

装备维修技术的发展及表面工程技术的应用

马世宁¹, 游光荣², 孙晓峰¹

(1. 全军装备维修表面工程研究中心, 北京 100072; 2. 武器装备论证研究中心, 北京 100101)

摘要: 在研究未来维修技术发展特点及趋势的基础上, 提出装备维修技术的发展方向和重点是装备状态监测、故障诊断与预测技术, 装备修复关键技术, 装备维修保障综合化信息化关键技术, 装备延寿与再制造技术, 装备维修技术创新性研究以及装备现场抢修技术。指出纳米颗粒复合电刷镀技术、高速电弧喷涂技术、纳米固体润滑干膜技术、纳米减摩与原位动态自修复技术等先进而实用的表面工程新技术、新材料、新设备、新工艺, 对实现装备维修的快速化、自动化、智能化、信息化将发挥重要作用。

关键词: 维修技术; 表面工程; 综合保障; 发展; 应用

中图分类号: TG17; TH16

文献标识码: A

文章编号: 1007-9289(2005)04-0001-05

Development of Maintenance Technique of Equipment and Application of Surface Engineering

Ma shi-ning¹, You guang-rong², Sun xiao-feng¹

(1. Surface Engineering Research Center for Equipment Maintenance, Beijing 100072; 2. Weaponry Demonstration Research Center, Beijing 100101)

Abstract: Based on the research of development's characteristic and tendency of future maintenance techniques, it was pointed out that the major points are equipment state inspection, failure diagnosis and forecast technology, the technology of equipment repairing, the synthesization and information technology, prolonging life of equipment and remanufacture technology, innovative research, and on the spot maintenance technology of equipment. The nanoparticles electro-brush plating technology, high speed arc spraying technology, nano solid lubrication technology, nano friction reducing and dynamic repairing technology, the advanced and practical surface engineering techniques, new materials, new facilities and maintenance techniques etc. will play important role in acceleration, automatization, intellectualization and information of equipment's maintenance.

Key words: maintenance technique; surface engineering; synthesized guarantee; development; application

0 引言

现代维修技术, 是以现代维修理论为指导, 以信息技术、仿真技术、制造技术和材料技术等为支撑, 保持和恢复装备良好技术状态、最大限度地发挥装备效能的综合性工程技术。维修技术是典型的军民两用技术, 它既可以用于民用设备的维修, 也可以用于军事装备的维修。维修技术贯穿于民用与军用装备的论证、研制、生产、使用、维修及退役报废的全寿命过程, 具有综合性、前沿性和实用性的特点, 已成为装备建设所需的共性关键基础技术。

1 维修技术的特点与发展趋势

从20世纪50~60年代以来, 维修本质及客观规律得到了深入而广泛的研究, 维修实践得到了迅速发展。装备维修从被动变为主动, 从使用阶段延拓至装备全寿命过程, 从单一作业管理演变为系统工程管理, 从现实维修保障研究发展到预先维修保障研究, 从分散的、定性的、经验的阶段进入到系统的、定量的、科学的阶段。相应的维修技术也已从一门技艺发展成为一门内涵十分丰富的综合性工程技术。未来维修技术发展将主要呈现出以下特点和趋势:

1.1 维修概念和理论不断创新

维修作为一个过程, 常常被定义为能产生一定

收稿日期: 2005-03-26; 修回日期: 2005-05-08

作者简介: 马世宁(1941-), 男(汉), 北京市人, 教授, 博导。

效果、有逻辑关系的一系列任务。随着维修实践的发展,对维修的认识已突破了传统的定义,其概念、内涵不断扩展,装备维修思想及策略等不断进步。从“事后维修(BM)”发展到“预防维修(PM)”、“预测维修(PDM)”乃至“改善维修(CM)”和“风险维修”等,移植了“并行工程”等理论,深化了“以可靠性为中心的维修”理论。基于信息网络等技术的发展,发达国家还提出适用于满足分散程度和机动性越来越强的“精确保障”、“敏捷保障”等维修保障新理论。这些理论创新以维修技术进步为基础,并同时有效地引导了维修技术发展。

