

国内外再制造技术体系及竞争力分析^{*}

张 伟, 吉小超, 魏 敏, 徐滨士

(装甲兵工程学院 再制造技术重点实验室, 北京 100072)

摘 要: 为了科学评价再制造技术发展现状和竞争力,对再制造关键技术进行了分类、梳理和分析。采用文献计量学方法,重点分析了与废旧机电产品再制造相关的 11 项技术的国内外科技文献(SCI、CNKI)发文及专利申请情况,评价了再制造技术研究热点与趋势、研究水平和领先国家的技术发展态势。结果表明,再制造技术研究论文年均增长率达 14.0%,专利年均增长率达 27.8%。国外再制造技术热点主要集中在绿色清洗、无损检测与寿命评估、激光熔覆修复成形等,我国多集中在无损检测与寿命评估和修复成形两方面。我国再制造技术研究论文总体水平与发达国家还有较大差距,但部分再制造关键技术取得突破,已形成我国“尺寸修复、性能提升”的技术特色。我国在未来再制造技术体系构建中,应加强 3 类技术的协调发展,重点研发增材再制造技术、高效表面修复技术、智能先进涂层修复技术、绿色清洗技术以及无损检测与评估技术。

关键词: 再制造; 关键技术; 文献计量学; 热点; 研究进展

中图分类号: TH17

文献标志码: A

文章编号: 1007-9289(2014)03-0001-09

System of Domestic and Foreign Remanufacturing Technology and Competitiveness Analysis

ZHANG Wei, JI Xiao-chao, WEI Min, XU Bin-shi

(Science and Technology on Remanufacturing Laboratory, Academy of Armored Forces Engineering, Beijing 100072)

Abstract: To evaluate the state of the art and competitiveness of the remanufacturing technologies, the key technologies of the remanufacturing technologies were carefully analyzed in this paper. Domestic and foreign literatures and patents of eleven remanufacturing technologies about waste mechanical and electrical products from SCI and CNKI were analyzed. The research hot areas, development trends, research level of the remanufacturing technologies, and the development trends in leading countries were evaluated. Results show that the annual growth rate of published research papers about remanufacturing technologies is about 14% and that of patents is about 27.8%. The research hot areas of remanufacturing technologies in the foreign countries focus on green cleaning, nondestructive testing and life evaluation and laser cladding maintaining. Meanwhile, the hot research areas in China focus on nondestructive testing and life evaluation and maintaining technologies. Although the total quantities of published research papers of the developed countries are far more than that of China, major breakthroughs in some of remanufacturing technologies are made and special features like "dimension repairing and performance promoting" are formed in China. The direction of the system of remanufacturing technologies is pointed out. Three categories of remanufacturing technologies need to be developed coordinately and the priority research areas should focus on material increase remanufacturing technologies, high efficiency surface maintaining technologies, advanced intelligence coating systems, green cleaning technologies and nondestructive testing and evaluation technologies.

Key words: remanufacturing; key technologies; bibliometrics; hot areas; state of the art

收稿日期: 2014-05-08; 修回日期: 2014-05-12; 基金项目: * 国家科技支撑计划(2011BAC10B05, 2011BAF11B07); 国家发改委循环经济专项-再制造及再生利用产品目录编制、认定管理及政策机制研究

作者简介: 张伟(1971-), 男(汉), 河北宁晋人, 教授, 博士; 研究方向: 表面工程与摩擦学

网络出版日期: 2014-05-13 14:31; 网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/11.3905.TG.20140513.1431.004.html>

引文格式: 张伟, 吉小超, 魏敏, 等. 国内外再制造技术体系及竞争力分析 [J]. 中国表面工程, 2014, 27(3): 1-9.

0 引言

我国已成为装备生产和使用第一大国,汽车、工程机械、机床、电子产品等社会保有量快速增长。仅以汽车发动机为例,预计未来五年年均报废、淘汰量将达到300万台,按80%的再制造率,可实现销售收入120亿元,有着广阔的发展空间。再制造与制造新品相比,可节能60%,节材70%,节约成本50%,大气污染物排放量降低80%以上。再制造是循环经济“再利用”的高级形式。发展再制造产业是推动产业结构升级、发展战略性新兴产业的重要内容。是建设资源节约型、环境友好型社会的客观要求。基于此,国家《中华人民共和国循环经济促进法》、《国民经济和社会发展的第十二个五年规划纲要》、《“十二五”节能环保产业发展规划》和《循环经济发展战略及近期行动计划》中均明确将再制造列为循环经济的重点工程之一^[1-2]。

