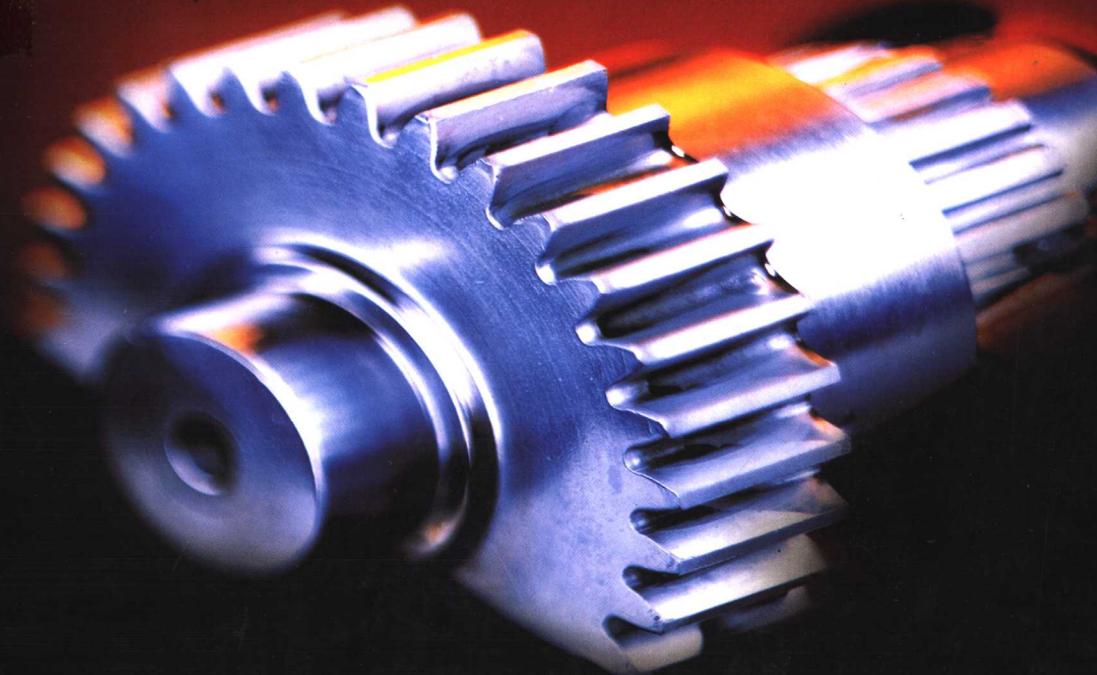




热处理工艺方法

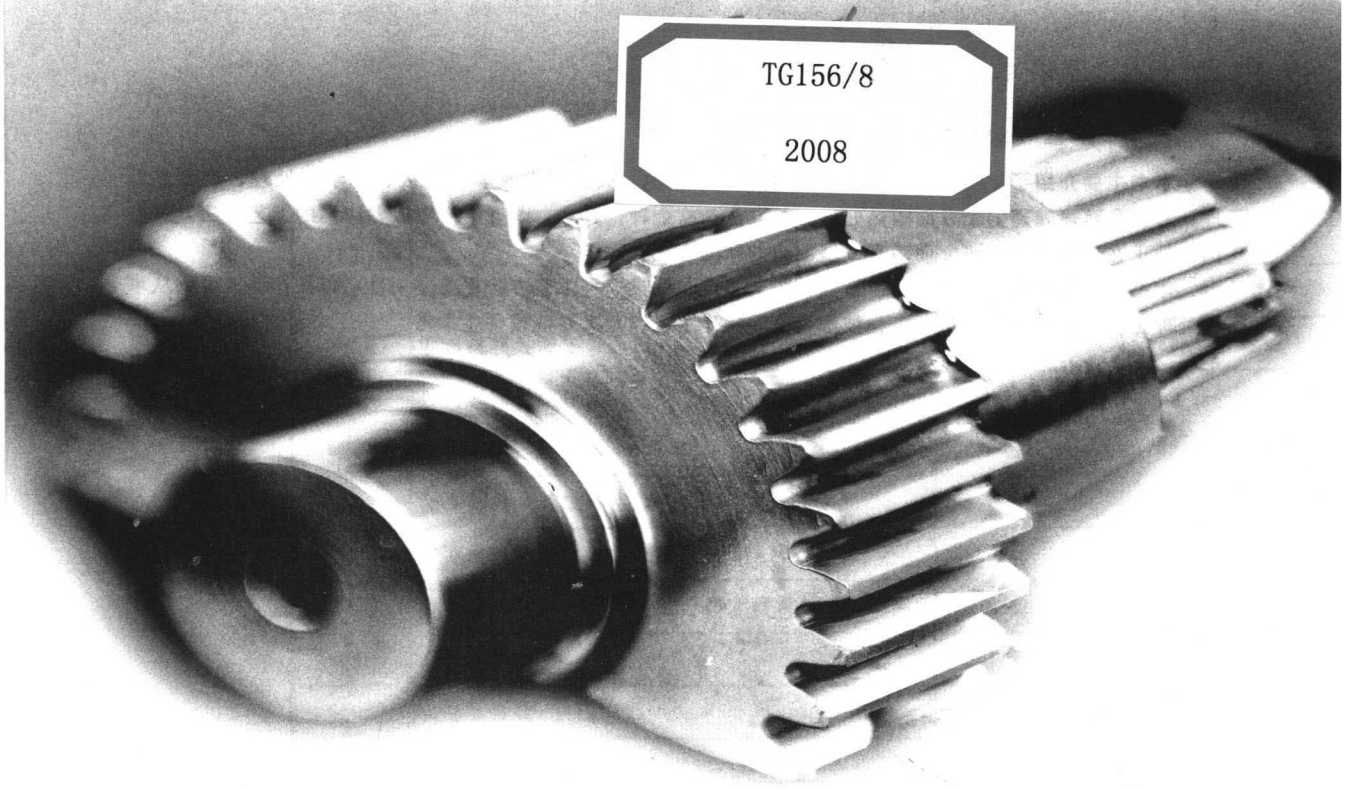
600种

REICHULI
GONGYI FANGFA
600 ZHONG

马永杰 编著



化学工业出版社



TG156/8

2008

热处理工艺方法

600种

REICHULI
GONGYI FANGFA
600 ZHONG

马永杰 编著



化学工业出版社

· 北京 ·

本书主要介绍了整体热处理工艺中的退火与正火、淬火、回火及表面淬火、化学热处理、形变热处理、非铁金属热处理七个方面的热处理工艺方法 600 余种。其中,既有生产中成熟应用的工艺方法,又有国内外正在试用或尚在研究而确有发展前途的新的工艺方法。

