

材料科学与工程系列教材 研究生用书

再制造工程基础及其应用

FOUNDATIONS AND APPLICATIONS OF REMANUFACTURING ENGINEERING

徐滨士 等编著

哈尔滨工业大学出版社

材料科学与工程系列教材 研究生用书

再制造工程基础及其应用

FOUNDATIONS AND APPLICATIONS OF REMANUFACTURING ENGINEERING

徐滨士 等编著

哈尔滨工业大学出版社

内 容 简 介

本书是我国第一部讲述再制造工程的教材。书中论述了再制造工程的内涵、学科体系及在循环经济中的地位 and 作用,综述了再制造工程在国内外的的发展状况,从产品的再制造性、再制造产品寿命预测、再制造工程中模拟与仿真三方面探讨了再制造工程设计基础,介绍了再制造工程中最常用的先进技术,分析了再制造产品的物流管理,列举了汽车发动机、拖拉机、机床及复印机的再制造实例。书中重点介绍了作者的最新研究成果,并吸纳了国内外的相关资料。本书的出版对转变人们的思想观念,并从产品全寿命周期各环节中贯彻“减量化、再利用、再制造、再循环”的原则,进而促进循环经济的发展具有重要意义。

本书是材料科学与工程系列教材研究生用书,同时可供高等工科院校相关专业的研究生和高年级本科生使用,也可供研究人员和相关企业工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

再制造工程基础及其应用/徐滨士等编著. —哈尔滨:
哈尔滨工业大学出版社, 2005. 10

ISBN 7 - 5603 - 2156 - 9

I . 再… II . 徐… III . 机械制造工艺
IV . TH16

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 098758 号

出版发行 哈尔滨工业大学出版社

社 址 哈尔滨市南岗区复华四道街 10 号 邮编 150006

传 真 0451 - 86414749

网 址 <http://hitpress.hit.edu.cn>

印 刷 黑龙江省地质测绘印制中心印刷厂

开 本 787×960 1/16 印张 21.25 字数 379 千字

版 次 2005 年 10 月第 1 版 2005 年 10 月第 1 次印刷

书 号 ISBN 7 - 5603 - 2156 - 9/TB·56

印 数 1 ~ 3 000

定 价 30.00 元

(如因印装质量问题影响阅读,我社负责调换)

序

20 世纪的一百年内,人类创造的物质财富超过了以往五千年历史的总和,但也极端消耗了地球资源,机电产品在丰富人类物质文化生活的同时,其报废量也逐年以惊人的速度增长,废旧机电产品造成的生态破坏、环境污染、资源浪费等问题日益突出。

2000 年,美国、欧洲和日本各约有 1 100 万、900 万和 600 万辆汽车报废。2005 年,我国汽车保有量已达到 3 500 万辆,且今后每年报废的汽车将超过 200 万辆。2004 年,我国的电脑数量已超过 7 000 万台,并有 2 000 余万台电脑被淘汰。2005 年起,每一台新电脑投放市场就有一台旧电脑退役;今后的 10 年内,将有 15 亿台电脑被淘汰。

众所周知,再好的铁矿也不如废钢,世上有多少新,就有多少旧,废旧物资是全球惟一在增长,并且迟早要取代地下矿藏资源的“都市富矿”。

发达国家从上世纪 80 年代起开始重视建设循环经济社会。进入 21 世纪,为了使我国走上可持续发展之路,国家做出了“发展循环经济、建设节约型社会”的重大战略决策。这是科学发展观的具体体现,是中华民族实现人与自然和谐发展的重要举措。

建设资源节约型社会的核心是节约资源与能源,而对废旧机电产品进行再制造是节约资源的重要手段。因此说,“绿色再制造工程”的萌生与发展是历史发展的必然产物,也是今后世界经济发展的大势所趋。

