R_p$ /MPa	A(%)	Z(%)	$a_K$ /(J/cm <sup>2</sup> )	HBW
300	1370	1060	17.1	60	43	363
400	1110	900	15.2	65	48	351
500	860	780	18.8	68	37	265
600	470	410	30.0	74	12.5	109

这两种热作模具钢具有较高的淬透性，如截面 300mm × 300mm × 400mm 的模块经 820℃ 加热后在油中冷却淬火；于 560℃ 回火后，整个截面硬度非常均匀，心部硬度比表面低  $\leq 10 \sim 20$  HBW。5CrNiMo 钢适用于制造复杂、冲击载荷重的大型及特大型的锻模（最小边长  $\geq 400$  mm）。5CrMnMo 钢淬透性比 5CrNiMo 钢稍差些，且塑性和韧性也低些。同时，过热敏感性稍强。因此，5CrMnMo 钢适用于制造最小边长  $\leq 300 \sim 400$  mm 的中、小型锻模。

4SiMnMoV 和 5SiMnMoV 钢是无镍铬热模具钢，生产实际使用表明，模具寿命和技术经济指标已达到，甚至超过进口模具钢水平，已在生产实践中逐渐扩大使用。

(2) 压铸模用钢及其特性 在生产中经常压铸的材料有锌合金、铝合金、镁合金、铜合金和黑色金属等五大类。这些合金的熔点、压铸温度和模具的工作温度以及所要求的硬度等如表 5-26 所示。

表 5-26 压铸合金的熔点、压铸温度和模具工作温度及要求的硬度

压铸合金种类	锌合金	铝合金	镁合金	铜合金	黑色金属
合金熔点/℃	400 ~ 450	580 ~ 740	630 ~ 680	850 ~ 920	1345 ~ 1520
压铸温度/℃	—	≈680	—	≈930	1470 ~ 1600
模具表面工作温度/℃	—	<593	—	600 ~ 700	800 ~ 850
模具硬度 HRC	50 ~ 55	42 ~ 48	42 ~ 46	38 ~ 43	42 ~ 44

根据所压铸的合金浇注温度，压铸模可分为两大类。

1) 压铸低熔点合金（锌合金、铝合金和镁合金）用的模具钢：一般使用 3Cr2W8V 和 4Cr5MoSiV 钢即可。4Cr5MoSiV 钢可在空气中淬火硬化，使用寿命较长。例如，压铸锌合金时，一般可达数 10 万次；压铸铝合金时，由于铝有融蚀和渗入模具表面以及粘模现象而影响正常使用，一般寿命也可达 10 万次左右。

2) 压铸高熔点合金（铜合金和黑色金属等）的模具钢：压铸铜合金时，各国大部分也用 3Cr2W8V 和 4Cr5MoSiV 钢，但寿命均不高。用 5Cr4W2Mo2VSi 钢制造铜合金压铸模具时，一般寿命可提高到 6000 次左右。对于压铸黑色金属（钢和铸铁），条件更加苛刻，各国都在探讨新材料。其中，用难熔金属（钼、钨等）为基的合金比较成功。例如，粉末烧结钨基合金、铜基合金（CrZrVCu、CoBeCu）等制造黑色金属压铸模比 3Cr2W8V 钢提高寿命 1.5 ~ 2 倍。值得重视的是，用 3Cr2W8V 钢渗铝或铬铝硅三元共渗的模具，压铸黑色金属也取得一定效果。

3) 重载热挤压、热镦锻和精锻模用钢：这些模具虽然尺寸一般不大，但工作时需长时间与被加工的高温零件接触，不仅受热程度大，而且承载应力也大。这类模具常用热强度高的 3Cr2W8V、4Cr5MoSiV、4Cr5MoSiVAl、4Cr5W2VSi、5Cr4Mo3SiMnVAl 等钢制造。特别是含铬量较高并含硅的几个牌号，耐热疲劳性和抗氧化性均比较高，由于加入少量钒而提高了耐回火性和二次硬化现象。表 5-27 和表 5-28 分别为这种钢的常温力学性能和疲劳强度。实际使用证明，这些含铬高的热模具钢比 3Cr2W8V 钢模具寿命显著提高。

表 5-27 三种热模具钢的常温力学性能

钢牌号	热 处 理	硬度 HRC	$R_m$ /MPa	$R_{eL}$ /MPa	A (%)	Z (%)	$a_K$ (J/cm <sup>2</sup> )
4Cr5MoSiV	1000℃淬火，580℃回火两次	51	1745	—	13.5	45	55
4Cr5MoSiV1	1000℃淬火，580℃回火两次	51	1670	1380	9.0	28	—
4Cr5W2VSi	1000℃淬火，580℃回火两次	49	1870	1660	9.5	42.5	34

4) 轻载热镦模和热挤压模用钢。在轻载条件下工作的热镦模和热挤压模可采用低合金钢制造。其中，4SiCrV、8Cr3、7Cr3 与 35CrMnSi 钢性能相差不多。因此，

可以制作相同用途的模具。

表 5-28 两种热模具钢的疲劳强度

钢牌号	室温	300℃	400℃	500℃	540℃	600℃
4Cr5MoSiV	88	68	64	63	—	61
4Cr5MoSiV1	73	—	—	—	51	—

注：循环次数大于  $10^3$  次。

8Cr3 钢的热稳定性不高，但在 400 ~ 500℃ 范围内的耐磨性仍较好；主要用于制作冲击力不大、受热温度 500℃ 以下、要求耐磨的较大型压弯模和切边模以及热镦模具等。

### 3. 塑料模具常用材料的类型及牌号

塑料模具用钢与冷、热模具用钢有很大区别，目前已形成其系列，如表 5-29 所示。

表 5-29 塑料模具用钢的类别和牌号

类型	牌号
渗碳型	10、20、20Cr、12CrNi3A
调质型	45、55、40Cr、5CrNiMo、5CrMnMo
淬硬型	T10A、T12A、9Mn2V、CrWMn、Cr2、GCr15、Cr12、Cr12MoV、9SiCr、MnCrWV
预硬型	3Cr2Mo、5CrNiMnMoVSCa、3Cr2NiMnMo、4Cr5MoSiVS、8Cr2MnWMoVS
耐蚀型	20Cr13、40Cr13、12Cr18Ni9、3Cr17Mo
时效硬化型	18Ni (250)、18Ni (300)、18Ni (350)、06Ni6CrMnVTiAl、25CrNi3MoAl

### 4. 玻璃模具常用材料类型及牌号

目前，国内外玻璃模具材料，大多使用铸铁和铸造不锈钢，经适当热处理后再进行表面强化处理。用的较成熟的材料有 4Cr13Ni 钢和 HT200 铸铁以及低 Sn 蠕墨铸铁等。

### 5. 模具制造工艺路线

模具制造工艺路线，通常有以下几种：

#### (1) 一般模具

1) 毛坯锻造→球化退火→切削加工成形→淬火和回火→磨削加工→钳工精修和组装。

2) 毛坯锻造→球化退火→切削粗加工→淬火和回火→成形磨削或电加工成形→钳工修研和装配→组装。

#### (2) 精密模具

1) 毛坯锻造→球化退火→切削粗加工→高温回火或调质→切削精加工→淬火

和回火→成形磨削或电加工成形→钳工修研和装配→组装。

2) 毛坯锻造→球化退火→切削粗加工→高温回火或调质→切削半精加工→去应力回火→切削精加工→钳工凸凹模配修→淬火和回火→精修研磨→组装

### 5.2.2 冷作模具热处理工艺设计

常用冷作模具钢的热处理工艺方法，囊括热处理的各种工艺方法，将结合典型模具热处理工艺设计实例进行阐述。

#### 1. T8A 钢制冷冲裁模具的热处理工艺设计

(1) T8A 钢制冷冲裁模及其技术要求 冷冲裁模结构如图 5-5a 所示。其技术要求为：刃口部分硬度 59 ~ 62HRC；硬化层深度大于 5mm；其余部分硬度不低于 45HRC。

(2) 热处理工艺性分析 碳素工具钢普通淬火温度，一般为 750 ~ 800℃。对于小型或冲裁低碳钢和有色金属薄板模具，可选择 750 ~ 770℃ 淬火加热；对冲剪中碳钢板，应选择 780 ~ 800℃ 加热。生产实践表明，碳素工具钢制的冷冲裁模采用 960 ~ 980℃ 盐浴快速加热，获得了很好效果（加热时间按 3.5mm/s 计算）。加热后在质量分数为 10% 的 NaCl 或 NaOH 水溶液-油中双介质淬火冷却（在水溶液中的冷却时间按 1s/（3 ~ 5）mm 计算）。如果在盐水-热油等温复合淬火，不仅硬度和硬化层深度得到满足，而且变形可大大减小。

(3) T8A 钢冷冲剪模淬火工艺设计 根据上述分析，采用快速加热后，先在盐水中冷却 1min 左右，随即在 160 ~ 180℃ 热油中保温 45min 的复合淬火，如图 5-5b 所示。

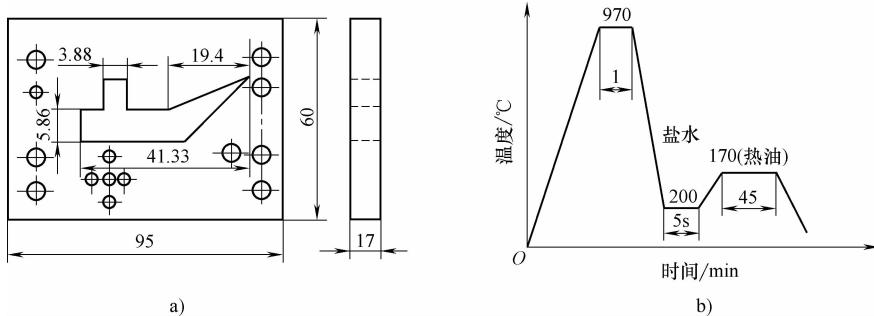


图 5-5 T8A 钢冷冲剪模及其复合淬火工艺曲线

a) 冲剪模零件图 b) 快速加热复合淬火工艺曲线

(4) 处理结果 表面硬度为 59 ~ 60HRC；刃口部分变形 < 0.01mm。

#### 2. T10A 钢制冷冲裁模的“合模”热处理工艺设计

对于无间隙的冲剪模具，在无电加工（线切割等）的情况下，钳加工和热处理都存在一定的难度。实践表明。形状复杂的无间隙冲剪模，用“合模”淬火

法取得较好效果。即先将冲裁模的凸模加工、热处理及修研等工序全部完成后，用凸模刃部刻印凹模的型腔；按其轮廓加工凹模型腔各部尺寸，并达到与凸模无间隙配合，然后进行淬火和回火。

(1) T10A 钢制无间隙凹模及其技术要求 凹模结构及尺寸如图 5-6a 所示，要求热处理后硬度为 58~62HRC；型腔变形度≤0.02mm。

(2) “合模”淬火工艺设计及操作要点 “合模”淬火工艺曲线如图 5-6b 所示。具体操作如下：

1) 盐水冷却：将加热到 780℃ 的模具透烧后，淬入盐水中冷却到 300~400℃（按每 3~5mm/s 计算）取出立即转油冷。

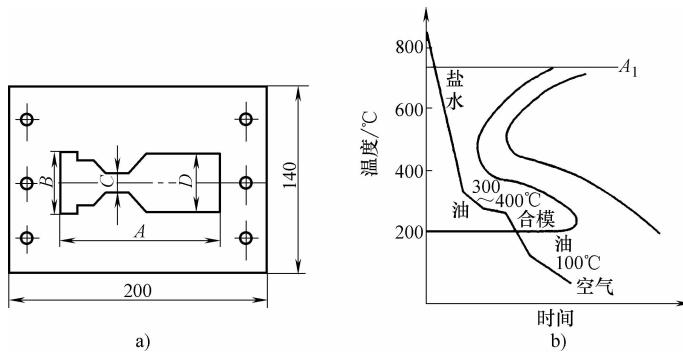


图 5-6 T10A 钢凹模及其“合模”淬火工艺曲线

a) T10A 钢摸 b) “合模”淬火工艺曲线

2) 在油中冷却的时间按表 5-30 选择。

表 5-30 “合模”淬火在油中的停留时间

外形尺寸/mm	型孔尺寸/mm	厚度/mm	冷却时间/s
100×100	20~40	30	6~10
			5~8
80×80	10~30	25	5~7
			4~5
70×70	6~20	20	3~5

3) 凸模和凹模镶合：凹模从油中取出后，一般型孔未收缩到最小状态，立即将凸模镶入凹模型孔中固定，然后继续在油中冷却，约在 100℃ 取出，空冷。

4) 回火：连同凸模一起，在 180~200℃ 保温 1.5~2h。

(3) 处理结果 硬度为 59~60HRC。变形度如表 5-31 所示。硬度和变形度均满足技术要求。

表 5-31 T10A 钢剪切模“合模”淬火后变形情况 (单位: mm)

部位	淬火前尺寸	淬火后尺寸	变形量
A	135.24	135.26	+0.02
B	33.61	33.63	+0.02
C	9.71	9.73	+0.02
D	23.60	23.62	+0.02

### 3. T10A 钢制冷拉深模的热处理工艺设计

冷拉深模工作时，端部表面承受较严重的摩擦磨损，甚至划伤以及整体承受较大压缩应力。因此，要求冷拉深模具有很好的耐磨性和抗压强度。

(1) T10A 钢制冷拉深模及其技术要求 冷拉深模如图 5-7 所示，要求淬火区硬度为 58~62HRC，从表面至半径 1/2 处硬度不低于 45HRC。其余部分的表面硬度不低于 48HRC。

(2) 热处理工艺性分析 对于 T10A 钢的淬透性来说，该冷拉深模尺寸相对较大。因此，普通淬火工艺难以达到表面硬度和硬化层深度要求。为满足技术要求，应采用提高硬化层深度措施，如提高淬火加热温度、采用快速加热减少模具心部的蓄热量、强化淬火冷却速度等。

(3) 热处理工艺设计 实践表明，采用下述工艺获得满意效果。

- 1) 正火：820~840℃ 加热，透烧后空冷。
- 2) 淬火：在 960~980℃ 的箱式炉中加热 40min 后，在质量分数为 10% 盐水中冷却 5~6s 后提出非淬火部分，继续冷却 19~20s 后立即转入油中冷却。待模具出油时，其表面不冒浓烟，只有热油往下滚为止（如果提出时冒浓烟，可返回油中继续冷却少许时间）。
- 3) 回火：180℃，保温 2~2.5h 后空冷。
- 4) 处理结果 硬度为 59~60HRC； $\phi 118.18\text{mm}$  尺寸变形度为 0.01~0.02mm。

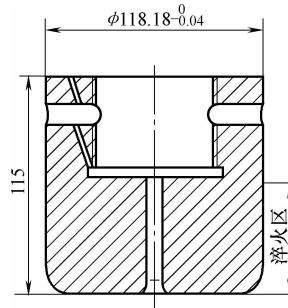


图 5-7 T10A 钢制冷拉深模

### 4. GCr15 制凸凹模的热处理工艺设计

(1) GCr15 钢制凸凹模及其技术要求 图 5-8a 为 GCr15 钢制冷冲裁模，要求硬度为 58~62HRC；变形量 < 0.02mm。

(2) 热处理工艺性分析 GCr15 钢淬透性比碳素工具钢稍强，但不如其他低合金工具钢的淬透性。综合考虑，认为该模具适于进行多段分级淬火冷却。

(3) 热处理工艺设计 GCr15 钢制凸凹模淬火和回火工艺如图 5-8b 所示，经 550℃ 预热 30min，转入 830℃ 加热 5min 后，在 160℃ 热碱浴中停留 3min，转入

170℃硝盐浴中冷却10min。由硝盐中取出后立即放入180℃回火炉中，保温1.5h后出炉空冷。

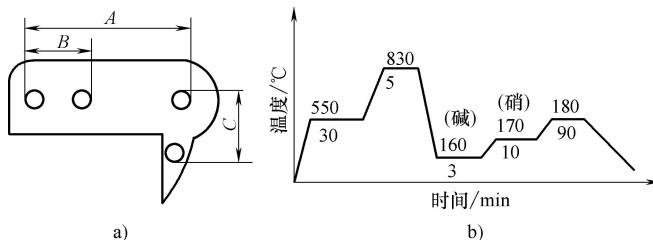


图5-8 GCr15钢制冷冲裁模及其热处理工艺曲线

a) GCr15钢制冷冲裁模 b) 热处理工艺曲线

(4) 处理结果 硬度为60~61HRC。变形度如表5-32所示。

表5-32 GCr15钢制凸凹模淬火和回火后变形情况 (单位: mm)

尺寸代号	A	B	C
淬火前	42.36	17.35	14.84
淬火后	42.35	17.34	14.86
变形量	-0.01	-0.01	+0.02

### 5. GCr15钢制冷轧辊的热处理工艺设计

(1) GCr15钢制冷轧辊及其技术要求 图5-9a所示为GCr15钢制冷轧辊，辊身工作面要求硬度为60~65HRC，淬硬层深度≥6mm，不得有软点和裂纹；两端非工作面硬度为40~45HRC。

(2) 热处理工艺性分析 冷轧辊是金属轧机上的重要零件，在轧制过程中承受着轧制力、磨损及严重的热疲劳。因此，对热处理提出较高的技术要求。以往采用水/油双介质淬火并低温回火后，用氧-乙炔焰等方式施以局部加热，使两端非工作面获得低硬度。但由于冷轧辊各处截面差别较大，双介质淬火时，在水中的冷却时间不易控制准确，往往在截面过渡处产生裂纹（在水中停留时间长）或淬不硬（在水中停留时间过短等）。因此，废品和返修品较多。

(3) 热处理工艺设计 GCr15钢制冷轧辊淬火和回火工艺如图5-9b所示。在RJX-75-9电阻炉中，经过350℃预热1.5h后，炉温升到860~870℃，保温3.5h，随后立即淬入循环的45~50℃热水中冷却。最后经160~170℃，保温4h后空冷的回火。

(4) 操作要点 轧辊加热后，在辊颈处套上预先定制好的铁皮-石棉布复合套，再淬入45~50℃的循环水中，在热水中冷却7~8min后取出空冷。

(5) 处理结果 辊身硬度为61~63HRC；非工作面硬度为42~45HRC；变形度很小，产品合格率≥98%。

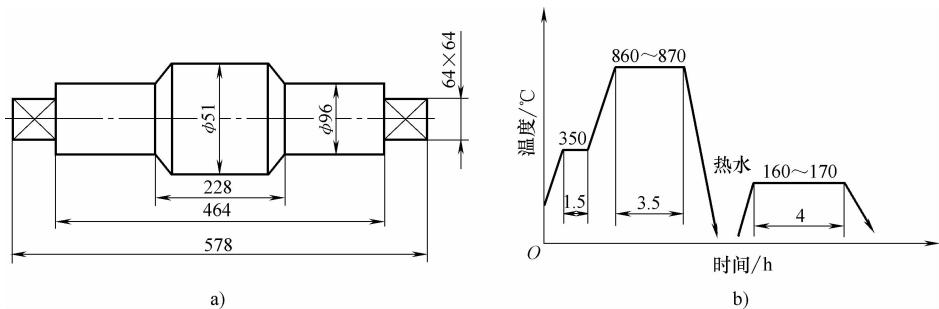


图 5-9 GCr15 钢制冷轧辊及其热处理工艺曲线

a) GCr15 钢制冷轧辊 b) 热处理工艺曲线

## 6. CrWMn 钢制凹模的热处理

(1) CrWMn 钢制凹模及其技术要求 图 5-10a 所示为 CrWMn 钢制凹模结构图, 要求硬度为 58~62HRC; 变形量 < 0.05mm。

(2) 热处理工艺性分析 CrWMn 钢具有较好的淬透性, 通常淬火加热后在油中冷却。但实践表明, 用 CrWMn 钢制作的模具热处理不当, 不仅容易在磨削时产生不同形式的裂纹(龟纹和平行状的细纹), 而且在使用过程中易于脆断和崩刃。分析认为, 产生上述问题的主要原因是淬火过程组织应力过大和产生显微裂纹的结果。因此, 为了避免出现类似问题, 淬火时应力求减少组织应力, 使马氏体生成过程缓慢进行, 以至采用马氏体边生成边回火去应力措施等。

(3) 热处理工艺设计 CrWMn 钢制凹模热处理工艺如图 5-10b 所示。模具经 600℃, 保温 1h 的去应力退火后, 在盐浴炉中于 550℃ 预热 60min, 再转入 830℃, 加热 25min 后淬入 220℃ 硝盐中停留 5~6s (按 1s/3~5mm), 立即转入 60℃ 热油中停留 10min。随后在 190℃, 保温 90min 后出炉空冷。

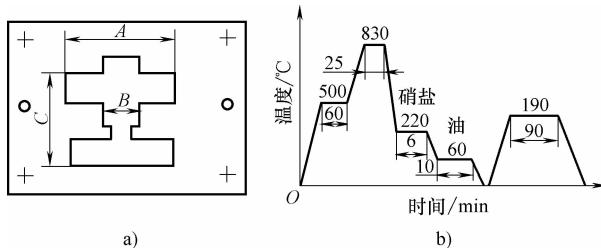


图 5-10 CrWMn 钢制凹模及其热处理工艺曲线

a) CrWMn 钢制凹模 b) 热处理工艺曲线

(4) 处理结果 硬度为 61~62HRC; 变形情况为尺寸 A ± 0mm; B + 0.02mm; C + 0.01mm; D + 0.04mm。硬度和变形度均符合技术要求, 且磨削过程无裂纹出现。

### 7. CrWMn 钢制滚丝模的真空热处理工艺设计

CrWMn 钢制滚丝模按常规淬火和回火工艺处理后，螺纹变形大、有轻微脱碳，且成品率低，每副滚丝模寿命仅 20 万件左右。采用真空淬火后，不仅螺纹无变形，而且硬度高、韧性好。每副滚丝模寿命达 100 万件以上，较常规处理的寿命提高 4 倍多。

CrWMn 钢滚丝模真空热处理工艺如图 5-11 所示。

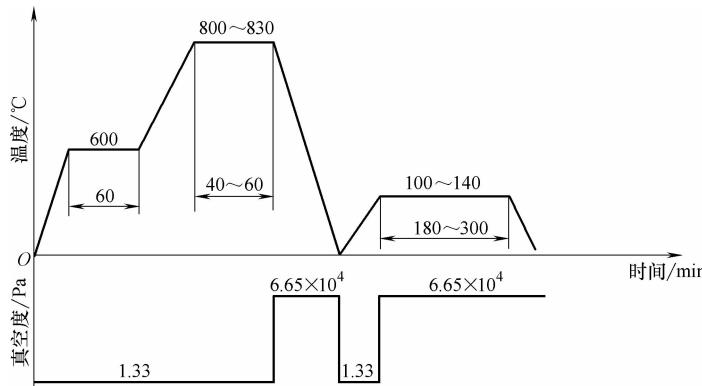


图 5-11 CrWMn 钢滚丝模真空热处理工艺曲线

### 8. 6CrNiMnSiMoV (GD) 钢冷挤压模的热处理工艺设计

(1) 热处理技术要求 钢制法兰盘冷挤压模整体硬度为 59~63HRC。

(2) 热处理工艺性分析 以往制作法兰盘冷挤压模曾使用 CrWMn 和 Cr12 钢，其寿命仅挤压十几件便因开裂而早期报废。金相分析证明，主要是由于碳化物不均匀、强韧性低造成的。考虑在冷作模具钢中，6CrNiMnSiMoV (GD) 钢属于高强韧性钢，拟用其代替 CrWMn 和 Cr12 钢制作法兰盘冷挤压模。

(3) 热处理工艺设计

1) 退火：在箱式炉中气氛保护下于 780℃ 加热，保温透烧后炉冷到 680℃，等温停留 2h 后继续炉冷到 300℃ 以下出炉。硬度为 229HBW。

2) 淬火：在彻底脱氧的盐浴炉中 900℃ 加热，按  $1.5\text{min}/\text{mm}$  计算时间，保温后于油中淬火冷却。

3) 回火：在熔融的硝盐炉中 200℃ 加热，保温 1h 后空冷。进行两次回火（该钢有二次硬化现象）。

(4) 处理结果 淬火并回火后硬度为 60~61HRC；使用寿命大幅度提高，不再脆裂或折断。

### 9. 7Cr7Mo2V2Si (LD) 钢冷挤压模的热处理工艺设计

(1) 热处理技术要求 LD 钢制冷挤压模硬度为 60~63HRC。

(2) 热处理工艺性分析 LD 钢具有强度高、韧性好、耐磨损和工艺性优良、

热处理温度范围宽，以及淬火变形小等特点，是制作冷镦模、冷挤模、冷冲模的新型材料。

试验表明，该钢经普通淬火、回火后的性能远远优于其他合金工具钢（如9CrWMn、9SiCr、Cr12MoV和6CrWV等），与6CrNiMnSiMoV(GD)钢性能大致相当。

### (3) 热处理工艺设计

1) 退火：在箱式炉中气氛保护下于860℃加热，保温透烧后炉冷到750℃，等温停留2h后继续炉冷到300℃以下出炉。硬度为225HBW。

2) 淬火：在彻底脱氧的盐浴炉中1050℃加热，按 $1.5\text{min}/\text{mm}$ 计算时间，保温后于油中淬火冷却。

3) 回火：在熔融的硝盐炉中200℃加热，保温 $2.5\sim3.0\text{h}$ 后空冷。

(4) 处理效果 回火后组织为板条马氏体+弥散状碳化物；硬度为60~61HRC。

## 10. Cr12MoV钢制形状复杂凸凹模的热处理工艺设计

(1) 凸凹模结构及其技术要求 图5-12为结构复杂的凸凹模，要求硬度为58~62HRC；凸模、凹模以及中间的凸凹模三者的配合间隙均不得大于0.02mm。

(2) 热处理工艺性分析 该模具的主要技术难度是凸模、凹模以及中间的凸凹模三者的配合间隙，其中的任何一件变形较大均会造成废品，特别是凸凹模的不合格，将导致凸模和凹模两件废品。

Cr12MoV钢的淬透性和淬硬性均很好，只要调整好热处理工艺参数，可实现微变形淬火。考虑该模具工作时，剪切密封纸垫，即不要求热硬性，则可以采用较低的温度进行淬火加热和缓和的淬火冷却，以期减少热应力和组织应力，达到微变形目的。为此，可采取如下措施：首先制作出中间模，热处理确保硬度和尺寸精度要求，然后以制作好的中间模为基础，用刻印方法分别制作凸模和凹模，并留有要求的配合间隙。

### (3) 热处理工艺设计

1) 将调质处理的高温回火改为退火，以便减少淬火前后的比体积差。在1020~1040℃加热透烧后油中淬火冷却，然后在850℃保温后随炉冷却到720℃继续保温一定时间，最后炉冷到600℃以下出炉空冷。

2) 在彻底脱氧的盐浴炉中800~850℃预热后，将炉温升至980~1000℃加热透烧，然后在相对静止的空气中冷却淬火。

3) 在熔融的硝盐炉中200~220℃回火1.5h后空冷。

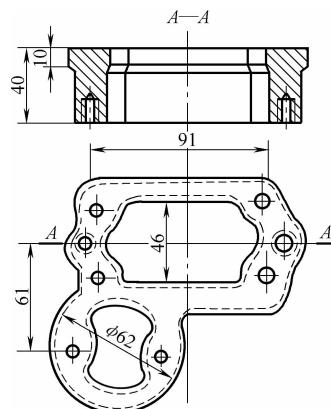


图5-12 Cr12MoV钢制凸凹  
(中间) 模结构

(4) 处理结果 硬度为 61~63HRC；变形甚微（各部分尺寸变形不大于 0.01mm）。

### 11. Cr12MoV 钢制凹模的微变形热处理工艺设计

(1) Cr12MoV 钢制凹模及其技术要求 该凹模结构如图 5-13a 所示。热处理后硬度为 56~60HRC；孔型变形小于 0.02mm。

(2) 热处理工艺性分析 由于该模具工作时的剪切对象为质地较软的紫铜薄板。因此，承受的载荷不大，要求硬度仅 56~60HRC。但要求变形较严格。由于 Cr12MoV 钢淬透性和淬硬性均很好，热处理后达到所要求的硬度不成问题，所以热处理以严格控制变形为主。为此，应采用加热温度较低的一次硬化法和较缓和的淬火冷却速度，以同时减少淬火的热应力和组织应力，达到既可满足硬度要求，又可满足变形度要求的目的。

(3) 热处理工艺设计 淬火和回火工艺曲线如图 5-13b 所示。淬火前进行一次 650℃，保温 40min 的去应力处理。随后用废报纸覆盖模具表面，用新铸铁屑进行保护加热，在 700℃ 的箱式炉中预热 60min 后，直接升温到 1020℃ 保温 80min。出炉后清除铸铁屑，并立即将模面在铜板上不断移动冷却，直至模具整体冷却到 200℃ 以下为止。最后进行 250℃ 加热，保温 60~80min 后空冷的回火。

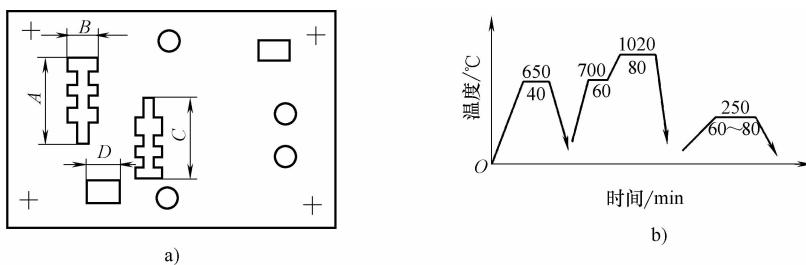


图 5-13 Cr12MoV 钢制凹模热处理工艺曲线

a) 凹模结构 b) 凹模热处理工艺曲线

(4) 处理结果 距模具刃口 5mm 处硬度为 57~59HRC；变形度小于 0.02mm。

### 12. Cr12MoV 钢制滚丝模的真空热处理工艺设计

(1) 滚丝模规格 用于搓制自行车辐条端部螺纹的滚丝模内孔为  $\phi 54\text{mm}$ ，外径为  $\phi 153\text{mm}$ ，厚度为 60mm。

(2) Cr12MoV 钢制滚丝模失效分析 该滚丝模由于螺纹高度小、螺距短，用盐浴炉淬火加热时，尽管进行严格脱氧，但待滚丝模整体加热透烧后，齿尖已透烧很长时间，通常有轻微脱碳和变形现象，从而导致寿命不够理想，最多仅加工 12 万件。为了克服上述问题，采用真空淬火回火，以期提高其使用寿命。

(3) 热处理工艺设计 Cr12MoV 钢滚丝模真空热处理工艺如图 5-14 所示。

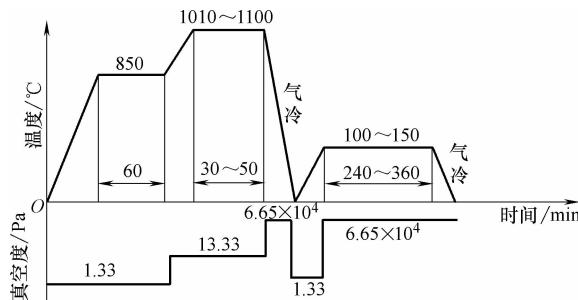


图 5-14 Cr12MoV 钢制滚丝模真空热处理工艺曲线

(4) 操作要点 模具入炉后至 850℃ 加热，保温 60min 阶段的压力为 13.33Pa；1010~1100℃ 保温后通纯氮气淬火冷却，压力为  $6.65 \times 10^4$ Pa。

(5) 处理效果 Cr12MoV 钢滚丝模改用真空淬火和回火后，平均寿命可达 68 万件之多，即提高寿命 4 倍以上。

### 13. 高速钢冲头的低温淬火工艺设计

(1) 高速钢制冷冲压模具失效分析 按传统的高温加热淬火回火后，处理成硬度约为 63HRC 情况下，模具使用时通常是早期崩刃、折断和掉头等，致使其寿命极短。实践表明，采用较低的淬火加热温度，可大大提高高速钢制冷冲压模具的使用寿命。

#### (2) W18Cr4V 钢制冲头的热处理工艺设计

1) 淬火：分别在约 600℃ 和 850℃ 箱式炉中两次预热（按 30s/mm 计算加热时间），在 1180~1200℃ 盐浴炉中加热（按 8~15s/mm 计算时间），于 550~570℃ 进行等温（按 30s/mm 计算时间）后空冷。

2) 回火：在 550℃，保温 1h 后空冷，进行 3 次。处理后硬度为 59~61HRC。

### 14. W9Mo3Cr4V 钢制冲孔模的强韧化处理工艺设计

(1) 模具失效分析 W9Mo3Cr4V 钢制冲孔模用于冲制高速钢机用锯条两端圆弧和圆孔。以往采用的高速钢低温淬火工艺，其使用寿命不够理想。分析认为，由于被冲材料（高速钢）退火后的硬度比一般材料高，且机用锯条板料较厚。因此，模具工作时承受较大的载荷，不仅要求较好的耐磨性，而且要有较高的强韧性。为了提高其使用寿命，应设法采用可以同时提高耐磨性和强韧兼优性能的热处理工艺。

(2) 热处理强韧化工艺设计 W9Mo3Cr4V 钢制冲孔模的强韧化工艺，如图 5-15 所示。

#### (3) 操作要点

1) 淬火前进行一次调质处理，旨在细化组织为淬火获得高的强韧性奠定基础。

2) 采用比通常的高速钢低温淬火温度(1180~1190℃)稍高的1200℃加热，旨在有稍多的碳化物溶解，为回火析出弥散碳化物奠定基础。

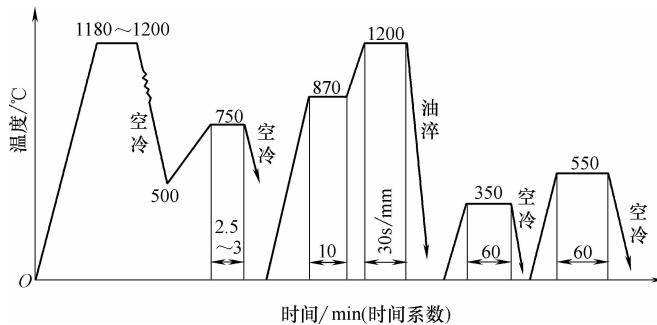


图 5-15 W9Mo3Cr4V 钢制冲孔模的强韧化工艺

3) 淬火后进行一次350℃的低温回火，目的是在该温度下从淬火马氏体中析出渗碳体型碳化物，降低马氏体的碳含量，从而提高强韧性。

4) 最后经550℃回火赋予模具所需要的各种综合性能。

(4) 处理结果 按上述工艺处理后，W9Mo3Cr4V钢制冲孔模的抗弯强度由3010MPa提高到3270MPa，挠度由4.6mm提高到5.1mm，硬度由63.5HRC降低到61HRC。总寿命由4.3万件提高到27万件。

### 15. GJW50 钢结硬质合金冷挤压凸模的热处理工艺设计

(1) 热处理工艺性分析 该凸模用于挤压自行车花盘(其材料为45钢，厚度为10mm)，原用Cr12钢制作，使用寿命不足3000件。为了通过生产效率和延长使用寿命，拟改用钢结硬质合金制作该模具。

#### (2) 热处理工艺设计

1) 锻件毛坯退火工艺曲线如图5-16所示。

2) 淬火：在彻底脱氧的盐浴炉中800~820℃预热35min后，在1020℃加热，保温18min后在油中淬火冷却。

3) 回火：在220℃的硝盐浴炉中加热，保持1.5h后空冷。

(3) 处理结果 硬度为69~70HRC。使用寿命达3120余件，是Cr12钢制模具的10倍以上。

### 16. 6Cr4W3Mo2VNb(65Nb)钢制冷挤压凸模的热处理工艺设计

(1) 凸模结构及技术要求 图5-17a为缝纫机梭床的冷挤压凸模示意图。热处理后要求硬度为60~62HRC。

(2) 热处理工艺性分析 凸模用于冷挤压梭床成形(梭床材料为20Cr钢，硬度为120HBW，利用250吨压床一次成形)。工作时，承受强烈挤压应力、弯曲应

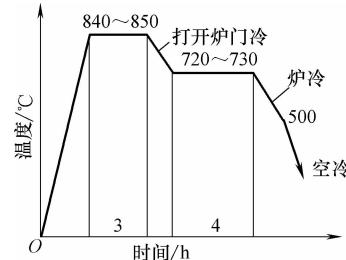


图 5-16 GJW50 钢结硬质合金  
锻件退火工艺曲线

力及退模时的拉应力以及摩擦磨损等。因此，模具应具有足够的抗压强度、弯曲疲劳强度和良好的耐磨性和韧性。以往采用 W6Mo5Cr4V2 高速钢制作该凸模，经 1190℃ 加热，分级淬火后硬度为 62~64HRC，使用寿命仅为一万件左右。通常是顶头碎裂或韧带磨损。拟采用 6Cr4W3Mo2VNb 钢试制。

(3) 热处理工艺设计 6Cr4W3Mo2VNb 钢凸模热处理工艺如图 5-17b 所示。

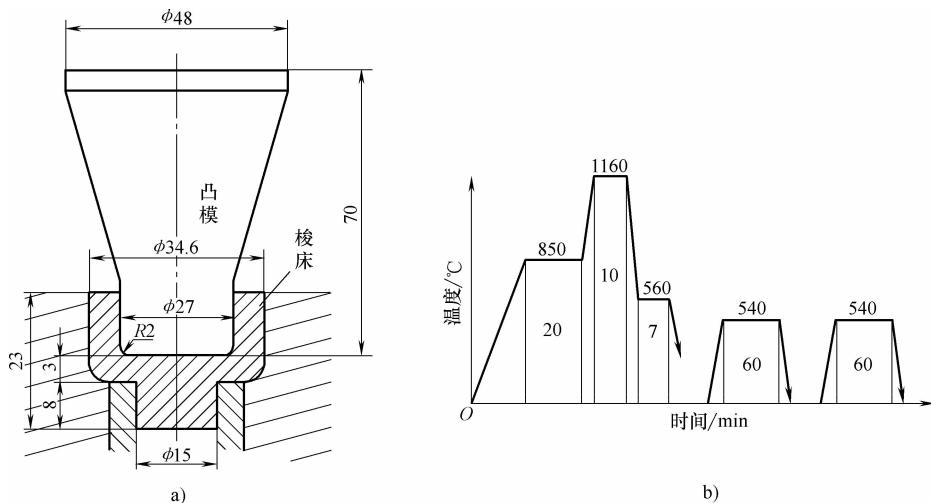


图 5-17 6Cr4W3Mo2VNb 钢凸模及其热处理工艺曲线

a) 棱床冷挤压凸磨 b) 热处理工艺曲线

(4) 处理结果 硬度为 60~62HRC；使用寿命达 2~3 万件（寿命短者因其侧壁被拉伤而不能继续使用；寿命长者一般是顶头脱落）。分析认为，2 万件者表面可能是局部轻微脱碳或硬度不均造成的。

### 17. 7W7Cr4MoV 钢制冷挤压模的热处理

(1) 凸模结构及技术要求 图 5-18a 所示为冷镦螺栓凸模示意图，要求硬度为 60~62HRC。

(2) 热处理工艺性分析 凸模用于冷镦螺栓成形，工作时承受强烈冲击压应力、弯曲应力、退模时的拉应力以及摩擦磨损等。因此，模具应具有足够的抗压强度、弯曲疲劳强度、良好的耐磨性和韧性。以往采用 60Si2Mn 钢制作该凸模，经正常淬火回火后使用寿命一万件左右，通常是顶头碎裂或韧带磨损。拟采用 7W7Cr4MoV 钢试制。

(3) 热处理工艺设计 7W7Cr4MoV 钢凸模热处理工艺如图 5-18b 所示。

(4) 处理结果 硬度为 60~62HRC；使用寿命达 5~10 万件不等。分析认为，寿命不等的原因可能是硬度不均或局部轻微脱碳造成的。

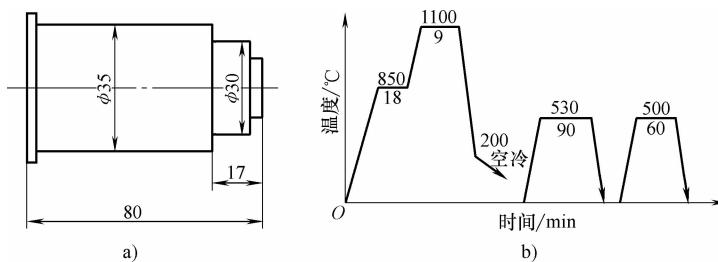


图 5-18 7W7Cr4MoV 钢凸模及其热处理工艺曲线

a) 螺栓凸模示意图 b) 热处理工艺曲线

### 5.2.3 热作模具热处理工艺设计

#### 1. 热变形模具的加工路线及技术要求

热变形模具的加工路线，有以下几种：

- (1) 热锻模和热挤压模：下料→锻造和退火→机械粗加工→超声波探伤→成形加工→淬火和回火→钳工修型和抛光。
- (2) 热切边模：下料→锻造和退火→成形加工→淬火和回火→钳工修整。
- (3) 堆焊锻模：下料→锻造和退火→机械粗加工→超声波探伤→堆焊→退火或高温回火→成形加工→淬火和回火→钳工修型和抛光。
- (4) 特大型锻模：下料→锻造和退火→机械粗加工→超声波探伤→淬火和回火→成形加工→钳工修型和抛光。

热变形模具的技术要求及其各种热处理方法，将结合典型热作模具的热处理实例阐述。

#### 2. 大型（5吨）锤锻模的淬火和回火工艺设计

(1) 所用材料及技术要求 该5吨锤锻模用料为5CrNiMo钢，热处理后头部要求34~38HRC；燕尾部分28~32HRC；型腔和燕尾不得有氧化脱碳和腐蚀迹象，模具整体不得有肉眼可见的任何形式的裂纹。

(2) 热处理工艺性分析 5CrNiMo钢热处理的各项工艺性（特别是淬透性、淬硬性、脱碳敏感性、过热敏感性和回火脆性等）均很好。因此，5CrNiMo钢热处理工艺没有太大难度。

由于所用材料为钢厂供应的、已经退火的5CrNiMo钢模块毛坯（硬度为220HBW；模块重量约1.7吨），可整体粗加工后，直接对型腔进行成形精加工，随后即可进行淬火回火处理。

但由于模块尺寸较大，淬火和回火加热时应采取预热后再进行最终加热，且应对型腔和燕尾予以防护，避免氧化脱碳。淬火冷却时，应采取有效措施预防产生裂纹等。

#### (3) 热处理工艺设计

1) 预热: 在煤气炉中进行, 将火焰调到不完全燃烧(还原)状态。模具入炉温度为550~600℃, 均热2h后以小于60℃/h的速度升温到480~500℃, 保温7~8h。

2) 淬火加热: 在大型盐浴炉中进行最后加热。盐浴应认真脱氧后, 模具入炉温度为900℃, 约经2h炉温回升到855℃, 保温2.5h后出炉淬火冷却。

3) 淬火冷却: 模具出炉后在空气中预冷到750~800℃(用红外温度仪测量)后入油冷却。在油中冷却38~40min后提出, 在空气中停留2min(旨在使已淬火部分进行自回火)后继续入油冷却10min(使模具内部继续冷却硬化), 提出油槽5min后模具表面已冷至220℃左右, 总计冷却时间约50min。

4) 整体回火: 在煤气炉中进行。模具入炉温度为300~350℃, 均热2h后以40~50℃/h速度升温到580~590℃, 保温10h后空冷。

5) 燕尾回火: 在专用燕尾回火炉中进行, 用火焰只喷吹燕尾。用红外仪测量温度, 在燕尾温度达650~670℃时, 调弱火焰烈度, 保持温度在允许范围内不变, 持续1~1.5h后在油中冷却, 以免余热导致头部硬度降低。

(4) 处理结果: 检测头部硬度为36~38HRC; 燕尾硬度为28~30HRC。未发现任何缺陷。在实际使用中锻造1万件时, 模具型腔完好, 可以继续使用。

### 3. 中型(1吨)锤锻模的淬火和回火工艺设计

(1) 所用材料及技术要求 该1吨锤锻模选料为5CrMnMo钢。热处理后头部硬度为38~44HRC; 燕尾部分为30~35HRC; 型腔和燕尾不得有氧化脱碳和腐蚀迹象, 模具整体不得有肉眼可见的任何形式的裂纹。上、下模合模后模面应接触80%以上; 燕尾平面挠度不大于0.2mm。

(2) 热处理工艺性分析 该模具模块为320mm×420mm×515mm, 由原5吨锻模改制而成, 经过改锻和退火、加工成形等工序后进行淬火和回火。由于5CrMnMo钢改锻过程易产生白点缺陷, 退火时应采取预防措施。此外, 5CrMnMo钢的热处理工艺性稍差(如较强的过热敏感性、回火脆性等), 且韧性不如5CrNiMo钢。所以, 淬火和回火工艺和操作应严加控制。

#### (3) 热处理工艺设计

1) 预防白点退火: 锻件的终锻温度为820~870℃, 锻后立即放入650~670℃的箱式电炉中保温9.5h(按锻件最小边长3h/100mm计算)后, 以30~50℃/h的速度冷却到400℃, 再以20~40℃/h速度冷却到250~300℃出炉空冷。

2) 淬火加热: 在75kW箱式电炉中进行加热。装炉温度为900~920℃, 经1.5~2h炉温回升到850~860℃, 保温约8h(按1.5~1.8min/mm计算, 以模体内外透烧为准)。

3) 淬火冷却: 模具出炉后在空气中预冷到780~800℃(大约4~5min, 模具表面呈樱红色), 立即整体转入油中冷却, 通过模具上下、左右移动使油不断搅动。冷却4.5~5min时提出燕尾(油面在燕尾以下50~100mm处)靠模体热量传

导进行自回火（此时，模体不断缓慢转动，使周围的油不致着火燃烧）。模体在油中继续冷却30~32min后约达到200~250℃（模具出油时，表面残油只冒较浓的青烟而不着火为准）提出并及时转入300℃的炉中等温保温3h（实质是复合等温淬火，组织为马氏体+贝氏体+残留奥氏体）。

4) 回火工艺：模具不出炉，将等温炉炉温升高到预定回火温度480~500℃，保温4h后，在油中冷到150℃左右空冷（利用150℃余热消除回火油冷过程产生的热应力）。

(4) 处理结果 硬度和变形度均符合技术要求；使用寿命一般锻打4000件以上，最高达8000件。

#### 4. 小型锤锻胎模的淬火和回火工艺设计

(1) 所用材料及技术要求 该胎模模块尺寸为258mm×149mm×140mm，所用材料为5CrMnMo钢。要求热处理后硬度为42~47HRC；锤击面挠度小于0.2mm；上、下模合模时错位度小于0.2mm。

(2) 热处理工艺性分析 由于该模块较小，加热时可以采用快速加热法，以便提高生产率和节能。另外，由于模块较小，加热时间较短，氧化脱碳较轻。故采用市场供应的保护涂料对型腔和锤击面予以防氧化脱碳。为了提高模具韧性和减小淬火变形和预防裂纹，拟采用复合等温淬火。

#### (3) 热处理工艺设计

1) 淬火加热：模具在950~980℃箱式电炉中加热，加热时间为45~50min（按最小厚度20~22s/mm计算，以目测模块实际温度达到860~880℃，即整体模块呈橘黄色为准）后出炉。

2) 淬火冷却：模具出炉后在空气中预冷到780~800℃（表面呈樱红色）后立即浸油冷却。在油中冷却约15min（按0.1min/mm计算，以出油时，只冒较浓的青烟，热油往下滚为准），即冷却到200~250℃为止，并立即转入300℃的炉中保温1.5h。

3) 回火：模具不出炉，将等温炉炉温升高到预定回火温度460~480℃，保温2h后空冷。

(4) 处理结果 硬度为43~44HRC；上、下模经合模试制的蜡件检验，其变形度和位移度均合格。

#### 5. 热顶锻模镶块的淬火和回火工艺设计

(1) 所用材料及技术要求 该热顶锻模镶块如图5-19所示，材料为φ105mm的3Cr2W8V圆钢。要求热处理后硬度为45~50HRC；变形度符合图示尺寸公差规定。

(2) 热处理工艺性分析 该模具的制作难度是热处理后产生变形，用磨外圆方法难以保证与内

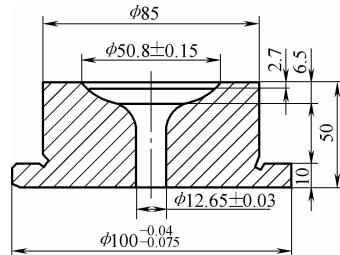


图5-19 热顶锻模镶块结构图

孔的同轴度。因此，只好将外圆和内孔一次精车完成，由热处理保证其变形不超差。

根据以往经验，类似的模具变形规律是淬火后内孔收缩，外径胀，即产生体积膨胀。为此，冷热加工工艺协商规定，孔径加工到尺寸公差上限，外径加工到尺寸公差中、下限。为了减少热应力和组织应力，热处理加热和冷却均应采取适当措施。

### (3) 热处理工艺设计

1) 淬火加热：在 800 ~ 850℃ 的中温盐浴炉中预热 25min 后转入 1120 ~ 1150℃ 高温盐浴炉中加热，并保温 15 ~ 17min。

2) 淬火冷却：加热后在 550 ~ 600℃ 低温盐浴中停留 3min，进行第 1 次分级；然后在 280 ~ 320℃ 硝盐浴中停留 3min，进行第 2 次分级冷却，最后空冷到室温。

3) 回火：清洗掉附盐后，在 650 ~ 680℃ 炉中保温 1.5h 后空冷，回火两次。

4) 处理结果 硬度为 48 ~ 50HRC；变形情况如表 5-33 所示，各部分尺寸合格。

表 5-33 热顶锻模热处理后变形情况

加工状态	$\phi$ 12.65	$\phi$ 50.80	$\phi$ 100	端面不平度
机械加工后	$\phi$ 12.68	$\phi$ 50.84	$\phi$ 99.95	0
热处理后	$\phi$ 12.66	$\phi$ 50.82	$\phi$ 100	0.02(中心凹陷)

## 6. 热滚压模的淬火和回火工艺设计

(1) 所用材料及技术要求 该热滚压模见图 5-20a 所示，其尺寸为 380mm × 165mm × 98mm。所用材料为 3Cr2W8V 锻坯。要求热处理后硬度为 38 ~ 42HRC。

(2) 热处理工艺性分析 该模具是柴油机连杆热成形滚压工艺装备。工作时承受较高温度，要求一定的热硬性、耐热疲劳性和较高的热强度等综合性能。因此，宜采用较高的淬火加热温度；回火时应预防产生回火脆性。由于毛坯需进行锻造，为防止氢脆应采用预防白点退火。

### (3) 热处理工艺设计

1) 预防白点退火：锻件的终锻温度为 850 ~ 900℃，锻后立即放入 280 ~ 320℃ 的箱式电炉中保温 2.5 ~ 3h 后，将炉温升到 580 ~ 600℃，保温 3h（按锻件最小边长 3h/100mm 计算）后，以 30 ~ 50℃/h 的速度冷却到 400℃，再以 20 ~ 40℃/h 速度冷却到 250 ~ 300℃ 出炉空冷。

2) 淬火：在箱式电炉中于 590 ~ 610℃ 预热 90min 后，转入 1090 ~ 1100℃ 的盐浴炉中加热，保温 30min 后在油中冷却，约 200 ~ 300℃ 时出油空冷。

3) 回火：第 1 次回火温度为 640℃，保温 4h 后于油中冷透；第 2 次回火温度为 620 ~ 630℃，保温 4h 后于油中冷透；第 3 次回火温度为 610 ~ 620℃，保温 4h 后于油中冷透。