本书语言简明扼要,内容通俗易懂、图文并茂,使热处理工艺方法更具实用性、可操作性。可供从事热处理工艺工作的科研人员、工程技术人员、操作工人以及大专院校师生参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

热处理工艺方法 600 种/马永杰编著. —北京:
化学工业出版社, 2008. 1

ISBN 978-7-122-01894-6

I. 热… II. 马… III. 热处理 IV. TG156

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 002230 号

责任编辑: 丁尚林

文字编辑: 陈 喆

责任校对: 蒋 宇

装帧设计: 张 辉

出版发行: 化学工业出版社 (北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)

印 刷: 北京云浩印刷有限责任公司

装 订: 三河市延风装订厂

787mm×1092mm 1/16 印张 24 $\frac{3}{4}$ 字数 613 千字 2008 年 2 月北京第 1 版第 1 次印刷

购书咨询: 010-64518888 (传真: 010-64519686) 售后服务: 010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书, 如有缺损质量问题, 本社销售中心负责调换。

定 价: 48.00 元

版权所有 违者必究

前 言

热处理是提高材料力学性能、物理和化学性能，节约材料，充分发挥材料潜力，延长机器零件、工程构件和用品服役寿命的有力措施，受到了国内外冶金界和制造业的高度重视。通过热处理可以提高软磁和硬磁材料的磁性能，弹性材料的高弹性指标等。热处理还可以改善材料的各种加工工艺性能，诱发材料的超塑性，便于在施加很小能量的条件下，制造出复杂形状的零件。热处理还可以提高材料的抗腐蚀性、抗高温氧化的化学稳定性，延长在特殊介质下服役的零件寿命。

绝大多数的热处理是把材料或制件加热到一定温度，在此温度下保持适当时间，然后以一定速度冷却，以改变其组织和性能的工艺过程。近代热处理技术可以划分为整体热处理（退火、正火、淬火、回火、固溶时效等）、表面热处理（感应和火焰加热淬火、电接触淬火、电解液加热淬火、激光和电子束加热相变硬化、熔化凝固等）、化学热处理（渗碳、碳氮共渗、渗氮、氮碳共渗、硫氮共渗、氧氮共渗、渗硫、渗铝、渗锌、渗钛、渗铬、渗钒、金属元素复合渗等）、形变热处理（低温形变热处理、高温形变热处理、形变化学热处理）、等离子热处理、表面沉积技术、镀层复合热处理等。

尤其是近 10 年来，热处理技术飞速发展，主要表现在：可控气氛热处理、真空热处理、感应热处理等少或无氧化技术成为热处理技术发展主流；热处理工艺与设备研究开发并举，大大提高了热处理生产水平和产品质量；研究加热技术的同时，对冷却过程模拟，可控冷却技术的研究开发与应用也取得了长足发展；表面改性技术的研究与开发多姿多彩；计算机和 IT 技术使传统热处理技术现代化；热处理产业正由试验方式提高到定量化、智能化和精确控制的新水平；清洁、节能和环保型热处理技术备受重视，成为热处理行业可持续发展的方向。

根据近年来热处理工艺的改进及新技术的引入，出现很多成熟的新工艺和新方法，现列举出 600 余种，其中既有生产中成熟应用的工艺方法，又包括国内外正在试用或尚在研究而确有发展前途的新工艺方法，可供从事热处理工艺工作的科研人员、工程技术人员、操作人员以及大专院校师生参考。

在本书的编写过程中，得到了文九巴、汪洋教授等及有关专家和领导的关心和鼓励，在此表示衷心的感谢。然而，由于能力和水平有限，再加之时间仓促，书中难免会有不足之处，还希望各位读者批评指正。

马永杰
2008 年 1 月

目 录

第一章 整体热处理——退火与正火 ... 1

1. 完全退火	2
2. 亚共析钢钢锭的完全退火	2
3. 亚共析钢锻轧钢材的完全退火	3
4. 冷拉钢材材料坯的完全退火	4
5. 不完全退火	4
6. 过共析钢及莱氏体钢钢锭的不完全退火	5
7. 过共析钢锻轧钢材的不完全退火	5
8. 亚共析钢冷拉坯料的不完全退火	5
9. 均匀化退火 (扩散退火)	6
10. 低温退火	6
11. 钢锭的低温退火	7
12. 热锻轧钢材的低温退火	7
13. 中间退火 (软化退火)	8
14. 冷变形加工时的中间退火	8
15. 热锻轧钢材的中间退火	8
16. 再结晶退火	8
17. 低碳钢的再结晶退火	9
18. 不锈钢的再结晶退火	9
19. 去应力退火	10
20. 热锻轧材及工件的去应力退火	11
21. 冷变形钢材的去应力退火	11
22. 奥氏体不锈钢的去应力退火	11
23. 铸铁的去应力退火	12
24. 软磁材料的去应力退火	12
25. 非铁金属及耐热合金的去应力退火	13
26. 预防白点退火 (去氢退火) (消除白点退火)	13
27. 碳钢及低合金钢的去氢退火	13

