

国外机械工业基本情况

先进热处理制造技术

北京机电研究所 编



机械工业出版社
China Machine Press

ISBN 7-111-09903-6/TG.1175

国外机械工业基本情况

汽 车

锻 压

拖 拉 机

微 电 机

电 站 锅 炉

重 型 机 械

矿 山 机 械

防 爆 电 动 机

电 站 气 轮 机

电 力 电 容 器

先 进 热 处 理 制 造 技 术

起 重 及 冶 金 用 异 步 电 动 机

ISBN 7-111-09903-6



9 787111 099031 >

定价：80.00 元

业基本情况

先进热处理制造技术

北京机电研究所 编
陈再良 阎承沛 主编



机械工业出版社

京工商广临字 200203014 号

先进制造技术的一个重要方面——热处理制造技术是十分重要的基础工艺技术。本书论述了近 10 年来热处理技术的飞速发展趋势：可控气氛热处理，真空热处理，感应热处理等少氧化加热技术成为发展主流；加热和冷却过程模拟与应用取得了长足发展；表面改性技术的研究与开发多姿多彩；清洁、节能和环保型热处理技术成为可持续发展的热点；计算机和 IT 技术使传统热处理技术现代化；先进热处理制造技术正走向定量化、智能化和精确控制的新水平；各种工程和功能新材料、新工艺，为热处理制造技术提供了更加广阔的应用领域和发展前景。

本书由 10 多位长期从事热处理技术研究开发与应用的专家和工程技术人员共同编写，全书共 9 章，包括先进热处理技术发展概况，可控气氛热处理技术，真空热处理技术，感应热处理技术，表面改性处理技术，热处理冷却技术，计算机在热处理中的应用，节能与清洁热处理，热处理行业和企业情况等部分。

本书适用于机械、冶金、交通、能源、航空航天、兵工、建筑、轻纺、化工、电子等行业从事材料科学与工程广大科技工作者、热处理工程技术人员、大中专院校师生阅读，对工程管理人员和有关领导也有重要参考价值。

图书在版编目 (CIP) 数据

先进热处理制造技术/北京机电研究所编. —北京：机械工业出版社，2002.3

(国外机械工业基本情况)

ISBN 7-111-09903-6

I. 先… II. 北… III. 热处理 - 基本知识 IV. TG15

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2002) 第 009476 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

责任编辑：李晓燕、左浩泓 版式设计：霍永明 责任校对：李汝庚

封面设计：姚毅 责任印制：王书来

北京林业大学 印刷厂印刷·新华书店北京发行所发行

2002 年 3 月第 1 版·第 1 次印刷

787mm×1092mm¹/₁₆·22.875 印张·571 千字

0 001—1 200 册

定价：80.00 元

凡购本书，如有缺页、倒页、脱页，由本社发行部调换

本社购书热线电话 (010) 68993821、68326677-2527

出版说明

机械工业肩负着为国民经济提供实用、先进的技术装备的重任。根据我国机械工业实现战略性结构调整,完成产业升级和推进企业技术创新的要求,综合研究国外机械工业发展规律和成果,系统地了解国外机械工业发展趋势和特点,以借它山之石促进我国机械工业的技术进步,我们组织编写了第五轮“国外机械工业基本情况”。这一轮是在前四轮的基础上,针对我国机械工业发展的实际要求,系统地介绍了国外主要工业国家重要公司名牌产品、重点产品的技术水平和研究开发方向;介绍了先进工艺、生产管理方法;介绍了市场及进出口情况等。本轮着重报道了国外 20 世纪 90 年代中后期机械工业发展水平及 21 世纪初的发展趋向。

第五轮“国外机械工业基本情况”采用滚动分册出版的方式。本册为《先进热处理制造技术》分册,由北京机电研究所编。

机械工业信息研究院

前 言

先进制造技术的一个重要方面——热处理技术是制造业中十分重要的基础工艺技术。热处理技术是通过材料或工件的加热—冷却过程控制，不改变产品外形，而获得预期的内在品质（组织、结构与性能）的一种工艺技术。

在金属冶炼和加工历史中，金属的退火、淬火、回火和正火的出现已经有几千年了，但是作为热处理工艺技术的发展还是在 20 世纪初期以来。20 世纪中后叶，特别是近 10 年来，热处理技术得到飞速发展，成为现代制造业中不可或缺的关键制造技术。例如，机床零件中的 60% ~ 70%，汽车零件中的 70% ~ 80%，以及模具产品中几乎 100% 的零件需要进行热处理。在工业领域，机械、冶金、交通、能源、航空航天、兵工、建筑、轻纺、化工、电子等行业都离不开热处理。热处理技术为制造业和机电产品的更新换代、提高质量，为节能节材、发挥材料潜力和延长寿命做出了重要贡献。

