

职业技能鉴定培训读本(技师)

热处理工

吉化集团公司 组织编写
宋涛 顾军 编



化学工业出版社
工业装备与信息工程出版中心

职业技能鉴定培训读本(技师)

热 处 理 工

吉化集团公司 组织编写

宋 涛 顾 军 编

化 学 工 业 出 版 社

工业装备与信息工程出版中心

· 北 京 ·

(京)新登字 039 号

图书在版编目 (CIP) 数据

热处理工/宋涛, 顾军编. —北京: 化学工业出版社, 2003. 11
职业技能鉴定培训读本 (技师)
ISBN 7-5025-4893-9

I. 热… II. ①宋…②顾… III. 热处理-职业技能鉴定-教材 IV. TG156

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2003) 第 097240 号

职业技能鉴定培训读本 (技师)

热 处 理 工

吉化集团公司 组织编写

宋 涛 顾 军 编

责任编辑: 周国庆 刘 哲 刘丽宏

责任校对: 郑 捷

封面设计: 郑小红

*

化 学 工 业 出 版 社 出版发行
工业装备与信息工程出版中心

(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)

发行电话: (010) 64982530

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

*

新华书店北京发行所经销

聚鑫印刷有限责任公司印刷

三河市延风装订厂装订

开本 850 毫米×1168 毫米 1/32 印张 15 $\frac{1}{4}$ 字数 407 千字

2004 年 1 月第 1 版 2004 年 1 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5025-4893-9/G · 1287

定 价: 35.00 元

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者, 本社发行部负责退换

职业技能鉴定培训读本(技师)

编写委员会

主 任 张晓霁

副主任 申尧民 孙树祯 魏 然

委 员 张晓霁 申尧民 孙树祯 魏 然

陈紫铭 刘焕臻 曲诗林 陈万友

关昱华 刘勃安 周国庆

前 言

当今世界已步入到知识经济和市场经济时代，企业生存与发展要依靠先进的生产力和高素质复合型人才。在技术密集型企业中将新技术、新工艺、新设备广泛应用并迅速转化为优质产品，需要大批高智能技术工人的有效劳动。因此在企业中高素质的技术工人、技师、高级技师是不可缺少的人才。目前，企业中身怀绝技的技师、高级技师奇缺，所以培训技师、高级技师是企业的当务之急。

吉化集团公司组织几十名工程技术人员和高级技师编写了一套《职业技能鉴定培训读本》（技师）（以下简称《读本》），共 20 本，其中包括 7 本基础读本，分别为《化学基础》、《化工基础》、《电工电子基础》、《机械基础》、《机械制图》、《工程材料》、《检测与计量》，13 本专业技术读本，分别为《检修钳工》、《检修焊工》、《检修铆工》、《检修管工》、《热处理工》、《防腐蚀工》、《分析化验工》、《电机修理工》、《维修电工》、《仪表维修工》、《在线分析仪表维修工》、《制冷工》、《污水处理工》。参加编写的同志都长期在生产一线从事工艺设计、开发、生产技术管理、设备维护检修等专业技术工作，具有较强的理论基础知识和丰富的实践经验。

这套《读本》以技师为主要读者对象，适当兼顾高级工和高级技师的需要。在编写过程中，参考了国家及有关行业高级工、技师和高级技师的职业标准和职业技能鉴定规范，比较全面地介绍了企业中现行使用的新标准、新技术、新设备、新工艺等方面的内容及应用。这套《读本》的特点如下：①知识面较宽，起点较高，尤其注意理论联系实际；②比较全面地介绍了企业，特别是化工企业中主要专业工种的检修技术；③系统阐述了各专业工种的工艺要求和操作技能；④列举了工作或生产案例，突出了实际生产操作中高、

难技艺的论述。

本书是《职业技能鉴定培训读本》（技师）之一。本书以钢铁材料各种热处理工艺、技巧和规范为核心内容，全面介绍了钢的各种热处理工艺和典型热处理设备，重点介绍了各种热处理工艺的编制原则和规范，同时，列举了丰富的热处理工艺编制实例，给出了热处理的质量检验方法。

本书由宋涛、顾军编写。

由于编者水平有限，不足之处在所难免，敬请读者批评指正。

编 者
2003 年 9 月

内 容 提 要

本书是《职业技能鉴定培训读本》(技师)之一,依据《国家职业标准》和《职业技能鉴定规范》编写,以企业技师为主要读者对象,适当兼顾高级工和高级技师的需要。

本书全面介绍了钢铁材料的各种热处理工艺和典型的热处理设备,重点介绍了各种热处理工艺的编制原则和规范,列举了较丰富的热处理工艺编制实例,给出了热处理的质量检验方法。对提高热处理工的技术理论水平和实际操作技能会有很大帮助。

