

激光再制造技术工程化应用

陈 江, 刘玉兰

(沈阳大陆激光技术有限公司, 沈阳市 110136)

摘 要:介绍了激光熔覆技术和激光再制造技术的特点。激光熔覆技术是激光再制造技术的基础技术之一,具有结合强度高、热影响区小、热变形小、可控性好等技术特点,以激光熔覆技术为主要技术的多种加工技术同再制造产品相结合形成的激光再制造工程技术是再制造工程技术的重要组成部分,具有优质、高效、节能、节材、环保的基本特点,该技术的兴起和发展为我国重大机械装备和部分进口设备的修复和改造提供了新的技术手段。在我国,激光再制造技术广泛应用于石化、冶金、电力等行业。列举了激光再制造机械设备的典型案例,指出在我国开展重大装备的激光再制造,不仅具有广阔的市场前景,而且具有重大的经济效益和社会效益。

关键词:激光再制造;激光熔覆;工程;应用

中图分类号:TN24;TH17

文献标识码:A

文章编号:1007-9289(2006)05⁺-0050-06

The Engineering Application of Laser Remanufacturing Technology

CHEN jiang, LIUYu-lan

(Shen Yang Dalu Laser Technology CO., LTD)

Abstract: The characteristics of laser cladding and laser remanufacturing technology are introduced. Laser cladding technique is one of the basic techniques of laser remanufacturing technology. It has many characteristics such as high bonding intensity, small heat affect zone, small heat deformation, good automation control etc. The combination of many processing techniques, which mainly consists of laser cladding, and remanufacturing products form Laser remanufacturing technology. It is the important part of remanufacturing technologies. It has characteristics of high quality, high efficiency, economized energy sources, economized material and environment protection. The rise and development of this technology offers a new technical means for the repairing and rebuilding of important mechanism equipments made in China and some importing products. In China, laser remanufacturing technology is widely applied to many industries such as petroleum and chemical, metallurgy, electric power etc. Some representative examples of important mechanism equipments processed by laser remanufacturing are illustrated in this paper. Developing laser remanufacturing of important mechanism equipments has wide market in China. Further more it has important economic and societal benefit.

Key words: laser remanufacturing; laser cladding; engineering; apply

1 概 述

20 世纪全球经济高速发展。与此同时,对自然资源的任意开发和对环境的无偿利用,造成全球的生态破坏、资源浪费和短缺、环境污染等重大问题。面对处理大量失效、报废产品这一严峻问题,再制造工程应运而生。再制造工程是解决资源浪费、环境污染和废旧装备翻新的最佳方法和途径,是符合国家可持续发展战略的一项绿色系统工程^[1]。

收稿日期:2006-05-26

作者简介:陈江(1968-),男(汉),工学硕士。

激光作为一种强力、非接触、清洁的热源进入加工领域以来,解决了许多常规方法无法加工和很难加工的问题,极大地提高了生产效率和加工质量,为再制造提供了一种先进而有效的技术手段。

激光加工技术已被誉为“未来制造业的共同加工手段”。几个世纪以来,材料加工领域由手工加工时代过渡到火焰加工时代,又由火焰加工时代过渡到电加工时代。激光加工的出现正促使目前的电加工时代向光加工时代转变^[2]。激光加工技术同再制造产品相结合,所形成的激光再制造工程技术

和激光再制造产业，是再制造工程技术和再制造产业的重要组成部分。在诸种再制造技术手段中，激光再制造具有十分独特的技术优势和广阔的发展前景。

2 激光再制造技术特点

2.1 激光再制造技术特点

再制造是产品维修、报废阶段的一种再生处理，是用高技术对废旧装备修复、改造的产业化。再制造对象既可以是设备、系统、设施，也可以是零部件。

激光再制造是以丧失使用价值的损伤、废旧零部件作为再制造毛坯，利用以激光熔覆技术为主的高新技术对其进行批量化修复、性能升级，所获得的激光再制造产品在技术性能上和质量上都能达到甚至超过新品的水平。激光再制造是规模的生产模式，它有利于生产自动化和产品的在线质量监控，有利于降低成本、降低资源和能源消耗、减少环境污染，能以最小的投入获得最大的经济效益。具有优质、高效、节能、节材、环保的基本特点。