发达国家再制造产业已有几十年历史,对其可持续发展做出了重要贡献。美国、欧洲等国的再制造产业不仅在旧件回收、生产工艺和加工制造设备、销售和服务、技术标准等方面形成了一套完整的体系,而且形成了较大的规模,目前统计显示已超过1000亿美元。我国再制造产业起步较晚,经历了概念提出、技术研发和试点推进的过程,目前全国已有77家试点再制造企业,涉及汽车零部件、工程机械、机床等9大领域,2010年汽车零部件试点企业产值达25亿元。通过典型企业的再制造试点,我国在旧件回收、生产制造、流通体系建设及监督管理等方面均取得了积极成效。在技术创新发展方面,再制造基础理论和关键技术研发取得重要突破,已形成“尺寸修复、性能提升”的技术特色。自主开发的自动化纳米复合电刷镀工艺技术达到国际先进水平。按照国家规划和布局,我国再制造产业到2015年将可实现销售收入600亿元,全国将培育10家左右10亿元以上大型再制造企业,500家具有一定特色的中小型再制造企业,3~5家区域再制造产业基地^[3]。然而,与发达国家相比,总体上我国再制造企业数量少而弱,产业规模不大,整体技术水平不高,共性和关键技术研发滞后。

为了实现技术创新推动产业发展,需要认真梳理再制造技术研究现状,分析评价其竞争力。基于此,文中采用文献计量学方法,对再制造相

关研究国内外科技文献及专利申请情况进行统计分析,通过大量数据体现再制造研究发展趋势,指导我国再制造研究方向和重点。

1 国内外再制造技术发展概况

国外称再制造产业为“朝阳产业”。欧美等发达国家的再制造已深入到汽车、工程机械、工业设备、国防装备、电子电器等各个领域,已形成以“换件和尺寸修理”为特征的较为完善的技术体系。成立有专门的国家级研发团队,从产品的全寿命周期出发,开展了一系列再制造技术和专用设备的研发。美国再制造与资源再生国家工程中心重点研究再制造清洗技术、再制造零件的机械加工技术、产品的全寿命周期设计与再制造性设计技术。此外,该中心还针对再制造产品的健康管理开发了相关的无损检测监测、评估决策技术与设备。德国拜罗伊特大学欧洲再制造研究中主要开展了产品的再制造性、再利用率以及再制造全域的信息化物流与仓储管理研究。英国在再制造产品无损检测、自适应修复和寿命评估方面开展了大量研究工作,出版发行《Journal of Remanufacture》国际期刊。美国军用装备、汽车和机械制造等再制造产值所占比值达83%,其中,美军是再制造的最大受益者,开展了大量装备健康管理和通过再制造的装备现代化升级技术研究,每年美军用于装备再制造升级改造经费投入占装备研发费用的35%。过去的十年内,美军完成了750架阿帕奇直升机的再制造,为其国防现代化和可持续发展做出了重要贡献。

我国再制造起步晚,目前启动了不同领域再制造的企业试点,试点企业再制造技术设备基本上依靠国外,仅有个别企业与研究机构合作,进行了关键零部件再制造技术攻关,形成了中国特色的“尺寸修理和性能提升”技术模式,在个别技术点上取得了突破。总体技术和设备配套不完善,技术发展不均衡,还不能支撑产业的发展。然而国家高度重视再制造技术研发,目前已形成一批再制造技术专利和标准,为推动再制造产业发展奠定了技术基础。成立的再制造技术国家重点实验室对推动产业技术提升发挥了重要作用。此外,国家在新的再制造产业发展规划中明确提出要加快建设再制造国家工程研究中心和再制造产品质量检验检测中心,鼓励产学研联合

攻关和产业化示范,研发和推广再制造先进技术,形成再制造关键技术设备生产研发体系,加快先进再制造技术的有效推广。

2 再制造技术体系

2009 年,温总理对再制造产业发展批示中指出:“再制造产业非常重要。再制造产业链条长,涉及政策、法规、标准、技术和组织,是一项比较复杂的系统工程。”按照推动再制造产业发展相关内容,将再制造技术划分为 5 大方面:再制造逆向物流及信息化管理、再制造政策与决策、再制造产品设计和再制造性、再制造关键技术和再制造标准。对这 5 个方面研究的国内外文献分析调研结果如图 1 所示,可以看出:①再制造研究主要集中在再制造政策与决策、再制造关键技术两方面,约占文献总量的 65.6%,再制造标准研究较少。其中,我国关于再制造政策和决策研究文献数量非常突出。这与我国目前处于再制造产业培育阶段,政策决策研究对再制造产业可持续健康发展将起到关键作用有关,因此再制造的政策和决策研究成为我国政府和学者关注的重点。②国内外针对再制造技术研究的论文比例都很高,特别是国外发达国家再制造技术研究论文比例最高,达到 36.7%。说明技术仍是主导产业发展的核心和关键。