28. 中合金钢的去氢退火	13
29. 高合金钢的去氢退火	14
30. 晶粒粗化退火	14
31. 等温退火	15
32. 球化退火	16
33. 低温球化退火	16
34. 一次球化退火	17
35. 等温球化退火	18
36. 往复球化退火	19
37. 正火球化退火	20
38. 高速钢快速球化退火	20
39. 钠燃烧无氧化光亮退火	21
40. 快速连续光亮退火	21
41. 盐浴退火	22
42. 装箱退火	23
43. 一般真空退火	23
44. 真空-保护气体退火	24
45. 局部退火	25
46. 两次处理快速退火	25
47. 高速钢的循环退火	26
48. 石墨钢的石墨化退火	28
49. 脱碳退火	28
50. 可锻化退火	28
51. 快速可锻化退火	30
52. 球墨铸铁的低温石墨化退火	30
53. 球墨铸铁的高温石墨化退火	30
54. 球墨铸铁的高-低温石墨化退火	31
55. 球状石墨化退火	31
56. 低温石墨化退火	32
57. 余热退火	33
58. 普通正火	33
59. 亚温正火	34
60. 等温正火	35
61. 水冷正火	35

62. 风冷正火	36	98. 循环加热淬火	64
63. 喷雾正火	36	99. 淬火-抛光-淬火 (Q-P-Q)	
64. 多次正火	36	处理	64
65. 球墨铸铁完全奥氏体化正火	36	100. 流态炉加热淬火	65
66. 球墨铸铁不完全奥氏体化		101. 石墨流态炉加热淬火	66
正火	37	102. 流态炉淬火冷却	67
67. 球墨铸铁快速正火	37	103. 脉冲加热淬火	67
68. 球墨铸铁的余热正火	38	104. 感应穿透加热淬火	68
第二章 整体热处理——淬火	39	105. 通电加热淬火	68
69. 完全淬火	39	106. 盐浴加热淬火	69
70. 不完全淬火	42	107. 盐浴静止加热淬火	69
71. 中碳钢的亚温淬火	44	108. 单液淬火	70
72. 低碳钢双相区淬火	46	109. 压缩空气淬火 (空淬及	
73. 低碳钢双相区二次淬火	46	风淬)	72
74. 灰铸铁的淬火	47	110. 动液淬火	73
75. 球墨铸铁的淬火	48	111. 喷液淬火	73
76. 高速钢部分淬火	48	112. 双液淬火 (双介质淬火)	74
77. 高速钢低温淬火	49	113. 大型锻模水-气混合物淬火	74
78. 余热淬火 (直接淬火)	49	114. 大锻件水-气混合物淬火	75
79. 二次 (重新) 加热淬火	50	115. 单槽双液淬火	75
80. 两次淬火	50	116. 三液淬火	76
81. 正火-淬火	51	117. 悬浮液淬火	76
82. 高温回火-淬火	51	118. 间断淬火	77
83. 预热淬火 (阶梯式加热淬火)		119. 磁场冷却淬火	77
.....	52	120. 超声波淬火	78
84. 延时淬火 (降温淬火、延迟		121. 浅冷淬火	78
淬火)	52	122. 超低温淬火 (液氮淬火)	79
85. 局部淬火	53	123. 冰冷处理	79
86. 薄层淬火	53	124. 液氮气体深冷处理	80
87. 短时加热淬火	53	125. 模具钢的深冷处理	81
88. “零”保温淬火	54	126. 高速钢刀具的深冷处理	81
89. 快速加热淬火	56	127. 马氏体分级淬火	83
90. 可控气氛加热淬火	57	128. 马氏体等温淬火	85
91. 氮基气氛洁净淬火	58	129. 等温分级淬火	86
92. 滴注式保护气氛光亮淬火	59	130. 贝氏体等温淬火	86
93. 涂层淬火	60	131. 灰铸铁的贝氏体等温淬火	88
94. 包装淬火	60	132. 球墨铸铁的贝氏体等温	
95. 硼酸防护光亮淬火	60	淬火	89
96. 真空淬火	60	133. 球墨铸铁亚温加热贝氏体等温	
97. 真空高压气体淬火	62	淬火	89
		134. 分级等温淬火	89

135. 二次贝氏体等温淬火	90	171. 调质球化	116
136. 珠光体等温淬火	91	172. 冷挤压用钢的调质球化	116
137. 预冷等温淬火	91	173. 高速钢的低高温回火	117
138. 预淬等温淬火	92	174. 修复回火	117
139. 微变形淬火	93	175. 带温回火	118
140. 无变形淬火	94	176. 振动回火	118
141. 碳化物微细化淬火	95	177. 通电加热回火	119
142. 碳化物微细化四步处理	96	178. 快速回火	119
143. 晶粒超细化淬火	96	179. 渗碳二次硬化处理	120
144. 晶粒超细化循环淬火	97	180. 多次回火	121
145. 晶粒超细化的高温形变 淬火	98	181. 淬回火	122
146. 晶粒超细化的室温形变 处理	98	182. 自回火	122
147. GCr15 钢双细化淬火	99	183. 感应回火	123
148. 低碳钢强烈淬火	99	184. 去氢回火	124
149. 中碳钢高温淬火	100	185. 去应力回火	124
150. 中碳钢过热淬火	101	186. 压力回火	124
151. 过共析钢高温淬火	102	187. 局部回火	125
152. 渗碳件四步处理法	103	188. 自然时效	125
153. 渗碳冷处理	103	189. 回归处理	126
154. 自回火淬火	104	190. 人工时效	126
155. 马氏体等温-马氏体分级淬火 复合处理	104	191. 分级时效	127
156. 反淬火	105	192. 分区时效	128
157. 预应力淬火	105	193. 两次时效	128
158. 修复淬火	106	194. 振动时效	129
159. 固溶化淬火(固溶处理)	106	195. 磁致伸缩消除刀具残余应力 处理	129
160. 水韧处理	107	196. 铸铁稳定化处理	129
161. 铸造余热水韧处理	107	197. 合金钢稳定化时效(残余奥氏体 稳定化处理)	130
162. 提高初始硬度的水韧	108	198. 奥氏体稳定化处理	131
163. 水韧-时效处理	108	199. 奥氏体调节处理	131
164. 细化晶粒水韧及时效处理	109		
第三章 整体热处理——回火与时效	110	第四章 表面淬火	132
165. 低温回火	110	200. 感应加热表面淬火	132
166. 中温回火	111	201. 高频加热表面淬火	133
167. 高温回火	112	202. 高频预正火淬火	135
168. 调质处理	113	203. 高频无氧化淬火	135
169. 盘条的调质处理	114	204. 渗碳感应表面淬火	136
170. 球墨铸铁的调质处理	115	205. 渗氮感应表面淬火	136
		206. 高频加热浴炉处理	137
		207. 中频加热表面淬火	137

