

热处理工艺手册

七机部七〇八所

前 言

1. 为了适应我部科研生产的发展,总结热处理工艺技术和技术交流,七〇八所组织编写了这本《热处理工艺手册》,做为内部参考资料,供从事热处理工艺工作的工人、技术人员及有关人员查阅使用。

2. 编写工作的分工:

第1~2章(热处理基本原理和基本工艺)由国防科技大学黄大曦同志主编;

第3~6章(碳素钢、合金钢、弹簧钢、轴承钢的热处理)由七〇八所张佐文同志和李灿碧、黄大曦同志编写;

第7~9章(不锈钢、耐酸钢、超高强度钢、耐热钢与高温合金)由二一一厂李灿碧同志主编;

第10章(铸铁热处理)、第13章(弹性合金热处理)由二院科技部潘肃同志主编;

第11~12章(软磁、硬磁材料及热处理)、第14~17章(膨胀合金、热双金属材料、电阻合金、热电偶合金)由六九九厂孔淑英同志主编。

3. 抚顺钢厂、三〇七厂、二一〇厂、六九九厂、七一〇七厂、七〇三所等单位的同志,分别审阅了手册有关部分的初稿,提出了修改意见;七〇八所一室的同志做了印刷文稿的整理和校样的校对工作,谨致谢意。

4. 由于业务知识、编写水平不高,手册中肯定有不少错误和缺点,诚恳希望参阅手册的同志批评指正。

《热处理工艺手册》编写组 一九七九年

目 录

第一章 钢的热处理基本原理	1
第一节 铁碳平衡图	1
§1. 铁碳平衡图简介	1
一、平衡图中各主要相	1
二、平衡图中各点的含义	1
三、平衡图中各线的意义	1
四、平衡图中各相区及其含义	5
§2. 典型合金的显微组织	5
一、含碳0.8%的铁碳合金的显微组织	5
二、含碳0.4%的铁碳合金的显微组织	6
三、含碳1.2%的铁碳合金的显微组织	6
四、含碳4.3%的铁碳合金的显微组织	8
五、含碳3.5%的铁碳合金的显微组织	8
六、含碳5.0%的铁碳合金的显微组织	9
§3. 合金元素对铁碳平衡图的影响	10
一、合金元素和铁的相互作用	11
二、合金元素与碳的相互作用	13
三、合金元素对铁碳平衡图的影响	15
第二节 钢在加热时的转变	18
§1. 加热时奥氏体的形成	18
一、奥氏体形成的热力学条件	18
二、奥氏体的形成过程	18
§2. 奥氏体形成速度及其影响因素	21
一、温度对奥氏体形成速度的影响	21
二、原始组织对奥氏体形成速度的影响	22
三、化学成份对奥氏体形成速度的影响	23
§3. 连续加热时奥氏体的形成	24
§4. 奥氏体的晶粒度	25
一、奥氏体晶粒度的概念	25
二、影响奥氏体晶粒长大的因素	27
第三节 珠光体的形成	30
§1. 珠光体及珠光体转变规律	30
一、珠光体组织	30

二、珠光体相变规律	31
§2. 珠光体转变动力学曲线	32
一、共析钢等温转变动力学曲线	32
二、共析钢连续冷却转变动力学曲线	34
三、等温转变图与连续冷却转变图的关系	35
四、影响转变动力学的因素	36
五、魏氏组织的形成	40
第四节 马氏体转变	41
§1. 马氏体及马氏体转变规律	42
一、马氏体组织	42
二、马氏体转变规律	47
§2. 影响马氏体转变的因素	52
一、化学成分对 M_s 、 M_z 点的影响	52
二、塑性变形的影响	53
三、奥氏体化条件的影响	53
四、奥氏体的降温稳定	53
第五节 贝氏体转变	54
§1. 贝氏体及贝氏体转变规律	55
一、贝氏体组织	55
二、贝氏体转变规律	56
§2. 贝氏体相变动力学的特点及影响因素	58
一、贝氏体相变动力学特点	58
二、影响贝氏体相变动力学的因素	60
§3. 贝氏体的机械性能	62
第六节 钢在回火时的转变	63
§1. 钢在回火时相的变化	63
一、淬火钢回火时的相变过程	63
二、马氏体的分解	64
三、残余奥氏体的转变	66
四、 α -相物理状态的变化	67
五、碳化物的形成、转变和聚集长大	68
六、回火钢的组织	68
§2. 合金元素对回火相变的影响	70
一、对马氏体分解的影响	70
二、对碳化物形成、转变和长大的影响	70
三、对残余奥氏体转变的影响	70
§3. 淬火钢回火后的机械性能变化	71
一、硬度的变化	71
二、强度和塑性的变化	73

