

职业技能鉴定培训读本

高级工

热处理工

史玉芳 刘宗茂 李立新 等编著



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（高级工）

热 处 理 工

史玉芳 刘宗茂 李立新 等编著



化学工业出版社
工业装备与信息工程出版中心

· 北 京 ·

图书在版编目(CIP)数据

热处理工/史玉芳, 刘宗茂, 李立新等编著. —北京: 化学工业出版社, 2006.3

职业技能鉴定培训读本(高级工)

ISBN 7-5025-8450-1

I. 热… II. ①史…②刘…③李… 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(2006)第 025180 号

职业技能鉴定培训读本(高级工)

热 处 理 工

史玉芳 刘宗茂 李立新 等编著

责任编辑: 周国庆 段志兵

文字编辑: 项 激

责任校对: 李 林

封面设计: 于 兵

*

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)

购书咨询: (010) 64982530

(010) 64918013

购书传真: (010) 64982630

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

*

新华书店北京发行所经销

北京市彩桥印刷有限责任公司印装

开本 850mm×1168mm 1/32 印张 11½ 字数 305 千字

2006 年 5 月第 1 版 2006 年 5 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5025-8450-1

定 价: 25.00 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

前 言

在科技突飞猛进、知识日新月异的今天，国际经济和科技的竞争越来越围绕人才和知识的竞争展开。工程技术是科学技术和实际应用之间的桥梁。随着社会和科学技术的发展，工程技术的范围不断扩大，手段日益丰富更新，但其强烈的实践性始终未变。在工程技术人才中，具有丰富实际经验的技术工人是不可或缺的重要组成部分。近年来技术工人队伍的严重缺乏，已引起广泛重视。为此，教育部启动了“实施制造业和服务业技能型紧缺人才培养工程”。从2002年下半年起，国家劳动和社会保障部实施“国家高技能人才培养工程”，并建立了“国家高技能人才（机电项目）培养基地”。这是落实党中央、国务院提出“科教兴国”战略方针的重要举措，也是我国人力资源开发的一项战略措施。这对于全面提高劳动者素质，培育和发展劳动力市场，促进培育与就业结合，推行现代企业制度，深化国有企业改革，促进经济发展都具有重要意义。

《劳动法》第八章第六十九条规定：“国家规定职业分类，对规定的职业制定职业技能标准，实行职业资格证书制度，由经过政府批准的考核鉴定机构负责对劳动者实施职业技能考核鉴定”。《职业教育法》第一章第八条明确指出：“实施职业教育应当根据实际需要，同国家制定的职业分类和职业等级标准相适应，实行学历证书、培训证书和职业资格证书制度”。职业资格证书是表明劳动者具有从事某一职业（或复合性职业）所必备的学识和技能的证明，它是劳动者求职、任职、开业的资格凭证，是用人单位招聘、录用劳动者的主要依据，也是境外从业与就业、对外劳务合作人员办理技能水平公证的有效证件。

根据这一形势，化学工业出版社组织吉化集团公司、河北科技

大学、天津大学、天津军事交通学院等单位有关人员，根据 2000 年 3 月 2 日国家劳动和社会保障部部长令（第 6 号）发布的就业准入的相关职业（工种），组织编写了《职业技能鉴定培训读本（高级工）》（以下简称《读本》），包括《工具钳工》、《检修钳工》、《装配钳工》、《管工》、《铆工》、《电焊工》、《气焊工》、《维修电工》、《仪表维修工》、《电机修理工》、《汽车维修工》、《汽车维修电工》、《汽车维修材料工》、《摩托车维修工》、《车工》、《铣工》、《刨插工》、《磨工》、《镗工》、《铸造工》、《锻造工》、《钣金工》、《加工中心操作工》、《热处理工》、《制冷工》、《气体深冷分离工》、《防腐蚀工》、《起重工》、《锅炉工》等 29 种，以满足高级工培训市场的需要。本套《读本》的编写人员为生产一线的工程技术人员、高级技工，以及长期指导生产实习的专家等，具有丰富的实践和培训经验。

这套《读本》是针对高级技术工人和操作工而编写的，以《国家职业标准》和《职业技能鉴定规范》为依据，在内容上以中级作为起点，但重点为高级，注重实践性、启发性、科学性，做到基本概念清晰，重点突出，简明扼要，对基本理论部分以必须和够用为原则，突出技能、技巧，注重能力培养，并从当前高级技工队伍素质的实际出发，努力做到理论与实际相结合，深入浅出，通俗易懂；面向生产实际，强调实践，书中大量实例来自生产实际和教学实践；在强调应用、注重实际操作技能的同时，反映新知识、新技术、新工艺、新方法的应用和发展。