本书适合企业培训技师或技术工人自学,也可供有关工程技术人员参考。

目 录

第 1 章 热处理基本原理	1
1 铁碳合金相图及其应用	1
1.1 铁碳合金相图	1
1.2 合金元素对相图的影响	4
1.3 钢在加热时的转变	8
1.4 Fe-Fe ₃ C 合金相图与热处理温度的关系	10
2 过冷奥氏体冷却转变曲线及其应用	11
2.1 过冷奥氏体冷却转变曲线	11
2.2 各种因素对过冷奥氏体冷却转变曲线的影响	16
2.3 过冷奥氏体冷却转变曲线的应用	16
3 钢在各种状态下的组织形态	17
3.1 奥氏体	17
3.2 铁素体	18
3.3 渗碳体	18
3.4 珠光体及其转变	19
3.5 贝氏体及其转变	23
3.6 马氏体及其转变	30
第 2 章 热处理工艺	35
1 整体热处理工艺	35
1.1 退火工艺	35
1.2 正火工艺	42
1.3 淬火	43
1.4 回火工艺	61
2 钢的表面淬火	74
2.1 感应加热表面淬火	74
2.2 其他表面淬火	90
3 钢的化学热处理	94

3.1 渗碳	95
3.2 渗氮	111
3.3 碳氮共渗	123
3.4 氮碳共渗 (低温碳氮共渗)	129
3.5 渗硼	135
3.6 渗铝	139
3.7 渗铬	143
3.8 离子化学热处理	149
4 其他热处理技术	155
4.1 气相沉积技术	155
4.2 激光热处理	158
4.3 形变热处理	162
5 铸铁热处理	168
5.1 铸铁固态相变特征和常温下的组织	168
5.2 铸铁热处理基本工艺	171
第3章 热处理设备	174
1 热处理电阻炉	175
1.1 箱式电阻炉	175
1.2 井式电阻炉	178
1.3 电阻炉的维修和安全操作	182
2 热处理盐浴炉	183
2.1 电极式盐浴炉	183
2.2 部分埋入式电极盐浴炉实例	185
2.3 盐浴炉的变压器	189
2.4 盐浴炉的启动装置	191
2.5 外热式盐浴炉	195
2.6 盐浴炉的使用和维修	196
3 表面加热设备	198
3.1 电子管变频装置	198
3.2 机式中频变频装置	213
3.3 半导体变频装置概况	221
3.4 感应淬火机床	222
4 特殊设备	224

4.1	真空热处理炉	224
4.2	辉光离子氮化炉	230
4.3	激光及电子束热处理装置	233
5	热处理辅助设备	234
5.1	清洗设备	234
5.2	清理设备	236
5.3	矫正矫直设备	239
6	感应器的制作	241
6.1	感应器的分类与结构	241
6.2	感应器的设计与制作	242
6.3	特殊感应器制作实例	245
第4章 热处理工艺的编制和操作要点及典型工艺		254
1	零件热处理工艺编制原则与程序	254
1.1	热处理工艺编制的原则	254
1.2	热处理工艺制定依据	257
1.3	工艺规程的基本内容	258
1.4	工艺规程编制程序	265
2	零件热处理工艺性	266
2.1	零件材料的合理选择	267
2.2	零件结构的合理性	279
2.3	零件尺寸的合理性	285
2.4	零件热处理技术要求及其标注	297
2.5	零件类别和热处理检验	305
3	退火与正火工艺的编制和操作要点及典型工艺	308
3.1	工艺准备	308
3.2	加热设备	308
3.3	工艺规范	309
3.4	操作要点及注意事项	310
3.5	典型工艺实例	310
4	淬火与回火工艺的编制和操作要点及典型工艺	330
4.1	工艺准备工作	330
4.2	加热设备的选择	331
4.3	冷却设备的选择	331