三、韧性的变化	73
第二章 钢的热处理基本工艺	76
第一节 钢的退火及正火	76
§1. 退火	76
一、扩散退火	76
二、完全退火	76
三、不完全退火	77
四、球化退火	77
五、等温退火	80
六、低温退火	81
§2. 正火	81
第二节 淬火	82
§1. 加热和保温	82
一、加热温度的选择	82
二、影响加热时间的因素	84
三、加热、保温时间的确定	85
四、加热时的氧化、脱碳及防止方法	90
§2. 冷却	95
一、淬火介质	96
二、淬火方法	102
§3. 钢的淬透性	106
一、淬透性及其评定标准	106
二、淬透性的测定方法	107
三、淬透性曲线的应用	111
§4. 淬火缺陷分析	111
一、淬火内应力	111
二、淬火变形	114
三、淬火裂纹	121
四、减少淬火变形和防止淬火开裂的措施	128
五、已变形零件的挽救方法	130
第三节 回火	131
§1. 回火工艺参数的确定	131
一、回火温度的确定	131
二、回火时间的确定	131
§2. 回火的分类	132
第三章 优质碳素结构钢的热处理	133
第一节 钢的成分及其分类特点	133

一、钢的成分	133
二、钢的分类及特点	133
第二节 优质碳素结构钢的热处理	135
一、钢的退火与正火	135
(一)钢的退火	135
(二)钢的正火	135
(三)退火与正火的工艺参数	135
(四)机械性能	136
(五)渗碳用钢及其工艺	137
二、钢的淬火与回火	137
(一)淬火	137
(二)回火	138
(三)回火温度与硬度的关系	138
三、淬火钢不同回火温度的力学性能	140
第四章 合金结构钢的热处理	143
第一节 合金结构钢的化学成分和机械性能	143
一、钢的化学成分	143
二、机械性能	148
第二节 调质钢	152
一、调质钢的分类和特点	152
二、碳及合金元素的作用	152
三、调质钢的热处理特点	153
第三节 渗碳钢	155
一、渗碳钢的种类及特点	155
二、渗碳钢的热处理特点	157
三、典型钢种的渗碳及热处理	158
(一)20Cr 钢	158
(二)20CrMnTi 钢	158
(三)12CrNi3A 钢	159
(四)12Cr2Ni4A 钢	160
(五)18Cr2Ni4WA 钢	160
第四节 合金结构钢的热处理工艺数据	162
一、合金钢退火、正火、淬火工艺参数	162
二、淬火后回火温度与硬度关系	162
(一)淬火后回火温度与硬度对照表	162
(二)淬火后回火温度关系曲线	168
三、淬火后回火温度与力学性能关系	170

