

机床再制造与综合提升内涵及技术框架*

曹华军¹, 杜彦斌¹, 张明智², 陈时权²

(1. 重庆大学机械传动国家重点实验室, 重庆 400030; 2. 重庆机床(集团)有限责任公司, 重庆 400055)

摘要: 机床再制造是国家《循环经济促进法》及国务院多项文件中明确的重点领域。机床再制造属于典型的产品型再制造模式, 是一种以废旧机床及零部件为坯料, 以资源循环再利用为基础, 通过对产品进行创新再设计、零部件再制造和整机系统集成, 从而满足市场需求的机床制造新模式。阐述了机床再制造的定义、内涵及其与零部件再制造、机床维修改造等概念的区别和联系, 并提出了机床再制造与综合提升的运作流程和技术框架; 结合再制造实践, 通过案例分析总结了机床再制造与综合提升的经济及社会效益。

关键词: 机床; 再制造; 综合提升; 循环经济

中图分类号: TH17

文献标识码: A

文章编号: 1007-9289(2010)06-0075-05

Connotation and Technology Framework of Machine Tool Remanufacturing and Comprehensive Upgrading

CAO Hua-jun¹, DU Yan-bin¹, ZHANG Ming-zhi², CHEN Shi-quan²

(1. State Key Laboratory of Mechanical Transmission, Chongqing University, Chongqing 400030; 2. Chongqing Machine Tool (Group). Co., LTD, Chongqing 400055)

Abstract: Machine tool is one of the key areas of remanufacturing industry, which is stated clearly in the “*Recycling Economy Law of the People’s Republic of China*” and many documents of the State Council. Machine tool remanufacturing is a typical product-based manufacturing model, in which the used machine tools and parts are used for the blanks to meet market demands by the product innovation redesign, the part remanufacturing and system integration of whole machine on the base of resource recycling. Firstly, the definition and connotation of machine tool remanufacturing and its differences and connections with the concepts of part remanufacturing, machine tool maintenance and NC rebuilding and others are presented. Then, the economic and social benefits are summarized through case study, combined with remanufacturing practice.

Key words: machine tool; remanufacturing; comprehensive upgrading; recycling economy

0 引言

再制造是循环经济“再利用”的高级形式, 是指将废旧汽车零部件、工程机械、机床等进行专业化加工的批量化生产过程, 再制造产品达到与原有新品相同的质量和性能^[1]。机床再制造属于典型的产品型再制造, 是国家发展循环经济和推进再制造产业发展的重点领域。《中华人民共和国循环经济促进法》(2009年1月1日起实施)第四十条明确规定: “国家支持企业开展机动车零部件、工程机械、机床等产品的再制造和轮胎翻新……”。2009年,

国家确定批准了首批机电产品再制造试点单位, 其中包括5家机床再制造试点企业。2010年5月13日, 发改委、科技部等11部门联合发布《关于推进再制造产业发展的意见》, 将汽车零部件及工程机械、机床等列为推进再制造产业发展的重点领域。机床再制造在国外发展多年, 已形成一定的产业规模。美国现有超过300多家专业机床再制造公司, 可对各类机床进行再制造与升级^[2-3]; 德国拥有最大的二手机床及机床改造市场^[4]; 日本有超过20多家的专业机床再制造公司。

我国机床保有量超过800万台, 是世界上机床保有量最大的国家, 但是国机床整体水平比较落后, 已难以满足制造业的发展需求, 未来5~10年

收稿日期: 2010-11-08; 修回日期: 2010-11-15

基金项目: *国家十一五科技支撑计划重点项目 (2006BAF02A20)

作者简介: 曹华军(1978—), 男(汉), 江西余干人, 教授, 博导。

有相当一部分技术相对落后的机床都可能面临报废、闲置、技术性或功能性淘汰,从而形成相当规模的可循环利用的再制造潜在资源。机床再制造与综合提升的市场前景非常广阔。我国机床再制造行业发展起步较晚,目前仍处于以维修改造为主的再制造初级阶段,其特点是:① 产业需求旺盛,存在大量的老旧机床迫切需要再制造;② 以维修改造形式为主,企业规模小(甚至很多是个体户),维修改造后的机床性能和可靠性难以保证;③ 先进技术应用不够,缺乏面向产业化发展的成套技术与装备及相关标准和规范,再制造技术水平和效率低下、资源循环利用率不高。

