

绿色再制造工程及其在我国主要机电装备领域 产业化应用的前景*

徐滨士, 刘世参, 张 伟, 史佩京

(装甲兵工程学院装备再制造技术国防科技重点实验室, 北京 100072)

摘 要: 阐述了装备再制造工程的内涵与特征, 提出了今后需要研发的再制造关键技术与系统装备, 论述了再制造今后的产业化应用方向, 阐述了推进我国再制造产业发展的政策建议与措施。结果表明: 绿色再制造工程是废旧产品高技术修复改造的产业化, 是现代服务业的重要组成, 再制造工程今后可在我国汽车领域、工程机械领域、化工冶金领域、国防装备等领域推广应用并形成产业化。在新世纪发展再制造工程并推进其产业化发展是构建循环经济和建设节约型社会的重要途径之一。

关键词: 再制造工程; 循环经济; 可持续发展; 产业化应用

中图分类号: TH16; TH17

文献标识码: A

文章编号: 1007-9289-(2006)05⁺-0017-05

Prospect of Industrialization Applications for Green Remanufacturing Engineering in Main Mechanical and Electronical Equipment Fields

XU Bin-shi, LIU Shi-can, ZHANG Wei, SHI Pei-jing

(National Key Laboratory for Remanufacturing, Academy of Armored Forces Engineering, Beijing, 100072)

Abstract: The meaning and characteristic of remanufacturing engineering were described, some keying technology and equipment of remanufacturing engineering were put forward, the industrialization direction of remanufacturing engineering was described, some useful policy was also discussed. Remanufacturing is the industrialization of the waste electromechanical products' high-tech maintenanc, and the main composing of modern service industry. Remanufacturing engineering could be applied and form the industrialization in automobile field, engineering machine field, chemical industry and metallurgy field, national defence equipment field, etc. Developing remanufacturing possesses the profound meaning for enriching the recycle economy concept and accelerating the development of national economy.

Key words: remanufacturing engineering; circular economy; sustainable development; industrialization applications

0 引 言

进入 21 世纪, 保护地球环境、构建循环经济、保持社会可持续发展已成为世界各国共同关心的话题。目前大力提倡的循环经济模式是追求更大经济效益、更少资源消耗、更低环境污染和更多劳动就业的一种先进经济模式^[1, 2]。

再制造工程, 作为我国新世纪重点发展起来的

先进制造系统中的新方向, 以节约资源、节省能源、保护环境为特色, 以综合利用信息技术、纳米技术、生物技术等高科技为核心, 充分体现了具有中国特色自主创新的特点。再制造可使废旧资源中蕴含的价值得到最大限度的开发和利用, 缓解资源短缺与资源浪费的矛盾, 减少大量的失效、报废产品对环境的危害, 是废旧机电产品资源化的最佳形式和首选途径, 是节约资源的重要手段。再制造工程高度契合了构建循环经济的战略需求, 并为其提供了关键技术支撑, 大力开展绿色再制造工程是废旧机电产品资源化的最佳途径和首选形式之一, 是实现循环经济和可持续发展的主要途径之一, 符合国策

收稿日期: 2006-05-28

基金项目: *中国工程院咨询项目 (2005-05), 国家发改委论证项目 (2005 环资 05-29)

作者简介: 徐滨士(1931-), 男(汉), 哈尔滨市人, 教授, 院士。

(人口、资源、环境)的要求。

1 再制造工程的内涵及特征

再制造工程是以产品全寿命周期理论为指导,以废旧产品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,来修复、改造废旧产品的一系列技术措施或工程活动的总称^[3-5]。简言之,再制造工程是废旧产品高技术修复的产业化。再制造的重要特征是再制造产品的质量和性能达到甚至超过新品,成本只为新品的50%,节能60%,节材70%,对环境的不良影响与制造新品相比显著降低。

全寿命周期费用分析研究显示,机电产品的使用和维修所消耗的费用往往数倍于前期(开发、设计、制造)费用。再制造工程主要针对损坏或报废的零部件,在失效分析、寿命评估等全寿命分析的基础上,进行再制造工程设计,采用高新表面工程技术、快速成形技术等先进制造技术,使再制造产品质量达到或超过新品,以形成再制造新产品的系统工程。采用再制造工程,可大量恢复设备及其零部件的性能,延长使用寿命,降低全寿命周期费用,节能节材,减少环境污染。而且可形成新的产业,扩大再就业,创造价值,迅速形成新的经济增长点^[6]。