绿色激光再制造工程的最大优势，是能够以先进成形技术方法制备出优于基体材料性能的覆层，如采用金属材料的表面强化处理、激光显微仿形熔覆等技术修复和强化零件表面，赋予零件耐高温、防腐蚀、耐磨损、抗疲劳、防辐射等性能，这层表面材料厚度从几十微米到几毫米，与制作部件的整体材料相比，厚度薄、面积小，但却承担着工作部件的主要功能，使工件具有了比本体材料更高的耐磨性、抗腐蚀性和耐高温等能力。

激光再制造技术与传统制造技术的重要区别之一是利用原有零件作为再制造毛坯，采用激光再制造成形技术，使零部件恢复尺寸、形状和性能，形成激光再制造产品。主要包括在新产品上重新使用经过再制造的旧部件，以及对长期使用过的产品部件的性能、可靠性和寿命等通过再制造加以恢复和提高，从而使产品或设备在对环境污染最小、资源利用率最高、投入费用最小的情况下重新达到最佳的性能要求。

2.2 激光熔覆技术特点

激光熔覆技术是激光再制造的基础技术之一，它是利用大功率、高能量激光束聚焦能量极高的特点，瞬间将被加工件表面金属微熔，同时使零件表

面预置或同步自动送置的合金粉剂完全熔化。激光束扫描后合金快速凝固，获得与零件基体完全冶金结合的致密熔覆层。激光熔覆可将高熔点材料熔覆在低熔点材料表面，且材料成分不受通常的冶金热力学条件限制，因此采用的熔覆材料范围广泛，通常采用耐热、耐磨、耐腐蚀和耐疲劳性能好的材料。与其它传统加工技术相比，激光熔覆具有以下几个显著特点：

2.2.1 光熔覆层与基体为冶金结合，结合强度不低于原基体材料的90%，因此可以用于一些重载条件下零件的表面强化与修复，如大型轧辊、大型齿轮、大型曲轴等零件的表面强化与修复。

2.2.2 基体材料在激光加工过程中表面微熔，微熔层仅为0.05~0.1 mm。基体热影响区极小，一般为0.1~0.2 mm。如图1。

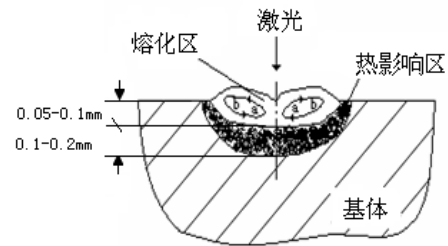


图1 激光熔覆热影响区示意图

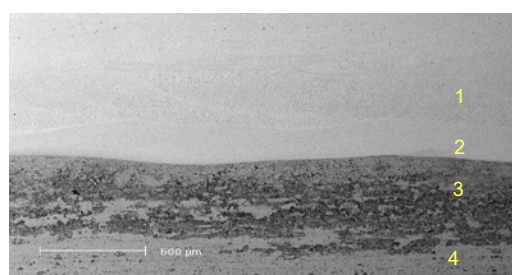
Fig.1 Schematic diagram of heat affected zone of laser cladding

2.2.3 激光加工过程中基体温升不超过80℃，激光加工后热变形小。因此适合强化或者修复一些高精度零件或者对变形要求严格的零件，如精轧辊的表面强化处理。

2.2.4 激光熔覆技术可控性好，易实现自动化控制，可以对几何形状复杂的产品零部件进行修复，如涡轮动力叶片等。

2.2.5 熔覆层与基体均无粗大的铸造组织，熔覆层及其界面组织致密，晶体细小，无孔洞、夹杂、裂纹等缺陷，金相组织如图2所示。

2.2.6 激光熔覆复合层由底层、中间层以及面层各具特点的梯度功能材料组成(图3)，底层具有与基体浸润性好、结合强度高等特点；中间层具有一定强度和硬度、抗裂性好等优点；面层具有抗冲刷、耐磨损和耐腐蚀等性能，使修复后的设备在安全和使用性能上更加有保障。



1-熔覆层; 2-结合层; 3-热影响区; 4-基材 (基材: 45 钢)

图2 激光熔覆金相照片

Fig.2 Metallograph of laser cladding layers

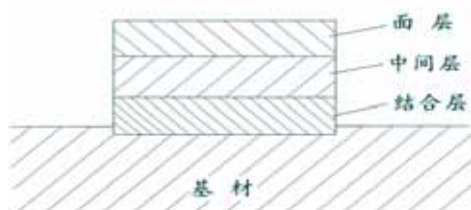


图3 激光熔覆复合层组织示意图

Fig.3 Schematic diagram of laser composite clad layers

2.2.7 激光熔覆技术可以任意仿形修复和制造零件, 熔覆层厚度可以按需要达到预定的几何尺寸要求。

激光熔覆技术的应用和发展, 解决了传统表面加工如: 电焊、氩弧焊、喷涂、镀层等无法克服的材料选用局限性、工艺热变形、组织粗大、热疲劳损伤及结合强度差等一系列技术难题。目前, 该技术已经成功应用于以涡轮动力机械设备为代表的重大机械设备的再制造, 得到了用户的广泛认可。