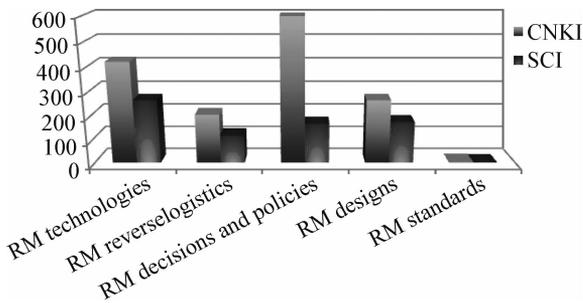


图 1 再制造领域发文总体情况

Fig. 1 General state of the published articles in remanufacturing area

2.1 再制造技术分类

如上所述,按照再制造产业发展相关内容,再制造研究可划分为:逆向物流及信息化管理、政策与决策、再制造产品设计和再制造性、再制造关键技术和再制造标准 5 方面。图 2 所示为再制造技术体系示意图。其中,再制造关键技术研究,可依据各种技术的作用或功能归纳为:再制

造无损拆解与绿色清洗、再制造无损检测与寿命评估和再制造修复成形与加工 3 大类技术。再制造无损拆解与绿色清洗主要是针对回收的废旧再制造毛坯采取的一系列特殊的拆解和清洗的技术手段,其要求是无损、高效和清洁。对于清洗技术目前又可分为物理清洗和化学清洗两大类。随着环保要求的不断提高,化学清洗逐步向物理清洗方向发展。再制造无损检测与寿命评估主要功能是确保再制造产品的质量。再制造修复成形与加工技术的重点是对损伤毛坯的修复和性能提升,确保旧件的再制造率和再制造

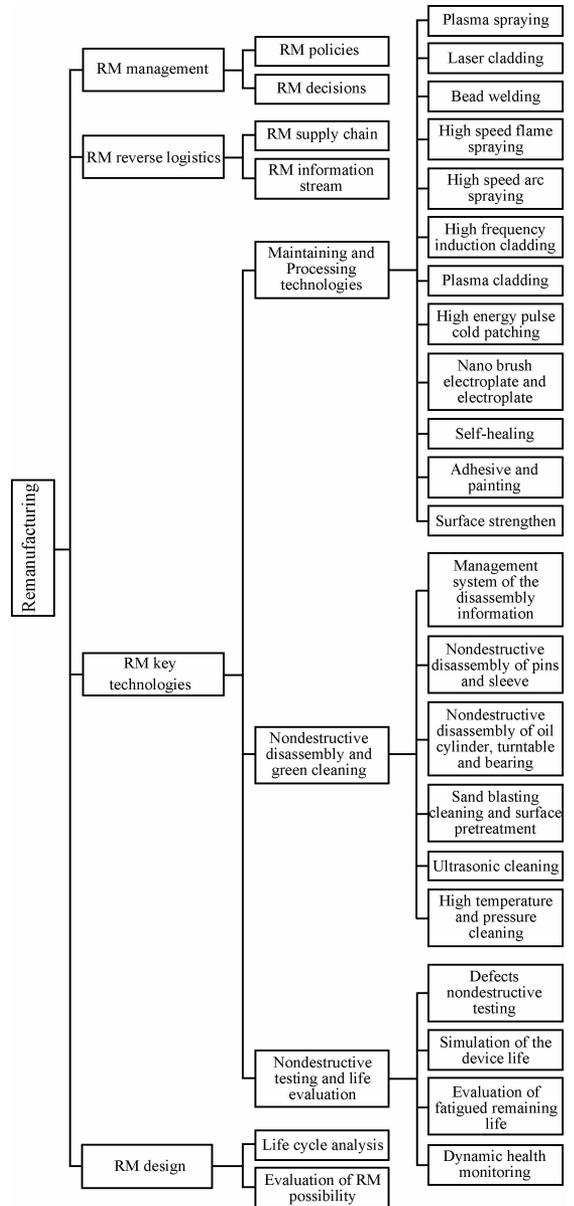


图 2 再制造技术体系示意图

Fig. 2 Schematic diagram of remanufacturing technology system

产品性能达到原新品的性能要求。

2.2 再制造关键技术

表1为主要再制造技术、原理及特点。所选再制造技术是依据工信部与科技部联合发布的《机电产品再制造技术及装备目录》^[4]。根据国内外文献与专利报道,检索到的再制造关键技术

很多,但大多数是在原创技术基础上结合再制造产品的特点和要求,经过改进和调整的衍生技术。为便于对各项技术进行对比与分析,参照国内外的技术分类方法,对改进、调整及组合了的衍生技术进行归类和剔除,并兼顾各类技术的重要性和典型性,从表1所列的27项技术中整理

