

现代热处理实用技术数据手册

XIANDAI RECHULI SHIYONG JISHU
SHUJU SHOUC

夏国华 主编
杨树蓉

国防工业出版社

现代热处理实用技术数据手册

夏国华 杨树蓉 主编

国防工业出版社

· 北京 ·

图书在版编目(CIP)数据

现代热处理实用技术数据手册/夏国华,杨树蓉主编.
北京:国防工业出版社,1999.1
ISBN 7-118-01893-7

I. 现… II. ①夏… ②杨… III. 钢-热处理-数据-手册
IV. TG161-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字(98)第 04941 号

国防工业出版社出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号)

(邮政编码 100044)

北京怀柔新华印刷厂印刷

新华书店经售

*

开本 787×1092 1/16 印张 15¼ 350 千字

1999 年 1 月第 1 版 1999 年 1 月北京第 1 次印刷

印数:1—3000 册 定价:22.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

前 言

随着现代工业突飞猛进的发展,新工艺、新技术、新材料、新设备以及新的管理方法源源不断地涌现出来。因此,摆在广大专业技术人员以及每个直接从事生产实践的工人面前的课题,就是不断地更新知识,不断地充实技能,不断地拓宽高新科学的视野,从而适应新形势下的技术挑战。

为了满足金工战线广大工程技术人员,特别是第一线的生产工人对新技术的需求,作者搜集整理了在热处理生产现场经常用到的一些必备的技术数据资料。这些数据资料除供热处理专业人员作为案头工具书随时查阅外,也可供非热处理专业的技术人员在选择零(部)件材料、提出零(部)件应满足的技术要求以及制定热处理工艺等方面参考。

本书提供的数据大部分源于一些国内外的专著,其中有些数据是作者在30余年热处理岗位上验证确有其权威性和实用性;也有些数据是作者本人在热处理实践活动中积累的切实可行的典型经验。

本书在成书过程中得到了长安汽车有限责任公司和重庆奥力铸造有限责任公司的大力支持和帮助,在此表示感谢。在编写过程中也参阅了大量的国内外文献,对原资料作者,在此也一并表示感谢。

由于作者水平所限,本书难免有不当之处,恳请读者批评指正。也希望广大读者提出宝贵意见,以便去粗取精,广纳贤见,使本书更臻完善实用。

目 录

第一章 钢铁及其热处理	1
第一节 退火与正火工艺参数的选择.....	1
第二节 淬火.....	2
第三节 回火.....	6
第四节 合金元素在钢中的作用.....	7
第五节 常用钢材的热处理工艺及其力学性能	10
第六节 常用黑色金属材料断裂力学参数	19
第七节 常用钢材的临界点及热处理规范与硬度的关系	24
第八节 非调质钢	52
第九节 铸铁及其热处理	58
第十节 钢的主要用途举例	62
第二章 钢的化学热处理	71
第一节 钢的渗碳	71
第二节 钢的渗氮	82
第三节 钢的碳氮共渗	93
第四节 钢的软氮化.....	101
第五节 渗硫与硫氮、硫氰共渗	106
第六节 钢的渗硼.....	108
第七节 钢的渗金属.....	113
第三章 有色金属及其热处理	119
第一节 铝及其合金热处理概述.....	119
第二节 铸造铝合金及其热处理.....	121
第三节 变形铝合金及其热处理.....	127
第四节 铝合金淬火加热保温时间.....	131
第五节 铜合金及其热处理概述.....	131
第六节 铜及其合金的热处理规范.....	133
第七节 钛合金及其热处理.....	133
第八节 镁合金及其热处理.....	144
第四章 感应加热及离子轰击热处理	147
第一节 高频、超音频、中频感应淬火工艺.....	147
第二节 离子轰击热处理.....	150
第五章 热处理中常见疵病及防止方法	153
第一节 热处理中常见疵病的防止和补救方法.....	153

第二节 钢中常见的几种脆性现象.....	157
第六章 典型零件的热处理.....	160
第一节 工艺规程编制依据.....	160
第二节 典型零件热处理工艺.....	160
第七章 热处理设备.....	185
第一节 基础数据.....	185
第二节 电阻炉.....	191
第三节 气氛发生器.....	196
第四节 真空热处理炉.....	199
第五节 其它热处理装置.....	204
附录.....	209
附表 1 硬度与强度对照表	209
附表 2 轴、杆、楔条零件热处理时外圆磨削余量	215
附表 3 轴、套、环类零件热处理时内孔磨削余量	215
附表 4 合金结构钢国内外钢号对照表	216
附表 5 合金工具钢国内外钢号对照表	220
附表 6 易切削钢国内外钢号对照表	224
附表 7 弹簧钢国内外钢号对照表	224
附表 8 滚动轴承钢国内外钢号对照表	225
附表 9 不锈钢耐酸钢国内外钢号对照表	226
附表 10 耐热钢国内外钢号对照表	229
附表 11 常见钢种的临界直径 D_0/mm	233
附表 12 各种不同冷却介质的冷却能力及冷却强度 H 值	234
附表 13 非法定计量单位与法定计量单位对照表	235