2 需要进一步研发的再制造关键技术与关键设备

“十五”期间,在中国工程院、国家发改委、科技部、国家自然科学基金委、军队“十五”预研课题以及中-英和中-波政府科技合作项目的大力支持下,再制造的基础理论与相关前沿技术得以深入地探索研究。特别是纳米表面工程技术在再制造中的应用,不但实现了对再制造部件尺寸的完全恢复和性能提升,而且提高了旧品利用率、降低了再制造成本,该技术已超过国外再制造企业使用的以换件为主的传统尺寸修理法,是具有中国特色的自主创新。再制造作为先进制造和绿色制造的重要组成部分,今后需要进一步深入研究再制造的前沿技术,并开发相应的关键设备。

2.1 再制造关键技术

(1) 产品再制造性评价与再制造设计技术

主要建立面向产品设计过程的再制造性设计体系框架,系统分析再制造性指标的确定、建模、

分配、预测等。分析影响再制造性的技术性、经济性和环境性等评价指标,设计出产品最优化的再制造方案。

(2) 废旧零部件与再制造零部件的剩余寿命预测技术

主要通过显微结构、力学分析、应力测试及数值模拟等方法,结合无损检测技术预测和测试再制造零部件的剩余寿命,解决再制造零部件寿命预测的关键难题。

(3) 装备再制造质量控制与检测技术

主要采用涡流、磁记忆等无损检测技术评价服役再制造零部件的状态,建立再制造零部件的无损检测标准和评价规范;监测再制造过程中的技术工艺参数及零部件表面质量和性能,通过反馈实现再制造工艺的自动控制调节。

(4) 再制造数字化成形平台关键技术

主要针对失效缺损零部件,在缺损毛坯三维几何形状基础上,借助在线快速“反求”和建模系统获得缺损部位的三维数据模型,利用金属直接成形技术对装备缺损部位进行智能化快速再制造成形。其创新性主要是在快速成型技术的基础上,创新性的对具有一定形状的缺损毛坯实施数字化快速成形再制造。

(5) 纳米表面工程技术

主要是利用纳米材料的特殊性能,开展符合装备再制造的纳米表面制备新技术及其纳米复合新材料研究,用以提高再制造部件的性能和使用寿命。目前,国外再制造产业中所使用的技术是以换件为主的传统尺寸修理法。而采用纳米复合表面制备和成形一体化技术,不但实现了对再制造部件或产品尺寸的完全恢复,而且提高了旧品利用率、降低了再制造成本,提升了再制造产品的性能。该内容是我国在再制造关键技术领域独具特色的创新性研究工作,其理念和技术方法均比国外再制造更为先进。

(6) 逆向物流及供应链技术

主要研究逆向物流渠道及回收网络设计技术、逆向物流运作效率及库存控制技术、基于逆向物流的生产作业计划与资源配置技术、废旧产品的储运与污染控制技术、逆向物流及供应链建模及仿真技术等。

(7) 废旧产品先进高效拆解与回收利用技术

主要包括废旧产品绿色拆解工艺规划技术、绿

色清洗工艺技术、绿色分离技术等。

2.2 再制造关键设备及系统

(1) 废旧部件的寿命预测仪器及设备

主要是通过显微结构、力学分析、应力测试及数值模拟等方法,结合现有的无损检测技术预测和测试再制造零部件的剩余寿命,解决再制造零部件剩余寿命预测的关键难题。开发(主要考虑开发应用涡流、磁记忆等方法)可对再制造毛坯和零部件的寿命预测的设备。

(2) 零部件数字化再制造快速成形系统及设备

主要针对失效缺损零部件,在缺损毛坯三维几何形状基础上,借助在线快速“反求”和建模系统获得缺损部位的三维数据模型,利用金属直接成形技术(包括再制造快速智能电弧喷涂、激光融覆成形技术及设备)对装备缺损零部位进行智能化快速再制造成形。其创新性是在综合集成现有的快速成形技术设备的基础上,开发智能快速的再制造成形技术设备。