208. 工频加热表面淬火	138	245. 超声波盐浴渗碳	160
209. 感应表面淬火时的加热方法	138	246. 高温盐浴渗碳	161
210. 喷液及浸液表面淬火	139	247. 盐浴电解渗碳	161
211. 埋油表面淬火	140	248. 高频加热液体渗碳	161
212. 埋水表面淬火	140	249. 液体放电渗碳	162
213. 大功率脉冲感应淬火	141	250. 铸铁浴渗碳	162
214. 超音频感应加热淬火	141	251. 直接通液体渗碳	162
215. 双频感应淬火	142	252. 气体渗碳	162
216. 混合加热表面淬火	142	253. 滴注式气体渗碳	163
217. 火焰加热表面淬火	143	254. 通气式气体渗碳	164
218. 电接触加热表面淬火	143	255. 分段气体渗碳	164
219. 电解液加热表面淬火	144	256. 高压气体渗碳	165
220. 盐浴加热表面淬火	145	257. 感应加热气体渗碳	166
221. 高速钢的激光加热表面淬火	146	258. 火焰渗碳	166
222. 结构钢的激光表面淬火	147	259. 局部渗碳	167
223. 有色金属的激光表面淬火	147	260. 不均匀奥氏体渗碳	167
224. 激光表面淬火代替局部渗碳	148	261. 碳化物弥散渗碳	168
225. 电子束表面淬火	148	262. 二重渗碳	169
226. 空气电子束重熔淬火	149	263. 真空渗碳	169
227. 电子束表面合金化	149	264. 一段式真空渗碳	170
228. 电火花表面强化及合金化	150	265. 脉冲式真空渗碳	171
229. 强白光源表面淬火	152	266. 摆动式真空渗碳	171
第五章 化学热处理	153	267. 真空离子渗碳	171
230. 渗碳	153	268. 高温离子渗碳	172
231. 固体渗碳	153	269. 流态炉渗碳	172
232. 分段固体渗碳	154	270. 流态炉高温渗碳	173
233. 无箱固体渗碳	155	271. 稀土催化渗碳	173
234. 固体气体渗碳	155	272. 稀土低温渗碳	174
235. 气体固体渗碳	156	273. 高含量渗碳	174
236. 粉末放电渗碳	156	274. 离子轰击过饱和渗碳	174
237. 膏剂渗碳	156	275. 过度渗碳	175
238. 高频加热膏剂渗碳	157	276. 等离子渗碳	176
239. 盐浴渗碳	157	277. 修复渗碳	176
240. 普通(含氰)盐浴渗碳	158	278. 深层渗碳	177
241. 低氰盐浴渗碳	158	279. 穿透渗碳	178
242. 原料无氰盐浴渗碳	158	280. 相变超塑性渗碳	178
243. 无毒盐浴渗碳	159	281. 中碳及高碳钢的渗碳	180
244. 通气盐浴渗碳	160	282. 高速钢的低温渗碳	180
		283. 渗碳后硼-稀土共渗复合处理	181
		284. 渗氮	182

285. 气体等温渗氮	184	共渗	202
286. 气体二段渗氮	185	326. 中温碳氮共渗	203
287. 气体三段渗氮	186	327. 通气式中温气体碳氮共渗	204
288. 短时渗氮	187	328. 滴注通气式中温气体碳氮 共渗	204
289. 不锈钢渗氮	187	329. 滴注式中温气体碳氮共渗	205
290. 铸铁渗氮	188	330. 分阶段式中温气体碳氮共渗 ...	206
291. 局部渗氮	188	331. 高含量(浓度)中温气体碳氮 共渗	206
292. 退氮处理	189	332. 真空中温碳氮共渗	207
293. 抗蚀渗氮	189	333. 中温液体碳氮共渗(盐浴 氰化)	207
294. 纯氮渗氮	189	334. 无毒盐浴碳氮共渗	208
295. 氮氮混合气体渗氮	190	335. 高频加热盐浴碳氮共渗	209
296. 液氮滴注渗氮	190	336. 高频加热液体碳氮共渗	209
297. 流态炉渗氮	190	337. 双浴液体碳氮共渗	209
298. 压力渗氮	190	338. 中温固体碳氮共渗	209
299. 包装渗氮	190	339. 中温膏剂碳氮共渗	209
300. 盐浴渗氮	191	340. 低中温碳氮共渗	211
301. 无毒盐浴渗氮	191	341. 低温碳氮共渗(软氮化)	212
302. 压力盐浴渗氮	192	342. 低温气体碳氮共渗	212
303. 渗氮亚温淬火复合处理	192	343. 氮基气氛低温碳氮共渗	213
304. 离子渗氮	192	344. 稀土低温碳氮共渗	214
305. 低温离子渗氮	192	345. 铸铁的低温气体碳氮共渗	214
306. 氮气预处理离子渗氮	193	346. 低温碳氮共渗后淬火复合 处理	215
307. 快速深层离子渗氮	194	347. 低温碳氮共渗渗碳复合处理	215
308. 热循环离子渗氮	195	348. 低温液体碳氮共渗	216
309. 离子束渗氮	195	349. 低温固体碳氮共渗	217
310. 真空渗氮	195	350. 低温无毒固体碳氮共渗	217
311. 离子渗氮及淬火双重处理	196	351. 快速低温固体碳氮共渗	218
312. 化学催化渗氮	197	352. 辉光离子低温碳氮共渗	219
313. 稀土催化渗氮	197	353. 加氧低温碳氮共渗	219
314. 钛催化渗氮	198	354. 真空加氧低温碳氮共渗	219
315. 电解气相催化渗氮	198	355. 低温短时碳氮共渗	219
316. 高频加热气体渗氮	200	356. 低温薄层碳氮共渗	220
317. 磁场中渗氮	200	357. 稀土离子低温碳氮共渗	220
318. 激光渗氮	200	358. 分级淬火-低温碳氮共渗	220
319. 激光预处理及渗氮	200	359. 低温碳氮共渗-重新加热 淬火	221
320. 碳氮共渗	200		
321. 高温分段气体碳氮共渗	201		
322. 高温厚层气体碳氮共渗	201		
323. 高频加热气体碳氮共渗	201		
324. 高频加热膏剂碳氮共渗	202		
325. 石墨粒子流态炉高温碳氮			

