

热处理炉

(第四版)

Heat Treatment Furnace

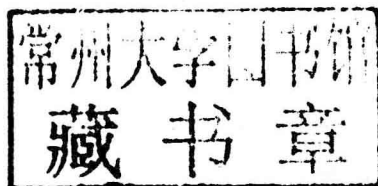
主编◎吉泽升 许红雨

HEUP 哈尔滨工程大学出版社

热 处 理 炉

(第四版)

主编 吉泽升 许红雨



 哈尔滨工程大学出版社

内 容 简 介

本书系作者根据十余年的教学经验,参考有关文献,吸收国内外最新资料,结合自己的科研成果编著而成。书中系统地讲述了传热基本原理、炉内气体的运动规律和气体反应原理;比较详细地介绍了热处理炉的基本类型以及常用炉型的基本结构、设计原理、设计方法和设计步骤,简要介绍了日本、美国等发达国家的新产品动态,指出了我国热处理炉的发展方向。

全书共 13 章,内容丰富、详尽,所有计量单位全部采用法定计量单位。为便于从事热处理炉设计及有关专业工程技术人员查阅,附录中提供了大量技术数据,可供参考。

图书在版编目(CIP)数据

热处理炉 / 吉泽升,许红雨主编. -- 4 版. — 哈尔
滨:哈尔滨工程大学出版社,2016.4
ISBN 978-7-5661-1251-4

I. ①热… II. ①吉… ②许… III. ①热处理炉
IV. ①TG155.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 091591 号

出版发行 哈尔滨工程大学出版社
社 址 哈尔滨市南岗区东大直街 124 号
邮政编码 150001
发行电话 0451-82519328
传 真 0451-82519699
经 销 新华书店
印 刷 哈尔滨市石桥印务有限公司
开 本 787 mm × 1 092 mm 1/16
印 张 14.75
字 数 387 千字
版 次 2016 年 4 月第 4 版
印 次 2016 年 4 月第 1 次印刷
定 价 31.00 元
<http://www.hrbeupress.com>
E-mail:heupress@hrbeu.edu.cn

第一版前言

本书是作者根据近十年来的教学经验,参考热处理设备有关文献,吸收国内外最新资料,结合自己的科研成果编著而成。

书中系统讲述了传热基本原理,气体力学基础,热处理炉的基本类型、特点、用途,详细介绍了热处理电阻炉设计的原理、方法和步骤,并做了举例;简要介绍了日本、美国等发达国家的典型炉型以及新产品动态;指出了在相当一个时期可控气氛热处理和真空热处理是我国热处理技术发展的主要方向,提出了现代热处理技术的标志是“优质、高效、低耗、清洁、灵活”的观点。

本书在成书的过程中,曾得到哈尔滨理工大学材料科学与工程学院金属材料及热处理专业九五级的唐昌琼、邵志坚、朱洪奎等部分同学的大力协助,书中引用了有关单位的技术资料以及有关文献的图表,在此一并表示诚挚的谢意。

由于作者水平有限,书中错误和不妥之处在所难免,敬望各位读者和专家不吝赐教。

作 者

1998年7月于哈尔滨

第二版前言

随着我国制造业的发展,对热处理设备的需求量越来越多,精度和自动化程度要求也越来越高,国外独资、合资热处理设备制造企业大量进入中国市场,国内民营企业也逐步成长起来,研究制造和使用热处理设备的人也随之增加。

本书1999年出版后,经2004年第2次印刷,仍不能满足读者需求,出版社决定再版。借此再版之际,对书中陈旧的内容进行了更新,重写了绪论,根据使用本书进行本科教学同行的意见进行了充实,修改了书中的一些错误,并重画了某些插图。在这次再版时为方便本科教学及内容上的衔接,书中符号和概念与作者主编的哈尔滨工业大学出版社出版的《传输原理》一书统一。

在本书再版成稿过程中,哈尔滨理工大学材料科学与工程学院吕焱副教授提出了许多宝贵的修改意见,博士生胡茂良同学做了大量的文字处理和资料整理工作,在此向给本书成书以帮助和支持的所有人表示衷心的感谢。