近 10 年来，热处理技术飞速发展，主要表现在：可控气氛热处理、真空热处理、感应热处理等少无氧化技术成为热处理技术发展主流；热处理工艺与设备研究开发并举，大大提高了热处理生产水平和产品质量；研究加热技术的同时对冷却过程模拟，可控冷却技术的研究开发与应用取得了长足发展；表面改性技术的研究与开发多姿多彩；计算机和 IT 技术使传统热处理技术现代化；热处理产业正在由经验方式提高到定量化、智能化和精确控制的新水平；清洁、节能和环保型热处理技术倍受重视，成为热处理行业可持续发展的热点。

随着高新技术不断发展，涌现了各种各样的工程和功能用新材料、新工艺，如金属间化合物、非晶态、陶瓷及复合材料；仿生材料、智能材料、形状记忆合金、纳米材料、梯度材料和超细化技术、薄膜技术等。材料学与工艺技术交叉融合，为热处理制造技术提供了更加广阔的应用领域和发展前景。

基于上述原因，世界上发达国家都非常重视热处理制造技术。1996 年以来，美国、德国、日本及中国等先后制定了 21 世纪热处理制造技术的发展规划和目标。

本书以《先进热处理制造技术》为名，力图反映先进工业国家近 10 年的热处理制造技术的科学研究、制造工艺及设备的新成果和新进展，同时收录了部分国家的发展规划和行业、企业情况。希望本书的出版为促进学习国际先进热处理制造技术，扩大中外热处理技术的交流与合作，为我国的经济建设和改革开放事业服务。

本书由 10 多位长期从事热处理技术研究开发与应用的专家和工程技术人员共同编写。第 1 章和第 9 章由陈再良编写，第 2 章由阎承沛、张东晓编写，第 3 章和第 7 章由阎承沛编写，第 4 章由沈庆通、董道宇、陈镇法、张宗杰、孔春花、宁向梅、王胜军编写，第 5 章由佟晓辉、王昆林、郭立力、陈再良编写，第 6 章由赵海鸥编写，第 8 章由邵周俊编写。全书由陈再良、阎承沛研究员任主编。本书初稿得到中国工程院院士潘健生教授、韩立民教授、吕反修教授、陈乃录研究员等的审阅，书中引用国内外许多重要论著和文献资料，作者表示衷心感谢。

本书的编写是在北京机电研究所的组织和资助下完成的，在编写、出版过程中，得到了全国热处理学会和中国热处理行业协会、机械工业信息研究院等的大力支持，使本书得以与广大读者见面，在此一并表示谢意。