360. 中低温碳氮共渗复合处理	221	400. 离子硫氮碳共渗	248
361. 碳氮共渗-镍磷镀复合处理	222	401. 低温电解硫铝复合渗镀	249
362. 氧氮处理	223	402. 蒸汽处理	250
363. 渗硼	224	403. 渗氮蒸汽处理	250
364. 低温固体渗硼	225	404. 硫氮共渗蒸汽处理	251
365. 固体渗硼-等温淬火复合 处理	226	405. 氧化处理	251
366. 粉末渗硼	227	406. 氧氮共渗	251
367. 膏剂渗硼	228	407. 氧碳氮三元共渗	252
368. 辉光放电膏剂渗硼	228	408. 磷化	253
369. 深层膏剂渗硼	229	409. 粉末渗铝	253
370. 自保护膏剂渗硼	229	410. 低温粉末渗铝	254
371. 盐浴渗硼	230	411. 熔铝热浸渗铝	254
372. 盐浴电解渗硼	230	412. 高频感应加热渗铝	255
373. 铸铁渗硼	231	413. 气体渗铝	256
374. 气体渗硼	231	414. 电镀扩散渗铝	256
375. 辉光放电气体渗硼	232	415. 熔盐电解渗铝	257
376. 硼钴共渗	232	416. 直接通电加热粉末渗铝	257
377. 渗碳渗硼	233	417. 铝稀土共渗	258
378. 渗氮渗硼	233	418. 渗铬	258
379. 液体稀土钒硼共渗	234	419. 扩散渗铬	259
380. 膏剂硼铝共渗	235	420. 辉光离子渗铬	260
381. 超厚渗层硼铝共渗	235	421. 双层辉光离子渗铬	260
382. 硼钛共渗	236	422. 真空渗铬	261
383. 镀镍渗硼	236	423. 稀土硅镁-三氧化二铬-硼砂盐 浴渗铬	262
384. 硼碳氮三元共渗	237	424. 铬稀土共渗	262
385. 渗硼复合处理	237	425. 渗铬后渗碳或渗氮	263
386. 渗硼感应加热复合处理	238	426. 铬铝共渗	263
387. 感应加热渗硼	239	427. 铬硅共渗	263
388. 激光加热渗硼	240	428. 铸铁的固-气法硅铬共渗	263
389. 稀土渗硼	240	429. 铬铝硅三元共渗	264
390. 不锈钢硼氮共渗	241	430. 渗钛	264
391. 渗硫	242	431. 固体渗钛	265
392. 离子渗硫	243	432. 盐浴渗钛	265
393. 气相渗硫	243	433. 气体渗钛	265
394. 铸铁渗硫	244	434. 双层辉光离子渗钛	265
395. 硫氮共渗	245	435. 钛铝共渗	266
396. 离子硫氮共渗	246	436. 硼砂浴渗钒	266
397. 离子氧氮硫三元共渗	246	437. 中性盐浴渗钒	267
398. 低温硫氮碳三元共渗	247	438. 硼钒连续渗	268
399. 硫氮碳三元共渗	248	439. 铬钒共渗	269

440. 渗钒真空淬火	269	478. 马氏体及铁素体双相组织室温 形变强化	302
441. 渗硅	270	479. 过饱和固溶体形变时效	303
442. 熔盐电解渗硅	271	480. 多次形变时效	303
443. 离子渗硅	271	481. 形变分级时效	303
444. 硼硅共渗	272	482. 表面冷形变强化	304
445. 激光硼硅共渗	273	483. 表面高温形变淬火	305
446. 钼合金渗硅-离子渗氮复合处理	273	484. 利用形变强化效果遗传性的 形变热处理	305
447. 渗锌	273	485. 预先形变热处理	307
448. 渗锰	274	486. 多边化强化处理	309
449. 渗锡	274	487. 复合形变淬火	310
450. 离子钨钼共渗	274	488. 超塑形变处理	311
451. 铸渗合金	275	489. 9SiCr 钢超塑形变处理	312
452. 热循环化学热处理	275	490. 低温形变淬火与马氏体形变 时效相结合的形变热处理	313
453. 离子注入	276	491. 高温形变淬火与马氏体形变 时效相结合的形变热处理	313
454. 氮离子注入	276	492. 奥氏体钢的热形变处理	313
455. 硼砂浴覆层 (TD) 法	278	493. 冷形变渗碳	314
第六章 形变热处理	279	494. 冷形变渗氮	314
456. 高温形变淬火	279	495. 冷形变碳氮共渗	315
457. 锻热淬火	282	496. 冷形变渗硼	316
458. 锻热预冷淬火	284	497. 形变渗钛	316
459. 辊锻余热淬火	284	498. 低温形变淬火渗硫	317
460. 锻后余热浅冷淬火自回火	285	499. 锻热渗碳淬火	317
461. 轧热淬火	286	500. 锻热淬火渗氮	318
462. 轧后余热控冷处理	286	501. 渗碳表面形变时效	318
463. 螺纹钢钢筋轧后余热处理	287	502. 高温形变淬火低温碳氮共渗	318
464. 挤压余热淬火	288	503. 预冷形变表面形变热处理	319
465. 高温形变正火	289	504. 表面形变时效	320
466. 高温形变等温淬火	290	505. 化学热处理后的冷表面形变强化	320
467. 亚温形变淬火	290	506. 化学热处理后表面高温形变淬火	321
468. 低温形变淬火	291	507. 多边化处理后的化学热处理	322
469. 珠光体区等温形变淬火	295	508. 表面纳米化后的化学热处理	322
470. 低温形变等温淬火	297	509. 晶粒超细化处理	322
471. 连续冷却形变处理	297		
472. 珠光体温形变	297		
473. 珠光体冷形变	298		
474. 诱发马氏体的形变时效	298		
475. 马氏体室温形变时效	299		
476. 回火马氏体室温形变时效	300		
477. 贝氏体室温形变时效	301		