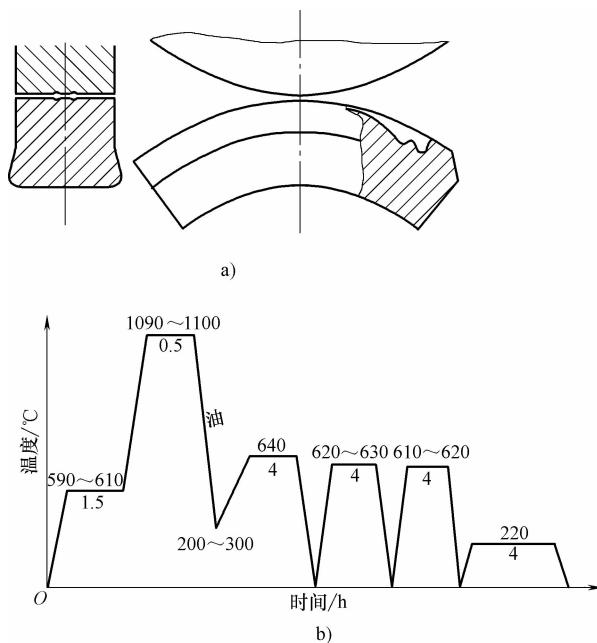


图 5-20 热滚压模示意图及其热处理工艺曲线

a) 热滚压模示意图 b) 热处理工艺曲线

4) 去应力处理: 220℃, 保温 4h 后空冷。

(4) 处理结果 硬度为 38~40HRC。

#### 5.2.4 塑料模具热处理工艺设计

##### 1. 塑料模具的类型及特点

按塑料的品种及其成形方法, 塑料模具分为热塑性模具和热固性模具两类。

(1) 热塑性模具 是在允许的加热温度范围内, 可反复软化和冷凝成形的工艺装备。适用的塑料主要是聚乙烯和尼龙等。

(2) 热固性模具。是在加热等一定条件下, 能直接固化成不熔性塑料制品的工艺装备。适用的塑料主要是酚醛树脂和三聚氰胺树脂等。

两类模具的工作条件和工作特点如表 5-34 所示。

表 5-34 塑料模具的工作条件及特点

类别	工作条件	工作特点
热固性塑料用压模	受热温度 200~250℃, 受力大, 易磨损, 易侵蚀; 承受脱模时的反复冲击和碰撞等	压制各种胶木粉。一般含有大量固体填充剂, 多以粉末直接加入压模热压成形, 承受热机械载荷和磨损
热塑性塑料用注射模	承受热压和磨损, 部分品种含有氯和氟等气体, 具有腐蚀作用	多以软化状态注入模腔。当含有玻璃纤维填料时, 会加剧模腔的磨损

## 2. 塑料模具的主要失效形式

1) 型腔表面损伤。主要表现在型腔表面粗糙度恶化，尺寸精度超差以及表面侵蚀等。其中，固体填料的摩擦和成形材料释放的氯、氟气体的腐蚀等均会加剧表面损伤。

2) 局部塑性变形。模具在持续承受热压的作用下，发生局部塑性变形，导致形位公差和尺寸公差超标，主要是表面硬度低造成的。

3) 整体断裂。有时因模具结构复杂，应力集中或受力不均等易造成整体断裂。提高模具的强度和断裂韧性，即可解决，如选用合金钢制作或施以强韧化淬火等。

## 3. CrWMn 钢制胶木模套的热处理工艺设计

(1) 所用材料及技术要求 图 5-21a 所示为 CrWMn 钢制模套，用于压制胶木元件。要求热处理后硬度为 51~55HRC；要求型腔变形  $B = 0$ ,  $A < \pm 0.07\text{mm}$ 。

(2) 热处理工艺性分析 CrWMn 钢的淬透性和淬硬性均较好，且淬火变形敏感性也较小。但由于要求  $B$  尺寸不得变形，故淬火时尚须采取必要的措施。

根据以往的变形规律，类似模具（型腔窄小，模块较大）淬火后型腔一般有收缩倾向。因此，要求钳工工序将型腔尺寸加工到上限。淬火工序尽量减少热应力和组织应力。

(3) 淬火和回火 淬火和回火工艺曲线如图 5-21b 所示。

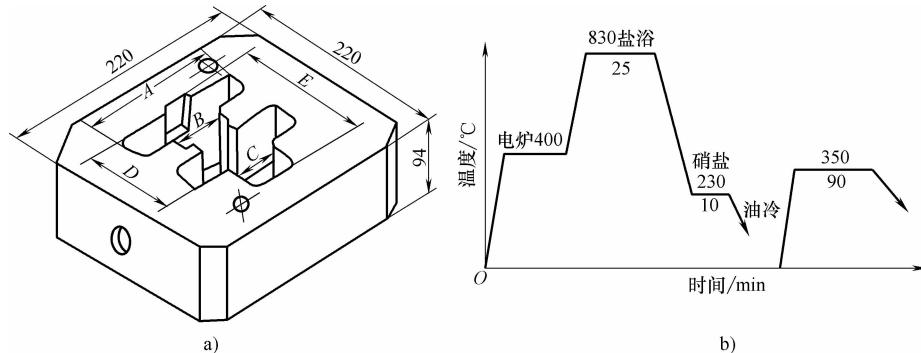


图 5-21 CrWMn 钢制模套及其淬火回火工艺曲线

a) 模套 b) 淬火回火工艺曲线

(4) 处理结果 硬度和变形度均合格。

## 4. 橡胶模的淬火和回火工艺设计

(1) 所用材料及技术要求 图 5-22a 所示为压制异形密封圈的橡胶模。模具材料为 45 钢，热处理后硬度为 30~35HRC。

(2) 热处理工艺性分析 该模具要求硬度不高，应在热处理调质后通过切削加工对上、中、下模进行配作。但如果热处理变形较大，将因精加工切削余量不足

而导致报废。因此，淬火时需采取尽量减少变形的措施。

(3) 淬火和回火 为减少淬火变形，采用分级加热和分级冷却工艺，淬火回火工艺曲线如图 5-22b 所示。

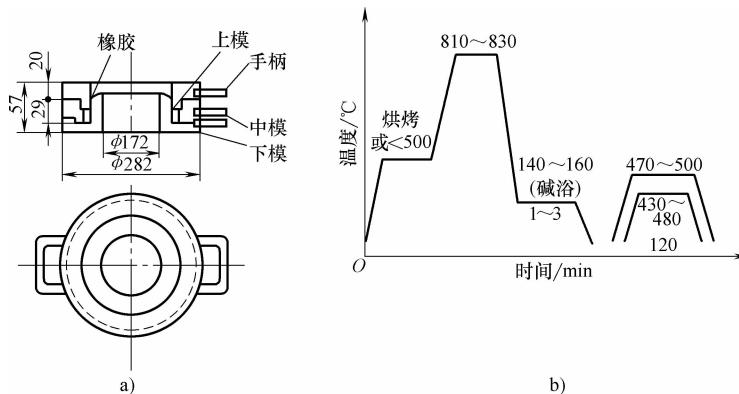


图 5-22 橡胶模及其淬火回火工艺曲线

a) 橡胶模结构图 b) 淬火回火工艺曲线

(4) 处理结果 硬度为 31~32HRC；由于变形很小，保证了精加工余量。

## 5. 胶木压模的渗碳、淬火和回火工艺设计

(1) 所用材料及技术要求 图 5-23a 所示为 20Cr 钢制作的模套，用于压制电器胶木衬板。要求硬度为 50~54HRC；型孔变形量 < 0.1mm。

(2) 热处理工艺性分析 用低合金钢制作的模具，欲满足高硬度需要应进行化学热处理，考虑模具承受较大压力，为了获得较深的硬化层，宜采用渗碳工艺，且渗碳层深度应为 0.8~1.0mm。

### (3) 热处理工艺设计

1) 渗碳：采用固体渗碳法，其工艺参数如图 5-23b 所示。

2) 淬火：在盐浴炉中 830~850°C 加热，保温 3.5~4min，出炉后在空气中预冷到 750°C 左右（模具表面呈暗红色），转入 80~100°C 的热油中冷却，停留 10~12min 后空冷。

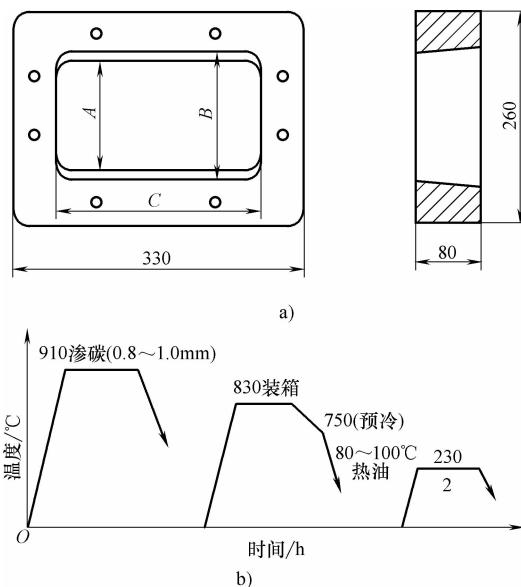


图 5-23 胶木压模及其固体渗碳工艺曲线

a) 压模简图 b) 固体渗碳工艺曲线

3) 回火: 在井式回火炉中, 加热温度 220~240℃, 保温 2h 后空冷。

(4) 处理结果 渗碳层深度为 0.8~0.85mm; 硬度为 50~52HRC; 型腔变形量为 +0.06~0.08mm, 质量合格。

### 6. 塑料模的真空淬火和回火工艺设计

(1) 所用材料及技术要求 图 5-24a 所示为 Cr12 钢制作的五块拼合的塑料模。要求热处理后硬度为 58~62HRC; 每块淬火回火后变形量均不得 >0.02mm。

(2) 热处理工艺性分析 该塑料模用于注射塑料玩具, 由于产品批量大、模具结构复杂, 致使加工工序复杂、模具制造费用高等原因, 拟采用 Cr12 钢制作。其热处理的主要关键是变形问题, 任何一块变形均影响装配组合。为减少变形和提高其使用寿命, 拟采用真空淬火和回火。

(3) 淬火和回火工艺 图 5-24b 为塑料模拼块的真空淬火和回火工艺曲线。

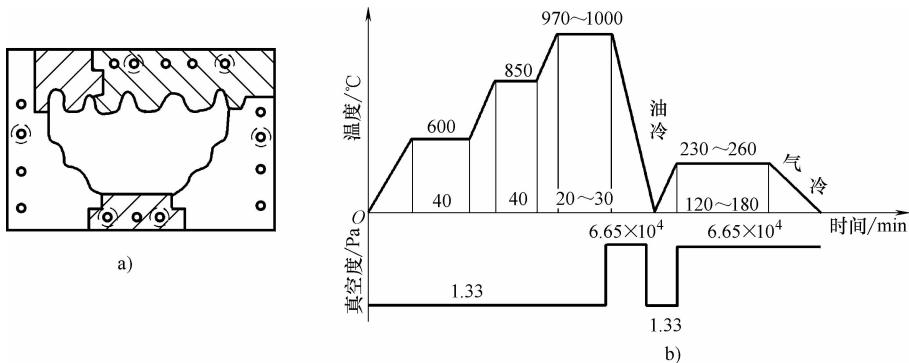


图 5-24 Cr12 钢拼块塑料模及其真空淬火和回火工艺曲线

a) 五块拼合塑料模简图 b) 真空淬火和回火工艺曲线

(4) 处理结果 硬度为 60~62HRC; 各模块变形量均不超过 0.02mm, 不影响装配难度。

### 7. 5NiSCa 钢制精密热塑性塑料模预硬化处理工艺设计

目前, 国内大部分精密热塑性塑料模, 一般采用 45、40Cr 和 T8A 钢制作, 也有部分企业开始采用 P20 等新型预硬化塑料模具钢, 但用其所制作的模具硬度低、表面粗糙、寿命不高。实践表明, 选用 5NiSCa 钢制作热塑性塑料模, 可收到显著效果, 模具寿命赶上甚至超过进口的同类模具。

(1) 热处理工艺性分析 精密热塑性塑料模具对加工性能及使用寿命均有较高要求。例如, 要求热处理变形小、型腔表面尺寸精度高、表面粗糙度值低; 有良好的花纹蚀刻性和焊补性; 有高的硬度和强韧性要求等。

#### (2) 热处理工艺设计

1) 退火: 模具毛坯锻后一般经等温退火, 即在 760~780℃ 加热, 保温 2~3h 后炉冷到 670~690℃, 保温 4~6h 后再炉冷到 500℃ 出炉空冷。退火后硬度为 217

~230HBW；组织为球状珠光体+易削相。

2) 预硬化处理：在盐浴炉中于880℃加热，按 $1\text{min}/\text{mm}$ 计算保温时间（箱式炉取 $2\text{min}/\text{mm}$ ），油中冷却，硬度为61~63HRC；回火温度根据预硬化要求确定，如要求45~46HRC、43~44HRC、39~40HRC和34~35HRC时，分别在575℃、600℃、625℃和650℃回火2h后空冷。实践表明，模具预备热处理硬度在38~42HRC时，可顺利进行车、铣、刨等切削加工；当硬度为40HRC时，可加工性与35HRC的P20钢相当。

3) 抛光、蚀刻花纹工艺：可按通常的抛光工艺进行，表面粗糙度容易达到 $0.1\mu\text{m}$ 以下，表面质量好。采用转移漆膜法制作蚀刻花纹时，清晰、逼真。

4) 焊补工艺：可用不锈钢焊条进行局部焊补。热影响区最高温度为50HRC，仍可加工。

(3) 处理结果 在表面硬度40HRC情况下，表面粗糙度与进口P20、NAK相同，使用寿命超过50万件（进口P20同类模具寿命仅20万件）。

## 5.3 量具热处理工艺设计实例

### 5.3.1 量具的承载特点和常用钢种及热处理特点

#### 1. 量具使用时的承载特点

量具是检验成品和半成品尺寸及其精度的工艺装备。量具在使用过程中所承受的载荷，主要是与被检测物件之间的摩擦、大气中水分和使用者手汗的浸蚀以及使用过程中环境温度的影响等。

#### 2. 量具的主要失效形式

由量具的主要承载特点可以判断，其主要失效形式是磨损、锈蚀和尺寸精度超差等。

(1) 量具的磨损 量具磨损主要是被检物钢铁零件中的硬质相，如碳化物和夹杂物等造成的颗粒磨损和高塑性的被检物，如有色金属等造成的粘着磨损。此外，量具的磨损还与被检物的表面粗糙度、表面浮尘(SiC)等有关。

(2) 锈蚀 锈蚀由于大气中水分携带的酸或碱性物质对其长时间作用和操作者手上汗液中盐、碱的作用而造成的。因此，对于精密量具不使用时，往往要放在干燥（有防潮剂）的玻璃器皿中放置；使用时，要带洁净的手套拿持等。对于一般经常使用的量具，也要保持在表面涂防锈油状态。量具锈蚀的结果，不仅影响使用时的测量准确度，而且会在去除锈迹过程中造成磨损。

(3) 尺寸精度超差 量具尺寸精度超差，不仅与其磨损和锈蚀有直接关系，而且与长期存放和使用过程中内部组织结构的转变（时效效应）有关。因此，不同精度的量具，对其材料及其热处理后的组织稳定性有不同程度的要求。

### 3. 量具用钢的选择及质量要求

由于量具的工作面均要求很光洁，如果对钢中的非金属夹杂物和碳化物的不均匀性控制不好，可能在量具极小粗糙度的表面上产生细小的点状缺陷以及区域性的残留应力分布，导致力学性能各向异性，以至助长不均匀变形和热处理后残留奥氏体分布不均，最终影响量具的尺寸稳定性。为此，对量具用钢的原始组织往往有相对严格的要求。

### 4. 量具的热处理特点

为了使量具在使用过程中有足够的耐磨性和尺寸稳定性，量具应施以特殊热处理，以确保获得高硬度和稳定的组织状态。因此，量具热处理有以下一些特点：

(1) 相对较低的淬火温度 大多数量具使用过共析钢（碳素工具钢和合金工具钢）制作。如果淬火加热温度较高，会使钢中碳化物溶解过多。如此，不仅减弱了组织中硬质相（碳化物）抵抗磨损的有利作用；而且增加淬火后组织中残留奥氏体量，即增加其时效效应，致使量具的尺寸稳定性变差。因此，用碳素工具钢和合金工具钢制作的量具，一般要在其允许的淬火温度范围下限进行加热；冷却时，在确保不被淬裂的前提下，尽量采用较快冷却速度。

(2) 淬火后及时冷处理 对于精密量具，往往淬火后需要进行冷处理，以便确保数量尽量少的残留奥氏体；特别是为避免淬火后的残留奥氏体发生稳定化，冷处理应在淬火后1h内及时进行。有时，为了避免因淬火应力过大而产生裂纹，淬火和冷处理之间进行一次低温回火。为了消除冷处理产生的新应力，再进行一次低温回火。

(3) 低温人工时效处理 对于一般量具淬火后，进行一次低温、长时间回火（150~160℃，保温4~5h）即可。对于精度特别高的量具，除了淬火、回火和冷处理外，最后还要进行一次或几次低温（120~140℃，保温12~24h）人工时效处理，旨在使已极少的残留奥氏体趋于更加稳定和内应力降得更低，从而大大减少量具使用过程中可能产生的时效效应。

### 5. 量具的热处理技术要求

(1) 硬度 在国家有关标准中，对各种量具的硬度均有明确规定，如表5-35所示。为提高量具的耐磨性，在保证尺寸稳定性的前提下，允许适当提高硬度。例如，采用钢结硬质合金和普通硬质合金制作量具等情况，不受钢质量具硬度范围的限制。

表 5-35 量具热处理硬度要求举例

标准代号	量具名称	测量面硬度值
GB/T 1216—2004	千分尺	工具钢≥766HV(≈62HRC)；不锈钢≥530HV(≈51HRC)
GB/T 6093—2001	量块	≥800(≈63HRC)
GB/T 22521—2008	角度量块	≥63HRC
GB/T 1957—2006	光滑极限量规	≥60HRC

(2) 显微组织 量具热处理的显微组织要求见表 5-36 所示。

表 5-36 量具热处理的金相组织要求

钢种	马氏体等级	托氏体量	碳化物网等级	脱碳层
碳素工具钢	$\leq 3.5$	测量面不允许有 托氏体	$\leq 3$	测量面经磨削加工后， 应保证无脱碳层
合金工具钢 铬轴承钢	$< 3$		$\leq 3$	
不锈钢	$\leq 3$			

## 6. 量具的制造工艺路线和热处理工艺方法

1) 精密量具制作工艺路线：锻造和球化退火→正火或调质→切削加工→淬火和校正→回火→清洗→冷处理→回火→人工时效→发黑或喷砂→磨削加工→人工时效→精磨或抛研→包装等。

2) 对于一般量具，可根据实际需要选择上述的部分工序或增加必要的其他工序，如表面强化热处理等。

3) 常用量具钢的热处理工艺方法，囊括热处理的各种工艺方法，将结合典型量具热处理工艺设计实例进行阐述。

### 5.3.2 卡尺和千分尺零件热处理工艺设计

#### 1. 螺纹测杆的热处理工艺设计

螺纹测杆是千分尺上的主要零件之一，如图 5-25a 所示。

(1) 所用材料及技术要求 螺纹测杆一般采用 CrWMn、GCr15 钢等制造。要求热处理后硬度为 58~62HRC；直线度  $\leq 0.15\text{mm}$ ；淬火马氏体级别  $\leq 2$  级 (JB 2406—1979 第九级别图)。

(2) 热处理工艺性分析 该测杆特点是零件小、数量多等。因此，淬火加热和冷却过程温度的均匀性成为关键。

(3) 热处理工艺流程 淬火→回火→清洗→校直→稳定化处理→清洗→磨削加工→端部喷砂→焊硬质合金测头。

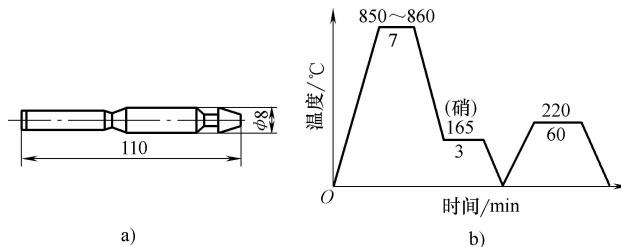


图 5-25 螺纹测杆及热处理工艺曲线

a) 测杆 b) 热处理工艺曲线

#### (4) 热处理工艺设计

1) CrWMn 钢制螺纹测杆的淬火和回火工艺, 如图 5-25b 所示。稳定化处理在 160 ~ 180°C 的盐浴炉中保温 2h (不经校直的测杆, 可不进行稳定化处理)。

2) GCr15 钢制螺纹测杆的淬火和回火工艺: 在 650 ~ 700°C 低温盐浴炉中预热 15min 后, 在 850 ~ 860°C, 保温 7min, 于 200 ~ 220°C 硝盐浴中冷却 1min 后空冷到室温。在 190 ~ 210°C 的硝盐浴中回火 2h 后空冷。

(5) 处理结果 硬度为 60 ~ 62HRC; 直线度为 0.12 ~ 0.15mm。

#### 2. 校对量柱的热处理工艺设计

校对量柱是千分尺上的另一主要零件, 如图 5-26a 所示。

(1) 所用材料及技术要求 量柱一般采用 CrWMn、GCr15 钢等制造。要求热处理后硬度为 62 ~ 65HRC; 直线度与长度有关, 参照附录 B 确定; 淬火马氏体级别 ≤ 2 级。

(2) 热处理工艺性分析 该校对量柱特点也是零件小, 数量多, 不同规格长度差别较大等。因此, 淬火加热和冷却过程温度的均匀性成为关键。为减少变形和尺寸稳定性, 淬火和冷处理夹具结构应确保较长量柱装夹时是直立状态、相互有足够的间隙, 且每个夹具可装夹数量较多的量柱, 以便兼顾生产过程质量和生产效率等问题。

(3) 热处理工艺流程 淬火 → 清洗 → 冷处理 → 回火 → 清洗 → 中间部分高频感应加热退火 → 校直 → 稳定化处理 → 清洗 → 磨外圆 → 涂油 → 包装。

#### (4) 热处理工艺设计

1) CrWMn 钢制测杆的淬火和回火工艺曲线如图 5-26b 所示。

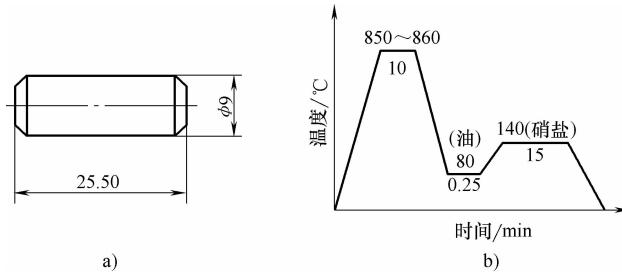


图 5-26 校对量柱及淬火和回火工艺曲线

a) 量柱 b) 淬火和回火工艺曲线

稳定化处理, 在 160 ~ 180°C 的硝盐浴炉中保温 2h, (不经校直的测柱, 可不进行稳定化处理)。淬火回火后彻底清洗残盐进行 -78°C, 保温 60min 的冷处理。中间部分高频感应加热退火温度 700 → 800°C, 空冷。

2) GCr15 钢制校对量柱的淬火和回火工艺: 在 650 ~ 700°C 盐浴炉中预热 20min 后, 在 850 ~ 860°C 保温 10min, 于油中冷到室温; 经热水冲洗和冷水冲洗

后，立即进行 $-70 \sim -78^{\circ}\text{C}$ ，保温 $30 \sim 60\text{min}$ 的冷处理；在 $130 \sim 150^{\circ}\text{C}$ 的硝盐浴中回火 $2\text{h}$ 后空冷。

(5) 处理结果 硬度为 $62 \sim 64\text{HRC}$ ；直线度为 $0.20 \sim 0.25\text{mm}$ 。

### 3. 微分筒体的热处理工艺设计

(1) 所用材料及技术要求 如图5-27所示的微分筒体用45钢制作；要求热处理后硬度为 $170 \sim 207\text{HBW}$ 。

(2) 热处理工艺性分析 由于零件结构简单、硬度要求不高，加之热处理后外圆经过磨削等，因此，正火处理即可。

(3) 正火工艺设计 在彻底脱氧的盐浴炉中， $860 \sim 880^{\circ}\text{C}$ 加热，保持 $10\text{min}$ 后吹风冷却。

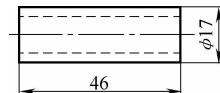


图 5-27 千分尺  
微分筒体

### 4. 卡尺尺身的热处理工艺设计

(1) 材料及技术要求 图5-28所示的卡尺尺身用T10A或40Cr13钢制作；要求热处理后，测量面及距测量面 $2\text{mm}$ 处的硬度为 $59 \sim 64\text{HRC}$ (T10A)， $53 \sim 58\text{HRC}$ (40Cr13)，距测量面 $2\text{mm}$ 以外的尺身硬度为 $40 \sim 48\text{HRC}$ ；测量面淬火马氏体级别为 $\leq 3$ 级(T10A)，平面及侧面的直线度 $\leq 0.1\text{mm}$ 。

(2) 热处理工艺流程 检测上序质量→产前准备→淬火→清洗→回火→内、外卡爪测量面分别高频感应淬火→回火→清洗→粗校直→尺槽喷砂兼精校直→去应力回火。

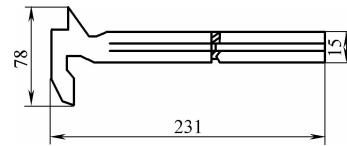


图 5-28 卡尺尺身简图

1) 淬火：在 $650 \sim 700^{\circ}\text{C}$ 盐浴炉中预热 $6\text{min}$ (T10A)或 $9\text{min}$ (40Cr13)后，再在 $800 \sim 820^{\circ}\text{C}$ 加热 $6\text{min}$ (T10A)或 $900 \sim 920^{\circ}\text{C}$ 加热 $9\text{min}$ (40Cr13)，随即在 $150 \sim 170^{\circ}\text{C}$ 硝盐浴中分级冷却，待尺身内外温度一致后取出空冷到室温，或加热后油中冷却。

2) 回火：在箱式或井式电炉中于 $380 \sim 420^{\circ}\text{C}$ 加热 $3\text{h}$ (T10A)或 $250 \sim 300^{\circ}\text{C}$ 加热 $4\text{h}$ (40Cr13)，取出后校正错位的卡尺尺身后压紧并空冷到室温。

3) 高频感应淬火：先后分别用专用感应器将大、小卡爪测量部位加热到 $860 \sim 900^{\circ}\text{C}$ (T10A)或 $1100 \sim 1130^{\circ}\text{C}$ (40Cr13)后，淬入 $150 \sim 170^{\circ}\text{C}$ 硝盐浴中分级冷却(每次处理后均应彻底清洗残余的硝盐)。

4) 低温回火：在 $150 \sim 170^{\circ}\text{C}$ 的硝盐浴炉中保温 $2\text{h}$ 后空冷。

### 5. 卡尺尺框的热处理工艺设计

(1) 材料及技术要求 图5-29所示的卡尺尺框用T10A或40Cr13钢制作；要求热处理后，测量面及距测量面 $2\text{mm}$ 处的硬度为 $59 \sim 64\text{HRC}$ (T10A)， $53 \sim 58\text{HRC}$ (40Cr13)，距测量面 $2\text{mm}$ 以外的尺框硬度为 $40 \sim 48\text{HRC}$ ；测量面淬火马氏体级别为 $\leq 3$ 级(T10A)。

(2) 热处理工艺流程 检测上序质量→产前准备→淬火→清洗→回火→内、外卡爪测量面分别高频感应淬火→回火→清洗→粗校直→尺槽喷砂兼精校直→去应力回火。

### (3) 热处理工艺设计

1) 淬火：在 650 ~ 700℃ 盐浴炉中预热 6min (T10A) 或 9min (40Cr13) 后，再在 800 ~ 820℃ 加热 6min (T10A) 或 900 ~ 920℃ 加热 9min (40Cr13)，随即在 150 ~ 170℃ 硝盐浴中分级冷却，待尺身内外温度一致后取出空冷到室温。或加热后油中冷却。

2) 回火：在箱式或井式电炉中 380 ~ 420℃ 加热 3h (T10A) 或 250 ~ 300℃ 加热 4h (40Cr13) 后空冷到室温。

3) 高频感应淬火：先后分别用专用感应器将大、小卡爪测量部位加热到 860 ~ 900℃ (T10A) 或 1100 ~ 1130℃ (40Cr13) 后，淬入 150 ~ 170℃ 硝盐浴中分级冷却 (每次处理后均应彻底清洗残余的硝盐)。

4) 低温回火：在 150 ~ 170℃ 的硝盐浴炉中保温 2h 后空冷。

## 5.3.3 精密量具热处理工艺设计

### 1. 量块的热处理工艺设计

(1) 技术要求及所用材料 量块是长度的计量基准，所以对性能要求和尺寸稳定性要求都是最高的。按 GB/T 6093—2001 《量块》的规定，其测量面的硬度应不低于 800HV ( $\approx 63\text{HRC}$ )；尺寸稳定性要求如表 5-37 所示。

表 5-37 量块尺寸稳定性技术标准

精度等级	每年长度的最大允许变化
00, 0, K	$\pm (0.02 + 0.5L)\mu\text{m}$
1, 2, (3)	$\pm (0.05 + 1L)\mu\text{m}$

注：1. 表中  $L$  为量块标称长度，以米计。

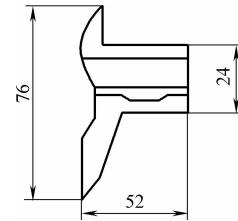
2. 带括号的等级根据定货供应。

从上述技术标准可以看出，量块的热处理质量关键在于保证硬度的基础上，确保尺寸的稳定性。

制作量块可选择合金工具钢（如 CrWMn、GCr15 等）和不锈钢（如 30Cr13、40Cr13 等）以及硬质合金等。根据所用材料，施以不同的热处理。

(2) 热处理工艺性分析 由于选择的材料各自特性不同，则热处理工艺方法及其参数各异。

1) CrWMn 和 GCr15 钢制量块的技术特性：由于钢中含有 Cr、W、Mo 等合金元素，对淬火后低温回火时马氏体中碳的扩散有抑制作用，使其耐回火性提高，即



在较高回火温度下仍可保持高硬度；同时，Si、Cr、Mn等合金元素，还明显提高残留奥氏体转变温度，使其在较低温度下的转变缓慢下来。这两种作用可阻碍马氏体和残留奥氏体分解，对量块的尺寸稳定性有良好作用。因此，选择CrWMn和GCr15钢制作量块比较合理。况且，现行的含铬轴承钢标准对材质要求高，比较适于制作量块。

由于合金工具钢淬火、冷处理和回火过程发生的体积缩胀和内应力消长以及其相互作用对量块尺寸稳定性的影响十分复杂而难以预测。因此，只能按如前所述的量具热处理要点，进行工艺安排和认真操作。

2) 30Cr13和40Cr13钢制量块的技术特性：30Cr13和40Cr13是马氏体不锈钢，用其制作量块时，一般是整体调质成索氏体组织，表面进行氮化处理。实践表明，不锈钢制作的量块氮化后，表面硬度可达950~1000HV；研磨后的量面粗糙度和色泽均优于淬火钢，且防锈蚀能力强；由于心部为索氏体组织，所以尺寸极稳定。

3) 硬质合金制量块的技术特性：用硬质合金制作量块，其硬度可达70HRC，耐磨性高而研磨粗糙度值低，且尺寸稳定性好，但材料和加工费用高，目前应用较少。

### (3) 量块热处理工艺设计

1) CrWMn钢制量块的热处理。其工艺流程为，820~840℃加热后油冷到室温→150~170℃回火→-78℃的冷处理→140~160℃×1.5~2h的残留奥氏体活化处理→-78℃的冷处理→120~140℃×36h的时效→精磨后120℃×8h的去应力回火等。

2) GCr15钢制量块的热处理。其工艺流程为，840~860℃加热后油冷到室温→-78℃的冷处理→140~150℃短时(1h)回火三次(每次冷却有利于激活组织转变和应力消除并保持高硬度)→120℃×48h的时效→精磨后120℃×10h的去应力回火等。

3) 30Cr13(或40Cr13)钢制量块的热处理。其工艺流程为，760~780℃×1.5h的高温回火→精密加工→去除氧化膜的活化处理(喷细砂)→温度540~550℃、氨分解率25%~30%的气体氮化(厚度≤10mm的量块氮化24h，层深为0.15~0.18mm；20~100mm的量块氮化48h，层深为0.22~0.24mm)。

4) 长度>100mm的GCr15和CrWMn钢制量块的热处理。其工艺流程为，整体淬火→280~300℃回火(硬度≥55HRC)→量块两端(约10mm)分别先后在盐浴炉中820~830℃加热淬火(也可用高频感应加热两端分别淬火)→120~130℃回火24h。

5) 尺寸≤5mm的GCr15和CrWMn钢制量块的热处理。由于小尺寸量块的绝对尺寸变化量很小，因此，整体淬火和回火即可，但应尽量减少淬火应力和磨削应力。

## 2. 测力环的热处理工艺设计

(1) 技术要求和所用材料 测力环是检测力量大小的量具，要求在外力反复作

用下，不改变其弹性，即要求较高的屈服点和均匀的硬度。测力环的硬度应为 40~45HRC，且同一测力环上的硬度差不得大于 1HRC。所用材料为 60Si2Mn 弹簧钢。

(2) 热处理工艺性分析 60Si2Mn 钢通常用油淬火冷却。实践表明，当测力环直径或厚度大于 4~5mm 时，往往心部淬不透和表面硬度差大于 1HRC，质量难以达到要求。因此，在不产生淬火裂纹的前提下，采用较快的淬火冷却速度和冷却均匀的淬火冷却介质。此外，测力环表面不得有脱碳层，否则降低疲劳强度，影响其寿命。为了获得整个截面均匀的硬度，应采用较长的回火时间。

(3) 热处理工艺设计 测力环的淬火和回火工艺曲线如图 5-30 所示。

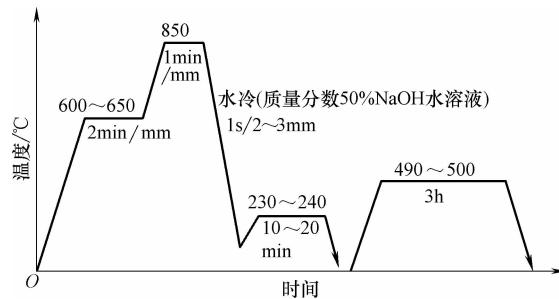


图 5-30 测力环的淬火和回火工艺曲线

(4) 处理结果 全面符合技术要求，检测 6 点硬度均为 42~42.5 HRC；表面无脱碳。

### 3. 标准硬度块的热处理工艺设计

(1) 技术要求及所用材料 该洛氏二级标准硬度块使用 9CrSi 和 GCr15 钢制造；布氏硬度块可分别用 GCr15（约 200HBW 者）、10 碳素钢（约 100HBW 者）制造。在不同的硬度等级中，硬度块均应达到均匀一致的硬度，且整块硬度差不得大于 1HRC。

表 5-38 为二级标准硬度块的成品尺寸及热处理技术要求。

表 5-38 二级标准硬度块的成品尺寸及热处理技术要求

硬度块型号		硬度值	外形尺寸/mm		垂直度在 100mm 长度上允许值 /mm	平行度在 100mm 长度上允许值 /mm	硬度的不均匀度	一年内硬度值不稳定度
			直径	厚度				
洛 氏 块	HRC	55~65	60~65	8	0.05	0.02	$\leq \pm 0.3$ HRC	$\leq 0.3$ HRC
		40~50	60~65	8	0.05	0.02	$\leq \pm 0.4$ HRC	$\leq 0.3$ HRC
		25~35	60~65	8	0.05	0.02	$\leq \pm 0.5$ HRC	$\leq 0.3$ HRC

(续)

硬度块型号		硬度值	外形尺寸/mm		垂直度在 100mm 长度 上允许值 /mm	平行度在 100mm 长度 上允许值 /mm	硬度的 不均度	一年内 硬度值 不稳定度
			直径	厚度				
洛 氏 块	HRA	70 ~ 85	60 ~ 65	8	0.05	0.02	$\leq \pm 0.3$ HRA	$\leq 0.3$ HRA
	HRB	75 ~ 95	60 ~ 65	8	0.05	0.02	$\leq \pm 0.5$ HRB	$\leq 0.3$ HRB
布 氏 块	HBW 10/3000/30	200 $\pm$ 50	100 ~ 120	14	0.05	0.02	$\leq \pm 2.0\%$	$\leq \pm 0.5\%$
	HBW 10/1000/30	100 $\pm$ 25	80 ~ 100	10	0.05	0.02	$\leq \pm 3.0\%$	$\leq \pm 0.5\%$

注：硬度块需由国家允许的部门检定，合格品应刻记硬度值和检定合格号码。

(2) 热处理工艺性分析 鉴于二级硬度块的上述技术要求和选材，原材料应选择无严重碳化物偏析；非金属夹杂物少；脱碳层薄和无疏松、缩孔、裂纹等缺陷的高级优质钢。投料前应进行化学分析和金相检验。

热处理淬火和回火加热温度应严格控制在  $\pm 5^{\circ}\text{C}$ ；最好在真空炉中加热和冷却，以确保温度的均匀性和无氧化脱碳。

(3) 热处理工艺设计 GCr15 钢制洛氏硬度块的热处理工艺如表 5-39 所示。

表 5-39 GCr15 钢制洛氏硬度块的热处理工艺

硬度块型号	淬 火				回 火				退 火			时 效		
	温度 /°C	时间 /min	加热 介质	冷却 介质	温度 /°C	时间 /h	次数	介质	温度 /°C	时间 /h	冷速/ (°C/h)	温度 /°C	时间 /h	次数
HRC(G) 和 HRA	855	8	中温 盐浴	氯化 钠水 溶液	185	2	2	热油浴	—	—	—	135	12	3
HRC(Z)					485	2.5	1	硝盐浴	—	—	—	—	—	—
HRC(D)					685	2.5	1	低温 盐浴	—	—	—	—	—	—
HRB					185	2	1	油浴	795	8	30	—	—	—

注：G—55 ~ 65HRC；Z—40 ~ 50HRC；D—25 ~ 35HRC。

(4) 洛氏硬度块的热处理操作要点

1) 高硬度块必须严格控制淬火和冷处理温度。否则，显著影响其残留奥氏体数量，如表 5-40 所示。

表 5-40 淬火和冷处理温度对 GCr15 钢残留奥氏体数量的影响

工艺	淬火加热						淬火后冷处理					
	温度/℃	820	830	840	850	860	880	20	10	0	-20	-35
残留奥氏体量 (质量分数, %)	3.85	—	7.7	10.7	10.8	13.6	13.9	10.7	8.45	7.35	6.2	4.2

2) 为了尽量减少淬火后的残留奥氏体量并使其稳定化, 以保证硬度的稳定, 高硬度块在质量分数为  $10\% \text{Na}_2\text{CO}_3 + 4\% \text{NaCl}$  水溶液中冷却至  $20 \sim 40^\circ\text{C}$  后, 立即用流动水冲洗并迅速转入放有冰块的水中冷至  $0^\circ\text{C}$ 。由于  $20 \sim 0^\circ\text{C}$  正处于奥氏体向马氏体转变最激烈的温度区间, 所以, 经上述处理后, 残留奥氏体量明显降低。

3) 高硬度块经表 5-39 所载工艺处理后进行油封防锈, 在室温下搁置半年以上(自然时效), 再送计量局定度。

4) HRB 硬度块, 可不经淬火而直接通过正常退火获得必要的硬度。

#### (5) 布氏硬度块的热处理工艺及操作要点

1) 低值布氏硬度块 ( $100 \pm 25 \text{HBW}$ ), 采用 10 钢制造。下料后经  $790 \sim 810^\circ\text{C}$ , 保温 5h 的退火, 以消除轧制过程产生的内应力; 机械加工后进行  $135 \sim 145^\circ\text{C}$ 、保温 2h 的去应力回火; 研磨后即可包装待定度。

2) 高值布氏硬度块 ( $200 \pm 50 \text{HBW}$ ), 采用 GCr15 或 9SiCr 钢制造。下料锻造后于  $920 \sim 940^\circ\text{C}$ , 保温 5h 空冷正火; 继续进行  $790 \sim 800^\circ\text{C}$  保温 4h 后降温到  $705 \sim 715^\circ\text{C}$  保温 5h 后缓冷的球化退火; 机械加工和磨光后进行  $135 \sim 145^\circ\text{C}$  保温 2h 的去应力回火。研磨合格后即可包装待定度。

(6) 各种硬度块的金相组织 应满足表 5-41 要求。

表 5-41 各种硬度块的金相组织

硬度块型号	金 相 组 织 组 成
HRC(G) 和 HRB	回火马氏体 + 均匀分布的粒状碳化物
HRC(Z)	回火托氏体 + 均匀分布的粒状碳化物
HRC(D)	回火索氏体 + 少量回火托氏体
HRB	球状珠光体
HBW( $100 \pm 25$ )	铁素体 + 少量珠光体
HBW( $200 \pm 50$ )	球状珠光体

#### 4. 螺纹环规的热处理工艺设计

螺纹环规是现代机械制造业中不可缺少的量具之一, 主要用于外螺纹制品(不同精度和规格的螺丝、螺栓)尺寸精度的检验。由于使用时经常与被检零件摩擦, 因此要求很好的耐磨性。如此, 需要较高的硬度、韧性和尺寸精度以及良好的

表面粗糙度等。

基于上述，制作螺纹环规时，对选材和热处理提出较严格要求。

(1) 技术要求及所用材料 目前用于制作螺纹环规的材料，主要是 GCr15 和 9SiCr 钢，有的企业也用 CrWMn 钢。图 5-31a 所示螺纹环规材料为 9SiCr 钢。

螺纹环规热处理后，一般要求硬度  $\geq 58HRC$ ；热处理变形允差和加工预留量见附录 B 所示；金相组织为马氏体  $\leq 2$  级，碳化物不均匀度  $\leq 3$  级；不允许有脱碳层。

(2) 热处理工艺性分析 由于原材料球化级别直接影响淬火加热温度和淬火后的晶粒度，因此，要求原材料球化级别为 2~5 级。通常，直径较大的原材料球化效果比直径小的要差，热处理时应根据原材料球化级别确定淬火加热温度。例如，大直径的螺纹环规采用稍低的淬火加热温度；反之亦然。同时，淬火冷却应采用能减少变形的有效措施，有利于螺纹磨削加工受力的均衡性，从而减少磨削应力和变形。

### (3) 热处理工艺设计

9SiCr 钢制螺纹环规热处理工艺曲线如图 5-31b 所示。

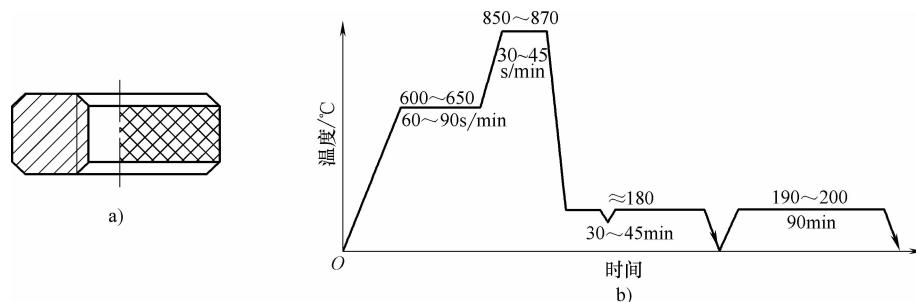


图 5-31 9SiCr 钢制螺纹环规及其热处理工艺曲线

a) 螺纹环规 b) 热处理工艺曲线

该工艺的操作要点，在于淬火加热温度和分级等温温度的具体确定。实践表明，分级等温淬火不仅可以提高螺纹环规的韧性，特别是可以通过调整其淬火和分级等温温度，来调整螺纹环规内孔的变形度。

以往的实践证明，采用较高（超过上限）的淬火和分级等温温度，由于热应力起主导作用，导致内孔收缩较大；如果淬火加热温度和分级等温温度均过低（超过下限），则组织应力起主导作用，致使内孔膨胀较大，特别是大规格环规更加严重。然而，在工艺规定温度范围内，调整淬火温度是有限的（允许温差仅  $\pm 10^{\circ}\text{C}$ ），所以热应力变化不会太明显。因为分级等温温度可在较大温度范围调整，所以最终决定环规的胀或缩，主要利用分级等温温度的高低，并与淬火加热温度相配合来控制其内孔的胀缩量。

9SiCr 钢脱碳敏感性较强，淬火加热时应严格控制介质成分，最好采用真空淬火和回火。采用盐浴炉加热时，需注意彻底脱氧，使氧化物控制在标准范围内。

对于 M10 以上大规格和 M2.6 以下小规格螺纹环规，应特别注意变形倾向。大规格环规的原材料质量较差，每批环规热处理时，均应检查首件合格后再继续生产。小规格环规淬火后内孔应小些，经发蓝处理后即可符合要求。

### 5. 螺纹塞规的热处理工艺设计

螺纹塞规也是现代机械制造业中不可缺少的量具之一。主要用于内螺纹制品（不同精度和规格的螺纹轴套、螺母等）尺寸精度的检验。由于使用时经常与被检零件摩擦，因此要求很好的耐磨性。如此，需要较高的硬度、韧性、尺寸精度以及良好的表面粗糙度等。

基于上述，制作螺纹塞规时，对选材和热处理提出较严格要求。

(1) 技术要求及所用材料 目前用于制作螺纹环规的材料，主要是 GCr15 和 T10A 钢，有的企业也用 CrWMn、9SiCr 钢。图 5-32a 所示螺纹塞规材料为 T10A 钢。

螺纹塞规热处理后，一般要求硬度  $\geq 58HRC$ ；热处理变形允差和加工预留量见附录 B；金相组织为马氏体  $\leq 2$  级，碳化物不均匀度  $\leq 3$  级；不允许有脱碳层。

(2) 热处理工艺性分析 由于原材料球化级别直接影响淬火加热温度和淬火后的晶粒度，因此要求原材料球化级别为 2~5 级。通常，直径较大的原材料球化效果比直径小的要差，热处理时应根据原材料球化级别确定淬火加热温度。例如，大直径的螺纹塞规采用稍低的淬火加热温度；反之亦是。同时，T10A 钢本身及其制造的塞规结构特点（尖角和沟槽多）使得淬火开裂和变形敏感性均很强。因此，淬火冷却应采用能减少变形和避免淬火裂纹的有效措施，减少废品；变形小还有利于螺纹磨削加工受力的均衡性，从而减少磨削应力及其引起的变形。

### (3) 热处理工艺及操作要点

T10A 钢制螺纹塞规及其热处理工艺曲线如图 5-32 所示。

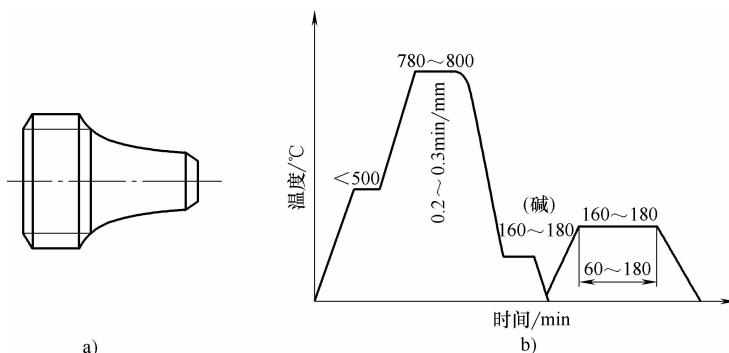


图 5-32 T10A 钢制螺纹塞规及其热处理工艺曲线

a) 螺纹塞规 b) 热处理工艺曲线

该工艺的操作要点是热碱浴分级淬火。实践表明，T10A钢螺纹塞规采用热碱浴分级淬火，由于具有高温冷却速度快和低温冷却速度慢的特点，使得表面拉应力大大降低，从而可以避免裂纹和显著减少变形。

采用下述的碱浴配方（质量分数为 83% KOH + 16% NaNO<sub>2</sub>，其余为水），可根据淬火温度高低、塞规尺寸大小以及允许的变形量，通过调整含水量改变冷却速度，增减热应力；通过分级温度和保温时间调整组织应力，从而达到使塞规胀或缩的目的。

# 第6章 矿山机械典型件热处理 工艺设计实例

本章主要介绍矿山、铁路、交通和水电等各种土石方工程中，广泛使用的凿岩机械和破碎机械典型零件的常用材料及其热处理工艺设计。

## 6.1 矿山凿岩机械典型件热处理工艺设计实例

矿山机械和钻探机械是在较恶劣的环境条件下工作的，其中大部分零件承受较大冲击和磨损以及往复回转、弯曲、扭曲等复杂应力的作用。因此，这些零件一般采用低碳合金钢制造，经渗碳淬火、回火后装机使用；也有少部分零件采用中、高碳合金钢制造，经淬火和低温回火后装机使用。

### 6.1.1 凿岩机典型零件热处理工艺设计

#### 1. 20Cr 钢制凿岩机缸体的热处理工艺设计

(1) 凿岩机缸体的失效分析 凿岩机缸体工作时，主要承受活塞的往复冲击和滑动摩擦，因此，缸体主要是其内表面严重磨损而失效。不言而喻，缸体要求具有良好的耐磨性和一定的韧性和刚度。

(2) 凿岩机缸体材料 凿岩机缸体通常用 20Cr、20CrMo 和 ZG20CrMnMo 钢制造。图 6-1a 所示缸体采用 20Cr 钢制造。

(3) 热处理技术要求 渗碳层深度为 1.2 ~ 1.5mm；表面硬度为 58 ~ 63HRC；圆度  $\leq 0.2\text{mm}$ ；渗层组织为回火马氏体 + 碳化物。

(4) 20Cr 钢制缸体的制造工艺路线 毛坯锻造 → 正火 → 机械加工 → 渗碳淬火 → 清洗 → 回火 → 磨削 → 成品。

#### (5) 热处理工艺设计

1) 锻件正火：利用锻造余热控制在约 900℃ 进行吹风冷却，硬度为 150 ~ 200HBW。组织为索氏体 + 铁素体，晶粒度  $\geq 5$  级。

2) 气体渗碳：在 RQ3-75-9 型气体渗碳炉中滴入甲醇和煤油，于 920 ~ 940℃，保温 3 ~ 4h 后降至 890 ~ 910℃，保温 2h 后出炉缓冷，工艺曲线如图 6-1b 所示。

3) 重新淬火：在同一型号渗碳炉中于 790 ~ 810℃ 加热透烧后油中淬火。

4) 清洗：在沸水中煮沸去油。

5) 回火：在 RJJ-36-6 型井式电阻炉中于 170 ~ 190℃，保温 2h 后空冷。

(6) 处理结果 表面硬度为 60 ~ 62HRC；渗碳层深度为 1.2 ~ 1.4mm； $\phi 78\text{mm}$

和  $\phi 82\text{mm}$  的椭圆度分别为  $0.16\text{mm}$  和  $0.2\text{mm}$ 。

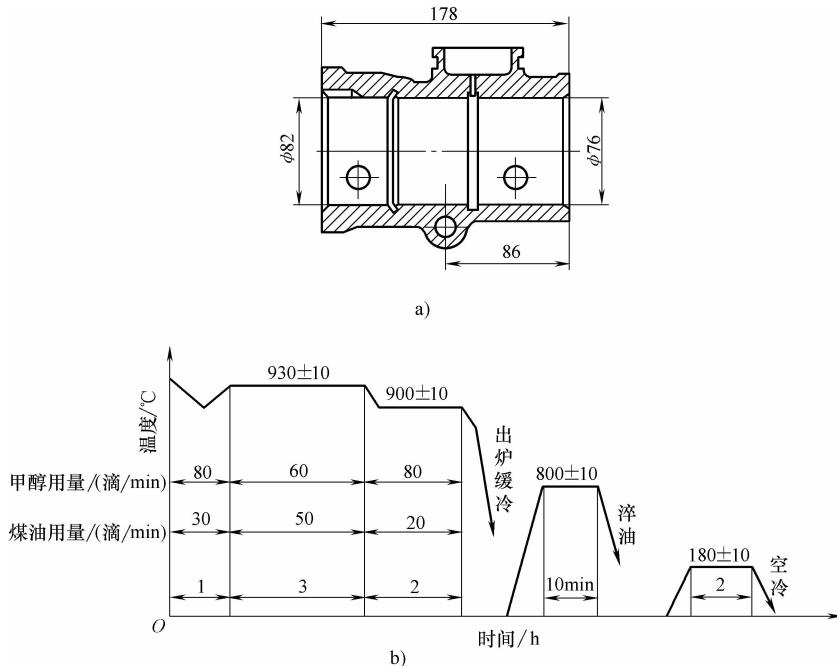


图 6-1 20Cr 钢制缸体及其热处理工艺曲线

a) 凿岩机缸体 b) 热处理工艺曲线

## 2. 35CrMoV 钢制凿岩机活塞的热处理工艺设计

(1) 活塞的失效分析 活塞在工作过程中，其端头反复冲击钎杆或钎头，因接触疲劳极易剥落，或出现凹陷，或花键掉块；在反复强烈冲击下，有时在大、小圆过渡处断裂等不正常失效；正常失效为配合面磨损失效。

(2) 活塞材料 凿岩机活塞用料有 20CrMnMo、35CrMoV 和含钒高碳钢等。图 6-2a 所示活塞采用 35CrMoV 钢制造，旨在提高其心部强度而克服端头凹陷和花键易崩齿现象，同时可以适当降低渗碳层深度。