限于作者水平,书中错误和不妥之处仍在所难免。为使本书能给读者以更多的启迪,还请使用者多提宝贵意见,以便再次修订时充实和更正。

吉泽升

2006年7月于哈尔滨

第三版前言

本书的初稿成于 1998 年,于 1999 年出版,历经十余年,虽经 2004 年重印,2006 年修订再版,仍满足不了读者的需求,兹出版社决定出第三版,借此机会将这些年来同行们提出的意见加以整理充实到书中,并再次修改了一些插图和不够严谨之处,力求完善。这次再版同样重写了绪言部分,将美国热处理路线图核心内容列入其中,供读者思考,还在第 12 章中补充了我国目前热处理的耗能状况,也在相应章节增加了这几年新出现的设备介绍,并将设计例题本着节能原则进行了重新设计。

还是那句老话,错误和不妥之处肯定还会有,望读者们多提意见和建议,如果日后能够再版,为我国热处理设备的发展及热处理行业的进步再作一点贡献,当属今生莫大荣幸。

为方便与读者交流,将 E_mail 地址留于此:jizesheng@hrbust.edu.cn。

吉泽升

2010 年 3 月 8 日于哈尔滨

第四版前言

时光荏苒,2010年本书出完第三版后,转眼间又过了五年,五年间承蒙读者的厚爱,虽经过几次印刷,均已售罄,出版社决定出第四版。五年,热处理设备的进步虽然不大,但是我国由制造大国向制造强国迈进的呼声则越来越高,政府相继出台各种政策,“中国制造2025”“互联网+”“绿色制造”这些新的概念一定会给制造业带来重大机遇,当然也会给热处理行业带来新的影响。热处理行业是高耗能行业,需要热处理设备设计者、制造者贯彻和强化“中国制造2025”的指导思想,即“创新驱动、质量为先、绿色发展、结构优化、人才为本”。这无疑给热处理设备的发展指明了方向。因此,本书的作者也希望我们的热处理炉设计者能够积极地吸收新知识,运用新技术,在设计上有所创新,注重品质的提升和品牌建设,生产出节能、高效的产品,保护好环境,在市场竞争条件下,各自发挥优势,做好分工,培养出本行业的优秀人才,为“中国创造”做好支撑。

遗憾的是,由于这几年远离了热处理设备的生产和教学一线,对新知识的吸收和运用不够,在充实教材内容时,拿捏不准如何取舍,所以还是本着注重原理和基础来做本书第四版的撰写工作。成书前,听取了本书使用者哈尔滨理工大学康福伟教授的意见,为配合课程设计和方便教学,增加了“炉温控制”一章,即第13章,重新编排了附录,改写了电阻炉设计例题,并由许红雨讲师负责编写。因为有许多技术数据在网上都能很方便地查到,本次再版还删除了一些不太常用的附表,以减少篇幅,减轻读者的负担。第四版同样重写了绪言。

值得一提的是,近年来教育部启动“卓越工程师培养计划”,强调培养的学生要“接地气”、有特色、肯干活、会干活,哈尔滨理工大学金属材料工程的B方向热处理设备课的教学时数增加到了51学时,并一直坚持配有两周的课程设计——热处理设备设计。

前几天,请国内某知名航空企业的一位工作人员做报告,他讲本企业90%以上的热处理设备都是进口原装的,而且动辄几百万,甚至上千万元。这些事实,不得不让我们这些从事设计和制造的人感到汗颜。我们的设备怎么就是不行?我想除了我们的基础材料个别指标不过关外,就是我们的制造理念还有问题。粗制滥造,标准不高,“差不多就行”的思想在作怪,再加上缺乏经验,缺少标准,恶性竞争,造成我们的行业举步维艰。在此,我呼吁:同行们团结起来,改变我们传统的思维模式,本着为企业负责,为我们的行业负责,为我们的制造业负责的精神,高标准、严要求,小到每一颗螺丝钉,每一个焊点,不制造粗糙的产品,不采购粗糙的产品,不使用粗糙的产品,为中国制造业的崛起,为“中国制造2025”梦想的实现,也就是再过10年,让我们的热处理设备达到发达国家水平。我想,只要大家努力,能够做到。我们期待着那一天!

