

REE

热处理实用技术丛书

淬火冷却技术 及淬火介质

CUIHUOLENGQUEJISHUJICUIHUOJIEZHI

于程歆 刘 林 主 编
于 旻 李 萍 副主编



辽宁科学技术出版社

热处理实用技术丛书

淬火冷却技术 及淬火介质

于程歆 刘 林 主 编
于 旻 李 萍 副主编

辽宁科学技术出版社

沈 阳

图书在版编目 (CIP) 数据

淬火冷却技术及淬火介质/于程歆, 刘林主编. — 沈阳: 辽宁科学技术出版社, 2010. 1

(热处理实用技术丛书)

ISBN 978 - 7 - 5381 - 5659 - 1

I. 淬… II. ①于…②刘… III. 冷却 - 淬火介质
IV. TG154. 4

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 201507 号

出版发行: 辽宁科学技术出版社

(地址: 沈阳市和平区十一纬路 29 号 邮编: 110003)

印刷者: 沈阳全成广告印务有限公司

经销者: 各地新华书店

幅面尺寸: 140mm × 203mm

印 张: 10.5

字 数: 270 万字

印 数: 1 ~ 4000

出版时间: 2010 年 1 月第 1 版

印刷时间: 2010 年 1 月第 1 次印刷

责任编辑: 韩延本

封面设计: 杜 江

版式设计: 于 浪

责任校对: 李淑敏

书 号: ISBN 978 - 7 - 5381 - 5659 - 1

定 价: 21.00 元

编辑部电话: 024 - 23284372

邮购热线: 024 - 23284502 23284357

本书网址: www.lnkj.cn/uri.sh/5659

《热处理实用技术丛书》 编写说明

随着我国装备制造业的快速发展，材料热处理领域的新技术不断涌现，企业对产品质量的要求越来越高，控制手段日趋智能化，广大工人和工程技术人员掌握技术、丰富科技知识的愿望越来越强烈。辽宁省机械工程学会热处理分会适时组织力量，策划编写了《热处理实用技术丛书》。

本丛书共七本，即《钢的化学热处理》、《结构钢及其热处理》、《工具钢及其热处理》、《不锈钢及其热处理》、《真空热处理》、《淬火冷却技术及淬火介质》、《燃料热处理炉》。

本丛书的指导思想为先进技术与一般技术相结合，理论与实践相结合，使其具备教科书和手册的双重功能，既适用于广大工人、工程技术人员，又可作为高校师生的参考书。丛书汇集了近年来我国在材料热处理领域研究的新技术、新成果，突出了“新”字，同时又列举了大量成熟的生产工艺，工艺数据较多，强化了“用”字。

《钢的化学热处理》一书内容丰富，涵盖了常规化学热处理的工艺，突出了质量检验、废品分析和测试技术。

《结构钢及其热处理》一书含有较多的基础理论，介绍了生产中常用的各种结构钢的热处理工艺。

《工具钢及其热处理》一书详细介绍了刀具钢、模具钢、量具钢、耐冲击工具钢、轧辊用钢的常用钢种及其热处理工艺，其中，塑料模具钢和热作模具钢等新钢种介绍的较多。应用实例、质量检验及废品分析占有较大的比例。

《不锈钢及其热处理》一书以作者多年的试验研究和热处理

实践为基础,介绍了不锈钢的热处理理论、热处理工艺、热处理中应注意的问题及相关的知识,是以作者的经验和成果为体系编写的,具有较强的实用性。

《真空热处理》一书介绍了真空基础知识、真空加热特点、各种真空热处理工艺及典型零件的真空热处理实例,并简要介绍了各种真空热处理炉。

《淬火冷却技术及淬火介质》一书介绍了各种淬火介质,特别是聚合物淬火介质和淬火油;介绍了磁场淬火、超声波淬火、强烈淬火、控制淬火等新淬火技术;介绍了淬火槽的自动控制和智能化控制系统;介绍了淬火冷却过程中的数值模拟技术。本书内容较新,是作者几十年从事淬火冷却介质和淬火槽冷却系统研究、生产的结晶。