1.2 更依赖维修技术应用基础研究

要从根源上预防和解决故障,维修技术必须能够针对维修实践中提出的科学技术问题,特别是对有关装备的磨损、腐蚀、老化、疲劳、失效和不稳定载荷的反应等机理性问题、装备寿命预测等规律性问题进行理论探索与试验研究,以及运用基础科学的理论为解决维修不同领域中的普遍性问题提供理论和试验依据。维修技术的应用基础研究需要广泛结合材料、冶金、机械、力学等科学技术领域的基础研究或应用基础研究成果,以促进维修技术的发展。如新型润滑剂和腐蚀控制材料以及防污涂料等研究的基础是表面化学和应用材料研究。而材料、结构和数据分析方面的基础研究将进一步提高无损评估方法的灵敏度和耐久性。

1.3 信息技术的带动作用愈加突出

信息技术以其广泛的渗透性、功能的整合性、效能的倍增性,以及军民两用性,在维修作业、维修管理、维修训练、维修指挥等诸多方面都有着非常广泛的应用。已经衍生了全部资源可视化、虚拟维修、远程维修、交互式电子技术手册等技术,促进了传统监测与诊断技术进步,产生了基于虚拟仪器的监测与诊断等新仪器及系统,推动了维修决策支持系统的智能化发展,提高了从各种完全不同的、分布极为分散的系统和数据库中检索信息的能力,加速了维修信息系统与作战指挥等系统的融合。

1.4 多学科综合交叉发展趋势明显

维修技术是一门较为典型的综合性工程技术,其发展和创新越来越依赖于多学科的综合、渗透和交叉。不仅新兴的维修技术研究领域很多都跨越了

传统的学科分类,而且许多传统的维修技术研究领域也都通过更深入的开发,更高层次的创造,突破了原有的传统技术界限。如故障诊断系统已经逐步发展成为一个复杂的综合体。在这个综合体中,包含了模式识别技术、形象思维技术、可视化技术、建模技术、并行推理技术和数据压缩等技术。这些技术的综合有效地改善了故障诊断系统的推理能力、并发处理能力、信息综合能力和知识集成能力,推动故障诊断技术向着信息化、网络化、智能化和集成化的方向发展。

1.5 向覆盖装备全系统、全寿命周期发展

适应装备全系统全寿命发展要求,通过发展装备维修性指标论证、分析设计、试验评价等技术,可以有效地将现代维修思想、维修保障要求以及装备改进需求等反馈并影响装备方案论证、性能要求、功能设计等装备的研制以及装备的改造过程。

目前,维修性技术基本实现了规范化、标准化和应用制度化。未来维修性技术的综合化、计算机化和智能化发展,将进一步促进装备性能与维修性综合集成的一体化论证、试验、验证与评估方法研究,软件类产品的维修性技术研究,以及保障性等装备综合属性的研究。此外,随着装备维修与装备研制及改造的联系更加紧密,也将进一步促进装备维修技术与装备研制技术的结合。

20 世纪 80 年代以来,经过多年的发展,特别是在“十五”以来,我国装备维修技术取得了长足的进步,在修复工艺、故障诊断等方面取得了一批很好的成果,为维修技术持续、快速、健康地发展奠定了良好的基础。但是,我国目前对状态监测与故障诊断的研究和应用还不够广泛和深入,维修保障的综合化、信息化水平仍然较低,维修性的设计与验证技术还很不成熟,软件密集型装备的故障与修复机理、腐蚀与防护机理等基础问题的研究也才刚刚起步,维修技术发展仍然面临巨大的挑战,其整体水平与国民经济建设、国防和军队现代化建设的需求之间还存在相当大的差距。

维修技术与先进制造技术、先进材料技术、通用测试技术、可靠性共性技术、计算机技术和仿真技术等,同属于装备发展的重要支撑技术和共性基础技术,既有紧密联系,又有其独特的研究范围。这些技术的相互交融、集成创新,是维修技术发展的重要趋势,值得引起高度重视。

维修技术水平发展具有重大的经济效益和社会效益。维修技术迈上一个新台阶,为装备维修与新一代装备的配套发展奠定技术基础;将带动我国维修科学技术向更高水平发展,以及加快维修现代化进程将产生深远影响。