由于热处理技术发展飞速，受作者水平所限，本书的编写难免存在遗漏和不当之处，望各位专家和读者斧正为盼。

编 者

目 录

出版说明

前 言

第 1 章 先进热处理制造技术发展

概况 1

1.1 引言 1

1.2 美国热处理工业 2020 年的远景 1

1.2.1 美国的热处理工业情况 1

1.2.2 热处理工业的远景 2

1.2.3 热处理工业面临的挑战 2

1.2.4 主要结论 4

1.3 美国热处理技术发展道路 5

1.3.1 热处理工业主要技术需求 5

1.3.2 三类关键优先研究项目 5

1.3.3 热处理执行目标 7

1.3.4 热处理工业的研究方向 7

1.4 中国热处理技术发展规划 8

1.4.1 中国热处理行业的基本情况 8

1.4.2 面临的形势和市场需求 9

1.4.3 发展战略和目标 10

1.4.4 重点发展的技术、设备和工艺

材料 11

1.4.5 发展规划的政策措施和建议 11

1.5 先进热处理技术的新进展 13

1.5.1 可控气氛热处理的一些进展 13

1.5.2 真空热处理技术进展 14

1.5.3 感应加热技术的一些进展 16

1.5.4 热处理冷却技术的一些进展 17

1.5.5 清洁热处理技术与环境问题 20

1.5.6 未来热处理一些新技术 22

参考文献 25

第 2 章 可控气氛热处理技术 26

2.1 直生式渗碳技术 26

2.1.1 概述 26

2.1.2 碳势测量和控制 26

2.1.3 直生式气氛的产生 27

2.1.4 应用实例 28

2.1.5 优点和限制 29

2.1.6 直生式渗碳设备 30

2.1.7 结论 31

2.2 低压渗碳技术 31

2.2.1 低压渗碳原理及应用 31

2.2.2 真空低压乙炔渗碳 34

2.3 高温渗碳技术 37

2.3.1 概述 37

2.3.2 试验方法 37

2.3.3 试验结果 38

2.3.4 结论 41

2.3.5 高温等离子渗碳技术的应用 42

2.4 连续式渗碳(氮)工艺控制及设备

技术 42

2.4.1 连续式快速渗碳 42

2.4.2 渗氮工艺控制技术 45

2.4.3 渗碳工艺控制技术 47

2.4.4 连续式渗碳设备 48

2.4.5 气氛回收技术 50

2.5 渗碳(氮)检测技术、检测元件和

传感器技术 51

2.5.1 用 HydroNit(氢分压)探头控制

渗氮和氮碳共渗的方法 51

2.5.2 气体渗氮和氮碳共渗二氧化锆

固体电解质气体传感器 55

2.5.3 渗氮氧探头——氧测量技术

新发展 55

参考文献 56

第 3 章 真空热处理技术 58

3.1 概述 58

3.2 真空热处理工艺和应用 59

3.2.1 真空高压气冷淬火 59

3.2.2 真空渗碳和真空渗氮 67

3.2.3 真空烧结新技术 71

3.3 离子热处理 72

3.3.1 离子渗氮 72

3.3.2 离子渗碳 74

3.3.3 真空离子喷涂 76

3.3.4	PI ³ —等离子体浸没式离子注入	78	4.4.2	驱动轴感应淬火生产线	155
3.3.5	金属陶瓷涂覆——等离子体化学 气相沉积 (PCVD) 技术	82	4.4.3	PC 钢筋感应热处理生产线	156
3.4	真空热处理设备进展	82	4.5	整体加热表面淬火与低淬钢齿轮 感应淬火	158
3.4.1	燃气真空炉研制开发和应用	83	4.5.1	整体加热表面淬火	158
3.4.2	真空炉研制结构设计优化	85	4.5.2	低淬钢齿轮感应淬火	158
3.4.3	半连续式和连续式真空炉及其 特点	88	4.5.3	整体加热表面淬火应用实例	159
3.4.4	流态化真空炉	92	4.6	纵向旋转感应加热整体淬火技术	159
3.4.5	热壁式真空渗碳炉及其特点	92	4.6.1	纵向感应加热机理	159
3.4.6	先进的真空烧结炉	93	4.6.2	纵向感应加热技术的应用	161
3.4.7	高压气淬真空炉智能控制系统	95	4.7	淬火感应器设计与制造新技术	161
3.4.8	真空热处理设备制造的专业化 生产	95	4.7.1	感应器设计	162
3.4.9	真空清洗设备	97	4.7.2	感应器制造技术	165
3.4.10	高温超高压真空热处理炉	108	4.7.3	感应器导体载流密度值的 计算与限值	168
3.5	离子热处理设备	111	4.8	感应淬火设备的冷却与淬火液循 环系统	168
3.5.1	离子渗氮设备	111	4.8.1	板式换热器感应淬火设备 冷却水系统	168
3.5.2	离子渗碳设备	112	4.8.2	板式换热器感应淬火液循环 系统	168
3.6	真空热处理技术的新进展	114	4.8.3	感应淬火新型冷却系统	169
3.6.1	真空热处理自动化在线控制 系统	114	4.9	工艺与质量控制技术及故障诊断和 保护装置	169
3.6.2	热等压淬火技术	115	4.9.1	步进式伺服电机传动	169
3.6.3	具有双对流循环系统的真空 高压气淬炉	117	4.9.2	能量监控器	170
3.6.4	低压渗碳技术及低压渗碳 多用炉 (ICBP) 系列	118	4.9.3	淬火液流量计	170
3.6.5	真空热处理技术发展展望	122	4.9.4	功率分配器	170
参考文献		124	4.9.5	感应器喷液防滴装置	170
第4章	感应热处理技术	129	4.9.6	水温、水压和流量超限报警 装置	171
4.1	概述	129	4.9.7	CRT 工况显示与故障诊断装置	171
4.2	感应加热电源	129	4.9.8	接地故障断流器	171
4.2.1	感应加热电源发展概述	129	参考文献		172
4.2.2	感应加热电源中常用的晶体管	132	第5章	表面改性处理技术	173
4.3	感应淬火机床	134	5.1	低温化学热处理新进展	173
4.3.1	通用感应淬火机床	134	5.1.1	盐浴氮碳共渗 (TUFFTRIDE QPQ) 技术	173
4.3.2	族类零件感应淬火机床和 CVJ 钟 形壳生产线	140	5.1.2	气体渗氮	175
4.3.3	曲轴感应淬火机床	142	5.1.3	气体氮碳共渗	175
4.3.4	凸轮轴感应淬火机床	149	5.1.4	离子渗氮气氛分析及应用	177
4.4	感应热处理生产线	151	5.2	离子沉积金刚石薄膜技术及其在 刀具上的应用	179
4.4.1	双频齿轮淬火与齿轮感应淬火 生产线	151			