3 激光再制造技术工程化应用现状

激光再制造是再制造新兴的前沿技术, 发展较快。自激光熔覆技术诞生以来, 作为一种修复技术已得到许多重要应用。国际上如英国 P.R 航空发动机公司将它用于涡轮发动机叶片的修复, 美国海军实验室用于修复舰船螺旋桨叶^[3]。在我国, 激光再制造技术也在近几年取得很大进展, 随着循环经济理论的提出和建设节约型社会的要求, 激光再制造技术的工程化应用范围也逐步扩大。目前, 激光再制造公司已有十多家, 其中沈阳大陆激光技术有限公司是国内最大的激光再制造高新技术企业。沈阳大陆激光技术有限公司自 1998 年创办以来, 就致力于激光熔覆技术和激光再制造产品的开发及其产业化应用, 逐步形成自主知识产权体系和质量技

术标准体系。目前, 已先后对石化、电力、冶金等十几个行业, 烟气轮机、离心式压缩机、螺杆压缩机、地面燃机、TRT、发电机转子、工业汽轮机、往复式压缩机、蒸汽轮机、轴流风机等十大机组和各种轴类件, 连铸连轧线、热轧线、高线等关键设备以及航空发动机和大型内燃机的热端部件等以涡轮动力机械设备为主的几十种产品进行激光再制造, 得到了二百多家企业的认可和信赖, 为用户节省数亿元的产品维护费用, 取得了显著的经济效益和社会效益。截至目前, 沈阳大陆激光技术有限公司已申报激光再制造方面的专利 22 项, 其中发明专利 19 项, 授权 2 项; 实用新型专利 3 项, 授权 3 项。并在今年向国家标准化委员会申请组建“激光再制造专业技术委员会”, 同时不断完善现有企业激光再制造技术标准, 并争取申报国家行业标准, 以此来约束和规范激光再制造行业技术行为, 保证激光再制造产品质量。随着激光再制造产品质量标准的制订和实施, 激光再制造技术必将以更快速度发展。

4 激光再制造的工程化应用实例

4.1 激光再制造机械设备典型案例

4.1.1 烟气轮机

烟气轮机是石化行业催化裂化装置中重要的能量回收设备, 由于在高温、粉尘和腐蚀的环境下工作, 烟气轮机频繁发生故障, 严重影响了企业的生产与经济效益。中石油玉门油田分公司炼化总厂的 YL - 4000 H (Q) 烟气轮机损伤情况如图 4~图 6 所示, 一、二级动叶片顶部冲蚀, 形成缺角; 进气端叶根部冲蚀, 形成冲蚀坑; 排气边叶根部冲蚀减薄, 锁头约 2/3 部分冲蚀掉。一、二级轮盘排气侧榫齿槽边缘冲蚀; 进气侧榫齿端面从锁窝到根部 (R 连接处) 冲蚀; 形成环状冲蚀沟槽; 轮缘中部冲蚀, 形成环状冲蚀沟槽。连轴器端主轴径磨损划伤; 非连轴器端主轴径严重磨损; 整段轴面存在磨损沟槽, 并有一条宽 7 mm, 深 6 mm 的深沟; 与轮盘连接的发兰气封轴面磨损。经沈阳大陆激光技术有限公司激光再制造后的状态如图 7~图 9。

据统计, 我国目前在线使用的烟气轮机约 120 台左右, 由于其运行工况较恶劣, 经常会发生不同程度的损伤。从 1999 年至 2005 年底, 沈阳大陆激光技术有限公司激光再制造的各种烟气轮机台次

和型号如表 1 和表 2 所示：其中，激光再制造烟气轮机约占全部运行烟气轮机的 80%，部分烟气轮机经过多次激光再制造。

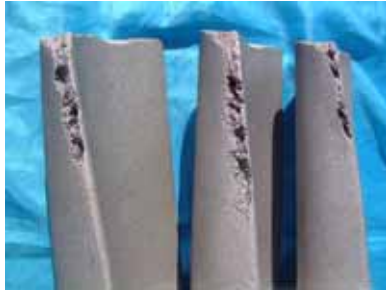


图 4 动叶片损伤状态
Fig.4 Damaged blade



图 5 轮盘损伤状态
Fig.5 Damaged rotary table



图 6 主轴径及气封损伤状态
Fig.6 Damaged axis and gas seal



图 7 再制造后叶片及组装后转子
Fig.7 The blade and assembled rotor treated with laser remanufacturing