第七章 非铁金属的热处理 324

510. 铝合金的形变热处理	324
511. 铜合金的形变热处理	324
512. 变形铝合金的去应力退火	324
513. 变形铝合金的再结晶退火	325
514. 变形铝合金的均匀化退火	326
515. 变形铝合金的时效	326
516. 变形铝合金的形变热处理	327
517. 变形铝合金的稳定化处理	327
518. 铸造铝合金的退火	327
519. 铸造铝合金的固溶处理及 时效	328
520. 工业纯铜的热处理	328
521. 黄铜的热处理	329
522. 锡青铜的热处理	330
523. 铝青铜的热处理	330
524. 铍青铜的固溶处理	331
525. 铍青铜的时效处理	331
526. 铍青铜的去应力退火处理	332
527. 弹性青铜的热处理	332
528. 硅青铜的热处理	333
529. 铬青铜、锆青铜的热处理	333
530. 白铜的热处理	333
531. 钛合金的去应力退火	334
532. 钛合金的完全退火	335
533. 钛合金的等温退火和双重 退火	336
534. 钛合金的固溶处理	336
535. 钛合金的时效	337
536. 钛合金的形变热处理	337
537. 镁合金的退火处理	337
538. 镁合金的固溶淬火处理	338
539. 镁合金的时效处理	338
540. 镁合金的固溶淬火及人工时效 处理	338
541. 镍和镍合金的热处理	339
542. 钨合金的热处理	340
543. 钼合金的热处理	340
544. 直生式渗碳	341
545. 高温渗碳	341

546. 稀土催渗化学热处理	342
547. 高压气淬真空热处理	342
548. 低压渗碳技术	342
549. 燃气真空热处理技术	343
550. 铁基粉末冶金件的淬火与回火 处理	344
551. 铁基粉末冶金材料的时效处理	345
552. 铁基粉末冶金材料的渗碳和 碳氮共渗	345
553. 铁基粉末冶金材料的气体渗氮 和气体氮碳共渗	347
554. 铁基粉末冶金材料的蒸汽处理 (氧化处理)	348
555. 铁基粉末冶金材料的渗硫 处理	349
556. 铁基粉末冶金材料的渗锌 处理	349
557. 铁基粉末冶金材料的渗铬 处理	350
558. 铁基粉末冶金材料的渗硼 处理	350
559. 钢结硬质合金的退火	350
560. 钢结硬质合金的淬火	351
561. 钢结硬质合金的回火	351
562. 钢结硬质合金的时效硬化	352
563. 钢结硬质合金的沉积硬化化合物层	352
564. 粉末高速钢的热处理	352
565. 硬质合金的退火	353
566. 硬质合金的淬火	353
567. 硬质合金的时效硬化	353
568. 电工用纯铁的人工时效	354
569. 电工用纯铁的高温净化退火	354
570. 电工用纯铁的去应力退火	354
571. 热轧硅钢片的热处理	355
572. 冷轧无取向硅钢片的热处理	356
573. 冷轧取向硅钢片的热处理	356
574. 铁镍合金的中间退火	357

575. 铁镍合金的高温退火	357	590. 变形镁合金基复合材料强化热 处理	373
576. 铁镍合金的磁场退火	358	591. 钛合金的热处理	374
577. 低膨胀合金（因瓦合金）坯料 的热加工和热处理	358	592. 高温化学气相沉积技术（简称 HT-CVD）	375
578. 低膨胀合金（因瓦合金）的 成品热处理	359	593. 中温化学气相沉积（MT-CVD） 技术	375
579. 低温用因瓦合金的热处理	359	594. 低温化学气相沉积技术	376
580. 热双金属的热处理	359	595. 活性反应离子镀技术	376
581. 高弹性合金的淬火、回火处理	360	596. 空心阴极离子镀技术 （HCD）	377
582. 高弹性合金的形变热处理	362	597. 热丝阴极离子镀技术	378
583. 镍基高弹性合金的热处理	364	598. 电弧离子镀技术	379
584. 钴基高弹性合金的热处理	365	599. 磁控溅射技术	379
585. 铜基高弹性合金的热处理	366	600. 化学气相沉积复合超硬涂层 技术	380
586. 恒弹性合金的热处理	368	601. 物理气相沉积复合超硬涂层 技术	380
587. TiNi 合金单程形状记忆热 处理	370		
588. TiNi 合金双程形状记忆热 处理	371		
589. 铸造镁合金基复合材料强化热 处理	372		

参考文献	381
------------	-----

第一章

整体热处理——退火与正火

将偏离平衡状态的金属加热至较高温度，保持一定时间，然后缓慢冷却，以得到接近于平衡状态组织的各种工艺方法，统称为退火。退火的目的在于均匀化学成分、改善力学性能及工艺性能、消除或减小内应力，并为零件最终热处理准备合适的内部组织。

钢的退火工艺方法很多，按加热温度可分为两大类：①临界温度（ A_{c1} 或 A_{c3} ）以上的退火（相变重结晶退火），包括完全退火、不完全退火、晶粒粗化退火、均匀化退火和球化退火等；②临界温度以下的退火，包括软化退火、再结晶退火及去应力退火等。按冷却方式可分为连续冷却退火、等温退火及临界区快速冷却而后缓慢冷却的退火等。按加热冷却的方法及所用设备可分为加热炉退火、盐浴退火、火焰退火、感应退火、磁场退火、装箱退火、包装退火、真空退火等。按工件表面状态可分为黑皮退火及光亮退火等。