(3) 热处理技术要求 渗碳层深度为  $1.6 \sim 1.9\text{mm}$ ；表面硬度为  $60 \sim 65\text{HRC}$ ，心部硬度为  $\geq 50\text{HRC}$ ；渗层组织为  $\leq 3$  级的马氏体 + 粒状碳化物。

(4) 35CrMoV 钢活塞制造工艺路线 毛坯锻造 → 退火 → 机械加工 → 渗碳直接淬火 → 高温回火 → 二次淬火 → 清洗 → 回火 → 喷砂 → 磨削 → 成品。

### (5) 热处理工艺设计

1) 锻件退火：在 RX3-60-9 箱式电阻炉中于  $840 \sim 860\text{°C}$  保温透烧后，随炉冷却到  $300\text{°C}$  以下出炉空冷。硬度为  $197 \sim 229\text{HBW}$ 。

2) 气体渗碳直接淬火：在 RQ3-75-9 型气体渗碳炉中  $850\text{°C}$  预渗碳  $1 \sim 2\text{h}$ ，旨在预先形成细小的碳化物质点，为后续高温渗碳过程碳化物呈颗粒状分布奠定基

础。通过 900℃ 渗碳达到渗层深度要求，随后炉温降至适合直接淬火的 860℃，均热后淬入油中冷却，工艺曲线如图 6-2b 所示。

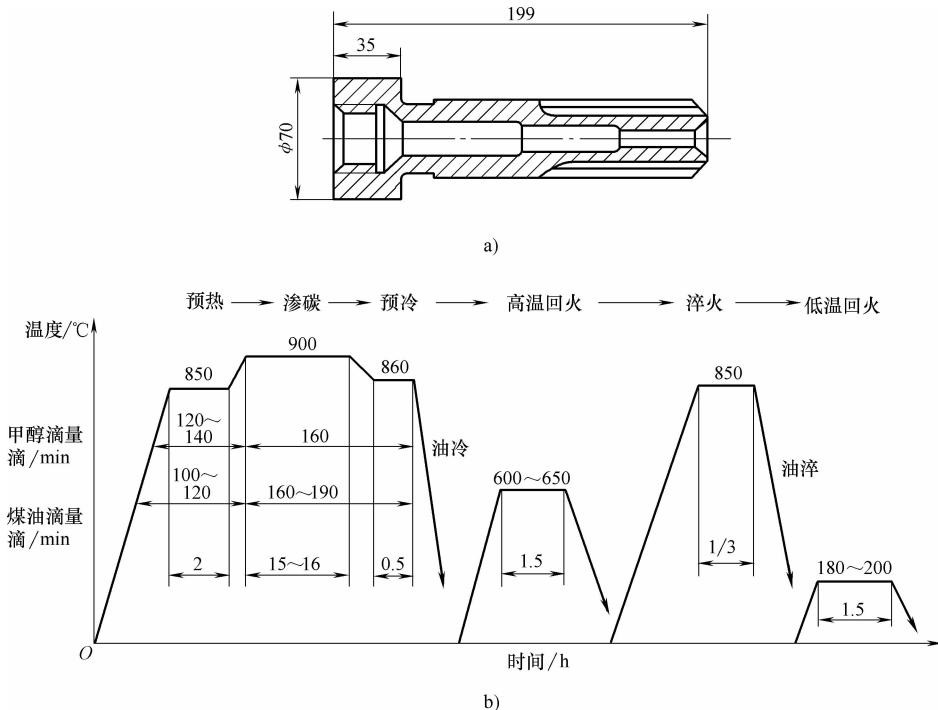


图 6-2 35CrMoV 钢制活塞及其热处理工艺曲线

a) 凿岩机活塞 b) 热处理工艺曲线

3) 高温回火：在 RX3-60-9 箱型电阻炉中于 600 ~ 650℃ 保温透烧后空冷，旨在使碳化物聚集成均匀的粒状，并彻底消除淬火应力，为二次淬火奠定基础。

- 4) 二次淬火：在同一炉中 850℃ 加热透烧，油冷淬火。
- 5) 清洗：在清洗机中喷淋清洗。
- 6) 回火：在 RJJ-36-6 型井式电阻炉中于 180 ~ 200℃，保温 1.5h 后空冷。
- (6) 处理结果 同炉试样渗碳层深度为 1.7 ~ 1.9mm；实物表面硬度为 60 ~ 64HRC，同炉试样心部硬度为 50 ~ 52HRC；渗层组织为隐针回火马氏体 + 粒状碳化物。

### 3. 钒钢制凿岩机活塞的热处理工艺设计

(1) 钒钢的技术特性分析 加热时钢中含有难溶的碳化钒，使其过热敏感性大大降低，有效阻止奥氏体晶粒长大，从而使活塞具有良好韧性。此外，加热时未溶的碳化钒在冷却过程中起着结晶核心作用，使其淬火后获得较浅的硬化层，从而活塞表面层呈现较大的残留压应力，提高了活塞的疲劳强度。

#### (2) 热处理技术要求

- 1) 球化退火后硬度:  $\leq 197 \text{HBW}$ ; 组织为球状珠光体(2~4级); 球化率为100% (允许有少量孤立存在的条杆状碳化物); 晶粒度 $\leq 5$ 级。
- 2) 淬火回火后硬度: 表面硬度为60~64HRC, 心部为38~42HRC。
- 3) 硬化层深度: 小头(见图6-2a)为2.5~4.0mm, 花键槽底部及杆部为1.5~3.0mm (不允许有淬透情况), 内、外表面应有均匀的硬化层。
- 4) 金相组织: 表面为隐针回火马氏体+分布均匀的未溶碳化物; 过渡区为回火马氏体+托氏体+未溶碳化物; 心部为托氏体+未溶碳化物。
- (3) 钢制活塞制造工艺路线: 下料→大头镦锻→预先淬火→球化退火→机械加工→淬火回火→磨削→成品。

#### (4) 热处理工艺设计

- 1) 预淬火: 在RQ3-75-9型气体渗碳炉中加少量煤油保护, 900℃加热透烧后水冷淬火, 旨在为退火后获得良好的球化效果。
- 2) 球化退火: 在RX3-60-9箱式电阻炉中于740~750℃加热, 保温透烧(旨在奥氏体化并保留一定数量的未溶碳化物作为球化核心)后, 炉温降至680~690℃保温5~6h(球化)后, 随炉冷却到650℃空冷。
- 3) 淬火: 在RDM-70-13型盐浴炉中于720~730℃预热, 保温透烧(旨在缩短在 $Ac_1$ 以上的加热时间, 获得较多的板条马氏体)后升温到780~800℃, 再透烧后在质量分数为10%的NaCl水溶液中淬火冷却。
- 4) 回火: 在RJJ-36-6型井式电阻炉中于205~215℃, 保温1.5h后空冷。
- (5) 处理结果 逐项质量检测, 完全满足热处理的各项技术要求(从略)。

### 6.1.2 凿岩机钎头、钎尾热处理工艺设计

凿岩机工作时, 是其活塞产生的脉冲动力通过钎尾传递给钎杆, 再通过钎杆传递给钎头而钻凿和破碎岩石。因此, 钎头、钎尾以及钎杆都是凿岩机的重要零件, 在一定意义上代表凿岩机的质量和寿命。下面, 主要介绍钎头和钎尾的材料选择及其热处理工艺设计。

#### 1. 钎头结构及其失效分析

- (1) 钎头结构 钎头除了极少数用高碳钢制造的整体钎头外, 绝大部分是由钎头体与不同形状的硬质合金块组合在一起的钎头, 如图6-3所示的“一”字形钎头结构。其中, 硬质合金块分为片形、球齿形和复合齿形等形状, 用钎焊或镶固等方法与钎头体结合在一起。

- (2) 钎头的失效分析 由

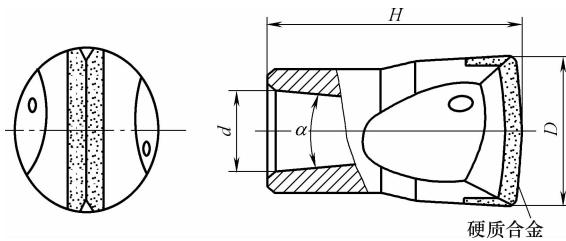


图6-3 钎焊硬质合金的“一”字形钎头

于钎头以大力脉冲波对岩石钻凿以及其反射波回应的综合作用结果，使钎头承受着复杂应力的作用。因此，其失效原因除了硬质合金块脱落或破碎外，主要是钎头体胀裂和裂纹以及断腰等造成的。不言而喻，钎头体的选材及其热处理成为关键。

## 2. 钎头体的选材及其热处理工艺设计

### (1) 钎头体用钢的技术要求

1) 焊接加热后要具有高的空冷硬化能力，且空冷后硬度要达到 35~50HRC，同时应有较好的塑性、韧性和疲劳强度，以免裂纹和胀裂导致硬质合金块脱落。

2) 钎头体应与铜基或银基焊料有较好的浸润性，以确保有高温的焊接温度和焊接性能。

3) 在焊接温度下，不致发生晶粒长大、氧化、脱碳等。同时，钢的膨胀系数与硬质合金的差别越小越好；具有较高的热稳定性和一定的高温强度、耐磨性。

4) 易于退火软化，且可加工性好等。

### (2) 常用钎头体材料

1) 片状钎头用钢：40MnMoV、24SiMnCrNi2Mo、40Cr、35CrMoV、50 钢等。

2) 球齿钎头用钢：24SiMnCrNi2Mo、45CrNiMo1V、40MnMoV、20Ni4Mo、35CrNiMo 钢等。

(3) 钻岩机钎头制造工艺路线 车外形→加工锥孔→铣槽→钻水孔→铣排粉圆弧槽→酸洗→配硬质合金刀片→焊接→淬火→回火磨刃→发蓝→成品。

(4) 钎头体的热处理工艺设计 以 24SiMnCrNi2Mo 空冷硬化钢为例，阐述其钎头体的热处理工艺。

1) 退火：在 RX3-60-9 箱式电阻炉中 750℃ 加热，保温透烧后随炉冷却到室温。钎头体硬度为 260HBW。

2) 淬火：可采用两种方案。其中一种是刀片钎焊的同时，将钎头体加热到 900℃ 左右，然后空冷到室温，最后在 RJJ-36-6 型井式电阻炉中于 200~300℃，保温 2h 后空冷。其组织为板条马氏体与粒状贝氏体的混合物，硬度为 40~45HRC。另一种是刀片焊好后，将钎头重新加热到 860~900℃，透烧后空冷至室温，最后在 200~300℃，保温 2h 后空冷。其组织和硬度均与前一种相同。

## 3. 钎尾结构及其热处理工艺设计

(1) 钎尾结构及其失效分析 典型钎尾如图 6-4 所示，其主要失效形式为疲劳断裂和钎尾端面凹陷、剥落掉块等。

(2) 热处理技术要求 渗碳层深度为 0.5~0.8mm（重型导轨式钎尾为 1.0~1.2mm）；表面硬度为 58~60HRC，心部为 48~52HRC；渗层组织为回火马氏体 + 粒状碳化物 + 少量下贝氏体 + 残留奥氏体，心部为下贝氏体 + 少量回火马氏体。

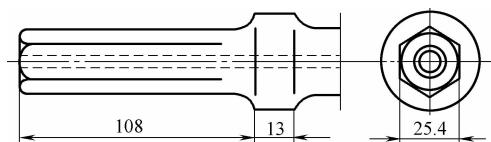


图 6-4 钎尾

(3) 钎尾的选材 钎尾常用钢种有 23 ~ 30CrNi3Mo、24CrMo、20 ~ 30Cr3Ni4Mo、22SiMnCr2NiMo、18Cr2Ni4WA、30CrMnSiNi2A、25 ~ 35SiMnMoV 等。

(4) 钻岩机钎尾制造工艺路线 工艺路线分一般钎尾和重型导轨式钎尾两种。

1) 一般钎尾的工艺路线：毛坯锻造→退火→机械加工→渗碳→淬火→回火→清洗→磨削→成品。

2) 重型导轨式钎尾工艺路线：毛坯锻造→退火→机械加工→气体渗碳直接淬火→高温回火→等温淬火→两次低温回火→冷滚压螺纹退刀槽→磨削→成品。

(5) 钎尾的热处理工艺设计 以 35SiMnMoV 钢钎尾为例，阐述其热处理工艺设计。

1) 毛坯退火：在 RX3-60-9 箱式电阻炉中于 870 ~ 890℃ 加热，保温透烧后随炉冷却到约 100℃ 出炉空冷。

2) 气体渗碳：在 RQ3-75-9 型气体渗碳炉中于 920 ~ 940℃，保温 4 ~ 8h 后炉温降至适合直接淬火的 860℃，均热后淬入油中冷却。

3) 高温回火：在 RX3-60-9 箱式电阻炉中于 550 ~ 650℃ 加热，保温透烧后空冷。

4) 等温淬火：在 RDM-70-13 型盐浴炉中于 860 ~ 880℃ 加热，保温透烧后在 260℃ 硝盐中停留 40min 后空冷。

5) 回火：在 RJJ-36-6 型井式电阻炉中于 260℃，保温 1.5h 后空冷（进行两次）。

(6) 处理结果 逐项质量检测，同炉试样的渗碳层深度为 0.5 ~ 0.6mm；表面硬度为 58 ~ 59HRC，心部为 48 ~ 50HRC；渗层组织为回火马氏体 + 粒状碳化物 + 残留奥氏体，心部为下贝氏体。

### 6.1.3 牙轮钻机钻头热处理工艺设计

牙轮钻头是地质钻探、露天矿和石油开采的钻孔工具。牙轮钻头是由牙轮、牙爪和滚柱及滚珠等组成。牙轮钻机工作时，通过其回转、推压机构对钻具施以轴向压力，钻孔是靠牙轮对岩石的压碎、剪切和冲击破碎等多种作用来完成的。因此，工作时牙轮和牙爪承受带有冲击作用的接触应力，同时受到强烈磨损。

#### 1. 失效形式分析

牙轮和牙爪的主要失效形式有以下几种：

- 1) 牙轮和牙爪轴承工作面表层疲劳剥落以及因拉毛发热而咬合。
- 2) 牙爪小轴磨损或折断。
- 3) 滚珠和滚柱磨损、碎裂。
- 4) 牙轮和牙爪断裂等。

#### 2. 矿用牙轮钻头的选材

从上述的失效特点，可以得知牙轮和牙爪需要由疲劳强度高、韧性好、表面硬

度高、耐磨性好的材料制造，在生产中，牙轮和牙爪通常采用优质低碳合金钢（如20CrMo、20Ni4Mo等）制造；其滚珠和滚柱通常采用55SiMoV钢制造。

### 3. 矿用牙轮钻头热处理技术要求

#### (1) 牙轮和牙爪

- 1) 渗碳层深度：牙轮为0.9~2.2mm，牙爪为1.2~2.5mm（均取决于钻头直径）。
- 2) 渗碳层碳含量：牙轮和牙爪均为0.8%~1.05%（质量分数）。
- 3) 淬火回火后表面硬度：牙轮和牙爪均为58~63HRC。
- 4) 渗碳层组织：回火马氏体（≤3级）+粒状碳化物（≤2级）。
- (2) 滚柱和滚珠 淬火回火后表面硬度：滚珠为55~59HRC，滚柱为56~60HRC。

### 4. 制造工艺路线

#### (1) 牙轮工艺路线

1) 钢齿牙轮：锻造→正火（退火）→机械加工→渗碳→淬火→回火→清洗→磨削。

2) 镶齿牙轮：锻造→正火（退火）→机械加工→钎焊减摩材料→渗碳→二次淬火→回火→清洗→钻硬质合金齿孔→压齿→磨削。

#### (2) 牙爪工艺路线

1) 堆焊耐磨合金牙爪：锻造→正火（退火）→机械加工→小轴、二道止推面、大轴受力部位堆焊耐磨合金→渗碳→淬火→回火→清洗→磨削。

2) 渗碳牙爪：锻造→正火（退火）→机械加工→渗碳→磨削→渗硼→淬火→回火→清洗→磨削。

### 5. 热处理工艺设计

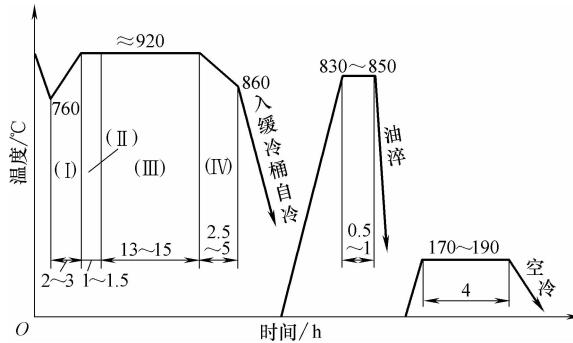
1) 15CrNi3Mo钢制牙轮的热处理工艺设计如表6-1所示。

表6-1 15CrNi3Mo钢制牙轮的热处理工艺

工序	热 处 理 工 艺
锻造正火	加热温度880~920℃，保温3~4h，空冷
渗碳	15CrNi3Mo钢，要求渗碳层深度1.7~2.0mm RJJ-105井式渗碳炉，装炉后，2~3h炉温由760℃升至920℃，滴入大量甲醇排气；1~1.5h均温阶段：甲醇180滴/min，丙酮250滴/min；渗碳期：13~15h甲醇100滴/min，丙酮180滴/min，从920℃降温至830℃约2.5~3h，滴入甲醇90滴/min。然后工件出炉放入缓冷桶自行冷却
淬火	1) 渗碳后预冷至830~850℃直接淬油 2) 渗碳后冷至室温重新加热至830~850℃淬油 3) 渗碳后进行900~920℃和810~830℃两次淬火均为油淬

(续)

工序	热 处 理 工 艺
回火	温度 170 ~ 190°C, 保温 4h



15CrNi3Mo 钢牙轮热处理工艺曲线

注：用 RJJ-105 井式渗碳炉

- (I) 升温排气，滴入大量甲醇；(II) 均温，甲醇 180 滴/min，丙酮 250 滴/min；  
 (III) 渗碳，甲醇 100 滴/min，丙酮 180 滴/min；(IV) 降温，甲醇 90 滴/min

2) 20CrNiMo 钢制牙爪的热处理工艺设计如表 6-2 所示。

表 6-2 20CrNiMo 钢制牙爪的热处理工艺

工序	热 处 理 工 艺
锻造正火	加热 880 ~ 920°C, 保温 3 ~ 4h, 空冷
渗碳	20CrNiMo 钢, 要求渗碳层深 1.8 ~ 2.0mm, 920 ~ 940°C, 渗碳 13 ~ 17h
回火	温度 170 ~ 190°C, 保温 4h
渗硼	1) 渗碳要求同上, 渗碳后再渗硼 2) 将牙掌轴颈部位套上特制的渗硼杯, 内部添加足够的渗硼剂, 密封渗硼杯, 放入通有吸热性保护气氛的热处理炉中加热。温度为 930°C, 时间为 8h。渗硼组织为单相 Fe <sub>2</sub> B, 渗层深度为 0.08 ~ 0.10mm 也可采用液体渗硼。不需渗硼的部位镀铜, 把工件放入渗硼盐浴中, 在 900 ~ 920°C 保温 6 ~ 7h
淬火	1) 固体法渗硼后, 用盐浴炉或保护气氛炉加热至 810 ~ 840°C, 保温 2 ~ 3h 后淬入 70 ~ 100°C 油中 2) 盐浴渗硼后直接淬入 70 ~ 100°C 的油中
回火	温度 170 ~ 190°C, 保温 4h

## 6.2 矿用破碎机典型件热处理工艺设计实例

矿用破碎机零件，以各种易损的耐磨零件（齿板、衬板、磨球等）为主，这些零件在一定意义上代表着矿山机械的质量和使用寿命。在实际生产中，大部分用耐磨铸钢和耐磨铸铁制造。由于工作条件恶劣：强烈冲击和挤压以及不规则连续摩擦，这些耐磨零件的正常失效形式为磨损，不正常失效形式为断裂和变形。

### 6.2.1 破碎机齿板热处理工艺设计

#### 1. 破碎机齿板的失效分析

破碎机齿板，以往多采用 Mn13 高锰钢制造，其失效形式多为沿齿沟断裂。对断口分析表明，有明显的疲劳源和裂纹拓展波。为了提高其疲劳强度，认为应采用强韧兼优的材料制造。近 30 来年，在各种多元少量低合金耐磨铸钢的试验研究方面取得了很大进展，并在生产实践中得到广泛应用。下面，以 ZG30CrMn2SiREB 钢制齿板为例，阐述其化学成分、性能特点和热处理工艺设计。

#### 2. ZG30CrMn2SiREB 钢化学成分

ZG30CrMn2SiREB 钢化学成分如表 6-3 所示。

表 6-3 ZG30CrMn2SiREB 钢化学成分 (质量分数, %)

C	Si	Mn	S	Cr	P	RE	B
0.27 ~ 0.33	0.8 ~ 1.1	1.0 ~ 1.5	≤0.03	0.8 ~ 1.2	≤0.03	0.1 ~ 0.15	0.005 ~ 0.007

#### 3. ZG30CrMn2SiREB 钢的力学性能

ZG30CrMn2SiREB 钢的力学性能如表 6-4 和图 6-5 所示。

表 6-4 ZG30CrMn2SiREB 钢的力学性能

$R_m/\text{MPa}$	$R_{el}/\text{MPa}$	$A(\%)$	$a_K/(J/cm^2)$	HRC	$K_{IC}/\text{MPa} \cdot m^{1/2}$
1700 ~ 1770	1300 ~ 1398	2.8 ~ 3.2	55 ~ 65	48 ~ 50.5	105 ~ 118.5

注：热处理工艺为 1050℃ 淬火，200℃ 回火。

#### 4. ZG30CrMn2SiREB 钢制破碎机齿板的热处理工艺设计

为了使破碎机齿板获得最佳综合力学性能，采用如下热处理工艺参数：

- 1) 淬火：在 RX3-65-12 箱式电阻炉中 650℃ 预热 1h 后升温到 1000 ~ 1050℃，透烧后水冷淬火。
- 2) 回火：在 RJJ-36-6 型井式电阻炉中于 150 ~ 200℃，保温 3.0h 后空冷。
- 3) 处理结果：硬度为 48 ~ 50HRC；组织为板条马氏体 + 少量残留奥氏体 + 粒状碳化物和少量夹杂物。

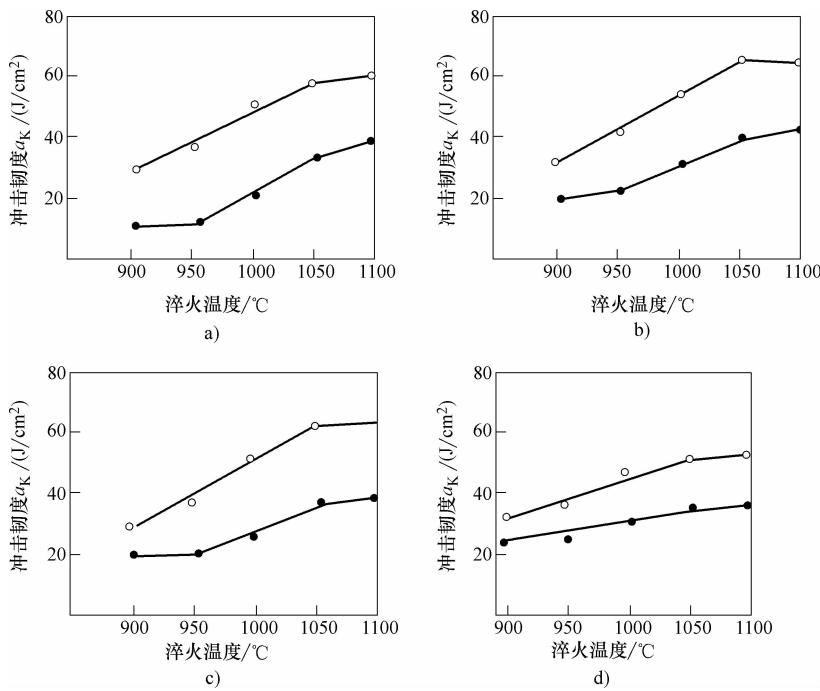


图 6-5 热处理工艺对 ZG30CrMn2SiREB 钢韧性的影响

a) 100℃回火 b) 150℃回火 c) 200℃回火 d) 250℃回火

## 5. 装机使用效果

ZG30CrMn2SiREB 钢制齿板与高锰钢齿板同时装机试验，结果如表 6-5 所示。

表 6-5 ZG30CrMn2SiREB 钢制齿板装机试验结果

零件名称	破碎材料	使 用 效 果		比高锰钢提高的百分比(%)
		高锰钢制	ZG30CrMn2SiREB 钢制	
齿板	石料	40t	70 ~ 90t	75 ~ 125

## 6.2.2 球磨机衬板热处理工艺设计

球磨机的衬板工作时，比破碎机齿板承受较大的冲击载荷，因此需要更好的韧性和屈服强度。为此，选择 ZG30CrMnSiMoTi 钢制造。下面，阐述其化学成分、性能特点和热处理工艺设计等问题。

### 1. ZG30CrMnSiMoTi 钢化学成分

ZG30CrMnSiMoTi 钢化学成分如表 6-6 所示。

表 6-6 ZG30CrMnSiMoTi 钢化学成分 (质量分数, %)

C	Si	Mn	S	Cr	P	Mo	Ti
0.28 ~ 0.34	0.8 ~ 1.2	1.2 ~ 1.7	≤0.04	1.0 ~ 1.5	≤0.04	0.25 ~ 0.5	0.08 ~ 0.12

## 2. ZG30CrMnSiMoTi 钢的力学性能

ZG30CrMnSiMoTi 钢的力学性能如表 6-7 所示。

表 6-7 不同淬火温度对 ZG30CrMnSiMoTi 钢力学性能的影响

热处理工艺	力学性能				
	$R_m/\text{MPa}$	$R_{eL}/\text{MPa}$	$A(\%)$	$a_K/(J/cm^2)$	HRC
900°C × 3h 炉冷、850°C × 2h 水冷 + 250°C 回火	1620	1330	3.8	77	50.5
950°C × 3h 炉冷、850°C × 2h 水冷 + 250°C 回火	1550	1350	2.6	82	51
1000°C × 4h 炉冷、850°C × 2h 水冷 + 250°C 回火	1600	1400	2.4	90	51

## 3. ZG30CrMnSiMoTi 钢制球磨机衬板的热处理工艺设计

为了使球磨机衬板获得最佳综合力学性能，采用如下热处理工艺参数：

- 1) 淬火：在 RX3-65-12 箱式电阻炉中于 650°C 预热 1h 后升温到 1000°C，透烧后炉冷到 850°C，保温 2h 后水冷淬火。
- 2) 回火：在 RJJ-36-6 型井式电阻炉中于 250°C，保温 3h 后空冷。
- 3) 处理结果：硬度为 47 ~ 49HRC；组织为板条马氏体 + 少量残留奥氏体 + 粒状碳化物和少量夹杂物；硬化层 ≥ 70mm。
- 4) 装机试验：在  $\phi 3.2m$  大直径球磨机中同时装高锰钢衬板和 ZG30CrMnSiMoTi 钢衬板，装机运行试验表明，ZG30CrMnSiMoTi 钢衬板寿命比高锰钢衬板提高 1.5 ~ 2 倍。

### 6.2.3 球磨机用磨球热处理工艺设计

磨球是球磨机粉碎、研磨矿物质的易损件。多年来的试验研究使磨球材料已有较大发展。在铸铁方面，从传统的脆性较大的抗磨铸铁到等温淬火的贝氏体球墨铸铁，进而研制出奥贝体球墨铸铁；在铸钢方面，从普通的铸造高锰钢到韧性较好奥贝体铸钢，进而研制出适用于多种工况条件下使用的多元低合金钢磨球材料。

这里主要介绍生产设备简单、投料成本低、易于控制质量的奥贝体球墨铸铁磨球的化学成分及其热处理工艺设计。

#### 1. 奥贝体铸铁化学成分

目前，在球磨机零件制造中得到广泛使用的奥贝体铸铁有以下四种，其化学成分、特性和典型用途等如表 6-8 所示。

表 6-8 奥贝体铸铁种类、化学成分及典型用途

序号	种类	化学成分(质量分数,%)							特性
		C	Si	Mn	P	S	Cr	其他	
1	奥贝体高抗磨、高淬透性球铁	3.62 ~ 3.9	2.2 ~ 3.0	1.2 ~ 1.8	—	—	0.2 ~ 0.5	Cu0.5 ~ 0.8	100mm 可淬透, 硬度为 53.5 ~ 56.5HRC, $a_K \geq 10J/cm^2, A \geq 0.5\%$
		3.2 ~ 3.8	1.8 ~ 2.2	2.8 ~ 3.2	<0.15	<0.05	0.2 ~ 0.5	—	
2	奥贝体高抗磨性白口铸铁	2.3 ~ 2.6	2.3 ~ 2.6	1.5 ~ 1.8	—	—	0.5 ~ 0.8	RE0.1 ~ 0.15	相当于高铬铸铁抗磨性, 但韧性大幅度提高
		2.5 ~ 2.8	1.5 ~ 1.8	1.8 ~ 2.1	—	—	1.0 ~ 1.2	Bi0.01 ~ 0.03	
3	奥贝体高强韧球墨铸铁	3.6 ~ 3.8	2.6 ~ 2.8	<0.5	<0.07	<0.07	—	—	耐急冷急热性好, 可承受较大冲击负载
4	奥贝体高强韧可锻铸铁	2.63	1.32	0.61	0.06	0.1	—	Cu0.3	$R_m \geq 1000MPa, A \geq 2\%, a_K \geq 14J/cm^2, -60^\circ C$ 无脆性, 39 ~ 43HRC

## 2. 奥贝体铸铁的典型应用

- 1) 奥贝体高抗磨、高淬透性球铁, 适用于工矿条件恶劣、磨损速率较高、有效厚度 100mm 以下的零件, 如矿用自磨机衬板和  $\phi 100 \sim \phi 120mm$  磨球等。
- 2) 奥贝体高抗磨性白口铸铁适用于中、小型球磨机磨球、衬板等。
- 3) 奥贝体高强韧球墨铸铁适用于耐热条件下工作的零件, 如炼焦炉熄焦车衬板等。
- 4) 奥贝体高强韧可锻铸铁适用于低温下使用的零件, 如脚手架用的扣节等。

## 3. 奥贝体铸铁的热处理工艺设计

- 1) 奥贝体铸铁等温淬火 在 RX3-60-9 箱式电阻炉中于 880 ~ 900°C 加热, 透烧后在 280 ~ 320°C 硝盐浴炉中等温保温 60min, 空冷。
- 2) 奥贝体铸铁复合等温淬火 对于有效尺寸大于 60mm ~ 80mm 结构简单的制品, 应采用复合等温淬火, 即先水冷到 180 ~ 200°C 后立即转入等温冷却。结构复杂的制品, 应采用油冷后再进行等温冷却。
- 3) 回火: 200 ~ 220°C 加热, 保温 2h 后空冷。

## 4. 处理结果

硬度为 50 ~ 55HRC; 组织为贝氏体 + 分布均匀的残留奥氏体混合物。残留奥氏体约占(体积分数) 15% ~ 25%。

# 第7章 轻工机械典型件热处理工艺设计实例

## 7.1 自行车零件热处理工艺设计实例

自行车作为代步工具和运动器械，为了兼顾其轻便和安全舒适等特殊需要，在选材和热处理等方面要确保有足够的强度、良好的刚性等；同时，也要顾及制造成本低等经济性。此外，自行车运行过程是开放状态。因此，其零件失效形式往往以颗粒磨损为主，传动零件要求具有高硬度和耐磨性，故其选材和热处理显得非常重要。

### 7.1.1 自行车零件选材及其热处理特点

自行车零件常用材料及热处理方法如表 7-1 所示。

表 7-1 自行车零件常用材料及热处理方法

材料牌号	热处理方法	零件举例
Q215BF (B2F)	渗碳直接淬火、回火	一般传动零件，如前叉上、下挡，前叉碗
Q235B	碳氮共渗直接淬火、回火	较重要传动零件，如左、右中轴碗
10	渗碳直接淬火、回火	主要传动零件，如前后轴碗
	碳氮共渗直接淬火、回火	
20	渗碳（空冷），再加热淬火、回火	主要传动零件，如中轴
	渗碳（空冷），中频感应淬火、回火	
	渗碳直接一次淬火，再加热二次淬火、回火	主要传动零件，如前后轴挡
	碳氮共渗直接淬火、回火	
20CrMo	渗碳直接一次淬火，再加热二次淬火、回火	最主要传动零件，如高级自行车前后轴挡
	碳氮共渗直接淬火、回火	
Q195BF ~ Q235BF	碳氮共渗直接淬火、回火	飞轮
20MnSi, 45	淬火获得板条马氏体（45 钢调质）	链片
Q215BF, 18CrMnMo, 45	碳氮共渗、淬火、回火	链销、滚子、衬套 弹簧卡片
	淬火、中温回火	

### 7.1.2 自行车典型零件热处理工艺设计

从表7-1可看出，自行车零件热处理的主要工艺方法是渗碳、碳氮共渗及其淬火回火，少数零件采用淬火和中温回火。如此，自行车零件渗碳、碳氮共渗及其淬火回火的技术要求和处理后的质量检验都十分严格。

#### 1. 自行车主要零件渗碳、碳氮共渗及其淬火回火的技术要求

自行车主要零件渗碳、碳氮共渗及其淬火回火的技术条件如表7-2所示。

表7-2 自行车主要零件渗碳、碳氮共渗及其淬火回火的技术条件

零件名称	材料牌号	中间退火HRB	渗碳或碳氮共渗后经淬火回火后的技术条件							
			C、N含量 (质量分数,%)	渗层深度 /mm	表面硬度 HRA	显微组织	耐磨性 /min	韧性	畸变 /mm	
中轴	20	<60	C: 0.8~1.0	0.7~1.0	80~83	M≤4级 C少量(不出现明显的碳化物，并以小、匀、圆的形态分布在马氏体基体上)	45	矫直时不断裂	弯曲≤0.3	
左、右中轴碗	Q235B	<60	C: 0.8~1.0或C: 0.7~0.9 N: 0.1~0.25	0.3~0.5				内径受压变形1%时不裂		
前后轴挡	20或20CrMo		0.4~0.6	80~84	前碗挡:50 后碗挡:60	—	同中轴碗	—	—	
前、后轴碗	10									
前叉上挡	Q215BF Q235BF		C≥0.7	0.15~0.30	淬火≥80 回火≥78	—	—	—	—	
前叉下挡										
前叉碗										
飞轮	外套	Q195BF Q215BF Q235BF	C: 0.8~0.9 N: 0.2~0.3	0.35~0.50	≥80	表层: 针状马氏体 + 少量残留奥氏体 心部: 板条马氏体 + 铁素体	—	—	圆度≤0.12, 平度≤0.1	
	平挡			0.25~0.40	≥71					
	丝挡			0.25~0.40	≥71					
	千斤			0.3~0.45	≥77					

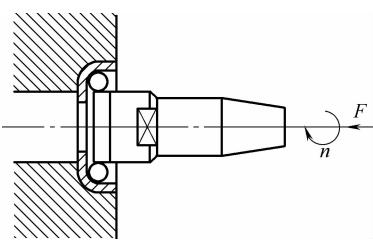
(续)

零件名称	材料牌号	中间退火HRB	渗碳或碳氮共渗后经淬火回火后的技术条件					
			C、N含量(质量分数,%)	渗层深度/mm	表面硬度HRA	显微组织	耐磨性/min	韧性
链条	链销 Q215BF 18CrMnMo	—	—	0.2 ~ 0.3	72 ~ 82	表层：针状 马氏体 + 少量 残留奥氏体	—	冲击变 形碎裂片 无尖角
	滚子 Q215BF			0.15 ~ 0.25	62 ~ 72	心部：板条 马氏体 + 铁素 体		
	衬套 08F, Q215BF			0.1 ~ 0.2	64 ~ 74			

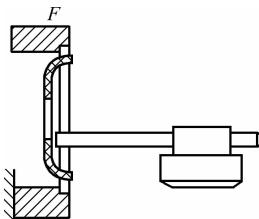
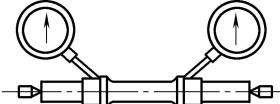
## 2. 自行车零件热处理质量检验项目和方法

自行车主要零件的热处理检验项目和具体方法如表 7-3 所示。

表 7-3 自行车主要零件热处理检验项目和方法

检验项目	检验标准	检验方法
中间退火硬度	≤60HRB	洛氏硬度计 HRB, 抽检
渗层 C、N 浓度 (%)	C: 0.7 ~ 0.9; N: 0.1 ~ 0.25	金相法 (失效分析用化学分析法)
渗层深度/mm	见表 7-2	1) 实物抽检 2) 金相法: 碳钢, 渗层深度 = 过共析层 + 共析层 + 1/2 亚共析层 合金钢, 渗层深度 = 过共析层 + 共析层 + 亚共析层 3) 硬度法: 从表面测至硬度为 550HV 处的垂直距离 (GB 9450—2005)
表面硬度	见表 7-2	1) 洛氏硬度计 2) 渗层 ≥ 0.4mm 时, 载荷 600N < 0.4mm 时, 载荷 150N
显微组织	见表 7-2	金相法
中轴及轴挡、碗耐磨性	中轴: 45min 前碗、挡: 50min 后碗、挡: 60min 试验后滚部分表面无任何剥落、凹陷和磨损现象	 <p>图为专用试验机 压力 <math>F = 2000\text{N}</math> 转速 <math>n = 2000\text{r}/\text{min}</math></p>

(续)

检验项目	检验标准	检验方法
轴碗韧性	按规定检验方法进行, 结果无碎裂现象(或无碎裂声)	 <p>图 为专用台钳,逐渐施加压力(<math>F</math>)直到变形达 1% 内径</p>
中轴畸变度	弯曲 $\leq 0.3\text{mm}$	 <p>图 为专用同心度检测装置</p>

### 3. 自行车典型零件的热处理工艺设计

以自行车链条的主要零件(销轴、滚子、衬套)热处理为例,阐述其热处理工艺方法和工艺参数设计。

(1) 承载特点分析 自行车链条是传递动力的部件,各零件主要承受磨损和因路面颠簸等原因带来的冲击,因而其表面需具有高硬度、耐磨损,整体需要一定的韧性。

(2) 材料选择及热处理工艺性分析 为了满足使用性能需要,通常选用低碳钢进行渗碳淬火和回火处理,以期表面耐磨,整体性能强韧兼优,或采用低合金钢进行板条状马氏体淬火,旨在具有良好的综合力学性能和一定的耐磨损性。

#### (3) 20MnSi 和 19Mn 钢制链片的热处理工艺设计

1) 20MnSi 和 19Mn 钢制链片的热处理工艺:采用板条马氏体淬火和低温回火,工艺曲线如图 7-1 所示。

2) 所用设备:采用网带炉保护气氛加热连续式生产,或盐浴炉周期性加热淬火。

3) 处理结果:硬度为 71~74HRA;组织为板条马氏体;具有良好的弹性。

#### (4) Q215 钢制销轴、滚子、衬套的热处理工艺设计

1) Q215 钢制销轴、滚子、衬套的热处理工艺:采用气体碳氮共渗直接淬火加低温回火,其工艺曲线和工艺参数如图 7-2 和表 7-4 所示。

2) 所用设备:采用滴注式滚筒炉或网带炉。

3) 处理结果:质量检验结果如表 7-5 所示。

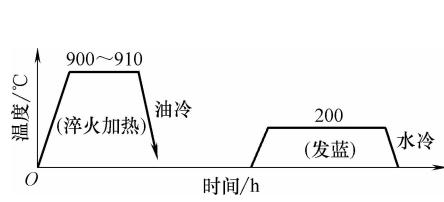


图 7-1 20MnSi 和 19Mn 钢制链片的热处理工艺曲线

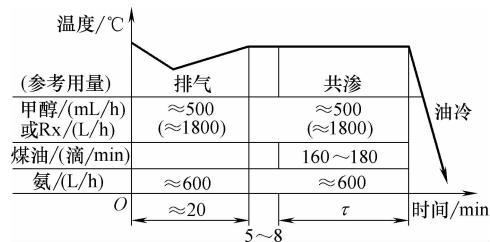


图 7-2 Q215 钢制销轴、滚子、衬套气体碳氮共渗工艺曲线

表 7-4 销轴、滚子、衬套气体碳氮共渗淬火和低温回火工艺参数

零件名称	共渗温度/℃	共渗时间 $\tau$ /min	回火
销轴	900~910	80~120	(180~200) × 1.5h
滚子	900~910	50~70	(180~200) × 1.5h
衬套	880~900	50~60	(160~180) × 1.5h

表 7-5 Q215 钢制销轴、滚子、衬套的质量检验结果

零件名称	渗层深度/mm	硬度 HRA
销轴	0.2~0.3	75~80
滚子	0.15~0.20	62~72
衬套	0.1~0.2	64~70

## 7.2 纺织机械零件热处理工艺设计实例

纺织机械是纺纱机械和织布机械的总称。其工作时处于连续运转状态，尽管承受的载荷较轻，但对机械设备及其零件的可靠性、稳定性和均匀性等要求较高。

纺织机械的主要零件一般包括：针布、罗拉、纲领、锭子、针筒、三角、计量泵、卷曲轮等。下面，主要介绍其各种零件的选材和热处理特点，以及典型零件的热处理工艺设计。

### 7.2.1 纺织机械零件的选材及其热处理特点

#### 1. 纺织机械零件的选材及其热处理技术要求

纺织机械零件常用材料及热处理技术要求如表 7-6 所示。

#### 2. 纺织机械零件热处理质量检验项目和方法

纺织机械主要零件热处理检验项目和具体方法如表 7-7 所示。

表 7-6 纺织机械零件常用材料及热处理技术要求

零件名称		选用材料	渗层深度 /mm	技术要求		
				硬度	平直度(或圆度)	显微组织
针布	金属针布	60 钢		针尖: 720 ~ 780HV 根部: ≈20HRC		1.5 ~ 2 级马氏体
	弹性针布	55 钢		58HRC 以上 长度: 1 ~ 1.5 mm		
罗拉	细纱机罗拉	45 钢		齿部及轴承挡 55 ~ 61 HRC		
	精梳机罗拉	20CrMo		≥79HRA		马氏体 (≤3 级) + 粒状碳化物 (≤2 级)
钢领	钢领	20 钢	渗碳 ≥0.40	81HRA 以上	平行度: 0.08mm 圆度: 0.25mm	回火马氏体 (1 ~ 2 级) + 粒状碳化物 (无网状)
	粉末冶金钢领	铁基粉末冶金合金		>60HRA		
针筒	袜机(针筒)	20CrMnTi 38CrMoAlA	渗氮 0.06 ~ 0.08	700HV 以上		
	纬编机(针筒)	45 钢		50 ~ 55HRC		
锭杆	粗纱机锭杆	T10A		符合图样 硬度规定	平直度: <1.0mm	
	细纱机锭杆	GCr15			平直度: <0.15mm	
计量泵	泵板	W6Mo5Cr4V2		>62HRC		晶粒度 9.5 ~ 11 级
	齿轮, 轴 轴承等	W6Mo5Cr4V2		>60HRC		晶粒度 9.5 ~ 11 级
卷曲轮		40Cr13		50 ~ 55HRC 深度 >5mm		
三角		Cr12MoV		62 ~ 65HRC		

表 7-7 纺织机械主要零件热处理检验项目和方法

零件名称	项 目	技术 要求	检 验 方 法
钢领 (钢质)	硬 度	>81.5HRA	用维氏硬度计检验, 折算
	平行度	<0.08mm	专用检测仪器
	圆 度	<0.25mm	
	深 度	≤0.4mm	用金相显微镜抽检
锭 杆 (细纱机)	硬 度	符合图样的规定	洛氏硬度计, 抽检 1%
	平直度	<0.15mm	百分表, 抽检 10%
	脆断性	由 1.2m 高度自由落下到铁板上, 不允许脆断	100% 检验
	弹 性	残余变形量≤0.01mm	抽验
	显微组织	马氏体(3 级) + 粒状碳化物	
锭杆 (粗纱机)	硬 度		洛氏硬度计, 抽检
	平直度	<1.0mm	百分表
金属针布	硬 度	尖部: 长度<0.8mm, 720~780HV 背部: ≈20HRC	维氏硬度计, 抽检 抽检
	齿尖显微组织	1.5~2 级马氏体	金相显微镜, 抽检
弹性针布	硬 度	尖端: 长度 1~1.5mm, >58HRC	显微硬度计, 抽检, 折算
	显微组织	2~3 级马氏体	金相显微镜, 抽检
袜机针筒	硬 度	700HV 以上	显微硬度计, 抽检
	深 度	0.06~0.08mm	金相显微镜, 抽检
纬编机针筒	硬 度	50~55HRC	100% 检验
罗拉 (细纱机)	硬 度	55~61HRC	洛氏硬度计, 抽检
	平直度	<0.04mm	百分表, 100% 检验
罗拉 (精梳机)	硬 度	≥79HRA	洛氏硬度计, 抽检
	全长变形量	<0.5mm	百分表, 100% 检验
计量泵	泵板硬度	≥62HRC	检验, 硬度是否均匀
	齿 轮, 轴 等	≥60HRC	洛氏硬度计, 抽检
卷曲轮	硬 度	50~55HRC, 淬硬层深≈2mm	GB 5617—2005

## 7.2.2 纺织机械典型零件热处理工艺设计

### 1. 纺织机械典型零件的热处理工艺设计

以 T10A 钢制锭杆的热处理为例, 阐述其工艺方法和工艺参数设计。

(1) 锭杆的特点分析 锭杆是纤维束加捻卷绕零件, 即为锭子内的一根轴。其中锭子分为粗纱锭子和细纱锭子两类。特别是细纱锭杆的运转状态直接影响锭子

的运转，以致影响纱的产量和质量。因此，对细纱锭杆的技术要求极高。

#### (2) 细纱锭杆的技术要求

1) 旋转平稳，保持平直、坚韧而富有弹性。行业标准规定：当锭杆上端的弯曲度为锭杆总长度的 $1/20$ 时，维持 $15\sim20$ s后，其残余变形不得超过 $0.01\text{mm}$ 。

2) 锭杆热处理后应坚韧、耐磨。

3) 功率消耗低。锭子消耗的功率不得超过整机的 $30\%\sim60\%$ 。

4) 润滑油消耗要少。

因此，锭杆的材料选择及其热处理工艺显得十分重要。

(3) 材料选择及热处理工艺性分析 根据上述对锭杆的工作特点分析，可知锭杆必须具有高硬度和耐磨性好；平面度 $\leqslant0.01\text{mm}$ ；组织为 $2\sim3$ 级的回火马氏体+粒状碳化物。为此，通常选择T10A钢和GCr15钢制造，也可用低合金工具钢(CrWMn、9Mn2V等)制造。

#### (4) T10A钢制锭杆的热处理工艺设计

1) 粗纱锭杆制造工艺路线：热轧棒料→切断→机械加工→热处理→校直→磨削→成品。细纱锭杆工艺路线：热轧棒料→切断→热轧成形→机械加工→热处理→涂油→成品。

2) 细纱锭杆的热处理工艺曲线如图7-3所示。

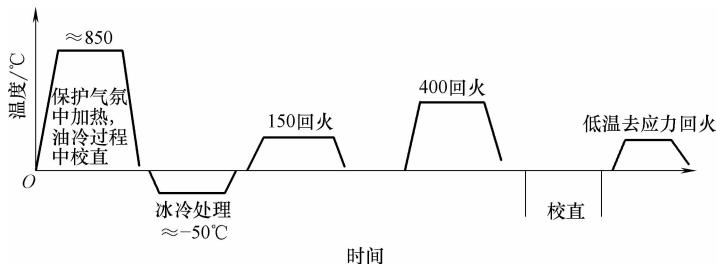


图7-3 细纱机锭杆热处理工艺曲线

3) 所用设备：在RQ3-25-9井式气体渗碳炉中通保护气氛加热。

4) 处理结果：硬度满足了图样的具体规定（100mm和70mm两段分别为 $54\sim58\text{HRC}$ ；10mm和8mm两段分别为 $61\sim64\text{HRC}$ ）；组织为3级的回火马氏体+粒状碳化物；淬火后直线度为 $0.25\sim0.3\text{mm}$ ，趁热校直后为 $0.2\text{mm}$ ，回火装夹定形。磨削后成品直线度为 $0.01\text{mm}$ 。

### 2. 38CrMoAlA钢制袜机针筒的热处理工艺设计

(1) 袜机针筒的特点分析 针筒是袜机的主要部件，其功能是在编织过程正确安排织针的位置和织针往复运动轨道。

(2) 袜机针筒的技术要求 硬度为 $730\text{HV}$ ；渗层深度为 $0.06\sim0.07\text{mm}$ 。

(3) 材料选择及热处理工艺性分析 为了满足使用性能要求和尽量提高使用寿命，一般采用 20CrMnTi 钢（氮碳共渗）和 38CrMoAlA 钢（渗氮），渗层深度在 0.06~0.08mm 时，其表面硬度可达 700HV 以上。

#### (4) 针筒的热处理工艺设计

1) 袜机针筒工艺路线：毛坯锻造→正火→粗车→去应力退火→精车→铣槽→渗氮→成品。

2) 袜机针筒的热处理工艺曲线如图 7-4 所示。渗氮剂为液氨。氨分解率（体积分数）一般为 20%~40%，氨气压力（汞柱高）为 80~120mm。

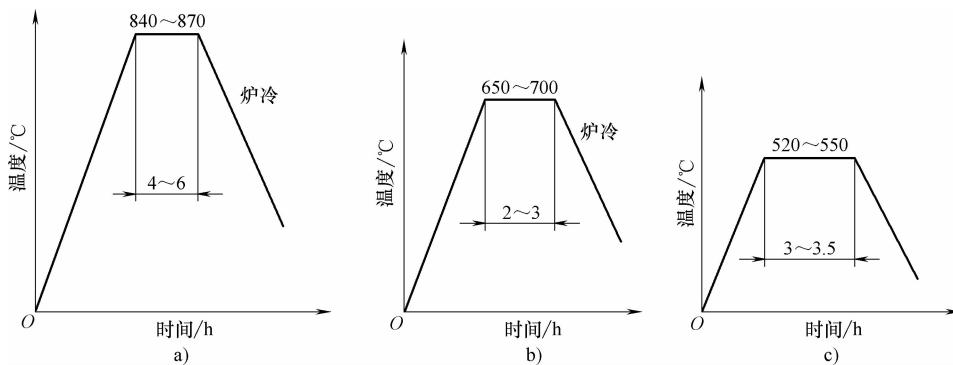


图 7-4 袜机针筒的热处理工艺曲线  
a) 锻件正火 b) 去应力退火 c) 渗氮

- 3) 设备选择：在 RN-45-6 型井式气体渗氮炉中进行。
- 4) 处理结果：硬度为 755HV；渗氮层深度为 0.06~0.07mm。

## 7.3 缝纫机零件热处理工艺设计实例

缝纫机是一部由多种运动机构组合成的精密而复杂的机器。其零件的特点是：件小壁薄、形状复杂；工作时，要求运行平稳、振动和噪声要小；尽管工作载荷不大，但零件要求具有耐磨性好、精度高等性能。如此，缝纫机零件的材料选择及其热处理工艺设计，都有严格要求。

缝纫机，按用途可分为家庭用缝纫机和工业用缝纫机两大类，并可派生出各种型号和品种。下面，分别介绍各自零件的选材、工艺路线和热处理技术要求以及热处理工艺设计等。

### 7.3.1 家用缝纫机零件热处理工艺设计

#### 1. 缝纫机主要零件的选材和热处理技术要求

缝纫机主要零件的选材和热处理技术要求如表 7-8 所示。

表 7-8 缝纫机主要零件的选材和热处理技术要求

零件名称	材料牌号	热处理方法	热处理技术要求
梭芯套壳	Q215BF, Q235BF	气体碳氮共渗、淬火、回火	渗层: 0.12 ~ 0.25mm; 硬度: 551 ~ 868HV; 变形度: ( $\phi 20.7$ ) $\pm 0.05$ mm
摆梭	15、Q215BF, Q235BF		渗层: 0.35 ~ 0.5mm; 硬度: 76 ~ 83HRA
送布牙	15		渗层: 0.1 ~ 0.2mm; 硬度: 509 ~ 895HV
夹线板	Q215BF, Q235BF, 15 带钢		渗层: 0.15 ~ 0.25mm; 硬度: 87 ~ 92HRA
梭床圈	10、15		渗层: 0.2 ~ 0.3mm; 硬度: 86 ~ 92HR147N
机针	T9A	淬火、回火	579 ~ 620HV