第五章 弹簧钢的热处理	181
第一节 弹簧钢的种类和特点	181
一、热轨弹簧钢	181
二、冷拉弹簧钢丝	186
三、弹簧钢带	189
四、特殊性能弹簧用钢和弹性合金	190
第二节 弹簧的热处理	191
一、弹簧的淬火及回火	191
(一) 淬火工艺	191
(二) 回火工艺	193
(三) 弹簧钢的机械性能与回火温度关系	194
二、等温淬火	197
三、弹簧冷卷后的消除应力回火	200
四、弹簧钢的退火、正火、高温回火工艺参数	201
第三节 弹簧的制造工艺、热处理工序、典型零件的热处理	202
一、弹簧的制造工艺	202
二、热处理工序	202
三、典型零件的热处理	202
参考资料	205
第六章 轴承钢的热处理	206
第一节 概述	206
第二节 轴承钢的化学成分及合金化特点	206
一、轴承钢的化学成分	206
二、轴承钢的合金化特点	206
第三节 铬轴承钢的热处理	207
一、铬轴承钢的使用范围	207
二、铬轴承钢的加工过程	208
三、铬轴承钢的预先热处理	208
(一) 正火处理	208
(二) 球化退火	209
(三) 去应力退火	211
四、铬轴承钢的最后热处理	212
(一) 淬火	212
(二) 回火	213
(三) 冰冷处理	217
第四节 无铬轴承钢的热处理	217
一、钢的牌号及性能	217

二、无铬轴承钢的热处理	219
(一)退火	219
(二)正火	220
(三)淬火	220
(四)回火	220
三、无铬轴承钢的应用及特性	220
第七章 不锈耐酸钢的热处理	222
第一节 概述	222
一、不锈耐酸钢的分类与发展概况	222
(一)不锈耐酸钢的分类	222
(二)不锈钢的发展概况	223
二、金属腐蚀的基本概念	224
(一)不锈钢腐蚀的基本类型	224
(二)化学腐蚀与电化学腐蚀	226
三、碳及合金元素对不锈钢性能和组织的影响	227
第二节 马氏体不锈钢	229
一、钢号、化学成分及机械性能	229
(一)钢号及化学成分	229
(二)机械性能	229
1. 棒材的机械性能	229
2. 板材的机械性能	230
3. 带材的机械性能	231
4. 丝材的机械性能	231
5. 锻件的机械性能	231
二、马氏体不锈钢的热处理	232
(一)基本特点	232
(二)退火	234
1. 退火的目的	234
2. 退火的种类	234
3. 退火工艺参数	235
4. 退火后的机械性能和硬度	235
(三)淬火	237
1. 淬火目的	237
2. 淬火温度的选择	238
3. 淬火加热时间	241
4. 淬火介质与淬透性	245
(四)回火	245
1. 回火温度的选择	245

2.	回火时间	246
3.	回火温度与硬度曲线	247
4.	冷却速度对性能影响	249
5.	回火温度与机械性能的关系	250
6.	淬火+回火后的机械性能	252
	(五)冰冷处理	253
三、	热处理与耐蚀性	254
(一)	退火回火后的耐蚀性	254
(二)	淬火回火后的耐蚀性	255
四、	热处理工艺操作要点	259
(一)	淬火前的准备	259
(二)	预热	259
(三)	保护方法	260
(四)	热处理后的清理	260
五、	典型零件(或材料)的热处理工艺	260
(一)	1-4Cr13棒材的热处理工艺	260
(二)	锻件及模锻件的热处理工艺	261
(三)	弹性零件的热处理工艺	262
(四)	焊接件的调质处理	262
六、	热处理缺陷及改进措施	265
附表7-1	国内外马氏体不锈钢号对照表	266
附表7-2	国外马氏体不锈钢及其化学成分	266
附表7-3	国外马氏体不锈钢的等温转变曲线	267
附表7-4	马氏体不锈钢相变点	268
第三节	奥氏体不锈钢	269
一、	钢号、化学成分及机械性能	269
(一)	钢号及化学成分	269
(二)	机械性能	271
1.	棒材的机械性能	271
2.	板材的机械性能	272
3.	带材的机械性能	273
4.	丝材的机械性能	273
5.	管材的机械性能	274
6.	锻件的机械性能	274
二、	奥氏体不锈钢的组织特点	274
(一)	钢的特点	274
(二)	晶间腐蚀	275
三、	奥氏体不锈钢的热处理	276
(一)	固溶处理(淬火)	276