5.2.1 金刚石薄膜涂层制备方法 和特点	179	6.3 冷却介质及新型淬火方法	230
5.2.2 金刚石薄膜的性能及 应用效果	185	6.3.1 淬火油	230
5.2.3 金刚石涂层刀具的 发展前景	189	6.3.2 聚合物淬火介质	233
5.3 热喷涂技术及其应用	190	6.3.3 熔盐淬火剂	235
5.3.1 热喷涂方法和特点	190	6.3.4 流态床淬火	236
5.3.2 火焰喷涂	192	6.3.5 盐水溶液淬火介质	237
5.3.3 电弧喷涂	194	6.3.6 高压气淬	238
5.3.4 等离子喷涂	196	6.4 可控冷却技术及装置	239
5.3.5 热喷涂技术的应用	200	6.4.1 可控延时淬火 (CDQ) 方法	239
5.4 激光表面改性技术	202	6.4.2 控时浸淬 (ITQ) 技术及系统	241
5.4.1 激光相变硬化 (LTH)	202	6.4.3 增强淬火方法 (IQM)	244
5.4.2 激光熔凝与激光上釉	203	6.4.4 聚合物水溶性淬火液的 隔膜分离技术 (RO)	245
5.4.3 激光合金化	204	参考文献	248
5.4.4 激光熔覆技术	205	第7章 计算机在热处理中的应用	249
5.4.5 激光冲击硬化	206	7.1 概述	249
5.4.6 激光熔渗处理	206	7.2 材料热处理工艺与设备计算机模拟 技术	249
5.4.7 几种激光材料加工新技术	206	7.2.1 材料热处理试验计算机模拟	249
5.4.8 激光材料加工技术展望	207	7.2.2 材料热处理工艺过程计算机 模拟	258
5.5 化学镀技术的新进展	208	7.2.3 材料热处理设备计算机模拟	262
5.5.1 化学镀的种类及特点	208	7.2.4 精确热处理技术	263
5.5.2 化学镀镍	209	7.2.5 应用实例	268
5.5.3 不锈钢基体化学镀镍工艺	211	7.3 材料热处理工艺与设备 CAD 技术	271
5.5.4 化学镀和电镀镍磷合金 复合技术	211	7.3.1 材料热处理工艺 CAD	271
5.5.5 多元合金化学镀镍	211	7.3.2 材料热处理设备 CAD	272
5.5.6 化学镀硼	212	7.3.3 材料淬火冷却技术 CAD	273
5.5.7 化学镀其他金属	213	7.3.4 应用实例	273
5.5.8 复合镀技术	214	7.4 热处理过程控制与网络技术	273
5.6 功能梯度材料 (FGM) 涂层技术及其 应用	216	7.4.1 过程控制	273
5.6.1 梯度涂层材料的制备	216	7.4.2 适时控制 (JIT)	277
5.6.2 梯度涂层材料的应用	217	7.4.3 统计过程控制 (SPC)	278
5.6.3 梯度涂层材料改性技术	220	7.4.4 柔性控制系统 (FCS)	279
参考文献	221	7.4.5 网络系统 (Network)	281
第6章 热处理冷却技术	223	7.4.6 管理控制系统 (Management)	282
6.1 冷却技术概况	223	7.5 热处理预测技术、数据库技术及 专家系统	283
6.2 冷却性能测试技术	223	7.5.1 热处理工艺与设备预测技术	283
6.2.1 冷却特性测试标准	223	7.5.2 热处理数据库技术及专家系统	287
6.2.2 淬火冷却过程和湿润特性	227	7.6 材料热处理工艺与设备的智能化 仪表	288
6.2.3 实验淬火槽的搅拌和标定	229	7.7 计算机在热处理中的应用新进展	297

7.7.1 热处理计算机集成系统.....	297	8.7 计算机模拟、传感技术和节能.....	323
7.7.2 热处理制造岛.....	298	参考文献	324
7.7.3 热处理虚拟制造技术与 智能化技术	299	第9章 热处理行业和企业情况	326
参考文献	301	9.1 热处理行业情况.....	326
第8章 热处理节能和清洁生产技术 ...	307	9.1.1 国际热处理和表面工程 联合会 (IFHTSE)	326
8.1 概述.....	307	9.1.2 美国热处理行业情况.....	328
8.1.1 热处理与可持续发展.....	307	9.1.3 日本热处理行业情况.....	329
8.1.2 热处理与环境保护.....	308	9.1.4 中国热处理行业简况.....	332
8.1.3 热处理与清洁生产.....	309	9.1.5 中、美、日热处理行业基本 情况比较.....	332
8.2 热处理的节能途径.....	310	9.2 热处理企业情况.....	332
8.2.1 热处理设备节能措施.....	310	9.2.1 美国热处理企业情况.....	332
8.2.2 热处理工艺节能措施.....	313	9.2.2 日本热处理企业情况.....	338
8.2.3 零件材料选择.....	313	9.2.3 德国热处理企业情况.....	342
8.3 节能与清洁热处理技术.....	315	9.2.4 英国热处理企业情况.....	344
8.3.1 可控气氛热处理.....	316	9.2.5 其他欧美国国家热处理情况.....	346
8.3.2 真空热处理.....	318	9.2.6 韩国材料热处理情况.....	349
8.4 冷却技术中的节能与环保.....	320	9.2.7 其他亚洲国家热处理情况.....	351
8.4.1 开发无公害淬火介质.....	321	9.2.8 发展热处理专业化的几个问题.....	352
8.4.2 淬火介质的维护与管理.....	321	9.2.9 国内外热处理企业差距思考.....	353
8.5 感应热处理的节能途径.....	321	参考文献	354
8.6 环保型清洗技术.....	321		