同行们,加油!

哈尔滨理工大学 吉泽升

2016年2月10日

目 录

绪论	1
第1章 传热基本原理	4
1.1 基本概念	4
1.2 传导传热	5
1.3 对流换热	9
1.4 辐射换热	13
1.5 综合传热	21
习题与思考题	23
第2章 气体力学	24
2.1 气体静力学	24
2.2 气体动力学及伯努利方程	29
习题与思考题	35
第3章 筑炉材料	36
3.1 耐火材料	36
3.2 保温材料	39
3.3 炉用金属材料	40
习题与思考题	42
第4章 热处理电阻炉概述	43
4.1 热处理电阻炉的基本类型	43
4.2 箱式电阻加热炉	45
4.3 井式电阻加热炉	47
4.4 台车式炉及罩式炉	49
习题与思考题	50
第5章 热处理电阻炉的设计	51
5.1 炉型的选择和炉膛尺寸的确定	51
5.2 电阻炉功率的计算	54
5.3 功率的分配及电热元件的接线	58
5.4 常用电热元件材料及其选择	59
5.5 电热元件的计算	62
5.6 电热元件的安装	65
5.7 电阻炉的性能试验及技术规范	67
5.8 热处理电阻炉设计、计算举例	68
习题与思考题	78

第6章 热处理燃料炉	79
6.1 燃料炉的基本类型及特点	79
6.2 燃料燃烧计算	81
6.3 燃料消耗量计算	84
6.4 燃料炉的经济技术指标及提高热效率途径	87
6.5 热处理燃料炉的燃烧装置	88
习题与思考题	94
第7章 热处理浴炉及流动粒子炉	95
7.1 浴炉的特点及分类	95
7.2 电极盐浴炉的设计概要	98
7.3 流动粒子炉	101
习题与思考题	102
第8章 真空热处理炉	103
8.1 真空系统	103
8.2 真空热处理炉的分类	104
8.3 真空热处理炉所用材料	108
8.4 真空热处理炉技术的发展	110
8.5 离子渗氮炉	110
习题与思考题	111
第9章 感应热处理设备及其他表面加热设备	112
9.1 感应热处理的基本原理	112
9.2 感应热处理设备的选择	113
9.3 感应器设计概要	115
9.4 淬火机床的选择	117
9.5 其他表面加热装置	117
习题与思考题	118
第10章 可控气氛热处理炉	119
10.1 可控气氛加热的基本原理	119
10.2 可控气氛的制备	122
10.3 可控气氛的碳势与氧势控制	127
10.4 可控气氛热处理炉的结构及发展	131
习题与思考题	138
第11章 冷却装置及热处理辅助设备	139
11.1 淬火槽	139
11.2 淬火介质的循环冷却系统	146
11.3 淬火机和淬火压床	148
11.4 热处理辅助设备	149
习题与思考题	153
第12章 热处理炉的节能与改造	155
12.1 热处理节能概述	155