本书是《热处理工》。

为了满足企业热处理技术工人岗位培训的需要，为了不断提高热处理技术工人的专业知识和技术水平，增强其在市场经济体制下的竞争能力，我们根据技术工人技能鉴定考核大纲的要求编写了此书。

本书在介绍了相关基础理论知识的基础上，注重解决生产实践中的技术难题，突出技能、技巧和素质的培养。如列举大量典型零件的热处理工艺，作为读者学习、借鉴、举一反三之用；介绍多种

热处理夹具及矫正夹具，供读者自己设计夹具时参考；介绍设备仪表及各种热处理介质，可供实际生产中借鉴选用；给出典型热处理缺陷的金相照片并加以说明、分析，以便提高读者识别金相组织的能力。总之，本书力求实用、通用、新颖、精练，满足读者的需要。

本书由史玉芳、刘宗茂、李立新和刘文开编著，史玉芳统稿。本书成稿之后，承蒙曹明宇高级技师对全稿进行仔细审阅，并提出宝贵的修改建议，在此表示谢意。

由于水平有限，书中不妥之处在所难免，殷切希望广大读者和专家批评指正。

编著者

2006年1月

目 录

第 1 章 金属学相关知识	1
1.1 金属与合金的相结构	1
1.1.1 体心立方晶格	1
1.1.2 面心立方晶格	3
1.1.3 密排六方晶格	3
1.1.4 合金相结构	4
1.2 位错与材料性能	6
1.2.1 点缺陷	7
1.2.2 线缺陷	7
1.2.3 面缺陷	9
1.3 金属的塑性变形	12
1.3.1 多晶体塑性变形的特点	12
1.3.2 晶粒大小对塑性变形的影响	14
1.3.3 塑性变形对金属组织的影响	15
1.3.4 塑性变形对金属性能的影响	19
1.4 冷变形金属的回复与再结晶	20
1.4.1 回复	20
1.4.2 再结晶	21
1.4.3 再结晶温度及其影响因素	21
1.4.4 再结晶晶粒大小的控制	23
1.4.5 晶粒长大	24
第 2 章 热处理原理	26
2.1 钢的奥氏体化	26
2.1.1 奥氏体的形成机理	26
2.1.2 奥氏体的晶粒大小	29
2.2 奥氏体过冷转变	33

2.2.1 奥氏体过冷转变概述	33
2.2.2 珠光体转变	35
2.2.3 马氏体转变	38
2.2.4 贝氏体转变	42
2.3 钢的回火转变	46
2.3.1 钢在回火时组织的转变	46
2.3.2 淬火钢回火时力学性能的变化	52
2.3.3 回火脆性及其预防	54
2.4 时效处理	56
2.4.1 合金的时效处理	56
2.4.2 合金时效时性能的变化	57
2.5 热处理应力及其作用	59
2.5.1 热应力	60
2.5.2 组织应力	63
2.5.3 残余应力的分布规律	64
2.5.4 热处理裂纹	69
2.5.5 热处理变形	78
2.5.6 防止开裂与变形的的方法	81
2.5.7 应用预应力的热处理	90
第3章 热处理工艺	99
3.1 钢铁常规整体热处理的一般方法	99
3.1.1 钢的退火和正火	99
3.1.2 钢的淬火	106
3.1.3 钢的淬透性	113
3.1.4 钢的回火	115
3.2 表面热处理	117
3.2.1 感应加热的原理及工艺	117
3.2.2 感应加热表面淬火的特点	119
3.3 钢的化学热处理	120
3.3.1 化学热处理的一般过程	121
3.3.2 钢的渗碳	123
3.3.3 钢的渗氮	125
3.3.4 钢的碳氮共渗	126