1. 淬火的目的是	276
2. 淬火温度的选择	277
(二)去应力处理	277
1. 去应力处理的目的是和应用	277
2. 热处理温度与应力除去程度关系	279
(三)稳定化处理(或稳定化退火)	279
1. 稳定化处理的目的是和应用	279
2. 稳定化处理工艺	279
(四)1Cr18Ni9Ti 各种状态下的机械性能	280
四、热处理工艺操作要点	282
(一)加热与设备	282
(二)加热前的准备	282
(三)保护	283
(四)清理	283
五、典型零件(或材料)热处理工艺	283
(一)1Cr18Ni9Ti 棒材	283
(二)1Cr18Ni9Ti 锻件	284
(三)1Cr18Ni9Ti 板金件	285
(四)1Cr18Ni9Ti 铸件	285
附表7-5国外典型奥氏体不锈钢成分	286
附表7-6国外典型奥氏体不锈钢固溶处理温度	286
第四节 奥氏体-铁素体不锈钢	286
一、钢号、化学成分及特点	286
(一)钢号及化学成分	286
(二)钢的特点	287
二、钢的组织 and 机械性能	288
(一)钢的组织	288
(二)机械性能	288
1. 棒材和锻件的机械性能	288
2. 板材的机械性能	288
三、奥氏体-铁素体钢的热处理	288
(一)淬火温度与铁素体量的关系	288
(二)淬火温度对机械性能的影响	289
(三)淬火加热时间对硬度的影响	290
(四)热处理制度对成型工艺的影响	291
第五节 铁素体不锈钢的热处理	291
一、钢号及化学成分	291
二、热处理制度与机械性能	292
第六节 沉淀硬化不锈钢	293

一、分类与特征	293
二、钢号及化学成分	294
三、沉淀硬化不锈钢的热处理	294
(一)马氏体型(单一处理)钢的热处理	294
1. 固溶处理(A处理)	295
2. 时效处理(H处理)	295
3. 机械性能与耐蚀性	296
(二)半奥氏体型(双重处理)钢的热处理	297
1. 固溶处理	298
2. 调整处理	298
3. 冷加工(C处理)	299
4. 时效处理(H处理)	299
5. 机械性能与耐蚀性	300
第七节 不锈钢氮化	302
一、氮化的化学过程与氮化层组织	302
(一)氮化的化学过程	302
(二)氮化层的组织	303
二、气体氮化	304
(一)气体氮化设备	304
(二)氮化前的准备	305
(三)氮化前的预备热处理	305
(四)不锈钢钝化膜的去除	305
(五)非氮化部位的防护	306
(六)不锈钢零件气体氮化工艺	306
三、离子氮化(辉光离子氮化)	307
(一)离子氮化原理	307
(二)离子氮化的优缺点	308
(三)不锈钢零件离子氮化工艺	309
(四)离子氮化设备及基本工艺参数与操作	309
1. 离子氮化设备	309
2. 离子氮化的基本工艺参数与操作	309
四、高频氮化	314
(一)高频氮化装置	314
(二)高频氮化工艺数据	315
(三)高频氮化非氮化表面的防护	315
(四)高频氮化的优缺点	316
第八节 不锈钢的保护热处理	316
一、真空热处理	317
(一)真空热处理的应用概况	317

(二) 简易真空淬火	318
1. 简易真空淬火设备	318
2. 简易真空热处理特点	318
3. 简易真空淬火操作	318
4. 简易真空淬火后硬度	318
(三) 真空淬火	320
1. 真空淬火炉	320
2. 真空热处理工艺及有关问题	322
(1) 加热和保温	322
(2) 真空气体冷却	323
(3) 真空油中冷却	324
(4) 真空度的选择	325
二、保护气氛热处理	325
(一) 保护气氛热处理的应用概况	325
(二) 不锈钢淬火常用保护气体	326
1. 氮气保护	326
2. 氩气保护	327
三、涂料保护热处理	329
(一) 涂料保护热处理应用概况	329
(二) 我国研制的保护涂料应用简介	329
四、盐浴热处理	330
(一) 盐浴加热	330
(二) 盐浴脱氧	331
第九节 不锈钢的酸洗	331
一、马氏体不锈钢的酸洗	332
二、奥氏体不锈钢的酸洗	333
主要参考资料	335

