

中国材料 工程大典

中国机械工程学会 中国材料研究学会



中国材料工程大典编委会

第15卷 材料热处理工程

樊东黎 潘健生 徐跃明 佟晓辉 主编



化学工业出版社

CHINA MATERIALS ENGINEERING CANON

中国材料工程大典

中国机械工程学会 中国材料研究学会



中国材料工程大典编委会

第15卷

材料热处理工程

樊东黎 潘健生 主编
徐跃明 佟晓辉



化学工业出版社

北京·北京

(京) 新登字 039 号

内 容 简 介

中国材料工程大典是中国机械工程学会和中国材料研究学会共同组织全国 39 位院士、百余位各学科带头人、千余位材料工程专家共同执笔编写, 全面反映当今国内外材料工程领域发展的最新资料和最新成果, 集实用性、先进性和权威性于一体的大型综合性工具书。中国材料工程大典包括材料工程基础、钢铁材料工程、有色金属材料工程、无机非金属材料工程、复合材料工程、信息功能材料工程、粉末冶金材料工程、高分子材料工程、材料热处理工程、材料表面工程、材料铸造成形工程、材料塑性成形工程、材料焊接工程、材料特种加工成形工程、材料表征与检测技术等内容, 涵盖了材料工程的各个领域, 将最新的实用数据 (特别是与国际接轨的标准数据)、图表与先进实用的科研成果系统地集合起来, 并附应用实例, 充分显示了材料工程各领域的现状和未来。中国材料工程大典不仅可以满足现代企业正确选材, 合理用材, 应用先进的材料成形加工技术, 提高产品质量和性能, 降低产品成本, 增强产品市场竞争力的需要, 而且对推动中国材料科学与材料成形加工技术的不断创新, 促进制造业的发展, 提高我国制造业的竞争能力, 具有重要的现实意义。

本书为第 15 卷, 材料热处理工程。主要内容包括材料热处理技术基础、材料热处理工艺、热处理设备、材料热处理、热处理 CAD/CAM/CAE、热处理清洁生产和安全、热处理质量控制与无损检测等。

本书主要供具有大专以上文化水平, 从事材料工程研究的工程技术人员在综合研究和处理材料热处理工程的各种技术问题时使用, 起备查、提示和启发的作用, 也可供研究人员、理工院校的有关师生参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

中国材料工程大典. 第 15 卷, 材料热处理工程/樊东黎等主编. —北京: 化学工业出版社, 2005.8
ISBN 7-5025-7317-8

I. 中… II. 樊… III. ①材料科学 ②材料—热处理 IV. ①TB3 ②TG156

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 094436 号

中国材料工程大典 第 15 卷 材料热处理工程

中国机械工程学会

中国材料研究学会

中国材料工程大典编委会

樊东黎 潘建生 徐跃明 佟晓辉 主编

责任编辑: 周国庆 陈志良 李骏带

责任校对: 李 林

封面设计: 雷嘉琦

*

化学工业出版社出版发行

(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码: 100029)

购书咨询: (010)64982530

(010)64918013

购书传真: (010)64982630

<http://www.cip.com.cn>

*

新华书店北京发行所经销

北京蓝海印刷有限公司印装

开本 880mm×1230mm 1/16 印张 59¼ 字数 2743 千字

2006 年 1 月第 1 版 2006 年 1 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5025-7317-8

定价: 160.00 元

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者, 本社发行部负责退换



中国材料工程大典编委会



主任：路甬祥



常务副主任：李成功



总策划：宋天虎



中国材料工程大典编委会工作会议

2003.12.08~09于北京



总策划：黄远东



总编辑：李骏带



中国材料工程大典编委会会议

徐滨士 颜鸣春 宋天虎 白春礼 陆燕荪 路甬祥 何光远 师昌绪 黄培云 李成功 干勇

2004.7.19~21 于青岛



中国材料工程大典编委会

顾问: 师昌绪 严东生 李恒德 何光远 陆燕荪 徐匡迪 李学勇

栾恩杰 王淀佐 朱道本 颜鸣皋 黄培云 周 廉 左铁镞

主任: 路甬祥

常务副主任: 李成功

副主任: 钟群鹏 干 勇 黄伯云 江东亮 徐滨士 王占国 潘健生 杜善义 胡正寰 柳百成 徐祖耀 陈立泉

总策划: 宋天虎 黄远东

总编辑: 李骏带

秘书长: 黄远东 (兼)

委员: (按姓氏笔画排列)

丁 辛 (东华大学教授)

丁传贤 (中科院上海硅酸盐研究所研究员、院士)

干 勇 (钢铁研究总院院长、院士)

于月光 (北京矿冶研究总院副总工程师、教授)

才鸿年 (国防科工委专家咨询委委员、院士)

马世宁 (装甲兵工程学院教授)

马冲先 (上海材料研究所教授)

马济民 (北京航空材料研究院教授)

马眷荣 (中国建筑材料科学研究院教授)

马福康 (北京有色金属研究总院教授)

王占国 (中科院半导体研究所研究员、院士)

王务同 (上海材料研究所教授)

王尔德 (哈尔滨工业大学教授)

王永岩 (辽宁工程技术大学教授)

王亚军 (中航一集团625所副所长、教授)

王至尧 (中国航天科技集团502所研究员)

王克光 (中国材料研究学会秘书长、教授)

王克俭 (北京航空材料研究院高级工程师)

王高潮 (南昌航空工业学院教授)

王淀佐 (中国工程院常务副院长、院士)

王琦安 (科学技术部高新司材料处处长)

王新林 (钢铁研究总院教授)

王德志 (中南大学教授)

方禹之 (华东师范大学教授)

尹志民 (中南大学教授)

邓 炬 (西北有色金属研究院教授)

左铁钊 (北京工业大学教授)

左铁镞 (北京工业大学教授、院士)

石力开 (北京有色金属研究总院教授)

石春山 (中科院长春应用化学研究所研究员)

卢世刚 (北京有色金属研究总院教授)

叶小玲 (中科院半导体研究所教授)

叶光斗 (四川大学教授)

田志凌 (钢铁研究总院副院长、教授)

田荣璋 (中南大学教授)

史耀武 (北京工业大学教授)

冯 涤 (钢铁研究总院教授)

冯 稷 (中科院物理研究所教授)

冯春祥 (国防科技大学教授)

宁远涛 (昆明贵金属研究所教授)

邢建东 (西安交通大学教授)

师昌绪 (国家自然科学基金委员会顾问、院士)

吕 炎 (哈尔滨工业大学教授)

吕反修 (北京科技大学教授)

同继锋 (中国建筑材料科学研究院教授)

曲文生 (中科院金属研究所高级工程师)

朱万森 (复旦大学教授)

朱如瑾 (四川大学教授)

朱绍华 (装甲兵工程学院教授)

朱道本 (国家自然科学基金委员会副主任、院士)

仲维卓 (中科院上海硅酸盐研究所教授)

任家烈 (清华大学教授)

华 林 (武汉理工大学教授)

刘 明 (中科院微电子所研究员)

刘正才 (钢铁研究总院教授)