近期,国务院国发(2005)21 号文件“国务院关于做好建设节约型社会近期重点工作的通知”中指出,要加大重大机电产品的节能降耗技术、绿色再制造技术等对节约资源和循环经济关键技术的攻关力度,开展绿色再制造等重点领域企业的示范试点。国发(2005)22 号文件“国务院关于加快发展循环经济的若干意见”中进一步指出,加快绿色再制造技术等支持循环经济共性和关键技术的研究开发,并在发展循环经济的重点工作和重点环节中提出,“大力支持废旧机电产品再制造”。

在我国率先倡导、积极推动再制造工程发展的是中国工程院院士徐滨士教授。近年来,徐滨士院士筹建了我国第一个从事再制造研究的国家级重点实验室——装备再制造技术国防科技重点实验室,并先后承担了国家发改委、国家自然科学基金委员会、中国工程院以及国防领域的多项论证项目及科研课题,

有力地推动了我国再制造工程的发展。

《再制造工程基础及其应用》一书由徐滨士院士等编著。该书结合中国国情,以自己的研究成果为主,创造性地撰写出我国第一部阐述再制造工程基础理论及应用的著作。该书从再制造工程的内涵、学科体系及在循环经济中的地位和作用,综述了再制造工程国内外的最新发展状况,并从产品的再制造性、再制造产品寿命预测、再制造工程中模拟与仿真等三方面探讨了再制造工程设计基础,突出了再制造工程中最常用的先进技术,分析了再制造产品的物流管理,列举了汽车发动机、拖拉机、机床及复印机的再制造实例。

该书融入了作者们在再制造工程学科建设、相关理论研究、技术开发和推广应用等方面的研究成果和实践经验。其内容充实、取材广泛,基础理论部分阐述精炼、针对性强,再制造工程中的先进技术部分重点突出,与实践联系紧密,反映了我国再制造工程的最新进展,颇具理论性、创新性和实用性。该书的出版对于推动建立具有中国特色的再制造工程学科和扩大再制造工程的研究开发与应用具有重要意义。

同时,该书的出版对转变人们的思想观念,并从产品全寿命周期各环节中贯彻“减量化(Reduce)、再利用(Reuse)、再制造(Remmanufacture)、再循环(Recycle)”的“4R”原则,对于促进循环经济发展、建设节约型社会具有重要意义。

师昌绪

2005年8月

前 言

随着科学技术的进步和机电产品的发展,装备全寿命周期管理理论已受到世界各国的高度重视。装备全寿命周期管理不仅要考虑产品的论证、设计和制造,而且还要考虑产品的使用、维修直至寿命到期退出现役的处理。再制造工程是以机电产品全寿命周期设计和管理为指导,以废旧机电产品实现性能跨越式提升为目标,以优质、高效、节能、节材、环保为准则,以先进技术和产业化生产为手段,对废旧机电产品进行修复和改造的一系列技术措施或工程活动的总称。简言之,再制造是废旧机电产品高科技维修的产业化。再制造的重要特征是,再制造产品的质量和性能要达到或超过新品,成本仅是新品的 50% 左右,节能 60% 左右,节材 70% 以上,对保护环境贡献显著。在国家可持续发展战略和坚持以人为本,全面、协调、可持续的发展观指导下,再制造工程已成为构建循环经济的重要组成部分。

2004 年 11 月在上海召开的世界工程师大会上,中国工程院院长徐匡迪院士结合国情和世界可持续发展的趋势,创造性地提出:在新世纪里,工程科学基础要从 20 世纪单纯追求规模、效益模式转向建设“4R”的循环经济发展。“4R”即 Reduce(减量化)、Reuse(再利用)、Recycle(再循环)和 Remanufacture(再制造)。并指出,大力推进“4R”是我们刻不容缓的任务,也是实现可持续发展的重要内容和必然选择。

再制造工程是通过多学科综合、交叉和复合并系统化后正在形成中的一个新兴学科。它包含的内容十分广泛,涉及机械工程、材料科学与工程、信息科学与工程和环境科学与工程等多种学科的研究成果。再制造工程融会上述学科的基础理论和技术,结合装备再制造工程实际,逐步形成废旧产品的失效分析理论、剩余寿命预测和评估理论、再制造产品的全寿命周期评价、再制造过程的模拟与仿真、逆向物流管理等基础理论;逐步形成先进表面工程技术、微纳米自修复技术、再制造毛坯快速成形技术、过时产品性能升级技术、在线质量监控等技术体系。此外,还要通过对废旧产品的技术、经济和环境三要素对恢复产品性能影响的综合分析,完成对废旧产品或其典型零部件的再制造性研究与分析。

