

轨道客车高效优质激光清洗技术的工程应用与前景展望

韩晓辉, 齐先胜

中车青岛四方机车车辆股份有限公司 山东青岛 266111

摘要: 轨道客车新造、检修过程中存在大量氧化物、油污及锈蚀清洗工作, 目前行业内多采用化学清洗、机械打磨等人工方式作业, 劳动强度高, 工作效率低, 作业环境差。激光清洗技术以绿色、环保、高效、自动化、无损伤等优点, 契合国家绿色发展理念, 在轨道客车领域有着广阔的应用前景。本文对激光清洗技术发展概况及其在轨道客车领域应用情况进行介绍, 分析了轨道客车激光清洗技术大规模应用需要解决的关键技术难题, 并对激光清洗技术在轨道客车制造行业的应用前景进行展望。

关键词: 轨道客车; 激光清洗; 智能制造; 环保

1 序言

轨道客车是高速动车组、干线旅客列车和城轨地铁的统称^[1]。自2005年引进吸收国外技术以来, 我国轨道客车快速发展, 已经成为中国制造走向世界的“金名片”。在轨道客车生产制造及检修过程中存在大量的清洗作业工序, 譬如铝合金车体焊前清洗氧化膜、焊后清理黑灰, 不锈钢车体焊后清洗氧化色, 转向架检修去油、脱漆、除锈等。目前, 国内外知名的轨道客车制造企业, 如日本川崎、德国西门子、法国阿尔斯通、加拿大庞巴迪以及中车各主机厂主要采用化学清洗及机械打磨方式进行清洗作业, 存在劳动强度大、作业环境差、环保成本高的弊端。随着高端装备制造的发展及民众环保意识的提升, 传统清洗模式已无法满足, 开发高效、优质、绿色、环保的清洗技术已成为轨道客车制造亟待解决的工程问题。

激光清洗技术基于效率高、效果佳、非接触、无损伤、绿色环保等突出优势, 与传统清洗剂、超声波和机械式清洗形成鲜明对比, 自20世纪60年代提出以来, 受到国内外工程技术人员的青睐。经过五十余年发展, 基础研究及配套设备开发日趋成熟, 已成功应用于航天、航空、船舶、汽车及核电等工业领域^[2-4]。近年来, 随着“中国制造2025”国

家战略实施, 高速列车铝合金车身、齿轮箱等关键零部件的高效、优质激光清洗技术成为研究热点, 并逐步得到工程化应用。本文立足轨道交通领域, 对轨道客车激光清洗技术的应用概况进行介绍, 并结合激光加工产业的发展趋势, 展望了激光清洗技术在轨道客车行业的应用前景。

2 激光清洗技术简介

2.1 激光清洗原理

激光清洗技术通过低功率、高密度的激光束作用于工件, 使其表面污物、氧化物或涂层经过受热膨胀、共振冲击、燃烧气化、分解蒸发等众多物理化学变化而脱离基材, 进而实现表面清理净化的目的^[5-10], 如图1所示。

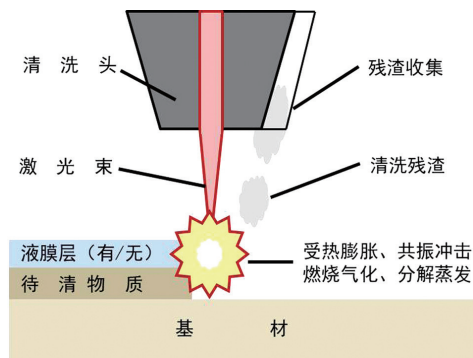


图1 激光清洗过程

2.2 激光清洗技术发展历程

激光清洗技术的发展经历了两个阶段。第一阶段自20世纪60年代中期著名物理学家Arthur Schawlow提出激光清洗概念开始至20世纪末,研究主要集中在激光清洗石像雕塑和微电子硅片表面污物颗粒^[1],是激光清洗技术的新兴时期,技术发展较慢,相关应用报道较少。第二阶段自21世纪开始,激光清洗技术成为国内外工程技术人员的研究热点,近二十年取得了飞速发展。

根据待清基材的激光清洗特点,相继开发了干式、液膜、化学、激波、复合等激光清洗技术。激光干式清洗法适用于污物对激光吸收率高且基材吸收率低的工况,譬如铝合金、碳素钢表面的氧化膜;因操作简便、易于控制等优势应用最广。激光液膜法适用于激光吸收率较低的材料,通过液膜增强激光能量吸收,液膜沸腾、气化、振动产生冲击使污物脱离基材,具有激光功率低、清洗效率高和基材损伤小的优点。激光激波清洗法对纳米颗粒污染物的清洗具有良好的效果,激光束平行于工件表面,通过击穿空气产生的冲击波实现纳米颗粒污染物清洗的目的;由于激光不与基材接触,对基材的损伤几率最小。激光复合清洗是一种新兴技术,通过半导体激光与脉冲激光复合提高激光清洗质量和效率,对较厚漆层或锈层的去除有着良好的清洗效果,在轨道车辆轮轴和构架脱漆方面有着良好的应用前景。