2 装备维修技术的发展方向与重点

未来10年的维修技术要以国民经济和社会发展、国防和军队现代化建设的双重需求为牵引,坚持“军民结合、平战结合、寓军于民”,加强维修技术应用基础研究,注重系统集成与创新,加速维修科研成果转化应用,使我国部分维修技术水平达到国际先进水平,形成一批新的维修技术能力增长点,维修技术持续发展能力不断增强。装备维修技术的发展重点为:装备状态监测、故障诊断与预测技术,装备修复关键技术,装备维修保障综合化信息化关键技术,装备延寿与再制造技术,装备维修技术创新性研究,以及装备现场抢修技术。

2.1 装备状态监测、故障诊断与预测技术

针对现代装备系统复杂、技术密集等特点,以“现场和快速诊断”为核心,研究装备原位快速无损检测与智能自诊断技术、大型复杂装备关键系统状态监测技术、基于信息融合的装备故障综合诊断技术、复杂装备故障预测与健康管理(PHM)技术等,装备故障诊断时间大幅缩短,为实现装备视情维修、精确维修提供技术支撑。

2.2 装备修复关键技术

针对现代装备技术含量高、维修难度大的特点,以“先进维修技术”为核心,重点研究装备表面及新型材料结构的检测与修复技术、软件密集型装备的保障技术,以及装备腐蚀、污损防护与治理技术等,实现装备维修技术的创新,形成先进和较为系统的维修技术。

2.3 装备维修保障综合化信息化关键技术

针对装备维修保障精确化、集约化和高效化的要求,研究装备维修保障信息系统关键技术、装备虚拟维修技术,发展基于网络和计算机的信息化保障技术和优化技术。各项专题成果均应实现计算机辅助决策,并能在网络环境下集成运行。

2.4 装备延寿与再制造技术

针对现有装备使用、存储和技术改造,研究现有装备及重要零部件剩余寿命预测技术、现有装备及重要零部件延寿关键技术,使现有装备剩余寿命预测相对误差小于30%,延寿后的装备主要零部件使用寿命延长50%以上。针对现有装备质量的提升、损伤和报废装备的处理,研究装备再制造与质量控制技术,再制造后的装备零部件使用寿命不低于原机新品寿命,实现节能、节材和减少环境污染,节省装备全寿命周期费用。

2.5 装备维修新技术创新研究

针对装备研发和技术改造的需要,研究装备维修性论证、验证、评价与增长技术,提供定性、定量的研究成果,新研装备的维修性提高20%以上。同时,加强维修技术探索研究(包括预先维修、智能维修、自主维修与自修复技术研究,系统功能重构技术研究,绿色维修、仿生表面等技术),促进维修技术的创新发展。

2.6 装备现场抢修技术

针对资源开发进行的野外作业,使用的新装备越来越多,向现场及原位抢修提出了新的挑战,以“高技术”和“应急”为核心,研究装备损伤机理、模式和仿真技术,装备现场损伤快速评估技术,装备损伤应急修复技术,装备零部件数字化快速制造技术。为现场条件下装备抢修提供快速、有效的技术和方法,使损伤装备的应急抢修时间缩短1/3~1/2,满足不同装备的要求。

3 表面工程技术在装备维修中的应用

3.1 纳米颗粒复合电刷镀技术

纳米颗粒复合电刷镀技术^[1]是一种新的复合镀层制备技术,它是在电刷镀液中加入一种或多种纳米颗粒,使之在电刷镀电场作用下金属离子被还原的同时与金属发生共沉积,从而在装备零件表面获得具有优异性能的复合镀层。纳米材料的弥散强化作用,使纳米复合镀层的耐磨性比单一镍刷镀层提高1倍以上,镍基纳米氧化铝(Ni/n-Al₂O₃)复合镀层的使用温度可提高到400℃,高温下复合镀层的显微硬度仍可保持在HV 600,微动磨损深度仅为镍刷镀层的1/4。

纳米复合电刷镀技术可用于进行装备零部件表面损伤的修复、强化,在装备应急维修中可用于

杆、轴、孔、轴承、轴瓦类等零部件的密封面或配合表面等。

3.2 高速电弧喷涂技术

高速电弧喷涂技术^[2,3]以电弧为热源,使用多种喷涂材料,能够制备耐磨涂层、防腐涂层、防滑涂层等各种性能的涂层,是快速修复和强化磨损零件的重要技术手段。

在装备应急维修中,主要用于损伤表面厚涂层的制备,装备结构件的防腐,直升飞机起落平台的防滑,临时指挥部房屋结构的电磁屏蔽等。

3.3 纳米固体润滑干膜技术

纳米固体润滑技术^[4]通过在固体润滑干膜中添加润滑和抗磨作用的纳米粒子,改善固体润滑干膜的润滑、耐磨损性能,能够在常规油脂不宜使用的特殊环境下实现有效润滑。如含有纳米氧化铝材料的固体润滑干膜的耐磨性比普通干膜提高了2~5倍。