(3) 电弧喷涂自动化系统及设备

主要在高速电弧喷涂技术的基础上,融合机器人技术、自动化/信息化技术等,研制开发智能高速电弧喷涂技术,实现装备及失效零件的自动化快速维修,为装备零件快速维修提供技术支撑。其硬件设备主要包括智能喷涂机器人、自动化高速电弧喷涂设备以及喷涂件温度场测试与控制设备等。智能喷涂机器人拟在现有工业机器人设备系统的基础上进行升级改造;自动化高速电弧喷涂设备系统拟在现有手工操作高速电弧喷涂设备系统基础上进行升级改造;喷涂温度场测试与控制设备系统拟采用红外测/控仪器。

(4) 自动化电刷镀系统及设备

自动化电刷镀设备的硬件主要由计算机、刷镀设备、镀液供给、切换及加热系统、保温镀液型镀笔、强电和弱电控制柜、接口箱、信号调理器以及刷镀电源等组成。软件为基于Labview开发的自动化电刷镀专用程序。通过自动化纳米电刷镀设备,可实现刷镀过程中工件与镀笔相对运动自动化,镀液供给和切换自动化以及工序间快速转换,为获得高质量镀层提供了硬件支持;利用虚拟仪器技术实现了刷镀过程中各工艺参数的监测,为优化刷镀工艺过程、监测刷镀状态提供了直接、可视化依据;利用自动化纳米电刷镀设备的准确性和鲁棒性制

备出了比手工刷镀更为致密、均匀的镀层,为废旧零部件的再制造奠定了良好基础。

3 再制造工程在相关领域产业化应用的前景

我国设备资产达上万亿元,许多大型成套设备,尤其是70年代末、80年代初引进的重大设备,从2001年开始将陆续到寿,面临报废,在2010年左右将达到最多数。同时,国内每年报废的大量计算机、手机、空调、电冰箱等电子电器产品,这就形成了一个潜在的、巨大的再制造产业的市场。通过对上述重大设备进行修复和再制造可以创造出巨大的经济效益^[7,8]。

结合我国国情,并借鉴国外发达国家成功经验,再制造工程将在汽车及其零部件领域、工程机械领域、农业机械领域、矿山机械领域、国防装备领域、化工冶金领域、机床领域、家用电器与电子设备等诸多工业领域显示出良好的应用前景。

(1) 汽车及其零部件领域的再制造

国外开展汽车零部件的再制造已有五十多年的历史。欧美等国的再制造汽车零部件主要包括发动机、离合器、转向器、启动机等几十种零部件,再制造的产品已在技术标准、生产工艺、售后服务等方面形成了一套完整的体系。

我国现有汽车保有量已接近3400万辆,年均报废汽车200万辆以上。大量报废汽车中的五大总成、电机、轮胎等零部件没有进行再制造而废弃。因此,在我国开展汽车零部件领域的再制造具有广阔的发展前景。

(2) 工程机械再制造

国外从20世纪80年代就已经开始从事工程机械再制造,北美的工程机械已经要求全部实现再制造,其市场准入制度是制造商负责对售出使用5年或运行1万小时的工程机械进行全部回收和再制造,并在回收的同时返还消费者产品价格50%的费用。

2004年,我国工程机械保有量为200万台,报废量达8.7万台;现有产品中多以引进国外上世纪七、八十年代产品为主,已有80%到达中修期或大修期。预计至2010年工程机械的报废量将达到43万台,2020年将达到120万台。因此,工程机械领域存在着巨大的再制造市场空间。

(3) 农用机械再制造

我国是农业大国,农业机械保有量大。2005 年,全国拖拉机保有量超过 1446 万台,联合收割机达到 47.4 万台,农用三轮/四轮运输车超过 1800 万辆,上述农用机械正以年均 11% 的速度增长,按照 15 年的折旧年限计算,每年报废金额将超过 213.6 亿元。因此,农用机械再制造潜力巨大。