刘世参 (装甲兵工程学院教授)

刘占阳 (哈尔滨玻璃钢研究所教授)

刘邦津 (钢铁研究总院教授)

刘作信 (北京冶金设备研究院教授)

刘其贤 (哈尔滨玻璃钢研究所研究员)

刘郁丽 (西北工业大学教授)

刘治国 (南京大学教授)

刘建章 (西北有色金属研究院教授)

刘晋春 (哈尔滨工业大学教授)

刘清友 (钢铁研究总院教授)

刘献明 (中科院理化技术研究所教授)

齐从谦 (同济大学教授)

闫 洪 (南昌大学教授)

江东亮 (中科院上海硅酸盐研究所教授、院士)

许祖泽 (钢铁研究总院教授)

许祖彦 (中科院物理研究所研究员、院士)

阳明书 (中科院化学研究所研究员)

孙 坚 (上海交通大学教授)

孙加林 (昆明贵金属研究所所长、教授)

杜善义 (哈尔滨工业大学教授、院士)

杨 合 (西北工业大学教授)	汪明朴 (中南大学教授)
杨 武 (上海材料研究所教授)	沈 真 (中航一集团623所研究员)
杨乃宾 (北京航空航天大学教授)	沈万慈 (清华大学教授)
杨才福 (钢铁研究总院教授)	沈德忠 (清华大学教授、院士)
杨鸣波 (四川大学教授)	宋天虎 (中国机械工程学会秘书长、教授)
杨忠民 (钢铁研究总院教授)	张 力 (国防科工委经济与协调司副司长、研究员)
杨晓华 (福州大学教授)	张 扬 (四川大学教授)
杨海波 (北京科技大学教授)	张 华 (贵州安大航空锻造公司副总经理)
杨焕文 (中国有色金属学会副秘书长、教授)	张 杰 (北京科技大学教授)
杨德仁 (浙江大学教授)	张 金 (中国锻压协会秘书长、教授)
李 强 (福州大学教授)	张 峥 (北京航空航天大学教授)
李 晋 (上海材料研究所教授)	张子龙 (北京航空材料研究院高级工程师)
李 楠 (武汉科技大学教授)	张用宾 (中国建筑材料科学研究院教授)
李长久 (西安交通大学教授)	张立同 (西北工业大学教授、院士)
李龙土 (清华大学教授、院士)	张永俐 (昆明贵金属研究所教授)
李成功 (中国材料研究学会荣誉理事、教授)	张吉龙 (中国铝业公司教授)
李光福 (上海材料研究所教授)	张旭初 (中国材料工程大典编委会教授)
李志刚 (华中科技大学教授)	张佐光 (北京航空航天大学教授)
李明哲 (吉林大学教授)	张晋远 (钢铁研究总院教授)
李明辉 (上海交通大学教授)	张康侯 (昆明贵金属研究所教授)
李学勇 (科学技术部副部长)	张道中 (中科院物理研究所教授)
李虹霞 (洛阳耐火材料研究院教授)	张新民 (中南大学教授)
李恒德 (清华大学教授、院士)	陆燕荪 (原机械工业部副部长)
李贺军 (西北工业大学教授)	陈 琦 (沈阳铸造研究所教授)
李海军 (宁夏东方铝业股份有限公司高级工程师)	陈文哲 (福州大学教授)
李骏带 (中国材料工程大典编委会高级工程师)	陈世朴 (上海交通大学教授)
李鹤林 (石油天然气公司管材研究所教授、院士)	陈立泉 (中科院物理研究所教授、院士)
严东生 (中科院上海硅酸盐研究所教授、院士)	陈运远 (上海材料研究所教授)
连克仁 (苏州特种加工研究所教授)	陈志良 (化学工业出版社编审)
肖亚庆 (中国铝业公司总经理、教授)	陈国钧 (钢铁研究总院教授)
吴 行 (装甲兵工程学院教授)	陈治明 (西安理工大学校长、教授)
吴 昆 (哈尔滨工业大学教授)	陈南宁 (北京钢铁设计研究总院教授)
吴 诚 (上海材料研究所教授)	陈祝年 (山东大学教授)
吴永声 (四川大学教授)	陈晓慈 (中国第二重型机械集团公司副总工程师)
吴伟仁 (国防科工委科技与质量司司长、研究员)	陈涌海 (中科院半导体研究所研究员)
吴性良 (复旦大学教授)	陈祥宝 (北京航空材料研究院研究员)
吴科如 (同济大学教授)	陈超志 (中国机械工程学会高级工程师)
吴恩熙 (中南大学教授)	林慧国 (钢铁研究总院教授)
吴谊群 (中科院上海光学机械研究所研究员)	欧阳世翥 (中国建筑材料科学研究院教授)
吴智华 (四川大学教授)	卓尚军 (中科院上海硅酸盐研究所研究员)
吴德馨 (中科院微电子所研究员、院士)	易建宏 (中南大学教授)
何光远 (原机械工业部部长、教授)	罗祥林 (四川大学教授)
何季麟 (宁夏东方有色金属集团公司总裁、院士)	罗豪魁 (中科院上海硅酸盐研究所教授)
佟晓辉 (中国热处理行业协会研究员)	果世驹 (北京科技大学教授)
邱 勇 (清华大学教授)	周 廉 (西北有色金属研究院教授、院士)
邱冠周 (中南大学副校长、教授)	周伟斌 (化学工业出版社副社长、编审)
邱德仁 (复旦大学教授)	周国庆 (化学工业出版社副总编辑、编审)
余金中 (中科院半导体研究所研究员)	郑有爔 (南京大学教授、院士)
邹广田 (吉林大学教授、院士)	柳玉起 (华中科技大学教授)

柳百成 (清华大学教授、院士)
胡玉亭 (太原钢铁集团公司总工程师、教授)
胡正寰 (北京科技大学教授、院士)
南策文 (清华大学教授)
赵万生 (哈尔滨工业大学教授)
赵有文 (中科院半导体研究所研究员)
赵国群 (山东大学教授)
赵金榜 (上海市涂料研究所教授)
赵梓森 (武汉邮电科学研究院研究员、院士)
赵慕岳 (中南大学教授)
钟群鹏 (北京航空航天大学教授、院士)
施东成 (北京科技大学教授)
施剑林 (中科院上海硅酸盐研究所教授)
姜不居 (清华大学教授)
姜晓霞 (中科院金属研究所研究员)
祖荣祥 (钢铁研究总院教授)
姚 燕 (中国建筑材料科学研究院院长、教授)
贺守华 (国防科工委经济与协调司处长)
耿 林 (哈尔滨工业大学教授)
聂大钧 (宁夏东方有色金属集团公司教授)
贾成厂 (北京科技大学教授)
顾冬红 (中科院上海光学机械研究所研究员)
夏巨湛 (华中科技大学教授)
夏志华 (北京有色金属研究总院教授)
俸培宗 (化学工业出版社社长、编审)
徐匡迪 (中国工程院院长、院士)
徐廷献 (天津大学教授)
徐建军 (四川大学教授)
徐祖耀 (上海交通大学教授、院士)
徐家文 (南京航空航天大学教授)
徐跃明 (中国机械工程学会热处理学会研究员)
徐滨士 (装甲兵工程学院教授、院士)
殷树言 (北京工业大学教授)
翁宇庆 (中国金属学会理事长、教授)
郭会光 (太原重机学院教授)
郭景杰 (哈尔滨工业大学教授)
高瑞萍 (国家自然科学基金委员会研究员)
栾恩杰 (国防科工委专家咨询委主任、研究员)
唐仁政 (中南大学教授)
唐汝钧 (上海材料研究所教授)
唐志玉 (四川大学教授)
唐昌世 (首都钢铁集团公司教授)
益小苏 (北京航空材料研究院教授)
涂善东 (南京工业大学教授)
黄 勇 (清华大学教授)
黄天佑 (清华大学教授)
黄玉东 (哈尔滨工业大学教授)
黄本立 (厦门大学教授、院士)
黄远东 (中国材料工程大典编委会高级工程师)

