

内燃机及其零部件再制造关键技术

Key Technology for Internal Combustion Engine and Its Components

刘子武 贾秀杰 李方义

(山东大学)

(摘要) 再制造是实现节能减排的重要措施,是促进循环经济发展的有效途径。介绍了内燃机再制造的拆卸、清洗、检测、修复等再制造技术环节的现状,分析了内燃机再制造技术目前面临的问题及解决途径,同时,展望了内燃机再制造技术发展趋势。

(关键词) 内燃机; 再制造; 关键技术; 发展趋势

Keywords: Internal Combustion Engine; Remanufacture; Key Technology; Development Tendency

0 引言

《国家中长期科学和技术发展规划纲要(2006—2020年)》将资源与环境作为制约发展的瓶颈,并在第三主题《制造业发展科技问题研究》中,将“机械装备的自修复与再制造”列为19项关键技术之一,作为解决资源与环境问题的重要手段。在国家可持续发展战略和“以人为本,全面、协调、可持续的人口、资源、环境协调发展”的科学发展观指导下,再制造工程已成为构建循环经济的重要组成部分^[1]。2013年2月,国务院发布《国务院办公厅关于加强内燃机工业节能减排的意见》(以下简称《意见》)(国办发〔2013〕12号),《意见》中指出:制定实施内燃机产品再制造推进计划,积极开展内燃机产品再制造关键共性技术研发,优选再制造技术路线,完善再制造工艺流程,支持采用表面修复等关键技术,建立健全有利于旧件回收的市场体系,推广符合标准的内燃机再制造产品,鼓励对内燃机及其关键零部件开展再制造。内燃机再制造可以大量节约能源、资源,减少环境污染,意义重大。

1 内燃机再制造关键技术发展现状:

再制造技术起源于欧美地区,具有五十多年的发展历史。到今天,从技术标准、生产工艺、加工设备、供应、销售到售后服务,都已形成一套初步完整的体系,积累了大量技术经验。再制造在欧美发达国家已形成巨大的产业。2005年,全球再制造业产值超过

1000亿美元,美国的再制造产业规模最大,达到750亿美元。改革开放以来,我国内燃机工业(包括主机及配件)经过多次重大的产业结构调整 and 重组,目前约有4000余家制造企业。2014年,内燃机全行业工业总产值4500亿元,内燃机产品总产量8000万台,总功率20亿千瓦。截止到2014年底,我国内燃机产品社会总保有量4亿台。各类内燃机产品基本满足了国民经济发展的需求,并有相当数量产品以单机或随配套主机出口到国际市场。因此,我国内燃机再制造工程的发展潜力很大。

内燃机再制造是指把失效的内燃机整机及零部件通过拆解、清洗、检测分类、再制造加工或升级改造、装配、再检测等工序后恢复到与原产品一样的技术性能和质量的批量化制造过程,如图1所示。目前国内开展再制造试点的内燃机零部件产品范围主要有发动机、变速器、发电机、起动机、转向器等几类产品,实际上仅内燃机上的可再制造产品就多达30余种^[2]。

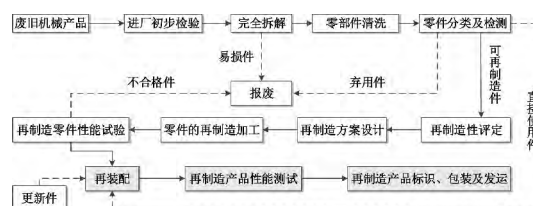


图1 内燃机再制造流程

1.1 再制造拆卸现状

拆卸回收设计已成为现代设计领域的研究热点之一,特别是在美国、西欧、日本等一些发达国家,研究更是十分活跃。欧美等国家关于拆卸技术的研究主要集中在设计阶段就需要考虑可拆解性和是否有益于回收,针对再制造过程中的重要设计要素(如拆卸性能、零件的材料种类、设计结构与紧固方式等)进行研究。此外也研究了许多理论,开发了相应工具,形成了在经济和环保方面均有利于回收或再制造的拆卸方案。例如,美国克莱斯勒、通用和福特三大汽车公司共同创立了汽车回收开发中心,对新车进行拆卸试验。他们拆下全部组件,将每个部件的重量称出来,对整个过程录像,以便于学会如何改进汽车设计,使拆卸更容易。德国宝马 BMW 也已设计了一个 DFD 车间等^[3]。