4.4	回火设备的选择	332
4.5	工艺规范	332
4.6	操作要点及注意事项	343
4.7	校直工艺	343
4.8	典型零件淬火回火工艺实例	344
5	表面淬火工艺的编制和操作要点及典型工艺	370
5.1	火焰表面淬火工艺的编制及操作要点	370
5.2	高频加热表面淬火工艺的编制和操作要点	377
5.3	中频表面淬火工艺的编制与操作要点	385
6	气体渗碳工艺的编制和操作要点及典型工艺	401
6.1	工艺准备	401
6.2	工艺规范	403
6.3	操作要点与注意事项	405
7	气体碳氮共渗工艺的编制和操作要点及典型工艺	405
7.1	工艺准备	405
7.2	工艺规范	405
7.3	操作要点和注意事项	406
7.4	典型零件的渗碳及碳氮共渗工艺	406
8	气体渗氮工艺的编制和操作要点及典型工艺	420
8.1	渗氮前的预先热处理	420
8.2	工艺准备	420
8.3	工艺规范	421
8.4	渗氮设备及参数测量	421
8.5	操作要点和注意事项	423
8.6	典型零件的渗氮处理工艺	424
9	气体氮碳共渗工艺的编制和操作要点及典型工艺	432
9.1	工艺准备	432
9.2	工艺规范	433
9.3	操作要点及注意事项	434
9.4	常见的缺陷及解决的办法	434
9.5	典型零件的氮碳共渗	435
9.6	Cr17Ni2 不锈钢气体氮碳共渗	437
10	离子氮化工艺的编制和操作要点及典型工艺	438

10.1	工艺准备	438
10.2	工艺规范	439
10.3	离子渗氮设备及参数测量	440
10.4	操作要点和注意事项	442
10.5	常见离子氮化缺陷及解决办法	443
10.6	典型零件的离子氮化工艺	444
11	其他强化热处理工艺应用实例	450
11.1	渗硼技术	450
11.2	高速钢刀具的表面强化	453
11.3	铸铁导轨的接触电阻加热淬火	457
11.4	履带板的热处理	458
11.5	有色金属零件的热处理实例	459
第5章	热处理的质量检验	462
1	热处理质量检验的内容和方法	462
1.1	热处理质量检验的内容	462
1.2	热处理质量检验的项目和方法	464
2	材料冶金缺陷对热处理质量的影响及原材料检验	465
2.1	材料冶金质量对热处理的影响	466
2.2	原材料的进厂检验	467

第 1 章 热处理基本原理

热处理就是将固态金属或合金采用适当的方式进行加热、保温和冷却以获得所需要的组织结构与性能的工艺。因此研究热处理基本原理首先应了解和掌握铁碳合金相图和过冷奥氏体冷却转变曲线及其在各种状态下的合金组织形态。

1 铁碳合金相图及其应用

1.1 铁碳合金相图

钢是一定成分范围的铁碳合金，铁碳合金相图表示不同成分的铁碳合金在不同温度下的不同平衡组织，如图 1-1 所示。铁碳合金相图是钢铁热处理的基础。

铁碳合金相图有两种，一种是碳以 Fe_3C 状态存在时测出来的 $\text{Fe}-\text{Fe}_3\text{C}$ 相图，另一种是碳以石墨状态存在时测出来的 $\text{Fe}-\text{C}$ 相图（虚线）。 Fe_3C 是一种不稳定相，在一定条件下分解为铁和石墨，所以 $\text{Fe}-\text{Fe}_3\text{C}$ 相图为亚稳定相图， $\text{Fe}-\text{C}$ 相图是稳定相图。在钢的实际热处理过程中，渗碳体一般不发生分解，因此研究钢铁热处理时常常研究 $\text{Fe}-\text{Fe}_3\text{C}$ 相图。

由 $\text{Fe}-\text{Fe}_3\text{C}$ 相图可以查出一定成分的铁碳合金发生平衡相变的温度，即临界点；可以预测出在不同温度区域发生的相变过程和冷却到常温时可能得到的平衡组织。铁碳合金相图中各特性点说明见表 1-1，各特性线说明见表 1-2。