黄伯云 (中南大学校长、院士)
黄校先 (中科院上海硅酸盐研究所教授)
黄培云 (中南大学教授、院士)
曹勇家 (钢铁研究总院教授)
曹湘洪 (中国石油化工股份有限公司董事、院士)
龚七一 (中国化工学会秘书长、教授)
崔 健 (上海宝钢集团公司副总经理、教授)
康喜范 (钢铁研究总院教授)
梁 齐 (上海交通大学教授)
梁 军 (哈尔滨工业大学教授)
梁志杰 (装甲兵工程学院高级工程师)
屠海令 (北京有色金属研究总院院长、教授)
隋同波 (中国建筑材料科学研究院教授)
韩凤麟 (中机协粉末冶金分会教授)
彭艳萍 (国防科工委科技与质量司高级工程师)
葛子干 (北京航空材料研究院院长、教授)
董 瀚 (钢铁研究总院教授)
董汉山 (英国伯明翰大学教授)
董首山 (中科院金属研究所研究员)
董祖珏 (机械科学研究院教授)
董湘怀 (上海交通大学教授)
蒋力培 (北京石油化工学院教授)
蒋建平 (浙江大学教授)
傅绍云 (中科院理化技术研究所研究员)
储君浩 (上海技术物理研究所教授)
谢邦互 (四川大学教授)
谢里阳 (东北大学教授)
谢建新 (北京科技大学副校长、教授)
鄢国强 (上海材料研究所教授)
雷天民 (西安理工大学教授)
路甬祥 (中国机械工程学会理事长、院士)
解应龙 (哈尔滨焊接技术培训中心教授)
解思深 (中科院物理研究所教授、院士)
雍歧龙 (钢铁研究总院教授)
蔡中义 (吉林大学教授)
漆 玄 (上海交通大学教授)
谭 抚 (中国硅酸盐学会副秘书长、教授)
熊守美 (清华大学教授)
靳常青 (中科院物理研究所教授)
樊东黎 (中国热处理行业协会教授)
黎文献 (中南大学教授)
颜永年 (清华大学教授)
颜鸣皋 (北京航空材料研究院教授、院士)
潘正安 (化学工业出版社总编辑、编审)
潘叶金 (中南大学教授)
潘振魁 (中科院上海硅酸盐研究所教授)
潘健生 (上海交通大学教授、院士)
燕 瑛 (中国复合材料学会秘书长、教授)
戴国强 (科学技术部高新司副司长)

鸣 谢

在编写过程中,得到以下部门和单位的支持和协作,使《中国材料工程大典》得以顺利编撰完成。在此,中国材料工程大典编委会代表全体作者表示衷心感谢!

支持部门: 中华人民共和国科学技术部
国防科学技术工业委员会
国家自然科学基金委员会
中国科学技术协会
中国科学院
中国工程院

协 作 单 位

钢铁研究总院	北京科技大学
北京有色金属研究总院	北京航空航天大学
北京航空材料研究院	中国航天集团第 703 研究所
中国建筑材料科学研究院	中国特种设备检测研究中心
中国科学院金属研究所	哈尔滨工业大学
中国科学院上海硅酸盐研究所	贵州安大航空锻造公司
上海宝钢集团公司	东北大学
中国石油化工集团公司	西安重型机械研究所
中国铝业公司	中国科学院半导体研究所
清华大学	四川大学
中南大学	北京航空制造工程研究所
太原钢铁集团公司	中国科学院物理研究所
西北有色金属研究院	西北工业大学
宁夏东方有色金属集团公司	北京矿冶研究总院
华中科技大学	沈阳铸造研究所
中国第二重型机械集团公司	江苏法尔胜公司

序

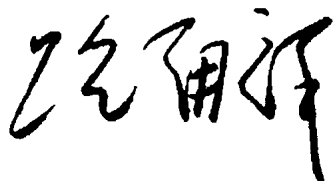
材料是当代社会经济发展的物质基础，也是制造业发展的基础和重要保障。进入 21 世纪以来，随着经济全球化的发展和中国的崛起，现代制造业的重心正不断向中国转移。据统计，今天中国制造业直接创造国民生产总值的 1/3 以上，约占全国工业生产的 4/5，为国家财政提供 1/3 以上的收入，占出口总额的 90%。但是与发达国家相比，我国制造业的水平不高、自主创新能力不足、高端市场竞争力还不强。我国虽然已是世界制造业大国，但还不是世界制造业强国。在有关因素中，材料工程基础薄弱是制约我国制造业发展的关键因素。广义的材料工程包括材料制备、测试和加工成形过程。为了提高我国制造业的水平和竞争力，突破材料工程这个薄弱环节，中国机械工程学会和中国材料研究学会牵头，会同中国金属学会、中国化工学会、中国硅酸盐学会、中国有色金属学会、中国复合材料学会共同组织编撰《中国材料工程大典》（简称《材料大典》），其目的是力图为我国制造业提供一部集科学性、先进性和实用性于一体的综合性专业工具书。以满足广大科技工作者的迫切需求，为科技自主创新和我国制造业的崛起加强技术基础。

经过 5 年多的艰苦努力，《材料大典》终将出版了。这部共 26 卷约 7000 万字的巨著，是 39 位两院院士和 1200 余位参编专家教授们辛勤劳动的智慧结晶。有的作者为此牺牲了健康，如一位退休了的总工程师，为了把他多年的研究成果和实践经验写成书稿，由于长时间写作，导致眼睛视网膜脱落……。这种敬业精神与坚强毅力是值得我们学习铭记的。借此机会，我们要感谢中国金属学会、中国化工学会、中国硅酸盐学会、中国有色金属学会、中国复合材料学会的支持。这些学会的众多专家教授积极参与了《材料大典》编写工作，与中国机械工程学会和中国材料研究学会的专家教授一起完成这项艰巨任务，从而使《材料大典》在完整性与先进性、科学性与实用性的结合上得到了加强；我们要感谢科学技术部、国防科学技术工业委员会、国家自然科学基金委员会、中国科学技术协会、中国科学院、中国工程院，以及各协作单位对编写工作的大力支持和积极帮助；我们也要感谢师昌绪院士等顾问的殷切指导，他们在编委会的两次工作会议上提出了许多重要的意见和建议，平时也给予了经常关心和指导，使我们少走了许多弯路；我们还要对关心和支持《材料大典》编写工作的科研院所、院校、企业以及有关人员表示感谢。没有大家的支持与协同，就不可能有《材料大典》的成功编写和顺利出版。