《燃料热处理炉》一书介绍了传热学、流体力学和燃料学的基础知识,介绍了各种类型的燃料热处理炉以及节能、环保等方面的知识,是作者几十年教学和社会实践的总结。

丛书编写的具体工作由唐殿福秘书长负责。

丛书在编写过程中,得到了中国热处理学会、辽宁省机械工程学会以及国内一些知名专家、教授和企业的大力支持,在此表示衷心的感谢。

限于作者的知识水平和经历,书中的错误和不当之处在所难免,真诚地欢迎读者批评指正。

《热处理实用技术丛书》

编委会

主任 戚正风

副主任 李友 张立文 唐殿福

委员 徐维良 石家国 于程歆 田绍洁

郭晓光 张文华 吴建国 刘世永

包耳 汤洪智 董世柱

《钢的化学热处理》

主编 唐殿福 卯石刚

副主编 张焕敏

《真空热处理》

主编 包耳 田绍洁

《燃料热处理炉》

主编 吴建国 张卫军 战洪仁

《结构钢及其热处理》

主编 董世柱 徐维良

副主编 蔡淑芳

《工具钢及其热处理》

主编 姚艳书 唐殿福

副主编 郭冰峰

《不锈钢及其热处理》

主编 张文华

《淬火冷却技术及淬火介质》

主编 于程歆 刘林

副主编 于旻 李萍

前 言

淬火冷却技术作为热处理工艺过程的重要组成部分,自始至终伴随着热处理技术的发展而不断进步。但是,冷却技术的研究和控制水平却长期滞后于热处理的加热过程,即在热处理行业存在“重热轻冷”的现象。近十几年来,随着测量技术、计算机水平以及对淬火质量的要求不断提高,在淬火冷却技术方面的研究出现了可喜的成果,生产应用也得到了较快的发展。本书汇集了这些成果及生产应用,为热处理工作者提供了一本内容丰富的冷却技术方面的参考书。

全书共分五章:第一章,淬火冷却技术发展概况及其技术标准;第二章,淬火介质;第三章,淬火冷却技术;第四章,淬火冷却系统的自动控制及智能化;第五章,淬火冷却过程的数值模拟。

全书由于程歆、刘林主编,于旻、李萍副主编。参加编写的人员有唐殿福、郭晓光、曹邦兴、刘宪冬、李世勇、喻兴娟、姜聚满等。

限于编者的水平,书中的错误之处恐难避免。如果能够得到有关专家及同行的批评和指正,我们将不胜感谢。

编 者

目 录

前 言

第一章 淬火冷却技术发展概况及其技术标准····· 1

第一节 淬火冷却技术发展概况····· 1

一、淬火冷却技术发展概况····· 1

二、淬火介质发展概况····· 7

三、淬火冷却设备发展概况····· 10

四、淬火冷却技术发展趋势····· 11

第二节 淬火冷却技术的相关标准和淬火介质

冷却性能的评定····· 12

一、淬火冷却技术标准····· 12

二、热处理淬火介质标准存在的问题和不足····· 13

三、淬火介质冷却性能的评定····· 14

四、待批标准····· 17

第二章 淬火介质····· 21

第一节 概述····· 21

一、理想淬火介质····· 22

二、淬火介质的冷却过程····· 24

三、影响淬火介质冷却能力的因素····· 26

四、淬火介质一般技术要求及应用范围····· 28

五、淬火介质冷却性能试验方法····· 31

六、淬火介质冷却性能的评价方法与实例····· 40

第二节 水及无机物水溶液淬火介质····· 51

一、水····· 51

二、氯化钠水溶液	56
三、氢氧化钠（苛性钠）水溶液	59
四、碳酸钠水溶液	62
五、氯化钙水溶液	65
六、氯化镁水溶液	70
七、水玻璃水溶液	71
八、三氯水溶液	74
九、三硝水溶液	79
第三节 水溶性聚合物淬火介质	83
一、水溶性聚合物淬火介质的种类及特点	83
二、聚乙烯醇合成淬火介质	87
三、聚醚水溶液淬火介质	96
四、聚醚—乙二醇水溶液淬火介质	102
五、聚丙烯酸盐水溶液淬火介质	105
六、聚烷撑乙二醇（PAG）水溶液淬火介质	109
七、羟乙基纤维素（HEC）水溶液淬火介质	140
第四节 淬火油	142
一、机械油	143
二、热处理专用淬火油	148
三、淬火油的选择、使用和管理	162
第五节 其他淬火介质	178
一、分级、等温淬火用盐浴及碱浴淬火介质	178
二、气体淬火介质	185
三、悬浮粒子淬火介质	192
四、液—气雾化淬火介质	202
五、浆状淬火介质	205
六、各种淬火介质的冷却能力比较	214
第六节 利用常用钢热探头建立淬火冷却介质数据库	216
一、常用钢热探头淬火试验	216