国内拆卸回收技术发展较晚,我国拆卸回收行业已经形成了一定的规模,目前,全国共有报废汽车回收拆解资质企业 520 家,回收网点 3000 余个,从业人员近 3 万人^[4]。报废汽车回收拆解业普遍存在着拆解水平低、设备和技术落后的问题,其次是拆解过程中缺乏规范化操作的管理,往往会造成拆解过程的二次污染。在拆解工艺方面基本上是粗放式的手工拆解,目前还没有形成标准的规范化工业拆解线。在拆解工具方面也是以简单的手工工具为主,缺少适应性强的自动化工具。但经过几年来政府主管部门的大力支持和积极引导,部分拆解企业已逐步实现车间内拆解一条龙流水作业,专业化、机械化,管理现代化水平逐年提高。

1.2 再制造清洗现状

清洗是借助于清洗设备将清洗液作用于工件表面,采用机械、物理、化学或电化学方法,去除装备及其零部件表面附着的油脂、锈蚀、泥垢、水垢、积碳等污物,并使工件表面达到所要求清洁度的过程。

做好零部件的清洗工作是保证再制造质量的重要一环。清洗方法和清洗质量对准确鉴定零部件、保证再制造质量、降低再制造成本、提高再制造产品寿命等均能产生重要影响。

当今,各种绿色、环保的清洗技术不断推出,对再制造行业产生了很大的影响。但是我国的绿色清洗产业的规模较西方发达国家还有较大差距,比如在西方发达国家,绿色清洗技术中仅高压水射流清洗技术这一项就占到了工业清洗业市场份额的 80% 以上,在美国,这一比例更是高达 90%^[5]。而我国在上个世纪 80 年代引入这项技术至今,它所占的工业清洗

业的比例才刚刚过 20%。我国目前工业清洗行业 70% 以上用的还是化学方法。无论是化学清洗还是人工清洗,都存在着清洗成本高、效率等问题,这远远不能满足内燃机再制造清洗的要求。

清洗步骤是再制造过程中产生污染的主要来源。清洗过程所产生的有害物常常会危害环境,对有害物进行无害处理的费用也高的惊人。因此,在再制造清洗过程中要尽量减少清洗液对环境的危害,采用绿色环保清洗技术和物理清洗技术是当今再制造清洗的发展趋势。内燃机回收部件比较大,如何开发相关设备对其进行高效绿色清洗,是亟待需要解决的问题。

1.3 再制造检测现状

20 世纪 80 年代初,世界上一些发达国家开发了高新的“设备诊断技术”,即无损检测技术。在设备运行中或基本不拆卸全部设备的情况下,就可以掌握设备运行状态,判定产生故障的部位和原因,预测未来的技术状态。通过无损检测技术,可以定量掌握缺陷与强度的关系,评价构件的允许负荷、寿命或剩余寿命。检测设备(构件)在制造和使用过程中产生的结构不完整性及缺陷情况。因此,无损检测技术是再制造体系中不可或缺的一环。美国军队是再制造的最大受益者,其中在 B-52H 型轰炸机的再制造中,无损检测发挥了重大的作用,80% 以上的零部件经过了各种无损检测技术的检验,然后决定其是否可用或者修复后继续使用,而对于修复后以及用于替换旧件的新零部件则几乎 100% 地利用无损检测技术进行了质量检测和监控,经过再制造保证了飞机的高性能和高可靠性^[6]。

随着我国工业化和现代化建设的迅速发展,我国无损检测技术得到快速发展,在再制造业得到了一定的应用。随着无损检测技术与计算机技术、数字图像处理技术、电子测量技术的结合、实时成像技术、层析射线照相技术、数字辐射成像技术等已成为无损检测技术的主要发展方向,无损检测技术的研究和应用呈现出数字化、实时化、大型化和广应用化的发展趋势。这些常规无损检测技术的发展进步,使再制造毛坯缺陷的定量解释成为可能,从而为寿命评估和剩余寿命预测提供了技术支撑,一些新型的无损检测方法如磁记忆技术等也将对再制造产品有着特别重要的意义。

尽管我国的无损检测仪器设备品种已相当完备,各种无损检测技术的应用较广,但与国外先进的无损检测技术相比仍存在一定的差距,尤其是针对内燃机再制造,还缺乏相关的设备和技术应用验证。我国内

燃机市场即将进入大型成套设备报废的高峰期,内燃机再制造毛坯的不确定性要求我国应加快无损检测新技术新工艺的研究,保证内燃机再制造过程质量,满足我国内燃机再制造市场的需要。

1.4 再制造修复现状

修复是再制造环节中最为关键的一步,再制造修复包括对零部件的恢复和升级,主要指对失效的零件根据新品的要求,采用先进的工艺技术恢复到或超过新品的技术质量标准。再制造加工方法很多,主要包括:恢复尺寸法、修理尺寸法、附加零件法、改造升级法等。