表1 主要再制造技术的原理与特点

Table 1 Mechanisms and characteristics of the main remanufacturing technologies

Classification	Technology	Mechanism	Characteristics	Weaknesses
Maintaining and Processing technologies	Laser cladding	High temperature remelting	Repair the volume damage, metallurgical bond, low thermal effects	Low efficiency and high cost
	Plasma cladding	High temperature remelting	Repair the volume damage, metallurgical bond, high efficiency	Thermal effects
	Bead welding	High temperature remelting	Repair the volume damage, metallurgical bond	Thermal effects and deformation
	High speed arc spraying	Metals coating	Repair the surface damage, high efficiency, low cost	Low adhesive strength
	Plasma spraying	Metal ceramic coating	Surface damage repairing	Holes
	High speed flame spraying	Metals coating	Surface damage repairing	Deformation
	Nano brush electroplate	Electro-deposition	Surface damage repairing	Low efficiency
	Plating iron	Electro-deposition	Surface damage repairing	Need protection
	Self-healing	Chemical reaction in situ	Intelligence and maintenance free	Limited
	High energy pulse cold patching	Melting metal coating	Surface damage repairing	Low efficiency
Nondestructive disassembly and green cleaning	Surface adhesive	Chemical bonding	Surface damage repairing	Low strength
	Shot peening	Surface modified	Surface damage restoring	Not for repairing
	High frequency induction cladding	High temperature remelting	Repair the volume damage, metallurgical bond, high efficiency	Thermal effects
	Management system of the disassembly information	Information technology	High efficiency, real-time and easy handle ability	
	Nondestructive disassembly of pins and sleeve	Dismantling	Complex	Deformation
	Nondestructive disassembly of oil cylinder, turntable and bearing	Dismantling	Complex and high precision	Injured easily
	Sand blasting cleaning and surface pretreatment	Physical cleaning	High efficiency and post treatment easy	Pollution
Nondestructive testing and life evaluation	High temperature and pressure cleaning	Chemical and physical cleaning	High efficiency and completely	High energy cost
	Ultrasonic cleaning	Chemical and physical cleaning	High efficiency	Small parts
	Paint cleaning	Chemical and physical cleaning	High efficiency	Pollution
	Defects nondestructive testing	Contact method	No damage and high efficiency	Not stable
	Evaluation of the adhesive strength of the coatings	Damage method	Qualitative assessment	Damage and low efficiency
	Simulation of the service life	Simulation	Short design time and low cost	Limited
Dynamic health monitoring	Dynamic health monitoring	Message control	High level of informationize	High cost
	Evaluation of fatigued remaining life	Experiments and models	High reliability and low risk	Hard to quantify

并筛选出 11 项重要技术进行文献调研分析,包括:激光熔覆、等离子熔覆、堆焊熔覆、感应熔覆、高速电弧喷涂、等离子喷涂、火焰喷涂、纳米复合电刷镀、表面喷丸强化、超声清洗、无损检测等技术。其中,修复成形与加工技术,又可分为熔覆层、涂层和镀层 3 大类。

3 再制造技术水平评价

再制造技术所涉及的废旧产品主要包括航空发动机、工程机械、汽车零部件、矿采机械装备、机床、石油及船舶关键装备、冶金装备零部件、电子电器及办公用品等,为定量分析再制造技术水平,文中采用文献计量学方法,重点分析了废旧机电产品再制造技术国内外科技文献的 SCI、CNKI 等发文及专利申请情况,评价了国内外主要技术的发展状况。文中各项统计中 2013 年的数据截止至 2013 年 11 月 30 日。

3.1 技术发展总体情况

自 2000 年以来,再制造产业发展给国家和社会带来的显著经济效益和社会效益受到越来越多地关注,各国对再制造产业的发展日益重视,与之相关的再制造技术研究和专利数量逐年增长,如图 3 和图 4 所示。论文年均增长率达 14%,专利年均增长率达 27.8%,其中 2012 年与 2011 年相比,专利数提升了 133.7%,增长十分显著。

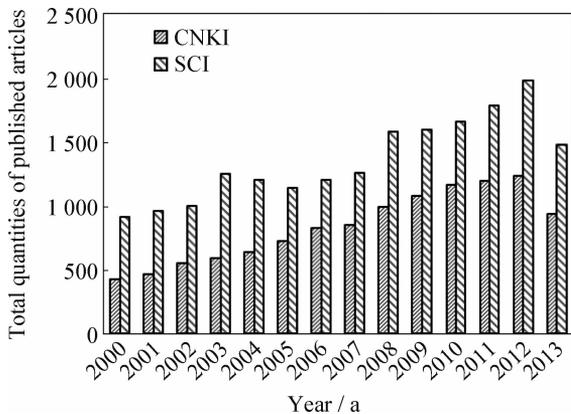


图 3 再制造技术发文总体情况

Fig. 3 General state of the published articles in remanufacturing technologies

再制造技术研究和专利数量逐年增长的背后得益于近年来各国大量政策的倾斜和研究经费的投入。仅以美国军用装备再制造技术投入为例,每年美国以近 9% 的增长率支持军用装备再制

