

实用热处理

工艺守则

支道光 主编

SHIYONG RECHULI GONGYI SHOUZE

- 以工艺流程设计为主线
- 以最新标准资料为依据
- 内容系统全面实用性强



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



013042339

TG156
72

实用热处理工艺守则

支道光 主编



机械工业出版社



北航

C1651192

TG156
72

01304338

本书是一本系统介绍热处理工艺守则的实用技术图书。其主要内容包括：钢的退火与正火工艺守则、钢的淬火与回火工艺守则、钢的感应淬火与回火工艺守则、钢的火焰淬火与回火工艺守则、钢的渗碳淬火与回火工艺守则、钢的渗氮工艺守则、钢的碳氮共渗淬火与回火工艺守则、钢的氮碳共渗工艺守则、钢以渗氮为主的共渗工艺守则、钢铁的渗非金属工艺守则、钢铁及其他合金的渗金属工艺守则、钢的其他多元共渗及复合渗工艺守则、钢铁的高能束表面淬火工艺守则、钢的其他热处理工艺守则、铸铁热处理工艺守则、非铁金属材料热处理工艺守则。本书采用了最新标准，内容系统全面，具有极强的实用性。

本书可供热处理工程技术人员、工人阅读使用，也可供相关专业在校师生及研究人员参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

实用热处理工艺守则/支道光主编. —北京：机械工业出版社，
2013. 4

ISBN 978 - 7 - 111 - 41871 - 9

I. ①实… II. ①支… III. ①热处理 - 生产工艺
IV. ①TG156

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 053722 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 李建秀

版式设计：霍永明 责任校对：李锦莉

封面设计：陈 沛 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 · 22 印张 · 454 千字

0 001—3 000 册

标准书号：ISBN 978 - 7 - 111 - 41871 - 9

定价：48.00 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

网络服务

社服务中心：(010)88361066

教材网：<http://www.cmpedu.com>

销售一部：(010)68326294

机工官网：<http://www.cmpbook.com>

销售二部：(010)88379649

机工官博：<http://weibo.com/cmp1952>

读者购书热线：(010)88379203

封面无防伪标均为盗版

前 言

工艺是工作的技艺。在现代机械制造业里,良好、合理的制造工艺,对促进产品质量、数量的提高,安全生产、绿色环保都有着极为重要的意义。正确执行工艺,已是制造业的共识,并早已成为企业的内部法律。

工艺涉及的文件主要有工艺卡、工艺规程、工艺守则以及各种明细表等。其中,工艺守则不仅作为制造工序的工作程序和方法的叙述,也是从业人员学习必读的技术文件。

热处理作为机械产品发挥内在性能潜力、改善和提高性能的重要手段,已日益显现其重要性。工艺守则不仅在现代化的大企业有着广泛的应用,而且随着市场经济的发展,一些中、小企业由于技术较为落后,也急需一些符合他们需要的工艺守则,以帮助他们提高技术水平,促进生产的发展。

作者数十年在企业长期从事工艺、施工工作,深感工艺对企业发展的重要性。一些符合企业实际状况,并有较高技术含量的工艺,都是深受欢迎的。但是,随着我国社会主义市场经济的持续发展,对工艺质量的要求日益提高,一些新型工艺以及涉及新材料的新工艺均迅速增加。而且我国的热处理标准化也取得了极大的进展,其数量及质量在国际上已名列前茅。标准是规矩,俗话说没有规矩不成方圆。如何将热处理标准与热处理工艺密切结合起来,特别是实用、合理的工艺守则的编写应是当务之急。

纵观国内现状,这方面工作的开展相对较为闭塞,尚不尽如人意,在市场上仍鲜见较完整实用的工艺守则。作者编写本书的初衷,就是希望通过工艺守则的编写,起一个抛砖引玉的作用,将生产中常用的一些热处理工序,按工作程序,即从准备工作开始→装炉→工艺规范(参数)→后续工序→质量检验,编写成工艺守则。编写中将最新的热处理标准尽量结合到工艺中去。

本书除可供企业中从事热处理的工程技术人员、工人阅读外,也可供高校、高职、中专等学校师生参考。

本书在编写过程中,得到全国热处理标委会贾洪艳研究员级高工的大力支持,在此表示衷心的感谢!