3 激光清洗应用概况

目前,轨道客车行业采用传统的机械打磨和化学方法清理氧化物、残胶、油污、锈蚀及涂层,如采用机械打磨方式去除氧化膜,采用手工电化学清洗方式去除焊后氧化色,采用抛丸、喷砂方式完成脱漆、除锈,存在人工作业量大、工作效率低、质量一致性差等问题,已无法满足车辆制造精细化、自动化、智能化的发展要求,国内外轨道客车制造企业相继开展了激光清洗技术工程化应用的探索。

3.1 轨道客车新造领域

(1) 高效自动激光清洗技术在铝合金车体焊接中的应用 铝合金以其轻质、高强、加工性好的特点广泛用于高速列车、城轨地铁等客车车体。铝合金车体焊接是列车制造的关键技术,铝合金氧化

膜易造成气孔、夹渣等缺陷,严重影响焊接质量。为实现铝合金表面氧化膜的快速清洗,四方股份公司开发了铝合金车体长大焊接部件高效自动激光清洗技术,通过将激光清洗装置集成于龙门式激光电弧复合焊接机器人上,实现了“即清即焊、清焊一体”的高效作业,如图2所示。该技术在时速600km高速磁浮项目中实现工程化应用,采用激光清洗制造的高速磁浮列车如图3所示。南京浦镇和四方庞巴迪公司将激光清洗机集成至全自动弧焊机器人上,实现了城轨地铁铝合金侧墙、车顶等部件焊前清洗、随动焊接及焊后清理的自动化作业,最高清洗速度可达3m/min,如图4所示。与传统机械打磨方式相比,铝合金全自动激光清洗+焊接技术对车体长大部件表面氧化物去除更彻底,作业效率更高,焊接效果更好。



图2 铝合金激光清洗复合焊接全自动机器人



图3 时速600km高速磁浮列车

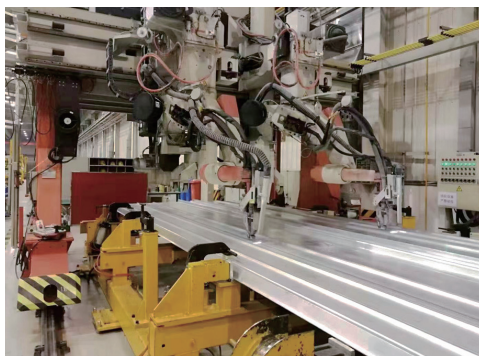


图4 铝合金激光清洗电弧焊接全自动机器人

(2) 不锈钢多工况激光精细清洗技术应用 不锈钢材料以其高强、高韧、耐蚀的技术特点在城轨地铁列车行业获得大规模的推广使用, 不锈钢车体数量占轨道客车总量的40%以上。不锈钢车体为无涂装车体, 其商品化质量要求很高。不锈钢焊后表面易产生氧化色、黑灰, 影响车辆商品化效果。自2016年起, 四方股份公司开展了不锈钢车体焊后氧化色及黑灰激光清洗技术研究, 历经两年时间, 开发了不锈钢车体多工况激光精细清洗技术, 已在青岛1号线、巴西圣保罗地铁、美国芝加哥地铁等项目中实现了工程化应用。激光清洗焊点氧化色和焊缝黑灰情况如图5、图6所示, 采用激光清洗制造典型产品如图7、图8所示。



图5 激光清洗不锈钢电阻点焊氧化色

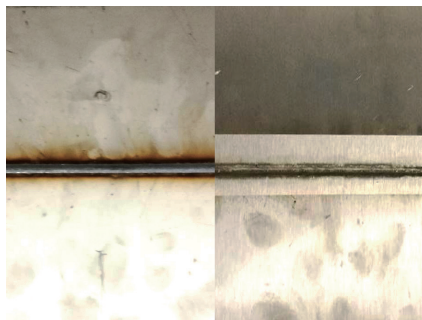


图6 激光清洗不锈钢弧焊焊缝黑灰及氧化色



图7 青岛地铁1号线激光清洗车辆



图8 芝加哥地铁激光清洗车辆

3.2 轨道客车检修领域

(1) 转向架关键零部件选区脱漆激光清洗技术应用 转向架作为轨道客车的走行部位, 承受来自钢轨的交变载荷, 易产生疲劳损伤。为保证行车安全, 需在转向架高级检修时对车轴、构架等关键零部件进行脱漆探伤。目前, 行业内主要采用机械打磨或化学清理方式进行脱漆, 作业强度大、工作环境差。四方股份公司联合英国曼彻斯特大学对车轴激光脱漆的机理及影响因素进行深入研究, 形成了车轴激光脱漆清洗工艺。先使用1kW大功率激光去除面漆层, 再使用30W小功率激光精细清洗机靠近车轴金属基材表面的漆层, 有效避免基材损伤, 同时提高了激光清洗效率。