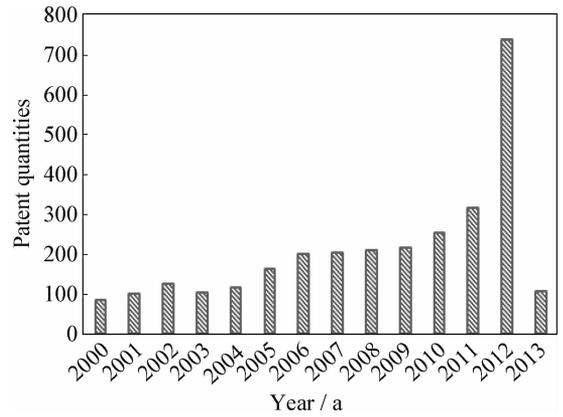


图 4 再制造技术领域专利数量变化情况

Fig. 4 Variation of patents quantities in the area of remanufacturing technology

造领域的技术升级研究。高投入带来高回报,2012 年美国商务部的“再制造产业发展分析调研报告”显示^[5],美国近 3 年再制造产业总产值和出口产值均达到两位数的增长率,高达 15%。

3.2 主要研究热点和趋势

图 5 为国内再制造主流技术研究发文统计结果,可以看出研究主要集中在无损检测、激光熔覆、堆焊和等离子喷涂修复成形技术,占总发文量的 66.5%。而国外 SCI 发文量统计结果(图 6)表明,清洗技术、无损检测、激光熔覆和等离子喷涂修复成形技术为研究重点,占总发文量的 70.4%。其中清洗技术研究尤为突出。围绕再制造毛坯损伤的激光熔覆和等离子喷涂修复成形技术是研究的热点,均分别占总发文量的 19%。其次是无损检测与寿命评估,占 18%,如图 7 所示。

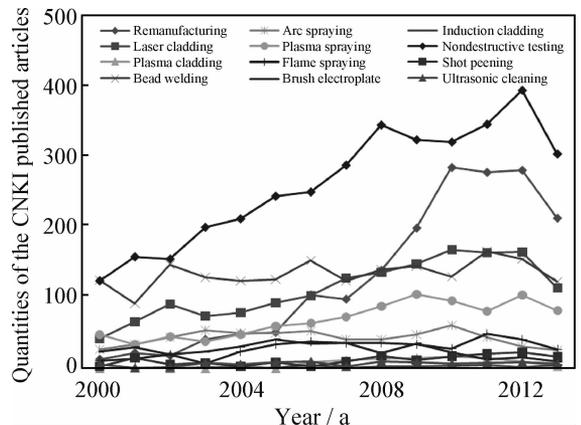


图 5 再制造领域主流技术的 CNKI 发文情况

Fig. 5 State of CNKI published articles of main stream remanufacturing technology

世界再制造领域专利所涉及再制造主流技术检索结果与论文检索结果不同,如图8所示。清洗技术专利所占比重最高,高达36%;其次是围绕再制造毛坯和产品质量的无损检测与寿命评估技术专利,占18%;再次才是针对再制造毛坯损伤修复的激光熔覆成形技术专利,占12%。这说明清洗技术是企业再制造环节中最为关注的核心技术。

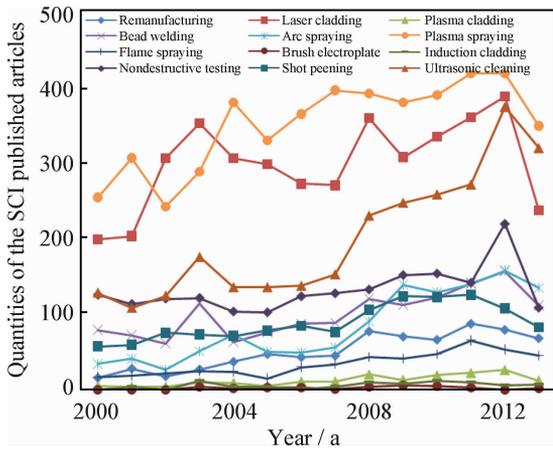


图6 再制造领域主流技术的SCI发文情况

Fig. 6 State of SCI published articles of main stream remanufacturing technology

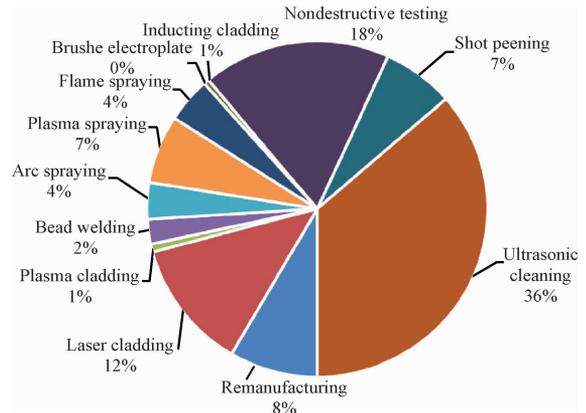


图8 世界再制造领域专利所涉及主流技术的比例

Fig. 8 Pie chart of the patents of the main stream technologies in remanufacturing area