针对目前我国机床再制造产业的特点及存在的问题,在对我国机床再制造产业进行调研的基础上,给出机床再制造与综合提升的定义、内涵及其与零部件再制造、机床维修改造等概念的区别和联系,并提出机床再制造与综合提升的运作流程和技术框架;结合机床再制造实践,通过案例分析机床再制造的经济、社会效益。

1 机床再制造与综合提升的定义及内涵

再制造是维修工程和表面工程发展的高级阶段,是废旧产品高技术修复、改造的产业化^[5]。再制造主要有两大领域:一是零部件再制造,主要以汽车零部件(汽车发动机的缸体、缸盖、曲轴、连杆等)、打印机墨盒等为代表,这些零部件经过再制造后主要进入备件市场^[6];二是产品再制造,主要以机床等产品为代表,废旧产品经过再制造后直接进入终端消费市场,可提供完整的产品质量保证及售后服务。再制造的特征是产品的质量和性能不低于新品,成本只是新品的50%,节能60%,节材70%,对环境的不良影响与新品制造相比显著降低^[5]。

机床属资源消耗型产品,重量大,80%以上为铸铁或钢材,再制造资源循环利用率高;特别是床身、立柱、横梁、底座等铸件,时效越长,内应力越小,适合于循环再制造,再制造后的机床性能稳定,可靠性好。其次,机床结构稳定,采用现代数控系统、自动化系统、轴承及液压元器件等进行直接替换,可实现机床系统的自动化程度、控制精度以及能效水平的综合提升,功能和性能可超越其原有新品,满足现代生产需要。可见,机床是一种极

具回收再制造价值的典型机电产品,且不受任何政策限制,再制造潜力巨大。

机床再制造属于典型的产品型再制造模式,其技术特征表现为:① 以废旧机床及零部件为主要原材料;② 废旧机床要经过完全拆卸、可再制造性及剩余寿命评估等过程,要按严格工艺流程进行修复、再加工制造、再装配,达到新机床及零部件的技术要求;③ 采用现代数控系统、自动化系统、信息技术以及轴承及液压元器件等对废旧机床进行技术升级和综合提升,整机可完全超越原产品技术水平;④ 可向客户提供完整、透明的产品质量保障和售后服务。

综上所述,可以将机床再制造与综合提升定义为一种基于废旧机床资源循环利用的机床制造模式,它运用现代先进的制造、信息、数控及自动化等技术对废旧机床进行可再制造性测试评估、拆卸以及创新性再设计、再加工、再装配,制造出功能和性能均得到恢复或提升且符合绿色制造要求的新机床。机床再制造与综合提升不同于传统的机床维修或数控化改造,机床再制造强调再制造机床的“新产品”特征,实现“以旧造新”,可保证再制造机床功能更强、性能指标更优而且有完善的质量保障及售后服务,并赋予其全新的生命周期,可实现批量化生产;而机床维修或数控化改造仅仅是对原废旧产品的性能恢复或部分功能升级,仅仅是原生命周期的延续,仍为“以旧造旧”,且大多属单件式服务。不同于新机床制造模式,机床再制造是一个包括拆卸、清洗、检测与分类、再设计、再加工、再装配等工艺过程的更为复杂的系统工程,再制造的“毛坯”是废旧机床或零部件,可节约大量的资源、能源消耗,成本仅为新机床制造的40%~60%。

2 机床再制造与综合提升的运作流程及技术框架

2.1 机床再制造与综合提升的运作流程

机床再制造与综合提升的运作流程主要包括拆卸、清洗、检测与分类、零部件修复与再制造、整机再制造与综合提升、再装配等工艺过程(见图1)。

机床的拆卸是指采用一定的工具和手段,通过分解连接件及装配关系将原废旧机床装配体分解为单个零件、部件的过程。零部件拆卸之后要对所有需要进行再加工或再利用的机床零部件进行清洗,