再制造工程在我国作为一门学科体系加以全面研究和构建尚处于起步阶段。中国工程院院士徐滨士教授率先倡导、积极推动着我国再制造工程的发

展。2000年3月,在瑞典哥德堡召开的第15届欧洲维修国际会议上,徐滨士院士等发表了题为《面向21世纪的再制造工程》的会议论文,这是我国学者在国际维修学术会议上首次发表有关“再制造”的学术论文。2001年5月,中国人民解放军总装备部批准立项建设我国首家再制造领域的国家级重点实验室——装备再制造技术国防科技重点实验室,挂靠装甲兵工程学院。2002年6月,在第184次香山科学会议上,徐滨士院士作了特邀大会报告,题目为《绿色再制造材料成形加工关键技术及其基础》,报告引起了与会科学家的广泛重视。2003年8月,徐滨士院士参加我国2020年中长期科学技术发展规划第三主题“制造业发展科学问题研究”的工作,负责承担“机械装备的自修复与再制造”专题的研究论证,为再制造在我国的长远发展提供了决策性论据。2004年5月,我国成立了两个再制造工程学术团体组织:中国设备管理协会再制造工程委员会、中国工程机械学会维修工程分会再制造工程专业委员会。2004年9月,国家发展与改革委员会召开了有全国各省市、自治区发改委、经贸委主任及部分市长参加的全国循环经济工作会议,徐滨士院士应邀作了“发展再制造工程,促进构建循环经济”的专题报告,引起了与会者的重视。2004年9月,装甲兵工程学院成立了我国第一个装备再制造工程系,该系与国防科技重点实验室共同构成了再制造理论及技术研究的平台。

近年来,徐滨士院士等人先后完成了中国工程院咨询项目“绿色再制造工程及其在我国的应用前景”(2000年)和“废旧机电产品资源化”(项目编号:12-2002A);承担了国家自然科学基金项目“再制造设计基础与方法”(项目编号:50075086),以及国家自然科学基金重点项目“再制造基础理论与关键技术”(项目编号:50235030),国家发展与改革委员会论证项目“开展发动机再制造产业示范试点,促进循环经济发展”(项目编号:环资04-01-01)。上述项目对装备再制造工程的基础理论、关键技术及其应用进行了深入的研究。

本书以介绍作者近期的研究成果为主,同时汇集了国内外再制造工程基础研究和应用的新进展。编写此书的目的,既是为了宣传和推广已有的研究成果,又是为了与读者携手共同促进我国装备再制造工程的发展。

本书的作者除装甲兵工程学院装备再制造工程系及装备再制造技术国防科技重点实验室的科技人员外,还特邀北京工业大学李晓延、上海交通大学陈铭、济南复强动力有限公司邢忠、空军装备部外场部朱子新及农业部农机维修研究所梅书文等共同执笔。各章节的作者是:第1章 徐滨士、刘世参;第2章 刘世参、向永华;第3章 3.1 朱胜、姚巨坤;3.2 李晓延;3.3 朱有利;第4章 4.1、4.2 徐滨士、朱子新;4.3、4.6 徐滨士、董世运;4.4 徐滨士、许一;4.5 胡仲翔;4.7 徐滨士、王海斗;4.8 张甲英;第5章 刘世参、向永华、陈铭;第6章 邢忠;第

7 章 梅书文、杨金生、张福学;第 8 章 马世宁、孙晓峰;第 9 章 刘世参、向永华。
全书由徐滨士、刘世参、朱子新统稿。

本书是高等院校材料科学与工程系列教材研究生用书,也可供机械类专业研究生选用,并可供从事机械产品设计、制造、使用、维修、再制造的工程技术人员和管理人员参考。限于作者水平,且书中内容又是发展很快的新技术,不足之处难免,谨祈读者斧正。