欧美国家在机械产品再制造加工方面,主要通过换件修理法和尺寸修理法来恢复零部件的尺寸。如英国 Lister Petter 再制造公司,他们每年为英、美军方再制造 3000 多台废旧发动机。再制造时,对于磨损超差的缸套、凸轮轴等关键零件都予以更换新件,并不修复^[7]。

我国的再制造工程是在装备维修工程和表面工程的基础上发展起来的,各种表面技术和复合表面技术主要用来修复和强化废旧零件的失效表面,是实施

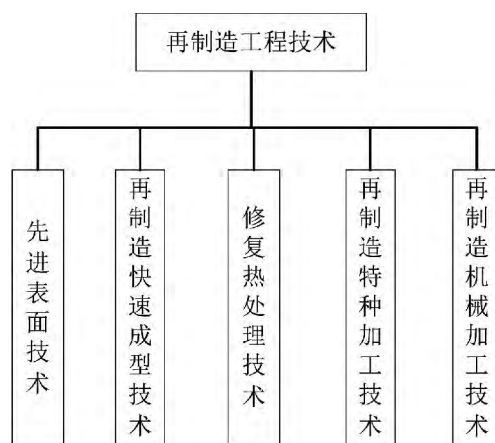


图2 再制造主要修复关键技术

再制造的关键技术。具体相关的技术如图2所示:

国内许多院校和研究所对再制造修复方面进行研究,装甲兵工程学院等应用表面工程技术设备零部件的再制造进行研究和应用,在纳米电刷镀、纳米减磨自修复、高速电弧喷涂、等离子喷涂等纳米表面工程技术方面已经取得了一定的成就,自动化表面工程技术(如自动化纳米颗粒复合电刷镀等)也有很大进展。内燃机再制造的关键是对其关键零部件进行再制造,这些零部件主要包括曲轴、缸盖、缸体、连杆等关键零部件以及增压器、发电机、起动机、燃油泵、水泵、机油泵等主要配套件,表面工程技术尤其是纳米

表面工程技术是零部件再制造的重要手段,应用纳米电刷镀、热喷涂等先进表面技术将保证内燃机再制造产品的质量。

2 内燃机再制造关键技术存在的问题及解决方法

2.1 再制造拆卸技术

内燃机及其配件主要连接形式有螺栓连接、销连接、锥花键连接、过盈配合连接等,某些螺栓连接和销连接严重锈蚀和烧蚀,甚至出现断头现象,无法拆解;某些连接拆解空间有限,拆解困难,安全性差;过盈配合连接和锥花键连接不易拆解,拆解常造成配合件的损坏。目前,国内内燃机再制造缺乏针对螺栓连接、销连接、锥花键连接、过盈配合连接等的无损高效拆解工具,拆解作业存在效率低、费用高、周期长、零部件拆解质量水平对工人技术要求高等问题,影响了再制造的自动化生产程度。因此,开展高效、无损、自动化或半自动化的新型辅助拆解工具设计研究具有一定的复杂性和难度。

应以无损、高效拆解为目标,对拆解工具进行改造性和完善性设计,同时针对特殊结构、难拆解螺栓连接、销连接、锥花键连接及其他形式连接,设计新型辅助拆解工具,实现内燃机典型零部件的无损、高效拆解。

2.2 再制造清洗技术

内燃机零部件再制造清洗不仅要求清洗质量高,还要求清洗工艺绿色无污染,对环境影响小。内燃机零部件结构复杂,再制造毛坯污物难于清洗,各种传统清洗技术在内燃机清洗过程中存在诸多不足,单一清洗工艺往往难以实现零部件的彻底清洗。目前,国内外关于单一物理清洗技术及化学清洗技术的研究较成熟,但诸如多元复合清洗方法及其工艺等研究还没有成熟,针对内燃机再制造的清洗工艺绿色化研究也较少。因此,结合内燃机再制造零部件特点,开展基于环境适应性的绿色、高效多元复合清洗技术研究有一定难度。

应保证零件的正常使用,避免清洗对零件造成腐蚀或损伤的情况下,选择合理物理清洗方法,优化针对不同的污物(油污、积炭、水垢、旧漆层和有机涂层、氧化皮)的清洗方法、工艺及设备,同时提高清洗过程的绿色性,减少环境污染。开展新型工业清洗技术,如:熔盐清洗、超声清洗、干冰清洗及超临界二氧化碳清洗等。