第一章 钢铁及其热处理

第一节 退火与正火工艺参数的选择

退火和正火多用于钢和铁的预先热处理。关于退火的种类以及相应的工艺参数和应用场合如表 1-1 所示,表中还列出了正火工艺的有关参数及适用场合。

表 1-1 退火与正火工艺及应用

名 称	工艺规范说明	目的与应用
扩散退火 (均匀化退火)	①加热温度: $A_{c3} + (150 \sim 250)^\circ\text{C}$ ②加热速度: $100 \sim 120^\circ\text{C/h}$ ③保温时间: 按工件的有效截面厚度计算 $2 \sim 3\text{min/mm}$, 一般为 $10 \sim 20\text{h}$ ④冷却方式: 随炉缓冷到 350°C 以下出炉空冷	①消除合金钢锭及重要铸钢件的枝晶偏析, 从而使化学成分均匀 ②改善合金钢的切削加工性能
完全退火	①加热温度: $A_{c3} + (20 \sim 30)^\circ\text{C}$ ②加热速度: 碳钢 $150 \sim 200^\circ\text{C/h}$, 合金钢 $50 \sim 100^\circ\text{C/h}$ 大型工件及装炉量大时, 先在 600°C 均热一下为好 ③保温时间: 碳钢: $1\text{h}/25\text{mm} + n \times 0.5\text{h}/25\text{mm}$ (n 为 25 的倍数) 合金钢: $1\text{h}/25\text{mm} + n \times 0.5\text{h}/20\text{mm}$ (n 为 25 的倍数) ④冷却的速度: 碳钢: $100 \sim 200^\circ\text{C/h}$, 合金钢 $50 \sim 150^\circ\text{C/h}$, 缓冷到 $500 \sim 600^\circ\text{C}$ 出炉空冷	①降低硬度, 改善切削加工性能 ②增加塑性 ③使原始组织完全改变, 重新结晶, 改善金相组织为下一步淬火作准备 ④消除内应力 ⑤用来处理中小型铸钢件、锻件和热轧钢件, 从而消除其粗大晶粒和魏氏体组织, 细化了晶粒
不完全退火	①加热温度: $A_{c1} \sim A_{c3}$ 之间 ($A_{c1} \sim A_{cm}$ 之间) ②其余工艺参数与完全退火相同	用于锻造组织较好的钢件的退火, 消除内应力, 降低硬度以利切削。可改善珠光体组织。但细化晶粒, 效果不如完全退火好。
球化退火	①普通(缓冷)球化退火: 加热稍高于 A_{c1} 的温度(约 $760 \sim 780^\circ\text{C}$), 适当保温后缓冷 ②等温球化退火: 在 A_{c1} 以上(约 $790 \sim 810^\circ\text{C}$) 保温 24h, 缓冷到 A_{c1} 以下(约 $700 \sim 710^\circ\text{C}$) 保温 $5 \sim 6\text{h}$, 缓冷至 $500 \sim 600^\circ\text{C}$ 出炉空冷 ③周期球化退火: 在 A_1 附近反复加热和等温, 但每次时间较短, 然后缓冷至 550°C 以下出炉空冷	①主要用作共析和过共析钢的预先热处理 ②其二由于使片状珠光体变成球状, 而降低了硬度, 故改善了切削加工性能 ③同时因此种组织淬火加热时不易过热, 冷却时又不易开裂, 所以为淬火作了组织准备
等温退火	①一般等温温度选在 A_1 以下 $80 \sim 100^\circ\text{C}$ ②如果还要求降低硬度, 可选择在 A_1 以下 $50 \sim 70^\circ\text{C}$ ③对大工件为了使心表一致, 先在等温温度以下 $50 \sim 100^\circ\text{C}$ 保温一段时间, 然后升到等温温度保温, 其时间应较 C 曲线上所标的要长一些, 为防止产生较大的热应力, 多采用空冷(C 曲线—淬火加热后等温冷却曲线)	多用于过冷奥氏体在珠光体转变区内稳定的合金钢, 碳钢因容易达到退火目的, 所以往往不采用此种工艺

续表

名 称	工艺规范说明	目的与应用
低温退火	一般在 A_{c1} 以下 ($500\sim 600\text{ }^{\circ}\text{C}$) 加热保温后, 缓慢冷却到室温	退火中不发生相变, 主要用于消除铸、锻、焊接零件内应力, 亦称去应力退火
再结晶退火	①加热温度: 钢及铜合金一般为 $600\sim 750\text{ }^{\circ}\text{C}$ ②加热时间: 与完全退火同 ③冷却速度: 工件随炉冷却或在空气中冷却; 铜件可在水中冷却	①使冷变形的晶粒再结晶, 得到稳定不变的颗粒 ②消除变形后的内应力 ③恢复金属在变形前的韧性和塑性, 改善加工性能
正 火	①加热温度: 亚共析钢: $A_{c3} + (30\sim 50)\text{ }^{\circ}\text{C}$ 过共析钢: $A_{cm} + (30\sim 50)\text{ }^{\circ}\text{C}$ 渗碳钢的锻件: 应接近或超过渗碳温度 $20\sim 30\text{ }^{\circ}\text{C}$ ②保温时间: 在电炉和火焰反射炉中的加热时间与完全退火的加热时间相同; 在盐炉中的时间, 大致为 0.5min/mm , 合金钢在此基础上增加 $20\%\sim 30\%$ 的时间 ③冷却: 一般在静止的空气中冷却, 为了提高硬度亦可在流动的空气中冷却	①对强度要求不高的一般受力件可作为最终热处理 ②因为工艺比退火操作简单, 生产周期短, 成本低, 所以生产上常用以代替退火 ③中、低碳钢可用正火改善切削加工性能 ④可改善渗碳后钢的组织, 改善铸件组织 ⑤消除过共析钢的网状渗碳体组织