第八章 超高强度钢的热处理

第一节 概述	338
第二节 低合金超高强度钢	339
一、化学成分及其作用	339
二、热处理特点及其性能	340
三、典型材料的热处理	341
(一) 30CrMnSiNi2(A) 钢	341
1. 简介	341
2. 30CrMnSiNi2(A) 钢零件油中淬火	341
3. 30CrMnSiNi2(A) 钢零件等温淬火	342

4. 退火和正火	344
5. 热处理后的机械性能	345
(二)32SiMnMoV 钢	345
1. 简介	345
2. 钢的退火	345
3. 钢的强化热处理	346
(1)淬火回火与机械性能	346
(2)等温淬火与机械性能	347
(3)热处理对断裂韧性(K _{1c} 值的影响)	349
(4)钢的淬透性	350
(5)32SiMnMoV钢的脱炭倾向	350
(6)淬火回火的硬度与强度关系	351
(三)40SiMnMoVRe 钢	352
1. 淬火温度对机械性能的影响	352
2. 回火温度对机械性能的影响	353
3. 等温淬火对机械性能的影响	353
4. 钢的淬透性	354
(四)40SiMnCrMoV(Re)钢	354
1. 简介	354
2. 退火	356
(1)退火的种类目的和应用	356
(2)退火后的机械性能	356
(3)退火温度对硬度的影响	356
(4)退火保温时间对硬度的影响	356
(5)退火温度和时间对脱碳层的影响	358
3. 淬火	359
(1)淬火温度对性能的影响	359
(2)冷却介质对性能的影响	360
4. 回火	360
(1)回火温度对钢的机械性能的影响	360
(2)回火时间对机械性能和缺口韧性的影响	360
5. 等温淬火	360
6. 保护处理	362
7. 热处理制度对断裂韧性的影响	363
8. 钢的淬透性	364
9. 406钢的含碳量与强度关系	364
10. 406钢的硬度与强度对应关系	364
11. 406典型零件的热处理工艺	265
(五)40SiMnCrNiMoV 钢的热处理	365

1. 简介	365
2. 化学成分	365
3. 预先热处理: 正火和退火	365
(1) 退火的目的和方法	365
(2) 退火后机械性能	366
(3) 退火温度与时间对硬度的影响	366
(4) 正火对机械性能的影响	367
4. 最终热处理	367
(1) 双重热处理 (淬火+回火)	367
(i) 淬火温度及保温时间对性能的影响	367
(ii) 淬火温度对 40SiMnCrNiMoV 钢断裂韧性的影响	369
(iii) 回火温度和时间对机械性能的影响	369
(iv) 回火温度对断裂韧性的影响	369
(2) 等温淬火	371
(i) 等温淬火温度与机械性能的关系	371
(ii) 等温淬火对断裂韧性的影响	372
(3) 其它性能	372
(i) 室温机械性能	372
(ii) 高温瞬时机械性能	372
(iii) 低温冲击韧性	372
(iv) 钢的淬透性	373
(v) 典型零件的热处理	373
(六) 5025 钢的热处理	373
1. 钢的临界点	373
2. 钢的退火	373
3. 淬火温度对机械性能的影响	374
4. 回火温度对机械性能的影响	374
5. 5025 钢的淬透性	375
第三节 马氏体时效钢的热处理	375
一、种类及特点	375
二、马氏体时效钢的热处理	376
1. 热处理基础	376
2. 典型马氏体时效钢的热处理工艺	377
3. 18Ni 型钢热处理后的机械性能	378
第四节 Hp9Ni-4Co 型钢	379
一、简介	379
二、Hp9Ni-4Co 型钢的化学成份	379
三、9Ni-4Co 型钢的热处理	380
1. HP9Ni-4Co-0.25C 钢的热处理与机械性能	380