本书由支道光任主编,参加本书编写的人员还有梁轩、支玲玲、王淑琴、方波、梁永光、梁伟钢、王军、郝飞舟。

限于作者水平。书中错误难免,恳请读者批评指正。

编 者

目 录

前言

第 1 章 钢的退火与正火工艺守则	1
1.1 钢的退火工艺守则	1
1.2 钢的正火工艺守则	25
第 2 章 钢的淬火与回火工艺守则	31
2.1 钢的淬火工艺守则	31
2.2 钢的等温淬火工艺守则	46
2.3 钢的分级淬火工艺守则	50
2.4 钢的两相区加热淬火工艺守则	52
2.5 钢的回火工艺守则	55
第 3 章 钢的感应淬火与回火工艺守则	68
3.1 高频感应淬火工艺守则	68
3.2 中频感应淬火工艺守则	81
3.3 工频感应淬火工艺守则	87
3.4 高频脉冲感应淬火工艺守则	91
3.5 回火工艺守则	94
第 4 章 钢的火焰淬火与回火工艺守则	98
4.1 准备工作	98
4.2 工艺规范	101
4.3 操作注意事项	103
4.4 后续工序	104
4.5 质量检查	104
4.6 喷嘴与水嘴设计的有关资料	105
第 5 章 钢的渗碳淬火与回火工艺守则	108
5.1 固体渗碳淬火与回火工艺守则	108
5.2 盐浴(液体)渗碳淬火与回火工艺守则	114
5.3 气体渗碳淬火与回火工艺守则	118
5.4 真空渗碳淬火与回火工艺守则	131
5.5 离子渗碳淬火与回火工艺守则	137
第 6 章 钢的渗氮工艺守则	141
6.1 气体渗氮工艺守则	141
6.2 离子渗氮工艺守则	156
第 7 章 钢的碳氮共渗淬火与回火工艺守则	164

7.1 液体碳氮共渗淬火与回火工艺守则	164
7.2 气体碳氮共渗淬火与回火工艺守则	168
7.3 离子碳氮共渗淬火与回火工艺守则	172
第8章 钢的氮碳共渗工艺守则	174
8.1 液体(盐浴)氮碳共渗工艺守则	174
8.2 气体氮碳共渗工艺守则	185
8.3 离子氮碳共渗工艺守则	190
第9章 钢以渗氮为主的共渗工艺守则	194
9.1 硫氮共渗工艺守则	194
9.2 硫氮碳共渗工艺守则	197
9.3 氧氮共渗工艺守则	203
第10章 钢铁的渗非金属工艺守则	207
10.1 钢铁的渗硫工艺守则	207
10.2 钢铁的渗硅工艺守则	211
10.3 钢铁的渗硼工艺守则	213
第11章 钢铁及其他合金的渗金属工艺守则	225
11.1 渗铝工艺守则	225
11.2 渗锌工艺守则	233
11.3 渗铬、渗钒、渗铌、渗钛工艺守则	237
第12章 钢的其他多元共渗及复合渗工艺守则	245
12.1 准备工作	245
12.2 工艺规范	245
12.3 质量检验	248
第13章 钢铁的高能束表面淬火工艺守则	249
13.1 钢铁件激光表面淬火工艺守则	249
13.2 钢铁件电子束淬火工艺守则	257
第14章 钢的其他热处理工艺守则	261
14.1 钢的冷处理工艺守则	261
14.2 钢的固溶处理(含水韧处理)工艺守则	265
14.3 钢的稳定化处理工艺守则	267
第15章 铸铁热处理工艺守则	269
15.1 铸铁退火和正火工艺守则	270
15.2 铸铁淬火和回火工艺守则	279
15.3 铸铁表面热处理工艺守则	284
15.4 铸铁导轨表面淬火工艺守则	286
第16章 非铁金属材料热处理工艺守则	295
16.1 铜及铜合金热处理工艺守则	295
16.2 铝及铝合金热处理工艺守则	304
16.3 镁及镁合金热处理工艺守则	318

16.4 钛及钛合金热处理工艺守则	324
附录	332
附录 A 常用热处理工艺涉及的国家标准及行业标准	332
附录 B 洛氏、布氏、维氏、努氏硬度换算表	334
附录 C 常见热处理缺陷及对策	335
参考文献	346

第1章 钢的退火与正火工艺守则

退火（工艺代号 511）是将工件加热到适当温度，保持一定时间，然后缓慢冷却的热处理工艺。常用的退火工艺有均匀化退火、预防白点退火、完全退火、不完全退火、等温退火、球化退火、再结晶退火、去应力退火、稳定化退火等。

正火（工艺代号 512）是将工件加热奥氏体化后在空气中冷却的热处理工艺。常用的正火工艺有常规正火和高温正火两类。

应用退火与正火工艺的主要目的是为了消除冶金及冷热加工过程中产生的组织与性能缺陷，并为以后的机械加工及热处理准备良好的组织状态，因而，常作为预备热处理安排在零件的加工过程中。对性能要求不高的钢件，正火也可作为最终热处理使用。