《材料大典》既总结了 10 多年来在材料工程方面的最新数据、图表及科研成果，还汇集了国内外在材料工程方面的成熟经验和先进理念，它体现了科学性、先进性和实用性的结合。可供具有大专以上文化水平的有关工程技术人员查阅使用，也可供理工院校的师生参考。

编撰《材料大典》涉及范围广，难度大，书中不可避免地会存在一些缺点和不足之处，恳请各位读者指正。

中国机械工程学会理事长
中国材料工程大典编委会主任



2005 年 9 月 23 日

前 言

《材料热处理工程》卷是《中国材料工程大典》中的卷目之一。

材料热处理是材料科学与工程学科和材料应用技术的重要组成部分,是有效利用材料、充分发挥材料潜力,节能节材的得力手段。本卷内容囊括了材料热处理技术基础、材料热处理工艺、热处理设备、材料热处理、热处理 CAD/CAM/CAE/、热处理清洁生产和安全以及热处理质量控制与无损检测等,强调内容新颖,注重实用便查。

参加本卷编写的有全国著名热处理企业、研究所及大学等各方面专家教授共 20 余位,最后由樊东黎、潘健生、徐跃明、佟晓辉进行统稿。参加编写的主要单位有中国机械工程学会热处理学会、中国热处理行业协会、全国热处理标准化技术委员会、上海交通大学、清华大学、哈尔滨工业大学、北京航空材料研究院、北京机电研究所、福州大学、北京联合大学、江苏大学等。本卷共设 8 篇 45 章,约 270 万字。各篇主编如下:

第 1 篇 概论	樊东黎
第 2 篇 材料热处理技术基础	樊东黎
第 3 篇 材料热处理工艺	徐跃明
第 4 篇 热处理设备	佟晓辉
第 5 篇 材料热处理	徐跃明
第 6 篇 热处理 CAD/CAM/CAE	潘健生
第 7 篇 热处理清洁生产和安全	樊东黎
第 8 篇 热处理质量控制与无损检测	佟晓辉

本卷的编写以总结国内先进经验、科研开发和引进技术的消化吸收为主。在 CAD/CAM/CAE、清洁生产和安全、质量控制与无损检测等方面,特别注重吸收国外成熟的先进技术和实践经验,力求使得技术参数、图表和科研成果最具科学性、先进性、可靠性和实用性。本书的读者对象是供大专文化程度以上,从事热处理工作的工程技术人员查阅使用,也可供科研、开发、设计、教学、生产、管理人员和技术工人参考。

尽管本卷主编和编者下了很大功夫,力求达到上述编写原则要求,但也难免有遗漏和不足之处,请读者在使用之余批评指正。

樊东黎 潘健生
徐跃明 佟晓辉

2005 年 12 月 6 日

目 录

第1篇 概论	1	6 技术要求在零件图样上的表示方法	32
第1章 材料热处理在现代制造业中的地位和作用	3	第2章 材料热处理术语	38
1 热处理工艺种类	3	1 金属热处理工艺术语	38
1.1 整体热处理	3	1.1 总类	38
1.2 表面热处理	3	1.2 退火类	39
1.3 化学热处理	3	1.3 淬火类	40
1.4 形变热处理	3	1.4 回火类	41
1.5 等离子热处理	4	1.5 固溶热处理类	41
1.6 表面沉积技术	4	1.6 渗碳类	41
1.7 镀层复合热处理	4	1.7 渗氮类	42
2 提高和发挥材料性能的潜力	4	1.8 渗其他非金属及渗金属类	42
2.1 提高材料的各种力学性能	4	1.9 共渗类	42
2.2 提高材料的物理性能	5	1.10 表面处理及复合热处理类	42
2.3 提高材料的化学性能	5	1.11 沉积类	43
2.4 提高材料的工艺性能	5	1.12 组织类	43
3 热处理与相邻加工工艺的关系	6	1.13 热处理缺陷类	44
第2章 材料热处理技术发展史	7	2 热处理设备术语	44
1 中国古代的热处理	7	2.1 一般术语	44
2 中国近代热处理进展	9	2.2 热处理炉通用术语	45
2.1 热处理行业现状	10	2.3 热处理电热设备	46
2.2 科研、开发和新技术应用成果	10	2.4 热处理炉通用配套设备	47
2.3 热处理标准化的进展	12	2.5 热处理燃料炉	47
2.4 热处理行业、学术团体	13	2.6 淬火冷却装置	47
第3章 热处理技术展望	14	2.7 清洗与清理设备	48
1 历史的回顾	14	2.8 其他辅助设备	48
2 热处理的总体发展战略	14	3 热处理工艺材料术语	48
2.1 可持续发展战略	14	3.1 总类	48
2.2 产品质量的不断提高	15	3.2 热处理常用气氛类	48
2.3 能源的有效利用	15	3.3 热处理盐浴用盐类	48
2.4 精确的生产过程	15	3.4 渗其他非金属剂与渗金属剂及其共渗剂类	49
2.5 高效的生产技术	15	3.5 淬火冷却介质类	49
3 先进热处理技术的发展方向	15	3.6 热处理保护涂料类	49
3.1 少无污染	15	第3章 合金相图与金属热处理的关系	51
3.2 少无畸变	17	1 Fe-Fe ₃ C 合金相图及其应用	51
3.3 少无(质量)分散	19	2 合金元素对钢铁组织和性能的影响	53
3.4 少无浪费(能源)	19	2.1 Fe-C 合金相图与热处理温度的关系	53
3.5 少无氧化	21	2.2 合金元素的影响	54
3.6 少无脱碳	26	3 其他金属合金相图	58
3.7 少无废品	26	第4章 材料热处理的加热	82
3.8 少无人工	26	1 钢在加热过程中的转变	82
4 热处理生产技术改造的途径	26	1.1 珠光体-奥氏体转变	82
4.1 设备更新	27	1.2 铁素体-珠光体向奥氏体的等温转变	82
4.2 知识和技能的再教育	27	1.3 连续加热时的奥氏体形成过程	83
4.3 不断提高新技术开发能力	27	1.4 钢加热时的奥氏体晶粒长大	85
参考文献	28	1.5 钢的晶粒度对性能的影响	85
第2篇 材料热处理技术基础	29	1.6 奥氏体晶粒度的显示和测定	86
第1章 金属热处理工艺分类和代号	31	1.7 过热和过烧	86
1 基础分类	31	1.8 氧化和脱碳	87
2 附加分类	31	2 钢在CO-CO ₂ 气氛中的氧化和脱碳	89
3 热处理工艺代号	31	3 钢在H ₂ -H ₂ O气氛中的氧化和脱碳	91
4 多工序热处理工艺代号	31	4 含硫气体对钢的作用	92
5 常用热处理工艺代号	31	5 加热介质和加热计算	93
		5.1 加热介质分类	93
		5.2 加热计算公式及常用图表	93