12.2	热处理能源和炉型的合理选择	157
12.3	耐热钢构件的合理选用	160
12.4	高温节能涂料的应用	162
12.5	新型节能炉衬材料	164
12.6	热处理电阻炉的技术改造	170
	习题与思考题	176
第 13 章	热处理炉温度的测量与控制	177
13.1	热处理炉温度	177
13.2	炉温的测量	178
13.3	炉温的控制	188
	习题与思考题	198
附录		199
附表 1	某些常用材料的黑度	199
附表 2	炉墙外表面对车间的综合传热系数 α_{Σ} (车间温度 20 °C)	199
附表 3	热处理炉常用耐火材料和保温材料	200
附表 4	普通硅酸铝耐火纤维热导率	200
附表 5	热处理炉常用耐火砖规格	201
附表 6	不同炉温时电阻炉的炉墙厚度	204
附表 7	纯铁和钢的平均比热容	205
附表 8	碳素钢和低合金钢的热导率	205
附表 9	炉气的某些物理性质	206
附表 10	工业用气体燃料的比热容	206
附表 11	空气和某些气体平均比热容	207
附表 12	某些气体的热导率 ($\lambda \times 10^3$)	207
附表 13	常用金属电热材料性能	208
附表 14	常用非金属电热材料性能	209
附表 15	炉子功率与电热元件(0Cr25Al5)参数	209
附表 16	常用盐(碱)及其使用温度范围	210
附表 17	全纤维炉衬组成及厚度	211
附表 18	炉膛砌体每米长度的膨胀缝宽度	211
附表 19	耐热铸铁的使用温度及用途	211
附表 20	耐热钢构件的工作条件及状态	212
附表 21	常用箱式炉炉底板材料及尺寸	212
附表 22	RX3 系列 950 °C 箱式电阻炉技术数据	213
附表 23	RQ3 系列井式气体渗碳炉技术数据	213
附表 24	RJ2 系列 650 °C 井式电阻炉技术数据	214
附表 25	RJ2 系列 950 °C 井式电阻炉技术数据	214
附表 26	实验室用箱式电阻炉技术数据	215
附表 27	WZ 和 ZC 型真空热处理炉技术数据	215
附表 28	埋入式盐浴炉技术数据	215

附表 29	某些高温箱式电阻炉和台车式电阻炉技术数据	216
附表 30	某些化学热处理炉技术数据	216
附表 31	某些连续作业炉和机械化设备技术数据	217
附表 32	几种热处理炉用耐热钢的成分及使用温度	217
附表 33	3Cr24Ni7SiNRE 钢的高温性能	217
附表 34	常用测温仪表种类及使用温度范围	218
附表 35	常用热电偶的种类、使用温度及使用环境	218
附表 36	常用热电偶的测量范围及精度	219
附表 37	常用热电偶保护管材料及使用温度	220
附表 38	常用热电偶补偿导线特性及允许偏差	220
附图 1		221
参考文献		222

绪 论

随着基础工业的不断现代化,即传统的制造技术与计算机技术、信息技术、自动化技术、新材料技术、现代管理技术的紧密结合,市场竞争更趋向白热化,商家们的眼光不仅仅放在如何提高产品质量上,而且还在如何提高效率、效益、保护环境、适应用户需要等方面提出了更高的要求。

对热处理行业来说,“优质、高效、低耗、清洁、灵活”是现代热处理技术的标志,这十个字应该成为热处理工作者不断追求的总目标。要实现热处理技术的现代化,需要靠热处理设备的现代化来保证。现代热处理设备包括:大型连续热处理生产线、密封箱式多用炉生产线、真空热处理设备、无人化感应加热设备等。

一、我国热处理设备的现状及发展趋势

随着我国经济的发展,热处理行业取得不少进步,特别在“十五”规划期间,热处理行业借此强劲东风,开展了全国行业情况调查、质量管理信得过企业、热处理规范企业、热处理标准达标验收活动,对提高企业管理水平、提高人员素质、提高生产水平起到了强劲的推动作用。企业技改的强劲势头给设备制造业带来了更多的机会,也伴随着更激烈的竞争。在热处理加热炉中,箱式、井式和盐浴炉等常规设备的需求会进一步减少,需求增长更多的是工艺先进、可靠性和自动化程度高、节能和无污染的设备。

2004 年美国热处理学会在美国能源部支持下制定和公布了美国“热处理学会 2004 热处理发展规划”,即路线图(Roadmap)。在这个发展规划中设想的 2020 年的发展目标是:能源消耗减少 80%,工艺周期缩短 50%,生产成本降低 25%,热处理件实现零畸变和最低的质量分散度,加热炉使用寿命增加 9 倍,加热炉价格降低 50%,生产实现零污染。