第 1 章 先进热处理制造技术发展概况

1.1 引言

近年来,先进制造技术得到各国制造业的广泛重视。作为先进制造技术的一个重要方面——先进热处理制造技术在保证机械零件内在质量,充分发挥材料潜力,在提高使用寿命、节能、节材,提高产品竞争能力等方面发挥重要作用。

随着高新技术的发展,各种功能材料、生物材料、高强、耐高温、耐低温以及耐蚀的材料层出不穷,其中既包括传统金属材料,又包括金属间化合物、陶瓷材料和其他非金属材料、复合材料,各种改性加工技术,表面技术的迅猛发展,为热处理技术提供了更加广阔的研究和应用领域。因此这里所讲的热处理技术是指“现代热处理”技术。

本章主要介绍了先进热处理制造技术的发展简况,包括美国热处理工业情况和远景,美国热处理技术发展道路,主要技术需求,关键优先研究项目和执行目标;中国热处理工业的情况,面临的形势和市场需求,发展战略和目标,重点发展的技术、设备和工艺材料,发展措施和建议。本章还对近年来主要先进国家的热处理技术的一些新进展,包括可控气氛热处理的技术进展,真空热处理技术进展,感应加热技术的发展现状与展望,冷却技术的进展,清洁热处理技术与环境问题,以及未来的热处理新动向作了简要介绍。

1.2 美国热处理工业 2020 年的远景

20 世纪 90 年代后期,为了保持美国工业现代化的持续发展,提高其基础制造业的全球竞争力,为了减少能源消耗和保护环境,美国能源部提出了美国未来工业现代化的发展计划。这个计划主要包括三个方面,第一是战略性的,确定未来工业发展远景。第二是战术性的,研究和制定实现远景蓝图的技术指标,即技术发展道路。第三是实施性的,提出实现上述目标的措施、建议和财政保障,并执行计划。

美国能源部指出,在未来的发展中,美国 7 个工业部门,包括:森林产品,化学制品,石油精炼,金属铸造,钢、铝和玻璃工业中,共消耗全部制造业约 80% 的能源,产生大约 90% 的工业废弃物。然而编制这个计划后,美国能源部认识到,热处理工业既包含钢铁业,也包括有色金属业。而热处理行业使用大量的能源,同时产生可观的废弃物。虽然最初的发展计划中没有提到热处理行业,后来美国能源部同意把热处理列入到未来工业发展计划中。

1996 年,美国金属学会热处理学会和美国能源部工业技术厅等组织专家讨论,什么技术将推动热处理工业到 2020 年? 如何使热处理适应用户的需要,保持其竞争力和获益? 政府或管理者需要什么样机制为用户服务? 为此发表了美国热处理工业发展计划第一方面内容,即美国热处理工业 2020 年的远景报告,下面是报告的主要内容。

1.2.1 美国的热处理工业情况

美国每年热处理加工 150 亿美元产值的金属产品。大约 80% 的热处理零件是钢制件,包括钢厂生产的钢棒、钢管,以及铸,锻,焊接件,机加工件,轧制件,冲压件,拉拔件或

挤压件。也包括有色金属，如铝合金及其铸造件热处理以改善其硬度和强度；黄铜和青铜件热处理以提高其断裂强度；钛合金热处理提高其高温强度。

目前美国的热处理工业大约有员工 14 万人，其中约 10% 在热处理专业厂工作。全国大约有 700 个热处理专业厂，工人每小时收入约 12 美元。1995 年热处理专业厂的产值约 15 亿美元，比 1994 年增长 8%，今后热处理专业厂的产量和产值仍会不断增长。

1.2.2 热处理工业的远景

美国热处理工业 2020 年的远景为：热处理生产一流的产品质量，生产标准化；生产过程零污染，热处理能量利用率达到 80%。热处理是制造业中至关重要的一部分，建立与用户、供货商、大学和政府间长期的更加密切的合作伙伴关系。除了金属合金热处理外，开展其他材料如：复合材料、金属间化合物和新材料的热处理。热处理生产的工作环境清洁、舒适和安全，生产工人受过良好的训练，都能熟练应用先进技术。