6 可控气氛	96	9.1 清洗剂	174
6.1 分类及用途	96	9.2 防锈剂	174
6.2 制备方法	96	9.3 干燥剂和吸收剂	175
6.3 炉气控制原理	113	9.4 催化剂	175
6.4 炉气检测方法	115	第7章 零件热处理工艺性	176
7 加热熔盐和流态床	119	1 概述	176
7.1 加热熔盐的成分及用途	119	1.1 零件热处理工艺性的基本概念	176
7.2 盐浴的脱氧及脱氧剂	122	1.2 热处理工艺性在机械制造工艺过程 中的作用和意义	176
7.3 长效盐	123	1.3 零件热处理工艺性的特点	177
7.4 流态床加热的特点	123	2 零件热处理工艺性的内容和影响因素	177
8 真空中的加热	127	2.1 零件结构	177
8.1 金属在真空中加热时的行为	127	2.2 零件的材料	178
8.2 金属在真空中的加热速度	128	2.3 热处理工艺因素	189
第5章 材料热处理的冷却	129	2.4 影响零件热处理工艺性的其他因素	191
1 钢的过冷奥氏体转变	129	3 改善零件热处理工艺的根本途径	192
1.1 过冷奥氏体等温转变图	129	第8章 材料热处理缺陷、预防和修正	194
1.2 奥氏体连续冷却转变图	130	1 概述	194
1.3 钢的淬透性和奥氏体连续冷却转变图的 关系	130	2 热处理裂纹	196
2 钢在冷却过程中的马氏体转变	131	2.1 热处理裂纹形成的机理	196
2.1 马氏体转变的本质	131	2.2 加热不当形成的裂纹	196
2.2 马氏体转变量和转变温度范围	132	2.3 淬火裂纹	197
2.3 马氏体形态	132	2.4 淬火裂纹的预防方法	200
3 金属热处理的冷却过程	132	2.5 其他热处理裂纹	207
3.1 淬火冷却曲线	132	3 热处理畸变	208
3.2 金属在液态介质中冷却的特征	132	3.1 热处理畸变类型及形成原因	208
4 钢的淬透性	133	3.2 淬火畸变	209
4.1 概述	133	3.3 化学热处理畸变	214
4.2 Grossmann 的淬透性概念	133	3.4 热处理变形的校正	216
4.3 钢淬透性测定方法	134	4 残余内应力	217
5 淬火冷却方式和淬火介质	135	4.1 热处理内应力	217
5.1 埋入淬火	136	4.2 残余应力对力学性能的影响	220
5.2 喷射冷却	149	4.3 残余应力的调整和消除	222
5.3 熔盐等温淬火	150	5 组织不合格	223
5.4 流态床淬火	152	5.1 氧化与脱碳	224
5.5 气冷淬火	153	5.2 过热与过烧	225
5.6 强烈淬火	154	5.3 低、中碳钢预备热处理球化体级别不合格	227
5.7 淬火介质性能测试方法	155	5.4 渗碳组织缺陷	227
5.8 淬火冷却的畸变与开裂	156	5.5 渗氮组织缺陷	229
第6章 热处理工艺材料	159	5.6 渗硼组织缺陷	230
1 概述	159	6 力学性能不合格	231
2 热处理的加热介质	160	6.1 硬度不合格	231
2.1 制备气氛的原料气	160	6.2 拉伸性能不合格	232
2.2 热处理加热用盐	160	6.3 持久蠕变性能不合格	233
2.3 流动粒子	163	6.4 非铁金属合金力学性能不合格	234
2.4 回火油	163	6.5 疲劳性能不良	235
3 热处理淬冷介质	163	6.6 耐腐蚀性能不良	235
3.1 淬火油	164	7 脆性	236
3.2 聚合物淬火剂	167	7.1 回火脆性	237
4 热处理渗剂	172	7.2 低温脆性	239
4.1 渗碳剂	172	7.3 氢脆性	240
4.2 碳氮共渗剂	172	7.4 σ 脆性	243
4.3 渗硼剂	173	7.5 渗层脆性	243
4.4 渗金属剂	173	8 其他热处理缺陷	244
5 抗氧化脱碳涂料	173	8.1 化学热处理和表面热处理特殊缺陷	244
6 不锈钢箔	173	8.2 真空热处理和加热保护热处理缺陷	245
7 防渗涂料	173	8.3 非铁金属合金热处理缺陷	247
8 表面处理剂	174	第9章 材料热处理标准	251
9 辅助材料	174	1 概述	251