## 2. 缝纫机主要零件的制造工艺路线

缝纫机主要零件的制造工艺路线如表 7-9 所示。

表 7-9 缝纫机主要零件的制造工艺路线

零件名称	制造工艺路线
梭芯套壳	落料→镦扁→退火→磷化→冷挤压成形→机械加工→热处理→滚光、滚亮→整形→成品
摆梭	下料→热挤压（或真空钎焊）→正火→机械加工→热处理→清洗→回火→精加工→擦光→成品
送布牙	失蜡铸造→机械粗加工→热处理→机械精加工→滚镀→成品
夹线板	带材退火→校直→切断→落料→热处理→磨平面→檫光→滚镀→成品
梭床圈	落料→折弯→压扁→冲头→钻孔→退火→粗磨工作面→热处理→清洗→校直→磨削→成品
机针	落料→打头→切齐→刻字→校直→冲针孔→铣槽→磨外圆→软擦→热处理→轧直→穿眼→硬擦→磨针尖→抛光→镀铬→平直→成品

## 3. 家用缝纫机典型零件的热处理工艺设计

以 T9A 钢制缝纫机针为例，阐述其热处理工艺设计。

(1) 机针的特点分析 机针是在不断快速穿刺缝料而承受不断摩擦的状态下工作，故要求其尖锐锋利、无毛刺、高度平直，并具有良好的耐磨性和一定的韧性。

(2) 机针的热处理技术要求 最终热处理后硬度为 579 ~ 620HV；组织为针状回火马氏体；表面光亮度应符合样板标准；塑性应在弯曲  $\geq 0.1$  mm 条件下不脆断。

(3) 材料选择及热处理工艺性分析 为了确保最终热处理的性能，要求 T9A

钢原材料必须进行球化退火，且硬度为 55~65HRB。淬火和回火应在保护气氛或真空状态加热和冷却。

#### (4) 机针的热处理工艺设计

1) 机针的热处理工艺如图 7-5 所示。

2) 设备选择：在带炉罐的网带炉，通入氨分解气体保护。

3) 处理结果：硬度为 588~615HV；组织为 2~3 级隐针回火马氏体+细粒状碳化物+少量残留奥氏体；光亮度与照样板相同；抽检塑性 20 支样品均合格。

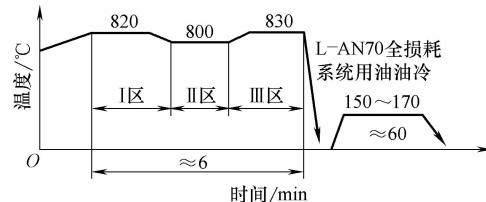


图 7-5 家用缝纫机针  
的热处理工艺曲线

### 7.3.2 工业缝纫机零件热处理工艺设计

#### 1. 工业缝纫机的特点分析

工业缝纫机是在运行转速高、工作环境较差的条件下工作的。因此，要求其零件比家用缝纫机零件具有更好的耐磨性和更高的精度。一般采用优质低碳合金钢制造。为适应使用性能要求，实践证明，采用较低温度的奥氏体氮碳共渗，或铁素体氮碳共渗的浅层处理，性能更优越，且有利于减小热处理变形。

#### 2. 工业缝纫机零件表面硬化层深度的规定

工业缝纫机零件表面硬化层深度的规定如表 7-10 所示。

表 7-10 工业缝纫机零件表面硬化层深度的规定

零件有效尺寸/mm		硬化层深度/mm
轴类(直径)	板类(厚度)	
φ1~φ2	0.6~1.2	0.05~0.15
φ3~φ5	1.2~3.2	0.10~0.30
φ6~φ10	3.2~5.0	0.2~0.4
φ10 以上	5 以上	0.2~0.5

注：1. 空心轴类可参照轴类，但硬化层深度不得超过原定的 1/2。

2. 弯针类硬化层为 0.10~0.30mm。

#### 3. 工业缝纫机典型零件的热处理工艺设计

以弧形锥齿轮为例，阐述其选材和制造工艺路线以及热处理工艺设计等。

(1) 弧形锥齿轮常用材料和热处理方法及其硬度要求 详见表 7-11 所示。

表 7-11 弧形锥齿轮常用材料和热处理方法及其硬度要求

材料牌号	热处理工艺方法	硬度要求
20CrMo、20Cr	碳氮共渗或气体氮碳共渗、淬火、回火	450~550HV
40Cr	调质处理	220~260HBW
	气体氮碳共渗	450~550HV

## (2) 弧形锥齿轮的制造工艺路线

1) 20CrMo 和 20Cr 钢制齿轮的制造工艺路线：下料→粗车→正火→碳氮共渗→淬火→回火→研磨→成品。

2) 40Cr 钢制齿轮的制造工艺路线：下料→粗车→调质处理→精加工→铣齿→氮碳共渗→研磨→成品。

## (3) 毛坯的预备热处理工艺设计

1) 20CrMo 和 20Cr 钢毛坯的预备热处理：利用锻造余热进行正火处理，硬度为 156 ~ 214HBW，以改善机械加工工艺性，其完全脱碳层不得超过预留加工量的 1/3。

2) 40Cr 钢毛坯的预备热处理：调质处理，以改善整体强度和降低齿轮加工的表面粗糙度值。具体工艺为在 RX3-15-9 型普通中温箱式炉中 830 ~ 850℃ 加热，透烧后油冷淬火；在 RJJ-24-6 型低温井式电阻炉中 610 ~ 630℃ 加热，透烧后水冷。硬度为 220 ~ 260HBW。

## (4) 弧形锥齿轮的最终热处理 由于选材不同，其热处理方法也不同。

1) 20CrMo 和 20Cr 钢制齿轮：在 RQ3-25-9 型井式渗碳炉中 820 ~ 860℃ 加热，滴入甲醇和丙酮进行碳氮共渗，并在 80℃ 的热油中直接淬火冷却；然后在 RJJ-24-6 型低温井式电阻炉中回火：350 ~ 420℃ 加热，透烧后空冷。

2) 40Cr 钢制齿轮：在 RN-30-6 型井式渗氮炉中于 560 ~ 580℃，通氨气和滴入甲醇进行氮碳共渗，保温 4h 后直接油冷淬火；然后在 RJJ-24-6 型低温井式电阻炉中回火：180 ~ 200℃ 加热，保温 1h 后空冷。

3) 齿轮的奥氏体氮碳共渗：在 RN-30-6 型井式渗氮炉中于 770 ~ 790℃，通氨气和滴入甲醇进行氮碳共渗，保温 4h 后直接油冷淬火；然后在 RJJ-24-6 型低温井式电阻炉中回火：380 ~ 450℃ 加热，保温 2h 后空冷。

(5) 处理结果 在端面检测，原定为 450 ~ 480HV；组织为含氮马氏体；硬化层深度为 0.2 ~ 0.5mm。全面满足设计要求。

# 第8章 液压件热处理工艺设计实例

## 8.1 液压泵零件热处理工艺设计实例

液压元件的零件特点是体积小而精度要求高，在工作过程中受着复杂承载条件的影响，因此，在选材及其热处理方面要确保具有强度高、韧性良好和很好的耐磨性以及尺寸稳定等。

液压元件的零件热处理工艺有以下特点：

(1) 良好的毛坯预备热处理质量，为零件最终热处理奠定良好的组织基础和改善可加工性。

(2) 液压元件的零件，大多采用化学热处理方法，以期提高零件的表面耐磨性和疲劳强度以及整体的强韧性能。

(3) 广泛采用马氏体分级淬火，减少零件的淬火变形。应用冷处理和时效处理，以确保零件的尺寸稳定。

(4) 多数采用保护气氛加热和真空热处理，以保证零件表面的化学成分和光洁度。

下面，重点介绍几种液压泵和液压阀中的主要零件的热处理工艺设计。

### 8.1.1 齿轮泵零件热处理工艺设计

#### 1. CB-H型齿轮泵齿轮的热处理工艺设计

(1) 所用材料及热处理技术要求

1) 图8-1所示齿轮泵齿轮用料为20CrMnTi钢。

2) 热处理技术要求：全渗碳层深度为0.8~1.1mm， $\phi 30\text{mm}$ 处不渗碳；表面硬度为58~63HRC，心部硬度为32~45HRC；同轴度误差≤0.03mm。

(2) 制造工艺路线：锻造→正火（硬度为156~207HBW）→机械加工（滚齿、剃齿达图样要求精度，两段轴部预留0.3~0.5mm加工余量）→渗碳→淬火→回火（表面达58~63HRC）→校直（直线度≤0.20mm）→机械加工（以齿形定位磨削 $\phi 30\text{mm}$ 和 $\phi 32\text{mm}$ 两段轴，其同轴度满足≤0.03mm要求）→成品。

(3) 热处理工艺性分析

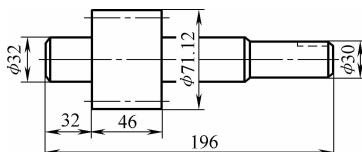


图8-1 CB-H型齿轮泵齿轮

1) 20CrMnTi 钢属于齿轮专用钢，其渗碳工艺性和淬火工艺性均较好，不难满足热处理各项技术要求。

2) 滚齿、剃齿是齿形加工的最终工序。因此，为保证齿部具有良好的耐磨性和疲劳强度以及尺寸精度，淬火的加热和冷却过程均不得有丝毫氧化和脱碳现象，必须采取有效措施。

3) 校直工序也较容易进行，因  $\phi 30\text{mm}$  轴处不渗碳，且淬火回火后硬度仅为 40HRC 左右，故极易在此处借弯校直达要求。

#### (4) 热处理工艺方法及工艺参数的设计

1) 毛坯锻后正火：利用锻造余热（控制终锻温度在 950℃左右），敞开空气中冷却。

2) 渗碳前准备工作： $\phi 30\text{mm}$  处不渗碳部分镀铜或涂防渗剂均可。

3) 渗碳直接分级淬火：在 SOH-SL 型可控气氛炉中，以吸热式气氛（载体）和  $\text{C}_3\text{H}_8$ （富碳气）为介质，在 920~940℃渗碳，持续 4~5h 后炉冷到 840℃均热 0.5h，直接淬入 140℃热油中停留 0.5h 后空冷。

4) 回火：在 RJJ-36-6 型低温井式电阻炉中于 180~220℃加热，保温 1.5~2.0h 后空冷。

上述工艺全过程及炉内露点变化规律，如图 8-2 所示。

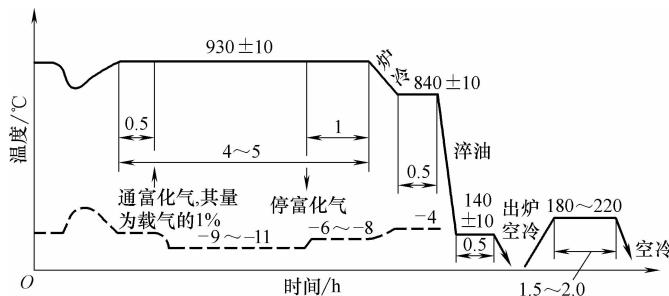


图 8-2 CB-H 型齿轮泵齿轮热处理工艺曲线  
(虚线为炉内露点变化规律)

(5) 处理结果 渗碳层深度为 0.8~1.0mm；表面硬度为 60~62HRC，心部硬度为 43~45HRC；渗层组织为 2~3 级马氏体 + 少量残留奥氏体 + 粒状碳化物，心部组织为板条马氏体。

## 2. 齿轮泵体的热处理工艺设计

### (1) 所用材料及热处理技术要求

1) 图 8-3 所示齿轮泵体用料为 ZL105 铸造铝合金。

2) 热处理技术要求：硬度  $\geq 90\text{HBW}$ 。

(2) 热处理工艺性分析 所用材料为铝硅合金 (ZAlSi5Cu1Mg)，适于铸造复杂的液压泵体，因此铸造质量可以保证，经金属型铸造，并固溶处理和人工时效后可得到较高强度。但铝合金的热处理工艺参数敏感性强，所以热处理工艺温度范围要严格控制在 $\pm 5^{\circ}\text{C}$ 以内。

#### (3) 热处理工艺方法及工艺参数的设计

1) 制造工艺路线：铸造→固溶处理→人工时效→机械加工成形→成品。

2) 固溶处理：在 RJJ-24-6 型低温井式电阻炉中于 $510\sim 520^{\circ}\text{C}$ 加热，保温 $5.5\sim 6\text{h}$ 后水冷(操作要点：炉温达 $500^{\circ}\text{C}$ 后装炉；冷却时，泵体由炉内移至水中的时间不得超过 $15\sim 30\text{s}$ )。

3) 时效：在 RJJ-24-6 型低温井式电阻炉中 $170\sim 190^{\circ}\text{C}$ 加热，保温 $7.5\sim 8\text{h}$ 后空冷。(操作要点：固溶处理后立即进行时效，时间间隔 $\leq 0.5\text{h}$ )。

(4) 处理结果 硬度为 $94.5\text{HBW}$ ；尺寸精度符合图样中的规定。

### 3. CHM 型齿轮泵轴的热处理工艺设计

#### (1) 所用材料及热处理技术要求

1) 图 8-4 所示齿轮泵轴用料为 $42\text{CrMo}$ 钢。

2) 热处理技术要求：硬度为 $38\sim 43\text{HRC}$ ；同轴度误差 $\leq 0.05\text{mm}$ 。

(2) 制造工艺路线：由热轧圆钢下料→机械加工(预留加工余量)→淬火→清洗→回火→磨外圆(保证同轴度误差 $\leq 0.05\text{mm}$ )，钳工研磨花键→成品。

(3) 热处理工艺性分析  $42\text{CrMo}$ 钢淬透性良好，淬火采用油冷变形极小，且不易开裂。

#### (4) 热处理工艺方法及工艺参数的设计

1) 淬火：在 RQ3-25-9 型井式气体渗碳炉中滴入甲醇气化保护加热，于 $830\sim 860^{\circ}\text{C}$ 透烧(约 $30\text{min}$ )后油冷到 $200^{\circ}\text{C}$ 左右出油空冷。(操作要点：整个过程处于吊挂状态)。

2) 在清洗机中喷淋去油。

3) 回火：在 RJJ-36-6 型低温井式电阻炉中 $470\sim 490^{\circ}\text{C}$ 加热，保温 $1.5\sim 2.0\text{h}$ 后空冷。

(5) 处理结果 表面硬度为 $40\sim 42\text{HRC}$ ，同轴度误差为 $0.015\text{mm}$ 。

## 8.1.2 叶片泵零件热处理工艺设计

叶片泵分为变量叶片泵和定量叶片泵两大类。由于结构形式不同，则零件的受力情况和选材特点以及热处理工艺方法也不同。叶片泵的零件主要是：转子、定

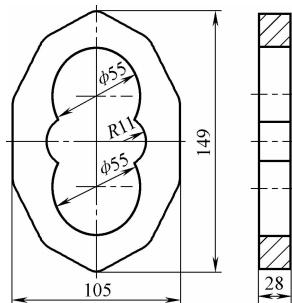


图 8-3 齿轮泵体

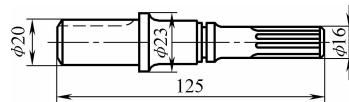


图 8-4 CBM 型齿轮泵轴

子、叶片和配油盘等。下面，主要介绍其中的典型件的热处理工艺设计。

### 1. 叶片泵的转子热处理工艺设计

#### (1) 转子所用材料及热处理技术要求

1) 图 8-5 所示转子用料为 12CrNi3 钢。

2) 热处理技术要求：全渗碳层深度为 1.2 ~ 1.4mm，表面硬度为 58 ~ 63HRC，心部硬度为 32 ~ 45HRC。

(2) 制造工艺路线：锻造 → 正火（硬度为 156 ~ 207HBW）→ 机械加工（车外圆预留磨量 0.3 ~ 0.5mm 和车内孔、磨上下面预留 0.3 ~ 0.5mm 磨量、插中心花键孔、钻分度孔和铣分度槽口、钳工去毛刺等）→ 渗碳 → 淬火 → 回火（表面达 58 ~ 63HRC）→ 机械加工（磨外圆和上下面）→ 成品。

#### (3) 热处理工艺性分析

1) 12CrNi3 钢属优质渗碳钢，其渗碳工艺性和淬火工艺性均极好，不难满足热处理的各项技术要求。

2) 图 8-5 中的 12 个分度槽淬火时极易变形，需采取有效措施预防和矫正。

#### (4) 热处理工艺方法及工艺参数的设计

1) 毛坯锻后正火：利用锻造余热（控制终锻温度在 920℃ 左右），散开在空气中冷却。

2) 渗碳直接淬火：在 GS050/80 型井式渗碳炉中，以甲醇和煤油为渗碳剂，在 920 ~ 940℃ 渗碳，持续 6.5 ~ 7h 后炉冷到 800℃ 均热 0.5h，直接淬入 140℃ 热油中，停留 0.5h 后空冷。

3) 回火：在 RJJ-36-6 型低温井式电阻炉中于 160 ~ 180℃ 加热，保温 1.5 ~ 2.0h 后空冷。

滴注式渗碳淬火、回火工艺曲线如图 8-6 所示。

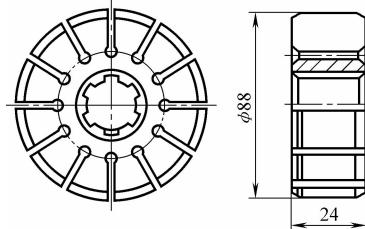
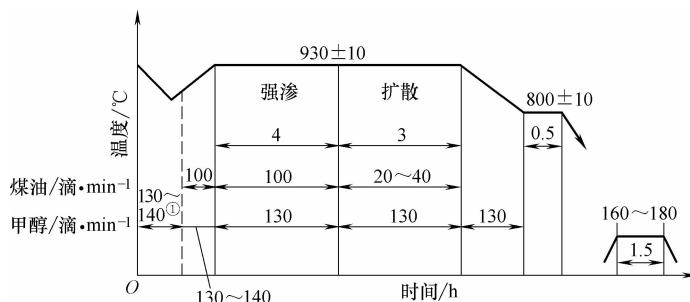


图 8-5 叶片泵转子

图 8-6 叶片泵转子滴注式渗碳淬火、回火工艺曲线

① 装炉排气时，连续滴入甲醇 3 ~ 5min 后，调整到 130 ~ 140 滴/min

(5) 处理结果 渗碳层深度为 1.2 ~ 1.3mm；表面硬度为 60 ~ 62HRC；渗层组织为 2 ~ 3 级马氏体 + 少量残留奥氏体 + 粒状碳化物。

## 2. 叶片泵的定子热处理工艺设计

### (1) 定子所用材料及热处理技术要求

1) 图 8-7 所示定子用料为 38CrMoAlA 钢。

2) 热处理技术要求：渗氮层深度为 0.3 ~ 0.5 mm，表面硬度  $\geq 900\text{HV0.2}$ ，心部硬度为 250 ~ 280HBW。

(2) 制造工艺路线：锻造 → 退火（硬度  $\leq 229\text{HBW}$ ）→ 机械加工（车外圆预留磨量 0.3 ~ 0.5mm 和粗车内孔达  $\phi 50\text{mm}$ ；刨削上下面，预留 0.3 ~ 0.5mm 磨量、钳工去毛刺等）→ 调质处理 → 机械加工（精车外圆、仿形车内孔和磨上下面）→ 渗氮 → 成品。

(3) 热处理工艺性分析 38CrMoAlA 钢属高级优质渗氮钢，由于钢中 Cr 和 Al 与氮的结合力极好，故其渗氮工艺性极佳，不难满足渗氮层深度和硬度要求。

### (4) 热处理工艺方法及工艺参数的设计

1) 毛坯锻后退火：利用锻造余热（控制终锻温度在 920℃ 左右），将锻好的毛坯装入已加热到 920 ~ 940℃ 的 RQ3-30-9 型电阻炉均热，保持 2 ~ 2.5h 后，随炉缓慢冷却到 200℃ 出炉。

2) 调质处理：在 RQ3-30-9 型电阻炉中于 930 ~ 950℃ 加热，透烧后油中冷却；回火在 620 ~ 640℃ 加热，透烧后空冷。硬度为 270 ~ 300HBW。

3) 渗氮：在 LDZ-25 型罩式离子渗氮炉中，以氨分解气为渗剂。控制氨分解率为 30% ~ 40%，在 540 ~ 560℃，保持 10 ~ 12h 后炉冷。

(5) 处理结果 渗氮层深度为 0.3 ~ 0.4mm；表面硬度为 1050HV0.2；心部硬度为 280HBW。

## 3. 叶片泵的叶片热处理工艺设计

### (1) 叶片所用材料及热处理技术要求

1) 图 8-8 所示叶片用料为 W18Cr4V 钢。

2) 热处理技术要求：氮碳共渗的扩散层为 0.03 ~ 0.05mm，表面硬度  $\geq 60\text{HRC}$ 。

(2) 叶片制造工艺路线：锻造（反复镦粗-拉拔 3 ~ 4 次）→ 退火（硬度为  $\leq 225\text{HBW}$ ）→ 机械加工（刨上下面和斜面预留 0.3 ~ 0.5mm 磨量、钳工去毛刺等）→ 淬火 → 回火（表面硬度  $\geq 60\text{HRC}$ ）→ 机械加工（磨上下面和斜面到要求）→ 氮碳共渗

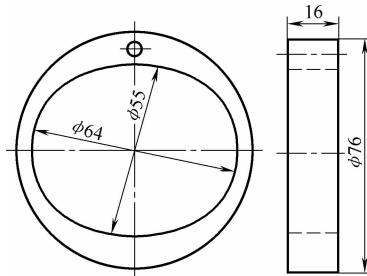


图 8-7 叶片泵定子

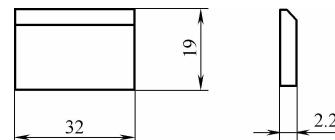


图 8-8 叶片泵叶片

(达 0.03 ~ 0.05mm) → 研磨 → 成品。

(3) 热处理工艺性分析 W18Cr4V 为高速钢，其淬火硬化能力很强。由于其成分中含有较多的与碳、氮亲和力极强的 Cr、W、V 合金元素，故施以氮碳共渗可进一步提高耐磨性。因此，不难满足热处理的各项技术要求。

#### (4) 热处理工艺方法及工艺参数的设计

1) 毛坯锻后退火：利用锻造余热（控制终锻温度在 850℃ 左右），将锻好的毛坯装入已加热到 850 ~ 870℃ 的 RQ3-30-9 型电阻炉均热，保温 2 ~ 2.5h 后随炉缓慢冷却到 200℃ 出炉。

2) 淬火：在彻底脱氧的 RDM-20-8 型的中温盐浴炉中于 850 ~ 870℃ 预热透烧，转入 RDM-25-13 型高温盐浴炉中于 1270℃ 加热，持续 1min 后再转入 RDM-30-6 型低温盐浴炉中于 530 ~ 550℃ 均热，保温 1min 后空冷。

3) 回火：在 RJJ-36-6 型低温井式电阻炉中于 550 ~ 570℃ 加热，保温 1.5 ~ 2.0h 后空冷，进行三次。

(5) 处理结果 氮碳共渗层总深度为 0.03 ~ 0.05mm；表面硬度为 62HRC。

### 4. 叶片泵轴的热处理工艺设计

#### (1) 泵轴所用材料及热处理技术要求

1) 图 8-9 所示泵轴用料为 45 钢。

2) 热处理技术要求：调质硬度为 235 ~ 269HBW；表面淬火回火后硬度为 55 ~ 60HRC。

(2) 叶片制造工艺路线 下料 → 机械加工（粗车全形预留 0.3 ~ 0.5mm 磨量、铣 φ25mm 凹窝及花键及钳工去毛刺等）→ 高频感应淬火 → 回火（表面硬度 ≥ 55HRC）→ 机械加工（磨外圆尺寸精度到要求，各段同轴度达要求）→ 成品。

(3) 热处理工艺性分析 45 钢是常用的轴类零件用钢，其高频感应淬火已是成熟的工艺方法。因此，不难满足热处理的各项技术要求。

#### (4) 热处理工艺方法及工艺参数的设计

1) 高频感应淬火：采用连续加热法，喷水淬火冷却。考虑该泵轴的长径比不大，且为多段的阶梯轴，故采用手工操作更容易控制质量。其工艺参数为：加热温度为 880 ~ 900℃；移动速度为 6mm/s。

2) 回火：在 RJJ-36-6 型低温井式电阻炉中于 150 ~ 170℃ 加热，保温 1.0 ~ 2.0h 后空冷。

(5) 处理结果 表面硬度为 58 ~ 60HRC。

### 5. 叶片泵的配油盘热处理工艺设计

#### (1) 配油盘所用材料及热处理技术要求

1) 图 8-10 所示配油盘用料为 HT300 灰铸铁。

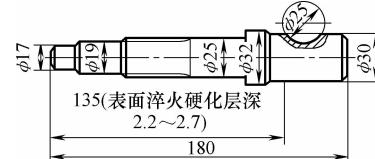


图 8-9 叶片泵轴

2) 热处理技术要求: 氮碳共渗的化合物层为  $5 \sim 10 \mu\text{m}$ 。

(2) 制造工艺路线: 铸造→正火(硬度为  $224 \sim 270 \text{HBW}$ )→机械加工(车外圆和内孔, 刨上下面预留  $0.3 \sim 0.5 \text{mm}$  磨量、钳工去毛刺)→去应力退火→机械加工(磨上下面达要求)→氮碳共渗(化合物层达  $5 \sim 10 \mu\text{m}$ )→成品。

(3) 热处理工艺性分析 HT300 灰铸铁施以氮碳共渗可提高耐磨性和耐蚀性。

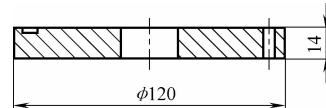


图 8-10 叶片泵配油盘

(4) 热处理工艺方法及工艺参数设计

1) 正火: 利用铸造余热(控制在  $900^\circ\text{C}$  左右), 将铸件毛坯装入已加热到  $880 \sim 900^\circ\text{C}$  的 RQ3-30-9 型电阻炉均热, 保温  $0.5 \sim 1.0 \text{h}$  后出炉雾冷到室温。

2) 去应力退火: 在 RJJ-36-6 型低温井式电阻炉中于  $580 \sim 600^\circ\text{C}$  加热, 保温  $1.5 \sim 2.0 \text{h}$  后空冷。

3) 氮碳共渗: 在 RN-30-6 型井式气体渗氮炉中于  $560 \sim 580^\circ\text{C}$  加热, 全程通氨和滴入三乙醇胺, 保温  $3.0 \text{h}$  后在空气中预冷到  $350^\circ\text{C}$  左右水冷。

(5) 处理结果 氮碳共渗的化合物层为  $5 \sim 10 \mu\text{m}$ 。

### 8.1.3 柱塞泵零件热处理工艺设计

柱塞泵的结构比齿轮泵和叶片泵的结构要复杂, 其零件加工精度要求高。为了确保使用寿命, 需要更好的耐磨性。因此, 在选材和热处理方面的要求也更高。柱塞泵的主要零件有配油盘、缸套、柱塞、回程盘、斜盘和传动轴等。下面, 选择几例热处理难度较大的零件, 阐述其选材、制造工艺路线以及热处理的工艺设计。

#### 1. 柱塞泵缸套的热处理工艺设计

(1) 缸套所用材料及热处理技术要求

1) 图 8-11 所示缸套用料为 GCr15 钢。

2) 热处理技术要求: 见图 8-11 所示的局部淬火, 硬度为  $60 \sim 65 \text{HRC}$ 。

(2) 制造工艺路线: 锻造→球化退火(硬度为  $241 \sim 290 \text{HBW}$ )→机械加工(车外圆和内孔达图样尺寸精度要求)→淬火→回火→抛光→成品。

(3) 热处理工艺性分析 GCr15 钢为滚动轴承钢, 其淬火加热温度敏感性较强, 因此淬火加热时要严格控制加热温度, 否则容易发生过热。虽然缸套直径较大和壁厚较薄容易产生淬火变形, 但由于局部淬火且用油冷却, 只要操作平稳, 则变形问题不大。

(4) 热处理工艺方法及工艺参数设计

1) 球化退火: 在 RQ3-30-9 型电阻炉中于  $790 \sim 810^\circ\text{C}$  加热, 保温  $4 \text{h}$  后炉内降

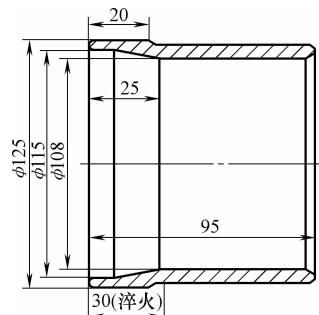


图 8-11 柱塞泵缸套

温到 700℃，保温 4~5h，炉冷到 600℃以下出炉。

2) 淬火：在彻底脱氧的 RDM-20-8 型中温盐浴炉中于 840~860℃局部（30mm 淬火区）加热，保温 10min 后油中冷却。

3) 回火：在 RJJ-36-6 型低温井式电阻炉中于 170~190℃加热，保温 2.0~3.0h 后空冷。

(5) 处理结果 淬火区表面硬度为 62~64HRC。

## 2. 新型柱塞泵保持架热处理工艺设计

### (1) 保持架所用材料及热处理技术要求

1) 图 8-12 所示保持架用料为 20Cr3MoWV 钢。

2) 热处理技术要求： $F_1$ 、 $F_2$ 、 $F_3$  表面渗氮层深度 0.25~0.35mm（其余表面不渗氮）；渗氮表面硬度  $\geq 800HV$ ；心部硬度为 30~35HRC；平面度（平面跳动量） $\leq 0.03mm$ 。

(2) 制造工艺路线：锻造 → 退火（硬度  $\leq 229HBW$ ）→ 机械加工（粗车全形，预留精车余量 0.5~0.8mm）→ 调质处理（硬度为 28~32HRC）→ 机械加工（精车全形达图样精度要求）→ 稳定化处理（去应力退火）→ 不渗氮部位镀铜→ 渗氮→ 除铜→ 研磨（平面跳动量达要求）→ 成品。

(3) 热处理工艺性分析 20Cr3MoWV 为低碳马氏体超高强度钢，其热处理工艺性极好（淬透性好，过热敏感性和变形敏感性均很小），虽然保持架直径较大和壁厚较薄容易产生变形，但由于材料抗变形阻力好（屈服强度高），只要生产过程严格执行工艺流程则变形问题不大。

### (4) 热处理工艺方法及工艺参数的设计

1) 正火 + 高温回火：在 RQ3-30-9 型电阻炉中于 880~900℃加热，透烧后空冷；在 RQ3-30-9 型电阻炉中于 660~680℃加热，透烧后随炉冷却（硬度  $\leq 229HBW$ ）。

2) 调质处理（真空淬火 + 真空回火）：在 ZC2-30 型双室油淬真空炉中于 890~910℃加热，保温 0.5h 后油冷淬火。在 HZR-24 型真空正压回火炉中于 610~630℃加热，保温 2h 油冷（硬度为 28~32HRC）。

3) 稳定化处理（去应力退火）：在 RJJ-36-6 型低温井式电阻炉中于 540~560℃加热，保温 3.5~4.0h 后炉冷。

4) 气体渗氮：在 RN-30-6 型井式气体渗氮炉中，全程通入氨气并采用两段法渗氮：

第一阶段于 510~530℃保温 7~8h（氨分解率为 20%~30%）；第二阶段于 540~560℃保温 7~8h（氨分解率为 35%~50%）。

(5) 处理结果 同炉试样检测结果：渗氮层深度为 0.25~0.3mm；表面硬度

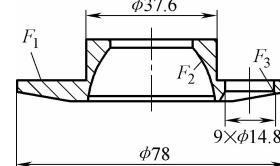


图 8-12 新柱塞泵保持架

为 920~950HV，心部硬度为 29~33HRC。

### 3. 新型柱塞泵柱塞热处理工艺设计

#### (1) 柱塞所用材料及热处理技术要求

1) 图 8-13 所示柱塞用料为 30Cr3MoA 钢。

2) 热处理技术要求：表面渗氮层深度为 0.40~0.52mm；渗氮表面硬度  $\geq 700\text{HV}$ ；心部硬度为 30~35HRC。

(2) 制造工艺路线：从热轧圆钢下料→机械加工（粗车全形，预留精车余量 0.5~0.8mm）→调质处理（硬度为 28~32HRC）→机械加工（精车全形达图样精度要求）→稳定化处理（去应力退火）→渗氮→研磨（达图样要求的尺寸精度）→成品。

(3) 热处理工艺性分析 30Cr3MoA 为低碳马氏体高强度钢，其热处理工艺性较好（淬透性好，过热敏感性和变形敏感性均较小），不难满足热处理各项技术要求。

#### (4) 热处理工艺方法及工艺参数的设计

1) 退火：在 RQ3-30-9 型电阻炉中于 880~900℃ 加热，透烧后空冷；在 RQ3-30-9 型电阻炉中于 660~680℃ 加热，透烧后随炉冷却（硬度  $\leq 229\text{HBW}$ ）。

2) 调质处理：在 RQ3-30-9 型电阻炉中于 890~910℃ 加热，透烧（约 70~80min）后油冷淬火。在 RQ3-30-9 型电阻炉中于 560~600℃ 加热，透烧后油炉冷却。（硬度为 28~32HRC）。

3) 稳定化处理（去应力退火）：在 RJJ-36-6 型低温井式电阻炉中于 540~560℃ 加热，保温 3.5~4.0h 后炉冷。

4) 气体渗氮：在 RN-30-6 型井式气体渗氮炉中，全程通入氨气并采用两段渗氮法：第一阶段  $(510 \pm 5)\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，保温 26h（氨分解率为 15%~30%）；第二阶段  $(540 \pm 5)\text{ }^{\circ}\text{C}$  保温 26h（氨分解率为 35%~50%），随炉冷却，其工艺曲线如图 8-14 所示。

(5) 处理结果 同炉试样检测结果：渗氮层深度为 0.42~0.50mm；表面硬度为 720~750HV，心部硬度为 30~35HRC。

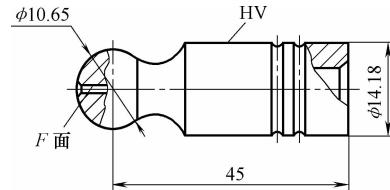


图 8-13 柱塞泵柱塞

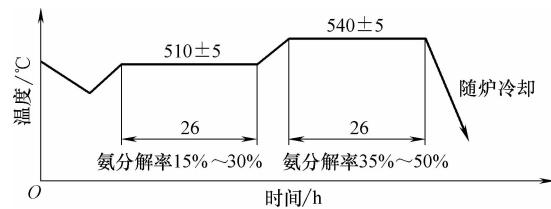


图 8-14 柱塞气体渗氮工艺曲线

## 8.2 液压阀零件热处理工艺设计实例

液压阀是液压系统中的控制元件，阀的主要零件有滑阀、阀座、提动阀和提动

阀座等。

### 8.2.1 滑阀热处理工艺设计

#### 1. 溢流阀的滑阀热处理工艺设计

(1) 溢流阀滑阀所用材料及热处理技术要求

1) 图 8-15 所示滑阀用料为 45 钢。

2) 热处理技术要求: 表面淬火回火后硬度为 55 ~ 60HRC; 淬硬层深度为 0.8 ~ 1.2mm。

(2) 滑阀制造工艺路线 锻造→正火→机械加工(粗车全形预留 0.3 ~ 0.5mm 磨量)→高频感应淬火→回火(表面硬度 ≥ 55HRC)→机械加工(磨外圆到要求, 各段保持同轴)→成品。

(3) 热处理工艺性分析 45 钢是常用的轴类零件用钢, 其高频感应淬火已是成熟的工艺方法, 因此, 不难满足热处理的各项技术要求。

(4) 热处理工艺方法及工艺参数的设计

1) 正火: RQ3-30-9 型电阻炉中于 840 ~ 860℃ 加热, 透烧(约 1 ~ 2h)后空冷。

2) 高频感应淬火: 采用连续加热, 喷水淬火冷却。考虑该滑阀的长径比不大, 且为多段的阶梯轴, 故采用手工操作更容易控制质量。其工艺参数: 加热温度为 880 ~ 900℃; 移动速度为 6mm/s, 且 φ36mm、φ12.3mm、φ14mm 各段分别完成。

3) 回火: 在 RJJ-36-6 型低温井式电阻炉中于 170 ~ 190℃ 加热, 保温 1.0 ~ 2.0h 后空冷。

(5) 处理结果 表面硬度为 58 ~ 60HRC; 淬硬层深度为 0.85 ~ 1.25mm。

#### 2. 电磁阀的滑阀热处理工艺设计

(1) 电磁阀滑阀所用材料及热处理技术要求

1) 图 8-16 所示滑阀用料为 15CrMo 钢。

2) 热处理技术要求: 全渗碳层深度为 0.5 ~ 0.8mm, 表面硬度为 58 ~ 63HRC。

(2) 滑阀制造工艺路线 锻造→正火(硬度为 156 ~ 207HBW)→机械加工(车外圆预留磨量 0.3 ~ 0.5mm; 铰工去毛刺等)→渗碳→淬火→回火(表面达 58 ~ 63HRC)→机械加工(磨外圆)。

(3) 热处理工艺性分析 15CrMo 属优质渗碳钢, 其渗碳工艺性和淬火工艺性均较好, 不难满足热处理的各项技术要求。

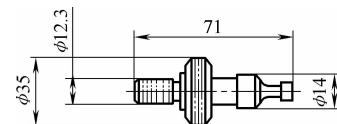


图 8-15 溢流阀滑阀

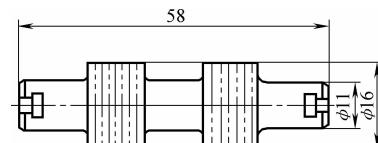


图 8-16 电磁阀滑阀

## (4) 热处理工艺方法及工艺参数的设计

- 1) 毛坯锻后正火：利用锻造余热（控制终锻温度在 920℃左右），敞开空气中冷却。
  - 2) 渗碳直接淬火：在 RQ3-60-9 型井式渗碳炉中，以甲醇和煤油为渗碳剂，在 920~940℃渗碳，持续 2.5~3h 后炉冷到 840℃均热 0.5h，直接淬入油中冷却。
  - 3) 回火：在 RJJ-36-6 型低温井式电阻炉中于 160~180℃加热，保温 1.5~2.0h 后空冷。
- (5) 处理结果 渗碳层深度为 0.5~0.85mm；硬度为 58~60HRC。

### 8.2.2 阀座热处理工艺设计

以提动阀座为例，阐述其热处理工艺设计。

## (1) 阀座所用材料及热处理技术要求

- 1) 图 8-17 所示阀座用料为 42CrMo 钢。
- 2) 热处理技术要求：硬度为 28~32HRC；氮碳共渗的化合物层厚度为 10~20μm。

(2) 制造工艺路线：由热轧圆钢下料→调质处理→机械加工（车、磨全形）→氮碳共渗→成品。

(3) 热处理工艺性分析 42CrMo 钢淬透性良好，淬火采用油冷变形极小，且不易开裂。合金元素 Cr 和 Mo 与氮、碳的亲和力极强，因此，实现氮碳共渗无难题。

## (4) 热处理工艺方法及工艺参数的设计

- 1) 淬火：在 RQ3-45-9 型箱式电阻炉中于 830~860℃加热，透烧（约 30min）后油冷到 200℃左右出油空冷。
- 2) 在清洗机中喷淋去油。
- 3) 回火：在 RJJ-36-6 型低温井式电阻炉中 570~590℃加热，保温 1~1.5h 后空冷。
- 4) 氮碳共渗：在 RN-30-6 型井式气体渗氮炉中，全程通入氨气并滴入三乙醇胺，在 560~580℃，保温 1~2h 后水冷。
- (5) 处理结果 心部硬度为 28~32HRC；同炉试样化合物层厚度为 15~20μm。

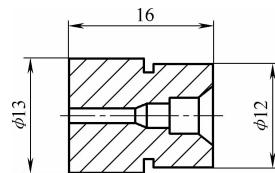


图 8-17 提动阀阀座

# 第9章 机床及其夹具典型件热处理工艺设计实例

## 9.1 切削机床的典型件热处理工艺设计实例

### 9.1.1 机床床身热处理工艺设计

机床床身和立柱、工作台、横梁、床头箱、滑板以及壳体等都是机床基础件，起着支撑作用。这些零件大部分是铸铁件，也有钢板焊接结构件。这些零件在机械加工成形过程中不可避免产生残留内应力，在产品使用过程中因受外力、振动和环境温度变化等影响，残留应力会逐渐随时间的推移而松弛和重新分布，从而导致这些零件发生变形，丧失原有精度。为了克服上述问题，通常采用时效处理，如自然时效、热时效和振动时效等。其中，热时效的效果最佳，且应用最广泛。下面，重点介绍几种不同材料制造的机床床身的热时效工艺设计。

#### 1. 坐标镗床床身的热时效工艺设计

- (1) 所用材料 MTPCuTi25 合金铸铁。
- (2) 技术要求 200 ~ 230HBW。
- (3) 热时效工艺设计 机床基础件的常用材料及其热时效工艺参数如表 9-1 所示。MTPCuTi25 合金铸铁制坐标镗床床身的热时效工艺曲线如图 9-1 所示。

表 9-1 机床基础件的常用材料及其热时效工艺参数

序号	零件材料	厚度/mm	加热温度/℃	保温时间/h
1	HT200	<50		2
	灰铸铁 HT250	50 ~ 100	500 ~ 600	厚度每增 25mm 加 1 ~ 1.5h
	HT300	>100		6
2	合金铸铁	<50		2
		50 ~ 100	530 ~ 630	厚度每增 25mm 加 1 ~ 1.5h
		>100		6
3	焊接钢结构	<50	$A_{Cl}$ - (100 ~ 200)	2

注：所用设备为 QT2-180-9 型台车式电阻炉（可根据床身尺寸选择不同的设备型号、规格）。

#### 2. 车床床身的热时效工艺设计

- (1) 所用材料 MTP20 合金铸铁。
- (2) 技术要求 彻底消除内应力；硬度  $\geq 200\text{HBW}$ 。
- (3) 热时效工艺设计 热时效的具体工艺参数见表 9-1 中的序号 2。MTP20 合

金铸铁制车床床身的热时效工艺曲线如图 9-2 所示。

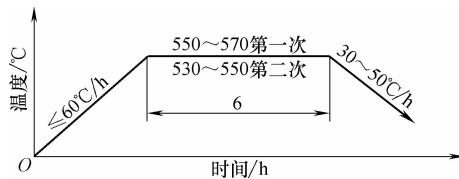


图 9-1 MTPCuTi25 合金铸铁制镗床床身的热时效工艺曲线

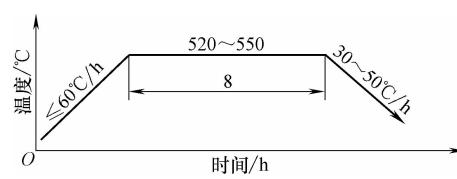


图 9-2 MTP20 合金铸铁制车床床身的热时效工艺曲线

### 3. 铣床床身的热时效工艺设计

(1) 所用材料 HT300 和 HT200 铸铁。

(2) 技术要求 彻底消除内应力。

(3) 热时效工艺设计 热时效的具体工艺参数见表 9-1 中的序号 1。HT300 和 HT200 铸铁制铣床床身的热时效工艺曲线如图 9-3 所示。

### 4. 数控机床床身的热时效工艺设计

(1) 所用材料 Q235A 钢板焊接床身和横梁。

(2) 技术要求 彻底消除内应力。

(3) 热时效工艺设计 热时效的具体工艺参数和 Q235A 钢板焊接床身和横梁的热时效工艺曲线，分别如表 9-1 中的序号 3 和图 9-4 所示。

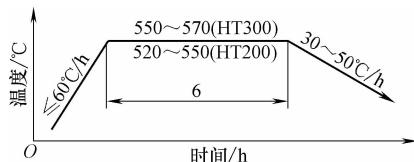


图 9-3 HT300 和 HT200 灰铸铁制铣床床身的热时效工艺曲线

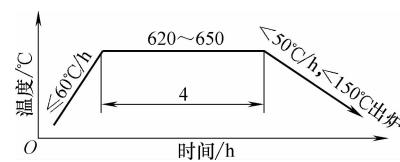


图 9-4 Q235A 钢板焊接床身的热时效工艺曲线

## 9.1.2 机床主轴和丝杠热处理工艺设计

主轴和丝杠都是金属切削机床的重要零件。主轴主要起传递动力作用，工作时承受弯曲、扭转和冲击等多种载荷，要求具有足够刚度、强度、耐疲劳、耐磨损和精度稳定等性能。丝杠应用于机床的进给机构和调速机构，普通丝杠要求具有抗疲劳、抗磨损等性能，在腐蚀介质和高温等特殊条件下工作的丝杠，还需要具有耐蚀性和耐热性等。下面，分别介绍它们的选材、制造工艺路线及其热处理工艺设计。

### 1. 常用机床主轴材料

机床主轴所用材料，按其热处理工艺方法可分为四类，如表 9-2 所示。

表 9-2 机床主轴常用材料及其特点

序号	热处理方法	材料牌号	特 点
1	渗碳	20Cr、20CrMo、20CrMnTi、20CrNi3 和 20MnVB	耐磨性好，承受冲击性能较好，整体渗碳淬火件去除渗碳层的部位可进行切削加工
2	整体或局部淬火	45、50、60、40Cr、42CrMo、40MnVB	耐磨性好，生产成本低，能承受一定冲击
		9Mn2V、65Mn 和 GCr15、GCr15SiMn	耐磨性好，耐冲击性能差，但精加工的表面粗糙度低
3	渗氮	38CrMoAl	耐磨性好，抗咬合性能强，加工粗糙度低，但不能承受冲击
4	调质或正火	45、55、40Cr 和 50Mn2	生产成本低，仅适用于低速机床和部分重型机床

## 2. 典型车床主轴的热处理工艺设计

(1) 所用材料 车床主轴如图 9-5 所示，其材料为 45 钢。

(2) 热处理技术要求 对主轴 160mm 段进行局部淬火，硬度为 48~53HRC。

(3) 制造工艺路线 锻造→正火→机械加工→淬火→回火→机械加工→成品。

(4) 热处理工艺性分析 该主轴长径比较大（约为 9:1），尽管容易变形但由于要求局部淬火，则减轻了预防和校直变形的难度。值得提及，淬火区螺纹孔和销孔孔径小而多，淬火过程加热和冷却介质浸入后不易清理，需采取适当措施预防。另外，其内锥孔淬火冷却时，由于介质汽化后不易排出而影响硬化的均匀性，应采取有效措施强化锥孔的冷却。

### (5) 热处理工艺设计

1) 正火：利用锻造余热（即控制毛坯锻造的终锻温度，约为 850℃），散开后吹风冷却。

2) 淬火：加热前先将主轴 160mm 淬火段的所有螺孔和销孔用螺钉和销轴（或石棉、耐火泥）堵好，然后主轴吊挂着将头部（160+20mm）段浸入已彻底脱氧的 RYD-100-8A 型盐浴炉中，于 820~840℃ 加热 20~22min，出炉后吊挂着置放于主轴内锥孔淬火专用喷头上，喷头整个浸入 5%~10%（质量分数）NaCl 水溶液喷冷，9~11s 后转入油槽中继续冷却。

3) 回火：吊挂着将淬火的部位浸入 380~400℃ 的硝盐浴炉中，保温 20~25min 后空冷。

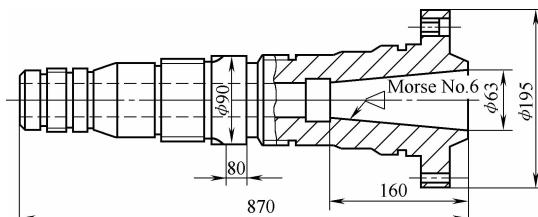


图 9-5 车床主轴

4) 辅助处理: 清洗、喷砂和防锈等。

(6) 处理结果 淬火段表面硬度为 48 ~ 52HRC。

### 3. 典型铲床丝杠的热处理工艺设计

(1) 所用材料 零件为图 9-6 所示的铲床丝杠, 其材料为 CrWMn 钢。

(2) 热处理技术要求 整体淬火, 硬度为 56 ~ 61HRC。

(3) 制造工艺路线 从热轧圆钢下料 → 正火 → 球化退火 → 机械加工 (粗车外圆和螺纹, 预留精加工余量

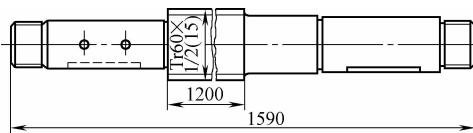


图 9-6 铲床丝杠

0.8 ~ 1.2mm) → 去应力退火 → 机械加工 (粗磨外圆和半精车螺纹及铣键槽) → 淬火 → 回火 → 机械加工 (粗磨螺纹) → 低温时效 → 精磨外圆和螺纹 → 成品。其中, 6 级精度丝杠低温时效一次; 4 级和 5 级精度时效两次。

(4) 热处理工艺性分析 该丝杠长径比较大 (约为 10:1), 热处理过程中极易变形, 而且 CrWMn 钢淬透性很好, 整体淬火硬化后大大增加了校直的难度。因此, 热处理工艺设计不仅要考虑减小变形的措施, 还必须考虑有效的校直方法。

(5) 热处理工艺设计 热处理工艺曲线如图 9-7 所示。

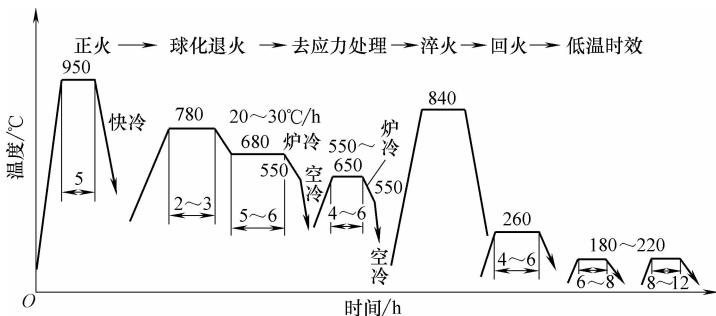


图 9-7 CrWMn 钢制丝杠热处理工艺曲线

1) 正火: 每只间隔 10mm 缠绑在一起, 吊装在 RJ2-95-9 型深井式电阻炉中, 于 950℃ 加热透烧后, 吊挂在空气中冷却。

2) 球化退火: 将丝杠缠绑在一起, 吊装在深井式电阻炉中, 于 770 ~ 790℃ 加热透烧 (约 2 ~ 3h), 随炉降温到 670 ~ 690℃, 停留 5 ~ 6h 后继续炉冷 (冷速为 20 ~ 30°C/h) 到 550℃ 以下空冷。

3) 去应力退火: 缠绑在一起, 吊装在深井式电阻炉中, 于 550 ~ 650℃ 加热 5 ~ 6h 后炉冷到 500℃, 空冷并校直到直线度公差 ≤ 0.20mm。

4) 等温淬火: 多支丝杠吊挂在专用吊具上, 吊挂装入深井式电阻炉中, 于 830 ~ 850℃ 加热透烧后, 淬入专用的 250 ~ 270℃ 的硝盐等温槽中, 停留 4 ~ 6h 后, 逐支取出趁热校直 (直线度 ≤ 加工预留量的 1/3)。

- 5) 回火：吊挂着浸入专用的深井式硝盐浴炉中，200~220℃加热6~8h后空冷。
- 6) 喷砂：重点喷射凹向一侧，以校直残留变形和清理残留污物。
- 7) 时效：吊挂着浸入专用的深井式硝盐浴炉中，于140~180℃加热8~12h后空冷。
- 8) 清洗和防锈：在清水中冲洗，去除硝盐后涂防锈油或钝化处理等。
- (6) 处理结果 表面硬度为56~60HRC；热处理后直线度≤0.20mm。

### 9.1.3 机床其他典型件热处理工艺设计

机床其他典型件，包括机床附件（如万能分度头主轴、蜗杆，心轴体，自定心卡盘卡爪、盘丝等）和离合器零件（如各种摩擦片、联结、花键套、磁轭、齿环等）等。下面，选择几种有代表性的零件阐述其热处理工艺设计。