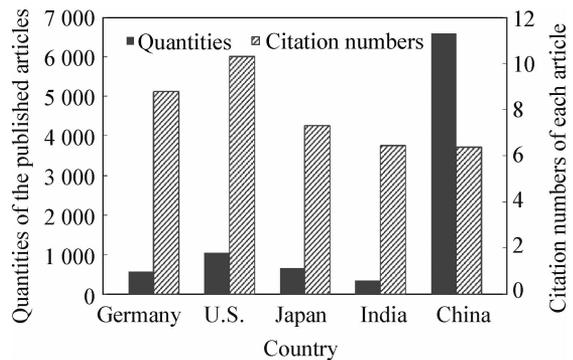


图9 世界再制造领域主要国家SCI发表数及篇均被引次数

Fig. 9 Published SCI articles and citation numbers of the main countries in remanufacturing area

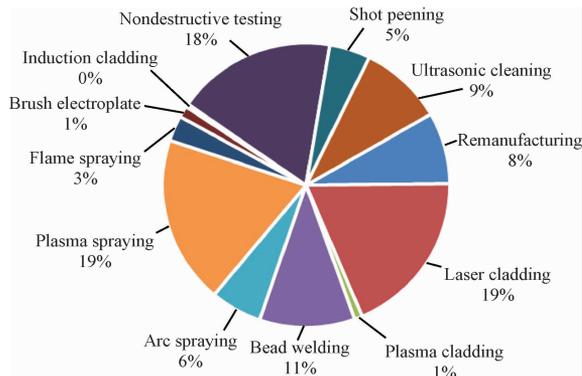


图7 再制造领域发表文章所涉及主流技术的比例

Fig. 7 Pie chart of the published articles of the main stream technologies in remanufacturing area

3.3 研究水平评价

图9所示为世界再制造领域主要国家SCI发表数及篇均被引次数检索结果。可以看出,我国再制造领域的技术研究论文数量远远超过国外发达国家。但是篇均引用次数又是各检索国中最低的。分析认为,发达国家再制造产业已有近百年历史,产业规模是我国的数百倍,不仅在

旧件回收、生产工艺和加工制造设备、销售和服务、技术标准等方面形成了一套完整的产业体系,而且技术体系完善,“尺寸修理和换件法”的技术模式已固化形成。而我国再制造产业起步较晚,产业发展经历了概念提出、技术研发、企业试点推进,正处于初级发展阶段。目前国家采取的是政策导向、技术引领产业发展,因此在再制造基础理论和关键技术研发取得突破,已形成“尺寸修复、性能提升”的技术特色模式。所以,总体来看,我国从事再制造技术研究的论文较多,特别集中在再制造毛坯损伤修复成形技术研究方面,而国外更多关注再制造生产过程中的绿色生产和质量控制,具体表现为更多集中在绿色清洗和无损检测技术的研究。

另一方面,虽然我国论文数量高于国外,但质量有待尽快加强提高,目前篇均引用次数较

低,说明研究工作受关注程度低,影响力较小,低水平的论文较多。图 10 中显示的再制造领域主流技术国内外首次报道时间结果也说明了我国再制造相关研究工作在国际上的影响较小。其中,SCI 中国机构首次报道的时间与国外相差基本有 20 年时间。仅有火焰喷涂、等离子喷涂和堆焊的中文报道在国外之前。

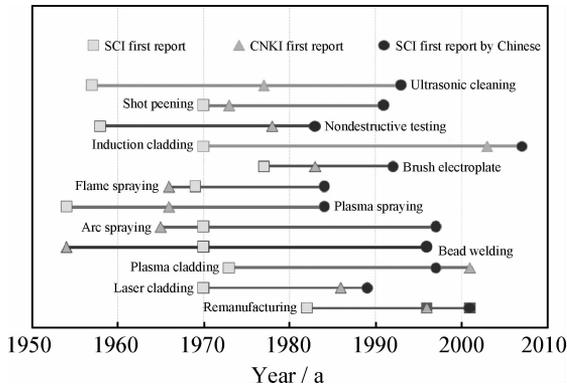


图 10 再制造领域主流技术国内外首次报道时间

Fig. 10 The first reported time of the main stream re-manufacturing technologies of the domestic and overseas

3.4 领先国家评价

文中重点检索了中国、美国、德国、日本和印度等国再制造技术领域 SCI 论文发表和专利申请情况,如图 11 所示。从 SCI 论文发表可以看出,我国论文数量远远超过其他国家,在某些技术点的成果较为显著。但数量与质量还不能形成正比。分析再制造领域主要国家 SCI 发文涉及技术的比例(图 12)可以看出,我国各类再制造技术研发比例明显不均衡,主要围绕再制造毛坯损伤修复成形技术研究,占比达 90%以上。而国外以美国、德国为例,技术研究重点围绕表面处理与绿色清洗、无损检测与寿命评估和废旧零部件修复成形加工 3 个方面内容,这 3 个方面研究比例协调。我国虽然在部分研究点技术领先,但在促进再制造产业发展方面还未有效发挥作用。从国内试点企业生产线建设过程中,大部分专用清洗、检测和加工技术设备依赖进口亦可看出我国技术成果转化水平较低,还未形成推动产业进步的主要力量。

再制造技术领域主要国家发明专利的情况(图 13)进一步显示出我国再制造技术研究起步较晚,在 2010 年前,专利数量还是以美国、欧洲、德国占主导地位。2010 年后,随着我国再制造被