1.1 关于热处理的国际标准和国外先进标准	251	1.1 基本规律	342
1.2 关于全国热处理标准化技术委员会	252	1.2 碳在钢中的扩散	342
2 热处理标准体系表	252	1.3 氮在钢中的扩散	343
2.1 制、修订概况	253	2 钢的低温化学热处理	344
2.2 体系表结构及内容	253	2.1 气体渗氮	344
2.3 体系表的特点	253	2.2 离子渗氮	349
2.4 热处理专业标准体系明细表	254	2.3 气体氮碳共渗	351
3 材料热处理标准	258	2.4 盐浴硫氮碳共渗	354
参考文献	263	2.5 渗锌	356
第3篇 材料热处理工艺	265	2.6 低温化学热处理的渗层组织和性能	357
第1章 材料和零件的整体热处理	267	3 钢的高温化学热处理	358
1 钢的热处理	267	3.1 渗碳和碳氮共渗	358
1.1 钢的退火与正火	267	3.2 渗硼	367
1.2 钢的淬火	270	3.3 渗金属	369
1.3 钢的回火	279	3.4 钢铁热浸铝和渗铝	372
2 铸铁的热处理	284	第4章 形变热处理	377
2.1 铸铁的分类和应用	284	1 概述	377
2.2 铸铁热处理基础	285	1.1 形变热处理的发展沿革	377
2.3 白口铸铁的热处理	290	1.2 形变热处理的基本原理	377
2.4 灰铸铁的热处理	291	1.3 形变热处理的工业应用	377
2.5 球墨铸铁的热处理	294	1.4 形变热处理的方法分类	378
2.6 可锻铸铁的热处理	300	2 低温形变热处理	379
第2章 表面热处理	306	2.1 低温形变热处理工艺	379
1 表面热处理原理	306	2.2 钢低温形变热处理后的组织	383
1.1 钢在快速加热时的组织转变	306	2.3 钢低温形变热处理后的力学性能	383
1.2 钢快速加热对冷却转变的影响	308	2.4 低温形变淬火强化机理	389
1.3 快速循环加热淬火法制备超细化晶粒	309	3 高温形变热处理	391
1.4 表面淬火时的残余应力	309	3.1 工艺参数对高温形变淬火效果的影响	391
2 火焰加热表面淬火	311	3.2 高温形变淬火钢的组织	394
2.1 火焰加热表面淬火原理及优缺点	311	3.3 钢高温形变热处理后的力学性能	396
2.2 火焰的结构及其特征	312	3.4 高温形变淬火强化机理	401
2.3 火焰淬火喷嘴	312	3.5 钢的锻热淬火	402
2.4 火焰淬火工艺	313	3.6 控制轧制	404
2.5 火焰淬火前的准备工作及操作	313	3.7 非调质钢	405
2.6 火焰加热表面淬火的应用	314	4 马氏体相变过程中的形变	406
3 感应加热表面热处理	315	4.1 形变诱发马氏体相变	406
3.1 感应加热的原理	315	4.2 变塑现象和变塑钢	407
3.2 感应器	318	5 马氏体相变后的形变	408
3.3 感应加热工艺	320	5.1 马氏体形变强化的特点	408
3.4 感应加热淬火的应用	324	5.2 马氏体形变强化的原因	409
3.5 感应加热表面淬火后的组织和性能	328	5.3 淬火马氏体的形变时效	409
4 激光加热表面热处理	329	5.4 回火马氏体的形变时效	410
4.1 激光的产生及其特点	329	5.5 大形变量的马氏体形变时效	411
4.2 激光加热表面淬火的表面预处理	332	6 形变与扩散型相变相结合的形变热处理	411
4.3 激光淬火工艺的特点	333	6.1 应力与形变对过冷奥氏体分解过程的影响	411
4.4 激光淬火工艺参数选择	333	6.2 在扩散型相变前进行形变	412
4.5 激光淬火对显微组织结构及性能的影响	333	6.3 在扩散型相变中进行形变(等温形变淬火)	414
4.6 激光淬火层性能	335	6.4 在扩散型相变后进行形变	416
4.7 激光淬火加其他强化方法的复合处理工艺	336	7 其他形变热处理方法	418
4.8 激光淬火技术的应用	336	7.1 利用强化效果遗传性的形变热处理	418
4.9 激光表面重熔	337	7.2 预先形变热处理	419
5 电子束加热表面热处理	337	7.3 多边化强化	420
5.1 电子束加热装置原理	337	7.4 表面形变热处理	421
5.2 电子束和材料的交互作用	338	7.5 形变化学热处理	423
5.3 电子束表面处理的特点	339	7.6 晶粒超细化处理	425
5.4 电子束表面处理工艺	340	7.7 复合形变热处理	425
第3章 化学热处理	342	8 非铁金属的形变热处理	425
1 原子扩散	342	8.1 铝合金的形变热处理	425

8.2 铜合金的形变热处理	425	1 气冷真空炉	501
第5章 等离子体热处理	426	2 油冷真空炉	504
1 等离子体热处理基础	426	3 水冷真空炉	505
1.1 等离子体	426	4 多用途真空炉	505
1.2 低压气体放电	426	5 真空回火炉	506
2 等离子体化学热处理	431	6 真空渗碳炉	506
2.1 等离子体化学热处理的基本原理	431	7 真空钎焊炉	506
2.2 等离子体化学热处理设备	434	8 真空烧结炉	506
2.3 等离子体化学热处理工艺	435	9 台车式真空炉	507
3 离子沉积技术	440	10 等离子热处理炉	507
3.1 等离子体物理气相沉积	440	第3章 热处理电阻炉	510
3.2 等离子体化学气相沉积	446	1 热处理电阻炉结构	510
4 等离子体基离子注入技术	448	2 普通型箱式电阻炉	510
4.1 等离子体基离子注入技术的基本原理	448	3 台车式电阻炉	512
4.2 等离子体基离子注入技术的工作模式	448	4 井式电阻炉	513
4.3 等离子体基离子注入技术的特点	449	5 钟罩式炉	515
4.4 离子注入技术改善表面性能的机理	449	6 密封箱式炉	516
4.5 等离子体基离子注入技术的应用	450	7 转筒式炉	518
第6章 化学气相沉积和物理气相沉积	451	8 推杆式炉	518
1 硬质涂层	451	9 输送带式炉及其生产线	520
1.1 硬质涂层气相沉积技术的进展	451	10 振底式炉	522
1.2 常用硬质涂层材料种类	452	11 辊底式炉	524
1.3 硬质涂层对工业发展的贡献	452	12 转底式炉	524
2 化学气相沉积	453	13 滚筒式炉(鼓形炉)	524
2.1 化学气相沉积概述	453	14 步进式和摆动步进式炉	525
2.2 化学气相沉积技术分类	453	15 牵引式炉	525
2.3 高温化学气相沉积技术	453	16 自动化热处理设备	526
2.4 中温化学气相沉积(MT-CVD)技术	460	第4章 浴炉及流态粒子炉	528
2.5 低温化学气相沉积技术	463	1 浴炉的分类	528
3 物理气相沉积	465	2 低温浴炉	529
3.1 物理气相沉积概述	465	3 外部电加热中温浴炉	529
3.2 物理气相沉积分类	465	4 燃料加热中温浴炉	530
3.3 物理气相沉积的物理基础简介	465	5 插入式电极盐浴炉	531
3.4 各种物理气相沉积技术	468	6 埋入式电极浴炉	531
4 非金属化合物超硬涂层气相沉积技术	482	7 流态粒子炉	532
4.1 非金属化合物超硬涂层种类	482	第5章 热处理燃料炉	535
4.2 金刚石涂层的沉积技术	482	1 常用燃料炉分类	535
4.3 立方氮化硼(CBN)涂层的沉积技术	483	2 燃料炉炉型选择	535
4.4 氮化碳(β - C_3N_4)涂层沉积技术	483	3 燃料炉附属设备	536
5 复合超硬涂层材料沉积技术	483	4 燃油烧嘴	539
5.1 复合超硬涂层材料沉积技术的提出	483	5 燃煤机	541
5.2 复合超硬涂层沉积技术	484	6 预热器	543
6 硬质涂层工具、模具应用技术及举例	484	第6章 热处理感应加热及火焰加热装置	545
6.1 硬质涂层的应用技术	484	1 电子管式高频变频装置	545
6.2 硬质涂层工具、模具应用举例	484	2 晶体管式高频变频装置	546
7 硬质涂层质量检测	486	3 晶体管(IGBT)式超音频变频装置	546
7.1 硬质涂层的性能测试	486	4 机式中频变频装置	547
7.2 硬质涂层微观结构的测试	487	5 晶闸管式中频变频装置	548
参考文献	490	6 工频感应加热装置	549
第4篇 热处理设备	495	7 感应加热用热处理设备	549
第1章 热处理设备分类	497	8 火焰表面加热装置	552
1 热处理加热设备	497	第7章 表面热处理设备	553
2 热处理冷却设备	497	1 激光表面热处理装置	553
3 热处理清洗和清理设备	498	2 电子束表面改性装置	554
4 热处理辅助设备	498	3 气相沉积装置	554
5 热处理质量检测设备	499	第8章 热处理冷却设备	556
6 热处理环境保护设备	499	1 淬火冷却设备分类	556
第2章 真空热处理设备	500	2 淬火槽	556
		3 淬火介质搅拌	557