1.1 钢的退火工艺守则

1.1.1 均匀化退火（工艺代号 511-H）

以减少工件化学成分和组织的不均匀程度为主要目的，将其加热到高温并长时间保温，然后缓慢冷却的退火称均匀化退火。主要用于减少中碳合金钢以及高合金钢铸锭、铸件或锻轧件的化学成分偏析和组织的不均匀性，使之均匀化。均匀化退火也常称为扩散退火。

1. 准备工作

做好准备工作是正确实施退火工艺，确保处理质量的重要环节。在实施退火前，应该核实如下项目并做好准备工作。

（1）工件

1) 工件的退火技术要求应表达正确、清楚。操作者在退火操作时，必须详细了解这些技术要求。

2) 工件的原始加工状态（铸、锻轧等）应与设计、工艺文件所表明的一致。

3) 工件的几何形状、尺寸大小、加工余量应符合工艺规定，装炉前应进行核查。

4) 按设计图样及有关标准规定，对工件的钢号或化学成分采用火花检验或用其他方法进行校核。

5) 工件的表面不允许存在裂纹、影响最终形状尺寸的伤痕和氧化皮等缺陷。

（2）设备

1) 加热设备主要是箱式、井式或台车式炉(燃煤、燃油、燃气)等。由于加热温度较高,为了不影响加热炉寿命,不推荐使用电阻炉。

2) 在正常装炉量情况下,炉内有效加热区的温度允许偏差应调节控制在 $\pm 20^{\circ}\text{C}$ 范围内。有效加热区的测定按国标 GB/T 9452—2003 进行。每年至少测定一次。

3) 使用燃料炉时,在炉子设计时应保证火焰不得和工件接触。

4) 工件加热后,在随炉冷却过程中,应能保证各部位的冷却速度均匀一致。

(3) 测温仪表及温控装置

1) 加热设备应配有温度测定及控制装置。每个加热区均应配有温度与时间关系的自动记录装置。

2) 应选用精度不低于 0.5 级的温度指示仪表。热电温度指示仪表必须经校正合格后方能使用。其指示仪表上的温度指示综合误差不得超过设定温度的 $\pm 1.0\%$ 。

(4) 工装夹具

1) 按工艺要求准备好工装夹具。

2) 合适的工装夹具应有利于工件的装炉、出炉及在炉中的摆放,并加热均匀。

2. 装炉

1) 检查设备及仪表是否正常,并事先将炉膛清理干净。

2) 工件入炉必须放置在预先确定的有效加热区内。

3) 装炉量、装炉方式及堆放形式应保证工件均匀加热和冷却,应以不致造成对工件损伤和产生缺陷为原则,且应尽可能码放整齐。

4) 易畸变的工件在装炉、出炉时要轻放、轻取。

5) 工艺要求不同或壁厚相差悬殊的工件不宜放在同一炉内处理。

3. 工艺规范

(1) 工艺要点 实施本工艺,控制好加热温度和保温时间是重点。此外,为使钢件经均匀化退火后获得良好的组织和性能,还取决于钢的纯度和偏析状况,只有在钢锭脱模后,经过长时间的均热和良好的轧制、锻造,才能取得满意的效果。

(2) 加热温度 较高的加热温度有利于提高扩散速度。加热温度为 $A_{c3} + (150 \sim 200)^{\circ}\text{C}$ (低于固相线 100°C 左右)。

通常,碳素钢铸件: $950 \sim 1000^{\circ}\text{C}$; 低合金钢铸件: $1000 \sim 1050^{\circ}\text{C}$; 高合金钢铸件: $1050 \sim 1100^{\circ}\text{C}$; 高合金钢钢锭: $1100 \sim 1250^{\circ}\text{C}$ 。

(3) 加热速度 通常应根据钢的化学成分、工件形状尺寸、炉子能率、装炉量大小及装炉方式等确定。较高的加热速度有利于提高生产效率。但对于高合金钢和大型铸锻件,较高的加热速度易造成工件内外温差过大,增大内应力,易产生较大的畸变、开裂倾向。

通常,碳素钢及低合金钢铸、锻件加热速度控制在 $100 \sim 200^{\circ}\text{C}/\text{h}$ 。

中、高合金钢铸、锻件加热到 $600 \sim 700^{\circ}\text{C}$ 以下温度时,加热速度以 $30 \sim 70^{\circ}\text{C}/\text{h}$ 为宜;加热到 $600 \sim 700^{\circ}\text{C}$ 以上温度时,加热速度可略提高到 $80 \sim 100^{\circ}\text{C}/\text{h}$ 。

(4) 加热方式 高碳高合金钢铸锭及铸件或形状复杂、截面大的工件, 通常采用预热—加热的方式; 或采用低温入炉, 随炉升温的加热方式。对于形状复杂或截面大的工件, 随炉升温过程中, 可在 500 ~ 550℃ 等温一段时间后, 再继续升到退火温度。中、小工件也可采用在工作温度装炉加热的方式。