第二节 淬 火

在钢铁热处理中, 淬火常常是作为最终热处理的工序之一。淬火加不同温度的回火或其他热处理工艺将赋予零件不同的使用性能。因此正确选用淬火的加热、保温规范, 冷却的方式以及所用的加热、冷却介质, 是获得良好的热处理性能的首要条件, 也是任何一个热处理工作者的基本功。表 1-2 列出了淬火中加热温度、保温时间的选择以及冷却方式的选择; 表 1-3 介绍了有关加热用介质; 表 1-4 介绍了有关淬火介质, 供读者在工作中选取。

表 1-2 淬火工艺参数的选取

工 艺 参 数	参 考 因 素
加热温度的选取 碳钢: 可直观地根据 Fe-Fe ₃ C 状态的临界点选取 亚共析钢取: $A_{c3} + 30\sim 50\text{ }^{\circ}\text{C}$; 共析钢和过共析钢取 $A_{c1} + 30\sim 50\text{ }^{\circ}\text{C}$ 合金钢: 可查阅有关手册而定	在生产实践中, 淬火温度的选取还可以考虑以下诸因素: ①工件尺寸大小及形状: 大工件可提高淬火温度 $20\sim 30\text{ }^{\circ}\text{C}$, 形状复杂的工件可采用下限淬火温度 ②钢的成分: 本质细晶粒钢, 尤其是含 V、Ti 的合金钢可提高温度, 碳钢及锰钢等本质粗晶粒钢要严格控制淬火温度 ③淬火介质及淬火方法的影响: 淬火介质冷却能力强, 采用下限淬火温度, 冷却能力弱的介质可提高淬火温度 ④加热设备的影响: 箱式炉比盐炉降低淬火温度 $10\sim 20\text{ }^{\circ}\text{C}$

续表

工 艺 参 数	参 考 因 素
保温时间的选取	1. 钢的成分:随着碳量和合金元素的增加,钢的导热性差,要延长保温时间,一般合金钢为碳钢加热时间的 1.20~1.30 倍 2. 加热介质:空气炉、火焰炉、盐浴炉和铅浴炉的加热保温时间之比大约 4 : 3 : 2 : 1 3. 工件尺寸装炉量:工件越大,装炉量越多,保温时间越长 4. 炉温:高温加热可以实现快速加热,但要防止过热 5. 装炉方式:要考虑充分利用炉子的受热面,零件之间的间距为工件厚度的一半为宜 6. 加热方式: ①冷炉装料:保温时间较长 ②热炉装料:可适当缩短保温时间 ③快速加热:比规定淬火温度高出 50~100℃,故到温最快,保温时间最短 ④分段加热:即分段预热,最后在规定温度下加热,可适当缩短高温下的停留时间
冷却方式	1. 单液淬火: ①淬透性差的碳钢工件用水淬 ②形状复杂的碳钢小工件及合金钢件一般用油淬 ③某些高合金钢采用空气淬 2. 双液淬火(水淬油冷): 水中停留时间:1s/壁厚 3~6mm 高淬透性模具钢淬火采取油淬空冷 3. 预冷淬火: ①加热完了,工件先在空气中停留一段时间,以减小内外温差,而后淬火 预冷时间:10s 左右 ②加热完毕先在油中冷却数秒,再进行双液淬火。故称之为油—水—油三液淬火法 4. 分级淬火法: C 曲线鼻部以下, M_s 点以上,短时停留后淬火 5. 等温淬火:等温淬火,实际上是在过冷奥氏体区长时间地停留,以获得下贝氏体组织的一种淬火方式。旨在获得高硬度的前提下,得到良好的塑性与韧性。温度一般为 260~400℃

表 1-3 加热介质

名称	主要成分	炉中反应	性能及适用场合
铅浴	Pb:100%	$Pb + O_2 \rightarrow PbO_2$ 对工件起氧化作用: $PbO_2 + Fe \rightarrow FeO + Pb$ 所以一般要用木炭洗铅: $PbO_2 + C \rightarrow Pb + CO_2$	导热性好,因而加热速度快 加热速度: 铅浴:盐浴:空气=4:2:1 可用于各种钢材的淬火和局部淬火以及高温回火 熔化温度 327℃,使用温度 950℃以下