#### 1. 自定心卡盘卡爪的热处理工艺设计

- (1) 所用材料 自定心卡盘卡爪如图9-8所示，其材料为45钢。
- (2) 热处理技术要求
  - 1) 硬度：牙部12mm宽的硬度≥52HRC，两侧及牙根部为30~40HRC，其余为53~58HRC。
  - 2) 牙距总膨胀量≤0.25mm。
  - 3) 卡爪制造工艺路线 从厚度为25mm的热轧45钢板下料→正火→机械加工全形，预留磨削加工0.5~0.8mm→整体淬火、回火→高频感应淬火→低温回火→发蓝→磨削达图样尺寸精度和形位公差要求→成品。
- (4) 卡爪的热处理工艺性分析
  - 1) 该卡爪的热处理技术要求比一般零件特殊，即在尺寸相对不大的范围内，要求多种硬度，如何满足其要求，给热处理带来一定难度。但仔细分析可以看出：牙部12mm宽的硬度与其余部分的硬度大致在同一硬度范围，可将牙部12mm宽的硬度确定在53~58HRC（原要求≥52HRC），这样可以通过整体淬火满足其余部分的硬度要求，然后通过高频感应淬火达到牙部的技术要求，利用牙部高频感应加热时热影响区的热量使牙根和两侧回火到30~40HRC。
  - 2) 由于45钢碳含量中等，淬火后其马氏体的体积比增量不大，故牙距总膨胀量≤0.25mm的要求，不难保证。

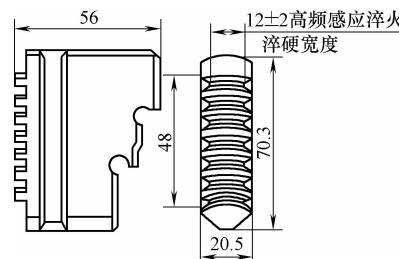


图9-8 自定心卡盘卡爪

#### (5) 卡爪的热处理工艺设计

- 1) 正火：在RX3-30-9型箱式炉中，于840~860℃加热透烧后空气中冷却。
- 2) 淬火：在彻底脱氧的RDM-20-8型盐浴炉中800~820℃加热10~12min后，在质量分数为5%~10%NaCl水溶液中冷却5~6s后转入油槽中继续冷却。

- 3) 回火：在 180 ~ 200℃ 的硝盐浴炉中，保温 1.5 ~ 2h 后空冷。
- 4) 高频感应淬火：两件对放牙部向外，面向感应器的加热温度为 860 ~ 900℃，保温 11 ~ 13s 后水冷。
- 5) 回火：在 180 ~ 200℃ 的硝盐浴炉中，保温 1.5 ~ 2h 后空冷。
- (6) 处理结果 硬度：牙部 12mm 宽处的硬度为 55HRC，两侧及牙根部为 38HRC，其余为 58HRC。牙距总膨胀量 0.2mm。

## 2. 自定心卡盘盘丝的热处理工艺设计

(1) 所用材料 图 9-9 所示为自定心卡盘盘丝，其材料为 45 钢。

(2) 热处理技术要求

1) 硬度：整体 45 ~ 50HRC。

2) 变形度：平面度公差  $\leq 0.20\text{mm}$ ；内孔椭圆度公差  $\leq 0.15\text{mm}$ 。

(3) 盘丝制造工艺路线 锻造 → 正火 → 机械加工（车削全形，预留磨削量 0.3 ~ 0.5mm）→ 淬火 → 回火 → 发蓝处理 → 磨削上、下面及盘丝 → 成品。

(4) 盘丝的热处理工艺性分析 45 钢

整体淬火时，在水中冷却的变形和开裂敏感性较强，在油中冷却，其硬化效果较差。因此，需考虑合适的淬火冷却介质，例如冷却能力介于水与油之间的“三硝”水溶液或水玻璃氢氧化钠水溶液等。同时，相应的淬火加热温度应高些（如采用高温快速加热，更加有利）。

(5) 盘丝的热处理工艺设计

1) 正火：在 RX3-30-9 型箱式炉中 840 ~ 860℃ 加热透烧后空气中冷却。

2) 淬火：在彻底脱氧的 RDM-20-8 型盐浴炉中 880 ~ 900℃ 加热 5 ~ 7min 后，在质量分数为 45% 水玻璃 + 5% NaOH 的水溶液中冷却 5 ~ 6s 后转入油槽中继续冷却。

3) 回火：在 180 ~ 200℃ 的硝盐浴炉中，保温 1.5 ~ 2h 后空冷。

(6) 处理结果 硬度为 48 ~ 50HRC；平面度公差和内孔椭圆度公差均小于 0.15mm。

## 3. 电磁离合器摩擦片的热处理工艺设计

(1) 所用材料 图 9-10 所示为离合器摩擦片，其材料为 65Mn 钢。

(2) 热处理技术要求

1) 硬度：整体 44 ~ 48HRC。

2) 变形度：平面度公差  $\leq 0.10\text{mm}$ ；内孔椭圆度公差  $\leq 0.15\text{mm}$ 。

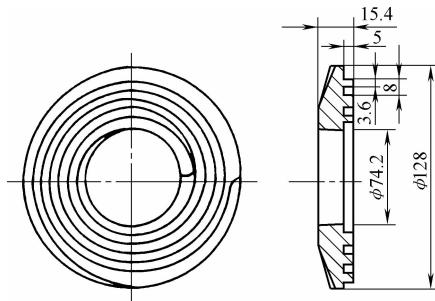


图 9-9 自定心卡盘盘丝

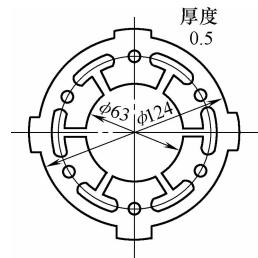


图 9-10 离合器摩擦片

(3) 摩擦片的热处理工艺性分析 65Mn 钢整体淬火时，在油中冷却的变形敏感性较强，因此，需考虑合适的预防变形措施。例如，单件生产时，可采用冷却能力介于水与油之间的“三硝”水溶液或水玻璃氢氧化钠水溶液淬火；小批量生产时可采用专用夹具在回火时加压定形；如果是大批量生产，最好采用专用淬火压床，效率高且质量好。

#### (4) 摩擦片的热处理工艺设计

- 1) 退火：在 RX3-30-9 型箱式炉中 840 ~ 860℃ 加热透烧后随炉缓慢冷却。
- 2) 淬火：在彻底脱氧的 RDM-20-8 型盐浴炉中于 820 ~ 840℃ 加热 1.5 ~ 2min 后油中冷却。
- 3) 回火：摩擦片装入夹具暂不夹紧（不松动即可），以防脆裂。在 RJJ-24-6 低温井式电阻炉中于 340 ~ 360℃ 加热，保温 1 ~ 1.5h 后出炉，并立即将夹具加压夹紧空冷到室温。

(5) 处理结果 硬度为 45 ~ 47HRC；平面翘曲和内孔椭圆度均小于 0.10mm。

## 9.2 机床夹具典型件热处理工艺设计实例

### 9.2.1 轴、套类夹具零件热处理工艺设计

#### 1. 小型轴、销、套的热处理工艺设计

(1) 所用材料 图 9-11 所示为小轴、销、套，其材料为 45 钢。

(2) 热处理技术要求 整体

调质后硬度为 25 ~ 30HRC 或 38 ~ 43HRC。

(3) 制造工艺路线 从热轧圆钢上下料 → 机械加工（车削全形，预留磨削量 0.3 ~ 0.5mm）→ 淬火并自回火 → 磨削外圆和内孔 → 成品。

(4) 热处理工艺性分析 机

床上所用的小轴、小销和小套类零件，工作时需要一定的强度、韧性和塑性。通常需要的数量较少，且急用。为了适应急需和节约能耗，可采用淬火冷却的余热进行自回火工艺。

(5) 淬火自回火工艺设计 在彻底脱氧的 RDM-20-8 型盐浴炉中于 830 ~ 850℃ 加热透烧后，在水中冷却一定时间提出观察回火色，在不会过回火的情况下决定空冷或余热过多情况下继续水冷。其中，图 9-9a 所示小轴（要求 25 ~ 30HRC）在水中停留 1.5s（回火色为黑红色）；图 9-9b 所示小销（要求 38 ~ 43HRC）在水中停

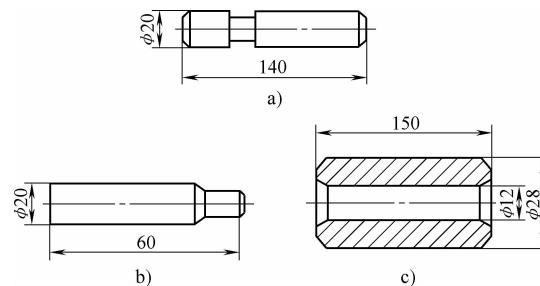


图 9-11 小轴、销、套夹具

a) 小轴 b) 销 c) 套

留 2.5s（回火色为暗褐色）；图 9-9c 所示小套（要求 25~30HRC）停留约 1.5s（回火色为黑红色）后决定空冷。

（6）处理结果 小轴硬度为 25~28HRC；小销硬度为 42~44HRC（比要求高 1~2HRC）；小套硬度为 25~27HRC。

## 2. 夹具心轴的热处理工艺设计

（1）所用材料 图 9-12 所示为夹具心轴，其材料为 45 钢。

（2）热处理技术要求

1) 整体调质后硬度为 220~256HRW。

2)  $\phi 72\text{mm}$  表面淬火区硬度  $\geq 58\text{HRC}$ ，硬化层深度为 1.2~1.6mm。

（3）制造工艺路线 从热轧圆钢下料→机械加工（粗车外圆，预留磨削量 0.5~0.8mm）→调质处理→机械加工（精车外圆预留磨削量 0.2~0.4mm）；车内孔和铣键槽达要求→钳工倒角、去毛刺→局部表面淬火→低温回火→磨外圆→成品。

（4）热处理工艺性分析 45 钢整体淬火时，在水中冷却的变形和开裂敏感性较强，在油中冷却，其硬化效果较差。因此，需考虑合适冷却介质，例如冷却能力介于水与油之间的“三硝”水溶液或水玻璃氢氧化钠水溶液等。同时，相应的淬火加热温度应高些（如采用高温快速加热，更加有利）。

### （5）热处理工艺设计

1) 淬火：在彻底脱氧的 RDM-20-8 型盐浴炉中于 830~850℃ 加热透烧后，在质量分数为 45% 水玻璃 + 5% NaOH 的水溶液中冷却 12~14s 后转入油槽中继续冷却。

2) 高温回火：在 RJ2-25-6 型低温井式电阻炉中于 550~570℃ 加热 2.5~3h 后空冷。

3) 高频感应淬火：采用连续淬火法，其加热温度为 870~900℃，喷水冷却；心轴移动速度约为 1.5mm/s；感应器高度为 10mm；感应圈与喷水圈为一体。

4) 低温回火：在 RJ2-25-6 型低温井式电阻炉中于 180~200℃ 加热 1.5~2h 后空冷。

（6）处理结果 表面硬度为 58~60HRC；高频淬火区硬化层深度为 1.2~1.4mm；其余部分硬度为 25~27HRC。

## 9.2.2 夹具传动零件热处理工艺设计

### 1. 夹具小齿轮的热处理工艺设计

（1）所用材料 图 9-13 所示为夹具小齿轮，其材料为 45 钢。

（2）热处理技术要求

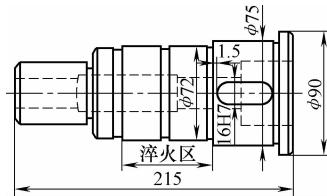


图 9-12 夹具心轴

1) 整体调质后硬度为 220 ~ 256HRW。

2) 表面淬火区硬度  $\geq 58\text{HRC}$ , 硬化层深度为 0.8 ~ 1.2mm。

(3) 制造工艺路线 从热轧圆钢下料→机械加工(粗车外圆, 预留磨削量 0.5 ~ 0.8mm) → 调质处理 → 机械加工(精车外圆达要求; 粗车内孔预留量 0.2 ~ 0.4mm 精车余量和铣键槽达要求 → 钳工倒角、去毛刺 → 齿部表面淬火 → 低温回火 → 以外圆定位车内孔 → 成品。

(4) 热处理工艺性分析 45 钢粗加工后调质旨在提高齿轮基体的综合力学性能, 精加工后齿部表面淬火旨在提高其耐磨性。该齿轮的关键是淬火感应器的选择, 在现有的感应器中没有合适的, 则需重新设计专用感应器。

#### (5) 热处理工艺设计

1) 淬火: 在彻底脱氧的 RDM-20-8 型盐浴炉中于 830 ~ 850°C 加热透烧后, 在质量分数为 45% 水玻璃 + 5% NaOH 的水溶液中冷却 12 ~ 14s 后转入油槽中继续冷却。

2) 高温回火: 在 RJ2-25-6 型低温井式电阻炉中 550 ~ 570°C 加热 2.5 ~ 3h 后空冷。

3) 高频感应淬火: 采用旋转淬火法, 其感应加热频率为 250 ~ 275kHz 加热温度为 870 ~ 900°C, 浸水冷却; 感应器高度为 32mm; 加热后立即移至水槽中冷却。

4) 低温回火: 在 RJ2-25-6 型低温井式电阻炉中于 180 ~ 200°C 加热 1.5 ~ 2h 后空冷。

(6) 处理结果 表面硬度为 58 ~ 60HRC; 其余部分硬度为 25 ~ 27HRC。

### 2. 夹具齿轮轴的热处理工艺设计

(1) 所用材料 图 9-14 所示为夹具齿轮轴, 其材料为 45 钢。

(2) 热处理技术要求

1) 整体淬火后硬度为 32 ~ 35HRC。

2) 直线度误差  $\leq 0.15\text{mm}$ 。

(3) 制造工艺路线 从热轧圆钢下料→机械加工(粗车预留磨削余量) → 钳工划线并铣削键槽 → 铣齿 → 淬火 → 回火 → 磨削外圆 → 成品。

(4) 热处理工艺性分析 45 钢整体淬火时, 在水中冷却的变形和开裂敏感性较强, 在油中冷却, 其硬化效果较差。因此, 需考虑合适冷却介质, 例如冷却能力介于水与油之间的“三硝”水溶液或水玻璃氢氧化钠水溶液等。同时, 相应的淬火加热温度应高些(如采用高温快速加热, 更加有利)。

#### (5) 热处理工艺设计

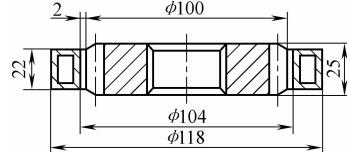


图 9-13 夹具小齿轮

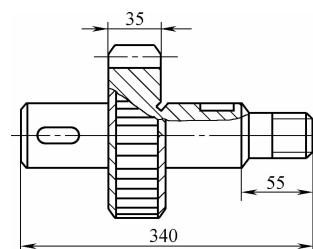


图 9-14 夹具齿轮轴

1) 淬火：在彻底脱氧的 RDM-20-8 型盐浴炉中于 950~980℃加热，按齿部厚度 $\times(5\sim6)$ s/mm 计算加热时间，加热后在 120℃的热碱浴中冷却 2.5~3.0min 后空冷。

2) 回火：在 RJ2-25-6 型低温井式电阻炉中于 490~510℃加热 2.5~h 后空冷。

(6) 处理结果 硬度为 30~33HRC；直线度误差为 0.08mm。

### 9.2.3 夹具弹性零件热处理工艺设计

#### 1. 弹性套的热处理工艺设计

(1) 所用材料 图 9-15 所示为弹性套，其材料为 60Si2Mn 钢。

(2) 热处理技术要求

1) 整体淬火后硬度为 52~56HRC。

2) 变形（连接量去除后各开口尺寸误差） $\leq 0.20$ mm。

(3) 制造工艺路线 从热轧圆钢下料→车削全形（外圆预留磨削余量）→钳工划线并钻削 8 个直径为 4mm 的孔→铣削 8 个宽度为 2mm 的各槽（各槽口预留 3mm 的连接量）→淬火→去应力回火→磨削外圆→去除各槽口的连接量并收缩两端的夹紧口→定型处理兼最终回火→发蓝处理→成品。

(4) 热处理工艺性分析 该弹性套是机床夹具所用弹性件之一。工作时需要良好的弹性和一定的耐磨性。以往的经验证明，其淬火后变形无一定规律，槽口胀缩不一。因此，在各开口处预留连接量。此外，为了具有良好的弹性，弹性套需整体淬透；为减小变形应采用热应力较小的淬火冷却介质进行淬火。

#### (5) 热处理工艺设计

1) 淬火：在彻底脱氧的 RDM-20-8 型盐浴炉中于 880~900℃加热，透烧后在 120℃的热碱浴中冷却 2.5~3.0min 后空冷到室温。

2) 去应力回火：在 RJ2-25-6 型低温井式电阻炉中于 260~280℃加热 0.5~1h 后空冷。

3) 定型处理兼最终回火：用铁丝捆绑两端夹紧槽口到技术要求尺寸，在 RJ2-25-6 型低温井式电阻炉中于 360~380℃加热 2.5~3h 后空冷。

(6) 处理结果 硬度为 52~54HRC；两端夹紧口尺寸合格。

#### 2. 送料夹头的热处理工艺设计

(1) 所用材料 图 9-16 所示为送料夹具，其材料为 60Si2Mn 钢。

(2) 热处理技术要求

1) 夹紧部分热处理后硬度为 58~62HRC；弹性部分硬度为 38~43HRC；尾部

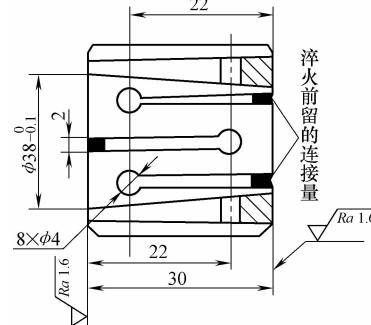


图 9-15 弹性套

螺纹部分硬度为 20 ~ 30HRC。

2) 变形 (连接量去除后各开口尺寸误差)  $\leq 0.20\text{mm}$ 。

(3) 制造工艺路线 从热轧圆钢下料→车削全形 (外圆预留磨削余量) → 钳工划线确定各槽口位置并钻削 18mm 段的通孔→铣削各开口槽 (各端头预留 3mm 的连接量) → 钳工精修各开口槽和除毛刺、倒角→淬火→去应力回火→磨削外圆→去除各槽口的连接量并收缩一端的夹紧口→定型处理兼最终回火→发蓝处理→成品。

(4) 热处理工艺性分析 该送料夹头是机床送料夹具所用弹性件之一。工作时需要良好的弹性和一定的耐磨性。以往的经验证明，其淬火后变形无一定规律，槽口胀缩不一。因此，在各开口处预留连接量。此外，为了具有良好的弹性，弹性套需整体淬透；为减小变形应采用热应力较小的淬火冷却介质，如热油、熔融硝盐或热碱浴等进行淬火冷却。

#### (5) 热处理工艺设计

1) 淬火：在彻底脱氧的 RDM-20-8 型盐浴炉中于 880 ~ 900℃ 加热，透烧后在 120℃ 的热碱浴中冷却 2.5 ~ 3.0min 后空冷到室温。

2) 去应力回火：在 RJ2-25-6 型低温井式电阻炉中于 260 ~ 280℃ 加热 0.5 ~ 1h 后空冷。

3) 定型处理兼最终回火：用铁丝捆绑两端夹紧槽口到技术要求尺寸。先将尾部和螺纹部分浸入 800℃ 的 RDM-20-8 型盐浴炉中快速回火（防止热量影响头部），螺纹部分达 750 ~ 800℃ 后，立即将弹性段浸入盐浴中，保温时间按有效厚度 8 ~ 10s/mm 计算，进行定型处理兼最终回火。

(6) 处理结果 头部硬度为 58 ~ 60HRC；弹性部分硬度为 40 ~ 43HRC；尾部螺纹部分硬度为 25 ~ 30HRC。

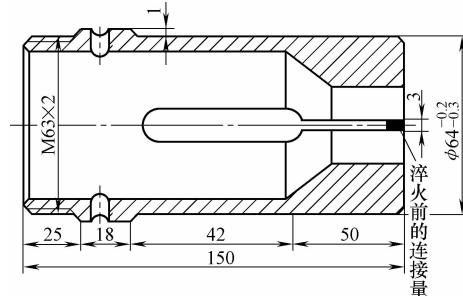


图 9-16 送料夹头

# 第 10 章 大型机械零件热处理工艺设计实例

## 10.1 冶金机械典型件热处理工艺设计实例

### 10.1.1 轧钢机用典型轧辊热处理工艺设计

轧钢机所用轧辊按被轧制材料的温度，分为热轧辊和冷轧辊两大类。其中，热轧辊又分为开坯轧辊、型钢轧辊和板带材轧辊；冷轧辊分为冷轧钢材用轧辊、冷轧非铁金属用轧辊、冷轧特种合金用轧辊等。轧辊工作时承受巨大冲击和轧制力的作用，热轧辊还受到炽热钢锭加热和被强制冷却的作用等。因此，冷、热轧辊都必须具有高的强度和韧性，以确保工作过程轧辊不断裂和耐磨损，以便确保一定的使用寿命。热轧辊还需要良好的抗热裂性。此外，轧辊需要有良好的表面质量，以便保证轧制的半成品或成品表面粗糙度要求。下面，主要介绍轧辊的选材、热处理技术要求、制造工艺路线及热处理工艺设计。

#### 1. 热轧辊的选材及其热处理工艺设计

(1) 热轧辊的选材 常用的热轧辊材料及其力学性能如表 10-1 所示。

表 10-1 热轧辊用钢及其力学性能

钢牌号	表面硬度 HBW	$R_m/\text{MPa}$	$R_{eL}/\text{MPa}$	$A (\%)$	$Z (\%)$	$a_K/(J/cm^2)$
60CrMnMo	229 ~ 302	932	490	9	25	24.5
50CrNiMo	217 ~ 286	755				
50CrMnMo	229 ~ 302	785	441	9	25	24.5

(2) 热轧辊制造工艺路线 锻造→预备热处理（正火和高温回火）→机械加工（粗车全形，预留精车加工余量 10~15mm）→调质（淬火+高温回火）→清理（去除氧化皮和油污）→精车全形（达图样精度要求）→成品。

(3) 热轧辊毛坯的预备热处理工艺 旨在消除锻造应力、细化晶粒和改善可加工性。如果炼钢时，钢的氢含量较高，则其预备热处理还应兼顾到去氢的作用，即延长去氢时间，以防止白点形成。由于这三种热轧辊用钢的过冷奥氏体稳定性较强，退火很难均匀地彻底软化，因此，热轧辊的预备热处理往往用正火+高温回火来达到预期效果。

正火和高温回火工艺过程为：毛坯锻造后空冷到 600℃左右，及时装入温度为 600~650℃的 RT2-180-9 型台车式电阻炉中进行均热，然后将炉温升至 850~870℃

进行保温透烧，随后拉出台车空冷（直径较大或装炉量较多时，可吹风冷却），待锻件毛坯冷却到300~350℃，及时将台车推入炉内并将炉温升至640~660℃加热，保温透烧后稍开炉门使炉温较快降至400℃左右关闭炉门，并随炉缓冷到200~300℃出炉。整个操作过程的各段保温时间和升、降温速度视辊身直径大小而定，工艺曲线如图10-1所示。

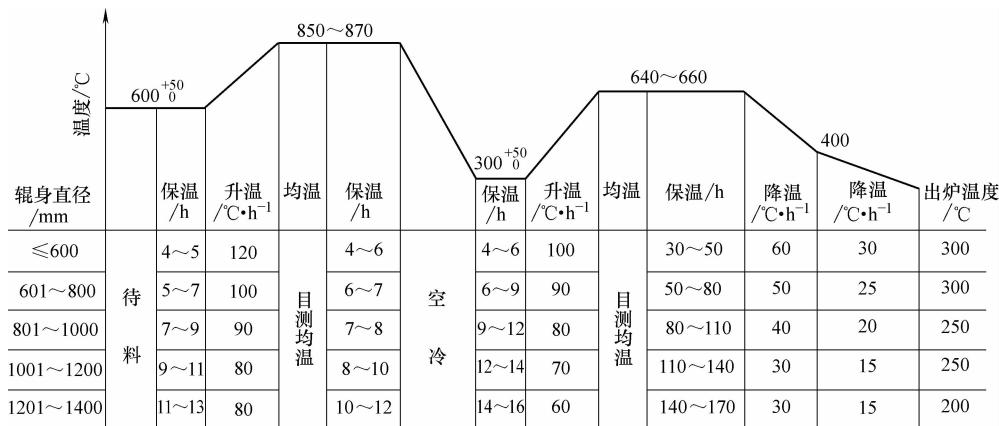


图10-1 热轧辊毛坯的锻后热处理工艺曲线

(4) 热轧辊的最终热处理工艺 最终热处理旨在满足热轧辊使用时所需要的各种力学性能和耐磨性；为确保成品热轧辊的表面层为细珠光体或索氏体组织，其最终热处理为调质处理，即淬火+高温回火。

1) 淬火和高温回火工艺过程为：将机械加工的半成品，装入温度为350~400℃的RT2-180-9型台车式电阻炉中进行均热，然后将炉温升至650~660℃进行预热透烧，随后炉温升至820~850℃加热，保温透烧后，拉出台车，将轧辊垂直吊入油中淬火冷却，当轧辊冷却到300℃左右提出来，靠内部余热将其表面残油烧净后，及时放入300~350℃的台车炉内进行均热，随后将炉温升至600~650℃保温透烧，然后随炉冷却到250~300℃出炉。整个操作过程的各段保温时间和升、降温速度视辊身直径尺寸而定，如图10-2所示。

2) 最终热处理结果：同炉处理的试样组织为细珠光体+索氏体；硬度为28~35HRC。

## 2. 冷轧辊的热处理工艺设计

(1) 冷轧辊的选材 常用的冷轧辊材料有9Cr2、9Cr2Mo、9Cr3Mo和85CrMoV等钢。

(2) 冷轧辊制造工艺路线 毛坯锻造→预备热处理→粗加工（预留10~15mm的后序加工余量）→调质处理→半精加工（预留3~5mm的后序加工余量）→最终热处理→精加工（精车和粗磨，预留0.3~0.5mm的精磨余量）→精磨→成品。

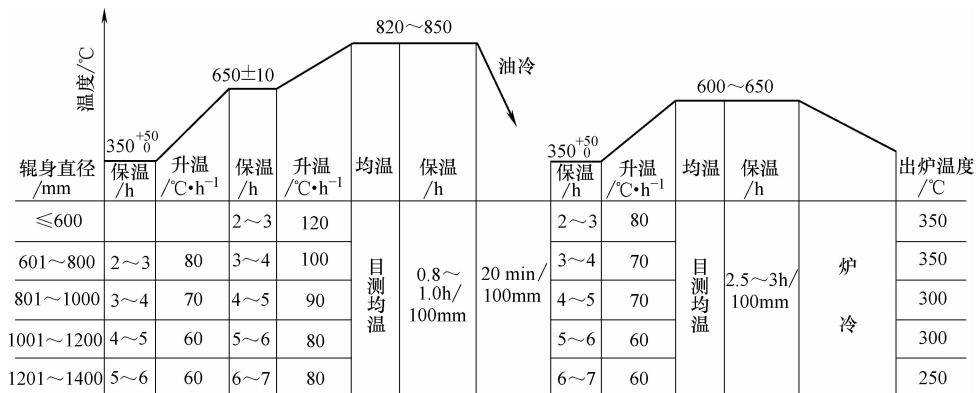


图 10-2 热轧辊的最终热处理工艺曲线

### (3) 冷轧辊毛坯的预备热处理工艺

1) 退火和高温回火：毛坯预备热处理的工序流程与热轧辊的基本相同，但由于碳含量较高，则为退火而不是正火。整个操作过程的各段加热温度、保温时间和升、降温速度视锻件直径尺寸而定，如图 10-3 所示。

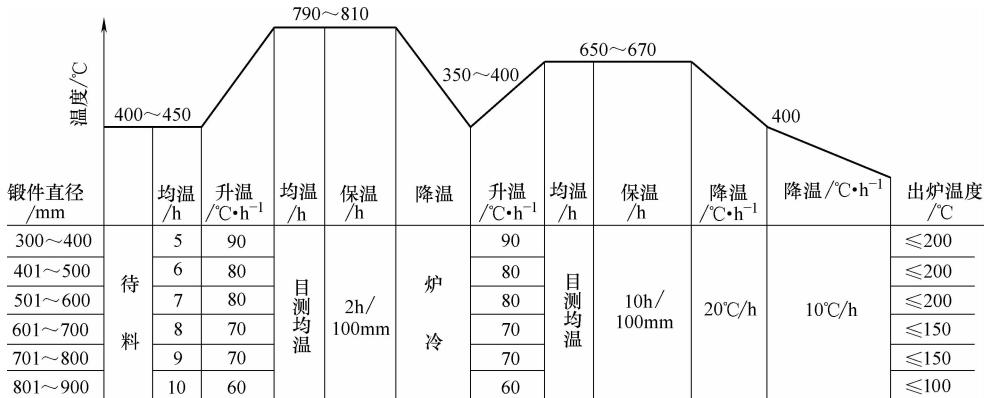


图 10-3 冷轧辊毛坯的锻后热处理工艺曲线

2) 预备热处理结果：硬度为 230 ~ 280HBW。

(4) 冷轧辊半成品的调质处理工艺 旨在彻底消除网状碳化物，并使碳化物得到细化和获得细珠光体或索氏体组织，为最终热处理奠定良好的组织基础。

1) 调质工艺曲线如图 10-4 所示。

2) 半成品调质结果：同炉处理的试样组织为细珠光体 + 索氏体；硬度为 28 ~ 35HRC。

### (5) 冷轧辊最终热处理技术要求

1) 不同级别和直径的冷轧辊，其表面硬度和硬化层深度如表 10-2 所示。

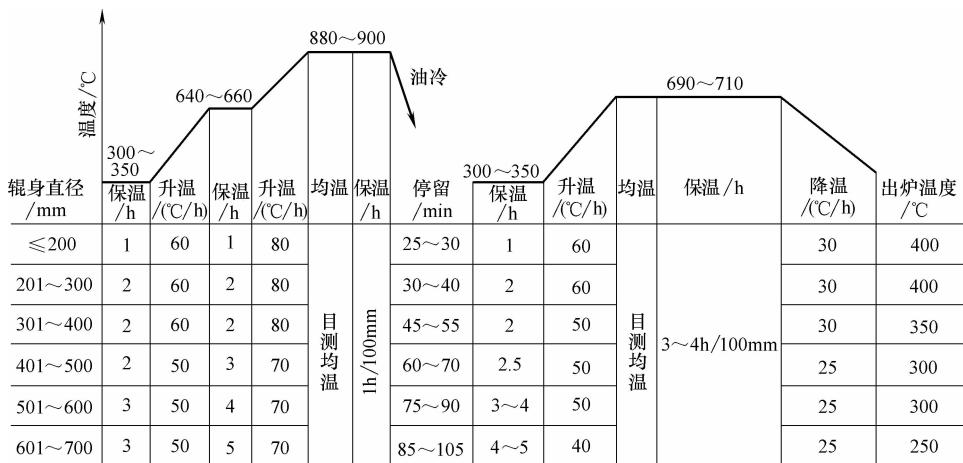


图 10-4 9Cr2Mo 钢制冷轧辊的调质工艺曲线

表 10-2 冷轧辊的表面硬度及有效硬化层深度

级 别	辊身表面硬度 HS	辊身有效硬化层深度/mm			辊颈表面硬度 HS
		<φ300	φ301 ~ φ600	φ601 ~ φ900	
I	≥95	6	10	8	35 ~ 50
II	90 ~ 98	8	12	10	
III	80 ~ 90	10	15	12	

2) 辊身两端表面软带允许宽度如表 10-3 所示。

表 10-3 辊身两端软带的允许宽度 (单位: mm)

辊身长度	≤600	601 ~ 1000	1001 ~ 2000	≥2000
允许软带宽度 ≤	40	50	60	70

3) 除辊身两端表面软带外, 硬度不均匀性不大于  $\pm 1.5 HS$ 。

(6) 冷轧辊的最终热处理 冷轧辊的最终热处理为淬火和回火。其中, 淬火方法有整体加热淬火、差温加热淬火和感应淬火三种。下面, 以整体加热淬火为例阐述其工艺设计。

整体加热淬火工艺曲线如图 10-5 所示。加热前辊颈要用 (石棉布或耐火泥 + 水玻璃包扎) 进行隔热。安装中心孔通水的冷却导管和隔热罩, 辊身表面涂防氧化脱碳涂料, 整体烘干后装入 RT2-180-9 型台车式电阻炉中按规定的工艺参数进行加热和保温。

在 850 ~ 860℃ 保温后拉出台车, 将导管和软管连接好后, 立即转入水槽中的淬火激冷圈内冷却, 如图 10-6 所示。表 10-4 为淬火时轧辊中心孔的冷却时间。

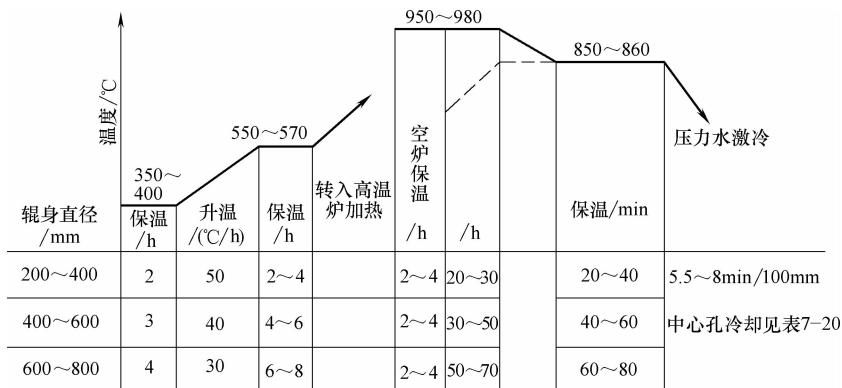


图 10-5 冷轧辊整体加热淬火工艺曲线

注：虚线为辊身表面温度，即表面加热到 850~860°C 后立即降低炉温。

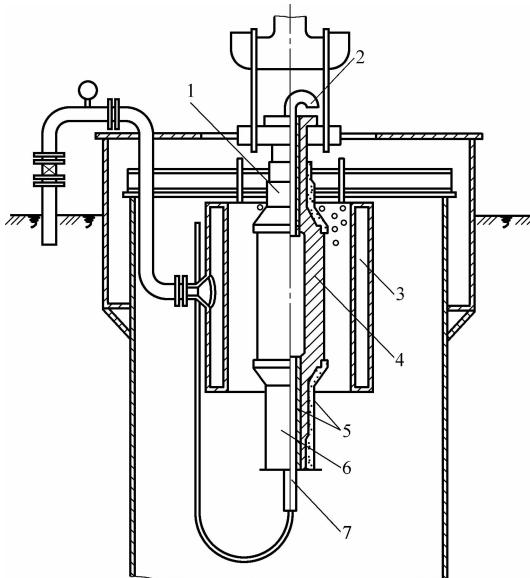


图 10-6 冷轧辊整体淬火冷却装置

1—上部隔热罩 2—上部内孔导水管 3—淬火激冷圈 4—轧辊  
5—隔热材料 6—下部内孔导水管 7—下部隔热罩

表 10-4 淬火时轧辊中心孔的冷却时间

辊身直径/mm	200	250	300	400	500	501~600	601~700	备注
中心孔通水时间/min	2/3, 3/x	2/3, 4/x	2/4, 3/3, 3/x	3/6 4/5 4/x	3/5 3/4 4/3 3/x	3/5 4/4 5/3 6/x	3/6 4/5 5/3 6/x	分子为通水时间，分母为停水时间，x 为停水后不再通水

## 10.1.2 大型重载零件化学热处理工艺设计

随着大型重载机械对其零件的性能要求不断提高，化学热处理（主要是渗碳和渗氮等）在大型齿轮、齿轮轴和其他大型耐磨、耐压零件方面的应用日益广泛。下面，以大型重载齿轮为例，阐述其深层渗碳的热处理工艺设计。

### 1. 大型重载齿轮的渗碳技术要求

- 1) 渗碳层深度：按大型重载齿轮模数的 0.15 ~ 0.25 倍计算。
- 2) 硬化层过渡区中的切应力与抗剪强度之比不得大于 0.55。
- 3) 齿轮渗碳层碳含量（质量分数）为 0.75% ~ 0.95%。
- 4) 齿轮硬度：表面硬度分四级，分别为 58 ~ 62HRC；55 ~ 60HRC；54 ~ 58HRC；52 ~ 56HRC。心部硬度为 30 ~ 46HRC。

5) 渗碳层组织：碳化物颗粒呈球状或接近球状，且直径小于  $1\mu\text{m}$ ，并均匀分布。渗层至心部应平缓过渡，即自含碳质量分数为 0.4% 处到心部组织的深度应占整个渗碳层的 30% 左右。同时，心部晶粒度应低于 6 级。

### 2. 大型重载齿轮制造工艺流程

大型重载齿轮制造的工艺流程为：毛坯锻造→球化退火→机械加工成形→渗碳淬火→回火→成品。

### 3. 大型重载齿轮渗碳所用设备和渗碳方法及其工艺参数的设计

目前，大型重载齿轮的深层渗碳方法和所用设备，比较成熟的有以下两种。

(1) 在大型气体渗碳炉中采用滴注渗剂（如煤油 + 甲醇或丙酮 + 三乙醇胺等）的渗碳法

1) 渗碳过程及其工艺参数：以 20CrNi2Mo 钢制大型人字齿轮的深层渗碳为例，其工艺曲线如图 10-7 所示。

2) 回火：在同样炉中于 180 ~ 200℃ 加热透烧后空冷

3) 处理结果：有效硬化层深度为 6mm；齿面硬度为 75 ~ 77HS。

(2) 在普通台车炉、井式炉、罩式炉中进行的涂覆（膏剂）渗碳法

1) 以 20CrNi2Mo 钢制直径  $\phi 1659\text{mm}$  大型齿轮（要求渗层 4 ~ 5mm）为例，在加宽的 RT2-180-9 型台车式电阻炉中进行渗碳。

2) 渗剂的配制（质量分数）：30% 炭黑粉 + 3% 碳酸钠 + 2% 醋酸钠 + 25% 全损耗系统用油 + 40% 柴油，将原料混合成均匀的膏状。

3) 涂覆操作：将齿轮渗碳部分除锈去油后，用毛刷涂覆膏状渗碳剂（不流淌为准）并用氧-乙炔焰烘干，反复多次，直至厚度达 10 ~ 12mm 为止。

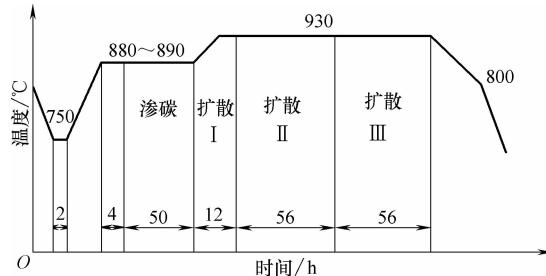


图 10-7 20CrNi2Mo 钢制大型人字齿轮的深层渗碳工艺曲线

- 4) 产前准备: 将涂覆好渗剂的齿轮装入浅盘中, 并用新铸铁屑全部掩埋。
- 5) 渗碳过程和渗碳工艺参数, 以 20CrNi2Mo 钢制  $\phi 1659\text{mm}$  大型齿轮深层渗碳为例, 其工艺曲线如图 10-8 所示。
- 6) 回火: 在同样炉中于  $180 \sim 200^\circ\text{C}$  加热透烧后空冷
- 7) 处理结果: 有效硬化层深度为  $4.6\text{mm}$ ; 齿面硬度为  $57 \sim 60\text{HRC}$ ; 同炉试样检测: 渗层为细针状回火马氏体 + 1~2 级的碳化物 + 少量残留奥氏体, 心部为板条马氏体 + 少量铁素体。

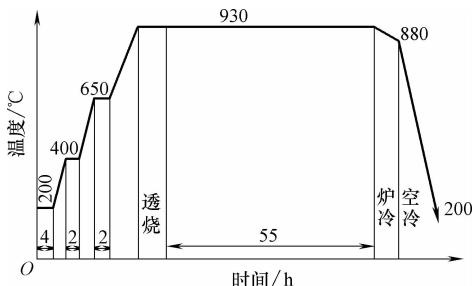


图 10-8 20CrNi2Mo 钢制  $\phi 1659\text{mm}$  大齿轮涂覆渗碳工艺曲线

### 10.1.3 大型铸、锻件热处理工艺设计

#### 1. 大型锻件的热处理工艺设计

近年来, 大型锻件的正火和淬火, 采用快速加热技术取得了一定成效, 不仅明显提高其生产效率, 而且大大节约能耗。其中, 人们最关心的是锻件的内外温差和内应力大小。表 10-5 所示为三种合金结构钢大锻件快速加热时最大拉应力的理论计算值。表 10-6 为几种合金钢大锻件快速加热时的内外温差。

表 10-5 三种合金结构钢大锻件快速加热时最大拉应力的理论计算值

钢牌号	直径/mm	炉温/℃	最大拉应力/MPa
40Cr	$\phi 400$	850	470
		950	620
40CrNi	$\phi 600$	850	640
		950	700
34CrNi3Mo	$\phi 800$	850	640
		950	750

表 10-6 几种合金钢大锻件快速加热时的内外温差

钢牌号	9Cr	34CrNi3Mo	9Cr	50Mn	34CrNi3Mo	40Cr	40CrNi
工件直径/mm	$\phi 100$	$\phi 250$	$\phi 300$	$\phi 460$	$\phi 600$	$\phi 650$	$\phi 800^②$
炉温/℃	960 ~ 980	960 ~ 980	960 ~ 980	960 ~ 980	850	960 ~ 980	850
表面和心部最大温差/℃	300	190 <sup>①</sup>	330	310	300 <sup>③</sup>	295	300 <sup>③</sup>
最大温差时表面温度/℃	500	410	450	490	450	460	400
最大温差时心部温度/℃	200	220	120	180	150	165	100

(续)

钢牌号	9Cr	34CrNi3Mo	9Cr	50Mn	34CrNi3Mo	40Cr	40CrNi
最大温差时工件平均温度/℃	350	315	285	335	300	312	250
从开始加热到出现最大温差时的加热时间/min	5.5	14.5	15.5	25	28	50	50

从表 10-6 看出，直径为  $\phi 100 \sim \phi 650\text{mm}$  的锻件无论在炉温为  $850^\circ\text{C}$ ，还是  $960 \sim 980^\circ\text{C}$  加热，表面与心部温差大部分都在  $300^\circ\text{C}$  左右，而且出现最大温差的表面温度约为  $450^\circ\text{C}$ ，心部温度为  $200^\circ\text{C}$  以下，即平均温差为  $200 \sim 250^\circ\text{C}$ 。尽管如此小的温差和应力值，目前大型锻件的快速加热法在生产中广泛应用仍然受到一定限制。主要原因是：一方面考虑化学成分和组织的不均匀性、内部不同程度地存在缺陷；另一方面考虑大锻件的材料成本和加工费用都很高，势必要考虑更可靠的工艺方案等。

目前，我国生产大锻件的主要工厂已经采用热装炉进行正火、淬火和高温回火加热。不同规格的各种钢大锻件的分组及其热处理工艺曲线如图 10-9 所示。形状简单的锻件可采用不经预热而直接装入淬火或正火加热温度的炉中进行“快速加热”。大锻件在电阻炉或燃料火焰反射炉中加热均可。

## 2. 大型铸件的热处理工艺设计

大型铸钢件的强度与锻钢件接近，而且没有氢的危害问题；但有其不足之处，如塑性和韧性较差，且内部组织和化学成分不均匀，导热性较差，甚至存在一定的铸造缺陷等。因此，热处理工艺设计时，应考虑到大型铸件的这些弱点带来的不利影响，如因晶粒粗大和铸造缺陷可能引发热处理裂纹，成分不均匀带来性能不均匀等。

大型铸件的热处理方法主要有预备热处理的扩散退火、软化退火、去应力退火和最终热处理的正火和中、低回火，以及淬火和高温回火（调质）等。确定热处理工艺参数时，可参考相同钢号的过冷奥氏体等温转变图、过冷奥氏体连续冷却转变图和淬透性曲线等。下面，以实例介绍大型铸件的热处理工艺设计。

(1) 零件名称和所用材料 大型齿轮轴所用材料为 ZG35CrMoV。

(2) 零件用途及结构特点 该大型齿轮轴用于 150t 炼钢转炉炉体的  $90^\circ$  翻转。其结构参数：直径为  $\phi 850 \sim \phi 1050\text{mm}$ ，长度为  $3870\text{mm}$ ，重量为  $24.5\text{t}$ ，为不等截面的阶梯轴。

(3) 工作状态和承载特点 从零件结构和用途以及所用材料特点中，可以看出该大型齿轮轴的承载特点为低速重载。因此，该齿轮轴要求具有足够的强度（扭转应力、弯曲应力、切应力与对应的强度比值均不得大于 0.55），并具有一定的塑性和韧性等良好的综合力学性能。

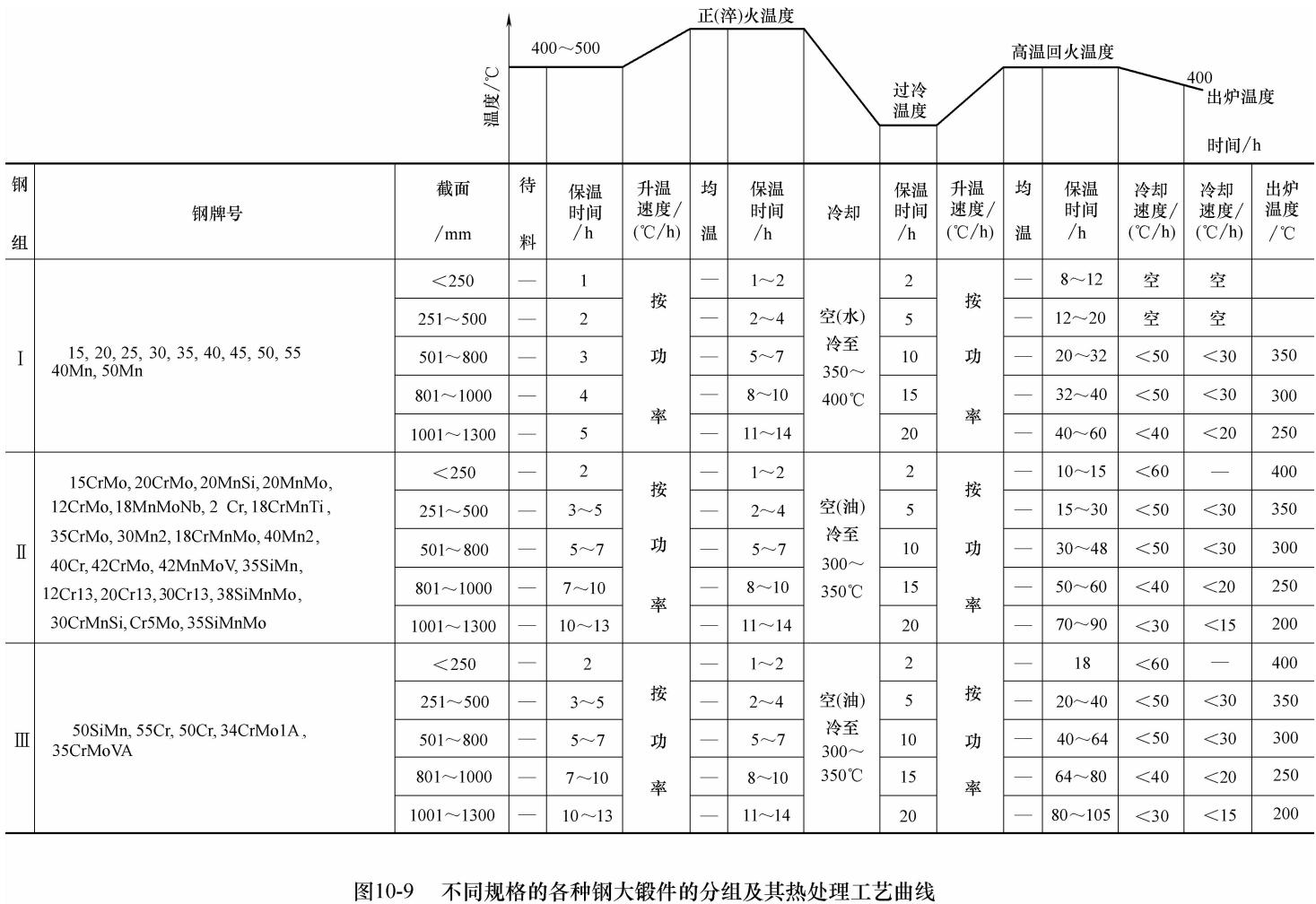


图10-9 不同规格的各种钢大锻件的分组及其热处理工艺曲线

(4) 热处理工艺性分析 该齿轮轴作为低速运转的重载零件以强度为主，兼备一定的韧性和塑性。因此，用ZG35CrMoV钢制造可以满足使用性能要求。同时，ZG35CrMoV钢比同样成分的35CrMoV锻钢的原料成本和加工费用低很多。不过，热处理工艺设计时应考虑到铸态成分和组织的不均匀性会带来性能的不均匀。另外，由于大型铸件存在一定的内部缺陷，热处理加热和冷却过程易于产生较大内应力，甚至裂纹，因此，各种热处理的加热速度和冷却速度均应重点考虑。如果最终热处理是淬火和回火，则淬火前应进行充分退火；如果是调质状态下使用，则调质的淬火加热温度可适当降低些。

#### (5) 热处理工艺方法和工艺参数的设计

1) 热处理工艺方法的确定：为了改善铸态成分和组织的不均匀性，应进行均匀化退火；将调质处理作为该齿轮轴的最终热处理，以获得285~269HBW的硬度较适合其使用性能。

2) 大型齿轮轴的制造工艺路线：均匀化退火→热轧→正火+高温回火→机械粗加工→调质→机械精加工→成品。

3) 热处理工艺参数的设计：均匀化退火工艺曲线如图10-10a所示，调质工艺曲线如图10-10b所示。

4) 所用设备：上述各项热处理工艺方法在RT-90-10型台车式电阻炉中进行。

5) 处理结果：表面硬度为285~269HBW。

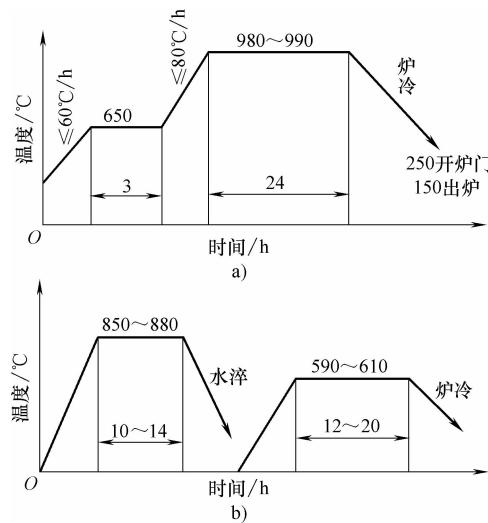


图10-10 150t转炉大型齿轮轴的热处理工艺曲线

a) 均匀化退火 b) 调质处理

## 10.2 发电设备典型件热处理工艺设计实例

### 10.2.1 汽轮机典型件热处理工艺设计

#### 1. 汽轮机叶轮的热处理工艺设计

(1) 汽轮机叶轮失效方式及其用钢 汽轮机叶轮的主要失效方式是末几级叶轮，特别是末级叶轮叶根槽或键槽部分出现应力腐蚀裂纹，当其裂纹达到一定深度后，将导致整个叶轮飞裂。汽轮机的普通叶轮用钢主要有：34CrNi3Mo、35CrMoV、34CrMo1等，要求强度和韧性较高的或特大型叶轮采用30Cr2Ni4MoV钢制造。

(2) 叶轮的制作工艺路线 钢锭开坯→预防白点退火→下料→模锻→正火+

高温回火→粗加工→调质→精加工→成品。

(3) 承载特点分析 由于工作时在高速转动离心力和振动应力的综合作用下，使其承受巨大的切应力和径向应力。叶轮叶根槽和键槽的尖角处还受到应力集中和湿蒸汽环境腐蚀的双重作用等。因此，叶轮要有高的强度，良好的韧性和塑性，以及低的脆性转变温度。

#### (4) 热处理工艺性分析

1) 对于 35CrMoV、34CrMoI 等钢，如果原材料冶炼时未经精炼的真空除气处理，容易产生白点缺陷，所以锻造开坯后应进行 640~660℃的预防白点处理，且锻件从锻后到预防白点处理入炉的停留时间不宜过长，特别是轮缘温度不得低于 350℃。