加热温度及冷却速度是决定钢件退火的最重要的因素。各种退火工艺所用温度与 Fe-C 状态图的关系如图 1-1 所示。临界温度以上的各种退火工艺的质量取决于奥氏体的形成与均匀化程度，以及随后缓慢冷却时奥氏体的分解。冷却速度应严格予以控制，以期得到预定的析出相（铁素体、碳化物）的数量、分布与珠光体的组织形态、粗细程度及与此相应的各种性能。低于临界温度的各种退火工艺，由于不包含相变重结晶过程，其质量的优劣主要取决于加热温度的均匀性及保温时间，在工艺参数控制方面不需十分严格。

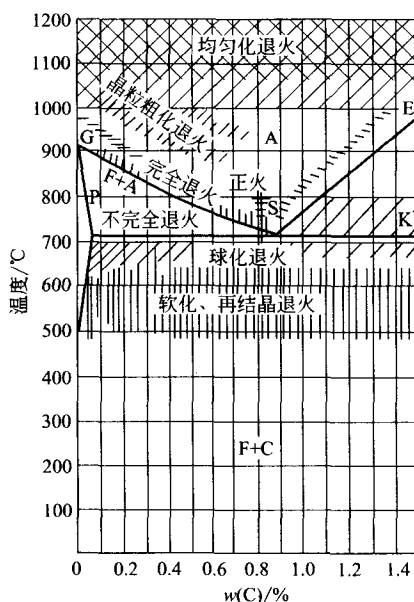


图 1-1 退火与正火加热温度区域示意图

铸铁件的退火工艺主要包括脱碳退火、各种石墨化退火及去应力退火等。有色金属工件主要有再结晶退火、去应力退火及铸态的扩散退火等。

正火与退火相似，区别在于前者加热温度较高、冷速较快，所得组织较大的偏离平衡状态等。生产中退火与正火工艺一般多安排在最终热处理及机械加工之前，所以又称为预备热处理。

1. 完全退火

将亚共析钢加热到 A_{c3} 以上的温度，并在此保温足够时间，完成奥氏体化并使成分基本均匀之后缓慢冷却（控速冷却、炉冷、埋于砂或耐火土粉中）至 600°C 左右出炉空冷，以得到铁素体及珠光体组织的热处理工艺，称为完全退火（通常简称退火），工艺曲线如图 1-2 所示。其目的是细化晶粒、消除应力、使钢软化，以便于随后的变形加工或切削加工，并为成品工件的淬火准备适宜的金相组织。这一退火工艺可应用于钢锭、锻轧及冷拉伸钢材的热处理。因此，完全退火是结构件最常用的预备热处理工艺之一。

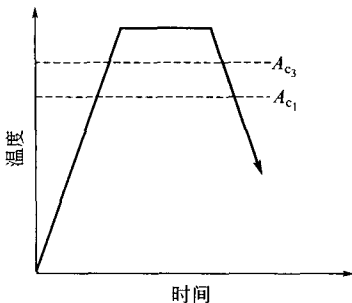


图 1-2 钢的完全退火工艺示意图

2. 亚共析钢钢锭的完全退火

$w(\text{C}) < 0.3\%$ 或尺寸较小的钢锭通常不需要进行退火（奥氏体亚共析钢锭一般也不需退火。铁素体钢钢锭有时需退火，以消除应力）。 $w(\text{C}) > 0.3\%$ 、淬透性较好或尺寸较大的碳钢及合金钢钢锭，均需进行完全退火，以消除铸造应力、改善铸态组织、降低表面硬度，及便于存放和表面清理。浇注后如不及时退火，钢锭会因内应力而自行开裂，甚至炸裂（如高铬钢、高速钢等钢锭应在浇注后 48h 内进行退火以保证安全）。钢锭表面的各种缺陷应在锻轧前清除，否则会在加工中扩大，甚至形成开裂而使钢锭报废，这对含高铬、铝、钛等的钢锭尤为重要。部分亚共析钢钢锭完全退火温度见表 1-1。

表 1-1 部分亚共析钢钢锭完全退火温度

钢 种	钢 号	温度/ $^{\circ}\text{C}$
结构钢	40、40Mn2、40Cr、35CrMo、38CrSi、38CrMoAl、30CrMnSi	840~870
弹簧钢	65、60Mn、55SiMn、60Si2Mn、50CrVA	840~870
热模钢	5CrNiMo、5CrMnMo	810~850

上述各种钢钢锭完全退火时的加热速度，常取 $100 \sim 200^{\circ}\text{C}/\text{h}$ ；保温时间 $t = 8.5 + Q/4$

(h), 式中, Q 为装炉量, t ; 冷却速度常取 $50^{\circ}\text{C}/\text{h}$; 出炉温度为 600°C 以下。

3. 亚共析钢锻轧钢材的完全退火

中碳钢及中碳合金结构钢热锻轧后的组织大多为较粗的珠光体及不同程度的网状铁素体, 晶粒大小不均, 硬度也常偏高, 不易切削和冷变形加工, 故需要进行完全退火来加以改善; 同时也为成品工件的调质处理做好组织准备。

亚共析钢锻轧钢材完全退火温度常取 $A_{c_3} + (20 \sim 30^{\circ}\text{C})$ 。当钢中含有强碳化物形成元素 (Mo 、 W 、 V 、 Ti 等) 时, 可适当提高退火温度, 以使碳化物较快溶入奥氏体中; 而当钢中含有易使晶粒粗化的元素 (如 Mn) 时, 则应适当降低退火温度。常用亚共析钢完全退火温度如表 1-2 所示。