续表

名称	主要成分	炉中反应	性能及适用场合
盐浴	①BaCl ₂ :100% ②50%NaCl+50%KCl ③20%~30%NaCl+80%~70%BaCl ₂ ④20%NaCl+30%KCl+50%BaCl ₂ ⑤20%NaCl+30%BaCl ₂ +50%CaCl ₂ ⑥100%NaNO ₃ ⑦100%NaNO ₃ +2%~3%NaOH ⑧55%NaNO ₃ +45%NaNO ₂ ⑨50%KNO ₃ +50%NaNO ₂ ⑩55%KNO ₃ +45%NaNO ₂ ⑪80%KOH+20%NaOH+6%H ₂ O	熔融盐浴和空气中的O ₂ 和水蒸汽接触产生氧化物,盐浴中的杂质硫酸盐和碳酸盐等对工件均产生氧化和脱碳作用 盐浴炉常用的脱氧剂有:碳化硅(SiC),硼砂(Na ₂ B ₄ O ₇),二氧化硅(SiO ₂),二氧化钛(TiO ₂)等。硼砂的脱氧作用如下(结渣): ① $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \xrightarrow{\text{热分解}} 2\text{NaBO}_2 + \text{B}_2\text{O}_3$ $\text{FeO} + \text{B}_2\text{O}_3 \rightarrow \text{Fe}(\text{BO}_2)_2 \downarrow$ ② $\text{B}_2\text{O}_3 + \text{BaO} \rightarrow \text{Ba}(\text{BO}_2)_2 \downarrow$ 石英砂(SiO ₂)和二氧化钛的脱氧作用: $\text{SiO}_2 + \text{BaO} \rightarrow \text{BaSiO}_3 \downarrow$ $\text{TiO}_2 + \text{BaO} \rightarrow \text{BaTiO}_3 \downarrow$ 混合脱氧剂配比: 盐浴种类: ①100kg(100%BaCl ₂) TiO ₂ 0.8kg SiO ₂ 0.4kg 或:硅钙铁 0.1kg, BaCl ₂ 0.5~1kg ②300kg(70%BaCl ₂ +30%NaCl) TiO ₂ 0.4kg SiO ₂ 0.2kg	①熔化温度 960℃,使用温度 1000~1350℃,主要用于高速钢,高铬钢,不锈钢淬火 ②熔化温度 670℃,使用温度 700~1000℃,碳素钢及合金结构钢淬火 ③熔化温度 650℃,使用温度 670~1000℃,碳钢及合金结构钢淬火 ④熔化温度 560℃,使用温度 580~880℃,碳素钢及结构钢淬火 ⑤熔化温度 435℃,使用温度 480~780℃,主要用于高、中温回火 ⑥熔化温度 317℃,使用温度 325~600℃,用于回火 ⑦熔化温度 317℃,使用温度 325~600℃,用于回火 ⑧熔化温度 218℃,使用温度 230~550℃,用于等温和回火 ⑨熔化温度 140℃,使用温度 150~550℃,用于等温和回火 ⑩熔化温度 137℃,使用温度 155~550℃,用于等温和低温回火 ⑪熔化温度 130℃,使用温度 150~300℃,用于等温和低温回火
空气	21%O ₂ +78%N ₂ +CO ₂ +H ₂ (微量)	钢件被氧化: ① $2\text{Fe} + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{FeO}$ ② $\text{Fe} + \text{CO}_2 \rightleftharpoons \text{FeO} + \text{CO}$ ③ $\text{Fe} + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{FeO} + \text{H}_2$ 钢件被脱碳: ① $\text{Fe}\gamma(\text{C}) + \text{CO}_2 \rightleftharpoons 2\text{Fe}\gamma + 2\text{CO} \uparrow$ ② $\text{Fe}\gamma(\text{C}) + \text{CO}_2 \rightleftharpoons \text{Fe}\gamma + 2\text{CO} \uparrow$ ③ $\text{Fe}\gamma(\text{C}) + 2\text{H}_2 \rightleftharpoons \text{Fe}\gamma + 2\text{CO} \uparrow$ ④ $\text{Fe}\gamma(\text{C}) + \text{H}_2 \rightleftharpoons \text{Fe}\gamma + \text{CO} + \text{H}_2$ (Feγ(C)指钢中奥氏体的碳含量)	①电炉中加热防氧化脱碳措施: a. 铸铁屑、锯木屑覆盖工件 b. 工件表面涂以硼酸酒精溶液 c. 涂料保护: I 110 涂料:氧化硅 85g,氧化铝 5g,硅酸钾 10g,水 25g,白色,密度 1.95g/mm ³ ,适用于 800~1000℃,覆层厚度 0.05~0.1mm I 202 涂料:氧化硅 20g,氧化铝 10g,氧化铬 10g,碳化硅 10g,硅酸钾 8g,水 12~15g,绿色,密度 2.3g/mm ³ ,用于 800~1200℃,覆层厚 0.3mm 以下,使用时应将工件洗净,除油除锈,搅拌均匀后涂覆其上,阴干 12h 以上进炉淬火 ②感应加热:由于加热速度快,一般不作保护 ③激光加热:加热速度比火焰加热和感应加热更快