4 淬火槽加热装置	557	2 铜及铜合金的热处理	633
5 淬火介质冷却	557	2.1 铜及铜合金	633
6 淬火槽输送机械	558	2.2 工业纯铜的热处理	638
7 冷却过程的控制装置	559	2.3 黄铜的热处理	638
8 淬火机床	559	2.4 青铜的热处理	638
9 冷处理设备	559	2.5 白铜的热处理	641
第9章 热处理辅助设备	561	2.6 铜及铜合金热处理应注意的问题	641
1 可控气氛发生装置	561	3 钛及钛合金的热处理	641
1.1 吸热式气氛发生装置	561	3.1 钛及钛合金	641
1.2 放热式气氛发生装置	563	3.2 钛合金的退火	644
2 工业氮制备装置	564	3.3 钛合金的固溶和时效	646
3 氨分解气氛发生装置	566	3.4 钛合金的形变热处理	646
4 清洗设备	566	3.5 钛合金热处理应注意的问题	646
5 清理及强化设备	568	4 镁合金的热处理	647
6 矫直(校直)设备	569	4.1 镁及镁合金	647
7 起重运输设备	570	4.2 镁合金的退火热处理	648
参考文献	572	4.3 镁合金的固溶处理和时效	648
第5篇 材料热处理	573	5 其他非铁金属的热处理	649
第1章 钢铁材料热处理	575	5.1 镍和镍合金的热处理	649
1 概述	575	5.2 钨、钼热处理	650
1.1 钢的分类及编号原则	575	第3章 粉末冶金材料和零件的热处理	651
1.2 常用合金元素	577	1 铁基粉末冶金件的热处理	651
2 淬火低温回火合金结构钢及其热处理	584	1.1 铁基粉末冶金材料的分类	651
2.1 低碳马氏体钢	584	1.2 铁基粉末冶金件的应用	651
2.2 渗碳钢	584	1.3 铁基粉末冶金件的热处理	653
2.3 滚动轴承钢	588	2 钢结硬质合金的热处理	658
3 弹簧钢及其热处理工艺	590	2.1 钢结硬质合金的特点、牌号、性能和用途	658
3.1 性能要求	590	2.2 钢结硬质合金的热处理	660
3.2 成分特点	590	2.3 钢结碳质合金的组织与性能	661
3.3 弹簧钢的品种	590	3 粉末高速钢的热处理	662
3.4 热处理工艺	591	3.1 粉末高速钢类别和性能	662
3.5 特殊性能弹簧用钢和弹性合金	591	3.2 热等静压和热挤压粉末高速钢	663
4 调质钢及其热处理工艺	594	4 硬质合金的热处理	663
4.1 调质钢的性能要求	594	4.1 硬质合金的分类和用途	663
4.2 调质钢的成分特点	594	4.2 硬质合金的热处理	664
4.3 调质钢的热处理	594	第4章 功能合金的热处理	667
4.4 调质钢零件的表面强化	594	1 磁性合金的热处理	667
4.5 调质钢热处理技术的进展	598	1.1 金属磁性的物理基础	667
5 工具钢及其热处理工艺	600	1.2 软磁合金的热处理	669
5.1 概述	600	1.3 永磁合金的热处理	680
5.2 刀具用钢	600	2 膨胀合金的热处理	692
5.3 低合金刀具钢	601	2.1 金属的热膨胀特性	692
5.4 高速钢	602	2.2 低膨胀合金的热处理	693
5.5 模具用钢	606	2.3 铁磁性定膨胀合金的热处理	698
6 特殊钢及其热处理工艺	610	2.4 无磁性定膨胀合金的热处理	704
6.1 不锈钢	610	2.5 高膨胀合金的热处理	707
6.2 耐热钢	616	3 弹性合金的热处理	709
6.3 易切削钢和冷塑性成型用钢	619	3.1 金属的弹性性能	709
第2章 非铁金属的热处理	622	3.2 高弹性合金的热处理	711
1 铝及铝合金的热处理	622	3.3 恒弹性合金的热处理	728
1.1 铝及铝合金	622	4 形状记忆合金及其热处理	734
1.2 变形铝合金的退火	625	4.1 合金的超弹性和形状记忆效应	734
1.3 变形铝合金的固溶	626	4.2 钛镍形状记忆合金	737
1.4 变形铝合金的时效	627	4.3 铜基形状记忆合金	744
1.5 变形铝合金的其他热处理	630	4.4 形状记忆合金的应用	749
1.6 变形铝合金加工及热处理状态标记	630	第5章 陶瓷和硅酸盐材料的热处理	754
1.7 铸造铝合金的热处理	631	1 陶瓷材料的烧结	754
1.8 铝合金的热处理缺陷	633	1.1 烧结驱动力	754
		1.2 传质机理	754