2. 9Ni-4Co 类型钢的软化退火	380
第五节 超低碳马氏体时效不锈钢的热处理	381
一、钢号及化学成分	381
二、钢的临界温度及相变点	381
三、热处理工艺	381
四、机械性能	382
主要参考资料	385
第九章 耐热钢及高温合金的热处理	386
第一节 耐热钢	386
一、耐热钢的分类及其化学成分	386
二、耐热钢的热处理制度与机械性能	386
三、耐热钢的主要性能与用途	386
第二节 航空用不锈耐热钢	390
一、化学成分	390
二、热处理工艺与性能	391
第三节 高温合金	392
一、高温合金的分类与编号	392
二、高温合金的强化方法与热处理	393
(一)高温合金的主要强化方法	393
(二)高温合金的热处理	394
三、高温合金的成分特点、结构组织及应用	395
四、高温合金的热处理制度与机械性能	397
第四节 典型材料及零件的热处理	409
一、1Cr11Ni2W2MoV 钢	409
二、GH36 合金	412
三、GH38A 合金	415
四、GH40 合金	418
五、GH130 合金	419
六、GH131 合金	421
七、GH140 合金	422
八、GH169 合金	424
附表9-1国外几种典型镍基合金成分及热处理制度	425
附表9-2高温合金国内外牌号对照表	426
第十章 铸铁热处理	427
第一节 铸铁的组织、性能及用途	427
一、铸铁的分类、组织及化学成分	427

088	(一)白口铸铁	427
188	(二)灰口铸铁	427
188	(三)可锻铸铁	428
188	(四)球墨铸铁	428
188	二、铸铁的性能	429
208	(一)一般机械性能	429
258	(二)高温机械性能	431
	(三)物理性能	433
308	三、合金铸铁简介	434
358	(一)高强度铸铁	434
388	(二)耐磨合金铸铁	434
408	(三)耐热合金铸铁	434
438	(四)耐蚀合金铸铁	435
448	第二节 铸铁热处理的基本特点	441
468	一、加热时的组织转变	441
498	(一)共析转变温度以下加热	441
518	(二)共析转变温度以上加热	441
568	二、冷却时的组织转变	441
598	(一)共析转变温度以上冷却	441
628	(二)共析转变温度以下冷却	441
658	三、共析转变临界温度	441
678	第三节 铸铁的热处理工艺	442
708	一、灰口铁的热处理工艺	442
738	(一)消除应力退火	442
768	1. 退火温度及保温时间对残余应力的影响	443
798	2. 退火冷却速度对残余应力的影响	443
818	举例	444
848	(二)石墨化退火(软化退火)	445
878	1. 低温石墨化退火	445
908	2. 高温石墨化退火	445
938	(三)正火	446
968	(四)淬火、回火	446
998	1. 淬火	447
1028	2. 回火	447
1058	(五)等温淬火	447
1088	(六)表面热处理	448
1118	1. 高中频感应加热表面淬火	448
1148	2. 火焰加热表面淬火	449
1178	3. 电接触表面淬火	449

4. 化学热处理	450
(1) 渗氮	450
举例	450
(2) 渗硫	451
三、球墨铸铁的热处理工艺	451
(一) 消除应力退火	451
(二) 石墨化退火	453
1. 低温石墨化退火	453
2. 高温石墨化退火	454
(三) 正火	455
1. 完全奥氏体化正火	455
2. 部分奥氏体化正火	457
举例	457
(四) 淬火、回火	458
1. 淬火	458
2. 回火	459
(五) 等温淬火	460
举例	463
(六) 表面热处理	466
四、可锻铸铁的热处理工艺	467
(一) 白心铁素体可锻铸铁的脱碳退火	468
(二) 黑心铁素体可锻铸铁的石墨化退火	468
1. 普通退火工艺	468
举例	470
2. 快速退火工艺	471
(1) 低温入炉和低温保温法	473
(2) 淬火法	473
(3) 盐浴退火	471
(三) 珠光体可锻铸铁的热处理工艺	474
五、白口铸铁的热处理工艺	475
(一) 消除应力退火	475
1. 耐磨镍铬白口铁消除应力退火 [12]	475
2. 高铬高硅白口铁消除应力退火	475
(二) 淬火、回火	475
(三) 等温淬火	476
(四) 双重热处理[33]	476
参考资料	477
精密合金概述	479