续表

名称	主要成分	炉中反应	性能及适用场合
保护 气氛	①放热式气氛： 混合比(空气：丙烷)14：1 $10\% \sim 12\% \text{CO} + 6.27\% \text{CO}_2 + 8.29\% \text{H}_2 + 2.3\% \text{H}_2\text{O} + 0.4\% \text{CH}_4 + 72\% \sim 76\% \text{N}_2$ ②吸热式气氛 $23\% \text{CO} + 0.4\% \text{CO}_2 + 30\% \text{H}_2 + 1.0\% \text{CH}_4 + 44.6\% \text{N}_2$ ③氮分解气氛： $25\% \text{N}_2 + 75\% \text{H}_2$ ④氮基气氛： 主要成分是氮气 N_2 。可以用空气分离得到 ⑤滴注式保护气氛	在 $700 \sim 950^\circ\text{C}$ 的范围内,要实现光亮热处理, $\frac{\text{CO}_2}{\text{CO}} \leq 0.4 \sim 0.7$; $\frac{\text{H}_2\text{O}}{\text{H}_2} \leq 0.4 \sim 0.6$ 放热式气氛是通过燃料气和空气在马弗罐中的燃烧得到 吸热式气氛是可燃气与空气按一定的混合比在触媒剂作用下裂解得到 $\text{NH}_3 \xrightarrow{\text{加热}} \text{N}_2 + 3\text{H}_2$ 有触媒 650°C 以下分解,无触媒 $900 \sim 980^\circ\text{C}$ 分解	一般用于各种钢材的光亮热处理。放热式气氛由于 CO_2 、 H_2O 的含量较高,一般只用于低碳钢和允许少量脱碳的中碳钢的无氧化加热、光亮淬火,而不能防止脱碳 吸热式气氛则可完全防止脱碳。但由于 700°C 以下吸热式气氛有析出石墨的逆反应,因而用于退火是不太理想的,可作为渗碳气的载气 氮分解气氛可用于合金钢,高铬钢,不锈钢的热处理、钎焊以及烧结等。 氮基气氛可以作中性加热,也可以作渗碳气的载气

表 1-4 淬火介质

名称	成 分	性 能	使 用 场 合
盐水	$5\% \sim 15\% \text{NaCl} + \text{水}$	$200 \sim 300^\circ\text{C}$ 比纯水冷却快, 200°C 以下与纯水同。使用温度小于 40°C	普通碳素钢,结构钢,碳素工具钢,钨钢等的双液淬火剂
碱水	$5\% \sim 15\% \text{NaOH} + \text{水}$ $30\% \sim 15\% \text{NaOH} + \text{水}$ $30\% \sim 15\% \text{KOH} + \text{水}$	高温区冷却比水快,低温区冷却比水慢 淬火变形,开裂倾向小,可爆掉工件氧化皮	低淬透性钢
水	$100\% \text{H}_2\text{O}$	$500 \sim 650^\circ\text{C}$ $200^\circ\text{C}/\text{s}$ $200 \sim 300^\circ\text{C}$ $700^\circ\text{C}/\text{s}$	淬透性较低的碳钢工件
油	20 号机油(3 号锭子油)	闪点: 170°C 闪点: 180°C 闪点: 190°C 闪点: 165°C 使用温度 $< 120^\circ\text{C}$	合金结构钢,工具钢,高合金钢等
硝酸盐浴	① $100\% \text{NaNO}_3 + 2\% \sim 4\% \text{NaOH}$ ② $100\% \text{NaNO}_2$ ③ $100\% \text{KNO}_3$ ④ $55\% \text{KNO}_3 + 45\% \text{NaNO}_2$ ⑤ $50\% \text{KNO}_3 + 50\% \text{NaNO}_2$ ⑥ $55\% \text{NaNO}_3 + 45\% \text{NaNO}_2$	① 熔点: 317°C ② 熔点: 281°C ③ 熔点: 337°C ④ 熔点: 137°C ⑤ 熔点: 140°C ⑥ 熔点: 221°C	① $325 \sim 600^\circ\text{C}$ 等温用,高速钢回火用 ② $300 \sim 550^\circ\text{C}$ 等温合金钢等温淬火 ③ $350 \sim 650^\circ\text{C}$ 高速钢回火用 ④ $150 \sim 550^\circ\text{C}$ 合金钢分级淬火或等温淬火 ⑤ $150 \sim 550^\circ\text{C}$ 分级淬火;等温淬火用 ⑥ $230 \sim 550^\circ\text{C}$ 同⑤