表 1-2 常用亚共析钢完全退火工艺规范

钢 号	临界点/ $^{\circ}\text{C}$			退 火		
	A_{c_1}	A_{c_3}	A_{r_1}	加热温度/ $^{\circ}\text{C}$	冷却	HBS
35	724	802	680	850~880	炉冷	≤ 187
45	724	780	682	800~840	炉冷	≤ 197
45Mn2	715	770	640	810~840	炉冷	≤ 217
40Cr	743	782	693	830~850	炉冷	≤ 207
35CrMo	755	800	695	830~850	炉冷	≤ 229
40MnB	730	780	650	820~840	炉冷	≤ 207
40CrNi	731	769	660	820~850	炉冷 ($< 600^{\circ}\text{C}$)	≤ 250
40CrNiMoA	732	744	—	840~880	炉冷	≤ 229
65Mn	726	765	689	780~840	炉冷	≤ 229
60Si2Mn	755	810	700	—	—	—
50CrV	752	788	688	—	—	—
20	735	855	680	—	—	—
20Cr	766	838	702	860~890	炉冷	≤ 179
20CrMnTi	740	825	650	—	—	—
20CrMnMo	710	830	620	850~870	炉冷	≤ 217
38CrMoAlA	800	940	730	840~870	炉冷	≤ 229

与钢锭相比, 锻轧钢材截面积较小, 而质地较致密, 导热性较好, 组织较均匀, 内应力也较小, 因此, 对退火时的加热速度一般不加限制, 但是, 由于加热炉体积及供热能力与装炉量的制约关系, 通常使加热速度限制在下列范围:

$$5 \sim 10t \text{——} 150 \sim 200^{\circ}\text{C}/\text{h}$$

$$15 \sim 30t \text{——} 100 \sim 120^{\circ}\text{C}/\text{h}$$

$$\geq 50t \text{——} 50 \sim 75^{\circ}\text{C}/\text{h}$$

钢材退火加热时的保温时间可按 $t = (3 \sim 4) + (0.4 \sim 0.5)Q$ 计算, 式中, t 为保温时间, h ; Q 为装料量, t 。保温后的冷却速度是控制退火质量的重要因素。同一钢种, 冷速较小时将得到块状铁素体, 珠光体片层较粗, 所占比例较少; 冷速较大时, 将得到网状铁素体, 珠

光体片层较细，所占比例较多。为达到细化组织、消除应力、改善加工性能的目的，通常需使过冷奥氏体在 $650\sim 700^{\circ}\text{C}$ 间分解。分解温度高于 700°C 时，铁素体晶粒过大，珠光体片层过粗，硬度偏低，不利于切削加工。分解温度低于 650°C 时，珠光体片层过细，对一些合金钢种甚至还会发生贝氏体转变，以致硬度过高，内应力也较大，造成切削及冷变形加工困难。为了保证完全退火的质量，碳钢的冷却速度最好在 $200^{\circ}\text{C}/\text{h}$ 上下，低合金钢应不大于 $100^{\circ}\text{C}/\text{h}$ ，高合金钢应不大于 $50^{\circ}\text{C}/\text{h}$ 。但在实际生产中，按上述冷却速度均匀降温不易达到。对装炉量大于 5t 的加热炉，即使钢材随炉断电冷却，也难以得到 $>50^{\circ}\text{C}/\text{h}$ ，因而常采用开启炉门冷却，甚至空冷（正火）的办法来获得低碳及低碳合金钢所需的加工性能。退火时冷却到 $650\sim 600^{\circ}\text{C}$ 以下时，相变已经完成，可以出炉空冷。

4. 冷拉钢材坯的完全退火

一般热轧钢材由于终轧温度较高，轧后冷却速度不一，组织性能不均，内应力较大，硬度偏高，冷拉时表面易产生拉伤，模具磨损也较大。此外坯料端部需加热锻尖，组织发生变化，硬度及内应力也偏高，冷拉时易折断。为克服上述缺点，冷拉伸变形前大部分热轧坯料需进行退火（或正火），使硬度保持在 $207\sim 255\text{HBS}$ 。中碳钢、合金结构钢、弹簧钢及易切钢（如 40 、 40Cr 、 35SiMn 、 30CrMnSi 、 60Si2Mn 、 50CrVA 、 Y20 等）冷拉坯料常需进行完全退火。退火加热温度为 $A_{c_3} + (20\sim 30^{\circ}\text{C})$ ，加热速度 $100\sim 120^{\circ}\text{C}/\text{h}$ ，保温时间每吨装炉量不超过 1h ，随炉冷却至 600°C 出炉空冷。高合金钢及尺寸较大的锻坯则取 $20\sim 50^{\circ}\text{C}/\text{h}$ 的冷速。马氏体不锈钢（ 1Cr13Ni2 、 2Cr13 、 Cr17Mo 等）则常取 $15\sim 20^{\circ}\text{C}/\text{h}$ 的冷速。有时为了清除坯料上的氧化皮，炉冷后浸入水中，但易造成内应力。含硅弹簧钢退火时易于石墨化，必要时可采用正火及回火，以代替完全退火。

5. 不完全退火

不完全退火的工艺曲线如图 1-3 所示，即加热温度在 A_{c_1} 与 A_{c_3} （或 A_{c_m} ）之间，加热到温后短时保温，之后缓慢或控速冷却，以得到铁素体和珠光体组织。加热时珠光体转变为奥氏体，而过剩相（铁素体或碳化物）大部分保持不变。不完全退火的目的与完全退火相似，都是通过相变重结晶来细化晶粒，改善组织，去除应力，改善切削性能；不完全退火由于重结晶不完全而细化晶粒的程度较差，但却能节约工艺时间，降低费用，提高生产率。

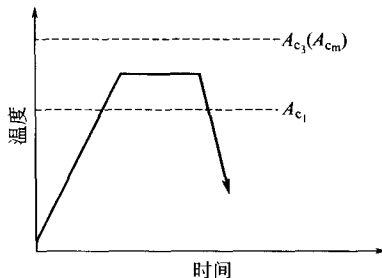


图 1-3 钢的不完全退火工艺示意图