纳米固体润滑膜可以用到几乎所有的摩擦部件上而不需要改变部件的尺寸,而且还具有优良的防腐蚀性能和动密封性能,目前已经在我军沿海地区的重载车辆上广泛使用,具有良好耐磨、减摩和防腐性能。

3.4 划伤快速填补技术

划伤快速填补技术^[5]是利用微区脉冲点焊设备和专用材料,对零部件的损伤部位进行快速修复的技术。该技术通过高能电脉冲产生高温,使补材在经过预处理的待修表面上熔化,实现二者的微区焊接,能够对非均匀磨损、沟槽和特形表面棱边损伤等进行快速修复。

该技术适合用于装备的一些大型零部件表面的修复,如轴与孔配合面上的划伤,液压件配合面上的划伤,变速箱、发动机等铸造部件结合面上的蚀坑等。该技术克服了其它方法难以修复的困难。

3.5 纳米减摩与原位动态自修复技术

减摩与自修复的作用机理是^[6],在摩擦条件下,使润滑油中的纳米减摩添加剂在摩擦表面上沉积、结晶、铺展成膜,使磨损得到一定补偿,并具有良好的减摩与自修复作用。

装备表面纳米减摩与原位动态自修复技术不仅可以对装备表面微损伤(如发动机、齿轮、轴承等磨损表面的微损伤)进行自修复,延长装备的使用寿命,

并将通过影响和改进传统的润滑方式而节省润滑与燃料成本。在紧急情况下车辆甚至通过使用纳米固体润滑剂可以在无油下运行一定时间,而且可以预防装备部件的失效,减少维修次数,降低维修费用。

3.6 离子复合渗技术

针对装备在恶劣工况下,零件摩擦副的延寿要求,在零件基体表面先进行离子氮碳共渗,再在共渗表面进行离子渗硫形成复合渗层。该渗层次表面因氮碳共渗获得了高硬度的梯度硬化层,而表面渗硫层则形成了主要是FeS、FeS₂或它们的混合物组织。渗硫层具有良好的减摩性能,并能有效地提高抗擦伤性、抗咬合性和耐磨性。

该技术用于船舶大功率柴油机缸套,能有效避免新缸套在使用初期产生的划伤,有复合渗层的缸套比没有复合渗层缸套的抗划伤性能提高了13倍。

3.7 无电焊接技术

无电焊接技术是焊接技术与自蔓延技术相结合的创新技术。该技术不需要任何电源、气源或其它设备,常温下只需用火柴点燃焊接材料后,仅仅依靠焊条燃烧反应放出的热量就能进行焊接。焊接材料小巧轻便,操作简单,工作效率高。可用于装备金属零部件出现的断裂、缺损、裂纹、孔洞以及管路、箱体的跑、冒、滴、漏等故障的抢修,尤其适合现场原位抢修的需要。

3.8 结构贴片修复技术

针对装备薄壁结构件的破裂、孔洞等损伤,可应用结构贴片修复技术修复。

使用常温光固化新型结构胶粘剂,修复一处破损不超过15 min,修复部位的静强度比铆接高50%,抗疲劳强度比铆接高1倍以上,可用于飞机等装备上薄壁结构件的损伤快速修复,是损伤原位抢修的重要技术。新研制的快速光敏固化补片可以直接贴补破损孔洞,使用温度范围在-50~100℃,可用于飞机机体的破损应急抢修。