二、淬火冷却介质数据库·····	218
第三章 淬火冷却技术 ·····	221
第一节 淬火方法 ·····	221
一、淬火冷却方法的分类·····	221
二、常用淬火冷却方法·····	223
三、其他淬火方法·····	227
四、定温淬火法·····	229
五、各种淬火法有关参数汇总·····	229
第二节 喷雾、喷风淬火技术 ·····	231
一、喷雾淬火技术·····	231
二、钢轨喷风淬火技术·····	233
第三节 磁场淬火技术 ·····	234
一、工艺原理·····	234
二、工艺设备·····	238
三、应用效果·····	239
第四节 超声波淬火技术 ·····	240
一、工艺原理·····	240
二、超声波淬火装置·····	243
三、超声波淬火应用效果·····	245
第五节 强烈淬火技术 ·····	247
一、强烈淬火原理·····	248
二、强烈淬火试验和钢淬火后的性能·····	250
三、强烈淬火的实际效果·····	251
第四章 淬火冷却系统的自动控制及智能化 ·····	253
第一节 搅拌对淬火油冷却能力及硬化效果的影响 ·····	253
一、搅拌对淬火油冷却能力的影响·····	253
二、不同强度搅拌对工件在油中淬火后表面 硬度及硬化深度的影响·····	254
第二节 介质搅拌系统及搅拌器 ·····	257

一、搅拌系统·····	258
二、螺旋桨搅拌器的结构·····	266
第三节 淬火冷却系统的设计计算·····	268
一、搅拌器功率的确定·····	268
二、淬火油的冷却·····	268
三、淬火介质的加热·····	271
第四节 商品化的多功能淬火槽·····	272
一、我国多功能淬火槽的研发情况·····	272
二、自动控制与智能控制的差别·····	275
第五节 大型工件淬火冷却系统的设计·····	276
一、大型工件淬火冷却系统设计原则·····	276
二、淬火冷却系统的构成·····	278
三、搅拌器的选择·····	278
四、淬火油及其温度控制·····	281
五、自动灭火·····	282
第五章 淬火冷却过程的数值模拟·····	283
第一节 重型燃机压气机盘淬火过程的数值 模拟与工艺优化·····	283
一、计算模型·····	284
二、模拟结果与分析·····	287
第二节 X38CrMo16 塑料模具钢模坯淬冷 温度场仿真与参数选择·····	294
一、仿真计算方法·····	294
二、试验分析·····	299
第三节 300、600MW 发电机转子喷水淬火数值模拟 ···	301
一、300MW 转子喷水淬火冷却工艺参数的确定 ·····	301
二、600MW 转子喷水淬火过程应力分析 ·····	307
第四节 淬火介质冷却性能测试软件系统·····	316
一、淬火介质冷却性能测试软件系统的组成·····	316

二、数据处理系统中的数值分析方法·····	317
三、计算机程序设计·····	319
四、应用实例·····	320
参考文献 ·····	322

淬火冷却技术发展概况及其技术标准

第一节 淬火冷却技术发展概况

一、淬火冷却技术发展概况

淬火冷却技术作为热处理工艺过程的重要组成部分,自始至终伴随着热处理技术的发展而不断进步。但是,由于冷却过程的复杂性和瞬间完成的特点,加之测量仪器和研究手段的局限,而使其研究水平和控制水平滞后于热处理的加热过程。近些年来,随着测量技术、计算水平、重视程度以及对淬火质量的要求不断提高,在淬火冷却过程机制研究、过程模拟、控制冷却、新型淬火方法、新型淬火介质、淬火介质评价以及冷却技术标准制订等领域取得了显著的进展。

1. 淬火冷却过程计算机模拟技术

20 世纪 70 年代末,ASM 组织(淬火冷却委员会)已经把计算机数值模拟作为现代热处理技术的一个重要组成部分,并把它作为保持竞争力的重要手段。Kobasko 通过模拟给出了淬火件获得最大表面压应力的时间,解决了汽车半轴用 40 钢代替 40CrNi2Mo 钢强烈淬火获得最大表面压应力的淬火工艺问题。