3.3.5 钢的渗硼	127
3.4 真空热处理	128
3.4.1 真空退火	128
3.4.2 真空淬火	130
3.4.3 真空渗碳	132
3.4.4 真空渗金属	135
3.5 离子渗氮及离子渗碳	136
3.5.1 离子氮化	136
3.5.2 离子渗碳	141
3.6 气相沉积	142
3.6.1 化学气相沉积	143
3.6.2 PVD法的离子沉积	143
3.7 离子注入	146
3.8 铸铁件的热处理	147
3.8.1 白口铸铁	149
3.8.2 可锻铸铁	150
3.8.3 灰铸铁及球墨铸铁	152
3.9 有色金属的热处理	158
3.9.1 铝合金的热处理	163
3.9.2 铜合金的热处理	166
3.9.3 镁合金的热处理	170
3.9.4 钛合金的热处理	171
3.10 典型零件的热处理	173
3.10.1 汽车齿轮热处理	173
3.10.2 机床齿轮的热处理	175
3.10.3 液压齿轮泵齿轮的热处理	179
3.10.4 重型软齿面齿轮的热处理	180
3.10.5 汽车发动机曲轴的热处理	181
3.10.6 发动机凸轮轴的热处理	185
3.10.7 镶钢导轨的热处理	186
3.10.8 C2150 卧式六轴自动车床主轴的热处理	188
3.10.9 精密丝杠的热处理	189
3.10.10 T615K 镗床镗杆氮化处理	192

3.10.11	耐蚀丝杠的热处理	192
3.10.12	空心滚珠丝杠的热处理	193
3.10.13	液压阀门零件的材料选用与热处理	193
3.10.14	钻杆接头的热处理	196
3.10.15	压力容器的热处理	197
3.10.16	飞机发动机的压力机叶片(钛合金)的热处理	199
3.10.17	剪刀的热处理	200
3.10.18	GCr15 钢制冷冲模的双细化处理	202
3.10.19	3Cr2W8V 钢制汽车变速箱主轴齿轮胎模的高温淬火 处理	204
3.10.20	CrWMn 钢制棘爪凸模的低温淬火处理	205
3.10.21	CrWMn 钢制小型模具的低碳马氏体强韧化处理	205
3.10.22	Cr12MoV 钢制滚丝模的贝氏体等温淬火处理	206
3.10.23	60Si2MnA 钢制六角螺母冷墩下模的贝氏体等温淬火 处理	207
3.10.24	T10 钢制冷墩模的喷射淬火处理	208
3.10.25	3Cr2W8V 钢制飞轮热锻模的控温淬火冷却处理	211
3.10.26	9CrSi 钢制圆滚模的循环加热淬火处理	212
3.10.27	5CrMnMo 钢制齿轮热锻模的复合等温淬火处理	213
3.10.28	Cr12MoV 钢制冷冲模线切割成形后的高温回火处理	213
3.10.29	3Cr2W8V 钢制模具电火花加工后的即时回火处理	215
3.10.30	Cr12MoV 钢制搓丝板的真空热处理	215
3.10.31	W9Cr4Mo3V 钢制螺母孔冲模的真空淬火深冷复合 处理	218
3.10.32	3Cr2W8V 钢制压铸模的离子渗氮处理	219
3.10.33	W6Mo5Cr4V2 钢制活塞销冷挤凸模的氮碳共渗处理	219
3.10.34	3Cr2W8V 钢制铝合金压铸模的加氧渗氮处理	219
3.10.35	T8、Cr12 拉伸模的渗铬处理	220
3.10.36	Cr12MoV 钢制冷墩六角模的粉末渗硼处理	222
3.10.37	5CrMnMo 钢制连接环热锻模的渗硼-等温淬火复合 处理	222
3.11	预防与补救热处理不良品的办法	224
3.11.1	退火、正火疵病的预防与补救办法	224

3.11.2	淬火不良品的预防与补救方法	227
3.11.3	回火不良品的预防与补救方法	234
3.11.4	高频不良品的预防与补救方法	234
3.11.5	渗碳疵病的预防与补救方法	235
3.11.6	氮化疵病的预防与补救方法	236
3.11.7	氰化疵病的预防与补救方法	237
3.12	矫正的基本方法	237
3.12.1	冷矫的基本方法	238
3.12.2	热矫的基本方法	239
3.12.3	回火矫正法	240
3.12.4	淬火矫正法	242
第4章	热处理夹具及感应器的设计与应用	244
4.1	常用淬火夹具	244
4.2	常用回火夹具	247
4.3	淬火回火矫正夹具	247
4.3.1	高速钢小钻头的回火夹具	247
4.3.2	搓丝板淬火矫正夹具	248
4.4	常用感应圈	249
4.4.1	表面淬火感应器	252
4.4.2	穿透加热感应器	258
第5章	热处理设备	260
5.1	热处理设备及其常见故障排除方法	260
5.1.1	电阻炉	260
5.1.2	燃料炉	267
5.1.3	浴炉	268
5.1.4	流动粒子炉	276
5.1.5	可控气氛炉结构特点	282
5.1.6	吸热式气氛制备流程	286
5.1.7	放热式气氛发生装置	286
5.1.8	氮基气氛制备	288
5.2	新型热处理设备简介	289
5.2.1	燃气真空炉	289
5.2.2	热壁式真空炉	292