2) 由于汽轮机叶轮结构比较复杂，且其多处壁厚不一，加之所用钢种导热性较差等原因，热处理过程均应控制其加热和冷却速度以及冷却的终止温度等。

(5) 叶轮的热处理工艺设计 以 34CrNi3Mo 钢制直径为  $\phi 1146\text{mm}$  的叶轮为例，阐述其热处理工艺方法和参数的设计。

1) 34CrNi3Mo 钢制叶轮毛坯的预备热处理。拟采用正火 + 高温回火：将锻件直接装入已加热到 600~650℃的大型台车式电阻炉中，保温透烧后拉出台车空冷到表面温度为 280~320℃后推入台车并在该温度下透烧，然后缓慢加热到正火温度，透烧后再拉出台车进行空冷，待温度达 280~320℃后缓慢加热到高温回火温度进行保温透烧，随后炉冷到 400℃左右，再控制更慢的速度冷至 250℃以下出炉。

上述预备热处理全过程的工艺曲线如图 10-11 所示。

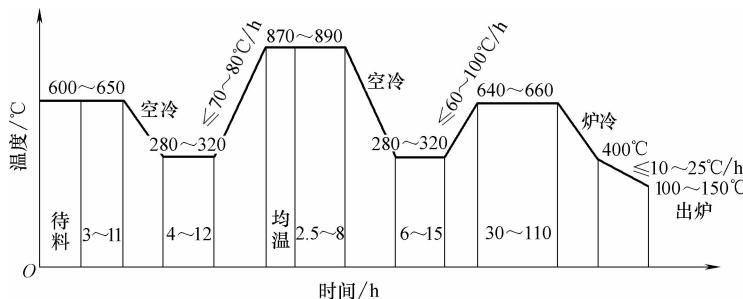


图 10-11 34CrNi3Mo 钢制叶轮毛坯的预备热处理工艺曲线

2) 34CrNi3Mo 钢制叶轮的最终热处理。根据该叶轮的使用性能要求，拟将调质处理作为其最终热处理方法，即将粗加工好的半成品装入 350℃的大型台车炉中保温透烧后升温到 630~670℃，透烧后继续升温到淬火温度并保温透烧，随后拉出台车，将叶轮浸入油中冷却，待叶轮温度达 150℃左右出油。残油靠余热自然烧干后，及时装上台车，在 330~370℃保温透烧，随后升温到高温回火温度，并保温透烧后缓慢冷却到 250℃以下出炉。

上述的调质处理全过程的工艺曲线如图 10-12 所示。

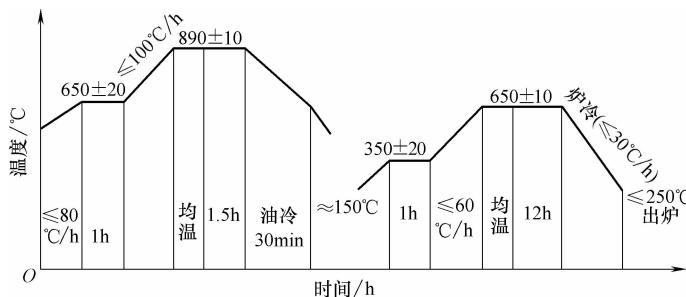


图 10-12 34CrNi3Mo 钢制叶轮的最终热处理工艺曲线

## 2. 叶轮的处理结果

叶轮最终热处理后，同炉处理的试样力学性能如表 10-7 所示。

表 10-7 34CrNi3Mo 钢制叶轮的力学性能

状态	$R_{p0.2}/\text{MPa}$	$R_m/\text{MPa}$	$A(\%)$	$Z(\%)$
调质后	780	965	15	45

## 10.2.2 锅炉构件及输气管热处理工艺设计

### 1. 锅炉构件的组成

锅炉构件是由锅炉本体、耐火炉墙、钢构架、辅助设备及其附件等组成的，其中最主要的组成件是构成锅炉本体的钢结构件（汽包、构架和外壳等）和组成受热面的各种钢管（水冷壁、过热器、再热器和省煤器等用管）。

### 2. 锅炉构件的主要组成方法

锅炉构件的组成方法，主要是钢板和钢管的弯曲加工工艺和焊接工艺等。与此相应的锅炉构件主要材料是既能满足使用性能要求，又能符合焊接工艺性和弯曲工艺性要求的各种钢板和钢管。

### 3. 锅炉构件的热处理工艺设计

锅炉钢管构件和锅炉钢板构件的热处理方法及其工艺参数，分别如表 10-8 和表 10-9 所示。

表 10-8 锅炉钢管构件的热处理方法及其工艺参数

钢 种	弯制加工后的热处理	焊接后的热处理
20MnG	钢管外径大于 $\phi 159\text{mm}$ 、壁厚大于 22mm 或弯曲半径小于管子外径的 4 倍冷弯后在 900 ~ 930°C 正火处理	壁厚大于 19mm 时，焊后 593 ~ 677°C 去应力处理；小于 19mm 者焊后不热处理

(续)

钢 种	弯制加工后的热处理	焊接后的热处理
25MnG (SA-210C)	壁厚大于19mm, 或壁厚虽小于19mm, 但弯曲半径小于钢管外径的2.5倍冷弯时, 或热弯半径小于外径的1.5倍时, 都需进行593~690℃的去应力热处理	壁厚小于19mm的钢管焊前不用预热, 焊后不热处理; 但大于19mm者除外
15Mo3	以通常冷加工度弯曲、冷扩口和冷拔加工后, 钢管不需进行热处理 冷加工度大时应采用910~940℃正火	焊后一般不需热处理, 当壁厚大于20mm时, 焊后530~620℃去应力退火
20MoG (SA-209T1a)	冷、热弯后采用870~980℃正火处理	钢管外径小于102mm, 壁厚小于12.7mm时, 焊前不用预热, 焊后不用回火
15CrMo钢管	该钢有良好的冷态变塑性, 可以进行各种弯曲半径的冷弯	壁厚大于10mm时, 焊件焊后于680~700℃去应力处理
12Cr2Mo (T22、P22)	小口径厚壁管冷弯后, 700~750℃消除应力; 大口径主蒸汽管1000℃上限热弯后900~960℃正火, 700~750℃回火处理; 850℃下限温度热弯后采用700~750℃回火处理	外径大于51mm、壁厚超过8mm的管, 焊后需700~750℃回火处理
12Cr1MoV	弯制后热处理要求与12Cr2Mo类似	焊前200~250℃预热, 焊后700~740℃消除应力处理
12Cr2MoWVTiB (G102)		气焊后1000~1030℃正火及760~780℃回火; 壁厚大于6mm手工电弧焊前预热、焊后760~780℃回火; 碰焊后780℃加热炉冷至400℃以下空冷
12Cr3MoVSiTIB (Ⅱ11)钢管	弯管性能良好	气焊、闪光对接焊、手工电弧焊后采用740~770℃回火处理
10Cr5MoWVTiB (G106)	钢管具有良好的冷弯性能, 可进行各种弯曲半径的冷弯, 弯头处塑性变形均匀	手工焊焊前预热, 焊后760~780℃回火; 气焊焊后需采用1000℃正火, 770℃回火处理
10Cr9Mo1VNb (T91, P91)	冷变形量大于10%或弯管半径小于三倍的钢管直径时, 需进行730℃以上加热温度的回火处理	厚壁管焊前200℃预热, 焊后750℃消除焊接应力处理
1Cr19Ni11Nb (TP347H)		钢管焊接后要求进行1180℃的固溶处理

表 10-9 锅炉钢板构件的热处理方法及其工艺参数

钢牌号	冷热成形后的热处理	焊接后的热处理
20G	有良好的冷热成形性能。板厚小于46mm时可采用冷成形；板厚大于46mm时，加热到950~1000℃热成形	一般情况下，焊前不预热，焊后不热处理；壁厚和刚性较大的部件，焊前预热到100~150℃，焊后进行600~650℃的去应力处理；电渣焊后进行900~930℃的正火处理
16MnG	热冲压同时作为正火处理时，冲压加热温度为900~990℃，终压温度应大于850℃。热卷加热温度为900~1000℃	厚度大于25mm的钢板，焊前100~150℃预热，焊后应进行600~650℃的去应力处理；电渣焊后一般采用900~930℃正火加600~650℃回火处理
19Mn6	热卷后正火加热温度900~940℃；封头冲压兼正火加热温度为920~960℃，终冲温度大于等于800℃	电渣焊后进行900~940℃正火处理；汽包整体焊后，560~590℃消除焊接应力
SA299	203封头：冷校前中间热处理温度为620℃；中间去应力退火处理温度为580℃；最终去应力退火处理温度为620℃ 210mm汽包筒节：正火兼校圆加热温度为900~950℃；去应力退火温度为605~620℃，炉冷至300℃空冷	焊后去应力热处理温度为600~650℃
13MnNiMoNb (BHW35)	钢板热卷后正火校圆温度900~940℃，回火温度为640~660℃。去应力退火温度为530~600℃	焊条电弧焊、自动焊后于580~610℃消除应力；电渣焊后900~940℃正火加640~660℃回火处理
15NiCuMoNb5 (WB36)	有良好的热成形性能，热成形温度为850~1000℃。冷成形性能良好，当变形量大于5%时需经530~620℃去应力处理	焊接性能良好。焊前预热温度为150~200℃，焊后于530~620℃去应力处理
12Cr1MoV	1000~1050℃加热后热成形，终止温度为850℃，冷加工后一般于720~760℃回火处理	焊前预热至200~300℃，焊后于720~760℃去应力处理

# 第 11 章 农机具典型件热处理工艺设计实例

## 11.1 耕整机械典型件热处理工艺设计实例

### 11.1.1 犁铧热处理工艺设计

#### 1. 犁铧的失效分析

铧尖与刀口受泥沙磨损变钝；或受石块、作物根茬撞击而犁尖折断，刃口崩裂；非淬火区磨薄后弯曲变形；水田中作业犁铧产生腐蚀性磨损，出现凹坑或龟裂等。

#### 2. 犁铧的选材和技术要求

犁铧通常用 65Mn、65SiMnRE、85MnTiRE 钢和稀土球墨铸铁等制造，热处理后要求淬火区（图 11-1）硬度为 48~60HRC，非淬火区硬度≤32HRC。

#### 3. 犁铧的热处理工艺性分析

从犁铧所用材料可以看出，其淬透性较好，整体奥氏体化加热后风冷即可满足淬火区要求的硬度下限，但非淬火区硬度过高，故不宜整体加热风冷淬火。如果局部高频感应淬火，其尖角和刃口容易过热而产生裂纹，且在空气中加热时因碳量烧损将产生硬度不足等缺陷。因此，认为采用盐浴炉局部加热较合理，再适当采取减小变形的措施，可获得较好效果。

#### 4. 犁铧的热处理工艺设计

65Mn 钢等制造的犁铧，按图 11-1 所示淬火区，在盐浴炉中进行局部加热淬火，然后在 160~180℃ 的熔融硝盐浴中冷却，最后在 180℃ 硝盐浴中回火。其热处理工艺方法和工艺参数如表 11-1 所示。

表 11-1 犁铧的热处理方法和工艺参数

材 料	淬火加热			淬火冷却			回火		硬 度 HRC
	设备	温度 /℃	时间 /min	介 质	温 度 /℃	时 间 /min	温 度 /℃	时 间 /h	
65SiMnRE	盐浴炉	850 ± 5	6~8	硝盐 <sup>①</sup>	160~180	60	180	3	48~60

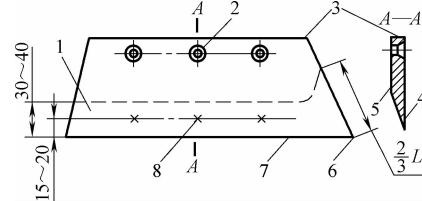


图 11-1 犁铧简图

1—淬火带 2—螺纹孔 3—犁铧  
背部 4—工作面 5—背面  
6—铧尖 7—铧刃 8—测硬度点

(续)

材 料	淬火加热			淬火冷却			回火		硬 度 HRC
	设备	温度 /℃	时间 /min	介质	温度 /℃	时间 /min	温度 /℃	时间 /h	
65Mn	盐浴炉 <sup>b</sup>	850 ± 5	6 ~ 8	硝盐	160 ~ 180	60	180	3	48 ~ 60
85MnTiRE		830 ± 5	6 ~ 8	油 <sup>(2)</sup>	20 ~ 80	—	170 ~ 190	2	52 ~ 61
稀土镁球墨铸铁		880 ~ 900	60	硝盐 <sup>(1)</sup>	280 ~ 310	60	280 ~ 310	4	36 ~ 40

(1) 可用  $\text{KNO}_3$  和  $\text{NaNO}_2$  各 50% (质量分数)。200℃以下使用时可另加 3% ~ 5% (质量分数) 的水。

(2) 各种大型淬火槽均可采用热管冷却技术。

### 5. 处理结果

淬火带硬度为 52HRC；非淬火带硬度为 28HRC。

## 11.1.2 犁壁热处理工艺设计

### 1. 犁壁的失效分析

犁壁耕作时，因受泥沙摩擦而磨损；或因受石块撞击而折断；在水田中作业易产生腐蚀性磨损；有的因脱土性不好导致牵引力大增而失效等。

### 2. 犁壁的选材和技术要求

(1) 犁壁材料 通常用 65Mn、35、Q275 钢制造，也有用 95-Q215-95 三层复合钢板进行试验的，但因存在一些问题而未被推广。

(2) 犁壁技术要求 热处理后在硬度测定点处(图 11-2)的硬度和金相组织应满足表 11-2 所示要求。其余部位和翼部的硬度要求  $\geq 38\text{HRC}$ 。

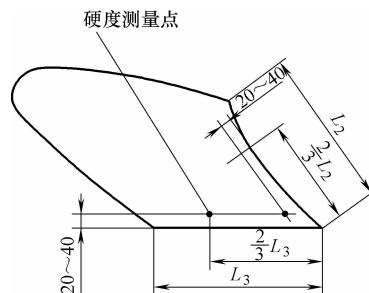


图 11-2 犁壁简图

表 11-2 犁壁材料和热处理技术要求

材 料	硬 度 HRC	金 相 组 织
65Mn 钢	48 ~ 60	回火托氏体及回火马氏体
35 钢	48 ~ 60	板条马氏体和针状马氏体，允许少量托氏体
Q275 钢	48 ~ 60	

### 3. 犁壁的热处理工艺性分析

从图 11-2 可看出，该犁壁具有面积大而厚度薄的特点。因此，淬火变形是关键。另外，35、Q275 钢淬透性很差，淬火必须用水、盐水或碱水溶液冷却，无疑淬火变形将更加严重。因此，需采取有效措施（如大批量生产可采用淬火压床；单件和小批量生产可采用专用夹具等）。65Mn 钢制犁铧，淬透性较好，认为采用热油分级淬火或在熔融硝盐中等温淬火均可满足硬度和变形度等技术要求。

#### 4. 犁壁的热处理工艺设计

热处理工艺方法和工艺参数如表 11-3 所示。

表 11-3 犁壁的热处理方法和工艺参数

材 料	淬 火				回 火		硬 度 HRC
	加热设备	温度/℃	保 温/min	冷 却	温度/℃	保 温/min	
35、Q275	箱式电炉	900 ~ 920	15 ~ 20	淬火压床 10% (质量分数) 盐水	150 ~ 160	60	50 ~ 55
65Mn	盐浴炉	840 ~ 860	5 ~ 6	180 ~ 200℃ 硝盐浴等温 1h	170 ~ 190	180	55 ~ 60
95-Q215-95	箱式电炉	780 ~ 800	15	淬火压床 10% (质量分数) 盐水	170 ~ 190	60	60 ~ 62

#### 5. 处理结果

在硬度测定点处的硬度为 52 ~ 55HRC；其余部分硬度为 40 ~ 42HRC。

### 11.1.3 锄铲热处理工艺设计

#### 1. 锄铲的失效分析

锄铲（图 11-3）的失效形式，主要是铲尖和铲刃受泥土摩擦而严重磨损；或因石块的撞击而损坏。其特点与犁铧的失效相类似。

#### 2. 锄铲的选材和技术要求

(1) 材料选择 不同用途的锄铲（如中耕除草、深层松土、中耕培土、弧形弹柄等的锄铲等），选择不同材料制造。使用最多的是 65Mn 钢。此外，还有 60Si2Mn、Q215 和 45 钢等，不同材料施以不同的热处理方法。

(2) 热处理技术要求 中耕用双翼形深松铲的淬火区硬度  $\geq 48\text{HRC}$ ；非淬火区硬度  $\leq 38\text{HRC}$ 。

#### 3. 锄铲的热处理工艺性分析

不同用途的锄铲大多数是薄壁异形零件。热处理过程预防变形和变形后校平均有一定难度。但所用材料弹簧钢居多，即淬透性较好。因此，认为较厚的锄铲采用热油分级淬火冷却即可确保硬度和变形要求。较小面积而壁薄的锄铲采用熔融硝盐浴等温淬火即可获得满意效果。面积较大且壁薄的锄铲应采用专用胎具或淬火压床淬火才能解决变形问题。

#### 4. 锄铲的热处理工艺设计

几种典型锄铲的热处理工艺方法和工艺参数如表 11-4 所示。

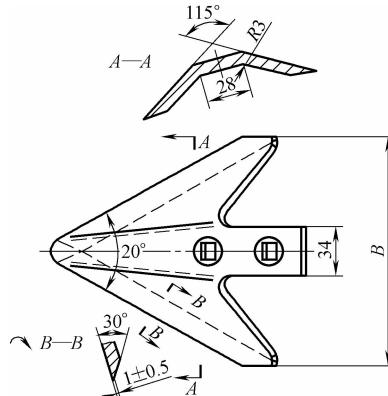


图 11-3 典型的中耕用双翼形深松铲

表 11-4 锄铲的几种典型热处理工艺方法和工艺参数

零件名称	材料	淬火加热	淬火冷却	回火	硬度 HRC
中耕除草铲、松土铲	65Mn	840 ~ 860℃ 盐浴局部加热 3 ~ 4min	160 ~ 200℃ 硝盐等温 1h	180 ~ 200℃, 1 ~ 2h	淬火区 $\geq 48$ 非淬火区 $\leq 38$
	65Mn		油淬	200 ~ 220℃, 1 ~ 2h	
深层松土铲	65Mn	850 ~ 860℃ 盐浴局部加热 5 ~ 6min	160 ~ 200℃ 硝盐等温 1h	180 ~ 200℃, 1 ~ 2h	
	65Mn		油淬	200 ~ 220℃, 1 ~ 2h	
中耕凿形松土铲	45	780 ~ 800℃ 盐浴局部加热 3 ~ 5min	10% 盐水-油	180 ~ 200℃, 2h	
中耕培土板	65Mn	中频炉或箱式电炉 (900 $\pm 10$ )℃ 热透 <sup>①</sup>	压形, 约 800℃ 局部油淬 <sup>②</sup>	200 ~ 220℃, 2h	
渗碳 <sup>③</sup> 或 CN 共渗锄铲	Q215	780 ~ 800℃ 盐浴局部加热 2 ~ 3min	10% 盐水-油	200 ~ 220℃, 2h	
S 形、弧形弹柄	60Si2Mn	900 ~ 950℃ 箱式电炉加热 15 ~ 20min <sup>①</sup>	上压床, 约 860℃ 入油淬火	500 ~ 550℃, 1h 水冷	37 ~ 43

① 箱式电炉加热时, 建议使用 QW-F1 钢材加热保护剂, 不影响压形和油淬。

② 用宽口钳保护螺钉孔周围, 夹着局部淬火。

③ 固体渗碳可用 BaCO<sub>3</sub> 10% ~ 15%, CaCO<sub>3</sub> 5% (均质量分数) 与木炭 (约 5 ~ 10mm 颗粒) 为渗剂 (可买配好的固体渗碳剂), 装箱, 于箱式电炉中 (930  $\pm 10$ )℃ 渗碳, 出炉开箱空冷。

## 11.1.4 旋耕刀热处理工艺设计

### 1. 旋耕刀的失效分析

旋耕刀 (图 11-4) 的失效形式, 主要是刃部受泥土摩擦而严重磨损; 或柄部和刃部因受土块、石块、根茬的撞击而弯曲或损坏。

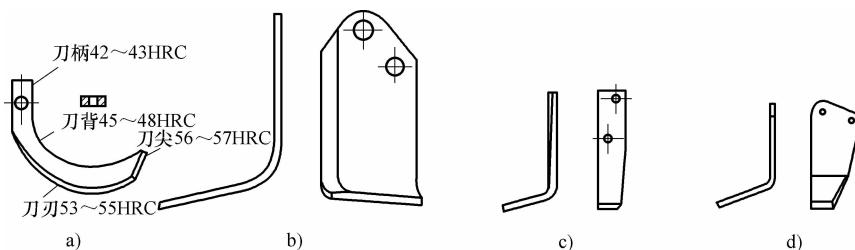


图 11-4 典型的旋耕刀及淬火区

a) 刀座式旋耕刀 b) 刀盘式旋耕刀 c) M I 型灭茬刀 d) M II 型灭茬刀

## 2. 旋耕刀的选材和技术要求

(1) 材料选择 旋耕刀材料一般是 65Mn 和 60Si2Mn 钢。此外，还有 Q215 和 45 钢等，不同材料施以不同的热处理方法。

(2) 热处理技术要求 淬火区硬度  $\geq 48\text{HRC}$ ；非淬火区硬度  $\leq 38\text{HRC}$ 。

## 3. 旋耕刀的热处理工艺性分析

旋耕刀的材料一般为合金弹簧钢。淬火时，采用整体加热后，不易变形的旋耕刀在油中冷却即可；容易变形的旋耕刀在熔融硝盐中等温淬火可获得较好效果。但由于其刃部和柄部硬度不同则需两次回火，如何处理好两次回火温度互不影响两种硬度要求，则值得注意。另外，油中淬火冷却的旋耕刀，应彻底清洗除油后，才可在硝盐浴中回火处理，以防残油燃烧引起火灾，甚或爆炸。

## 4. 旋耕刀的热处理工艺设计

旋耕刀的热处理工艺方法和工艺参数如表 11-5 所示。

表 11-5 旋耕刀的热处理工艺方法和工艺参数

材料	盐浴加热淬火			硝盐等温淬火		回火					硬度 HRC
	温度 /℃	时间 /min	冷却	温度 /℃	时间 /min	次序	设备	温度 /℃	时间 /min	冷却	
65Mn	840 ~ 850	10 ~ 15	油	—	—	1 2 <sup>①</sup>	油浴或 硝盐浴 <sup>②</sup>	200 ~ 220 460 ~ 500	60 5 ~ 10	空冷 水冷	刃部 55 ~ 60
60Si2Mn	870 ~ 880	10 ~ 20	油	—	—	1 2	硝盐浴 <sup>④</sup>	240 ~ 270 <sup>③</sup> 500 ~ 550	60 5 ~ 10	空冷 水冷	
65Mn	850 ~ 860	10 ~ 20	—	280 ~ 300	15	1 2	油浴或 硝盐浴	200 ~ 220 460 ~ 500	60 5 ~ 10	空冷 水冷	柄部 43 ~ 48
60Si2Mn	870 ~ 880	10 ~ 20	—	270 ~ 300	15	1 2	油浴或 硝盐浴	200 ~ 240 500 ~ 550	60 5 ~ 10	空冷 水冷	

① 刀柄因采取较高温度的短时间回火，故需经过试验来确定时间与温度。例如：先根据刀柄厚度估算回火时间需 10min 才能保证热透，则回火温度可根据 10min 回火后，刀柄表面硬度在中、下限（如 43 ~ 45HRC，这时心部会稍高）来确定。

② 油淬和油浴回火后必须彻底洗净，才能进入硝盐浴二次回火。以防油污进入，引起爆炸。

③ 可在带风扇的井式回火炉中回火。

④ 硝盐浴严防超温或局部过热。硝酸钾或硝酸钠单独使用时不得超过 600℃，两种硝盐混合使用时不得超过 550℃。不应用煤或焦炭加热，以防局部过热爆炸。易燃物不得进入硝盐。

## 11.2 收获机械刀片热处理工艺设计实例

### 11.2.1 收割机刀片热处理工艺设计

收割机刀片是谷物、豆、黍和牧草等收获机械的主要零件。一般由活动刀片和固定刀片组成切割副，往复运动进行切割。下面主要介绍这两种刀片的选材及其热

处理工艺设计。

### 1. 收割机刀片的失效分析

收割机刀片的失效形式，主要是刃部受泥土摩擦而严重磨损；或柄部与刃部因受土块、石块、根茬等的撞击而弯曲或损坏。

### 2. 收割机刀片的选材和技术要求

(1) 材料选择及热处理方法 收割机刀片一般选择 T9 钢进行等温淬火，或 45 钢渗硼，或 20 钢碳氮共渗，或 65Mn 钢高频感应淬火等。

(2) 热处理技术要求 淬火部位（图 11-5）硬度：光刃动、定刀片为 50~60HRC；齿刃动、定刀片为 48~58HRC；非淬火区硬度≤35HRC。

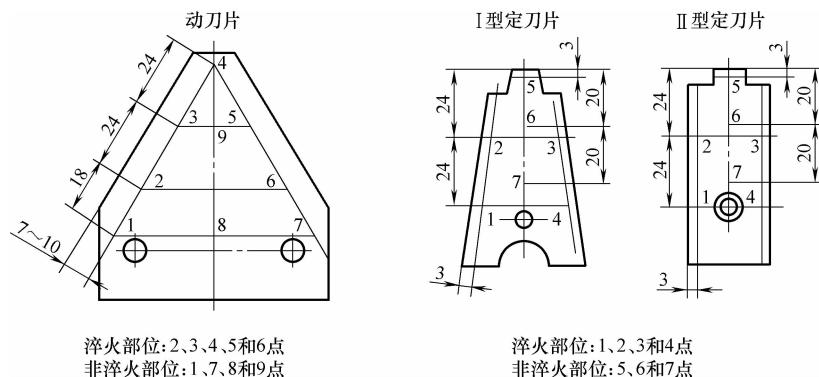


图 11-5 典型的收割机刀片简图和淬火区及测定部位

### 3. 收割机刀片的热处理工艺性分析

在确定材料和相应的热处理工艺方法时值得指出，渗硼和碳氮共渗仅适用于定刀片。动刀片渗硼或碳氮共渗后淬火变形大，应慎重采用。此外，农机具采用渗硼在行业中还有争议，有人认为硬脆的细小硼化物混入谷物中会污染食品等不利于人类健康等。

### 4. 收割机刀片的热处理工艺设计

收割机刀片的热处理工艺方法和工艺参数如表 11-6 所示。

表 11-6 收割机刀片的热处理工艺方法和工艺参数

材料	淬 火 <sup>①</sup>				回 火		硬度 HRC
	设备	预热温度/℃	淬火温度/℃	冷 却 <sup>②</sup>	温度/℃	时间	
T9	GP60	570~600	880~900	230~250℃ 硝盐 60min	220~240	60min	55~58
65Mn	高频炉 <sup>③</sup>			260~280℃ 硝盐 60min			53~57

① 高频感应加热时刀片采用人工上料，自动推进。淬火加热用两个并联感应圈，第一感应圈用于预热，进入第二感应圈完成最后加热。预热与加热共约 3s。加热完毕刀片自动落入等温淬火槽内。

② 硝盐等温淬火槽内放 6 个铁丝料筐，由电动机带动每 10min 转 60°角，60min 转完一周。取出筐内刀片，空冷到室温后热水清洗。

## 11.2.2 剪毛机刀片热处理工艺设计

### 1. 剪毛机刀片的失效分析

剪毛机是由上、下刀片组成剪切副，在加压状态下不断高速（3000 次/min）往复摆动，完成对细软羊毛的剪切。因此，要求刀片十分锋利，且上、下刀片刃口要适当加压使其紧密贴合才能顺利剪毛。由于上、下刀片刃口不断切削和凿削，除造成其卷刃、崩刃和刀口疲劳断裂外，刃面还受磨粒划伤与粘着磨损以及清洗液的腐蚀磨损等导致失效。

### 2. 剪毛机刀片的选材和技术要求

(1) 材料选择及热处理工艺方法 剪毛机刀片材料一般选择 Cr04、Cr06 和 T12J 钢施以分级淬火或油冷淬火；或 08F、20 钢碳氮共渗淬火等。

#### (2) 热处理技术要求

1) 表面硬度：图 11-6 所示刀片硬度应为 61~64HRC（羊毛中含砂量较多的情况下，硬度取中、下限为宜；碳氮共渗刀片硬度应≥63HRC）。

2) 金相组织：以隐晶马氏体或细针马氏体为主和适量的残留奥氏体，以及没有或极少量分布均匀的细粒状碳化物。

### 3. 剪毛机刀片的热处理工艺性分析

尽管剪毛机刀片形状较复杂，但采用分级或等温淬火，并不难满足技术要求。此外，值得推荐的还是以下三种工艺方法：

1) 上刀片采用低碳钢碳氮共渗后淬火，不仅耐磨性好，还具有较好的耐冲击能力；而下刀片仍采用工具钢常规淬火，保持很好的耐磨性，且生产费用低。

2) 对刀片采用氮碳共渗淬火（“N. M.” 处理）获得含氮马氏体，可兼顾刃部不崩刃和刃面不划伤，使刀片寿命大幅度提高。

3) 对轧制后空冷获得的细片状索氏体的工具钢板进行高温回火（“G. S.” 处理），使细片状碳化物不完全球化，淬火后形成“姜块状”碳化物，弥散强化效果好。试验表明，可有效提高其耐泥沙的颗粒磨损能力。

### 4. 剪毛机刀片的热处理工艺设计

不同材料制造的剪毛机刀片，其材料成分及热处理工艺方法和工艺参数如表 11-7 ~ 表 11-10 所示。

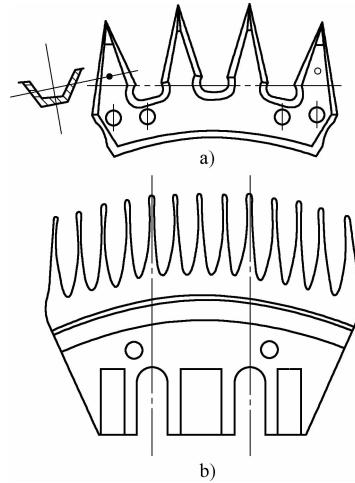


图 11-6 典型的剪毛机刀片

a) 上刀片 b) 下刀片

表 11-7 剪毛机刀片材料成分及热处理工艺方法和工艺参数

钢号	化学成分 (质量分数, %)						淬 火		回 火		硬度 HRC
	C	Si	Mn	S、P	Cr	Mo	温度/℃	冷却剂	温度/℃	冷却	
T12J	1.15 ~ 1.25	0.2 ~ 0.4	0.2 ~ 0.4	≤0.03	—	0.15 ~ 0.30	790 ~ 830	150 ~ 170℃ 硝盐分级淬火	160 ~ 170℃	空冷	64
Cr04	1.15 ~ 1.25	0.15 ~ 0.35	0.3 ~ 0.5	≤0.03	0.3 ~ 0.5	—	800 ~ 830	30s 或油淬	—	—	64
Cr06	1.30 ~ 1.45	≤0.40	≤0.40	≤0.03	0.5 ~ 0.7	—	800 ~ 840	—	—	—	≥62

表 11-8 上刀片的热处理 (低碳钢 C-N 共渗) 工艺方法和工艺参数

设备	渗剂	强渗阶段	扩散阶段	淬火	渗层深	w(C) (%)	w(N) (%)	硬度 HRC
井式气体渗碳炉	煤油、尿素 甲醇排气	860 ~ 880℃, 90min	830 ~ 850℃, 60 ~ 90min	出炉淬油, 常规回火	单面 ≥0.45mm	0.9 ~ 1.10	0.2 ~ 0.4	≥63

表 11-9 刀片的“N. M.”处理方法及工艺参数

设备	渗 剂	温度/℃	时间/min	淬火	回火	金相组织	硬度 HRC
井式气体渗碳炉	三乙醇胺、尿素、 甲酰胺等	760 ~ 850 (根据钢号和所 剪羊种选择)	15 ~ 60 (根据渗层 要求选择)	出炉直 接淬油	150 ~ 180℃ 油浴 1 ~ 3h	表层 0.03 ~ 0.1mm 内碳化 物完全溶解	61 ~ 64

表 11-10 刀片的“G. S.”处理方法及工艺参数

设备	温度/℃	时间/h	冷却	硬度 HBW	淬火温度/℃	硬度 HRC
盐浴炉	710 ~ 720 (在 $Ac_1$ 以下 10℃)	1.5 ~ 3	出炉 空冷	263 ~ 283	较正常淬火温度 低 10℃, 回火照常	62 ~ 65

## 11.3 割草机典型件热处理工艺设计实例

### 11.3.1 粗饲料机械的切碎刀片热处理工艺设计

粗饲料机械，包括铡草机和青饲料切碎机，其切碎刀片有滚式切刀和盘式切刀两种，如图 11-7 所示。

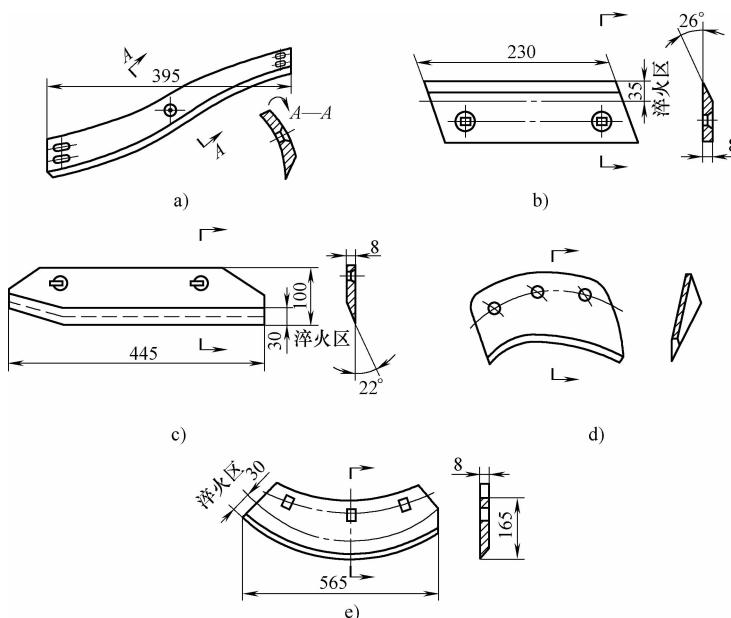


图 11-7 几种常用切碎机切刀

- a) 螺旋刃口滚式切刀 b) 直刃口滚式切刀 c) 直刃口盘式切刀  
d) 凹刃口盘式切刀 e) 凸刃口盘式切刀

### 1. 切碎机刀片的失效分析

切碎机刀片的失效形式，主要是刀片受作物自身的硅酸体和粘附的泥土摩擦而严重磨损；或因遇到较粗砂粒、石子和作物根茬的撞击而损坏。

### 2. 切碎机刀片的选材和技术要求

(1) 材料选择 切碎机刀片材料一般选择 T9 钢和 65Mn 钢，在盐浴炉中施以刃部加热淬火或高频感应加热局部淬火等；也可采用镶钢（刃部为 65Mn，背部为 Q235 钢）制造。

(2) 热处理技术要求 热处理后刃部淬火带硬度为 58 ~ 63HRC；非淬火带硬度  $\leq 38$ HRC。

### 3. 切碎机刀片的热处理工艺性分析

这类刀片一般采用单面开刃。为了确保刃口具有高耐磨性，应将刀片非开刃的一面氧化脱碳层彻底除净，以免使用时卷刃或淬火后硬度不足等。

刀片最好采用局部加热淬火。如果因设备条件有限，当采用整体加热局部冷却淬火时，其冷却带应适当加宽，且在冷却介质中上、下移动，以免热量传导到刃口，造成冷却不足而产生软点。

### 4. 切碎机刀片的热处理工艺设计

切碎机刀片的热处理工艺方法和工艺参数如表 11-11 所示。

表 11-11 粗饲料切碎机刀片的热处理工艺方法和工艺参数

刀片类别	淬 火				回 火		硬度 HRC
	设备	温度/℃	时间	冷却	温度/℃	时间/h	
T9 钢动刀片	盐浴炉	780 ~ 800	0.5 min/mm	油冷	180 ~ 200	1	58 ~ 61
	高频炉	850 ~ 880	试验确定		150 ~ 170	1	60 ~ 63
T9 钢定刀片	盐浴炉	780 ~ 800	0.5 min/mm	油冷	180 ~ 200	1	58 ~ 61
	高频炉	880 ~ 910	试验确定		150 ~ 170	1	60 ~ 63
65Mn 动刀片	盐浴炉	830 ~ 840	0.5 min/mm				
65Mn 定刀片	盐浴炉	830 ~ 840	0.5 min/mm				

注：对单面开刃动刀片淬硬层达 1mm 即可，可用高频感应加热、油淬；对定刀片和两面开刃动刀片必须淬透，以保证刃磨后刃口高硬度。

### 11.3.2 作物根茬粉碎机刀片热处理工艺设计

#### 1. 切碎机刀片的失效分析

根茬粉碎机除用于作物的根茬外，也可用于作物秸秆的粉碎。其刀片形状多种，如图 11-8 所示。

切碎刀的失效形式，主要是刀片受作物自身的硅酸体和粘附的泥土摩擦而严重磨损；或因遇到较粗砂粒、石子和根茬的撞击而损坏。

#### 2. 切碎机刀片的选材和技术要求

(1) 材料选择 切碎机刀片材料一般选择 T9 钢和 65Mn 钢施以盐浴炉局部淬火或高频感应加热局部淬火等；也可采用镶钢（刀部为 65Mn，背部为 Q235 钢）制造。

(2) 热处理技术要求 热处理后刀部淬火带硬度为 58 ~ 63HRC；非淬火带硬度  $\leq 38\text{HRC}$ 。

#### 3. 切碎机刀片的热处理工艺性分析

这种刀片一般采用单面开刃。为了确保刃口具有高耐磨性，应将刀片非开刃的一面氧化脱碳层彻底除净，以免使用时卷刃或淬火后硬度不足等。

刀片最好采用局部加热淬火。如果因设备条件有限，当采用整体加热局部冷却淬火时，冷却带应适当加宽，且在冷却介质中上、下移动，以免热量传导到刃口，使其冷却不足而产生软点。

#### 4. 切碎机刀片的热处理工艺设计

切碎机刀片的热处理工艺方法和工艺参数如表 11-12 所示。

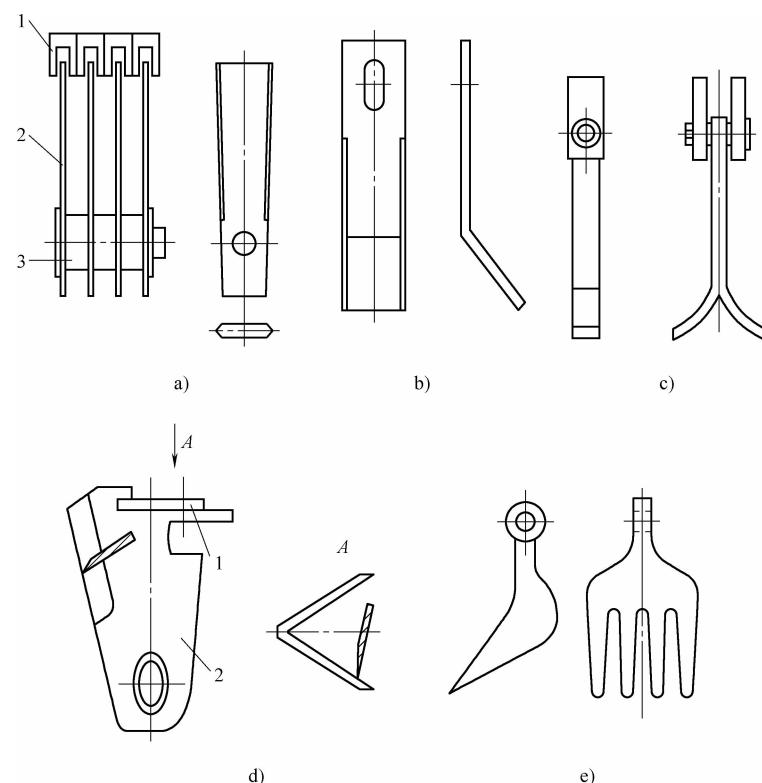


图 11-8 几种根茬粉碎机常用刀片简图

a) 直形刀 (1—定刀 2—动刀 3—轴销) b) L形刀 c) Y形甩刀  
 d) T形刀 (1—横刀片 2—纵刀片) e) 锤爪形甩刀

表 11-12 根茬切碎机刀片的热处理工艺方法和工艺参数

刀片类别	淬 火 <sup>②</sup>				回 火		硬度 HRC
	设备	温度/℃	时间/min	冷却	温度/℃	时间/min	
T8Mn 动刀片	盐浴炉	780 ~ 800	2	油淬	180 ~ 200	60	55 ~ 60
T8Mn 定刀片	盐浴炉	780 ~ 800	2	油淬	150 ~ 170	60	56 ~ 62
G8Cr15 动刀片	盐浴炉	830 ~ 850	2 ~ 3	油淬	150 ~ 170	60	60 ~ 63
65Mn 甩刀刀片 6 ~ 8mm 厚	盐浴炉 <sup>①</sup>	830 ~ 840	3 ~ 4	270 ~ 290℃ 硝盐等温 30min	200 ~ 220	120	54 ~ 58
	箱式炉 <sup>①</sup>	830 ~ 840	8 ~ 10				

① 用箱式炉加热时，刀片需涂硼酸防氧化脱碳：刀片彻底脱脂后，放硼酸（不是硼砂）饱和水溶液中煮沸 1 ~ 2min 取出，干燥后入炉加热。

② 淬火前应将原材料表面氧化脱碳层除尽。

# 附录

## 附录 A 工件加热时间的计算方法

表 A-1 加热计算经验公式及碳钢和合金钢的加热系数

加热时间经验计算式	$t = AKD$		
	$t$ ——加热时间( min 或 s)		
	$A$ ——加热系数( min/mm 或 s/mm)		
	$D$ ——工件有效厚度( mm) <sup>①</sup> ；		
			$K$ ——装炉条件修正系数,通常取 1 ~ 1.5
钢材	加热系数		
	空气电阻炉加热系数/( min/mm )	盐浴炉加热系数/( s/mm )	
碳钢	0.9 ~ 1.1	25 ~ 30	
合金钢	1.3 ~ 1.6	50 ~ 60 15 ~ 20(一次预热)	
高速钢	—	8 ~ 15(二次预热)	

① 圆柱形工件按直径计算:对于空心圆柱工件,高度( $h$ )/壁厚( $\delta$ ) $\leq 1.5$ 时,以 $h$ 计;当 $h/\delta \geq 1.5$ 时,以 $1.5\delta$ 计;当 $h/\delta > 7$ 时,以实心圆柱计;空心内圆锥体件以外径 $d \times 0.8$ 计。

表 A-2 高速钢在盐浴炉中的加热系数

有效厚度/mm	加热系数/( s/mm )	有效厚度/mm	加热系数/( s/mm )
< 8	12(850 ~ 900℃预热)	50 ~ 70	7
8 ~ 20	10	70 ~ 100	6
20 ~ 50	8	> 100	5

表 A-3 工模具钢在不同介质中的加热时间和加热系数

钢种	盐浴炉		空气炉
	有效厚度/mm	加热时间/min	
热锻模具钢	5	5 ~ 8	厚度 < 100mm, 20 ~ 30min/ 25mm 厚度 > 100mm, 10 ~ 20min/ 25mm(800 ~ 850℃预热)
	10	8 ~ 10(800 ~ 850℃预热)	
	20	10 ~ 15	
	30	15 ~ 20	
	50	20 ~ 25	
	100	30 ~ 40	

(续)

钢种	盐浴炉		空气炉
	有效厚度/mm	加热时间/min	
冷变形模具钢	5	5~8	厚度 < 100mm, 20 ~ 30min/ 25mm
	10	8~10(800 ~ 850℃ 预热)	
	20	10~15	
	30	15~20	厚度 > 100mm, 10 ~ 20min/ 25mm(800 ~ 850℃ 预热)
	50	20~25	
	100	30~40	
碳素工具钢 合金工具钢	10	5~8	厚度 < 100mm, 20 ~ 30min/ 25mm
	20	8~10(500 ~ 550℃ 预热)	
	30	10~15	
	50	20~25	厚度 > 100mm, 10 ~ 20min/ 25mm(500 ~ 550℃ 预热)
	100	30~40	

表 A-4 生产中常用的加热时间简易计算表

钢种	加热方式	每毫米有效厚度加热时间/min				
		一次预热	二次预热	最终加热	一次加热	带有预热的一次加热
碳钢	电阻炉	1.7	—	0.6~0.8	1.3~1.8	—
	盐浴炉	0.33	—	0.17	0.3~0.5	—
合金钢	电阻炉	1.7	—	1.2~1.3	2.5~2.7	—
	盐浴炉	0.4~0.5	—	0.2~0.3	0.5~0.7	—
高合金钢	电阻炉	1.7	0.8	0.4~0.5	—	2.5~2.7
	盐浴炉	0.47~0.5	0.3	0.17	—	0.6
高速钢	电阻炉	1.7	0.8	0.2~0.4	—	2.5~2.7
	盐浴炉	0.47~0.5	0.3	0.12~0.17	—	0.6

## 附录 B 典型毛坯、零件的加工预留余量及其热处理允许变形量

表 B-1 铸件预留的切削加工余量 (单位: mm)

铸件公称尺寸	单边最大加工余量		
	简单铸件	复杂铸件	孔径及凹槽
< 100	3	4	5
100 ~ 200	4	5	6
201 ~ 300	5	6	7
301 ~ 500	6	7	8
501 ~ 800	7	8	8
801 ~ 1200	8	9	9

(续)

铸件公称尺寸	单边最大加工余量		
	简单铸件	复杂铸件	孔径及凹槽
1201 ~ 1800	9	10	10
1801 ~ 2600	10	12	12
2601 ~ 3800	11	14	14
3801 ~ 5400	12	16	16

注: 单边最小加工余量: 300mm 以下者为 1.5mm; 300 ~ 800mm 者为 3.0mm; 801 ~ 5400mm 者为 5.0mm。

表 B-2 圆棒形锻件预留的切削加工余量 (单位:mm)

零件长度 $L$	零件直径 $D$							
	50 ~ 100		100 ~ 150		150 ~ 200		200 ~ 250	
	$a$	$b$	$a$	$b$	$a$	$b$	$a$	$b$
< 250	8 ± 2	9 ± 2	8 ± 2	10 ± 2	10 ± 2	14 ± 3	12 ± 3	16 ± 3
250 ~ 500	8 ± 2	9 ± 2	8 ± 2	11 ± 2	10 ± 3	14 ± 3	12 ± 3	16 ± 3
500 ~ 1000	8 ± 2	11 ± 2	8 ± 2	12 ± 2	10 ± 3	15 ± 3	12 ± 4	18 ± 4
1000 ~ 1500	8 ± 2	12 ± 2	9 ± 2	14 ± 2	11 ± 3	16 ± 4	13 ± 4	19 ± 4

表 B-3 矩形锻件预留的切削加工余量 (单位:mm)

示图	零件宽度 $H$					
	零件长度 $L$					
$H$	< 250		250 ~ 500		500 ~ 1000	
	$a$	$b$	$a$	$b$	$a$	$b$
< 50	7 ± 1.5	8 ± 1.5	7 ± 1.5	8 ± 1.5	8 ± 2	9 ± 2
50 ~ 100	7 ± 2	9 ± 2	8 ± 2	9 ± 2	8 ± 2	10 ± 2
> 100 ~ 150	8 ± 3	12 ± 3	8 ± 3	12 ± 3	9 ± 3	14 ± 3
> 150 ~ 200	10 ± 3	15 ± 3	10 ± 3	15 ± 3	11 ± 3	16 ± 3
> 200 ~ 250	12 ± 4	18 ± 4	12 ± 4	18 ± 4	13 ± 4	20 ± 4
> 250 ~ 300	12 ± 4	18 ± 4	14 ± 4	20 ± 4	15 ± 4	22 ± 5

表 B-4 轴类正火件、调质件径向预留余量 (单位:mm)

最大轴径	轴 长			
	100 ~ 500	500 ~ 2000	2000 ~ 3500	3500 ~ 5000
<50	4 ~ 5	5 ~ 6		
50 ~ 150	4 ~ 5	5 ~ 6	5 ~ 8	6 ~ 10
>150 ~ 200		5 ~ 6	6 ~ 8	7 ~ 10
>200 ~ 250			6 ~ 8	7 ~ 10

表 B-5 平板类工件预留余量与淬火允许变形量 (单位:mm)

工件长度	工件宽度					
	≤100			101 ~ 200		
	每边预 留余量	淬硬前 允许变形量	淬硬后 允许变形量	每边预 留余量	淬硬前 允许变形量	淬硬后 允许变形量
≤300	0.30 ~ 0.40	≤0.1	≤0.20	0.40 ~ 0.50	≤0.15	≤0.30
301 ~ 1000	0.40 ~ 0.50	≤0.15	≤0.30	0.50 ~ 0.70	≤0.20	≤0.40
1001 ~ 2000	0.50 ~ 0.70	≤0.20	≤0.40	0.60 ~ 0.80	≤0.25	≤0.50

表 B-6 轴、杆类工件预留余量与淬火允许变形量 (单位:mm)

直径	长 度										
	≤50	51 ~ 100	101 ~ 200	201 ~ 300	301 ~ 450	451 ~ 600	601 ~ 800	801 ~ 1000	1001 ~ 1300	1301 ~ 1600	1601 ~ 2000
≤5	预留 余量	0.35 ~ 0.45	0.45 ~ 0.55	0.55 ~ 0.65							
	允许 变形量	0.17	0.22	0.27							
6 ~ 10	预留 余量	0.30 ~ 0.40	0.40 ~ 0.50	0.50 ~ 0.60	0.55 ~ 0.65						
	允许 变形量	0.15	0.20	0.25	0.27						
11 ~ 20	预留 余量	0.25 ~ 0.35	0.30 ~ 0.40	0.40 ~ 0.50	0.50 ~ 0.60	0.55 ~ 0.65					
	允许 变形量	0.12	0.17	0.22	0.25	0.27					
21 ~ 30	预留 余量	0.25 ~ 0.35	0.30 ~ 0.40	0.35 ~ 0.45	0.40 ~ 0.50	0.45 ~ 0.55	0.50 ~ 0.60	0.55 ~ 0.65			
	允许 变形量	0.15	0.15	0.17	0.20	0.22	0.25	0.27			

(续)

直径		长 度										
		≤50	51 ~ 100	101 ~ 200	201 ~ 300	301 ~ 450	451 ~ 600	601 ~ 800	801 ~ 1000	1001 ~ 1300	1301 ~ 1600	1601 ~ 2000
31 ~ 50	预留余量	0.25 ~ 0.35	0.35 ~ 0.45	0.35 ~ 0.45	0.35 ~ 0.45	0.40 ~ 0.50	0.45 ~ 0.55	0.50 ~ 0.60	0.60 ~ 0.65	0.75 ~ 0.80		
	允许变形量	0.17	0.17	0.17	0.17	0.20	0.20	0.22	0.25	0.30		
51 ~ 80	预留余量	0.30 ~ 0.40	0.40 ~ 0.50	0.40 ~ 0.50	0.40 ~ 0.50	0.40 ~ 0.50	0.40 ~ 0.50	0.50 ~ 0.60	0.60 ~ 0.65	0.75 ~ 0.80	0.80 ~ 0.95	0.95 ~ 1.20
	允许变形量	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.25	0.27	0.30	0.35	0.42
81 ~ 120	预留余量	0.50 ~ 0.60	0.50 ~ 0.60	0.50 ~ 0.60	0.50 ~ 0.60	0.50 ~ 0.60	0.50 ~ 0.60	0.60 ~ 0.70	0.65 ~ 0.75	0.75 ~ 0.80	0.85 ~ 1.00	1.05 ~ 1.03
	允许变形量	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.30	0.32	0.32	0.37	0.42
121 ~ 180	预留余量	0.60 ~ 0.70	0.60 ~ 0.70	0.60 ~ 0.70	0.60 ~ 0.70	0.60 ~ 0.70	0.70 ~ 0.80	0.70 ~ 0.80	0.80 ~ 0.95	0.95 ~ 1.00	1.00 ~ 1.20	1.20 ~ 1.40
	允许变形量	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30						
181 ~ 260	预留余量	0.70 ~ 0.90	0.70 ~ 0.90	0.70 ~ 0.90	0.70 ~ 0.90							
	允许变形量	0.35	0.35	0.35	0.35							

表 B-7 套类工件预留余量与淬火允许变形量 (单位:mm)