上海交通大学在 20 世纪 90 年代中期完成了国家自然科学基金资助的“界面条件剧变的淬火冷却过程计算机模拟与淬火工艺 CAD”项目,实现了形状复杂的工件在复杂的淬火操作过程中,温度场、相变、应力/应变的模拟。例如:卡爪淬火冷却时

温度场十分复杂,由于厚薄相差悬殊,温差很大,淬火时容易开裂,需要采用预冷→水淬→油冷或预冷→水淬→自回火等复杂的操作方法。在相继进行的不同冷却阶段中,表面换热系数相差几个数量级,只有采用界面换热条件剧变的处理方法,才能较好地模拟卡爪的淬火冷却过程,才能正确地预测淬火后的组织分布和性能分布。试验表明,模拟结果与实测结果基本相符,在生产应用中收到了避免淬火开裂、合格率达到100%的效果。此外,清华大学、大连理工大学等在淬火冷却过程计算机模拟方面也都进行了大量的研究工作。

实际工件的淬火冷却是一个十分复杂的过程,涉及到温度场、相变场、应力/应变场和流体场的瞬间变化和交互影响。在计算机模拟中,要全面考虑温度变化引起的应力和应变、相变的体积效应、相变塑性、应力对相变动力学的影响、物性参数随温度的变化、介质的动态特性和湿润过程等多种因素的影响。因此,获得与实际情况相吻合的物性参数和边界条件是模拟的前提。虽然,与淬火冷却过程计算机模拟相关的基础理论研究工作近些年来发展很快,但是,模拟工作仍是一个不断完善、基础数据的测试与积累和与实际工件对比修正的过程。尽管许多模拟与实际还存在较大的误差,但模拟与必要的实际工件测试或热物理过程模拟相结合,可成为研究淬火冷却机制和制订工艺参数的有效决策工具。

2. 磁场淬火技术

磁场淬火是将淬火工件,浸入到有稳定磁场或强脉冲磁场作用下的淬火介质中冷却的工艺方法。

磁场作为一种新型的冷物理场,在材料研究领域得到了日益广泛的重视,研究物质在强冷物理场中的各种性质变化已成为一项崭新的研究课题。磁场作用的实质是一种能量的传递过程,与传统的能量场(如温度场、应力场等)类似。但与传统的能量场相比,磁场的作用机制有所不同,磁场是通过影响物质中电子

运动状态使相变发生变化的。

20 世纪 30 年代, Kelsall 首先指出磁场对软磁材料的热处理及处理后的磁性能有影响。在以后的 20 多年时间里, 物理学者们对这种影响及其机制进行了深入的探讨, 并成功地推出了用于改善软磁材料磁性的磁场热处理方法。在磁场的作用下, 用于改善各种金属材料力学性能的热处理方法称为磁场热处理, 此法于 1959 年由美国 RDCA 公司的总冶金师 Bassett 最先提出, 故称为贝氏法。

从 20 世纪 60 年代起, 我国研究人员就开始了磁场淬火的研究, 先后有近 20 篇的论文发表于各种杂志上。综合国内外学者们的理论与实验, 磁场淬火有如下特点。

(1) 磁场淬火可促进奥氏体向马氏体转变, 使 M_s 点提高, 残余奥氏体量减少, 并细化马氏体组织。

(2) 磁场淬火能使马氏体嵌块碎化并形成明显的织构, 采用交变纵向磁化、提高含碳量或提高磁场强度, 都能提高磁场淬火的效果。

(3) 在磁场中淬火冷却会使 CCT 曲线左移, 降低过冷奥氏体的稳定性。

(4) 在脉冲磁场等温淬火条件下, 也会降低过冷奥氏体的稳定性, 但会促进过冷奥氏体向贝氏体转变, 可缩短等温时间。

(5) 磁场淬火可降低淬火形成的组织应力, 有利于减少淬火畸变与开裂。

(6) 磁场淬火可提高钢和铸铁的力学性能。

从现有的资料看, 磁场淬火工艺方法可应用于碳素结构钢、碳素工具钢、合金钢及铸铁, 而应用于铸铁的效果更为明显。

磁场淬火具有重要的理论和应用价值, 随着理论研究的深入及设备制造水平的提高, 相信磁场淬火这项热处理工艺将在工业生产中得到更广泛的应用。

3. 流态床淬火技术

自 20 世纪 60 年代起, 流态床开始引入热处理生产, 作为加热或冷却设备。近 20 年, 流态床淬火冷却技术已越来越受到热处理工作者的重视, 对流态床的冷却特性和机制进行了大量的研究, 并已在铝合金和钢铁热处理的淬火冷却中得到应用, 解决了一些特殊零件在传统工艺中所出现的畸变和开裂的问题, 并成功地用于代替铅浴进行钢丝强韧化处理。