(5) 加热介质 根据工件的材质、技术要求及加工余量等的不同, 可在空气、保护气氛等加热介质中加热。

(6) 保温时间 取决于钢种、装炉量及装炉方式。一般可参照下列经验公式:
当铸锻件尺寸 $\geq \phi 100\text{mm}$ 时, 保温时间 $\tau(\text{h})$ 按下式计算:

$$\tau = 6 + 0.25Q$$

式中 Q ——工件装炉量 (t)。

当铸锻件尺寸 $\leq \phi 100\text{mm}$ 时, 保温时间 $\tau(\text{h})$ 按下式计算:

$$\tau = 4 + 0.25Q$$

式中 Q ——工件装炉量 (t)。

通常保温时间为 10 ~ 20h 或更长。

(7) 冷却速度 各种钢件在炉内的冷却速度:

碳素钢为 100 ~ 200℃/h;

合金钢为 50 ~ 100℃/h;

高合金钢为 20 ~ 60℃/h。

炉冷到 350℃ 左右出炉空冷。

4. 操作注意事项

1) 使用电阻炉时, 装炉后应检查工件与电热元件确无接触方可送电升温。

2) 在加热过程中, 不得随意打开炉门。

5. 后续工序

1) 为了消除钢铸锻件均匀化退火后因晶粒粗大而造成的力学性能下降, 在随后应视钢种不同进行完全退火或正火, 其工艺可参见本章 1.1.3 节。

2) 退火后对于有严重氧化皮的工件, 应安排清理工序 (例如喷砂、喷丸等)。

6. 质量检验

(1) 外观 工件表面不得有裂纹、影响最终尺寸的伤痕及氧化皮等缺陷。

(2) 金相组织

1) 应得到符合工艺要求的正常组织, 可按 GB/T 13298—1991《金属显微组织检验方法》进行。

2) 经后续热处理 (完全退火、正火) 后晶粒度为 4 ~ 8 级。晶粒度按 GB/T 6394—2002《金属平均晶粒度测定法》的规定进行检测。

3) 表面氧化脱碳层应不超过其加工余量 (直径或厚度) 的 1/3。表面脱碳层检验按 GB/T 224—2008《钢的脱碳层深度测定法》进行。

(3) 硬度 对于铸锻件经后续热处理完全退火或正火后应进行表面硬度检验。

硬度检验可采用布氏硬度试验法,按 GB/T 231.1—2009《金属材料 布氏硬度试验 第1部分:试验方法》进行。表面硬度的偏差范围不应超出 GB/T 16923—2008《钢件的正火与退火》标准中表5的规定。

硬度的测定部位按工艺规定确定。

(4) 畸变 对于有畸变要求的铸锻件,其热处理后的畸变量应符合工艺规定的限值。

1.1.2 预防白点退火

为防止工件在热变形加工后的冷却过程中因氢呈气态析出而形成发裂(白点),在形变加工完结后直接进行的退火,其目的是使氢扩散到工件之外,这种退火称为预防白点退火,也称为去氢退火。

由于这种退火工艺往往和热变形加工后的一次或多次重结晶退火、正火以及高温回火相结合,因而退火后还能起到改善组织、消除应力、降低硬度、细化晶粒的目的。

预防白点退火主要适用于大型碳钢、低合金钢、高合金钢锻件。

1. 准备工作

为确保退火质量,在实施本工艺前应核实一些项目,并做好准备工作。

(1) 工件 可参照本章 1.1.1 节均匀化退火的准备工作进行。

(2) 设备 可参照本章 1.1.1 节均匀化退火的准备工作进行。但在正常装炉量情况下,炉内有效加热区的温度允许偏差应调节控制在 $\pm 20^{\circ}\text{C}$ 范围内。

(3) 测温仪表及温控装置 可参照本章 1.1.1 节均匀化退火的准备工作进行。

(4) 工夹具 可参照本章 1.1.1 节均匀化退火的准备工作进行。

2. 装炉

可参照本章 1.1.1 节均匀化退火的装炉要求进行。

3. 工艺规范

(1) 工艺要点 溶解于固溶体中的氢是造成钢中出现白点缺陷的主要危险,而用退火的方法可以使固溶氢脱溶。由于氢在 $\alpha\text{-Fe}$ 中的溶解度小,扩散系数大,而且,氢在 $\alpha\text{-Fe}$ 中的溶解度随温度降低而下降,为此,去氢工艺应按下述原则确定:

1) 锻后应尽快冷却到珠光体转变速度最高的温度范围(即等温转变图上鼻尖温度区),以尽快获得铁素体与碳化物的混合组织。

2) 重新加热到低于下临界温度 A_{c1} 的较高温度($\approx 650^{\circ}\text{C}$)保温。

3) 高合金钢锻后预先重结晶退火、正火,不仅能改善组织、细化晶粒,而且能使氢的分布均匀,有利于氢的扩散析出。

4) 可与高温回火合并进行。

5) 应控制好加热温度与保温时间。

6) 冷却速度应足够缓慢,不仅有利于氢的排除,也能减少工件的残留应力。

(2) 工艺方法

1) 对白点敏感较轻的碳素结构钢、低碳低合金钢 (例如 15、20、35、45、55、40Mn、50Mn、12~20CrMo、20Cr、20MnMo、20MnSi 等) 以及对白点敏感中等的中碳低合金钢、马氏体不锈钢 (例如 35CrMo、40Mn2、40Cr、42CrMo、35SiMn、30CrMnSi、35SiMnMo、42MnMoV、34CrMo1A、12Cr13、20Cr13、30Cr13 等), 常采用的工艺有:

① 等温炉冷法。即锻件锻后尽快冷却到 620~660℃ 长时间保温后, 炉冷到 300~500℃ 出炉空冷。

对于碳钢: 保温时间按 3h/100mm 计算。保温后, 以 50~60℃/h 速度冷却到 400~500℃ 后出炉空冷。

对于低合金钢: 保温时间按 6~7h/100mm 计算。保温后, 以 50~60℃/h 速度冷却到 300~400℃ 后出炉空冷。

② 正火及高温回火法 (去氢与高温回火结合进行)。即锻件锻后, 立即重新加热进行正火, 然后再高温回火。工艺方法有热装炉正火及冷装炉正火两种。

热装炉正火法, 其工艺曲线见图 1-1。

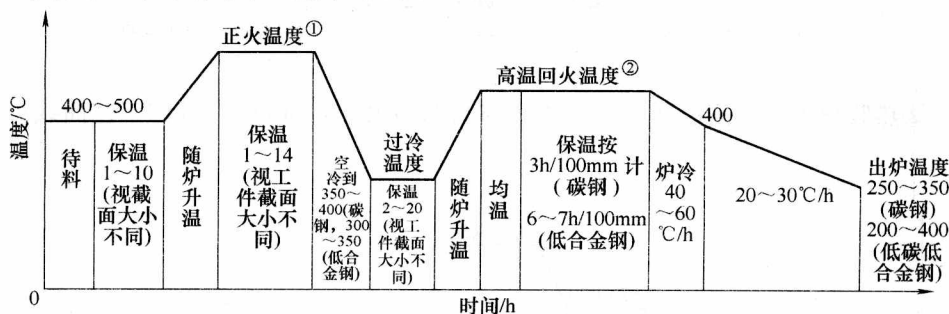


图 1-1 热装炉正火法

① 正火温度视钢材而定。

② 高温回火温度对于大多数钢材为 620~660℃。如果考虑性能方面的要求, 可将下限放宽到 560~580℃。

冷装炉正火法, 其工艺曲线见图 1-2。

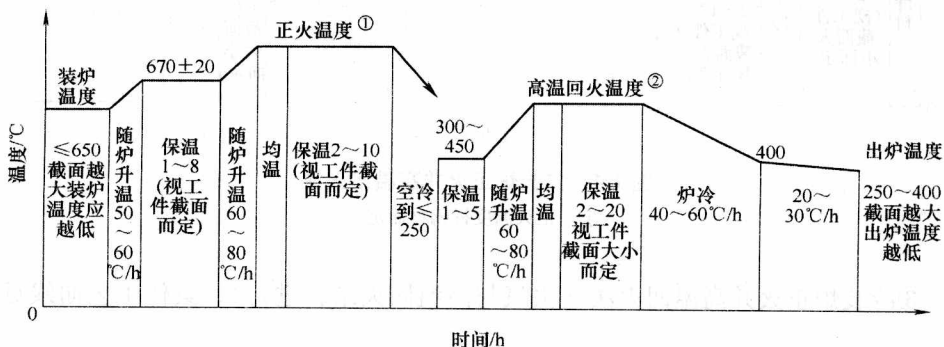


图 1-2 冷装炉正火法

① 正火温度视钢材而定。

② 高温回火温度对于大多数钢材为 620~660℃。如果考虑性能方面的要求, 可将下限放宽到 560~580℃。

2) 对白点敏感严重的中、高碳镍铬合金钢、高镍合金钢 (例如 40CrNi、34CrNi1Mo、5CrNiMo、70Cr3Mo、9Cr2Mo、12CrNi3MoV、18Cr2Ni4WA、34CrNi3Mo、26Cr2Ni4MoV 等), 常采用的工艺有:

①起伏等温退火法。具体工艺曲线见图 1-3。

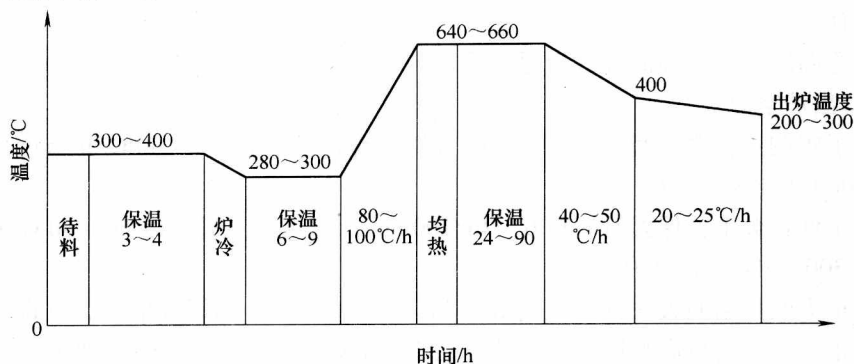


图 1-3 起伏等温退火法

注: 640~660°C 的保温时间一般为 20~40h; 对白点特别敏感的高镍钢为 50~90h。

②热装炉正火并高温回火法 (去氢与高温回火结合进行), 具体工艺曲线见图 1-4。

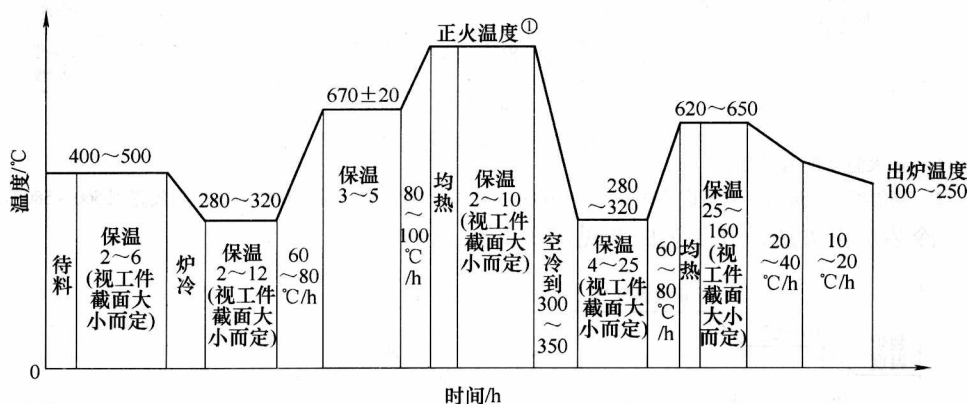


图 1-4 热装炉正火并高温回火法

① 正火温度视钢材而定。

③冷装炉正火并高温回火法 (去氢与高温回火结合进行), 具体工艺曲线见图 1-5。

4. 操作注意事项

可参见本章 1.1.1 节均匀化退火的注意事项。

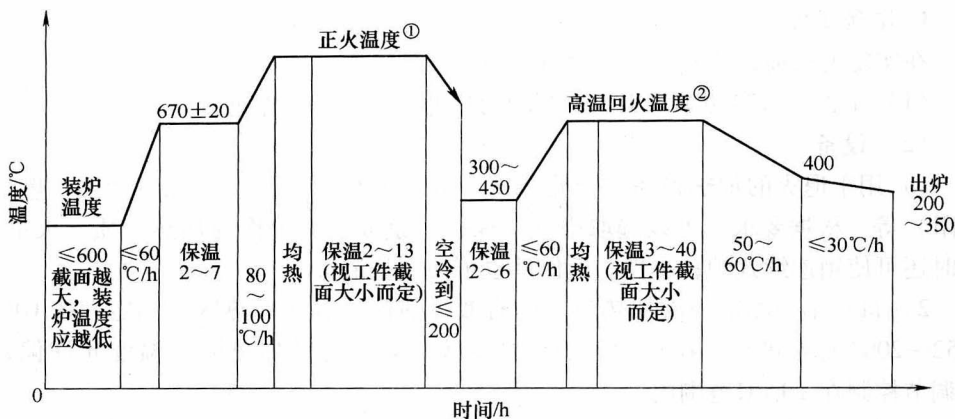


图 1-5 冷装炉正火并高温回火法

① 正火温度视钢材而定。

② 高温回火温度对于大多数钢材为 620 ~ 660℃，如果对性能有要求时，下限可放宽至 560℃。

5. 后续工序

退火后对于有严重氧化皮的工件应安排喷砂（或丸）清理。

6. 质量检验

(1) 外观 工件表面不得有裂纹、影响最终形状尺寸的伤痕、氧化皮等缺陷。外观检验可采用肉眼、低倍放大镜或磁粉探伤、着色探伤等方法进行。

(2) 金相组织 视工艺需要而定。

1) 应得到符合工艺要求的正常组织。可按 GB/T 13298—1991《金属显微组织检验方法》进行。

2) 晶粒度应为 4 ~ 8 级。晶粒度的检测按 GB/T 6394—2002《金属平均晶粒度测定法》规定进行。

3) 表面氧化脱碳层应不超过其加工余量（直径或厚度）的 1/3。表面脱碳层检测按 GB/T 224—2008《钢的脱碳层深度的测定法》规定进行。

(3) 硬度 视工艺需要而定。硬度检验可采用布氏硬度试验法，按 GB/T 231.1—2009《金属材料 布氏硬度试验 第1部分：试验方法》进行。

(4) 低倍断口检验 液析及白点应符合工艺规定的限值。断口检验按 GB/T 1979—2001《结构钢低倍组织缺陷评级图》评定。

1.1.3 完全退火（工艺代号 511-F）

将工件完全奥氏体化后缓慢冷却，获得接近平衡组织的退火称为完全退火。

完全退火主要用于中碳钢和中碳合金钢铸件、焊件、锻件、轧制件等。也可用于高速钢、高合金钢淬火返修前的退火。其目的在于细化组织、降低硬度、改善切削加工性能及去除内应力。

1. 准备工作

在实施退火前,应核实一些项目并做好准备工作。

(1) 工件 可参照本章 1.1.1 节均匀化退火的准备工作进行。

(2) 设备

1) 用于退火的加热设备主要是箱式、井式或台车式炉(燃煤、燃油、燃气、电阻)等。根据要求,可以选取空气、保护气氛或真空等作为加热介质。大批生产时还可使用连续式炉;小件、返修件也可使用盐浴炉。

2) 每年至少测定一次加热设备的有效加热区。有效加热区的测定,按 GB/T 9452—2003 标准进行。在正常装炉量情况下,炉内有效加热区的温度允许偏差,应调节控制在 $\pm 15^{\circ}\text{C}$ 范围内。