图 8 激光再制造后的烟机轮盘
Fig.8 The rotary table of flue gas turbine processed with laser remanufacturing



图 9 激光再制造后的主轴径
Fig.9 The axis processed with laser remanufacturing

表 1 沈阳大陆激光技术有限公司激光再制造烟气轮机统计表

Table 1 statistics table of flue gas turbine processed with laser remanufacturing by Shen Yang Dalu Laser Technology CO., LTD

年份	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	合计
台数	14	21	38	44	55	43	49	264

表 2 激光再制造烟气轮机型号统计表

Table 2 statistics table of flue gas turbine's models processed with by laser remanufacturing Shen Yang Dalu Laser Technology CO., LTD

生产厂家	规格型号
中国兰炼	YLII-2000、YLII-3000、YLII-4000、YLII-5000、YLII-6000、YLII-7000、YLII-8000、YLII-10000、YL-14000、YLII-15000
中国西航	TP-30、TP-90、TP3-50、TP4-60、TP2G-30、TP2B-30、TP3-50
英格索兰	E-232、E-132、E-156
GHH	PS063/140DS3

4.1.2 汽轮机

汽轮机是火力发电厂的核心设备，是我国电力工业的基础，体现着一个国家的机械制造水平。由于其在高温、高压等及其苛刻的条件下工作，极易出现损伤。图 10 为绥中发电有限责任公司从俄罗

斯进口的 80 万千瓦汽轮机动叶片围带铆钉气流冲刷损伤状态，当时俄罗斯汽轮机生产厂家认为不可修，需要更换新件，周期三个月，最终沈阳大陆激光技术有限公司用 12 天时间激光再制造完工，为使用家挽回了巨大的经济损失。图 11 和图 12 是激

光再制造过程中和激光再制造后的围带铆钉状态。



图 10 围带铆钉损伤状态
Fig.10 Damaged rivet



图 11 围带铆钉激光熔覆中
Fig.11 The rivet being processed with laser cladding



图 12 激光再制造后的围带铆钉
Fig.12 the rivet processed with laser remanufacturing

由于汽轮机特殊的工作条件,导致每年都有大量的机组零部件损伤,采用激光再制造技术对汽轮机的一些关键零部件,如汽轮机轴颈、末级叶片和隔板等进行性能恢复和提升,不仅可以节约大量资金和原材料,也可以缓解我国汽轮机供需紧张的矛盾。表 3 为沈阳大陆激光技术有限公司 2002 年至 2005 年底激光再制造汽轮机情况统计表。

表 3 激光再制造汽轮机情况统计表 (2002 年~2005 年)
Table 3 Statistics table of steam turbine processed with laser remanufacturing by Shen Yang Dalu Laser Technology CO., LTD (2002-2005)

规格	维修部件	机组产地
80 万千瓦	围带铆钉	俄罗斯
30 万千瓦	动叶片、隔板、转子轴径	中国
25 万千瓦	隔板	日本
20 万千瓦	转子轴径、隔板、围带铆钉	中国
5 万千瓦	转子轴径、围带铆钉	中国
5 万千瓦以下	转子轴径、动叶片、围带铆钉、隔板	英国、德国

4.1.3 螺杆压缩机

螺杆压缩机是一种工作容积作回转运动的容积式气体压缩机械。广泛应用于矿山、化工、动力、冶金、建筑、机械、制冷等工业部门。统计数据表明,螺杆压缩机的销售量已占有所有容积式压缩机销售量的 80% 以上,在所有正在运行的容积式压缩机中,有 50% 是螺杆压缩机。今后螺杆压缩机的市场份额仍将不断扩大。

螺杆压缩机转子精度等级高、制作工艺复杂、

生产成本低、周期长。转子的工艺条件苛刻,工作压力从常压到几个大气压,空气要经过过滤,可连续运转使用 10 年以上。但在运行中,螺杆转子的工作环境差,由于气体中的杂质、过载或意外因素受到损伤,严重影响气体压缩机的使用寿命,如果重新制造,从工期到成本都是用户所无法承受的。激光再制造技术的诞生和发展,解决了传统方法无法使损伤螺杆压缩机性能恢复和提升的难题,为螺杆压缩机的再制造带来了新的技术手段。图 13