已有研究表明: 淬火件在流态床中冷却, 其畸变仅是油淬的 $1/3$ 左右, 工件处理后不需清洗, 表面光洁; 作为淬火介质, 流态床没有着火、爆炸、老化、腐蚀等问题, 且冷却能力在一定范围内稳定可调。然而, 它存在着一个严重的不足, 就是在过冷奥氏体不稳定区的冷速较慢, 这就限制了一部分钢种及大尺寸工件的淬火。为此, 围绕强化它对工件高温阶段的冷却能力开展了较多的工作。实验表明, 在保证流化质量良好的情况下, 调整流化气体的压力和流量、流动粒子的种类和大小、流态床的结构和尺寸均不能明显改变流态床的冷却能力。采用对流态床微量喷水和利用循环液氮降低床层温度的办法, 可使高温阶段的冷速提高 $10\% \sim 20\%$, 但同时带来结构复杂、操作和控制难度增加、成本较高等不利因素。江苏理工大学程晓农教授研制出半导体致冷流态床, 使床层温度稳定在 -30°C , 与室温床相比冷却能力提高了 20% 以上, 冷速大于 40% 903 聚醚淬火液 50% 左右, 略低于淬火油。用于 7CrSiMnMoV 钢制弹簧片成型凸模, 硬度为 HRC65, 比油淬高 HRC1 ~ 2, 畸变量最大仅为 0.004mm , 为油淬时 $1/3$ 左右, 表面光洁, 使用寿命比油淬提高近 8 倍左右。

4. 强烈淬火技术 (Intensive Quenching)

强烈淬火技术最早是在 1964 年由 Ковалко 博士发现和提出的。1992 年, 乌克兰科学院工程热物理研究所的 H. N. Ko6cko 院士研究开发出一种可避免开裂、减少畸变的钢材和钢件强烈淬火技术。强烈淬火技术是采用高速搅拌或高压喷射或 CaCl_2 水溶

液或液氮中进行快速冷却，当工件的表面层形成最大压应力时，强烈淬火过程停止，随后进行等温冷却。

强烈淬火技术的优点如下。

- (1) 与油淬的零件相比，使用寿命提高 3~4 倍。
- (2) 可用低成本的碳钢或低合金钢替代中、高合金钢。
- (3) 可用水或水溶性介质替代油。
- (4) 工艺稳定，易于实现自动化生产。

目前，强烈淬火技术在汽车半轴、链轮、轴承圈、紧固件、销轴和模具上得到了应用。

5. 控制冷却技术

控制冷却技术是指通过对淬火件的淬火冷却条件（如介质流速、介质温度等）的研究，控制其中的相关因素而得到所要求的组织及性能的技术。随着计算机技术的发展，以及控制技术与计算机的紧密结合，淬火冷却过程正向可控方向发展。

S. W. Han 等人提出了控制浸淬系统 ITQS (Immersion Time Quenching System)。该系统的核心是通过控制搅拌的速度和方向来实现在淬火开始阶段增大淬火烈度，以获得高硬度，当工件温度达到 M_s 点区域时，减低淬火烈度以减小工件的畸变和开裂倾向。结果表明，该系统对于减小工件畸变的效果明显。ITQS 系统成功的关键是精确地确定初始冷却阶段 (ARI) 的冷却时间，其方法是通过计算或试验测量得出获得一定淬硬层所要求的 H 因子（相当于淬火烈度），然后再查相应的表，确定 ARI 所需要的时间。ITQS 系统与传统的实时淬火方法的差别在于，前者改变搅拌速度的时间次序是由理论计算，并经试验验证的，然后用计算机控制使其在生产实际中重现；而后者则采用反复试验的方法，其成功与否是由操作者决定的，重现性较差。

控制冷却技术所用淬火介质可以用油或者水溶性聚合物，控制技术的关键是确定达到 M_s 点的时间。

应用实例。直径为 1100mm、模数 8mm 的齿轮毛坯，进行调