1. 国际标准

从原材料、热处理生产到工厂安全、工作强度和工作环境友好等方面都建立国际标准。

2. 运作方式

热处理企业的经营是以利润增值为目的，其特点是采用先进技术，有良好训练素质的工人和低的加工成本。

一般热处理专业厂有良好的盈利，利润回报率为营业额的 25%，规模约 30 名雇员。较大型的专业热处理厂，除了提供热处理服务外，还开展如冷加工、电镀或其他辅助加工。有些热处理专业厂则与产品加工生产线上（特别是汽车、航天的产品）密切结合，对用户产品的热处理质量从最初设计到热处理生产过程负完全的责任（如 10 年的合作期）。这样做不仅可以缩短加工周期，同时可以降低用户和热处理厂的生产成本。这些热处理车间和热处理专业厂都有高的生产效率，低的能量消耗，良好的工作环境，这些可以通过增加投入和集中力量来实现。

3. 环境保护

热处理过程对环境的影响减少至零。淬火介质是无污染和不可燃的，并采用完全自控的、封闭可回收的系统，使化学物质、热和气体的排放减少至零。

4. 企业和政府关系

在税收上，政府给予热处理专业厂优惠，这样会吸引投资者和鼓励银行贷款。政府在各个层次上为企业减轻负担，调整、限制不必要的文件和无效的工作。工业界和政府各级部门间共同协作，推动企业的技术进步。工厂和政府关系和谐，工作安全、环境良好。改革已有的规章制度，使一些民事纠纷不必诉讼，减少了法律费用，更有利于企业新技术的推广和应用。

5. 热处理员工

热处理员工在环境安全、舒适和清洁的工厂工作，对工作更满意。在市场竞争中，柔性工作方式使员工都能够完成不同的任务。管理人员与工人能够相互合作，满意地解决各种问题。

1.2.3 热处理工业面临的挑战

实现热处理工业的发展远景，主要存在技术、政府、效益、用户、机构和劳动力等方面的竞争和挑战。

1. 技术领域的挑战

大多数零件在炉子中热处理，炉子的设计适用于各种材料和工艺。尽管电能加热应用越来越广泛，但许多炉子也用天然气燃料加热。加热炉可分为两大类，周期炉和连续炉。周期炉用于单件或批量处理。连续炉有自动输送（工件）系统，提供连续的工艺流程。

典型的周期式炉：由钢铸件构成的隔热室、工件加热室的加热系统组成，通向加热室有一道或多道门。周期式炉也可以包含整体淬火槽、缓冷室和某些自动控制装置。

连续式炉除了包含周期式炉的基本结构外，还有传输工件的机构，包括推料机、输送带或链式传送器，滚动炉底，振动炉底，转动炉底，转动炉室和摆梁等。总的工作负载包括工件、料盘以及所需的夹具，输送带式或链式传送带炉。振动炉底和转动炉底炉——工件是直接放在炉床上的。摆梁式炉——工件或是放在炉床上或是放在料盘上的。

用气体燃料加热工件，由于火焰直接加热工件，某些材料与燃烧物反应会生成有害产物。为了避免出现这种情况，可以把工件放到炉罐中加热。密封罐将热量辐射到工件，因而不会与燃烧物反应。此外还可放入特定气氛的密封罐中，以控制加热中材料表面的化学反应。

另一种方法是用辐射管炉加热，燃烧气体在辐射管里循环，避免了工件和燃烧物反应。也可以用电加热元件加热工件，就不会有燃烧产物产生。

真空炉加热是在真空室内完成的，由于炉中空气或其他气体很少，防止了气体与材料发生反应。盐浴炉加热的工件是放在熔盐中，通过外部的热量加热坩埚中的盐和工件。流态粒子炉是由细小的（氧化铝等）颗粒组成，加热粒子的作用类似盐炉，由气体带动粒子向上运动，可以非常有效地传输热量给工件使其加热。

在新设计的炉子中要采用降低成本、提高效率和减少环境污染的新技术。采用气体和热流量的计算机模拟模型改善设计和结构，减少工艺时间和节省能量；燃烧系统采用计算机和热量再循环可以减少能量损失；隔热材料采用陶瓷纤维，喷嘴优化设计，燃烧室的形状优化设计；采用各种传感器提供给有关气氛、温度和组成的信息。这些新技术应用的结果是使炉子更有效地工作。

炉子硬件材料的使用寿命将提高 10 倍，绝缘（热）材料的性能将提高 1 倍。热处理工件的变形和不均匀性为零。优良的有机合成材料，陶瓷和金属间化合物是常用的热加工用材料。