(4) 化工、电力、冶金领域再制造

化工、电力、冶金行业作为国内耗能、耗材大户,发展再制造产业意义重大。采用激光和高速电弧喷涂等再制造技术应用于石化、冶金、电力等重点行业的大型贵重装备,再制造后的性能和质量超过新品,寿命显著延长,并可节约材料,节省资金。

因此,在上述领域开展设备再制造研究与应用,对于节约能源、减小污染、降低能耗、提高能效都具有重大的社会效益。

(5) 国防装备再制造

武器装备的升级再制造是对现役过时装备或退役装备及其零部件进行改进、升级,使其性能、质量超过原始装备。装备的升级再制造包括:提高装备的功能、可靠性、维修性、安全性、经济性等指标而改变设计、制造工艺、材料、输送方法或技术要求等方面。

在国防经费有限的条件下,采用装备再制造工程技术对现有装备进行科学、系统升级,可显著提高装备效能,延长装备使用寿命,使之适应未来战争的需要。

(6) 机床装备再制造

国外于上世纪 80 年代初,开始从事机床再制造;进入 90 年代,发达国家的大型制造企业已成功实施“购置新机床设备”和“再制造老旧机床设备”并重的发展策略。目前,美国有 200 多家专门从事机床再制造的企业,日本的机床再制造企业也超过 20 余家。

我国已是世界上的机床制造和使用大国,但现有机床的构成还不合理,总体质量比较落后,与发达国家存在较大的差距。目前,我国机床保有量为 550 万台,并以每年 30 万台的数量递增;但机床数控化率不到 3%,仅为工业发达国家的十几分之一。据统计,我国每年需要大修、中修的机床约 40 多万台,按照报废率为年均保有量的 3% 计算,每年将有 16 万台机床进入淘汰阶段,“十一五”期间将有接近 80 万台机床面临各种形式的报废。因此,开展机床再制造具有广阔的市场前景。

(7) 家用电器与电子设备再制造

国外发达国家的家电回收利用政策法规及行业标准相对健全。2002 年,日本回收办公电脑 40 多万台,平均资源化率达到 65%。2004 年,美国从报废的 3.15 亿台计算机中回收了 1800 万吨塑料、682 万吨镉、55 万吨铬、45 万吨铅及其它材料。

我国已步入家电报废高峰期,主要家电报废数量惊人。2005 年,我国有 600 多万台电脑、1300 万台电视机、2000 万部手机、500 万台电冰箱被淘汰。报废电器中的大量元器件还具有旺盛的生命和足够长的使用寿命,可在新家电生产中再利用或用于废旧家电的升级再制造。

4 推进再制造产业发展的建议

再制造在资源节约型和环境友好型社会建设中的地位和作用,既需要其自身在从理念与关键技术方面创新发展,更需要国家政策的保护和社会各行业的支持。

4.1 进一步扩大再制造领域的试点工作

在国家发改委公布的发动机再制造和轮胎再制造的基础上,摸索总结一整套再制造行业的管理办法,进一步扩大再制造试点的内容和范围。

4.2 逐步建立和实施鼓励再制造产业发展的政策机制

适时出台、修订和完善相关法律法规。尽快制定有利于再制造行业的管理办法,既有利于再制造行业的发展,又有利于杜绝非法汽车拼装和假冒伪劣配件的流通;研究制定实施制造商责任制,要制造商明确在产品生产制造时就考虑产品的可再制造性,要对自己的产品进入报废期后的回收与再制造承担责任,制造商还要担负起以最新技术支持再制造产品技术改造、性能提升的责任;适时调整对汽车等再制造产业发展的限制政策。对报废产品的回收、拆解及再制造实行“变堵为疏”,建立再制造与制造、回收、拆解相衔接的制度,允许有资质的再制造企业回收废旧并进行再制造。

4.3 对再制造产品市场流通实行严格监管

鉴于我国市场秩序还比较混乱,在对再制造行业解除政策制约的同时,建立和完善再制造产品的生产和市场监管体系。一是对再制造行业采取严格的准入制度,对相关再制造产品实行强制性产