特别感谢中国工程院、国家自然科学基金委员会及总装备部装备再制造技术国防重点实验室等单位给予作者的资助及大力支持,并向书中参考的文献作者致以敬意。

作 者
2004 年 10 月

目 录

第 1 章 概论	1
1.1 发展再制造产业的紧迫性	1
1.2 再制造工程的内涵	2
1.2.1 再制造工程的定义	2
1.2.2 再制造在产品全寿命周期中的地位	3
1.2.3 再制造与维修及再循环的区别	3
1.2.4 再制造能创造巨大价值的原因	4
1.3 再制造工程的学科体系	7
1.3.1 再制造工程的研究对象	7
1.3.2 再制造工程的理论基础及其研究内容	8
1.3.3 再制造工程的关键技术	9
1.3.4 再制造工程的质量控制、技术设计与物流管理	9
1.4 再制造工程在循环经济中的地位和作用	10
参考文献	11
第 2 章 再制造工程的国内外发展状况	13
2.1 美国再制造业总览	13
2.2 国外再制造业的发展现状	15
2.2.1 汽车零部件的再制造	15
2.2.2 国防工业的再制造	16
2.2.3 其他行业的再制造	16
2.2.4 典型的再制造公司	17
2.2.5 大学及科研院所开展再制造工程研究	18
2.2.6 再制造协作组织	18
2.2.7 国外再制造业前景展望	19
2.2.8 国外再制造业发展面临的障碍	21
2.3 再制造工程的国内研究和应用现状	22
参考文献	24
第 3 章 再制造工程设计基础	26
3.1 产品的再制造性	26

3.1.1	概述	26
3.1.2	再制造性与再制造性工程的相关定义	27
3.1.3	再制造性的要求及其确定	31
3.1.4	再制造性建模	37
3.1.5	再制造性分配	42
3.1.6	再制造性预计	45
3.1.7	再制造性分析与综合权衡	48
3.1.8	再制造性设计准则	51
3.1.9	再制造性试验与评定	53
3.1.10	废旧产品的再制造性评价	56
3.2	寿命预测	62
3.2.1	寿命预测在再制造中的地位与作用	62
3.2.2	材料的失效模式	63
3.2.3	寿命预测方法	67
3.3	再制造工程中的模拟与仿真	92
3.3.1	再制造工程中计算机辅助技术的特殊问题	92
3.3.2	再制造计算机辅助工程中的常用数值方法 I ——有限单元法 应用实例	104
3.3.3	再制造计算机辅助工程中的常用数值方法 II ——有限差分法 应用实例	110
	参考文献	118
第 4 章	再制造工程先进技术	122
4.1	高速电弧喷涂技术	122
4.1.1	概述	122
4.1.2	电弧喷涂原理	123
4.1.3	电弧喷涂系统	124
4.1.4	电弧喷涂技术特点	125
4.1.5	高速电弧喷涂技术	126
4.1.6	电弧喷涂材料	127
4.1.7	高速电弧喷涂层特征	129
4.1.8	高速电弧喷涂工艺	135
4.1.9	高速电弧喷涂技术应用实例	139
4.2	微纳米等离子喷涂技术	140
4.2.1	概述	140