我国热处理行业非常重视美国的发展规划,热处理学会荣誉理事长樊东黎教授首先著文介绍了美国热处理发展规划,之后热处理学会于 2007 年 4 月在常务理事会上对此规划进行了讨论,并在《金属热处理》及《中国热处理通讯》上发表了相关文章。总体看来,要实现这一目标,除开发非整体热处理的新技术和实施节能工艺、加强管理之外,就是要淘汰能耗大、效率低、温度不均匀的设备。

制造业是中国经济的主体,“中国制造 2025”在十大重点领域当中,无一不用到加热设备。智能制造是新一轮工业革命的核心,只有通过智能制造才能带动各产业数字化水平和智能化水平的提升。实施工业强基主要是为了解决基础零部件、基础工艺、基础材料的落后问题,其实也都涉及材料的热处理问题,从而也涉及热处理装备的落后问题。

设备是工艺技术的载体,没有能体现先进工艺的先进设备就不会有先进的热处理生产技术。所以说热处理设备改造的主题是更新设备。更新热处理设备包括三个方面的内容。

一是采用高度自动化和质量在线控制的设备,自动化生产效率高,可实现少(无)人工,避免人为因素对质量的影响。精确控制,自动化和质量在线控制是生产技术发展的最主要方向。目前,我国人工成本较低的优势已经逐渐丧失,从保证质量和质量的低分散度出发,在大批量生产零件和国际竞争激烈的行业,采用高度自动化的热处理生产设备还是很有必

要的。

二是热处理设备应采用气氛、真空、感应、流态床、激光、电子束及等离子等少(无)污染热处理工艺,采用低硫燃料、合理燃烧制度,采用无污染的淬火冷却介质,无毒的化学热处理渗剂,不影响大气环境的清洗溶剂、清洗剂 and 防锈剂。最大程度地利用能源,能充分利用生产物料,并使剩余物料获得再生、重复使用,减少热处理炉的热损失。

三是生产高可靠性的热处理设备,这是保证产品一致性的前提。设备可靠性的保证不只是依赖于配套件和仪表的质量,整体设备机构的巧妙构思和先进程度也是重要的因素。

美国路线图也特别看重热处理设备的更新、改进,在研发专题中特设了设备和硬件材料的大类。其中特别强调,炉子能源的多样性,燃烧器结构的改进,炉气制备方法和设备的改进,长寿命工装耐热钢的研发,炉子的耐火绝缘热材料和耐热构件材料,金属间化合物耐高温材料,用陶瓷管代替金属管,改进发热体形式,加速新设备的研发,加热炉温度场和气流场的模拟,合理选择各种能源设备等。

由此可见,设备制造者只有应用高新技术和先进适用技术改造提升制造业水平,逐步增加、积累具有独立知识产权的技术和产品,才能在新一轮竞争中立于不败之地。在这里还需追加一句:热处理作为高性能零部件生产过程中的一道工序,一定不要忽略规模效益。所以建设专业热处理厂,集中起来,专业化生产,非常必要,既能保证质量,又能提升效益,热处理炉的生产也一样。

现代热处理技术的相关因素如图 0-1 所示。

二、热处理炉的分类

热处理炉的种类很多,不同工业部门所使用的炉型不同。冶金部门常用的炉型有台车式炉、罩式炉、辊底式炉等,机械制造部门常用的炉型有箱式炉、井式炉、盐浴炉、气体渗碳炉等。

为便于分析比较,常按如下特征进行分类:

1. 按热能来源

可分为电阻炉、燃料炉。

2. 按工作温度

可分为低温炉($\leq 650\text{ }^{\circ}\text{C}$)、中温炉($650 \sim 1\,000\text{ }^{\circ}\text{C}$)、高温炉($> 1\,000\text{ }^{\circ}\text{C}$)。