续表

名称	成 分	性 能	使 用 场 合
碱浴	①100%NaOH ②100%KOH ③35%NaOH+65%KOH ④80%KOH+20%NaOH+15%~20%H ₂ O ⑤83%KOH+14%NaNO ₂ +2%~3%H ₂ O ⑥38%KOH+22%NaOH+20%NaNO ₃ +15%NaNO ₂ +5%Na ₃ PO ₄	①熔点:322℃ ②熔点:155℃ ③熔点:155℃ ④熔点:130℃ ⑤熔点:140℃ ⑥熔点:150℃	①350~550℃使用 ②400~550℃使用 ③170~300℃使用 ④150~300℃使用 ⑤150~300℃使用 ⑥160~360℃使用
聚乙烯醇+水	0.05%~0.3%(重量比)+水	750~450℃与水相似,450~250℃与油相似,使用温度15~40℃	45、40Cr 等中碳钢及低合金钢淬火
合成淬火剂	聚乙烯醇10%+苯甲酸钠(防腐剂)0.2%+三乙醇胺(防锈剂)1%+太古油(消泡剂)0.2%+水		
水玻璃溶液	将水玻璃溶于水中,浓度为1.10~1.12g/cm ³ + (4~5)%NaOH,浓度1.14g/cm ³	使用温度20~60℃ 650~550℃冷速310℃/s 300~200℃冷速70℃/s	碳素工具钢、结构钢、碳素工具钢及截面小、变形要求小的形状复杂零件
	水玻璃60%+8%NaOH+32%水,密度1.32~1.36	使用温度20~50℃,冷速介于水、油之间	Cr、Cr15、T8A、40Cr、65Mn、60Si ₂ 、9CrSi 等锻铸件,双液淬火
三硝水溶液	25%NaNO ₃ +20%NaNO ₂ +20%KNO ₃ +35%水	550~650℃冷速400℃/s 200~300℃冷速40~100℃/s 使用温度20~60℃	高、中碳素钢,球铁,密度1.40~1.45;低合金钢密度1.45~1.50
氯化锌+碱光亮淬火液	①49%ZnCl ₂ +49%NaOH+2.0%肥皂粉+300%水 ②6%NaOH+12%ZnCl ₂ +82%水	使用温度20~60℃	35、45、T7、T8 等钢材淬火,形状复杂,易淬裂零件
聚醚水溶液	“903”聚醚(50%环氧乙烷+50%环氧丙烷的水溶液)15~20%+水;30%+水	浓度低时冷却能力大,浓度高冷却能力小些。温度升高到75~80℃又会从水中析出,温度下降又溶于水,称逆溶性,因此有利于淬火冷却	用于感应加热 用于箱式炉和盐浴炉加热 淬火的工件
羟乙基纤维素水溶液	1%羟乙基纤维素+10%NaCl 1%羟乙基纤维素+5%NaCl	低于油的冷却能力,代替油淬火,使用温度20~50℃	可用于解决油淬变形偏大的问题

第三节 回 火

钢铁零件淬火后必须重新加热到某一温度,保温一段时间,然后再以不同的方式冷却下来,这样的工艺称回火。显然,回火的主要目的是为了调整淬火零件的性能。有关回火的种类及工艺参数列于表 1-5,回火保温时间的选取列于表 1-6。

表 1-5 回火工艺

回火种类	加热温度/℃	主 要 作 用	应 用 场 合
低温回火	150~250	①保持高的强度、硬度和耐磨性 ②消除淬火应力减小脆性	刀、量具,冷作模具,滚动轴承,渗碳件,高频淬火件等
中温回火	300~500	提高硬度、强度、弹性和韧性;组织为回火屈氏体	弹簧零件
高温回火	500~650	有一定的强度、良好的冲击韧性和综合性能。硬度 HRC25~35;组织为回火索氏体	承受冲击、疲劳等动负荷的零件
低温时效	100~160	消除内应力,稳定组织,保证工件的精确尺寸	精密量具,刀具,精密零件
高温时效	略低于高温回火温度,保温后缓冷到 300℃以下出炉空冷	消除内应力,稳定组织,保证工件的精确尺寸	精密量具,刀具,精密零件

表 1-6 回火保温时间^①

加热设备	碳素结构钢	合金工具钢	备 注
盐浴炉	1.2~1.5min/mm	1.8~2.0min/mm	①当计算时间小于 1h 选 1h
电阻炉	1.5~2.0min/mm	2.0~2.5min/mm	②考虑到组织转变和消除应力,一般为 0.5~4h
① 零件有效截面 20mm~120mm。			

第四节 合金元素在钢中的作用

一、合金元素在钢中的存在形式

钢是铁和碳的合金,除碳外,把 Si、Mn、S、P、Cu、Cr、Ni、W、Mo、V、Ti、Nb、Zr、Al、N、B、Co 等看作是合金元素。当 Si、Mn、P、S、Cu、Ni、Cr 含量甚微时,也把他们看作杂质。溶入钢中的微量气体 O₂、H₂、N₂ 等亦被看作杂质。钢中只含有碳时,称作碳素钢,性能一般。为了满足某些更高的性能要求,往往必须加入另外的合金元素。这些元素有的溶于铁的晶格中,如 Ni、Si、Al、Co 等,就形成所谓固溶体;有些合金元素与碳和铁的亲和力特别强,就形成所谓化合物,如碳化物 WC、Cr₇C₃、Fe₃C;硼化物 Fe₂B、FeB 等。有的则存在于杂质中,炼钢时起造渣作用;或残留于钢中,如 Al₂O₃、MnS,形成所谓钢中夹渣。还有的存在于金属间化合物相中,如 σ 相;也有的当超过一定溶解度后,便以纯金属的形式残留于钢中,如 Cu、Pb 等。