(2) 转向架关键零部件除锈激光清洗技术应用 转向架直接暴露于车辆运行环境中, 部分关键零部件如集电环、轴箱体会发生锈蚀, 影响行车安全。四方股份公司以集电环、铜垫片及轴箱体为研究对象, 利用激光能量精细可控的特点, 开发了转向架关键零部件激光清洗除锈技术。激光清洗前后的集电环、铜垫片和轴箱体如图9~图11所示。国内某地铁公司也采用激光清洗技术清理转向架关键零部件的氧化层, 并实现了小规模工程化应用。与传统技术相比, 激光清洗技术使作业效率提高2~3倍, 并极大改善了劳动环境。



图9 激光清洗前后的集电环

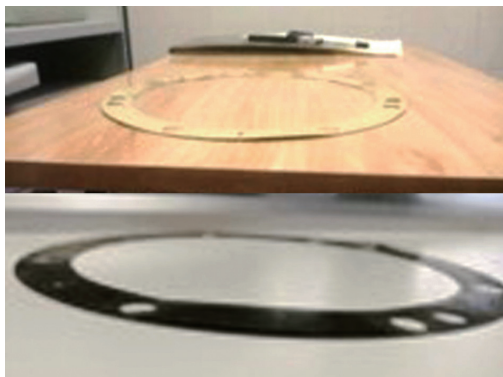


图10 激光清洗前后的铜垫片



图11 激光清洗前后的轴箱体

4 激光清洗技术难点

要实现轨道客车激光清洗技术的大规模应用，需结合车辆结构特点重点解决以下三方面问题：

1) 基于待清基材的材料特性，深化激光与材料相互作用的基础研究，是激光清洗技术工程化应用的前提和基础。通过研究不同基材激光清洗的特点、机理，分析激光功率、频率、离焦量、清洗速度等因素对清洗质量的影响，确定清洗工艺和损伤阈值，在保证清洗质量和效率的同时，避免基材表面产生损伤。

2) 开展激光清洗装备集成及自动作业技术研究，是激光清洗技术推广应用的重要保证。轨道客车结构长大，作业空间复杂，手持式激光清洗效率低，清洗质量稳定性差，无法适用于大规模的工业化生产。应结合现有产线布局及自动化设备情况，将激光清洗设备集成于自动化装备，实现自动清洗并与其他作业模式有机融合。

3) 激光清洗技术作为一种革命性的清洗方法，尚无清洗后表面的性能评估方法和质量评价标准，

也限制了其推广应用。开发激光清洗后零部件的性能评估方法，形成质量评价标准，是激光清洗技术产业化应用的重要支撑。

5 前景展望

激光清洗技术在轨道交通领域的应用虽然处于起步阶段，但市场前景广阔，推广意义重大。随着轨道客车制造水平的提升和“中国制造2025”的实施，激光加工技术已成为未来高端装备制造不可或缺的技术手段。激光清洗作为激光加工技术的重要分支，以其优质、高效、智能的工程特点，降低了产品制造成本，提升了生产线的自动化水平，满足企业转型升级需求，契合国家绿色发展理念，必将产生巨大的经济和社会效益。

参考文献：

- [1] 韩晓辉, 张志毅, 李刚卿. 激光焊接技术在不锈钢轨道客车制造中的应用与展望[J]. 电焊机, 2018, 48 (3) : 1-8.
- [2] 张自豪, 余晓畅, 王英. 脉冲YAG激光清洗轮胎磨具的实验研究[J]. 激光技术, 2018, 42 (1) : 127-130.
- [3] 王宏睿. 激光清洗原理与应用研究[J]. 清洗世界, 2016, 22 (9) : 20-23.
- [4] 雷正龙, 田泽, 陈彦宾. 工业领域激光清洗研究现状综述与展望[J]. 激光与光电子学进展, 2018, 55 (03) : 030005.
- [5] 俞鸿斌, 王春明, 张威. 激光清洗应用发展现状及展望[J]. 电焊机, 2014, 44 (10) : 80-84.
- [6] 王曼曼, 张心明, 丁蕴丰. 手持式激光清洗系统的研制[J]. 新型工业化, 2017, 7 (12) : 1-6.
- [7] 傅运香, 郭文亮, 冯治乾, 等. 不锈钢表面激光清洗技术研究[J]. 金属加工 (热加工), 2019 (9) : 14-16.
- [8] 宋峰, 刘淑静, 牛孔贞. 激光清洗原理与应用研究[J]. 清洗世界, 2005, 21 (1) : 1-6.
- [9] 邹万芳. 激光干式除漆作用机制的分析[J]. 航空精密制造技术, 2010, 46 (6) : 60-62.
- [10] 王泽敏, 曾晓雁, 黄维玲. 脉冲激光除漆机理及工艺参数的研究[J]. 材料保护, 2000, 33 (4) : 21-22.
- [11] 邢宏楠, 冉合利, 赵慧峰. 激光清洗技术发展及应用[J]. 清洗世界, 2018, 34 (5) : 23-31.

MW 20200115