铁碳合金相图中各平衡相的结构特性见表 1-3。

根据铁碳合金相图，含碳量小于 2.11% 为碳钢，大于 2.11% 为铸铁。根据组织特征，从铁碳合金相图中将铁碳合金按含碳量多少划分为以下七大类。

① 工业纯铁，含碳量 $< 0.0218\%$ ；

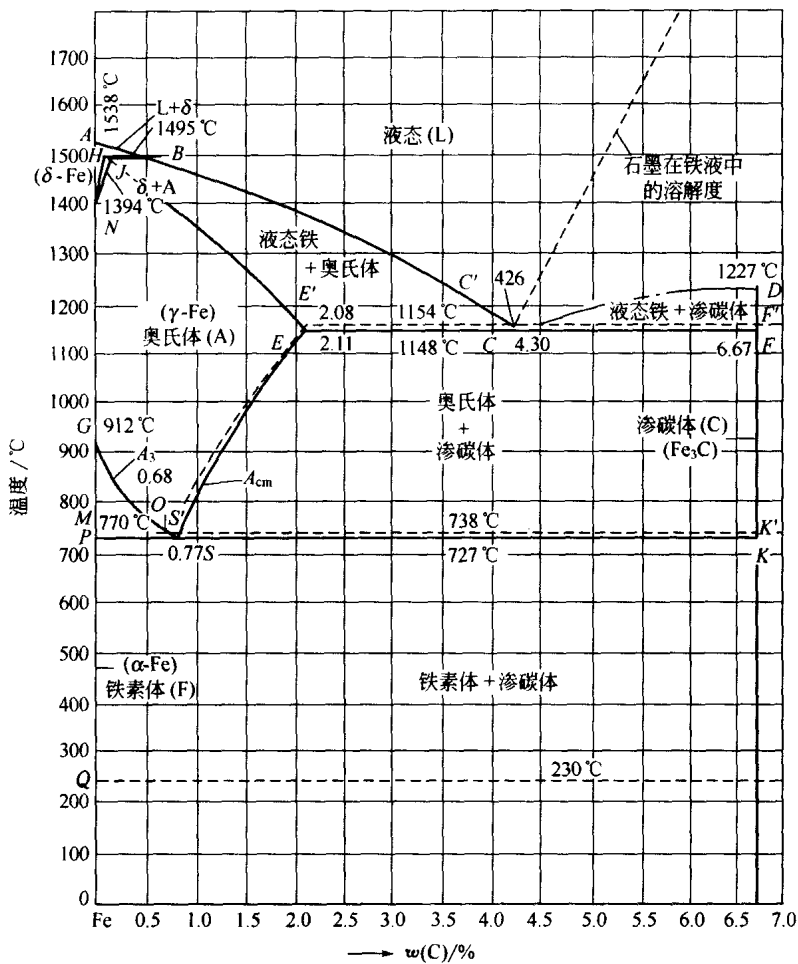


图 1-1 Fe-C 和 Fe-Fe₃C 合金相图

表 1-1 Fe-Fe₃C 状态图中的特性点

特性点	温度/℃	碳含量/%	说 明
A	1538	0	纯铁熔点
B	1495	0.53	在包晶转变温度下的液相含碳量
C	1148	4.30	共晶点

续表

特性点	温度/℃	碳含量/%	说 明
D	1227	6.69	渗碳体熔点
E	1148	2.11	碳在 γ -Fe 中的最大溶解度
F	1148	6.69	共晶转变线与渗碳体成分线的交点
G	912	0	α -Fe $\rightleftharpoons$ γ -Fe 同素异构转变点(A_3)
H	1495	0.09	碳在 δ -Fe 中的最大溶解度
J	1495	0.17	包晶点
K	727	6.69	共析转变线与渗碳体成分线的交点
M	770	0	α -Fe 磁性转变点(A_2)
N	1394	0	γ -Fe $\rightleftharpoons$ δ -Fe 同素异构转变点(A_4)
O	770	0.46	铁素体的磁性转变时,与之平衡的奥氏体碳含量
P	727	0.0218	碳在 α -Fe 中的最大溶解度
S	727	0.77	共析点
Q	0	<0.008	碳在 α -Fe 中的溶解度(也有碳含量为 2.3×10^{-7} 的数据)

表 1-2 铁碳合金热处理常用临界温度代号

符 号	说 明
A_1	发生平衡相变 $\gamma \rightleftharpoons \alpha + \text{Fe}_3\text{C}$ 的温度
A_3	在平衡条件下亚共析钢 $\gamma + \alpha$ 两相平衡的上限温度
A_{cm}	在平衡条件下过共析钢 $\gamma + \text{Fe}_3\text{C}$ 两相平衡的上限温度
A_{c1}	钢加热时开始形成奥氏体的温度
A_{r1}	钢由高温冷却时奥氏体开始分解为 $\alpha + \text{Fe}_3\text{C}$ 的温度
A_{c3}	亚共析钢加热时铁素体全部消失的最低温度
A_{r3}	亚共析钢由单相奥氏体状态冷却时开始发生 $\gamma \rightarrow \alpha$ 转变的温度
A_{ccm}	过共析钢加热时渗碳体全部消失的最低温度
A_{rcm}	过共析钢由单相奥氏体、状态冷却时开始发生 $\gamma \rightarrow \text{Fe}_3\text{C}$ 转变的温度