内孔 直径	壁厚	变形	工件高度					
			≤100		101 ~ 250		251 ~ 500	
			内孔	外径	内孔	外径	内孔	外径
≤300	>5	预留余量	0.20 ~ 0.30	0.40 ~ 0.50	0.30 ~ 0.40	0.40 ~ 0.50	0.40 ~ 0.50	0.50 ~ 0.60
		允许变形量	0.10	0.20	0.15	0.20	0.20	0.25
	≤5	预留余量	0.30 ~ 0.40	0.40 ~ 0.50	0.40 ~ 0.50	0.50 ~ 0.60	0.50 ~ 0.60	0.60 ~ 0.70
		允许变形量	0.15	0.20	0.20	0.25	0.25	0.30
31 ~ 50	>5	预留余量	0.30 ~ 0.40	0.40 ~ 0.50	0.40 ~ 0.50	0.50 ~ 0.60	0.50 ~ 0.60	0.60 ~ 0.70
		允许变形量	0.15	0.20	0.20	0.25	0.25	0.30
	≤5	预留余量	0.40 ~ 0.50	0.50 ~ 0.60	0.50 ~ 0.60	0.60 ~ 0.70	0.60 ~ 0.70	0.70 ~ 0.80
		允许变形量	0.20	0.25	0.25	0.30	0.30	0.35

(续)

内孔 直径	壁厚	变形	工件高度					
			≤100		101 ~ 250		251 ~ 500	
			内孔	外径	内孔	外径	内孔	外径
50 ~ 80	>6	预留余量	0.40 ~ 0.50	0.50 ~ 0.60	0.50 ~ 0.60	0.60 ~ 0.70	0.50 ~ 0.60	0.70 ~ 0.80
		允许变形量	0.20	0.25	0.25	0.30	0.25	0.35
	≤6	预留余量	0.50 ~ 0.60	0.60 ~ 0.70	0.50 ~ 0.60	0.60 ~ 0.70	0.60 ~ 0.70	0.70 ~ 0.80
		允许变形量	0.25	0.30	0.25	0.30	0.30	0.35
81 ~ 120	>12	预留余量	0.50 ~ 0.70	0.60 ~ 0.80	0.50 ~ 0.60	0.60 ~ 0.80	0.60 ~ 0.80	0.70 ~ 0.90
		允许变形量	0.25	0.30	0.25	0.30	0.30	0.35
	6 ~ 12	预留余量	0.60 ~ 0.80	0.70 ~ 0.90	0.60 ~ 0.80	0.70 ~ 0.90	0.70 ~ 0.90	0.80 ~ 1.00
		允许变形量	0.30	0.35	0.30	0.35	0.35	0.40
	≤6	预留余量	0.70 ~ 0.90	0.80 ~ 1.00	0.70 ~ 0.90	0.80 ~ 1.00	0.80 ~ 1.00	0.90 ~ 1.10
		允许变形量	0.35	0.40	0.35	0.40	0.40	0.45
	>14	预留余量	0.60 ~ 0.80	0.70 ~ 0.90	0.60 ~ 0.80	0.70 ~ 0.90	0.70 ~ 0.90	0.80 ~ 1.00
		允许变形量	0.30	0.35	0.30	0.35	0.35	0.40
121 ~ 180	8 ~ 14	预留余量	0.70 ~ 0.90	0.80 ~ 1.00	0.70 ~ 0.90	0.80 ~ 1.00	0.80 ~ 1.10	0.90 ~ 1.10
		允许变形量	0.35	0.40	0.35	0.40	0.40	0.45
	≤8	预留余量	0.80 ~ 1.00	0.90 ~ 1.10	0.80 ~ 1.00	0.90 ~ 1.10	0.90 ~ 1.10	1.00 ~ 1.20
		允许变形量	0.40	0.45	0.40	0.45	0.45	0.50
	>18	预留余量	0.70 ~ 0.90	0.80 ~ 1.00	0.70 ~ 0.90	0.80 ~ 1.00	0.90 ~ 1.10	1.00 ~ 1.20
		允许变形量	0.35	0.40	0.35	0.40	0.45	0.50
	10 ~ 18	预留余量	0.80 ~ 1.00	0.90 ~ 1.10	0.80 ~ 1.00	0.90 ~ 1.10	1.00 ~ 1.20	1.10 ~ 1.30
		允许变形量	0.40	0.45	0.40	0.45	0.50	0.55
	≤10	预留余量	0.90 ~ 1.10	0.90 ~ 1.10	0.90 ~ 1.10	1.10 ~ 1.20	1.10 ~ 1.30	1.20 ~ 1.40
		允许变形量	0.45	0.50	0.45	0.55	0.55	0.60

- 注：1. 变形量是指淬火后的最大尺寸与名义尺寸之差。  
 2. 套的截面变化很大时，应按表中规定适当增加 20% ~ 30%。  
 3. 碳素钢的预留余量应取上限，其变形量也允许随之增大。  
 4. 套的内孔 >80mm 的薄壁零件，粗加工后应经正火处理，以消除应力和减小变形。

表 B-8 花键轴淬火(包括渗碳淬火)允许变形量 (单位:mm)

变形	直径		
	≤30	31 ~ 50	51 ~ 90
键双侧面预留余量	0.30	0.40	0.50
淬硬前的振摆≤	0.05	0.08	0.10
淬硬后的振摆≤	0.10	0.15	0.20

注：振摆仅指花键部分，其余部分仍按一般轴类件考虑。

表 B-9 蜗杆轴淬火（包括渗碳淬火）允许变形量 (单位: mm)

变形	模数		
	<3	3~4.5	>4.5
蜗杆双面预留余量	0.30~0.40	0.40~0.50	0.50~0.60
淬硬前振摆≤	0.07	0.1	0.12
淬硬后振摆≤	0.15	0.2	0.25

## 附录 C 典型刃具、量具、模具的热处理允许变形量

表 C-1 柱柄和杆状刃具热处理后的径向圆跳动公差(不大于)

(单位: mm)

位置 长度 直 径	刃部及导向部分				杆颈部分				柄部	
	≤100	101~250	251~400	>400	≤100	100~250	251~400	>400	莫氏 锥柄	变 形
≤10	0.15	0.17	0.20	0.23	0.23	0.25	0.27	0.30	0号	0.23
11~15	0.17	0.20	0.23	0.25	0.23	0.25	0.27	0.30	1号、2号	0.25
16~30	0.20	0.23	0.25	0.27	0.23	0.25	0.30	0.32	3号	0.27
31~50	0.23	0.25	0.27	0.30	0.25	0.28	0.30	0.32	4号、5号	0.30
51~70	0.25	0.27	0.30	0.32	0.27	0.30	0.33	0.35	6号	0.33
>70	0.27	0.30	0.32	0.35	0.30	0.33	0.35	0.35	直柄	0.30

注：杆状刃具热处理变形允差，应以冷加工留量为基础，在难以保证变形允差情况下，应在制造前冷、热加工工艺员协商解决。

表 C-2 柱柄和焊接刃具车削加工余量及

径向圆跳动公差

(单位: mm)

项目 长度 直 径	外圆加工余量				刃部及导向部 径向圆跳动				杆部径向圆跳动				柄部径向 圆跳动	
	≤100	101~250	251~400	>400	≤100	101~250	251~400	>400	≤100	101~250	251~400	>400	莫氏 锥柄	公差
≤10	0.40~0.50	0.45~0.55	0.50~0.60	0.55~0.65	0.08	0.10	0.13	0.15	0.18	0.20	0.23	0.25	0号	0.18
11~15	0.40~0.50	0.45~0.55	0.50~0.60	0.55~0.65	0.10	0.13	0.15	0.17	0.18	0.20	0.23	0.25	1号、2号	0.20
16~30	0.45~0.55	0.50~0.60	0.55~0.65	0.60~0.70	0.12	0.15	0.17	0.20	0.18	0.20	0.25	0.27	3号	0.23
31~50	0.45~0.55	0.50~0.65	0.60~0.70	0.65~0.75	0.14	0.17	0.20	0.23	0.20	0.23	0.25	0.27	4号、5号	0.25

(续)

项目 长度 直 径	外圆加工余量				刃部及导向部 径向圆跳动				杆部径向圆跳动				柄部径向 圆跳动	
	≤100	101 ~ 250	251 ~ 400	>400	≤100	101 ~ 250	251 ~ 400	>400	≤100	101 ~ 250	251 ~ 400	>400	莫氏 锥柄	公差
51 ~ 70	0.50 ~ 0.60	0.60 ~ 0.70	0.65 ~ 0.70	0.70 ~ 0.80	0.17	0.20	0.23	0.28	0.23	0.25	0.27	0.30	6 号	0.30
>70	0.50 ~ 0.60	0.60 ~ 0.70	0.65 ~ 0.75	0.70 ~ 0.80	0.20	0.23	0.28	0.30	0.25	0.28	0.30	0.30	直柄	0.18

注：1. 上述长度指刃具总长度。

2. 对于极细长刃具，需冷、热加工工艺人员协商确定其余量。

3. 该表对高速钢刀具及高速钢与碳素钢对焊刀具均适用。

表 C-3 片状刃具和样板量具热处理后的

平面度公差（不大于）

(单位：mm)

长度 宽度 厚度	≤40		41 ~ 60		61 ~ 80		81 ~ 100		101 ~ 120		121 ~ 140		141 ~ 160	
	<4	4 ~ 8	<5	5 ~ 10	<6	6 ~ 12	<7	7 ~ 15	<8	8 ~ 17	<10	10 ~ 20	<12	12 ~ 22
≤40	0.15	0.12	0.15	0.12	0.15	0.12	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.18	0.15
41 ~ 60	0.15	0.12	0.15	0.12	0.15	0.12	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.18	0.15
61 ~ 80	0.16	0.13	0.16	0.13	0.16	0.16	0.15	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18	0.22	0.18
81 ~ 100	0.16	0.13	0.16	0.13	0.16	0.16	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18	0.22	0.18
101 ~ 120	0.18	0.13	0.16	0.13	0.16	0.16	0.18	0.18	0.18	0.18	0.20	0.20	0.22	0.22
121 ~ 140	0.18	0.16	0.18	0.16	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.22	0.22	0.22

注：该表数据以冷加工余量为基础，在难以保证变形公差的情况下，应在制造前由冷、热加工工艺员协商解决。

表 C-4 一般套装刃具热处理后的内孔和

端面允许变形量（不大于）

(单位：mm)

状态 项目 直径	调压状态			最终的淬火回火状态				
	内孔胀大		端面圆跳动	外圆圆度		内孔圆度	端面不平及伸缩量	
	有侧刃者	无侧刃者						
30 ~ 50	0.04	0.05	0.05	0.15	0.08	0.08	0.15	0.20
51 ~ 80	0.06	0.07	0.07	0.17	0.10	0.10	0.17	0.22
81 ~ 120	0.08	0.08	0.08	0.10	0.12	0.12	0.20	0.24
121 ~ 180	0.10	0.12	0.12	0.12	0.14	0.14	0.22	0.26

注：特殊形状复杂的刀具需冷、热加工工艺员在加工前协商确定加工留量及热处理后的变形公差。

表 C-5 键槽拉刀的切削加工余量及公差 (单位: mm)

长度 宽度	<300	300~600	601~900	901~1200	>1200
<25	0.40~0.50	0.5~0.6	0.70~0.80	0.80~0.90	0.90~1.10
25~55	0.50~0.60	0.70~0.80	0.70~0.80	0.80~0.90	0.90~1.10

注：用圆钢制造时必须考虑拉刀角部无脱碳层存在。

表 C-6 成形套装刀具热处理后允许变形量 (不大于) (单位: mm)

预先调压状态		最后淬火、回火状态		
内孔胀大量	键宽变形量	内孔圆度及胀大量	端面或外圆偏差	
0.06	0.08	0.06	0.04	

注：该表适用于滚刀、铲背铣刀、凹凸半圆铣刀、插齿刀等成形刀具。

表 C-7 键槽、拉刀热处理后的允许变形量 (不大于) (单位: mm)

长度 宽度	<300	300~600	601~900	901~1200	>1200
<25	0.20	0.25	0.30	0.35	0.40
25~55	0.25	0.30	0.30	0.35	0.40

注：拉刀尾部及过渡的柄部变形量可以比表中规定的大 0.10~0.15mm。

表 C-8 花键拉刀和花键塞规热处理后的

径向圆跳动公差 (不大于) (单位: mm)

长度 直 径	≤300	301~600	601~900	901~1200	1201~1500	>1500
10~18	0.18	0.23	0.30	—	—	—
19~30	0.20	0.25	0.30	0.35	—	—
31~50	0.20	0.25	0.30	0.35	—	—
51~80	0.20	0.25	0.30	0.35	0.40	0.40
81~120	—	—	—	0.35	0.40	0.40

注：拉刀尾部及过渡区和柄部变形量可以比该表中规定的数值大 0.10~0.15mm。

表 C-9 螺纹塞规和丝锥的切削加工余量及公差 (单位: mm)

螺纹直径	中径上的余量	外径上的余量	螺纹直径	中径上的余量	外径上的余量
2.6~5	—	0.27~0.30	56~80	0.53~0.65	0.43~0.55
6~12	0.32~0.40	0.27~0.30		0.58~0.70	0.48~0.60
14~22	0.38~0.45	0.25~0.35	105~125	0.60~0.75	0.50~0.69
24~33	0.40~0.50	0.30~0.40		0.65~0.80	0.55~0.70

(续)

原料下料留量	端面	外径	内孔胀大	键宽胀缩
4 ~ 6	0.25 ~ 0.35	基本尺寸 ± 0.05	0.04 ~ 0.06	0.06 ~ 0.08

- 注：1. 该表适用于滚刀、铲背铣刀、凹凸半圆铣刀公插齿刀和剃齿刀等。  
 2. 内孔键宽，插基本尺寸 ± 0.03mm。  
 3. 热处理后不经磨削的铲背铣刀尺寸应较最小外径大 0.20mm，但不得大于外径最大尺寸 0.05mm。  
 4. 成形套装刀具下料尺寸见表 C-6。

表 C-10 碳素钢冷模具的热处理允许变形量（不大于）（单位：mm）

模具类别	小型			中型				大型		
	种别	轻负荷	重负荷	复杂轻 负荷	简单重 负荷	复杂重 负荷	简单轻 负荷	剪刀	压型	深孔拉深
特 点	外形尺寸	$\leq 81 \times 15$ 或 $< \phi 15$		长、宽为 80 ~ 220 厚为 15 ~ 35				长、宽 > 220 直径 < 80		外径 > 601 内径 < 25 模高 > 80
		≤0.2	非铁金属 >0.50 软钢 > 0.30	非铁金属 >0.20 软钢 > 0.15	非铁金属 >1.00 软钢 > 0.80	非铁金属 >1.00 软钢 > 0.80	非铁金属 >0.20 软钢 > 0.20	<1.5~ 6	不限	
	冲压 材料	铜、铝	硬铜、软 钢、厚铝	中硬钢板	硬或中硬钢 板、硬铜	硬钢、中 硬钢板	软或中 硬钢板	不限		
刃口变形	0.02	0.04	0.03	0.08	0.08	0.03	0.05	0.15	0.15	

表 C-11 合金工具钢模具与高合金工具钢冷作模具  
的热处理允许变形量（不大于）（单位：mm）

	合金工具钢					高合金工具钢				
	块柱状 凸模	板环状凹模		复杂型凸凹模		块柱状 凸模	板环状凹模		复杂型凸凹模	
		变形	型腔变形	平面度	型腔变形		变形	型腔变形	平面度	型腔变形
大型模 (201 ~ 300)	-0.06 ~ 0.15	-0.15 ~ 0.06	<0.25	-0.17 ~ 0.08	<0.27	0.04 ~ 0.08	0.04 ~ 0.08	<0.23	-0.107 ~ 0.06	<0.25
中型模 (121 ~ 200)	-0.05 ~ 0.1	-0.1 ~ 0.05	<0.22	-0.13 ~ 0.07	<0.25	0.03 ~ 0.06	0.03 ~ 0.06	<0.20	-0.08 ~ 0.05	<0.22
小型模 (51 ~ 120)	0 ~ 0.05	0 ~ 0.05	<0.18	0 ~ 0.07	<0.22	0.02 ~ 0.04	0.02 ~ 0.04	<0.15	-0.06 ~ 0.03	<0.18
次小型模 (≤50)	0 ~ 0.03	0 ~ 0.03	<0.15	0 ~ 0.04	<0.18	0 ~ 0.02	0 ~ 0.02	<0.10	0 ~ 0.03	<0.15

- 注：1. 合金工具钢指 9SiCr、CrWMn、9Mn2V、GCr15 高碳合金钢，高合金钢指 Cr12、Cr12Mo 和 Cr6WV 等高碳合金钢等。  
 2. 模具形状特殊者，需冷、热加工工艺人员协商确定加工余量及变形量。

表 C-12 模孔中心距的热处理允许变形量 (不大于) (单位: mm)

中心距	<50			51~120			121~180		
	碳素工具钢 (T10、T8)	合金工具钢 (CrWMn 等)	高铬钢 (Cr12 等)	碳素工具钢 (T20 等)	合金工具钢 (CrWMn 等)	高铬钢 (Cr12 等)	碳素工具钢 (T10 等)	合金工具钢 (CrWMn 等)	高铬钢 (Cr12 等)
变形量	±0.05	±0.03	±0.03	±0.06	±0.04	±0.04	±0.07	±0.05	±0.05

表 C-13 热模套的热处理允许变形量 (不大于) (单位: mm)

内孔精度 内孔直径	≤ ±0.05	≤ ±0.10	≤ ±0.15	≤ ±0.20	≤ ±0.25	≤ ±0.30
≤10	±0.03	±0.08	±0.10	±0.15	±0.17	±0.22
11~18	±0.03	±0.08	±0.10	±0.15	±0.17	±0.22
19~30	留磨削余量	±0.08	±0.10	±0.15	±0.17	±0.22
31~50	留磨削余量	±0.08	±0.10	±0.15	±0.17	±0.22
51~80	留磨削余量	留磨削余量	±0.10	±0.15	±0.17	±0.22
81~120	留磨削余量	留磨削余量	±0.10	±0.15	±0.17	±0.22
121~180	留磨削余量	留磨削余量	留磨削余量	±0.15	±0.17	±0.22
>180	留磨削余量	留磨削余量	留磨削余量	留磨削余量	±0.17	±0.22

注: 该表适用于 5CrMnMo、5CrNiMo、T7 和 55 等钢制造的热作模套等。

表 C-14 热锻模的热处理允许变形量 (不大于) (单位: mm)

模锻模具		胎模锻模具	
规格(模高)	型胎变形	规格(模块)	型腔变形
<275	±0.20	400×260×128	±0.20
		260×260×108	±0.15
275~375	±0.30	200×140×96	±0.15
		160×120×86	±0.10
>375	±0.50	120×100×76	±0.10

注: 该表适用于 5CrMnMo 和 5CrNiMo 钢制模具。

表 C-15 锻件热切边模的热处理允许变形量 (不大于) (单位: mm)

冲头	冲垫
±0.01	孔形变化 >0.20; 平面度 0.50

注: 适用于 7Cr3、QT600-3 等材料制造的模具。

## 附录 D 热处理设备分类表

表 D-1 热处理设备分类总表

主要设备	热处理加热炉	炉膛式	电阻炉、燃料炉、可控气氛炉、真空炉	箱式炉、井式炉、台车式炉、管式炉、转底式炉、罩式炉、升降式炉等	间歇式炉
			内热式	插入式电极浴炉、埋入式电极浴炉等	连续式炉
		浴槽式	外热式	电阻式炉、燃气炉、燃油炉、燃煤炉等	
			流态粒子炉	内或外电阻加热炉、内或外燃烧加热炉等	
	热处理加热装置	感应加热装置		高频、超音频、中频、工频加热装置等	
		火焰加热装置		氧乙炔、甲烷、丙烷、城市煤气等火焰	
		接触电阻加热装置		行星差动式、往复移动式、多轮式等	
		激光和电子束加热装置		固体、气体、液体、半导体等激光器	
		电解液加热装置		酸类、碱类、盐类等水溶液电解液槽等	
		离子轰击加热装置		离子渗氮、渗碳、渗硫、渗硼、渗金属等处理炉	
	气相沉积装置	化学气相沉积、等离子体化学气相沉积、物理气相沉积装置等			
	热处理冷却设备	连续冷却	缓慢	埋灰冷却	缓冷坑、缓冷井、缓冷炉等
			中速	空冷、风冷、雾冷、金属板或埋粉末冷却	
			快速	水冷、油冷、盐碱水溶液冷、乳化液冷等	
			冷处理	冰冷处理箱、中冷处理和深冷处理冷冻机	
		等温冷却	箱体式	低温恒温箱等	
			浴槽式	低温熔盐、低温熔碱、低温油浴槽等	
			炉膛式	等温正火、退火、淬火、回火等处理炉	
辅助设备	清理、清洗设备	清洗设备	清洗槽、超声波和真空以及溶剂清洗机等		
		酸洗设备	酸洗槽等		
		喷砂、喷丸、抛丸设备	机械式喷丸机、强力抛丸机、液体喷砂机		
	防锈蚀设备	发蓝、蒸汽处理设备	发蓝浴槽、蒸汽处理炉等		
	气氛制取设备	吸热式、放热式、工业氮等气氛制备装置和气体净化装置等			
	介质加热和冷却设备	介质加热设备	气体热交换装置、液体热交换装置等		
		介质冷却设备	淬火液循环冷却设备、气体对流装置等		

(续)

辅助设备	质量检验设备	硬度检验设备	布氏、洛氏、维氏、肖氏、里氏硬度计等	
		组织结构分析设备	放大镜、显微镜、X射线、电子探针等	
		工件检测设备	磁粉检测、渗透检测、超声波检测机等	
工件矫正设备		手动式、机械式、液压式校直机和手工工具、变形度检验仪器等		
参数测量设备		温度、压力、流量、流速、时间、成分、真空度、浓度等仪器仪表		
其他辅助设备		动力输送、起重运输、防火、除尘、介质制备，以及工夹具等		

表 D-2 热处理炉的分类和编号

序号	类别代号	类别名称	序号	类别代号	类别名称
1	RB	罩式炉	13	RR	辊底式炉
2	RC	传送带式炉	14	RS	推送式炉
3	RCW	网带式炉	15	RSU	隧道式炉
4	RD	电烘炉	16	RT	台车式炉
5	RF	强迫对流井式炉	17	RUN	转底式炉
6	RG	滚筒式炉	18	RW	步进炉
7	RJ	自然对流井式炉	19	RX	箱式炉
8	RK	坑式炉	20	RY	电热浴炉
9	RL	流态粒子炉	21	RZ	振底式炉
10	RM	密封箱式淬火炉(多用炉)	22	ZC	真空淬火炉
11	RN	气体渗氮炉	23	ZT	真空退火炉
12	RQ	井式渗碳炉	24	ZR	真空热处理炉和钎焊炉

## 附录 E 炉膛式间歇热处理电阻炉技术参数

表 E-1 非金属电热元件高温箱式电阻炉技术参数

型号	功率/kW	电压/V	工作电压范围/V	相数	最高工作温度/℃	炉膛尺寸(长×宽×高)/mm	炉温1300℃时的指标		
							空炉损耗功率/kW	空炉升温时间/h	最大装载量/kg
RX2-14-13	14	380	89~215	3	1350	520×220×220	≤5	≤2	120
RX2-25-13	25	380	185~405	3	1350	600×280×300	≤7	≤2.5	200
RX2-37-13	37	380	260~535	3	1350	810×550×370	≤10	≤2.5	500

表 E-2 金属电热元件高温箱式电阻炉技术参数

型 号	功率 /kW	电压 /V	相数	最高工作 温度/℃	炉膛尺寸 (长×宽×高) /mm	炉温 850℃时的指标		
						空炉损耗 功率/kW	空炉升温 时间/h	最大装载 量/kg
RX3-20-12	20	380	1	1200	650×300×250	≤7	≤3	50
RX3-45-12	45	380	3	1200	950×450×350	≤13	≤3	100
RX3-65-12	65	380	3	1200	1200×600×400	≤17	≤3	200
RX3-90-12	90	380	3	1200	1500×750×450	≤20	≤4	400
RX3-115-12	115	380	3	1200	1800×900×550	≤22	≤4	600

表 E-3 普通箱式中温电阻炉技术参数

型 号	功率 /kW	电压 /V	相数	最高工作温度 /℃	炉膛尺寸 (长×宽×高) /mm	最大装载量 /kg
RX3-15-9	15	380	1	950	600×300×250	80
RX3-30-9	30	380	3	950	950×450×350	200
RX3-45-9	45	380	3	950	1200×600×400	400
RX3-60-9	60	380	3	950	1500×750×450	700
RX3-75-9	75	380	3	950	1800×900×550	1200

表 E-4 密封箱式电阻炉技术参数

型号	最大装 载量/kg	炉内有效尺寸 (长×宽×高) /mm	最高使 用温度 /℃	额定加 热功率 /kW	淬火油 槽容积 /m <sup>3</sup>	油槽加 热功率 /kW	油槽使 用温度 /℃
UBE-200	200	300×760×350	950	48	2.7	18	150
UBE-400	400	600×900×600	950	63	4.0	24	150
UBE-600	600	760×1200×600	950	82	4.9	30	150
UBE-1000	1000	760×1200×800	950	120	8.0	48	150
MXL-700	700	600×900×600	940	104	5.6	60	150
MXL-100	1000	700×1300×850	940	142.2			
DYL-01	1000	700×1300×650	1000	120	5.0		
RM-80-90	420	600×900×450	950	135	3.5	36	
RM3-75-9	420	600×900×450	950	75	3.4		

注:表中密封箱式炉都有清洗机、回火炉、备料台等配套设备,由推拉料转运车把主炉与其配套设备连接成自动线。

表 E-5 GPC36-48-30 型密封箱式电阻炉技术参数

项目	料架(长×宽×高)/mm	工作温度/℃	最大装载量/kg	设计等效功率/kW	淬火槽容积/L	淬火油温/℃	渗碳用天然气/(m <sup>3</sup> /h)	吸热气氛/(m <sup>3</sup> /h)	压缩空气压力/MPa	冷却水/(m <sup>3</sup> /h)
技术参数	1219×914×760	950	1363	150	11355	<180	2	30	≥0.5	24

表 E-6 顶部装置风扇的低温箱式电阻炉技术参数

项目	有效尺寸(长×宽×高)/mm	工作温度/℃	最大装载量/kg	炉温均匀度/℃	额定生产能力/(kg/h)	炉墙外表温度/℃	装出炉方式	额定功率/kW
技术参数	1220×914×760	550	1000	±5	11355	≤50	开式链条和滚动导轨	75

表 E-7 风扇布置在炉顶后端的低温箱式炉技术参数

序号	有效尺寸(长×宽×高)/mm	工作温度/℃	最大装载量/kg	炉温均匀度/℃	空炉升温时间/h	炉温稳定性/℃	额定电压/V	相数	空载损耗/kW	额定功率/kW
1	300×760×350	500	200	±5	<1	±4	380	3	<9	30
2	600×900×600	500	400	±5	<3	±4	380	3	<15	45
3	760×1200×600	500	600	±5	<3	±4	380	3	<20	60
4	760×1200×800	500	1000	±5	<13	±4	380	3	<30	90

表 E-8 非金属电热元件井式高温电阻炉的型号及其技术参数

型号	功率/kW	电压/V	相数	最高工作温度/℃	工作电压范围/V	炉膛尺寸(长×宽×高)/mm	空炉损耗功率/kW	最大装载量/kg
RJ-25-13	25	380	3	1300	185~405	300×300×600	≤12	1500
RJ-65-13	65	380	3	1300	115~175	300×300×1260	≤28	4700
RJ-95-13	95	380	3	1300	115~175	300×300×2207	≤34	6000

表 E-9 金属电热元件高温电阻炉的型号及其技术参数

型 号	功 率/kW	电 压/V	相 数	最 高 工 作 温 度/℃	炉 膛 尺 寸(直 径 × 深 度)/mm	炉 温 1200℃ 时 的 指 标		
						空 炉 损 耗 功 率/kW	熔 炉 升 温 时 间/h	最 大 装 载 量/kg
RJ2-50-12	50	380	3	1200	φ600×800	≤13	≤2.5	350
RJ2-75-12	75	380	3	1200	φ600×1600	≤22	≤3	700
RJ2-80-12	80	380	3	1200	φ800×1000	≤17	≤3	800

(续)

型 号	功率 /kW	电压 /V	相数	最高工作温度/℃	炉膛尺寸(直径×深度)/mm	炉温 1200℃ 时的指标		
						空炉损耗功率/kW	熔炉升温时间/h	最大装载量/kg
RJ2-110-12	110	380	3	1200	φ800×2000	≤23	≤3	1600
RJ2-105-12	105	380	3	1200	φ1000×1200	≤22	≤3	1500
RJ2-165-12	165	380	3	1200	φ1000×2400	≤40	≤4	3000

表 E-10 普通井式中温电阻炉的型号及其技术参数

型 号	功率 /kW	电压 /V	相数	最高工 作温度 /℃	炉膛尺寸 (直径×深度) /mm	炉温 890℃ 时的指标		
						空炉损耗 功率/kW	熔炉升 温时间/h	最大装载 量/kg
RJ2-40-9	40	380	3	950	φ600×800	≤9	≤2.5	350
RJ2-65-9	65	380	3	950	φ600×1600	≤16	≤2.5	700
RJ2-75-9	75	380	3	950	φ600×2400	≤20	≤3	1100
RJ2-60-9	60	380	3	950	φ800×1000	≤13	≤3	800
RJ2-95-9	95	380	3	950	φ800×2000	≤22	≤3	1600
RJ2-125-9	125	380	3	950	φ800×3000	≤27	≤4	2400
RJ2-90-9	90	380	3	950	φ1000×1200	≤18	≤4	1500
RJ2-140-9	140	380	3	950	φ1000×2400	≤26	≤4	3000
RJ2-190-9	190	380	3	950	φ1000×3600	≤33	≤4	4500

表 E-11 井式气体渗碳炉型号及其技术参数

型 号	功率 /kW	电压 /V	相数	最高工 作温度 /℃	炉膛尺寸 (直径×深度) /mm	炉温 950℃ 时的指标		
						空炉损耗 功率/kW	空炉升 温时间/h	最大装载 量/kg
RQ3-25-9	25	380	3	950	φ300×450	≤7	≤2.5	50
RQ3-35-9	35	380	3	950	φ300×600	≤9	≤2.5	70
RQ3-60-9	60	380	3	950	φ450×600	≤12	≤2.5	150
RQ3-75-9	75	380	3	950	φ450×900	≤14	≤2.5	220
RQ3-90-9	90	380	3	950	φ600×900	≤16	≤3	400
RQ3-105-9	105	380	3	950	φ600×1200	≤18	≤3	500

表 E-12 井式气体渗氮炉型号及其技术参数

型 号	额定功率 /kW	额定电压 /V	相数	额定温度 /℃	升温时间 /h	工作空间尺寸 (直径×深度)/mm
RN-30-6	30	380	3	650	≤1.5	φ450×650
RN-45-6	45	380	3	650	≤1.5	φ450×1000
RN-60-6	60	380	3	650	≤1.5	φ650×1200
RN-75-6	75	380	3	650	≤1.5	φ800×1300
RN-90-6	90	380	3	650	≤2	φ800×1300
RN-110-6	110	380	3	650	≤2	φ800×2500
RN-140-6	140	380	3	650	≤2	φ800×3500

表 E-13 RJJ 系列低温井式电阻炉型号及其参数

型 号	功率 /kW	电压/V	相数	加热段数	最高工作温度/℃	炉膛尺寸 (直径×深度)/mm	生产率	
							最大/(kg/h)	实际采用/(kg/h)
RJJ-24-6	24	380/220	3	1	650	φ400×500	100	40~70
RJJ-36-6	36	380/220	3	1	650	φ500×650	280	70~100
RJJ-75-6	75	380/220	3	1	650	φ950×1220	550	200~250

表 E-14 RJ2 系列低温井式电阻炉型号及其参数

型 号	功率 /kW	电压 /V	相数	最高工 作温度 /℃	炉膛尺寸 (直径×深度) /mm	炉温 650℃时的指标		
						空炉损耗 功率/kW	空炉升 温时间/h	最大装载 量/kg
RJ2-25-6	25	380	1	650	φ400×500	≤4.0	≤1.0	150
RJ2-35-6	35	380	3	650	φ500×650	≤4.5	≤1.0	250
RJ2-55-6	55	380	3	650	φ700×900	≤7.0	≤1.2	750
RJ2-75-6	75	380	3	650	φ950×1200	≤10	≤1.5	1000

表 E-15 台车式电阻炉型号及技术参数

型 号	功率 /kW	电压 /V	相数	额定 温度 /℃	炉膛尺寸 (长×宽×高) /mm	炉温 850℃时的指标			
						空炉损耗 功率/kW	空炉升 温时间/h	最大装载 量/kg	
标准系列	RT2-65-9	65	380	3	950	1100×550×450	≤14	≤2.5	1000
	RT2-105-9	105	380	3	950	1500×800×600	≤22	≤2.5	2500
	RT2-180-9	180	380	3	950	2100×1050×750	≤40	≤4.5	5000
	RT2-320-9	320	380	3	950	3000×1350×950	≤75	≤5.0	12000

(续)

型 号		功率 /kW	电压 /V	相数	额定 温度 /℃	炉膛尺寸 (长×宽×高) /mm	炉温 850℃ 时的指标		
							空炉损耗 功率/kW	空炉升温 时间/h	最大装载 量/kg
非 标 准 型	RT-75-10	75	380	3	1000	1500×750×600	≤15	≤3.0	2000
	RT-90-10	90	380	3	1000	1800×900×600	≤20	≤3.0	3000
	RT-150-10	150	380	3	1000	2800×900×600	≤35	≤4.5	4500

表 E-16 罩式退火炉类型及其技术参数

类型	型号	功率 /kW	电压 /V	相数	最高 工作 温度 /℃	工作区尺寸 /mm	空炉 升温 时间 /h	炉料 温差 /℃	最大 装炉 量/t	占地 面积 /m <sup>2</sup>	吊钩 高度 /m	重 量 /kg
750℃ 系 列	JL85-51	80	380	3	750	φ800×1250	1.5	≤±5	3	4.4×7.7	4.8	8500
	JL86-84	110	380	3	750	φ800×2000	1.5	≤±5	5	4.4×8.5	6.8	15430
	JL87-60	160	380	3	750	φ1000×1600	1.5	≤±5	5	5.5×9.6	6.2	13500
	JL86-85	170	380	3	750	φ1000×2500	1.5	≤±5	8	5.5×10.5	8	18500
	JL87-61	180	380	3	750	φ1200×1600	1.5	≤±5	8	6.7×11.5	6.35	15500
	JL86-11	250	380	3	750	φ1200×2500	2	≤±5	10	6.7×12.4	8.15	20000
	JL87-62	210	380	3	750	φ1400×1600	2	≤±5	12	7.8×13.4	6.5	18500
	JL86-87	400	380	3	750	φ1400×3200	2	≤±5	20	7.8×15	9.7	23000
	JL87-63	330	380	3	750	φ1600×2000	2.5	≤±5	22	10×16	7.4	26000
	JL87-64	450	380	3	750	φ1600×3200	2.5	≤±5	30	10×17.2	9.8	32000
950℃ 系 列	JL89-31	90	380	3	950	φ800×1200	1.5	≤±5	2.5	4.7×7.8	4.85	9000
	JL89-32	110	380	3	950	φ800×2400	1.5	≤±5	5	4.7×8.9	7.9	17000
	JL89-33	170	380	3	950	φ1000×1600	1.5	≤±5	5	5.8×10	6.4	14500
	JL89-34	190	380	3	950	φ1000×2500	2	≤±5	7.5	5.8×11	8.0	19000
	JL89-35	190	380	3	950	φ1200×1800	2	≤±5	8	7×12	6.8	18000
	JL89-31	265	380	3	950	φ1200×2500	2	≤±5	10	7×12.9	8.2	21000
	JL89-32	220	380	3	950	φ1400×2000	2	≤±5	14	8.2×14	7.4	22000
	JL89-33	420	380	3	950	φ1400×3000	2	≤±5	18	8.2×15.6	9.6	28000
	JL89-34	345	380	3	950	φ1600×2400	2.5	≤±5	24	10.4×16.8	8.4	30000
	JL89-35	470	380	3	950	φ1600×3200	2.5	≤±5	28	11.4×16.8	9.9	36000

## 附录 F 真空和离子轰击热处理炉技术参数

表 F-1 WQG、WZDGQ、HZQ 型高压气淬真空炉的技术参数

型 号	有效加热区 (长×宽×高)/mm	装炉量 /kg	加热功 率/kW	最高温 度/℃	压升率 /(Pa/h)	气冷压 力/10 <sup>5</sup> Pa	生产单位
WQG-669	900×600×600	—	—	1300	0.67	6~10	沈阳真空技 术研究所
WQG-7712	1200×700×700	—	—				
WZDGQ-30	500×300×300	60	57	1320	0.67	6~10	北京机电 研究所
WZDGQ-45	670×450×400	200	85				
WZDGQ-60	900×600×600	500	165				
HZQ-80	600×400×400	200	80	1300	0.67	6~10	北京华翔技 术开发公司
HZQ-150	900×600×600	500	150				
HZQ-200	1100×700×700	800	200				
HVQ-70	600×400×300	200	100	1320	0.70	6~10	汉中赛普技 术开发公司
HVQ-160	900×600×500	600	160				

表 F-2 双室卧式气冷真空炉技术参数

型 号	有效加热区 (宽×长×高) /mm	装炉量 /kg	最高温 度/℃	加热功 率/kW	压升率 /(Pa/h)	气冷压 力/Pa	生产单位
WZQ-30	300×450×300	60	1300	40	0.67	$3 \times 10^5$	北京机电研究所
WZQ-45	450×670×400	120		63			
ZCGQ <sub>2</sub> -65	420×620×300	100	1300	65	0.67	$2 \times 10^5$	首都航天机械 公司工业炉厂
ZCGQ <sub>2</sub> -100	600×1000×410	300		100			
HZQ <sub>2</sub> -65	400×600×300	120	1300	65	0.67	$5 \times 10^5$	北京华翔公司
HZQ <sub>2</sub> -100	600×900×410	300		100			

表 F-3 FH·V 型双室立式气冷真空炉技术参数

型 号		FH·V						
		20	30	45	60	75	90	120
有效加热区	直径/mm	200	300	450	450	750	900	1200
	高/mm	200	300	450	600	750	900	1200
装炉量/kg		15	40	90	160	260	400	800
最高温度/℃		1350						
炉温均匀性(在 1150℃)/℃		±5						
空炉升温时间(至 1150℃)/min		<30					<40	
工件淬火转移时间/s		12					15	

(续)

型 号	FH · V						
	20	30	45	60	75	90	120
气冷时间(从 1150℃→150℃)/min	<30						
抽空时间(至 6.7Pa)/min	10						15

注:选自日本真空技术株式会社产品。

表 F-4 三室油淬高压气淬真空炉技术参数

型 号	有效加热区 (长×宽×高)/mm	装炉量 /kg	最高温度 /℃	加热功率 /kW	压升率 /(Pa/h)	气冷压力 /Pa
ZC3-65	600×400×300	120	1300	65	0.67	$5 \times 10^5$
HZC3-100	900×600×400	300		100		

注:选自北京华翔公司产品。

表 F-5 双室油淬真空炉技术参数

型 号	加热功率 /kW	有效加热区 (长×宽×高) /mm	装炉量 /kg	最高温度 /℃	压升率 /(Pa/h)	气冷压力 /Pa
ZC2-30	30	300×400×180	40	1320	0.67	—
ZC2-65	65	420×620×300	100			
ZC2-100	100	600×1000×410	300			

注:首都航天机械公司工业炉厂产品。

表 F-6 PFTH 型立式油淬真空炉技术参数

型 号	有效加热区 (直径×高)/mm	装炉量/kg	加热功率/kW
PFTH400/1000	φ400×1000	150	100
PFTH500/1200	φ500×1000	250	150
PFTH600/1200	φ600×1200	350	180
PFTH800/1700	φ800×1700	700	320

注:选自法国 ECM 公司产品。

表 F-7 国产 HZCD 型卧式三室多用途真空炉技术参数

型 号	有效加热区 /mm × mm × mm	装炉量 /kg	最高温度 /℃	加热功率 /kW	极限真 空度/Pa	气冷压力 /Pa
HZCD-40	450×300×300	60	1300	40	$4 \times 10^{-1} \sim 6.6 \times 10^{-3}$	$2 \times 10^5$
HZCD-65	600×400×300	120		65		
HZCD-100	900×600×410	300		100		

表 F-8 立式多用途真空炉技术参数

有效加热区 (直径×高)/mm	φ100×200	φ150×250	φ600×1500	φ600×2000	φ1500×2000
装炉量/kg	10	15	200	220	400
最高使用温度/℃	1000	950	950	950	1000
温度均匀度/℃	±10	±10	±10	±10	±10
加热器功率/kW	20	15	165	254	510
加热器材料	Cr20Ni80	Cr20Ni80	Cr20Ni80	Cr20Ni80	Cr20Ni80
供电线路电压/V	220	220	380	380	380
加热器连接方式	单	单	3△	4△	4△
工作电压/V	6~10	10~60	6~40	6~60	7~70
极限真空度/Pa	$1.3 \times 10^{-1}$	$1.3 \times 10^{-1}$	$1.3 \times 10^{-2}$	$6.6 \times 10^{-1}$	$1.3 \times 10^{-2}$
工作真空度/Pa	1.3	1.3	$1.3 \times 10^{-1}$	1.3	$1.3 \times 10^{-1}$
压升率/(Pa/h)	4	4	$6.6 \times 10^{-1}$	$6.6 \times 10^{-1}$	$6.6 \times 10^{-1}$
淬火转移时间/s	<10	15	30	30	15
硝盐槽工作温度/℃		450	180~400		176~330
油槽工作温度/℃		80	80	80	60

注:选自航空工业规划设计研究院产品。

表 F-9 真空正压回火炉技术参数

型 号	有效加热区 /mm	装炉量 /kg	最高温度 /℃	加热功率 /kW	气冷压力 /Pa	生产单位
HZR-24	450×300×300	100	700	24	$2 \times 10^5$	北京华翔公司
HZR-35	600×400×300	200		35		
HZR-50	900×600×450	300		50		
HZR-80	900×600×600	500		80		
WZH-20	300×200×200	20	700	15	$2 \times 10^5$	北京机电 研究所
WZH-45	670×450×400	150		40		
WZH-60	900×600×600	500		80		
ZR-30	620×420×300	120	700	30		首都航天机械 公司工业炉厂
ZR-48	1000×600×450	300		48		

表 F-10 VC 型双室渗碳炉技术参数

型 号	有效加热区(长×宽×高)/mm	装炉量 /kg	炉温 /℃	真空度 /Pa	功率 /kW	渗碳气流量 /(m³/h)	一次充氮 /m³	冷却水流量 /(m³/h)
VC-40	610×920×610	420	1000	25	155	1.5	16	14
VC-50	760×1220×610	660			215	2.0	18	16

注:选自日本中外炉公司产品。

表 F-11 ZCT、WZCT、HZC 型真空炉技术参数

型 号	有效加热区 /mm	装炉量 /kg	最高温度 /℃	加热功率 /kW	压升率 /(Pa/h)
ZCT-65	620 × 420 × 300	100	1300	65	0.67
ZCT-100	1000 × 600 × 400	300		100	
WZCT-30	450 × 300 × 330	60		40	
WZCT-30	670 × 450 × 400	120		63	
WZCT-45	900 × 650 × 450	210		100	
HZCT-65	600 × 400 × 300	120		65	
HZCT-100	900 × 600 × 400	300		100	

## 附录 G 浴槽式热处理电阻炉技术参数

表 G-1 外热式低温浴炉技术参数

项 目	规 格						
	SY2-6-3	SY2-12-3	NS-85-61	NS-85-62	NS-85-63	NS-85-64	NS-85-65
溶剂	油	油	硝盐	硝盐	硝盐	硝盐	硝盐
功率/kW	6	12	15	20	38	45	36
电压/V	380	380	380	380	380	380	380
相数	3	3	3	3	3	3	3
接线方法	丫	丫	丫	丫	丫	丫	丫
最高温度/℃	300	300	550	550	550	550	550
升温时间/h	1	2	≤1.2	≤1.2	≤1.2	≤1.2	≤1.2
空载功率/kW	2.1	3	4.5	5	6	13	10
炉膛尺寸	直径	400(长)	600(长)	φ400	φ400	φ600	φ600
		300(宽)	500(宽)				
外形尺寸	深	250	400	400	600	800	1000
	长	580	800	1380	1380	1580	1580
	宽	560	760	1220	1220	1420	1420
重量/kg	高	660	810	1510	1710	1710	1910
				1250	1510	2050	3100
							2500

表 G-2 内热式低温浴炉技术参数

项 目	碱浴炉	等温淬火硝盐炉	回火硝盐炉
工作温度/℃	160 ~ 180	160 ~ 200	550
功率/kW	12	21	36

(续)

项 目		碱浴炉	等温淬火硝盐炉	回火硝盐炉
电压/V		380	380/220	380
相数		3	3/1	3
接线方法		Y	Y/串联	Y
炉膛尺寸 /mm	长	600	850	600
	宽	550	600	500
	深	880	500	800
外形尺寸 /mm	长	900	1200	2200
	宽	750	900	1640
	高	1290(无罩)	2405(带罩)	1660
重量/kg		400	590	1780

表 G-3 外热式中温盐浴炉技术参数

项 目		规 格		
		GY2-10-8	GY2-20-8	GY2-30-8
额定功率/kW		10	20	30
电压/V		220	380	380
相 数		1	1	3
接线方法		串联	串联	Y
最高工作温度/℃		850	850	850
坩埚尺寸/mm	直径	200	300	400
	深度	350	550	575
空炉升温时间/h		≤3	≤3.5	≤5.5
空载功率/kW		4	5	7
外形尺寸(长×宽×高)/mm		1300×1236×1834	1400×1190×2115	1440×1220×2316
重量/kg		1150	1200	1550

表 G-4 外热式液体燃料中温盐浴炉技术参数

坩埚尺寸/mm		坩埚有效容积/L	生产率/(kg/h)	坩埚重量/kg	外廓尺寸/mm		单位燃料消耗量/(kJ/kg)	
直径	深度				直径	高度	600℃时	900℃时
φ200	350	8.5	20	49	φ910	2100	2090	5020
φ200	535	14.3	35	73	φ910	2100	1465	3770
φ250	350	13.2	35	62	φ1060	2200	1675	4180
φ250	535	22.0	50	86	φ1060	2200	1380	3350
φ250	610	26.0	60	95	φ1060	2200	1255	3140
φ300	535	31.0	70	130	φ1060	2200	1255	3140
φ300	610	37.0	80	146	φ1060	2200	1170	2930
φ400	535	59.0	100	160	φ1170	2200	1300	3140
φ400	610	69.0	125	210	φ1170	2200	1170	2930

表 G-5 RYD 系列插入式电极盐浴炉技术参数

型 号		额定功率 /kW	电源电压 /V	电极工作电压/V	变压器容量 /kV·A	相数	额定温度 /℃	炉膛尺寸 (长×宽×高) /mm	最大生产率 /(kg/h)	炉体重量 /kg
高 温	RYD-20-13A	20	380	6.9~20	25	1	1300	245×180×430	90	1000
	RYD-35-13A	35	380	7~18.5	40	3	1300	305×200×430	100	1200
	RYD-45-13A	45	380	6.95~19.65	50	1	1300	340×260×600	200	1500
	RYD-75-13A	75	380	7.17~18.4	80	3	1300	525×350×600	250	1700
	RYD-150-13A	150	380	8.95~21.9	210	3	1300	300×300×1600	—	5000
中 温	RYD-25-8A	25	380	6.9~20	30	1	850	380×300×490	90	1000
	RYD-100-8A	100	380	8.02~19.65	105	3	850	920×600×540	160	3200
	RYD-100-9A	100	380	9.02~23.5	120	3	950	300×300×1600	—	5000
低 温	RYD-50-16A	50	380	7.98~20	55	3	600	920×600×540	100	3200

表 G-6 RDM 系列埋入式电极盐浴炉的技术参数

型 号		额定功率 /kW	电源电压 /V	电极工作电压/V	变压器容量 /kV·A	相数	额定温度 /℃	炉膛尺寸 (长×宽×高) /mm	最大生产率 /(kg/h)	炉体重量 /kg
高 温	RDM-25-13	25	380	12~29.2	24	1	1300	200×200×600	13	1000
	RDM-45-13	45	380	14.5~30.6	25.1	3	1300	300×250×700	26	1360
	RDM-70-13	70	380	16.2~34	28	3	1300	350×300×700	36	1730
	RDM-90-13	90	380	16.3~34.6	28.1	3	1300	450×350×700	50	1770
中 温	RDM-20-8	20	380	12~29.2	24	1	850	200×200×600	8	1000
	RDM-30-8	30	380	14.5~30.7	25.1	3	850	300×250×700	13	1230
	RDM-45-8	45	380	14.5~30.6	25.1	3	850	350×300×700	18	1530
	RDM-70-8	70	380	16.2~34	28	3	850	450×350×700	24	1640
	RDM-130-8	130	380	16.2~34	28	3	850	900×450×700	50	2670
低 温	RDM-30-6	30	380	14.5~30.7	25.1	3	650	350×300×700	8	1520
	RDM-45-6	45	380	14.5~30.6	25.1	3	650	450×350×700	—	1627
	RDM-90-6	90	380	16.3~30.6	28.1	3	650	900×450×700	—	2700

## 附录 H 炉膛式燃料炉技术参数

表 H-1 室式燃气热处理炉技术参数

项 目	数 据	项 目	数 据
最高炉温/℃	1000	空气消耗量( $\alpha = 1.05$ )/(m <sup>3</sup> /h)	144
最大生产能力/(kg/h)	65	燃烧生成气量( $\alpha = 1.05$ )/(m <sup>3</sup> /s)	0.04
燃料名称,最低发热量/(kJ/m <sup>3</sup> )	天然气 35600	烧嘴数量/个	2
最大燃料消耗量/(m <sup>3</sup> /h)	13	烧嘴前煤气压力/kPa	100

表 H-2 箱式滚底型燃气热处理炉技术参数

项 目	数 据	项 目	数 据
最高炉温/℃	1000	烧嘴数量及型号/个	$3, d_{pt} = 42$
燃料名称,低发热量/(kJ/m <sup>3</sup> )	发生炉煤气 5860	烧嘴前煤气压力/kPa	12
最大燃料消耗量/(m <sup>3</sup> /h)	200	最大燃烧生成气量/(m <sup>3</sup> /s)	0.115
最大空气消耗量/(m <sup>3</sup> /h)	270	炉子生产能力/(kg/h)	165

表 H-3 台车式燃油炉技术参数

项 目	数 据	项 目	数 据
最高炉温/℃	1000	最大燃烧生成气量/(m <sup>3</sup> /s)	1.03
最大装载量/t	80	炉底热强度/[kJ/(m <sup>2</sup> · h)]	$5.23 \times 10^5$
燃料名称	燃料油	油嘴数量及型号	16 个 RK—50
燃料低发热量/(kJ/kg)	40190	油嘴前燃料油压力/kPa	50 ~ 150
最大燃料消耗量/(kg/h)	288	油嘴前空气压力/kPa	7
最大空气消耗量/(m <sup>3</sup> /h)	3525	炉子排烟阻力/Pa	80

表 H-4  $\phi 2.3\text{m} \times 12.7\text{m}$  深井式燃气热处理炉技术参数

项 目	数 据	项 目	数 据
最高炉温	1000℃	最大燃烧生成气量	$1.05 \text{ m}^3/\text{s}$
最大装载量	30t	炉底热强度	$3.39 \times 10^5 \text{ kJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$
燃料及低发热量	发生炉煤气 5230kJ/m <sup>3</sup>	烧嘴型号及数量	$d_{pt} = 28\text{mm}, 42$ 个
最大燃料消耗量	1900m <sup>3</sup> /h	烧嘴前煤气压力	12.5kPa

## 附录 J 炉膛式连续热处理电阻炉技术参数

表 J-1 推杆式大型普通箱式电阻炉技术参数

项目名称	工作温度 /℃	工作室尺寸(长 × 宽 × 高)/m	电加热器功率/kW	一次最大装载量/kg	供电线路电压 /V	加热器联接方式
技术参数	950 ± 10	6.1 × 0.7 × 0.6	168	1000	380	4 √

表 J-2 RT 型推杆式普通箱式电阻炉技术参数

项目名称	炉子规格	
	RT-85	RT-140
	技术参数	
额定功率/kW	85	140
额定电源电压/V	380	380
电阻丝电压/V	380	一区 118 ~ 184, 二、三区 85.5 ~ 133
相数	一区三相, 二、三区单相	一区三相, 二、三区单相
电阻丝连接方法	一区 √, 二、三区串联	一区 √, 二、三区串联
加热区段	3	3
最高工作温度/℃	650	950
炉膛尺寸(长 × 宽 × 高)/mm	4550 × 600 × 400	4550 × 600 × 400
外形尺寸(长 × 宽 × 高)/mm	8370 × 2350 × 3000	8620 × 2350 × 2470
最高生产率/(kg/h)	350	350
重量/t	18	21.3