3.9 耐磨修补技术

针对装备零部件的磨损、划伤、腐蚀等问题,可采用耐磨修补技术进行快速修复。

该技术采用的金属修补剂是以金属、合金、陶瓷材料、减摩材料等作为增强材料的聚合物复合材料,具有优异的力学性能、机械性能、摩擦学性能,

固化后可进行车、铣、钻、磨等各类机械加工,能够用于修复摩擦磨损工况下的设备和机件,耐磨性为一般金属的2~8倍,操作方便,可任意成形。

3.10 堵漏技术

堵漏技术^[7]具有堵漏速度快、工艺简便、使用灵活、材料品种多、价格低廉等特点。例如快速堵漏胶30 s即可固化,能迅速从外部堵住泄漏。而水箱止漏剂则加入循环水中,能够自动流到渗漏处修复裂纹、细孔,快速从内部止住水箱的泄漏,特别适用于现场条件下的应急抢修。采用新型材料对高温高压管路的带压堵漏已取得可喜成果,能适用于温度高达300℃,压力达14 MPa工况下的应急堵漏。

3.11 贴体封存技术

贴体封存技术^[8]是以被封存器材或零件外表为支撑,将可剥性涂料直接涂覆到被保护表面,涂料固化后即可形成一层具有一定粘附强度又可剥离的涂层,可有效防止环境中的有害介质对表面的侵蚀。

可在两栖车辆下海前对装备上的缝隙进行密封,防止海水渗入,同时对线路接头等部位进行保护可以防止进水或腐蚀,避免线路接头部位由于潮湿或进水造成短路,在两栖车辆的电器设备上应用有良好的效果。

3.12 电子装备快速清洗技术

电子装备快速清洗技术^[8]可以对装备进行不拆卸清洗,不需人工擦拭,仅用喷雾清洗剂就能完成电子装备保养的技术,可以节约维修时间,对提高电子装备完好率和可靠性有重要意义。

该技术突出的优点是能够对电子装备在不停机(带电)状态下进行原位清洗,操作简单方便、高效快速,在战时紧急状态下能发挥重要的作用。针对电子装备的保养喷剂,能提高导电部位的导电性、绝缘部位的绝缘性,在电子装备现场维修保养中有良好的效果。

3.13 快速切割技术

快速切割技术采用特殊的雾化技术,将雾化后的汽油按一定比例与氧气混合后从割嘴中喷出,点燃后形成了切割所需的理想火焰,即可对大型机械装备零部件实施野外快速切割。突出特点是:设备简单、轻便,便于对零部件实施野外快速切割;利用汽油和氧气混合燃烧产生的2600℃高温,燃料

消耗少,切割速度快,一次切割厚度可达200 mm;汽油罐内填充了抑爆材料,遇明火不会爆炸,保障了操作人员的安全性。

3.14 机器人再制造技术

装甲车辆修复件工业机器人热加工中心是由机器人系统、气体保护焊系统、等离子弧淬火系统、带氧乙炔火焰喷涂系统、气动系统、机器人周边系统和机械系统组成。该中心各系统性能稳定,工作可靠、加工效率高、质量好、操作简便,大幅度减轻了劳动强度。该项目的研制成功不但适用于装甲车辆的零件修复,也可广泛适用于军、地各种装备的零件修复加工,具有较大的经济效益。

4 结 论

(1) 维修技术水平的提高具有重大的经济效益和社会效益。维修技术迈上一个新台阶,就为装备维修与新一代装备的配套发展奠定技术基础,并可带动我国维修科学技术向更高水平发展,为我国国民经济作出重要贡献。

(2) 研究表明,未来10年装备维修技术的发展重点是装备状态监测、故障诊断与预测技术,装备修复关键技术,装备维修保障综合化信息化关键技术,装备延寿与再制造技术,装备维修技术创新性研究,以及装备现场抢修技术。

(3) 纳米颗粒复合电刷镀技术、高速电弧喷涂技术、纳米固体润滑干膜技术、划伤快速填补技术、纳米减摩与原位动态自修复技术、离子复合渗技术、无电焊接技术、结构贴片修复技术、耐磨修补技术、堵漏技术等先进而实用的表面工程新技术、新材料、新设备、新工艺,对实现装备维修的快速化、自动化、智能化、信息化将发挥重要作用。

参考文献:

- [1] 董世运,徐滨士,马世宁. 纳米颗粒复合电刷镀层性能研究及其强化机制 [J]. 中国表面工程. 2003, 16(3): 17-21.
- [2] 徐滨士,朱绍华,等. 表面工程的理论与技术 [M]. 北京:国防工业出版社,1999.
- [3] 徐滨士,刘世参,等. 表面工程 [M]. 北京:机械工业出版社,2000.

(下转第12页)