3. 按炉膛介质

可分为自然介质炉、浴炉、可控气氛炉、真空炉。

4. 按作业规程

可分为周期作业炉、连续作业炉。

5. 按生产用途

可分为退火炉、淬火炉、回火炉、正火炉、渗碳炉、氮化炉。

6. 按电源频率

可分为工频炉、中频炉、高频炉。

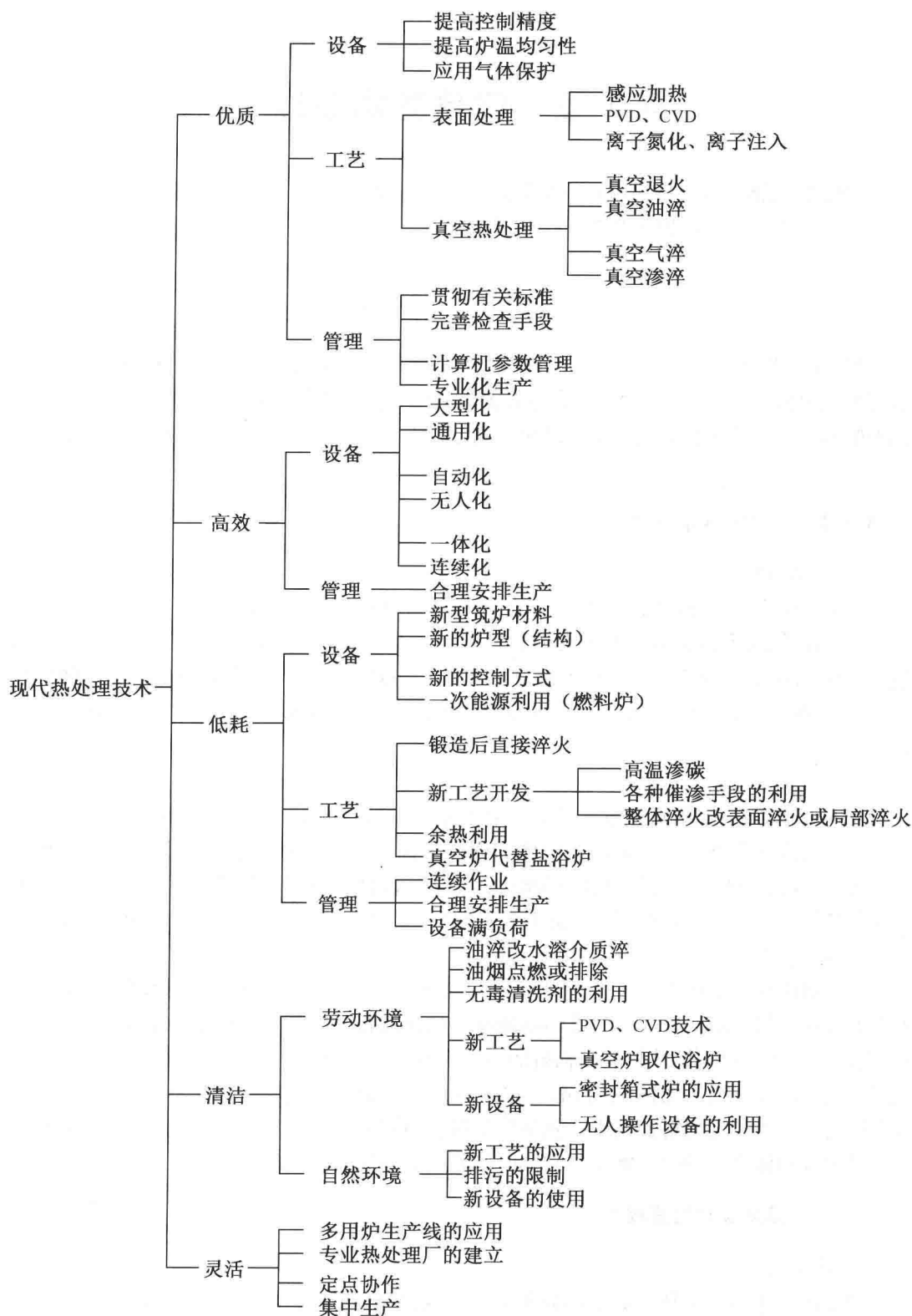


图 0-1 现代热处理技术的相关因素

第 1 章 传热基本原理

传热理论是研究热的传播与交换基本规律的科学。本章重点研究热处理炉内的传热问题,为炉子设计、制造、操作及节能打好理论基础。

1.1 基本概念

热量从一物体传向另一物体或由同一物体的某一部分传向另一部分的过程称为传热或换热。物体间或同一物体内部只有存在温度差时,才会发生热量的传递。热处理炉内进行的热传递过程尽管比较复杂,但也是传导、对流、辐射三种基本形式组成的综合传热过程。