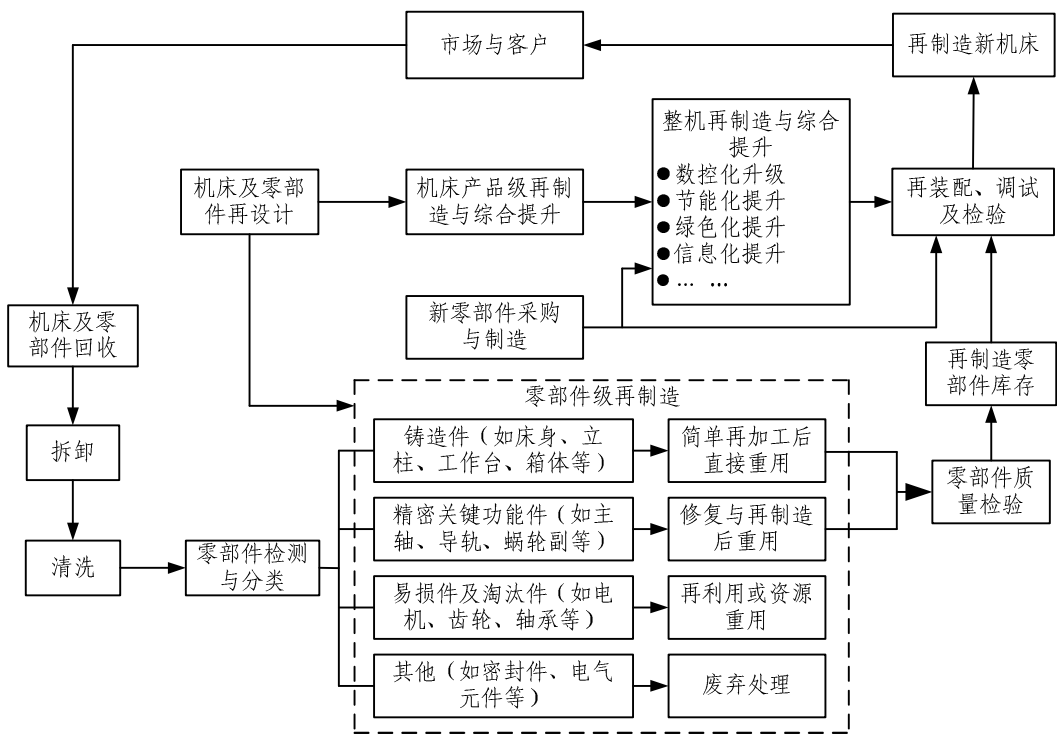


图 1 机床再制造与综合提升的运作流程

Fig.1 Operation flow for machine tool remanufacturing and upgrading

去掉废旧零部件表面的灰尘，并去掉零部件表面的油脂、油渍、锈蚀以及表面的油漆涂层等。每个零部件如果没有明确要求更换，则必须在清洗之后进行检测以确定其失效、损伤或磨损情况，从经济、技术、资源、环境等方面分析零部件的可再制造性。再加工是利用机械加工技术、先进表面工程等技术对废旧机床零部件进行加工处理，达到再制造新机床使用标准的过程。再装配是按照再制造机床的技术条件，将再利用和再制造后的零部件、更新件及控制系统等重新装配成再制造新机床的过程。装配后，需要用新机床出厂检验标准对每台机床进行调试与检测以保证再制造新机床的质量。

2.2 机床再制造与综合提升的技术框架

机床再制造与综合提升技术涉及内容非常广泛，涵盖了机床设计与制造技术、先进制造技术、绿色制造技术、维修及表面工程技术、管理科学与工程等多种学科的技术及研究成果^[7-9]。笔者通过集成各种相关技术，建立了机床再制造与综合提升技术框架，主要包括废旧机床再设计技术、机床零部件修复与再制造技术、机床整机再制造与综合提升技术（包括机床绿色化改进技术、机床节能性提