列为国家十二五战略性新兴产业的重要支撑,再制造技术相关的专利数量成倍增加,体现了我国再制造产业未来的发展潜力巨大。

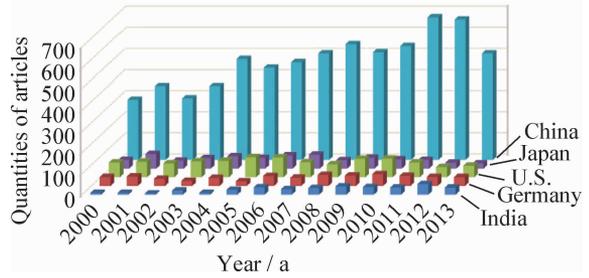


图 11 世界再制造领域主要国家 SCI 发表数

Fig. 11 Published SCI article numbers of the major countries in remanufacturing area

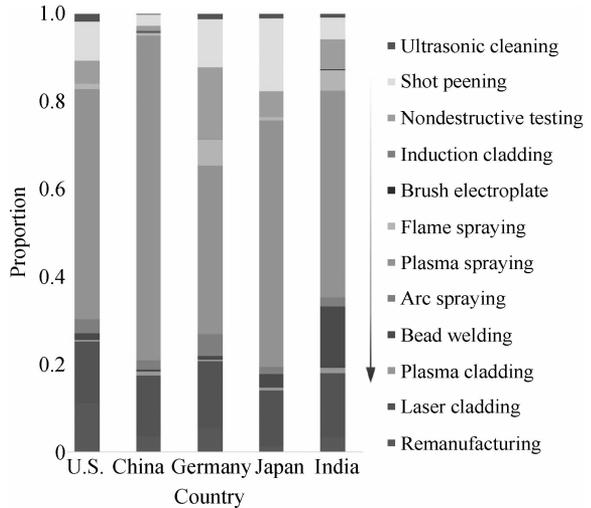


图 12 再制造领域主要国家 SCI 发文涉及技术的比例
Fig. 12 Proportional graph of the published SCI articles about the technologies of the major countries in remanufacturing area

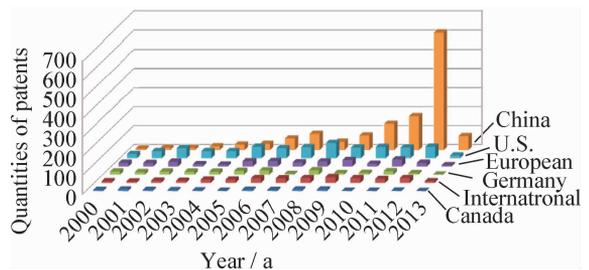


图 13 再制造领域主要国家发明专利数

Fig. 13 Quantities of patents of the major countries in remanufacturing area

3.5 技术发展态势评价

根据上述研究论文和专利情况,以及对比分

析技术发展时间、产业化程度和应用推广情况,可以看出我国再制造技术随着院校、企业关注和参与度的提高,近几年技术论文和专利的数量均得到显著提升,以“尺寸修复、性能提升”为代表的技术特点明显,在再制造毛坯损伤修复成形技术方面已处于领先地位,特别是以等离子喷涂、电弧喷涂为代表的热喷涂修复成形技术已在部分再制造试点企业成功应用,显著提升了我国旧件再制造产品的再制造率,取得了良好的经济和社会效益。当前我国热喷涂技术研究成果也受到了国外发达国家规模再制造企业的高度关注,例如国际知名的再制造公司——卡特匹勒也已经开始试验应用热喷涂技术进行关键再制造零部件的修复。

然而,我国在再制造毛坯表面处理与绿色清洗、无损检测与寿命评估技术方面与国外相比还有差距。实践证明,这两方面的技术必须与修复成形技术均衡、协调发展,才能真正支撑再制造产业的技术进步和发展。

综合以上文献,并对比分析国内外再制造技术应用情况,我们对国内再制造技术的成熟度和水平进行了评价,如表2所示。其中,已经在企业推广应用的主要有:堆焊熔覆、火焰喷涂、纳米电刷镀、合金镀铁、高能脉冲冷补、表面粘涂、喷丸强化和毛坯缺陷无损检测等技术。处于国际先进的技术主要有:等离子熔覆、高速电弧喷涂、高效等离子喷涂、火焰喷涂、纳米电刷镀和毛坯缺陷无损检测。此外,应从3个方面改进或加强

表2 我国再制造技术的国际水平评价表

Table 2 Evaluation table of the level of remanufacturing technologies of China in the world