4.2.2	等离子喷涂技术	141
4.2.3	纳米结构颗粒喂料的制备	147
4.2.4	超音速等离子喷涂技术制备微/纳米结构涂层	151
4.2.5	国内外等离子喷涂纳米结构涂层研究现状	154
4.3	纳米复合电刷镀技术	156
4.3.1	概述	156
4.3.2	纳米复合电刷镀溶液	158
4.3.3	纳米复合电刷镀层的组织与成形机理	162
4.3.4	纳米复合电刷镀工艺	172
4.3.5	纳米复合镀技术的应用	175
4.4	微纳米表面损伤自修复技术	177
4.4.1	微纳米表面损伤自修复技术在再制造工程中的地位	177
4.4.2	微纳米润滑材料的表面损伤自修复机理	178
4.4.3	微纳米润滑材料的主要分类及摩擦学性能	181
4.4.4	微纳米表面损伤自修复技术的应用	189
4.4.5	微纳米表面损伤自修复技术展望	191
4.5	特形面的微脉冲冷焊技术	192
4.5.1	微脉冲冷焊技术电源设备的工作原理	192
4.5.2	微脉冲电阻焊工艺及其“冷焊”特征	194
4.5.3	微脉冲电阻焊焊接微区的融合特点	195
4.5.4	微脉冲电阻焊的修复原理	197
4.5.5	微脉冲电阻焊修复特形表面的操作工艺	200
4.5.6	微脉冲电阻焊技术的应用	201
4.6	激光再制造技术	203
4.6.1	激光再制造技术概念及其分类	203
4.6.2	激光熔覆	204
4.6.3	金属零部件的激光烧结快速成形制造与再制造技术	208
4.6.4	激光仿形熔铸再制造技术	209
4.6.5	激光再制造技术应用及实例	210
4.7	再制造毛坯快速成形技术	214
4.7.1	概述	214
4.7.2	快速成形技术的典型工艺	217
4.7.3	快速成形技术在制造业中的应用	221
4.7.4	快速成形技术在军用装备再制造中的应用	222

4.8 再制造产品的质量控制技术	223
4.8.1 再制造毛坯的性能和质量检测	224
4.8.2 再制造加工过程的优化控制和在线监测	234
4.8.3 再制造成品的无损检测和破坏性抽测	238
参考文献	240
第5章 再制造产品的物流	249
5.1 概述	249
5.1.1 再制造产品的物流的内涵	249
5.1.2 构建再制造产品的物流的重要意义及面临的问题	250
5.1.3 再制造产品的物流的特点	251
5.1.4 再制造产品的物流的主要环节	251
5.1.5 再制造产品的物流管理初探	252
5.2 废旧机电产品的回收与拆解管理	253
5.2.1 废旧机电产品的回收管理	254
5.2.2 废旧机电产品的拆解管理	256
5.3 再制造生产管理	257
5.3.1 再制造生产与新品制造的区别	257
5.3.2 再制造生产的特点	258
5.3.3 再制造生产计划	261
5.3.4 再制造仓储管理	262
5.3.5 再制造管理的控制层次	263
5.3.6 再制造生产关键信息管理	264
5.4 再制造产品的销售服务	266
5.4.1 影响再制造产品销售的主要因素	266
5.4.2 再制造产品销售服务的主要内容	268
5.4.3 销售产品的服务——一种成功的再制造产品销售模式	271
参考文献	273
第6章 汽车发动机再制造	275
6.1 发动机再制造工艺流程	275
6.2 发动机再制造质量保证体系	277
6.3 发动机再制造的效益分析	279
6.4 表面工程技术在发动机再制造中的应用	282
6.4.1 采用高速电弧喷涂技术修复缸体主轴承孔	282
6.4.2 采用电刷镀技术修复凸轮轴轴颈	284

6.4.3 表面工程技术的其他应用实例	285
参考文献	286
第7章 废旧拖拉机再制造	288
7.1 概述	288
7.2 履带式拖拉机的再制造工艺	289
7.2.1 履带式拖拉机再制造的工艺流程	289
7.2.2 零件修复和表面强化工艺举例	289
7.2.3 零部件的改造	290
7.2.4 履带式拖拉机再制造的质量保证体系	291
7.3 履带式拖拉机再制造工程的效益分析	292
7.3.1 实施再制造的经济界限	292
7.3.2 废旧履带式拖拉机可用件、再制造件、报废件的比例	293
7.3.3 经济效益分析	294
7.3.4 履带式拖拉机再制造的社会效益	294
参考文献	295
第8章 机床再制造	297
8.1 旧机床再制造背景	297
8.1.1 我国机床发展现状	297
8.1.2 旧机床再制造的必要性和可行性	298
8.1.3 旧机床数控化再制造国内外概况	299
8.2 旧机床再制造工艺	300
8.2.1 旧机床再制造的原则	300
8.2.2 旧机床再制造工艺流程	300
8.2.3 旧机床再制造的内容	301
8.2.4 机床再制造关键技术	305
8.3 旧机床再制造实例	308
8.3.1 旧机床再制造实例	308
8.3.2 经济性分析	310
参考文献	311
第9章 复印机再制造	312
9.1 复印机再制造发展概况	312
9.2 施乐公司复印机再制造简介	313
9.3 复印机再制造工艺	314
9.3.1 复印机再制造的一般过程	314