3) 使用燃料炉时,在炉子设计时,就应确保其火焰不和工件直接接触。

4) 使用保护(或可控)气氛加热炉时,所使用的氩、氮、氢等气体应符合 JB/T 7530—2007 标准的要求。炉内气氛应根据退火工艺要求进行调节和控制。

5) 使用真空炉时,对真空炉的要求应符合 GB/T 22561—2008《真空热处理》的规定。真空炉内的真空度和炉内气氛的组成,应能按工艺要求进行调节。其冷态空炉充分干燥后的压升率应小于 0.67Pa/h 。真空炉的有效加热区内温度允许偏差应符合 GB/T 22561—2008 标准中表 3 的规定,即 $\pm 10^{\circ}\text{C}$ 。

6) 使用连续式炉时,炉子应能调节输送速度。

7) 盐浴加热炉的盐浴,应按工艺要求进行正常的校正和捞渣。所用的盐浴不得腐蚀工件,选用时应参照 JB/T 4390—2008《高、中温热处理盐浴校正剂》、JB/T 9202—2004《热处理用盐》进行。

8) 工件加热后,在随炉冷却过程中,设备应尽量保证各部位的冷却速度均匀一致。

(3) 测量仪表和温控装置 可参照本章 1.1.1 节均匀化退火的准备工作进行。

(4) 工夹具 可参照本章 1.1.1 节均匀化退火的准备工作进行。

2. 装炉

可参照本章 1.1.1 节均匀化退火的装炉要求进行。

3. 工艺规范

(1) 工艺要点 完全退火是以改变组织与性能为目的的工艺方法。为此,在确定工艺参数时,应以控制加热温度、保温时间及冷却速度为重点。

(2) 加热温度 原则上为 $A_{c3} + (30 \sim 50)^{\circ}\text{C}$ 。为了促进合金钢中合金碳化物的溶解及奥氏体均匀化,以及淬火返修件为了细化淬火粗大过热组织,消除组织结构的遗传性也可选择 $A_{c3} + (50 \sim 90)^{\circ}\text{C}$ 作为加热温度。表 1-1 为几种常用钢材的退火加热温度。

表 1-1 几种常用钢材的退火加热温度

钢 种	加热温度/℃	钢 种	加热温度/℃
65	810 ~ 850	45Mn2	810 ~ 840
40Cr	840 ~ 880	50Mn2	810 ~ 840
40MnB	820 ~ 860	50CrVA	830 ~ 850
35CrMo	830 ~ 860	60Si2Mn	830 ~ 860
42CrMo	820 ~ 850	65Mn	800 ~ 840
40CrNi	820 ~ 850	5CrNiMo	760 ~ 780
40MnVB	840 ~ 880	5CrMnMo	760 ~ 780
40CrNiMoA	840 ~ 880	20Cr13	860 ~ 880
38CrMoAlA	900 ~ 930	W18Cr4V	830 ~ 850
35SiMn	850 ~ 870	W6Mo5Cr4V2	830 ~ 850
42SiMn	830 ~ 850		