升技术、机床信息化提升技术等）、质量控制技术以及其他支撑技术等关键技术，如图 2 所示。

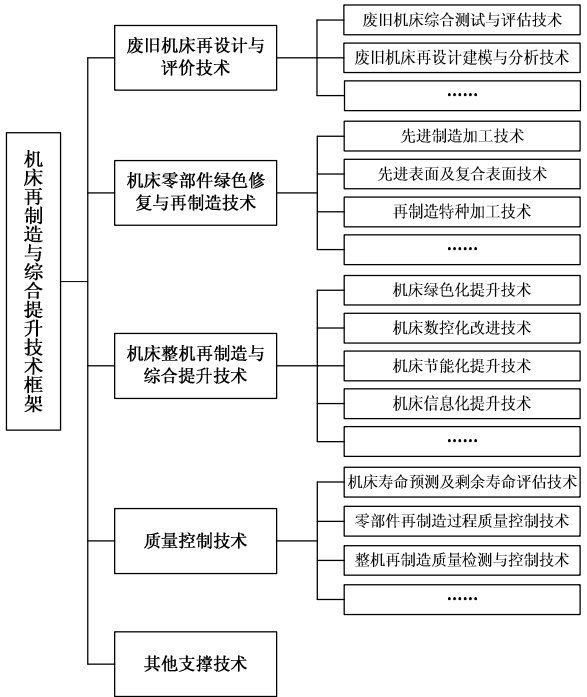


图 2 机床再制造与综合提升技术框架

Fig.2 Technology framework for machine tool remanufacturing and upgrading

3 机床再制造实践及效益分析

“十一五”期间，重庆机床（集团）有限责任公司与重庆大学联合承担了国家科技支撑计划重点课题“机床再制造关键技术与应用”，对机床再制造关键技术展开了较为深入的研究。重庆机床（集团）有限责任公司是中国专业制造圆柱齿轮加工机床的国有大型企业，是国内最大的成套制齿装备生产基地，世界上齿轮加工机床产销量最大的制造商；是机床再制造产业技术创新战略联盟的主要发起单位和副理事长单位、国家首批机电产品再制造试点单位之一。重庆大学是机床再制造领域首项国家标准《绿色制造 金属切削机床再制造技术导则》牵头起草单位；于“十五”期间，曾牵头实施重庆市“千台设备数控化改造工程”项目，积极参与机床再制造相关工作。

3.1 机床关键零部件再制造及效益分析

机床制造需要消耗大量普通钢铁材料以及部分高档钢材，机床再制造可以对这些钢铁资源进行回收利用；机床是一个复杂的机械产品，其零部件

成型和制造过程中，如铸造、焊接、切削加工、热处理等，需要消耗大量的能源、劳动力，并造成多方面的环境污染。通过机床再制造，可充分利用原有机床的床身、立柱、工作台、底座、主轴箱、横梁、溜板、滑座等大件，占整机重量 80 % 以上的废旧零部件都可实现循环再利用，不仅大大节约资源和能源，并避免再消耗和减少环境重复污染。

应用先进的表面工程技术和绿色修复工艺，形成了一套机床零部件绿色再制造工艺流程，用于机床导轨、主轴、蜗轮蜗杆副等关键零部件的再制造，可提高零部件再制造的质量和效率。下面以 C616 车床床身为例进行说明。

新车床床身的制造工艺流程如下：坯件退火→铣→刨→退火→刨→铣→刨→钳→热 G50→振动失效→刨→铣→刨→钳→钳→钳→油漆→磨导轨→检查→上油入库。车床床身再制造工艺过程如下：清洗→除油→冷态重熔焊补（修复导轨拉伤面锈蚀面）→刷镀→磨导轨→上油入库。表 1 为 C616 床身再制造与新制造相关指标对比。

表 1 C616 床身再制造与新制造对比

Table 1 The index comparison between the manufactured and remanufactured bed of C616 lathe

指标	工序/步	加工时间/h	加工周期/天	铸铁材料消耗/kg	电能消耗/度	碳排放量*/kg CO ₂	成本/元
新制造	20	48	30	361	956	1627.329	3850
再制造	6	18.2	3	0	60	47.100	580

*备注：仅计算材料及能耗碳排放，铸铁碳系数取2429 kg CO₂ / t；能源碳系数：0.785kg CO₂ / kWh。

3.2 机床整机再制造与综合提升

目前，数控化及信息化技术已较为成熟，且已广泛应用于新机床，而废旧机床由于服役时间较长，在数控化、信息化等方面已远远落后于新机床，因此需要对废旧机床整机进行再制造与综合提升，提升整机技术水平、智能化程度和系统可靠性。采用现代数控系统、自动化系统、信息技术以及轴承及液压元器件等对废旧机床进行技术升级和综合提升，整机可完全超越原产品技术水平。下面主要对废旧机床的信息化提升进行分析。

现代制造业车间层信息化正向深度和广度方向进一步发展，而废旧机床通过数控技术提升后，信息化提升方面仅限于数控程序的上传与下达，远远不能满足机床对信息化功能的需求。针对这些问题，开发成功废旧机床再制造多功能信息化提升装置，使其向上能与车间设备层信息化系统连接，向

下可实现机床状态信息的实时采集，从而实现甩图纸、加工过程动画示教与仿真、动态数据和信息交互、支持装备联网运行和调度、加工过程状态监控、远程设备维护和故障诊断等信息化功能，提升废旧机床的信息化技术水平。采用信息化提升技术再制造的机床如图3所示。