5.2.3 低压渗碳炉	294
5.2.4 离子渗氮设备	299
5.2.5 离子渗碳设备	300
5.2.6 热等压淬火炉	303
第6章 测温控温仪表	306
6.1 热电偶	306
6.2 热电阻	310
6.3 高温计	312
第7章 常用热处理介质的配制与使用	315
7.1 加热介质的特性与选用	315
7.2 常用淬火介质性质	316
7.2.1 淬火剂的定义及对淬火剂的要求	316
7.2.2 淬火剂的性能及分类	316
7.2.3 水及无机盐水溶液淬火剂	317
7.2.4 有机聚合物的水溶液	319
7.2.5 油类淬火剂	320
7.2.6 碱浴、盐浴及流态床等淬火介质	322
7.3 热处理常用渗剂的成分及配制方法	323
7.4 热处理常用淬火矿物油及其性能	326
7.5 气体渗碳剂的质量及其对热处理的影响	327
第8章 检测与分析	329
8.1 金属力学性能指标简介	329
8.1.1 金属材料的强度	329
8.1.2 塑性	331
8.1.3 硬度	332
8.1.4 韧性	335
8.2 维氏硬度及其检测方法	336
8.3 常见热加工缺陷的金相组织分析	339
8.3.1 脱碳	339
8.3.2 网状碳化物	340
8.3.3 粗大铁素体网	341
8.3.4 魏氏组织	341
8.3.5 淬火加热不足	341

8.3.6 淬火冷却不足	342
8.3.7 过烧	343
8.3.8 粗大马氏体	343
8.3.9 铸态组织残留	345
8.3.10 石墨碳	345
8.3.11 球化不良	347
8.3.12 带状组织	347
参考文献	349

第 1 章 金属学相关知识

1.1 金属与合金的相结构

自然界中的晶体有成千上万种，它们的晶体结构各不相同，但若根据晶胞的三个晶格常数和三个轴间夹角的相互关系对所有的晶体进行分析，则发现空间点阵只有 14 种类型，进一步根据晶体的对称程度高低和对称特点，又可将 14 种空间点阵归属 7 个晶系，见表 1.1。由于金属原子趋向于紧密排列，所以工业上使用的金属元素中，除了少数具有复杂的晶体结构外，绝大多数都具有比较简单的晶体结构，其中最典型、最常见的晶体结构有三种类型，即体心立方结构、面心立方结构和密排六方结构，前两种属于立方晶系，后一种属于六方晶系。

1.1.1 体心立方晶格

体心立方晶格的晶胞模型如图 1.1 所示。晶胞的三个棱边长度相等，三个轴间夹角均为 90° ，构成立方体。除了在晶胞的八个角上各有一个原子外，在立方体的中心还有一个原子。具有体心立方结构的金属有 α -Fe、Cr、V、Nb、Mo、W 等 30 多种。

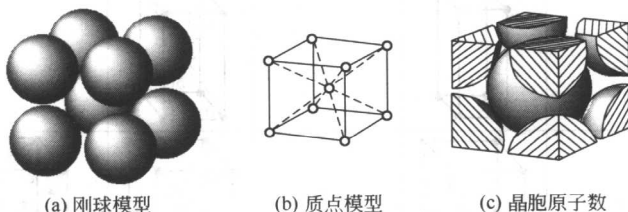


图 1.1 体心立方晶胞

表 1.1 7 个晶系和 14 种点阵

晶系和实例	点阵类型			
	简单	底心	体心	面心
三斜晶系 $a \neq b \neq c$ $\alpha \neq \beta \neq \gamma \neq 90^\circ$ K_2CrO_7				
单斜晶系 $a \neq b \neq c$ $\alpha = \gamma = 90^\circ \neq \beta$ $\beta-S$				
正交晶系 $a \neq b \neq c$ $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$ $\alpha-S, Fe_3C$				
六方晶系 $a_1 = a_2 = a_3 \neq c$ $\alpha = \beta = 90^\circ$ $\gamma = 120^\circ$ Zn, Cd, Mg				
菱方晶系 $a = b = c$ $\alpha = \beta = \gamma \neq 90^\circ$ As, Sb, Bi				
四方晶系 $a = b \neq c$ $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$ $\beta-Sn, TiO_2$				
立方晶系 $a = b = c$ $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$ Fe, Cr, Cu, Ag				