二、钢中合金元素的作用

1. 合金元素与铁的相互作用

(1) 能扩大 γ 相区的元素

①与铁形成无限互溶的固溶体 γ 相 从而使 Fe—Fe₃C 状态图的 γ 区扩大,这类元素有 Ni、Mn、Co、Pt、Ir。

②与铁形成有限互溶的固溶体 γ 相 如 C、N、Cu、Zn、Au、H。

(2) 能缩小 γ 相区的元素

①能完全封闭 γ 区的元素 Cr、V与铁形成无限互溶的固溶体 α 相;Mo、W、Ti、Si、Al、P与铁部分互溶,形成有限互溶的固溶体 α 相。

②缩小 γ 相区,但不能完全被 $\alpha+\gamma$ 区封闭,而出现新相和 γ 的两相区:Nb、Zr、Sr。

(3)合金元素与碳的相互作用

①形成碳化物的元素(由弱到强) 如Fe、Mn、Cr、Mo、W、V、Ta、Nb、Hf、Zr、Ti等,其典型碳化物有:Fe₃C、Mn₃C、Cr₇C₃、Cr₂₃C₆、VC、Mo₂C、MoC、Fe₃Mo₃C、W₂C、WC、Fe₃W₃C、TiC、NbC、TaC、ZrC等。

②不形成碳化物的元素 如Cu、Si、Al、Ni、Co等,这些元素使钢中的碳游离,促进石墨化。

(4)合金元素对加热转变的影响

①对奥氏体形成速度的影响 合金元素加入钢中,使 A_1 、 A_3 、 A_m 位置改变;其与碳相比,过热度不同,影响奥氏体的形成速度。由于合金元素的加入,改变了碳的扩散速度,所以影响奥氏体的形成速度。其中Co、Ni能提高碳在奥氏体的扩散速度,增加奥氏体的形成速度;Si、Al、Mn几乎无影响;Cr、Mo、W、Ti、V等会起减缓的作用。

②合金元素对残余碳化物溶解的影响 一般使残余碳化物的溶解温度提高数十度,乃至数百度。如W18Cr4V比碳钢(A_1 727℃)提高460℃以上,达到1280~1300℃。

③合金元素对奥氏体均匀化的影响 合金元素在奥氏体中的扩散速度比碳低,由于碳化物形成元素又降低了碳在奥氏体中的扩散速度,所以合金钢奥氏体均匀化时间比碳钢长。

(5)合金元素对奥氏体晶粒长大的影响

①强烈阻止奥氏体晶粒长大的元素 如V、Ti、Nb、Zr、Al(少量)等。

②中等阻止奥氏体晶粒长大的元素 W、Mo、Cr等。

③较弱阻止奥氏体晶粒长大的元素 Si、Co、Ni、Cu等。

④促使奥氏体晶粒长大的元素 P、Mn、C。

(6)合金元素对过冷奥氏体转变速度的影响

合金元素对过冷奥氏体转变速度的影响表现在对珠光体转变的鼻部,贝氏体转变的鼻部和马氏体的形成点 M_s 的位置有影响。其趋向如图1-1所示。

(7)合金元素对钢的淬透性的影响(见表1-7)

表 1-7 合金元素对钢淬透性的影响

提高淬透性元素	对淬透性影响不大的元素	降低淬透性的元素
C、Mn、P、Si、Ni、Cr、Mo、B、Cu、As、Sb、Be、N、Sn	Al	S、Co、Te、Se(W、V、Nb、Zr、Ta、Ti形成碳化物时降低淬透性,溶入固溶体提高淬透性)

(8)合金元素对钢回火转变的影响

①对马氏体分解的影响

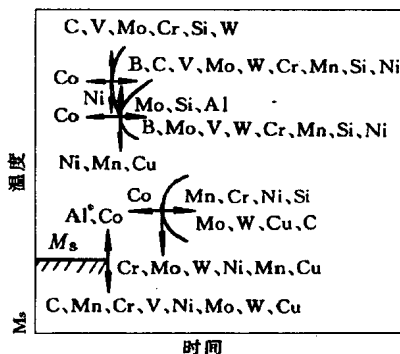


图 1-1 合金元素对过冷奥氏体转变速度的影响

- a. 几乎无影响 如 Ni、Mn。
- b. 减缓马氏体的分解 如 Si。
- c. 阻碍马氏体分解 如 Cr、W、Mo、V、Zr、Ti。

②对碳化物形成,聚集长大的影响 相同含碳量的钢,在同样的回火温度下,含有碳化物形成元素的合金钢比含有非碳化物形成元素的合金钢或非合金钢,其碳化物不易聚集长大,分散度大。

③合金元素对残余奥氏体分解的影响 合金元素一般提高残余奥氏体的分解温度区域,其中 Ni、W、Mo、V 的作用弱,而 Cr、Mn、Si 作用较显著。

④合金元素对铁素体再结晶的影响 合金元素提高了铁素体的再结晶温度,使钢具有更高的回火稳定性。按其提高的程度由弱到强,排列为: Ni、Si、Mn、Cr、Co、Mo、W。