图 13 转子工作面损伤状态
Fig.13 Damaged rotor working face



图 14 激光再制造后的转子副
Fig.14 The male and female rotors processed with laser remanufacturing

是中石化广州石化分公司的螺杆压缩机型面损伤状态。其失效原因是转子运转中轴向位移，造成转

子工作面磨损。图 14 是激光再制造后的螺杆压缩机转子副。

4.2 机械设备激光再制造主要工艺流程

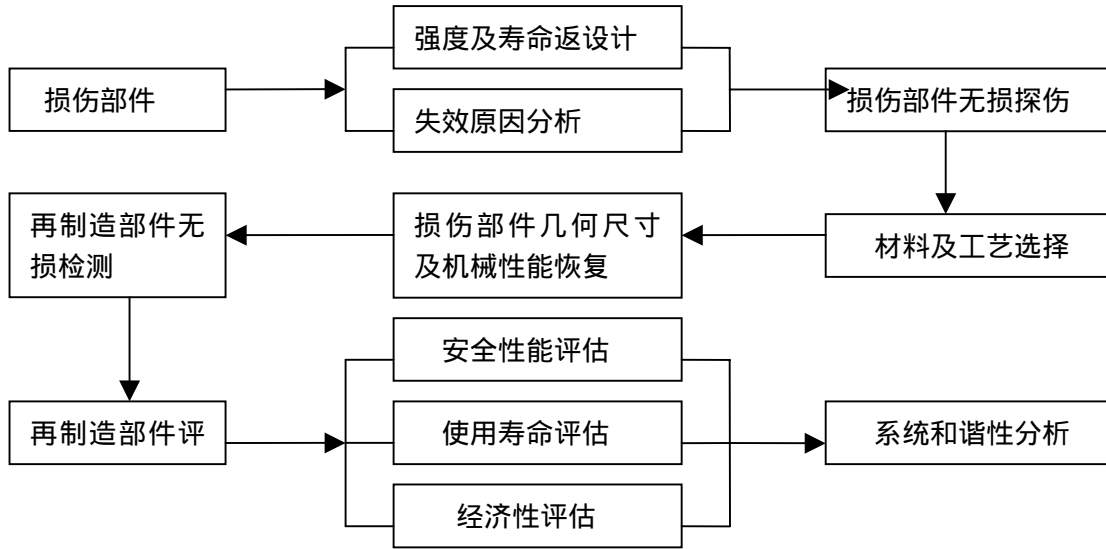


图 15 机械设备激光再制造主要工艺流程图

Fig.15 Flow chart of Laser remanufacturing mechanism equipments

激光再制造工程是装备工程学、材料工程学、机械工程、维修工程学、表面工程学以及环境保护等多学科的交叉学科。激光再制造产品的质量控制在激光再制造工程的核心，激光仿形熔覆技术和表面技术是激光再制造工程的关键技术，而这些技术的应用又离不开产品的失效分析、检测诊断、寿命评估、质量控制等多种学科。激光再制造机械设备涉及多种技术，主要工艺流程如图 4 所示。

5 结语

(1) 激光再制造工程是解决资源浪费、环境污染的一种有效方法和途径，是符合国家可持续发展战略的一项绿色系统工程。

(2) 激光再制造是再制造新兴的前沿技术，具有优质、高效、节能、节材、环保的基本特点，激光再制造产品在技术性能上和质量上都能达到甚至超过新品的水平。

(3) 激光再制造技术在我国发展迅速，广泛应

用于石化、电力、冶金、铁路等行业，为我国许多损伤或报废重大装备及进口设备的修复和改造提供了新的技术手段。

(4) 开展重大装备激光再制造，发展快速、高效、精密的激光再制造技术不仅具有广阔的市场需求，而且具有重大的经济效益和社会效益。

参考文献：

[1] 装甲兵工程学院编.徐滨士院士科研文选.再制造工程.-北京：机械工业出版社，2001.3.

[2] 关振中.激光加工工艺手册.北京：中国计量出版社.1998:200-230.

[3] 杨洗陈，李会山，刘运武.等激光再制造技术及其工业应用 [J]. 金属加工世界, 2006(3).

作者地址 沈阳市道义经济开发区正义路 18 号 110136
 沈阳大陆激光技术有限公司
 Tel: (024)89737212; 13904020563