3.3 产业化应用推广

2008年，在重庆市政府以及产业界的大力支持下，重庆机床（集团）有限责任公司建成了“重庆市工业装备再造工程产学研合作基地”，下设“重庆市工业装备再造工程示范基地”和“重庆市工业装备再造工程技术中心”。目前，该基地已具有年生产再制造机床200台的加工能力，已先后为重庆秋田齿轮有限责任公司等数十家客户企业完成了500多台废旧机床的再制造，循环利用钢铁等废旧资源2 000多吨，明显提升了客户企业装备能力和制造能力，为

客户企业节省新购同类机床设备费用5 000多万元,并新增服务型产值3 000万元、利税800多万元。



图3 机床再制造信息化提升后的车床

Fig.3 The remanufactured lathe with the upgrading of information function

4 结 论

(1) 机床再制造是国家《循环经济促进法》和十一部委文件《关于推进再制造产业发展的意见》中明确的重点发展领域。我国机床保有量世界第一,但整机技术水平落后,迫切需要通过再制造与综合提升实现我国现有机床装备加工能力的提升,产业化前景非常广阔。

(2) 机床再制造是一种基于废旧机床及零部件的机床制造新模式,属典型的产品型再制造,不仅可实现废旧机床资源的循环再利用,而且可实现机床装备加工能力的跨越式提升,是一项集“发展循环经济”、“开拓新兴产业”、“低成本提升我国制造业装备能力”三大功能于一体的重大工程。

(3) 再制造机床的成本仅为同性能新机床的40%~60%,而功能、性能可达到或超过新机床水平,并具有完善的售后服务保证,可为用户企业节省大量的设备购置资金,并可实现制造过程节能、节材,对环境的不良影响显著降低,具有显著的经济及社会效益。

(4) 为推动机床再制造产业的进一步发展,今后可围绕废旧机床综合评价与再设计、废旧机床剩余寿命预测与评估、机床整机再制造与综合提升技术、机床再制造质量控制等关键技术展开研究,并制定相关的技术标准,使我国的机床再制造产业走向专业化、规范化、规模化。

参考文献:

- [1] 中华人民共和国国家发展和改革委员会. 关于推进再制造产业发展的意见 (发改环资[2010] 991 号) [EB/OL]. http://www.sdpc.gov.cn/zcfb/zcfbtz/2010tz/t20100531_350189.htm.
- [2] Robert B. Aronson. Remanufactured machine tools [J]. Manufacturing Engineering, 2003, 131(6): 75-80, 82-83.
- [3] Marsek, Richard J. Remanufacturing needs universal standards [J]. Manufacturing Engineering, 2003, 130(3): 21.
- [4] 孙玉华, 张曙. 德国机床数控化改造的实践与研究 [J]. 制造业自动化, 2000, 22(11): 50-53.
- [5] 徐滨士. 中国再制造工程及其发展 [J]. 中国表面工程, 2010, 23(2): 1-6.
- [6] 徐滨士, 刘世参, 史佩京, 等. 汽车发动机再制造效益分析及对循环经济贡献研究 [J]. 中国表面工程, 2005, (1): 1-7.
- [7] 徐滨士, 等. 装备再制造工程的理论与技术 [M]. 北京: 国防工业出版社, 2007.
- [8] Daniel R, Guide J. Production Planning and Control for Remanufacturing: Industry Practice and Research Needs [J]. Journal of Operations Management, 2000, 18(4): 467-483.
- [9] 徐滨士, 等. 再制造工程基础及其应用 [M]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学出版社, 2005.

作者地址: 重庆市沙坪坝区沙正街174号 400044

Tel: (023) 6510 3159 E-mail: hjcao@cqu.edu.cn

*****行业动态*****

《材料热处理学报》征文通知

《材料热处理学报》创刊30年,主要刊登各类材料基础研究和应用的学术论文、科研成果等,重点是材料科学与工程领域中国家基金和省部级基金资助的具有创新性、高水平的原创性学术论文。为中文核心期刊,国际Ei、CA、JICST、MA、EMA等收录期刊。

为适应网络化时代期刊办公模式的需要,规范稿件处理程序,提高稿件处理效率和缩短论文发表周期,《材料热处理学报》开通了自己的网站,于7月1日正式开通在线投稿及审稿系统,欢迎使用。另《学报》发行创刊30周年(1980~2009)纪念光盘,囊括了近3000篇文章。

(陈茜 供稿)