表 J-3 常用连续式渗碳自动线型号和主要技术参数

型号	LSX-D-1	LSX-D-3	LSX-D-3a	LSX-D-4a	LSX-E-1	LSX-E-2a	LSX-E-5a	LSX-E-5b	LSX-E-6a	LSX-E-6b
设备名称	连续式渗碳自动线	连续式渗碳自动线	连续式渗碳自动线	连续式碳氮共渗自动线	连续式渗碳自动线	连续式渗碳自动线	连续式渗碳自动线	连续式渗碳自动线	连续式双排渗碳自动线	连续式双排渗碳自动线
用途	渗碳直淬回火	渗碳或碳氮共渗直淬回火	渗碳直淬回火	碳氮共渗或渗碳直淬回火	渗碳直淬回火	渗碳直淬或压淬回火	渗碳直淬回火	渗碳直淬回火	渗碳直淬	渗碳直淬或压淬回火

(续)

型号	LSX-D-1	LSX-D-3	LSX-D-3a	LSX-D-4a	LSX-E-1	LSX-E-2a	LSX-E-5a	LSX-E-5b	LSX-E-6a	LSX-E-6b
最大生产能力/(kg/h)	280 ~ 300	150	150	120 ~ 140	280 ~ 300	280 ~ 300	250 ~ 300	300	600	600
料盘尺寸 (长×宽×高) /mm	780 × 440 × 50	440 × 440 × 50	440 × 440 × 50	440 × 440 × 50	650 × 440 × 50	780 × 440 × 50	560 × 560 × 50	560 × 560 × 50	560 × 560 × 50	560 × 560 × 50
最大装料高度 /mm	370	370	370	350	370	550	600	600	600	600
渗碳炉内盘数	22	17	17	11	22	22	19	19	19 × 2	19 × 2
标称功率/kW	650	432	418.4	450	719	734	742	725	806	
加热区数	5	4	4	3	6	6	5	5	5	5
主炉加热功率 /kW	391	267.2	256.2	197.4	405	424.8	451.2	440	556	540
加热元件	电阻板	电阻板	电辐射管	电辐射管	电阻板	电辐射管	电辐射管	电辐射管	电辐射管	电辐射管

表 J-4 DM 型有内罐网带式电阻炉技术参数

型 号	有效尺寸 /mm		加热区 长度 /mm	功率 /kW	最大生产能力/(kg/h)			气体消 耗量 /(m <sup>3</sup> /h)
	宽	高			直接淬火	碳氮共渗 0.1mm	渗碳 0.3mm	
	220	50	2400	50	80	40	20	2 ~ 3
DM-22F-L	220	50	2400	50	80	40	20	2 ~ 3
DM-30/25-L	300	50	2500	50	100	55	40	3 ~ 4
DM-30/36-L	300	50	3600	80	150	80	50	3 ~ 4
DM-30/47-L	300	50	4700	100	200	110	70	3 ~ 4
DM-60/36-L	600	100	3600	160	300	160	100	10 ~ 15
DM-60/54-L	600	100	5400	250	460	250	160	15 ~ 20
DM-60/72-L	600	100	7200	320	600	320	200	15 ~ 20

表 J-5 WD 型无内罐网带式电阻炉技术参数

项目名称	WD-30	WD-45	WD-60	WD-75	WD-100	WD-130
额定功率/kW	30	45	60	75	100	130
额定温度/℃	950	950	950	950	950	950
炉膛尺寸 (长×宽×高)/mm	1500 × 250 × 50	2250 × 250 × 50	2250 × 350 × 75	2500 × 400 × 75	3600 × 400 × 100	3600 × 600 × 100
生产率(淬火)/(kg/h)	50	75	100	150	200	300

表 J-6 RJC 型链板式连续热处理电阻炉技术参数

炉型	额定功率/kW	额定电压/V	额定温度/℃	相数	加热区数	每区加热功率/kW	炉膛尺寸(长×宽×高)/mm	传送带速度/(m/min)	最大技术生产率/(kg/h)
RJC-45-2	45	380	250	3.1.1	3		4695×380×400		130
RJC-65-3	65	380	350	3	3	25,20,20	4760×580×415		270
RJC-120-7	120	380	700	3.1.1	3	60,24,36	4110×600×415	0.05~0.34	400
RJC-180-9	180	380	900	3.1.1	3	100,40,40	4180×400×200	0.0435~0.4	
RJC-240-7	240	280	700	3.1	5	36~100	9000×600×250	0.03~0.12	700
RJC-340-9	340	380	900	3.1	4	36~100	6250×600×250	0.03~0.12	

表 J-7 振底式连续热处理电阻炉主要技术参数

项目名称	RZQ-15-9	RZQ-30-9	RZQ-60-9	RZJ-90-9	RZJ-150	RZJ-200
额定功率/kW	15	30	60	90	150	200
电源电压/(相)V	(3)380	(3)380	(3)380	(3)380	(3)380	(3)380
额定温度/℃	900	900	900	900	900	900
炉膛尺寸(长×宽×高)/mm	1100×230×120	2200×280×130	2500×330×135	2800×600×150	4800×800×150	7700×800×185
加热区数	1	2	3	2	3	3
最大生产率(淬火)/(kg/h)	18	50	100	180	300	380
振动频率/(次/min)	3~30	3~30	3~30	3~30	3~30	3~30
底板宽度/mm	201			500	700	700
底板行程/mm	40~50	40~50	40~50	60	60	60
空炉升温时间/h	≤1.5	≤2.5	≤3	≤3.5	≤4.5	≤5.5
控制气氛耗量(包括火帘耗量)/(m <sup>3</sup> /h)	1.2~1.5	2.1~2.5	3~3.5			

表 J-8 转筒式电阻炉炉型及其技术参数

炉型	额定功率/kW	额定电压/V	相数	额定温度/℃	炉膛尺寸/mm	最大生产率/(kg/h)
RJG-30-8	30	220	1	830	φ200×1200	30
回火炉 <sup>1</sup>	19	380	1	180	φ400×2700	30
RJG-70-9	70	380	3	920	φ310×2000	150
回火炉 <sup>1</sup>	45	380	3	250	4095×385×400	150

表 J-9 不同类型的转底炉的特点

炉型		说明	特点
蝶形转底式炉	炉底整体式转动	炉墙固定,整个炉底转动	仅适用于小型炉
	炉内支架转动	炉体全部固定,炉内有一转动的伞形耐热钢支架	耐热钢耗用量大,支架为单轴支承,适用于小型炉
环形转底式炉	炉底有一环形区可以转动,炉体其余部分固定		适用于大型炉,密封性较蝶形炉差
转顶式炉	炉顶盖转动,工件悬挂在炉顶		需专用工夹具,适用于加热长条状工件

表 J-10 环形转底炉技术参数

型号	NS87-49	NS87-51	NS88-333
额定功率/kW	75	115	180
额定电压/V	380	380	380
额定温度/℃	950	950	700
相数/频率/(相)/Hz	3/50	3/50	3/50
加热区数	1	2	3
回转直径/mm	φ1000	φ1400	φ3000
炉膛截面尺寸(宽×高)/mm	350×350	450×450	600×600
空炉损耗功率/kW	20	35	55
质量/kg	4800	6100	21000

## 附录 K 表面热处理设备技术参数

表 K-1 电子管式高频感应加热装置的型号和技术参数

设备型号	振荡频率/ kHz	振荡 功率/ kW	输入 功率/ kW	阳极 电压/ kV	振荡管		整流管		冷却水量/ (L/h)	用途
					型号	数量	型号	数量		
GP8-CR10 GP8-CR15	300~500	8	18	8.1	FU-89S	1	EG <sub>1</sub> - 1.25/10	6	540	淬火、熔炼
GP30-CR11 GP30-CR16	200~300	30	55	15.0	F-431S	1	ZG <sub>1</sub> -6/15	7	1000	淬火、熔炼
GP60-CR11 GP60-CR13 GP60-CR14	200~300	60	100	15.0	F-431S	2	ZG <sub>1</sub> -6/15	7	1600	淬火、熔炼

(续)

设备型号	振荡频率 /kHz	振荡 功率 /kW	输入 功率 /kW	阳极 电压 /kV	振荡管		整流管		冷却水量 /(L/h)	用途
					型号	数量	型号	数量		
GP100-C <sub>2</sub>	200 ~ 250	100	180	15.0	F-433S	1	ZG <sub>1</sub> -6/15	7	2500	淬火、焊接
GP100-C <sub>3</sub>	200 ~ 250	200	320	15.0	F-433S	2	ZG <sub>1</sub> -40/15	7	5000	淬火、焊接
GP200	200 ~ 250	200	320	15.0	F-433S	2	ZG <sub>1</sub> -40/15	7	5000	淬火、焊接

注:型号含义 GP 60 - CR 11

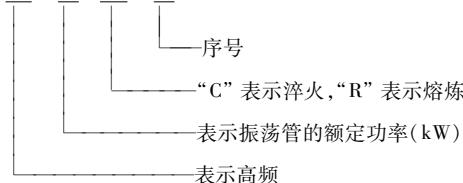


表 K-2 改型的电子管式高频感应加热装置的型号及其技术参数

设备型号	振荡频率 /kHz	输出功率 /kW	振荡功率 /kW	输入功率 /kW	冷却水量 /(L/h)	用途	设备组成
GP10-C2	500 ~ 1000	8	10	15	800	淬火、焊接	振荡柜
GP30A-C2	200 ~ 300	25	30	50	1500	淬火、焊接	振荡柜、整流柜、变压器
GP60-CR13-2	200 ~ 300	50	60	100	3000	淬火、熔炼	振荡柜、整流柜、调压器
GP100-CM	200 ~ 300	85	100	180	3200	淬火、焊接	振荡柜、整流柜、调压器

表 K-3 电子管式超音频感应加热装置的型号及其技术参数

设备型号	振荡频率 /kHz	输出功率 /kW	振荡功率 /kW	输入功率 /kW	冷却水量 /(L/h)	用途	设备组成
CHYP60-C2	30 ~ 40	50	60	100	3500	淬火、焊接	振荡柜、输出柜
CHYP100-C2	30 ~ 40	85	100	180	3500	淬火、焊接	振荡柜、输出柜
CHYP100-C3	30 ~ 40	85	100	180	4000	淬火、焊接	振荡柜、整流柜、调压柜、输出柜、配电柜

注:型号含义 CHYP 100 - C 2

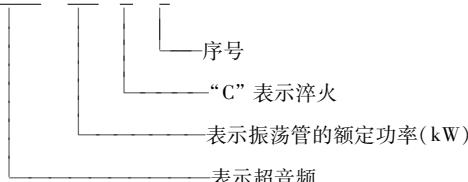


表 K-4 机式中频变频装置的型号及其技术参数

型号	单相中频输出			三相工频输入			励磁电压/V	转速/(r/min)	满载效率/(% )	耗水量/(t/h)	外形尺寸(直径×高)/mm
	功率/kW	频率/Hz	电压/V	功率因数	功率/kW	电压/V					
BPS-50/2500	50	2500	750/375	0.9	65	380	0.9	110/55	2970	77	1.5
BPSD-100/2500	100	2500	750/375	0.9	130	380	0.91	110/55	2970	77	2.5
BPSD-100/8000	100	8000	750/375	0.9	135	380	0.91	110/55	2970	74	2.8
BPSD-160/2500	160	2500	750/375	0.9	208	380	0.91	110/55	2970	77	3
BPSD-160/8000	160	8000	750/375	1.0	216	380	0.936	110/55	2970	74	4

注:型号含义 BP S D - 100 / 8000

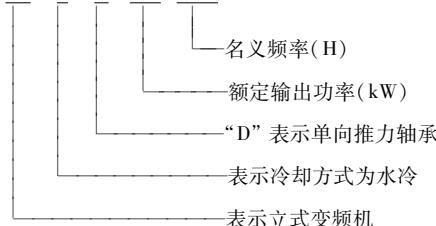


表 K-5 IGBT 中频电源型号和技术参数

电源型号	额定功率/kW	额定频率/kHz	中频高压/V	用 途
IGPS-50	50	1 ~ 10	750/375	感应加热及淬火
IGPS-100	100	1 ~ 10	750/375	感应加热及淬火
IGPS-160	160	1 ~ 10	750/375	感应加热及淬火
IGPS-250	250	1 ~ 10	750/375	感应加热及淬火
IGPS-500	500	1 ~ 10	750/375	感应加热及淬火

表 K-6 晶闸管中频感应加热电源型号及其技术参数

电源型号	额定功率/kW	额定频率/kHz	中频电压/V	中频电流/A	用 途
KGPS-160/1	160	1	750	340	熔炼(250kg)
KGPS-160/8	160	8	750	340	感应加热及淬火
KGPS-160/4-8	160	4 ~ 8	750	340	感应加热及淬火

(续)

电源型号	额定功率 /kW	额定频率 /kHz	中频电压 /V	中频电流 /A	用 途
KGPS-200/1	200	1	750	440	熔炼(300kg)
KGPS-200/8	200	8	750	440	感应加热及淬火
KGPS-200/4-8	200	4 ~ 8	750	440	感应加热及淬火
KGPS-250/1	250	1	750	550	熔炼(400kg)
KGPS-100/2. 5	100	2. 5	750	250	弯管及锻造加热
KGPS-160/2. 5	160	2. 5	750	340	弯管及锻造加热
KGPS-200/2. 5	200	2. 5	750	440	弯管及锻造加热
KGPS-250/2. 5	250	2. 5	750	550	弯管及锻造加热
KGPS-300/1	300	1	750	600	熔炼(500kg)
KGPS-300/2. 5	300	2. 5	750	660	感应加热及淬火
KGPS-300/4-8	300	4 ~ 8	750	660	感应加热及淬火
KGPS-400/1	400	1	750	880	熔炼(800kg)
KGPS-400/2. 5	400	2. 5	750	880	感应加热及淬火
KGPS-400/4	400	4	750	880	感应加热及淬火
KGPS-700/2. 5	700	2. 5	750	1500	感应加热及淬火
KGPS-3600/0. 5J	3500	0. 5			熔炼
KGPS-6300/0. 5J	6300	0. 5			熔炼

表 K-7 GCFW 型通用立式中频淬火机床技术参数

型号	最大夹持 长度/mm	最大加热 长度/mm	最大加热 直径/mm	最大工件 重量/kg	传动 形式	冷却 方式	机床外形尺寸 (长×宽×高)/mm
GCFW1120 /120-W		2000	1200	10000	复合式	喷淋、 埋液	2510×2010×5670
GCFW11350 /120-W		3500	1200	20000	复合式	喷淋、 埋液	3510×2010×4160

表 K-8  $\phi 500\text{mm} \times 3600\text{mm}$  轴类淬火机床技术参数

项 目	参 数	备 注
淬火轴类最大直径/mm	$\phi 500$	
淬火轴类最大长度/mm	3600	
淬火轴类最大重量/kg	3000	
主轴旋转速度/( r/min )	3. 94 ~ 118	无级调速
感应器移动速度/( mm/min )	22 ~ 620	无级调速
尾架移动速度/( mm/min )	82 ~ 2435	无级调速

(续)

项 目	参 数	备 注
主驱动电动机/kW	4	
升降驱动电动机/kW	4	
液压泵电动机/kW	0.8	

表 K-9  $\phi 800\text{mm} \times 7000\text{mm}$  中频和  $\phi 1500\text{mm} \times 7000\text{mm}$  工频  
轴类淬火机床技术参数

项 目	参 数	
	$\phi 800\text{mm} \times 7000\text{mm}$ 中频	$\phi 1500\text{mm} \times 7000\text{mm}$ 工频
淬火工件直径/mm	$\phi 100 \sim \phi 800$	$\phi 235 \sim \phi 1485$
淬火齿轮轴模数	8 ~ 50	
上下顶尖最大距离/mm	7000	7000
感应器横梁最大行程/mm	6050	6830
淬火工件最大重量/t	10	60
感应器横梁升降速度/(mm/s)	0.8 ~ 20	0.6 ~ 12
托架横梁升降速度/(mm/s)	0.8 ~ 20	0.6 ~ 12
主轴转速/(r/min)	15 ~ 60	10 ~ 50
上顶尖滑板移动速度/(mm/min)	16	16
抱辊开合角开合速度/[°/s]	1.6	1.6
感应器横梁及扶架横梁升降用电动机	型号	JZT-7.5
	功率/kW	7.5
	额定转速/(r/min)	1400
	调速范围/(r/min)	90 ~ 1415
主轴转动用电动机	型号	JZT-7.5
	功率/kW	7.5
	额定转速/(r/min)	1400
	调速范围/(r/min)	243 ~ 1215
抱辊及上顶尖滑板移动用电动机	型号	JD41-6
	功率/kW	1.0
	额定转速/(r/min)	940
	$U_0$ -20 减速器速比	6.07
专用减速器速比	至感应器横梁	23.56/38.9
	至扶架横梁	24.72/40.81
机床总重/t	47.83	

表 K-10 GCK 数控导轨感应淬火机床技术参数

项 目	参 数
最大淬火工件长度/mm	9000
最大淬火工件宽度/mm	300
淬火速度/(mm/min)	150~300
感应器在横梁导轨上左右移动的最大距离/mm	1500
横梁在立柱导轨上上下移动的最大距离/mm	1000
立柱在床身导轨上左右移动的最大距离/mm	9000
机床重量/kg	15000
外形尺寸(长×宽×高)/mm	13100×4600×3700

表 K-11 GCQZ02 单缸曲轴淬火机床技术参数

项 目	参 数
夹持零件最大长度/mm	420
工件最大偏心尺寸/mm	45
工件最大重量/kg	5
工件旋转速度范围/(r/min)	30~90
减速机电动机功率/kW	1.5

表 K-12 火焰表面加热常用气体燃料的特性

气体燃料名称	发热量/(MJ/m <sup>3</sup> )	气体密度/(kg/m <sup>3</sup> <sup>①</sup> )	相对密度 (与空气比)	火焰温度/℃		氧与气体燃料体积比	空气与气体燃料体积比	空气中燃烧容量(%)
				氧助燃	空气助燃			
乙炔	53.4	1.1708	0.91	3105	2325	1.0	*	2.5~80.0
甲烷 (天然气)	37.3	0.7168	0.55	2705	1875	1.75	9.0	5~15.0
丙烷	93.9	2.02	1.56	2635	1925		25	2.1~9.5
城市煤气	11.2~33.5	*	*	2540	1985	*	*	*

注: \* 依实际成分及发热值而定。

① 标准状态下气体的体积。

表 K-13 各种储气瓶的技术参数

钢瓶类别	工作压力/kPa	试验压力/MPa		充装系数/(kg/L)	瓶体涂色标注	
		水压	气压		表面漆色	字样漆色
氧气	14710	22.5	15.0	—	浅蓝色	黑色
乙炔	1961	4.5	2.0	—	白色	红色
丙烷	≤1961	4.5	2.0	≤0.41	红色	白色

表 K-14 不同流量下的乙炔管道内径 (单位:mm)

管长/m	乙炔流量/(m <sup>3</sup> /h)					
	1	2	4	6	8	10
10	φ19	φ25	φ32	φ38	φ45	φ45
20	φ19	φ32	φ38	φ45	φ45	φ50
30	φ25	φ32	φ38	φ45	φ50	φ65
50	φ25	φ38	φ45	φ50	φ65	φ65
100	φ32	φ38	φ50	φ65	φ65	φ76
160	φ32	φ45	φ50	φ65	φ76	φ76
200	φ38	φ45	φ65	φ76	φ76	φ76

表 K-15 不同流量下氧气管道的口径

流量/(m <sup>3</sup> /h)	需要管内径/mm	采用管尺寸(管径×壁厚)/mm	
		室 内	室 外
<20	φ9.4	φ17×4	φ38×5
50	φ14.85	φ25×4	φ38×5
75	φ18.20	φ32×4	φ38×5
100	φ21.00	φ32×4	φ38×5
100~200	φ21~φ29.6	φ38×4	φ38×5
200~300	φ29.6~φ36.2	φ44.5×4	φ44.5×5
300~500	φ36.2~φ47.0	φ57×4	φ57×5

## 附录 L 热处理常用冷却设备技术参数

表 L-1 低温低压冷处理箱技术参数

型 号	制冷室尺寸 (长×宽×高)/cm	控制温度范围 /℃	最低温 度/℃	功率 /kW	制冷介质	重量 /kg
D60-120	50×40×60(0.12m <sup>3</sup> )	(-30~-60)±2.5	-60	1.1×2	F-22、F-13	550
D60/0.6	151×80×50(0.5m <sup>3</sup> )	-60±2	-60	4	F-22、F-13	1000
D60/1.0	110×97.5×97.5(1.0m <sup>3</sup> )	-60±2	-60	4	F-22、F-13	1200
D02/80	60×70×47.5(~0.2m <sup>3</sup> )	-80±2	-80	4	F-22、F-13	—
D-8/0.2	53×53×70(0.2m <sup>3</sup> )	-80±2	-80	4	F-22、F-13	750
D-8/0.4	80×71.5×71.5(0.4m <sup>3</sup> )	-80±2	-80	4	F-22、F-13	910
D-8/25	0.25m <sup>3</sup>	-80±2	-80	4	F-22、F-13	700
GD5-1	100×95×100	(+70~-50)±2	-50	3×2	F-22、F-13	1350

(续)

型 号	制冷室尺寸 (长×宽×高)/cm	控制温度范围 /℃	最低温 度/℃	功率 /kW	制冷介质	重量 /kg
GD7-0.4	70×70×80	(+80~-70)±2	-70	6	F-22、F-13	1000
LD-0.1/12	35×60×45 (~0.1m³)	-80~-120	-120	7	F-22、F-13 F-14	1000

表 L-2 配置冷却循环系统淬火槽技术参数

水温/℃		每小时淬火 钢件重量/kg	每小时换热量 /kJ	需水量 /(L/min)	循环油量 /(L/min)
进口	出口				
21	32	68	37980	13.7	17.1
24	35	59	32916	12.2	17.1
27	38	50	27852	10.6	17.1
32	40	40	22788	9.1	17.1

注:淬火槽油温为49~66℃。

表 L-3 根据介质的温度选择所需要的换热器

处理介质的温度/℃	换热器类型
<24	制冷机
35~45	双液体介质换热器(列管式、平行板式、螺旋板式)
>45	风冷换热器

表 L-4 列管式换热器型号和油流量

型号	GLC1	GLC2	GLC3	GI4	GLL3	GLL4	GLL5	GLL6
流量/(L/min)	0.6~5.1	1.8~9	75~250	230~470	75~150	250~650	525~1250	1500~2500

表 L-5 列管式换热器技术参数

系列	公称 压力 /MPa	介质运动粘度 (40℃)/(mm²/s)	进油 温度 /℃	进水 温度 /℃	压力损失/MPa		油水流 量比	传热系数 /[W (m²·℃)]
					油侧	水侧		
GLC	0.63,1	61.2~74.8	55±1	≤30	≤0.1	≤0.05	1:1	≥350
GLL	0.63	61.2~74.8	50±1	≤30	≤0.1	≤0.05	1:1.5	≥320
GLL-L	0.63	61.2~74.8	50±1	≤30	≤0.1	≤0.05	1:1.5	≥320

表 L-6 SLQ 系列过滤器的型号和技术参数

型 号	公称通径 /mm	过滤面积 /m <sup>2</sup>	外形尺寸 (长×宽×高)/mm	通过能力 (L/min)
SLQ-32	32	0.08	397×340×440	130/310
SLQ-40	40	0.21	480×376×515	330/790
SLQ-50	50	0.31	1023×330×800	485/1160
SLQ-65	65	0.52	1087×374×860	820/1960
SLQ-80	80	0.83	1204×370×990	1320/3100
SLQ-100	100	1.31	1337×442×1190	1990/4750
SLQ-125	125	2.20	1955×755×1270	3340/8000
SLQ-150	150	3.30	1955×755×1530	5000/12000

注:公称压力皆为 0.6MPa;通过能力栏中第一个数据为 80μm 网孔时的通过能力,后一数据为 120μm 时的通过能力。

## 附录 M 热处理常用辅助设备技术参数

表 M-1 制备可控气氛常用的原料气及其参数

原料气	混合比 (体积比)	产气倍数	1kg 原料气产 气量 <sup>①</sup> /m <sup>3</sup>	1kg 原料气需 空气量 <sup>①</sup> /m <sup>3</sup>	吸热式气氛组分(体积分数,%)						
	空气/原 料气				CO <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>	CO	H <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	H <sub>2</sub> O	N <sub>2</sub>
甲烷 (CH <sub>4</sub> )	2.38	4.88	6.89	3.33	0.5	0	20	41	0.5	0.5	余
丙烷 (C <sub>3</sub> H <sub>8</sub> )	7.14	12.64	6.41	3.64	0.5	0	24	31	0.5	0.5	余
丁烷 (C <sub>4</sub> H <sub>10</sub> )	9.52	16.52	6.38	3.68	0.5	0	24.5	30	0.5	0.5	余

① 指标准状态下的体积。

表 M-2 国内发生炉产气量及反应管尺寸(一)

发生炉产气量/(m <sup>3</sup> /h)	15	20		25	35	70	100
管外径/mm	φ164	φ184	φ150	φ200	φ200	φ200	φ200
管高度/mm	1000	1000	1500	1200	1500	1500	1500
壁厚/mm	8	8	8	10	13	13	13
个 数	1	1	1	1	1	2	3

表 M-3 国内发生炉产气量及反应管尺寸(二)

发生炉产气量/(m <sup>3</sup> /h)	8	14	23	35	70	100
管外径/mm	φ180	φ180	φ230	φ230	φ230	φ230
管长度/mm			1620	1920	1920	1920
壁厚/mm	13	13	13	13	13	13
个 数	1	1	1	1	2	3

表 M-4 RX 型吸热式气氛发生炉技术参数

型号	额定产气量/(m <sup>3</sup> /h)	反应罐数	原料气耗量/(m <sup>3</sup> /h)			燃料消耗			烧嘴数	电 耗			变压器/kV·A(个×相)	冷却水(27℃)/(L/h)
			CH <sub>4</sub>	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	轻油/(L/h)	引燃气/(kJ/h)	压缩空气/(m <sup>3</sup> /min)		加热/kW	鼓风机电/kW	仪表/kW		
RX-8	8	1	1.6	0.7	0.5	2~4	17585	0.2	2	10~20	0.4	1.0	25(1×1)	500
RX14	14	1	2.8	1.1	0.8	3~4	17585	0.2	2	16~25	0.4	1.0	30(1×1)	500
RX-23	23	1	4.6	1.8	1.4	4~8	29300	0.4	4	20~35	0.75	1.0	45(1×1)	1000
RX35	35	1	7.0	2.8	2.0	5~8	29300	0.4	4	25~98	0.75	1.0	20(3×3)	1200
RX70	70	2	14.0	5.6	4.0	7~12	41030	0.55	6	37~48	1.5	1.0	20(3×3)	2100
RX-100	100	3	20.0	3.2	6.3	12~18	41030	1.0	6	57~68	1.5	1.0	25(3×3)	3000

注:原料气用其中任一种,燃油与电加热用其一,压缩空气压力550~700kPa,只用于燃油。

表 M-5 内置式气氛发生装置的技术参数

发生机型号	反应筒型号	反应筒数	RX气体发生量/(m <sup>3</sup> /h)	天然气消费量/(m <sup>3</sup> /h)	电力消耗量/kW			
					加热器常用	加热器设备容量	鼓风机	控制装置
CRG-RC-9	S·T·D	1	10	1.7	3.0	3.5	0.85(1.3)	0.5
CRG-RC-10	LONG	1	12	2.1	3.5	4.0	0.85(1.3)	0.5
CRG-RC-11	S·T·D	2	20	3.5	6.0	7.0	0.85(1.3)	0.5
CRG-RC-12	LONG	2	24	4.2	7.0	8.0	0.85(1.3)	0.5
CRG-RC-13	S·T·D	3	30	5.2	9.0	10.5	0.85(1.3)	0.5

(续)

发生机型号	反应简型号	反应简数	RX 气体发生量/(m <sup>3</sup> /h)	天然气消费量/(m <sup>3</sup> /h)	电力消耗量/kW			
					加热器常用	加热器设备容量	鼓风机	控制装置
CRG-RC-14	LONG	3	36	6.2	10.5	12.0	0.85(1.3)	0.5
CRG-RC-15	S·T·D	4	40	6.9	12.0	14.0	0.85(1.3)	0.5
CRG-RC-16	LONG	4	48	8.3	14.0	18.0	0.85(1.3)	0.5

- 注:1. 电力消费量中的“加热器常用”因设备的工作状态而变动。  
 2. 原料气按 0.5kg/cm<sup>3</sup> 计算。  
 3. 括号内数值表示的是 50Hz 的状况,括号外的指 60Hz 时的数值。  
 4. 电压为 380V ± 10V,50Hz。  
 5. 气体体积均为标准状态。

表 M-6 放热式气氛发生器的技术参数

序号	产气量/(m <sup>3</sup> /h)	原料气及耗量	混合方式	混合比		燃烧炉膛			催化剂	烧嘴		
				浓型	淡型	形式	炉膛尺寸/mm	容积/m <sup>3</sup>		形式	喷出速度/(m/s)	
1	20	液化气 1.6 (m <sup>3</sup> /h)	预先	13.3		卧式		0.015	无	缝隙式	10 ~ 14	
2	45	液化气 4 ~ 6(m <sup>3</sup> /h)	预先	13.8		卧式	φ200 × 810	0.024	无	缝隙式	9.8	
3	20	城市煤气	烧嘴	2.8 ~ 3		立式	φ240 × 350 + φ140 × 585	0.0316	Ni 基	贯通式		
4	35	城市煤气	预先	2		立式	φ350 × 1500	0.144	Ni 基	贯通式		
5	45	城市煤气	预先			立式	φ250 × 1475	0.0723	Ni 基及紫木节土	贯通式		
6	50	煤气 40 (m <sup>3</sup> /h) 或 液化气	预先	2.4	1.35	立式	φ250 × 600	0.0294	无	孔板式	28 ~ 29.5	
7	15	酒精	烧嘴			立式	φ400 × 320 + φ190 × 600	0.0573	轻质耐火砖	贯通式		
8	15	液化气	预先	15.6		卧式	φ200 × 744	0.015	无	缝隙式		
序号	点火方式	净化方式			气氯成分(体积分数,%)				耗水量/(m <sup>3</sup> /h)	气氯压力/kPa	备注	
					CO <sub>2</sub>	CO	H <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>	CH	露点℃		
9	电热塞	冷却器除水			6.8	11	5.3	76.3	0.6		0.6	40 300 烧嘴环形 面积 4.5cm <sup>2</sup>

(续)

序号	点火方式	净化方式	气氛成分(体积分数,%)						耗水量/(m <sup>3</sup> /h)	气氛压力/kPa	备注
			CO <sub>2</sub>	CO	H <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>	CH	露点℃			
10	电热丝		5.8	11.1	6.7	余量	1.4		3.2	21.3~42.7	烧嘴环形面积8.2cm <sup>2</sup>
11	电热丝	冷却器、硅胶除水								4.7~5.3	
12	电热丝	冷冻、硅胶、CO <sub>2</sub> 吸收塔	6.3	13.8	10.8	68.1	0.8			14.7	
13		冷冻及硅胶除水	5~8	8~10	12~15	余量	≤1	-40			
14	电热塞	脱硫、活性氧化铝除水								46.7	
15		除尘、除硫、冷冻	13.5	微量	微量	83.4					
16	电火花塞	硅胶	5	10	15	余量				8.7	日本进口

表 M-7 两种分子筛的技术参数

项 目	碳分子筛	沸石分子筛
真实密度/(g/mL)	1.2~2.1	2.0~2.5
颗粒密度/(g/mL)	0.9~1.1	0.92~1.3
填充密度/(g/mL)	0.55~0.65	0.60~0.75
空隙率	0.35~0.42	0.30~0.40
细孔容积/(mL/g)	0.5~0.6	0.40~0.6
表面积/(m <sup>2</sup> /g)	450~550	400~750
平均孔径/mm	0.5	
外形尺寸/mm	≈Φ3	

表 M-8 FZD 系列制氮机的技术参数

型 号	FZD-5	FZD-10	FZD-15	FZD-20	FZD-60	FZD-120
产气量/(m <sup>3</sup> /h)	5	10	15	20	60	120
成分 (体积分数)	低纯	N <sub>2</sub> :99.5%				
	高纯	O <sub>2</sub> ≤5×10 <sup>-6</sup> , H <sub>2</sub> :1%~5%, CO <sub>2</sub> ≤3×10 <sup>-6</sup>				

表 M-9 QH-P 系列制氮机的技术参数

型 号	产氮纯度(体积分数)(%)	产氮量/(m <sup>3</sup> /h)	耗空气量/(m <sup>3</sup> /min)	气耗比	整机功率/kW	外形尺寸(长×宽×高)/m
QH-P5	99.9	3	0.2	1:3.9	3	1.6×0.9×1.35

(续)

型 号	产氮纯度(体 积分数)(%)	产氮量 (m <sup>3</sup> /h)	耗空气量 (m <sup>3</sup> /min)	气耗比	整机功率 /kW	外形尺寸(长× 宽×高)/m
QH-P10	99.9	7	0.5	1:3.9	5.5	1.8×1.2×1.6
QH-P15	99.9	10	0.7	1:3.9	8	2.2×1.8×1.7
QH-P20	99.9	14	0.9	1:3.9	13	2.2×1.8×1.8
QH-P25	99.9	18	1.2	1:3.9	13	2.4×2.0×2.0
QH-P30	99.9	21	1.4	1:3.9	19.5	2.4×2.0×2.2
QH-P40	99.9	28	1.8	1:3.9	20	2.5×2.0×2.2
QH-P50	99.9	36	2.3	1:3.9	20	2.5×2.0×2.2
QH-P80	99.9	57	3.7	1:3.9	39	2.4×2.2×2.3
QH-P100	99.9	72	4.7	1:3.9	39	2.4×2.2×2.4
QH-P150	99.9	108	7.0	1:3.9	60	4.4×2.2×2.6
QH-P200	99.9	144	9.4	1:3.9	122.5	4.6×2.4×2.8
QH-P250	99.9	180	11.7	1:3.9	122.5	4.6×2.4×2.8
QH-P300	99.9	216	14.0	1:3.9	129	4.8×2.6×3.0
QH-P400	99.9	288	18.7	1:3.9	134	5.1×2.9×3.4
QH-P500	99.9	360	23.4	1:3.9	185	3.4×3.4×3.6
QH-P600	99.9	433	28.2	1:3.9	220	3.6×3.6×3.8
QH-P700	99.9	505	32.8	1:3.9	260	4.0×4.0×4.0
QH-P800	99.9	578	37.6	1:3.9	290	4.0×4.0×4.2
QH-P1000	99.9	722	46.9	1:3.9	350	4.3×4.3×4.6

- 注:1. 整机功率包括空气压缩机功率。  
 2. 产氮压力 0.2~0.6MPa。  
 3. 空气压力 0.8~1.0MPa。  
 4. 表中 m<sup>3</sup> 指标准状态下的体积。

表 M-10 JFG 系列制氮机的技术参数

项 目	型 号				
	JFG-5	JFG-10	JFG-15	JFG-20	JFG-40
产品氮含量(体积分数)(%)	98~99.995				
露点/℃	-60				
工作压力/kPa	500~600				
产气量/(m <sup>3</sup> /h)	5	10	15	20	40
外形尺寸(长×宽×高)/m	3.2×1.4 ×2.4	3.2×1.4 ×2.2	3.2×2.0 ×2.7	3.2×2.2 ×2.9	3.2×3.0 ×3.3
功率/kW	13	13	20	27	40
耗水量/(m <sup>3</sup> /h)	0.9	0.9	0.9	0.96	1.8

表 M-11 薄膜制氮系列产品技术参数

型 号	氮气产量/(m <sup>3</sup> /h)		氮气回收率(%)		产品尺寸 (长×宽×高)/m	重量/kg
	99.9%	99.5%	99.0%	98.0%		
HPX-6201	3	5	7	12	1.0×0.6×1.7	140
	20	24	34	39		
HPX-6202	6	10	14	24	1.0×0.6×1.7	160
	20	24	34	39		
HPX-6203	9	15	21	36	1.0×0.6×1.7	180
	20	24	34	39		
HPX-6204	12	20	28	48	1.0×0.6×1.7	200
	20	24	34	39		
HPX-7201	20	30	40	60	2.2×0.8×1.7	320
	20	24	34	39		
HPX-7202	40	60	80	120	2.2×0.8×1.7	590
	20	24	34	39		
HPX-7203	60	90	120	180	2.2×1.3×2.1	860
	20	24	34	39		
HPX-7204	80	120	160	240	2.2×1.3×2.1	930
	20	24	34	39		
HPX-7205	100	150	200	300	2.2×1.3×2.1	1100
	20	24	34	39		

注:m<sup>3</sup> 指标准状态下的体积。

表 M-12 几种制氮方法基本参数的比较

基本性能		深冷法	变压吸附法	膜分离法	备注
原理	分离介质		碳分子筛	中空纤维膜	
	分离原理	将空气液化根据氧和氮沸点不同达到分离	加压吸附,减压脱附	有压渗透(不同渗透率)	
能耗	耗能部件	压缩机、膨胀机、加压泵、加热设备	空压机	空压机	
	耗电量/(kWh/m <sup>3</sup> )	>0.62	0.4~0.6(平均)	0.4~0.5(平均)	标准状态下的体积耗电量与产气量及氮纯度有关
设备性能	成本/(元/m <sup>3</sup> )	>0.6	0.3	0.2~0.3	
	氮产量/(m <sup>3</sup> /h)	>500	<1000	10~5000	
	氮纯度 (体积分数)(%)	99~99.999(稳定)	98~99.9(波动)	98~99.9(稳定)	
	氮压力/MPa	14	0.8~1.0	0.8~1	
	露点/℃	<-60	-40~-60	-60~-70	

表 M-13 氨分解发生器型号及其技术参数

型号	额定产气量/(m <sup>3</sup> /h)	杂质(体积分数)(×10 <sup>-6</sup> )	残余氧(体积分数)(%)	露点/℃	工作压力/MPa	液氨耗量/(kg/h)	操作温度/℃	催化剂	电源/V	设备额定功率/kW	冷却水耗量/(t/h)	重量/kg
AQ-5B	5	≤10	<0.1	≤-10	0.05	2	600~650	铁触媒	220	5.5	—	200
AQ-5C	5	≤10	<0.1	≤-10	0.05	2	800~850	镍触媒	220	6	0.2	220
AQ-10	10	≤10	<0.1	≤-10	0.05	4	800~850	镍触媒	380	12	0.5	1000
AQ-20	20	≤10	<0.1	≤-10	0.05	8	800~850	镍触媒	380	24	1	1500
AQ-30	30	≤10	<0.1	≤-10	0.05	12	800~850	镍触媒	380	36	1.5	2000
AQ-50	50	≤10	<0.1	≤-10	0.05	20	800~850	镍触媒	380	70	2.5	3500
AQ-70	70	≤10	<0.1	≤-10	0.05	27	800~850	镍触媒	380	85	3	4000
AQ-100	100	≤10	<0.1	≤-10	0.05	39	800~850	镍触媒	380	110	4	5000
AQ-150	150	≤10	<0.1	≤-10	0.05	58	800~850	镍触媒	380	160	4.5	7000
AQ-200	200	≤10	<0.1	≤-10	0.05	77	800~850	镍触媒	380	210	6	8500
AQ-250	250	≤10	<0.1	≤-10	0.05	97	800~850	镍触媒	380	250	7.5	9000
AQ-300	300	≤10	<0.1	≤-10	0.05	116	800~850	镍触媒	380	390	9	9200
AQ-350	350	≤10	<0.1	≤-10	0.05	135	800~850	镍触媒	380	430	10.5	9500
AQ-400	400	≤10	<0.1	≤-10	0.05	154	800~850	镍触媒	380	470	12	10000
AQ-450	450	≤10	<0.1	≤-10	0.05	173	800~850	镍触媒	380	510	13.5	10500
AQ-500	500	≤10	<0.1	≤-10	0.05	193	800~850	镍触媒	380	550	15	11000

表 M-14 AL 系列氨裂解装置技术参数

型号	产气量 /(m <sup>3</sup> /h)	氧含量 (体积分数) (×10 <sup>-6</sup> )	露点 /℃	残余氨 (体积分数) (×10 <sup>-6</sup> )	外形尺寸 (长×宽×高) /mm	电耗 /kW	水耗量 /(m <sup>3</sup> /h)
AL-5	5	10	-10	1000	460×725×1500	6	/
AL-10	10	10	-10	1000	1200×800×1700	12	0.6
AL-20	20	10	-10	1000	1600×900×1800	24	1
AL-30	30	10	-10	1000	1800×1100×2000	36	1.5
AL-50	50	10	-10	1000	2500×1500×2200	50	2
AL-100	100	10	-10	1000	4000×1800×2200	120	3
ALS-5	5	10	-60	10	1250×900×1750	7	/
ALS-10	10	10	-60	10	1800×1000×1800	14	0.5
ALS-20	20	10	-60	10	2000×1100×2000	28	1
ALS-30	30	10	-60	10	2500×1800×2200	50	1.5
ALS-50	50	10	-60	10	4000×1800×2200	72	2.5
ALS-100	100	10	-60	10	6000×1800×2400	144	4

表 M-15 常用的除氧催化剂及其技术参数

性 能	0603 型铜催化剂	651 型镍铬催化剂	105 型钯分子筛	201、402 型银分子筛
成分	氧化铜载于 硅藻土上	镍铬合金负 载于少量石墨 上	金属钯负载 于 0.4nm 或 0.5nm 分子筛 上	硝酸银负载于 1.3nm 分子筛上
粒度	φ5mm×5mm φ6mm×6mm	φ5mm×5mm	2~4mm 4~9mm	20~40 目
堆积密度/(kg/L)	1	1.1~1.2	0.7	0.8
工作温度/℃	170~350	50~100	常温	常温
热稳定温度/℃	400	1000	600	500
允许最大空速/h <sup>-1</sup>	3000	5000	10000	10000
允许最大初始氧含量(%)	1	3	2.8	2.8
脱氧效果(体积分数)(× 10 <sup>-6</sup> )	10~20	<5	可达0.2	可达0.2

表 M-16 506 系列净化催化剂技术参数

催化剂型号	原 料 气			出口氢中杂质氧含量 (体积分数) ( $\times 10^{-6}$ )	机械强度
	主成分	杂质 $w(O_2)$ (%)	有害组分		
506HT-1	H <sub>2</sub>	≤3	H <sub>3</sub> , H <sub>2</sub> O, Cl <sub>2</sub> H <sub>2</sub> S, SO <sub>2</sub>	≤0.3	一般
506HT-2	H <sub>2</sub> N <sub>2</sub> + H <sub>2</sub>	≤3 H <sub>2</sub> ≥ 2O <sub>2</sub>	NH <sub>3</sub> , H <sub>2</sub> S SO <sub>2</sub> H <sub>2</sub> O, Cl <sub>2</sub>	≤0.3	好

表 M-17 两室和三室式清洗机系列产品及其技术参数

型 号	40- I 两室	40- II 三室	70- I 两室	70- II 三室	100- I 两室	100- II 三室
清洗零件最大尺寸(宽 × 高)/mm	400 × 250		700 × 560		1000 × 800	
装料高度/mm	850			1060		1060
清洗、漂洗液温度/℃	从室温到 80℃, 液温自动控制, 可调					
加热方式	电或蒸汽		电或蒸汽		蒸汽	
加温时间/min	1		1		1	
输送带速度/(m/min)	0.9		0.18 ~ 1.8		连续无级调节	
输送带承载能力/(kg/m <sup>2</sup> )	300		700		1000	
清洗能力/(t/h)	6.5		12.5 ~ 6.3		18 ~ 90	
水泵流量/(t/h)	30	60	45	90	60	120
喷嘴数量/个	90	180	84	160	84	168
过滤及排渣	精密过滤, 报警排渣		精密过滤, 报警排渣			
总功率/kW	约 19	约 38	约 18	约 33	约 25	约 47
外形尺寸(长 × 宽 × 高)/mm	2400 × 1150 × 1750	3500 × 1150 × 1750	4100 × 1800 × 2200	6400 × 1800 × 2200	5000 × 2400 × 2500	7900 × 2400 × 2500

注: 两室包括清洗、吹干, 三室包括清洗、漂洗、吹干。

表 M-18 双槽及三槽超声波清洗机规格

型 号	DUP-3020	DUP-4030	DUP-5040	DUP-6040
电功率/W	300	600	900	1200
超声波槽尺寸(长 × 宽 × 高)/mm	300 × 200 × 200	400 × 300 × 300	500 × 400 × 400	600 × 400 × 400

(续)

型号	DUP-3020	DUP-4030	DUP-5040	DUP-6040
洗槽沸腾(浸渍)槽(长×宽×高)/mm	300×200×200	400×300×450	500×400×600	600×400×600
蒸汽区(长×宽×高)/mm	630×200×250	830×300×300	1030×400×400	1130×400×400
外形尺寸(长×宽×高)/mm	1200×600×700	1400×800×1200	1500×900×1400	1600×900×1400
超声波槽电热功率/W	500	1000	3000	3000
沸腾槽电热功率/W	1500	2000	6000	6000
清洗量/(kg/h)	100	270	550	750
洗净液总容量/L	20	84	160	200
冷冻机功率/W	745.7	1491.4	2237.1	2237.1
所需电源(最低)容量	200V/1P/11A	220V/3P/25A	220V/3P/55A	220V/3P/60A

注：双、三槽各种尺寸可依客户要求定制，三槽式外形尺寸再加一槽长度尺寸。

表 M-19 超声波清洗机主要技术参数

型 号	CSF-3A	CSF-6	CSF-1A	CQ-250	CQ-50	CQ-500	CQ-1K	CQ-500A	CQ-500J
工作频率/kHz	18	21.5	21.5	33	33	33	19	19	19
输出功率/W	500	2000	750	250	50	500	1000	500	500
清洗槽容积/mm	200×449.5×120	830×530×200	250×220×120	375×155×120	φ125×80	500×300×200	710×350×220	500×300×200	500×300×200
重量/kg	23+15	300+90	25+7.25	11.5	4	108	84	108	

表 M-20 VCE-M 型系列清洗机的技术参数

型 号	处理量/kg	有效尺寸 (宽×长×高)/mm	功率/kW			液量/L
			前室	真空室	其他	
VCE-M-200	200	380×760×350	18	20	9	1600
VCE-M-400	400	600×900×600	24	45	16	2580
VCE-M-600	600	600×1200×600	30	54	16	3100
VCE-M-1000	1000	7600×1200×800	48	90	22	4300

表 M-21 液力喷砂机主要技术参数

项目	SS1 型	SS2 型	SS5 型	SS5-A 型(半自动)
磨液泵功率/kW	4.0	1.5	2×4	2×4
工作台转盘电动机功率/kW	—	—	0.75	0.75

(续)

项目	SS1型	SS2型	SS5型	SS5-A型(半自动)
磨料粒度	46号以上	46号以上	46号以上	46号以上
喷嘴直径/mm	φ10~φ12	φ8~φ10	φ10~φ12	φ10~φ12
压缩空气耗量/ (m <sup>3</sup> /min)	1~1.5	1.0	4~6	6~9
喷枪数量(把)	1	1	4	6
压缩空气压力/kPa	400~600	400~600	400~600	400~600
分离器水泵功率/kW	0.4		0.4	0.4
工作台直径/mm	φ600	φ500	φ1250	φ1250
工作室门尺寸 (长×宽)/mm	670×490	—	1250×1250	1250×1250
整机外形尺寸 (长×宽×高)/mm	2200×2200×2400	905×1020×1520	3500×2900×2900	3500×2900×2900
整机重量/kg	470	—	1500	1500

表 M-22 转台式抛丸机技术参数

型号	大转台 /mm	小转台 /mm	工件最大尺寸(长×宽 ×高或直径×高)/mm	叶轮直径 /mm	总功率 /kW	外形尺寸 (长×宽×高)/mm
R3525B	φ2500		1000×5000×250	2×φ360	25.9	3317×300×6410
Q3516	φ1600	8×φ300	轴类 φ160×400 齿轮 φ350×400	2×φ500	38.3	5647×3098×5605
Q3518	φ1800	10×φ200	轴类 φ160×500 齿轮 φ250×500	2×φ500	37.42	4400×3578×6660

## 参 考 文 献

- [1] 全国热处理标准化技术委员会. 金属热处理标准应用手册 [M]. 2 版. 北京: 机械工业出版社, 2005.
- [2] 中国机械工程学会热处理学会. 热处理手册: 1~4 卷 [M]. 4 版. 北京: 机械工业出版社, 2008.
- [3] 火树鹏. 热处理工艺编制方法 [M]. 北京: 机械工业出版社, 1995.
- [4] 才鸿车, 等. 现代热处理手册 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2010.
- [5] 马伯龙. 机械制造工艺装备件热处理技术 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2010.
- [6] 林约利. 热处理工操作技术 [M]. 上海: 上海科学技术出版社, 2009.
- [7] 王忠诚, 等. 钢铁热处理 500 问 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2009.
- [8] 马伯龙. 热处理设备及其使用与维修 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2011.
- [9] 丁得刚. 火焰表面淬火 [M]. 北京: 机械工业出版社, 1987.
- [10] 杨满. 热处理工速成与提高 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2008.
- [11] 孟广耀. 化学气相沉积和无机新材料 [M]. 北京: 科学出版社, 1984.
- [12] 李泉华. 热处理实用技术 [M]. 2 版. 北京: 机械工业出版社, 2006.
- [13] 闫毓禾, 等. 高功率激光加工及其应用 [M]. 天津: 天津科学技术出版社, 1994.
- [14] 潘天明. 现代感应加热装置 [M]. 北京: 冶金工业出版社, 1996.
- [15] 北京机电研究所. 先进热处理制造技术 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2002.
- [16] 杨满. 实用热处理技术手册 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2010.
- [17] 叶卫平, 等. 热处理实用数据速查手册 [M]. 2 版. 北京: 机械工业出版社, 2011.
- [18] 马伯龙, 等. 实用热处理技术及应用 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2009.
- [19] 王广生, 等. 金属热处理缺陷分析及案例 [M]. 2 版. 北京: 机械工业出版社, 2007.
- [20] 马伯龙. 热处理质量控制应用技术 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2009.
- [21] 上海热处理协会. 实用热处理手册 [M]. 上海: 上海科学技术出版社, 2009.
- [22] 赵步青. 工具热处理工艺 400 例 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2010.
- [23] 赵步青. 模具热处理工艺 500 例 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2008.

## 机械工业出版社热处理类书目(部分)

书号	书名	定价/元
22289	热处理手册 第1卷 工艺基础(第4版)	82.00
22290	热处理手册 第2卷 典型零件热处理(第4版)	78.00
22291	热处理手册 第3卷 热处理设备和工辅材料(第4版)	86.00
22292	热处理手册 第4卷 热处理质量控制和检验(第4版)	88.00
18547	热处理技术数据手册(第2版)	118.00
31989	热处理实用数据速查手册(第2版)	49.00
15256	热处理工程师手册(第2版)	105.00
05680	金属热处理缺陷分析及案例(第2版)	45.00
28352	工具热处理工艺400例	39.00
25819	实用热处理技术及应用	39.00
28104	热处理质量控制应用技术	43.00
22353	机械零件材料与热处理工艺选择	40.00
26878	热处理实用技术问答	35.00
22936	现代感应热处理技术	30.00
30447	实用热处理技术手册	66.00
31956	铸件热处理应用手册	79.00
35060	热处理工程师指南	49.00
34643	热处理检验与质量控制	35.00
35732	热处理设备实用技术	36.00
36184	热处理工艺与实践	36.00
39921	热处理工实用手册	59.00
40013	热处理工艺参数手册	29.00
40928	结构钢热处理技术数据手册	49.00

地址:北京市百万庄大街22号

邮政编码:100037

电话服务

社服务中心:010-88361066

销售一部:010-68326294

销售二部:010-88379649

读者购书热线:010-88379203

网络服务

教材网: <http://www.cmpedu.com>  
机工官网: <http://www.cmpbook.com>

机工官博: <http://weibo.com/cmp1952>

封面无防伪标识均为盗版

ISBN 978-7-111-41844-3



上架指导 工业技术/机械工程/热处理

ISBN 978-7-111-41844-3

策划编辑◎陈保华

9 787 111 41844 3 >

定价: 49.00元