热处理工艺通过革命性的突破使其保持优势和创新。所有工艺的分散性为零，能量效率提高到 80%；炉子系统具有更大的柔性；淬火介质成本低廉，环境良好，不易燃烧；在线控制是标准化的；智能系统控制决定产品性能。综合技术革新的效果是将热处理工艺时间减少 50%，成本降低 75%。

2. 未来的劳动力的挑战

未来的劳动力是另一个主要的挑战，企业必须吸引有学习潜力的人，并训练他们成为有技术，能胜任在清洁、安全的环境中工作的优秀工人。

热处理员工的工作环境安全、舒适和清洁，工人在装空调的车间里工作，技术人员用计算机控制工艺程序。工程师用最新的 CAD 程序设计热处理工艺程序，并且综合利用材料和工艺的热处理数据库。热处理企业的 14 万名员工以他们的行业而自豪，因为他们懂得热处理工艺流程是各种车辆和机械零件不可缺少的关键环节。

热处理企业认识到：行业的进步最主要的是通过受过教育培训、充满信心、灵敏的人来实现。因而，必须实施切实可行的培训计划，帮助未来的技术人员和全体员工进行教育培训。

3. 政府的管理和产品税收制度

要发展热处理产业，必须改革政府的管理和产品税收制度。当然有助于企业管理是不可缺少的，但繁琐的文件管理会花费很多精力和时间。合作代替对抗有助于工业发展技术，从而保证工人安全和良好的工作环境。因此，可以使热处理工业缩减经费并更具有国际竞争力。

热处理行业是一个耗能大户，能耗约占总成本的 20%，企业生产必须严格遵守环境和安全的有关规定，坚持使用无害的化学物品和气体。

某些政府监督是需要的，热处理界工作者希望参与规章的制定，以使规章更清晰、合理和切实可行。为了吸引资金，推动技术进步，必须提高投资利润率，以使更多的投资者愿意参与合作开发提供资金。

4. 用户和热处理行业的关系

在产品阶段之初，用户就应该认识到热处理是整个产品设计的一个重要部分，对材料和工艺必须优化选择。

到 2020 年建立一种新的工业结构。热处理企业将成为产品生产线中一个特殊环节，如一个热处理零件，可以由专有的热处理设备来完成，也可以由专业化热处理厂来完成。有些热处理厂将扩展业务，添加机床加工、电镀和其他精加工手段。另外一种的趋向是，一些小型热处理厂将填补某些小的领域，只经营非常专门的工艺加工。

1.2.4 主要结论

到 2020 年，美国热处理工业将会面临许多现行技术的竞争与挑战。对材料和工艺的作用要更好地理解与认识，操作程序要更严格的控制。计算机控制和机器人将使白领职员和蓝领工人均能在清洁、舒适的环境中工作。为了有效地操作和维护这些先进的设备，工作人员都必须具备最优的生产技术。

在训练和合作方面工业界面临着明显的挑战，年轻人缺少有关工业的知识，可能导致将来的工人缺少合作精神。用户和供应商密切合作的重要性必须认清才能共同提高产品利润率。这些都需要工业界、学术团体、商贸协会、政府和科研单位各方面的共同努力。

1. 主要的工艺

在工业热处理中，以渗碳/碳氮共渗，保护气氛淬火，真空淬火，退火、应力恢复四种工艺占主导优势。其中渗碳/碳氮共渗数量约占总量的 20%；保护气氛淬火约占 20%。在真空淬火硬化约占 15%；退火、应力恢复占 10%；其他热处理如：感应热处理、渗氮、盐浴热处理、有色合金热处理约占 35%。

2. 市场服务

热处理作为零件的主要加工环节，从钢厂出来的材料可以直接送到零件制造厂，或者送到专业热处理厂，通过进一步热处理以获得所要求的特定性能。

对于专业热处理厂来说，美国汽车行业是最主要的市场，占其全部业务的 30%。汽车的产量是影响热处理的主要因素。由于汽车结构不断改进，要求重量轻、性能好，发动机的

工作温度高，必须更多采用复杂合金和其他材料，这就要求更先进的热处理技术，以满足其性能的要求。

其次飞机和宇航飞行器市场，约占专业热处理业务总量的 15%。随着航空工业的持续增长热处理的业务量也在增加。其他热处理的用户如草坪，花园设备以及手用工具等约占 15%，筑路设备和重型卡车约占 10%，由于第三世界国家正在建设开发，这些产品会有较大的增长。另一个主要市场是工具和模具工业，建筑、矿业、农业、国防、石油等产品。

3. 面临的挑战

要实现 2020 年远景，热处理工业面临着技术、政府、利润（利益）、用户、结构和工作压力的多方面挑战。

在技术领域，优先研究的有：开发效率更高的炉子，炉子硬件使用寿命更长的材料，工艺过程更精密的控制及改善淬火介质。研究材料的基本结构参数，建立数据库，以使预处理的工件可以快速和有效地进行，并且可预测最终的形状和性能。也可以对新合金以及精确的工艺过程模型进行设计，其结果是工件几乎没有变形，重现性好，并可预测其性能。