表 1-3 Fe-C 平衡图中各相的特性

名 称	符 号	晶体结构	说 明
铁素体	α	体心立方	碳在 α -Fe 中的间隙固溶体, 用 F 表示
奥氏体	γ	面心立方	碳在 γ -Fe 中的间隙固溶体, 用 A 表示
δ 铁素体	δ	体心立方	碳在 δ -Fe 中的间隙固溶体, 又称高温 α 相
渗碳体	Fe_3C	正交系	是一种复杂的化合物
液 相	L		铁碳合金的液相

- ② 共析钢, 含碳量 $< 0.77\%$;
- ③ 亚共析钢, 含碳量 $0.0218\% \sim 0.77\%$;
- ④ 过共析钢, 含碳量 $0.77\% \sim 2.11\%$;
- ⑤ 共晶白口铸铁, 含碳量 4.30% ;
- ⑥ 亚共晶白口铸铁, 含碳量 $2.11\% \sim 4.30\%$;
- ⑦ 过共晶白口铸铁, 含碳量 $4.30\% \sim 6.69\%$ 。

铁碳合金相图是在十分缓慢的加热或冷却速度下测定的, 在实际热处理生产过程中加热和冷却速度比较快, 因此实际发生的相变温度与相图查出来的数据有差距。铁碳合金热处理常用临界温度代号见表 1-2。

1.2 合金元素对相图的影响

表 1-4 各种元素对 Fe-C 状态图中 A_3 及 A_4 点的影响

A_4	提高 降低	Mn Ni C N H Cu Zn Au As O Zr B Sn Be Al Si P Ti V Mo W Ta Nb Sb Cr
A_3	提高 降低	As O Zr B Sn Be Al Si P Ti V Mo W Ta Nb Sb Co Mn Ni C N H Cu Zn Au Cr ^①

① 当 $w(\text{Cr}) \leq 7\%$ 时使 A_3 降低, 而当 $w(\text{Cr}) > 7\%$ 时则使 A_3 提高。

铁碳合金相图是用高纯铁和碳制成的试样测得的。但工业中使用的钢铁材料常含有多种杂质, 有的还含有各种合金元素。铁碳合金中存在其他组元时, 合金的各种相变温度及相图中特性点的位置会发生变化, 如表 1-4 所示。当合金元素添加量较多时, 合金中还

会出现某些新相。为了准确地查出合金相图中临界点和所存在的相及其成分，应制作三元合金相图的变温截面及等温截面。现有的三元合金相图不多，在生产实践中考虑到合金元素对铁碳合金相图的影响，采用图表及经验公式来修正临界点、特性点和奥氏体饱和碳浓度，如表 1-5、表 1-6、表 1-7 和图 1-2、图 1-3、图 1-4、图 1-5。

表 1-5 1%合金元素对铁碳合金特性点温度的影响

元 素	铁-石墨系			铁-渗碳体系		
	C'	S'	E'	C	S	E
Si	+4	+(20~30)	+2.5	-(15~20)	+8	-(10~15)
Mn	-2	-35	-2	+3	-9.5	+3.2
P	-30	+6	-180	-37	+	-180
S	-	-	-	-	-	-
Cr	-	+8	-	+7	+15	+7.3
Ni	+4	-30	+4	-6	-20	+4.8
Cu	+5	-10	+5.2	-2.3	-	-2
V	-	+	-	+(6~8)	+15	+(6~8)
Al	-	+40	-	-	+40	-

注：表中“+”号表示提高；“-”号表示降低。

表 1-6 合金元素对铁碳合金状态图特征点碳含量的影响

元 素	铁-石墨系			铁-渗碳体系		
	共晶点 含碳量	奥氏体饱和 碳含量	共析点 含碳量	共晶点 含碳量	奥氏体饱和 碳含量	共析点 含碳量
Si	-	-	-	-	-	-
Mn	+	+	-	+	+	-
P	-	-	-	-	-	-
S	-	-	+	-	-	+
Ni	-	-	-	-	-	-
Cr	-	-	-	-	-	-
Cu	○	○	○	○	○	○
Al	-	+	+	-	+	+
Ti	-	-	-	-	-	-

注：表中“+”号表示提高；“-”号表示降低；“○”表示无影响。