9.3.2 复印机再制造工艺流程	315
9.3.3 复印机再制造的内容	316
9.4 复印机再制造效益分析	317
9.4.1 经济和社会效益分析	317
9.4.2 生态效益分析	318
参考文献	319

Contents

Chapter 1 Introduction	1
1.1 Urgency to develop remanufacturing industry	1
1.2 Meaning of remanufacturing engineering	2
1.2.1 Concept of remanufacturing engineering	2
1.2.2 Position of remanufacturing engineering in life cycle	3
1.2.3 Difference between remanufacturing and maintenance or recycle	3
1.2.4 Reason why remanufacturing engineering creates the enormous values	4
1.3 The disciplinary system of remanufacturing engineering	7
1.3.1 Subject remanufacturing engineering aims to	7
1.3.2 Theories and contents of remanufacturing engineering	8
1.3.3 Key technologies of remanufacturing engineering	9
1.3.4 Quality control, technical design and logistic management of remanufacturing engineering	9
1.4 The role and function of remanufacturing engineering in cycle economy	10
References	11
Chapter 2 Situation of remanufacturing engineering in home and abroad	13
2.1 Overview of remanufacturing industry in American	13
2.2 Situation of remanufacturing industry in foreign countries	15
2.2.1 Automobile components remanufacturing	15
2.2.2 National defense industry remanufacturing	16
2.2.3 The other industries remanufacturing	16
2.2.4 Typical remanufacturing companies	17
2.2.5 Studies on remanufacturing in universities and institutes	18
2.2.6 Remanufacturing associations and societies	18
2.2.7 Prospect of foreign remanufacturing industry	19
2.2.8 Obstacle of foreign remanufacturing industry	21
2.3 Situation of remanufacturing engineering in China	22

4.1.8 Process of high velocity arc spraying	135
4.1.9 Applications of high velocity arc spraying	139
4.2 Micro/Nano plasma spraying	140
4.2.1 Introduction	140
4.2.2 Plasma spraying	141
4.2.3 Preparation of nano-structured materials feeding	147
4.2.4 Micro/Nano structured coating prepared by supersonic plasma spraying	151
4.2.5 Situation of nano structured plasma spraying coating in home and abroad	154
4.3 Nano electric brush-plating	156
4.3.1 Introduction	156
4.3.2 Nano composite nano electric brush-plating solution	158
4.3.3 Structure and deposition mechanism of nano composite electric brush-plating coating	162
4.3.4 Process of nano composite electric brush-plating	172
4.3.5 Applications of nano composite electric brush-plating	175
4.4 Micro/nano self-repairing additive	177
4.4.1 Station of micro/nano self-repairing additive in remanufacturing engineering	177
4.4.2 Self-repairing mechanism of micro/nano lubrication materials	178
4.4.3 Classification and tribological properties of micro/nano lubrication materials	181
4.4.4 Applications of micro/nano self-repairing additive	189
4.4.5 Prospect of micro/nano self-repairing additive	191
4.5 Micro impulse cold welding	192
4.5.1 Operating principle of power supply of micro impulse cold welding	192
4.5.2 Technique and characterization of micro impulse resistance welding	194
4.5.3 Fusion characterization of micro impulse resistance welding	195
4.5.4 Repairing principle of micro impulse resistance welding	197
4.5.5 Operational technique of micro impulse resistance welding	200
4.5.6 Applications of micro impulse resistance welding	201