1.1.1 传热的基本形式

1. 传导传热

温度不同的接触物体间或一物体中各部分之间热能的传递过程,称为传导传热。传热过程中,物体的微观粒子不发生宏观的相对移动,而在其热运动相互振动或碰撞中发生动能的传递,宏观上表现为热量从高温部分传至低温部分。微观粒子热能的传递方式随物质结构而异,在气体和液体中靠分子的热运动和彼此相撞,在金属中靠电子自由运动和原子振动。

2. 对流传热

流体在流动时,流体质点发生位移和相互混合而发生的热量传递,称为对流传热。在工程上对流传热主要发生在流动的流体和固体表面之间,当两者温度不同时,相互间所发生的热量传递,一般称对流换热和对流给热。传热过程中,既有流体质点的导热作用,又有流体质点位移产生的对流作用。因此对流换热同时受导热规律和流体流动规律的支配。

3. 辐射传热

任何物体在高于热力学零度时,都会不停地向外发射粒子(光子),这种现象称为辐射。辐射不需要任何介质。物体间通过辐射能进行的热能传递过程,称为辐射传热。传热过程中伴随着能量的转化,即从热能到辐射能以及从辐射能又转化为热能。如果系统中有两个或两个以上温度不同的物体,它们都同时向对方辐射能量和吸收投射于其上的辐射能量,则它们之间由于相互辐射而发生的热量传递过程,称为辐射传热或辐射换热。物体的辐射换热热量为该物体吸收的辐射能量与它同时向外放射的辐射能量的差值。

1.1.2 温度场与温度梯度

1. 温度场

温度场用来描述物体中温度的分布情况,它是空间坐标和时间坐标的函数,即

$$t = f(x, y, z, \tau) \quad (1-1)$$

式中 x, y, z ——该点的空间坐标;

τ ——时间坐标。

式(1-1)叫作温度场函数。若物体的温度沿 x, y, z 三个方向都有变化,称三向温度场;若只在一个方向上有变化,则称单向温度场,即

$$t = f(x, \tau) \quad (1-2)$$

如果物体各点温度不随时间变化称为稳定温度场。这时温度分布函数简化为

$$t = f(x, y, z) \text{ 及 } \frac{\partial t}{\partial \tau} = 0 \quad (1-3)$$

这种传热过程叫作稳定态传热,如长时间恒温状态下炉壁的传热。

如果物体各点的温度随时间的变化而变化,此时的温度场称不稳定态温度场,这种传热过程叫作不稳定态传热,如升温状态下炉壁的传热。

2. 温度梯度

在温度场内,同一时刻具有相同温度的各点连接成的面叫等温面。物体(或体系内)相邻两等温面间的温度差 Δt 与两等温面法线方向的距离 Δn 的比例极限,称为温度梯度,用下式来表示,即

$$\text{grad} t = \lim_{\Delta n \rightarrow 0} \left(\frac{\Delta t}{\Delta n} \right) = \frac{\partial t}{\partial n} \quad (^\circ\text{C}/\text{m}) \quad (1-4)$$