2.3 再制造检测技术

无损检测是一门综合性科学技术,虽然其有很新的发展,某些领域应用也比较成熟,但也存在部分检测不精准、不定量、不形象等不足。尤其在再制造毛坯检测和再制造产品的涂层检测中,目前的无损检测技术尚不能满足实际需求。在涂层的无损检测中,如何做到定量、准确、设备简单、操作方便、尽量不破坏试样,并易于实现自动化和标准化,是该课题研究的难点和关键点。目前,西方发达国家对无损检测技术十分重视,并与计算机技术、数字图像处理技术、电子测量技术相结合,并向实时成像技术、层析射线照相技术、数字辐射成像技术等方向发展,以解决与实际需求的差距。

针对内燃机零部件的材料及结构特点,尤其重点针对进入修复工序(如减尺寸修复、热喷涂、电刷镀、冷焊、激光再制造等)的再制造零部件,深入研究各种无损检测方法在内燃机再制造中的应用,综合分析影响检测结果的各项技术参数,重点对各种无损检测技术进行研究、优化,形成相应的检测方案,从而准确定位各种缺陷的位置、大小、形状等参数,测量再制造指标(如纳米材料在表面强化涂层中的厚度等),保障零部件表面及内部缺陷的检出率和检测速度,为再制造毛坯的性能和形状等质量检测、再制造产品的寿命预估、再制造加工过程优化和在线监控、再制造成品的无损检测和抽检提供支持。

2.4 再制造修复技术

目前,针对内燃机典型零部件修复主要修复技术有电刷镀技术、冷焊技术、热喷涂技术等。由于内燃机工作环境恶劣,对修复层的强度、硬度、耐磨性以及与其基体结合强度等性能要求较高,目前修复技术所形成修复层存在结合强度低、易脱落、耐磨性不够等问题,最终导致再制造零部件使用寿命减少,降低内燃机再制造的可靠性和服役安全性。目前,国内对再制造修复技术已经有广泛的研究,装甲兵工程学院徐滨士院士提出纳米技术与电刷镀技术结合的纳米颗粒复合电刷镀技术可以提高修复层与基体结合强度,提高修复层的理化性能,是解决本技术问题的一个重要方向。针对内燃机零部件再制造还需要进一步深入研究。国内其他单位也对修复技术有不同程度的研究,但在结合强度等性能和成本控制等方面距离实际生产还存在一定差距。因此,目前对内燃机典型零部件再制造修复方法和技术的研究还存在一定的困难。

应进一步提高镀层的结合强度、提升镀层性能。例如对高速电弧喷涂技、激光熔覆技术、纳米颗粒复合电刷镀技术及冷焊技术进行工艺参数优化,开发新型复合再制造修复技术等。

2.5 再制造生产线装备

内燃机再制造生产线装备主要功能包括拆解、分类回收、清洗、表面修复和再装配等,成套生产装备涉及内燃机再制造全过程,生产设备运行的稳定性、可靠性是内燃机再制造产品质量的重要保证。设备零部件的材料选择、结构设计、加工工艺以及制造精度影响设备的稳定性和可靠性;设备装配工艺、装配精度以及各设备之间安装工艺对成套生产线装备的稳定性和可靠性产生直接影响;设备运行生产能力优化和协同控制问题也将成为成套生产线装备稳定可靠运行的一个重要影响因素。因此,内燃机再制造成套生产线装备的研究是需要重点解决的技术问题。

内燃机再制造成套装备应以实现装备柔性模块化、装备稳定性、可靠性、装备数字化装备系列化、标准化的要求,以提高内燃机再制造成套装备设计的制造质量,降低制造成本。

3 总结

综合国内外内燃机再制造发展现状及问题,主要呈现出以下趋势:国内外围绕再制造核心技术大量投入,重点在无损检测、寿命评估、清理清洗、修复工艺可靠性、服役安全性保证等几大领域开展深入研究,并开发高效、绿色、复合成套工艺和装备。

参考文献

- [1] 李红霞. 再制造产品质量经济分析[D]. 2007.
- [2] 葛红. 中国内燃机再制造产业发展综述与展望[J]. 内燃机与配件, 2013 (5): 35-37.
- [3] 史贤忠. 汽车变速器产品拆卸序列规划技术研究[D]. 2009.
- [4] 李爱国, 李国君. 我国报废汽车回收拆解行业现状及发展模式[J]. 中国资源综合利用, 2012, 30(6): 21-24.
- [5] 刘庭成. 高压水射流清洗设备的应用[J]. 中国设备工程, 2013 (2): 8-10.
- [6] 赵新明, 董玉清, 刘森等. 无损检测技术在再制造工程中的应用及发展[J]. 科技风, 2009 (11): 120, 122.
- [7] 徐滨士. 国内外再制造的新发展及未来趋势[C]. //2009年促进中部崛起专家论坛暨第五届湖北科技论坛论文集. 2009: 1-7.