⑤合金元素对回火脆性的影响

a. 对第一类回火脆性的影响

减弱第一类回火脆性的元素: Mo、W、V、Al。

促进第一类回火脆性的元素: Mn、Cr。

b. 对第二类回火脆性的影响

增加回火脆性敏感性元素: Mn、Cr、Ni、P、V。

无明显影响的元素: Ti、Zr、Si、Ni(单元素作用时)。

降低回火脆性敏感性的元素: Mo、W。

(9)合金元素对钢的机械性能的影响

①合金元素对退火状态下钢的力学性能的影响: 由于退火状态下钢的组织是由铁素体和碳化物组成,所以对强度的影响,主要表现在对铁素体的强化程度,其强化程度由弱到强排列为: P、Si、Ti、Mn、Al、Cu、Ni、W、Mo、V、Co、Cr。其次合金元素使共析点含碳量降低,从而使珠光体数量增加即得以强化;使过冷奥氏体稳定性增加,C 曲线右移,使铁素体和碳化物两相混合物的分散度增加而导致强化。

②合金元素对正火状态下钢的力学性能的影响

a. 当钢中含碳量为 0.25%,合金元素总量小于 1.5%~1.8%时,其影响与退火接近。

b. 含碳量 0.25%~0.40%,合金元素总量为 2%~5%,直径小于 50mm,正火出现索氏体、贝氏体中间组织有一定强化效果。

c. 含碳量 0.25%~0.40%,合金元素总量为 5%~6%,空冷可得到马氏体,其强度接近淬火钢的水平。

③合金元素对淬火回火状态下力学性能的影响

a. 对淬火钢组织和性能的影响

I 除 Co 外所有的合金元素都提高了钢的淬透性,使大截面的零件得到均匀马氏体;

II 大多数合金元素(除 Mn 外)均阻碍奥氏体晶粒长大,细化晶粒。马氏体组织从而得以细化;

III 除 Co、Al 外,合金元素含量较多时,马氏体点降低,残余奥氏体量增多,使钢硬度降低,塑性、韧性提高;

IV 淬火钢的性能主要取决于含碳量,合金元素起了补充和强化作用。

续表

牌 号 ^①	等 级	拉 伸 试 验														冲击试验	
		屈服点 σ_s /MPa						抗拉强度 σ_b /MPa	延伸率 δ_5 /%						温 度 /℃	V 形 冲击功 (纵向) /J	
		钢材厚度(直径)/mm							钢材厚度(直径)/mm								
		≤16	>16 ~40	>40 ~60	>60 ~100	>100 ~150	>150		≤16	>16 ~40	>40 ~60	>60 ~100	>100 ~150	>150			
		不小于							不小于								
Q235	A							375~500								—	—
	B	235	225	215	205	195	185		26	25	24	23	22	21	20	27	
	C														0		
	D														-20		
Q255	A	255	245	235	225	215	205	410~550	24	23	22	21	20	19	—	—	
	B														20	27	
Q275	—	275	265	255	245	235	225	490~630	20	19	18	17	16	15	—	—	
① Q195 分别与原 A₁,B₁ 的力学性能和化学成分相同,同理 Q215A 级——A₂,B 级——C₂;Q235A 级——A₃,B 级——C₃; Q255A 级——A₄,B 级——C₄;Q275——C₅																	

表 1-10 优质碳素结构图

序号	牌号	试样 毛坯 尺寸 /mm	推荐热处理温度/℃			力 学 性 能					钢材交货状态硬度(HB)	
			正火	淬火	回火	σ_b /MPa	σ_s /MPa	δ_5	ψ	$A_k(a_k)$ /J	不大于	
						(kgf·mm ⁻²)	(kgf·mm ⁻²)	/%	/%	(10J·cm ⁻²)		
不小于										未热处理	退火钢	
1	08F	25	930			295(30)	175(18)	35	60		131	
2	10F	25	930			315(32)	185(19)	33	55		137	
3	15F	25	920			355(36)	205(21)	29	55		143	
4	08	25	930			325(33)	195(20)	33	60		131	
5	10	25	930			335(34)	205(21)	31	55		137	
6	15	25	920			375(38)	225(23)	27	55		143	
7	20	25	910			410(42)	245(25)	25	55		156	
8	25	25	900	870	600	450(46)	275(28)	23	50	71(9)	170	
9	30	25	880	860	600	490(50)	295(30)	21	50	63(8)	179	
10	35	25	870	850	600	530(54)	315(32)	20	45	55(7)	197	
11	40	25	860	840	600	570(58)	335(34)	19	45	47(6)	217	187
12	45	25	850	840	600	600(61)	355(36)	16	40	39(5)	229	197
13	50	25	830	830	600	630(64)	375(38)	14	40	31(4)	241	207
14	55	25	820	820	600	645(66)	380(39)	13	35		255	217
15	60	25	810			675(69)	400(41)	12	35		255	229