(1) 原子半径

在体心立方晶胞中，原子沿立方体对角线紧密地接触着，如图 1.1(a) 所示。设晶胞的点阵常数（立方体晶胞的边长）为 a ，则立方体对角线的长度为 $\sqrt{3}a$ ，等于 4 个原子半径，所以体心立方晶胞中的原子半径 $r = \sqrt{3}a/4$ 。

(2) 晶胞原子数

由于晶格是由大量晶胞堆垛而成，因而晶胞每个角上的原子为与其相邻的 8 个晶胞所共有，故只有 $1/8$ 个原子属于这个晶胞，晶胞中心的原子完全属于这个晶胞，所以体心立方晶胞中的原子数为 $8 \times 1/8 + 1 = 2$ ，如图 1.1(c) 所示。

1.1.2 面心立方晶格

面心立方晶格的晶胞如图 1.2 所示。在晶胞的 8 个角上各有 1 个原子，构成立方体，在立方体 6 个面的中心各有 1 个原子。 γ -Fe、Cu、Ni、Al、Ag 等约 20 种金属具有这种晶体结构。

由图 1.2(c) 可以看出，每个角上的原子为 8 个晶胞所共有，每个晶胞实际占有该原子的 $1/8$ ，而位于 6 个面中心的原子同时为相邻的两个晶胞所共有，每个晶胞只分到面心原子的 $1/2$ ，因此面心立方晶胞中的原子数为 $1/8 \times 8 + 1/2 \times 6 = 4$ 。

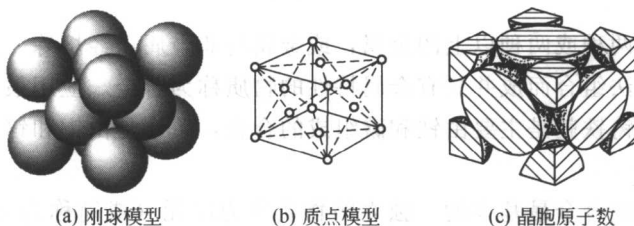


图 1.2 面心立方晶胞

1.1.3 密排六方晶格

密排六方晶格的晶胞如图 1.3 所示。在晶胞的 12 个角上各有 1 个原子，构成六方柱体，上底面和下底面的中心各有 1 个原子，

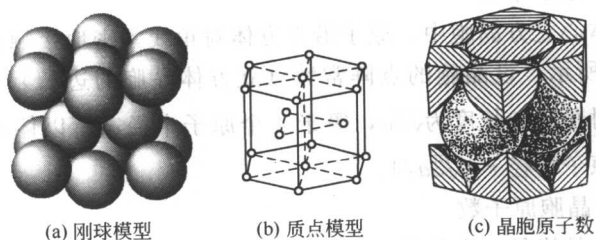


图 1.3 密排六方晶胞

晶胞内还有 3 个原子。具有密排六方晶格的金属有 Zn、Mg、Be、 α -Ti、 α -Co、Cd 等。

晶胞中的原子数可参照图 1.3(c) 计算如下：六方柱每个角上的原子均属 6 个晶胞所共有，上、下底面中心的原子同时为两个晶胞所共有，再加上晶胞内的 3 个原子，故晶胞中的原子数为 $1/6 \times 12 + 1/2 \times 2 + 3 = 6$ 。

1.1.4 合金相结构

虽然纯金属在工业上获得了一定的应用，但由于其强度一般都很低，如铁的抗拉强度约为 200MPa，而铝还不到 100MPa，显然都不适合作结构材料。因此，目前应用的金属材料绝大多数是合金。

由两种或两种以上的金属，或金属与非金属，经熔炼、烧结或其他方法组合而成并具有金属特性的物质称为合金。应用最普遍的碳钢和铸铁就是主要由铁和碳组成的合金，黄铜是由铜和锌所组成的合金。

组成合金最基本的、独立的物质称为组元（或简称为元）。一般说来，组元就是组成合金的元素，也可以是稳定的化合物。当不同的组元经熔炼或烧结组成合金时，这些组元间由于物理或化学相互作用，形成具有一定晶体结构和一定成分的相。相是指合金中结构相同、成分和性能均一并以界面相互分开的组成部分。由一种相组成的合金称为单相合金，由几种不同相组成的合金称为多相合