Classification	Technology	Level	Score
Maintaining and processing technologies	Laser cladding	B	6
	Plasma cladding	B	7
	Bead welding	C	6
	High speed arc spraying	B	8
	Plasma spraying	B	8
	High speed flame spraying	C	7
	Nano brush electroplate	C	8
	Plating iron	C	6
	Self-healing	A	5
	High energy pulse cold patching	C	6
	Surface adhesive	C	6
	Shot peening	C	5
High frequency induction cladding	B	6	
Nondestructive disassembly and green cleaning	Management system of the disassembly information	B	5
	Nondestructive disassembly of pins and sleeve	B	5
	Nondestructive disassembly of oil cylinder, turntable and bearing	B B B	5 4 5
	Sand blasting cleaning and surface pretreatment	B	5
	High temperature and pressure cleaning	B	5
	Ultrasonic cleaning	B	6
	Paint cleaning	B	4
Nondestructive testing and life evaluation	Defects nondestructive testing	C	7
	Evaluation of the adhesive strength of the coatings	B	5
	Simulation of the service life	A	4
	Dynamic health monitoring	B	6
	Evaluation of fatigued remaining life	A	3

Note: (1) Technology levels can be divided into: A-Technology reserve stage; B-Technology demonstrate stage; C-Technology spread stage. (2) Technology evaluation scores can be classified into: 10-Leading level of the world; 7-Advanced level of the world; 5-Average level of the world; 3-Behind the level of the world; 0-Blank in China.

我国再制造技术现状:①再制造毛坯表面处理与绿色清洗、无损检测与寿命评估和修复成形 3 类技术协调发展;②加强再制造毛坯表面污染高效清洗的绿色物理清洗技术与装备;③加强我国“尺寸修复、性能提升”技术模式的推广应用,鼓励产学研联合攻关和产业化示范,形成再制造关键技术设备生产研发创新群体,完善技术体系和设备配套体系。

4 结 论

(1) 再制造技术主要包括:无损拆解与绿色清洗、无损检测与寿命评估和修复成形与加工 3 类。2000 年以来,再制造技术研究论文增数较快,论文年均增长率达 14.0%,专利年均增长率达 27.8%。其中,国外再制造产业发达国家三类技术研究比重均衡,热点主要集中在绿色清洗、无损检测与寿命评估、激光熔覆修复成形等方面。我国再制造研究多集中在无损检测与寿命评估和修复成形两方面,存在研究比重不均衡问题。

(2) 我国再制造技术研究论文总体水平与国外发达国家还有较大差距,关键技术的首次报道时间与国外相差基本有 20 年。但在修复成形技术研究方面,部分再制造关键技术取得突破,已形成我国“尺寸修复、性能提升”的技术特色。

(3) 我国 2010 年后再制造技术研究进展表明,我国再制造产业未来发展的潜力巨大。在消化吸收融合国外先进技术同时,注重发挥我国再制造修复成形与加工技术研发的优势地位,突出我国“尺寸修复、性能提升”技术模式特色,再制

造技术研发应并重系统集成与技术原创,既要重点支持适合我国再制造产业应用的协同性系统技术,又要着眼于战略发展的原始性创新技术。

(4) 考虑我国再制造产业培育期的国情与技术需求,在未来技术体系构建中,应该注重加强再制造毛坯表面处理与绿色清洗、无损检测与寿命评估和修复成形 3 类技术的协调发展。在“十三五”期间,应重点研发以激光熔覆、等离子熔覆为代表的 3D 打印增材再制造技术,以热喷涂技术复合高频感应重融为代表的高效、绿色复合表面修复技术,以智能自修复、纳米表面工程损伤修复技术为代表先进涂层修复技术,以喷砂、喷丸、高压水射流为代表的表面高效物理清洗技术,以及以金属磁记忆、射线探伤为代表的无损检测与评估技术。满足再制造产业推广、示范和技术储备等不同层面的需求。

参 考 文 献

- [1] 国务院. “十二五”节能环保产业发展规划 [R]. 2012.
- [2] 国务院. 循环经济发展战略及近期行动计划平 [R]. 2013.
- [3] 国家发改委. 再制造产业“十二五”发展规划 [R]. 2012.
- [4] 工信部联合. 关于印发《机电产品再制造技术及装备目录》的通知 [R]. 2012.
- [5] Irving A W, Daniel R P, Shara L A, et al. Remanufactured goods: An overview of the U. S. and global industries, market, and trade [R]. USITC Publication, 2012.

作者地址:北京市丰台区杜家坎 21 号 100072
装甲兵工程学院再制造技术重点实验室
Tel: (010) 6671 9650
E-mail: zhangwei18@sina.com

(责任编辑:陈茜)

• 本刊讯 •

《中国表面工程》开通微信公众平台

为顺应信息化时代的需求,提升期刊形象,《中国表面工程》期刊开通微信公众平台,读者可以搜索微信公众号“中国表面工程”关注本刊。该平台将定期为广大专家、作者和读者提供期刊的动态,也欢迎大家以文字、图片、音频或视频等形式与我们互动,分享表面工程和再制造工程领域的最新资讯。感谢大家对本刊一如继往的支持,《中国表面工程》欢迎您提出宝贵的意见和建议。

(本刊编辑部 供稿)