品认证、强制标识、产品信息备案等制度,对从事再制造的企业实行生产许可证等行政审批或备案制度;二是制定严格的再制造行业标准,包括再制造前的废旧产品检验标准、再制造技术导则、再制造产品质量标准和再制造管理标准;三是采取切实有效的全方位控制措施加强监管,建立再制造产品认证和标识制度,规范再制造产品生产和销售体系,建立再制造企业、产品数据库和信息网络化管理系统,加强进口废旧产品检验和监管等。四是要充分发挥市场机制和经济杠杆的作用,逐步理顺资源性产品和再制造产品间的关系,允许再制造后的产品经标记后在市场出售,并可适当提高资源性产品价格、大幅度降低再制造产品价格,来提升再制造产品的竞争力。

4.4 加大再制造关键技术的研发力度

科技部、国家自然科学基金委、军队单位的“十一五”规划以及国家中长期科学和技术发展规划战略研究报告均将再制造技术列入重点领域之一,在此基础上,依托从事再制造研究的国家实验室、科研院所,结合有再制造基础和资质的企业单位,通过产学研相结合并发挥以企业为主的自主创新,进一步加大支持废旧机电产品再制造中的先进表面工程技术、再制造产品质量控制和寿命评估等再制造关键技术和装备的研发、攻关和示范推广,推进再制造工程科学技术成果转化,为推进再制造事业的发展提供技术支持。

4.5 加强宣传引导

结合资源节约、发展循环经济和建设节约型社会的系列活动,用生动事例宣传再制造在建设节约型社会中的地位 and 作用,正确引导社会各界尤其是新闻媒体对再制造及进口外废旧再生资源的认识,鼓励消费者使用再制造产品。各级政府机关带头采用再制造产品,为公众做表率。相关高等大专院校开设再制造方面课程或学术讲座。对企业的相关工程技术人员进行专业培训。

5 结 论

(1) 循环经济的核心是资源、能源的高效利用和循环利用,其原则是减量化、再利用、再制造与再循环。再制造是循环经济中最活跃的要素之一,是节约资源的重要手段。

(2) 再制造是废旧装备高技术修复、改造的产业化。其重要特征是再制造产品质量和性能达到或超过新品,成本却只是新品的 50%,节能 60%,节材 70%,对环境的不良影响显著降低。再制造产品不是二手产品而属于新品。

(3) 以微纳米表面工程技术为代表的高新技术,对再制造的发展具有重大的促进作用,可有效恢复和提升废旧机电设备的尺寸及工作性能,与传统的维修有重要区别,该技术已超过国外再制造企业使用的以换件为主的传统尺寸修理法,是具有中国特色的自主创新。

(4) 再制造做为现代服务业的重要组成部分,可显著拉动国民经济、增加就业、节能节材、保护环境,是一项朝阳产业。大力开展装备再制造工程,是落实国家构建循环经济战略和建设节约型社会的重要举措。

参考文献:

- [1] 马凯. 贯彻落实节约资源基本国策,大力发展循环经济 [N]. 经济日报, 2005.12.19, 第 2 版.
- [2] Xu Binshi, Liu Shican, Wang Haidou. Developing remanufacturing, constructing cycle economy and building saving-oriented society. Journal of Central South University of Technology. 2005, 12 (S2): 1-6
- [3] 徐滨士, 等. 废旧机电产品资源化 [R]. 中国工程院咨询报告, 2003.
- [4] Xu Binshi, Zhu Sheng. Advanced remanufacturing technologies based on nano-surface engineering [C]. Proc. 3rd Int. Conf. on Advances in Production Eng, 1999, Guangzhou: 35-43.
- [5] Xu Binshi, Liu Shican, Zhu Sheng, et al. Role of resource recovery of waste machinery and electronic products in sustainable development [C]. Proceedings of the World Engineers' Convention, Shanghai, 2004, Vol.G: 323-328.
- [6] 徐滨士. 再制造工程基础及其应用 [M]. 哈尔滨工业大学出版社, 2005.
- [7] 徐滨士, 刘世参, 王海斗. 大力发展再制造产业 [J]. 求是, 2005, (12): 46-47.
- [8] 徐滨士, 等. 绿色再制造工程及其在我国应用的前景 [R]. 中国工程院咨询报告, 2000.

作者地址: 北京丰台区杜家坎 21 号 100072

装甲兵工程学院院士办

Tel: (010)66717144