(3) 加热速度 加热速度主要与钢的化学成分、工件形状尺寸、炉子功率、装炉量大小、堆放形式以及退火工艺要求等诸多因素有关。在一般情况下，较高的加热速度有利于提高生产效率。但是，对于高合金钢和大型铸锻件，以及较大的装炉量时，高的加热速度容易造成工件内外温差过大，导致畸变、开裂倾向增大。

碳钢、低合金钢的中、小工件，加热速度宜控制在 100 ~ 200℃/h，可采用到温入炉或高温入炉的方式。

中、高合金钢、形状复杂或截面大的工件以及当较大装炉量时，可采用低温入炉，随炉升温的加热方式。当温度低于 700℃ 时，加热速度宜控制在 30 ~ 70℃/h（可采取中间保温的方式）；而当温度超过 700℃ 后，可将加热速度增大到 80 ~ 100℃/h。

如果采用装箱退火，在低温装炉后，为使加热均匀，当加热到 500 ~ 550℃ 时，应适当恒温，然后再升到退火温度。

(4) 保温时间 保温时间是指为达到工件内外温度一致，完成组织转变和奥氏体均匀化的需要而恒温保持的一段时间，加热温度越高，保温时间越长。越有利于获得层片状珠光体组织；反之，如果加热温度较低，保温时间较短，奥氏体成分越不均匀，则可能获得粒状珠光体组织。

在实际生产中，常采用以下两种方法来计算：

1) 按工件的有效厚度，采用如下经验公式：

$$\tau = K\alpha D$$

式中 τ ——加热或保温时间 (min)；

K ——装炉系数 (按 1 ~ 1.5 计)；

D ——工件有效厚度 (mm);

α ——加热或保温系数 (min/mm)。

电炉加热时, 保温系数 α 按下述原则选取:

碳素钢: 1.5 ~ 1.8min/mm;

合金结构钢: 1.8 ~ 2.0min/mm;

合金工具钢: 2.0 ~ 3.0min/mm。

油炉、燃气炉加热时, 其保温时间 τ = 电炉加热保温时间 $\times$ (0.5 ~ 0.7)。

大型铸钢件的保温时间 (h) $\tau = k + 0.25Q$

式中 k ——常数 (当 $\phi \geq 100\text{mm}$ 时, $k=6$; $\phi < 100\text{mm}$ 时, $k=4$);

Q ——工件装炉量 (t)。

在 850 ~ 900℃ 退火的锻轧件: 保温时间 (h) $\tau = 4 + (0.2 \sim 0.4)Q$;

在 800 ~ 850℃ 退火的钢件: 保温时间 (h) $\tau = 4 + (0.5 \sim 0.6)Q$;

装箱退火件在计算保温时间后应再增加 2 ~ 3h。

盐浴炉加热时: 加热时间 (h) τ = 工件有效厚度 (mm) $D \times$ 加热系数 (min) α

式中 α ——加热系数, 其值在 0.5 ~ 1.0min/mm 范围内选取, 当 $D < 20\text{mm}$ 时取上限; $D > 50\text{mm}$ 时取下限。

2) 按工件的几何因素。按这种方法计算, 加热时间要比上述方法的时间短, 而且保温时间占的比重较少。

加热时间 (min) $\tau = KW$ (加热时间略含保温时间)

式中 K ——与加热条件有关的综合物理因子;

W ——与工件尺寸和形状有关的几何指数 (mm)。

$$W = \frac{V}{A}$$

式中 V ——工件的体积 (mm^3);

A ——工件的面积 (mm^2)。

表 1-2 为空气炉 KW 的实用时间计算。

表 1-2 空气炉 KW 的实用时间计算

系 数	工 件 形 状			
	柱 状	板 状	薄管 $\delta/D < 1/4$ $L/D < 20$	厚管 $\delta/D \geq 1/4$
$K/(\text{min/mm})$	3.5	4	4	5
W/mm	$(0.167 \sim 0.25)D$	$(0.167 \sim 0.5)B$	$(0.25 \sim 0.5)\delta$	$(0.25 \sim 0.5)\delta$
KW/min	$(0.6 \sim 0.9)D$	$(0.6 \sim 2)B$	$(1 \sim 2)\delta$	$(1.25 \sim 2.5)\delta$

注: B —板厚; δ —壁厚; L —柱长; D —外径 (包括非圆柱的内切圆直径)。

真空炉中退火时, 加热保温时间一般比空气炉长两倍。