这些研究目标的实现，应取得政府有关部门的支持和工业界、学术团体、大学的共同参与。

1.3 美国热处理技术发展道路

热处理工业 2020 年的远景报告描述了工业结构和热处理工艺两者的发展变化，要求 2020 年的热处理工业减少能量消耗，降低加工成本和减少环境污染程度。在此基础上，1997 年 2 月，美国能源部工业技术司，美国金属学会热处理学会和金属处理研究院制定了“美国热处理技术发展道路”，就实现热处理工业技术进步，完成 2020 年工业远景发展目标进行探讨。主要针对三类关键优先项目：热处理设备和硬件材料；工艺和热处理材料；能源和环境。

他们对预期的研发成果采用不同方法评价，首先按照项目重要程度排队，排出最优的、高级的和中等的，随后依据投资风险排队。近期项目计划在 3 年内完成；中期项目计划为 3~10 年完成；长期项目计划需 10 年以上的时间完成。下面介绍主要内容。

1.3.1 热处理工业主要技术需求

- (1) 先进的工艺：热处理工艺要求较短的生产周期，要求设备和辅助材料成本较低。
- (2) 更新淬火介质：淬火介质更加环境友好，既无环境污染，又有良好的传热性能。
- (3) 改进工艺传感器：提高传感器测量控制精度和水平。
- (4) 计算机模拟，更详细地热处理工艺模拟，包括成分、变形、显微组织结构和性能。
- (5) 改善能源利用：采用更有效的热循环方法，减少余热，减少热损失。
- (6) 信息交流：广泛交流和传播解决专项关键技术问题的知识和方法。
- (7) 放射物控制：放射物处理技术使热处理生产满足于工艺标准要求。

1.3.2 三类关键优先研究项目

三类关键优先研究项目见表 1-1 所示。

表 1-1 三类关键的优先研究项目

设备和硬件	工艺和材料	能源和环境
炉子操作和维护 人工智能系统	感应器设计, 加热时电磁场分布	降低能量消耗, 降低热处理成本的合金材料和热处理工艺
统计过程控制 (SPC) 应用的进一步 完善	先进的工艺仪器方法 (在线工艺传感器和 方法)	依据化学成分、温度和时间设计的数学模型 可预测显微组织
热—物理性能数 据库	改进炉子硬件和配件材料, 以延长寿命, 扩大工作温度范围	研制开发水/惰性气体淬火模拟盐浴或油淬 火, 以水/气体代替油或盐浴
在线/交互式的培 训工具 (软件)	开发知识型数据库; 合金—工艺性能的关系; 改进数据信息的传播方式, 建立工件热处理 过程的数据库	判别污染防治技术/战略, 工件清洗, 用油 管理, 废物更换。开发基础资料数据库: 工艺 材料、废料等; 材料代用品; 工艺改进; 循环 /重复使用
创新的技术: 包 括优化管理	改进应用钢种, 以减少工艺周期, 在较高 温度可采用经济热处理的钢种	开发工件不同部位的不同方法的淬火技术
材料供应商、热 处理人士和用户间 通力合作	开发热学、力学性能及热处理工艺数据库, 模拟降低成本制造材料的方法	开发回收次级热 (余热) 的低成本技术, 废 热回收和利用方法
建立先进热处理 国家中心	研究钢厂不同工艺对动力学影响: 加工过 程、氧化现象、终结温度等	研究预测尺寸变化和变形的数学模型; 大型 工件残留应力的测量技术
开发新的功能 (隔热) 和结构材料 (较高工艺温度的材 料)	研究开发集成工艺模型及用户友好的软件 工具。虚拟样机有助于设备设计、预测性能、 变形和蠕变工艺参数	开发高温渗碳合金, 缩短渗碳时间; 研究零 件成分组成, 可能的微合金化以减缓晶粒长大 倾向
改进气氛生成方 法和设备	研究开发设计师用于材料和工艺技术规范 的应用软件	开发用于热处理技术的计算流体动力学, 使 热传导过程更均匀, 更有效
改进铝合金工件 的淬火系统	研究组织与性能间关系, 确定工件性能特 点, 确定改进产品性能的机制	热处理低成本—高效益的污染处理技术, 基 础资料扩展数据, 采用已有技术降低成本
开发淬火系统新 方法, 使处理的全 部截面均匀淬火	认识/模拟液体淬火工艺和设计	编制能源利用基础资料数据 (软件)
新材料热处理 (有机合成物, 铁合 金和有色合金等)		
辐射加热设备及 辐射管 (有同样加 热功能的燃气系统)		