温度梯度是表示温度变化的一个向量,其数值等于在和等温面相垂直的单位距离上温度变化值,并规定由低到高为正,由高到低为负。

1.1.3 热流和热流密度

热流:单位时间内由高温物体传给低温物体的热量叫热流或热流量,用 Q 表示,单位为 W 。

热流密度:单位时间内通过单位传热面积的热流,称为热流密度,用 q 表示,单位为 W/m^2 ,即

$$q = Q/F \quad (1-5)$$

热流、热流密度都为向量,其方向与温度梯度方向相反。

1.2 传导传热

1.2.1 传导传热的基本方程式

傅里叶于1822年在实验室实验基础上提出:对于均匀的、各向同性的固体,单位时间通过单位面积的热量,与垂直该截面方向的温度梯度成正比,即

$$q = Q/F = -\lambda \frac{dt}{dn} \quad (1-6)$$

式中 Q ——沿 n 方向的热流量, W ;

q ——热流密度, W/m^2 ;

F ——与热流方向垂直的传热面积, m^2 ;

λ ——比例系数,称为热导率, $\text{W}/(\text{m} \cdot ^\circ\text{C})$;

$-\frac{dt}{dn}$ ——温度梯度(负号表示热流方向与温度梯度方向相反), $^\circ\text{C}/\text{m}$ 。

式(1-6)为导热基本方程式,即傅里叶定律。

1.2.2 热导率

热导率反映了物体导热能力的大小。它的物理意义为在单位时间内,每米长温度降低 1℃ 时单位面积能传递的热流量,用 λ 表示,单位为 $\text{W}/(\text{m} \cdot ^\circ\text{C})$ 。

热导率是由实验测定出来的,与材料的种类、物质结构、杂质含量、密度、气孔、温度和湿度等因素有关,而与几何形状无关。

温度对材料热导率的影响很大。材料的热导率与温度的变化呈线性关系,即

$$\lambda_t = \lambda_0 \pm bt \quad (1-7)$$

式中 λ_t ——温度为 t (摄氏温标) 时材料的热导率;

λ_0 ——温度为 0℃ 时材料的热导率;

b ——材料的热导率温度系数,因材料而异。

在实际计算中,一般取物体算术平均温度下的热导率代表物体热导率的平均值。

1.2.3 平壁炉墙上的导热

1. 单层平壁炉墙的稳定导热

设单层平壁炉墙(图 1-1)壁厚为 s ,材料的热导率 λ 不随温度变化,表面温度分别为 t_1 和 t_2 ($t_1 > t_2$),并保持恒定。若平壁面积是厚度的 8~10 倍时,则可忽略端面导热的影响,误差不大于 1%。因而平壁温度只沿垂直于壁面 x 轴方向变化,所以这是单向稳定态导热问题。为了求出通过这一平壁炉墙的热流密度,在平壁内取一厚度为 dx 的单元薄层,设其两侧的温度差为 dt ,根据傅里叶定律,通过这一单元薄层的热流密度为

$$q = -\lambda \frac{dt}{dx}$$

分离变量后积分得

$$\int_{t_1}^{t_2} dt = - \int_0^s \frac{q}{\lambda} dx$$

$$t_1 - t_2 = \frac{q}{\lambda} s$$

故热流密度为

$$q = \frac{t_1 - t_2}{\frac{s}{\lambda}} \quad (1-8)$$

若平壁炉墙的面积为 F ,而且内外表面积相等,则在 1 h 内通过 F 面积所传导的热流量为

$$Q = qF = \frac{t_1 - t_2}{\frac{s}{\lambda F}} \quad (1-9)$$

在式(1-8)、式(1-9)中, s/λ 为单位面积的平壁热阻, $s/(\lambda F)$ 是面积为 F 的平壁热阻。由此可见,热流量与温度差($t_1 - t_2$)成正比,与热阻 $s/(\lambda F)$ 成反比。

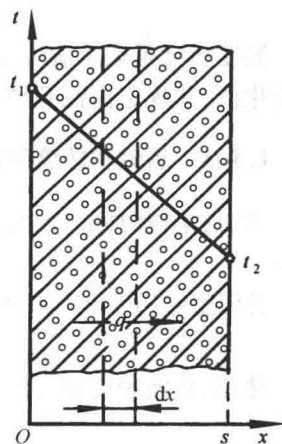


图 1-1 单层平壁炉墙的导热