1.3 气氛对烧结的影响	755	1.1 热弹性本构方程	787
2 温度对陶瓷相变的影响	755	1.2 热弹塑性本构关系	787
2.1 ZrO_2 陶瓷中的 c-t 相变	755	1.3 温度对应力场的影响	788
2.2 ZrO_2 陶瓷中的 t-m 相变	755	1.4 组织转变对应力场的影响	788
3 熔体和玻璃体与温度的关系	756	1.5 热弹塑性应力场分析的主要算法	789
3.1 熔体结构的形成	757	2 热弹塑性应力场的有限元计算	790
3.2 玻璃的形成	757	2.1 虚功原理和最小位能原理	790
第6章 复合材料的热处理	758	2.2 热弹性有限元分析的方程	790
1 金属基复合材料的强化热处理	758	2.3 热弹塑性应力应变关系	791
1.1 铝基复合材料的强化热处理	758	2.4 淬火应力场分析中总应变的处理	791
1.2 镁合金基复合材料的强化热处理	762	3 淬火应力场的求解及边界条件	792
1.3 钛合金基复合材料的强化热处理	763	第5章 瞬态浓度场模拟与流场动力学模拟	793
2 金属基复合材料尺寸稳定化热处理	766	1 化学热处理瞬态浓度场的数值模拟	793
2.1 概述	766	2 流场动力学模拟	793
2.2 铝合金基复合材料的冷热循环尺寸稳定化 处理	767	第6章 应用实例	795
2.3 铝合金基复合材料的深冷尺寸稳定化处理	768	1 阶梯轴加热 CAE	795
参考文献	770	1.1 三维温度场计算机模拟的实验验证	795
第6篇 热处理 CAD/CAM/CAE	771	1.2 优化加热工艺的 CAD 技术	795
第1章 概述	773	2 高硬冷轧辊淬火工艺 CAE	796
1 热处理计算机辅助工程分析和工艺编制	773	3 复杂形状零件淬火操作 CAE/CAPP	798
1.1 知识重用	773	4 曲轴渗氮畸变控制 CAE	799
1.2 热处理数据库	773	5 气体渗碳 CAE/CAPP/CAM	799
1.3 热处理专家系统	773	6 气体渗碳 CAE/CAM	800
1.4 生产经验信息化处理	773	7 基于计算机模拟的动态可控渗氮技术	802
2 热处理数学建模与计算机模拟	774	8 热处理设备的智能 CAD	802
3 热处理智能控制技术	774	参考文献	804
4 热处理设备智能 CAD 技术	774	第7篇 热处理清洁生产和安全	805
4.1 热处理设备的知识重用技术	775	第1章 热处理的清洁生产	807
4.2 热处理设备的科学计算	775	1 热处理生产的污染源	807
4.3 热处理设备研究开发的决策系统	775	1.1 引起大气污染的主要根源	807
5 热处理 CAD/CAE/CAM 与计算机集成制造	775	1.2 对水质的污染	807
5.1 轻量化高可靠产品的设计制造	775	1.3 噪声污染	807
5.2 产品制造全过程的 CAE/CAPP	775	1.4 废渣	807
5.3 面向绿色制造的 CAD/CAE 技术	775	1.5 电磁辐射	807
第2章 热处理计算机模拟的主要特点	776	2 环境的控制和治理	808
1 理论知识和定量科学计算直接应用于热处理 生产	776	3 热处理三废的排放	809
2 计算机模拟使热处理向多学科交叉的综合性 科学技术的发展方向	776	3.1 废气及烟尘排放	809
3 热处理的数值模拟与实验研究的关系	776	3.2 废水排放	809
4 热处理计算机模拟技术的局限性	776	3.3 固体废物	810
第3章 热处理计算机模拟的基本方法	777	4 空气中有害物质的限值	810
1 描述热处理过程的偏微分方程	777	4.1 先进工业国家规定的空气中有害物质的 限值	810
2 求解偏微分方程的方法	777	4.2 JB/T 5073—1991 规定的热处理车间空气中有 害物质的最高允许浓度	810
3 有限差分法	777	5 热处理盐浴有害固体废物污染的管理	811
4 用有限元法求解瞬态温度场	779	5.1 国外情况	811
4.1 单元划分	779	5.2 JB/T 9052—1999 关于热处理盐浴有害废弃物 的规定	812
4.2 用加权余值法进行有限元分析	780	6 热处理盐浴有害固体废物无害化处理方法	813
4.3 三维瞬态导热的有限元分析	782	6.1 国内外情况	813
5 瞬态温度场与相变的耦合	782	6.2 盐浴固体废物及其毒性试验方法	813
5.1 相变的计算	782	6.3 盐浴废渣的无害化处理	814
5.2 马氏体转变的计算	784	7 热处理盐浴有害固体废物的分析	815
5.3 应力对相变动力学的影响	784	7.1 与本标准有关的国内外标准概况	815
5.4 相变超塑性	784	7.2 分析方法	815
6 界面换热系数的测定与计算	785	第2章 热处理的安全生产	817
第4章 热处理过程中应力场的数值计算	787	1 生产过程安全卫生的重要性	817
1 热弹塑性应力场分析的基本原理	787	2 热处理生产中的危险因素	817

2.1 易燃物质	817	5 原材料质量控制	848
2.2 易爆物质	819	5.1 原材料控制的主要内容	848
2.3 毒性物质	820	5.2 零件材料的化学成分分析	848
2.4 高压电	821	第2章 热处理工序的过程质量控制	856
2.5 炽热物体及腐蚀性物质	822	1 热处理设备质量控制	856
2.6 致冷剂	822	2 热处理质量检验控制	859
2.7 坠落物体或进出物	822	3 操作者技能和责任质量控制	860
3 热处理生产中的有害因素	822	4 热处理质量控制中常用的统计技术	860
3.1 热辐射	822	第3章 热处理件的宏观和微观组织检验	862
3.2 电磁辐射	823	1 原材料缺陷的低倍检验	862
3.3 噪声	823	1.1 常见的低倍缺陷特征	862
3.4 粉尘	824	1.2 低倍检验的一般方法	862
3.5 有害气体	824	1.3 硫、磷元素的偏析	862
4 热处理生产作业环境	826	2 断口分析	863
4.1 定义	826	2.1 断口分析的用途	863
4.2 车间卫生	826	2.2 断口样品的切取和制备	863
4.3 作业场地空气中有害物质的最高允许浓度	826	2.3 常用的断口分析方法	863
4.4 噪声控制	826	2.4 典型断口形貌特征	864
4.5 照度标准及应急照明	826	3 显微组织检验	865
4.6 设备间的距离	826	3.1 光学显微镜分析方法	865
4.7 车间通道、安全标志和报警装置	826	3.2 定量金相分析方法	868
5 生产物料和剩余物料	826	3.3 晶粒度测定方法	870
5.1 生产物料	826	3.4 高温和低温金相分析方法	872
5.2 剩余物料	827	3.5 电子显微镜分析方法	872
6 生产装置	827	3.6 钢铁零件典型热处理显微组织与缺陷的金相特征	873
6.1 电阻炉	827	第4章 力学性能试验	875
6.2 燃烧炉	828	1 硬度	875
6.3 盐浴炉和流动粒子炉	830	1.1 布氏硬度	875
6.4 感应加热装置	831	1.2 洛氏硬度	877
6.5 离子化学热处理设备	831	1.3 维氏硬度和显微硬度	878
6.6 激光和电子束的热处理装置	831	1.4 肖氏硬度和里氏硬度	882
6.7 淬火及回火油槽	832	1.5 硬度与强度及各种硬度之间的换算	882
6.8 火焰加热淬火装置	832	1.6 典型硬度计简介	886
6.9 可控气氛的制备和可控气氛炉	833	2 拉伸	888
6.10 冷处理设备	835	2.1 试样	888
6.11 清洗设备	835	2.2 性能指标的计算	888
6.12 喷砂、喷丸和高压水清理设备	835	2.3 缺口拉伸与缺口偏拉伸	889
6.13 酸浸设备	835	2.4 高温拉伸和低温拉伸	889
6.14 校直机	836	3 压缩	889
6.15 炉用构件、料盘和夹具	836	4 弯曲	889
7 热处理工艺作业	836	5 扭转	890
7.1 一般要求	836	6 冲击	890
7.2 表面热处理	837	7 疲劳	891
7.3 化学热处理	837	8 断裂韧度	892
7.4 盐浴热处理	837	第5章 残余应力测定	894
7.5 真空热处理	838	1 应力释放法	894
8 安全、卫生防护技术措施	838	2 X射线法	894
8.1 基本要求	838	3 磁性法	896
8.2 “四防”	839	4 超声波法	896
参考文献	840	5 深层应力分布测量	896
第8篇 热处理质量控制与无损检测	841	第6章 热处理质量的无损检测方法	897
第1章 热处理生产的质量管理	843	1 磁粉探伤	897
1 热处理质量管理的目的及主要内容	843	1.1 磁化方法	897
2 热处理质量控制体系	843	1.2 磁化规范	899
3 产品设计中的热处理质量控制	844	1.3 磁粉与磁悬液	900
4 工艺设计中的质量控制	844	1.4 磁粉探伤设备	900
4.1 工艺试验	844	1.5 磁粉探伤的操作	900
4.2 工艺文件编制	844	1.6 磁痕分析	901