

激光再制造技术及其工业应用*

杨洗陈, 李会山, 刘运武, 王云山, 唐英, 孙荣禄

(天津工业大学 激光技术研究所, 天津 300160)

摘要: 针对机械装备修复技术, 阐述了激光再制造技术概念及激光再制造系统构成: 三维激光光束头、三维激光涂敷系统、CAD/CAM 软件和控制检测系统。展示了 30 层连续熔敷后的组织形貌, 说明组织和硬度都比较均匀, 并介绍了若干激光修复工业应用实例。

关键词: 激光; 再制造技术; 激光熔敷; 工业应用

中图分类号: TN249; TH16

文献标识码: B

文章编号: 1007-9289(2003)04-0043-04

Laser Remanufacturing Technology and Its Industrial Application

YANG Xi-chen, LI Hui-shan, LIU Yun-wu, WANG Yun-shan, TANG ying, SUN Rong-lu

(Laser Processing Center, Tianjin Polytechnical University, Tianjin 300160)

Abstract: The laser remanufacturing (LR) technology for repairing some expensive and important equipment was developed. The LR system consisted of 3D laser beam coaxial powder feeding nozzle, 3D laser-cladding system, 3D CAD/CAM software, measure/control system. The microstructure of 30-layered laser clad coating was displayed. It had uniform microstructure and hardness. Several examples of its industrial application were also carried out.

Key Words: Laser; remanufacturing technology; laser cladding; industrial applications

0 引言

改革开放以来, 国外大批的高精尖设备引入我国, 许多重大工程装备造价十分昂贵, 一旦出现损坏, 使生产线中断。特别是进口设备, 缺少备件, 临时引进不仅价格昂贵, 而且时间紧迫, 不能保证及时生产, 将造成重大的经济损失。因此, 开展重大装备修复, 发展快速、高效、精密的修复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。

常规修复技术的种类很多, 每种技术有其擅长之处, 也有应用的局限性, 而精密可控成形再制造的修复技术已成为重要发展方向。

近年来, 国际上诞生了一门新兴技术—再制造技术 (Refabricating Technology)^[1,2]。与以往修复技术不同, 再制造技术是一种全新概念的先进修复技术, 它集先进高能束技术、先进数控和

计算机技术、CAD/CAM 技术、先进材料技术、光电检测控制技术为一体, 不仅能使损坏的零件恢复原有或近形尺寸, 而且性能达到或超过原基材水平。由此形成了一门新的光、机、电、计算机、自动化、材料综合交叉的先进制造技术。文中介绍了激光再制造系统的组成、材料选择原则、多层熔敷后的效果及工业应用实例。

1 激光再制造系统构成

激光再制造技术的技术基础是激光熔敷^[2-4]。激光熔敷原本是一种表面强化技术, 它不涉及零件精确成形问题。以激光熔敷为修复技术平台, 加上现代先进制造、快速原形等技术理念, 则发展成为激光再制造技术。它是以金属粉末为材料, 在具有零件原型的 CAD/CAM 软件支持下, CNC (计算机数控) 控制激光头, 送粉嘴和机床按指定空间轨迹运动, 光束与粉末同步输送, 形成 1 支金属笔, 在修复部位逐层熔敷, 最后生成与原型零件近形的三维实体。如图 1 所示。

收稿日期: 2003-05-07; 修回日期: 2003-07-08

基金项目: *天津市科委资助项目

作者简介: 杨洗陈(1941-), 男(回), 吉林长春市人, 教授, 博导。

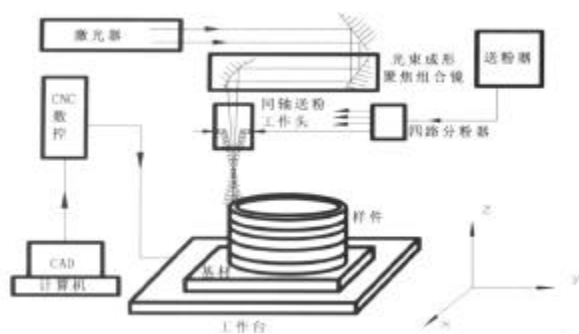


图1 激光再制造技术构成

Fig.1 Schematic diagram of laser refabricating technology

激光器：1~5 kW CO₂ 激光器，多模即可，或用 0.4~2 kW Nd:YAG 激光器，多模即可。

光学系统：采用聚焦光束和宽带光束 2 种方法，宽带光束可使熔敷表面光滑平整，而且没有裂纹等产生。

送粉器：采用载气式或非载气式输送 2 种均可。非载气式送粉，粉末利用率高达 90%，载气式仅 30%~40%。在进行二维以下运动修复时，采用非载气式送粉可节省粉末，从而降低使用成本。

从光束与粉嘴相互运动关系来看，可分为一维、二维及三维修复，如图 2 所示。

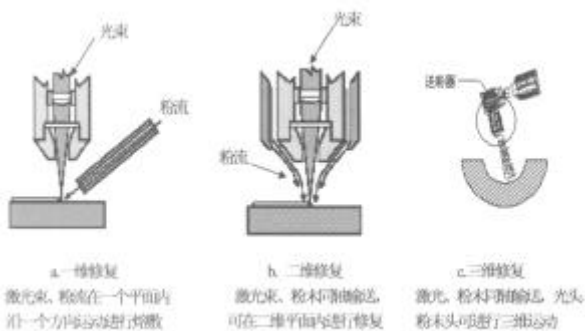


图2 一维(a)、二维(b)、三维(c)激光修复示意图

Fig.2 The scheme of laser cladding

红外温度监控系统：

在激光熔敷修复过程中，由于多层叠加，熔层表面温度会随高度增加而增加，在尖角处也会引起热量陡增。必须对熔池温度面进行实时监测，并将测温结果反馈给激光器和数控机床，控制激光器功率输出以及 CNC 机床的运动速度，以保持熔池温度稳定。其测温原理为：激光涂层吸收的能量 E_A ，一部分用于熔化粉末 E_p ，一部分以

热辐射的形式向外散出 E_R ，一部分用于热传导 E_T ，一部分用于与环境对流 E_c ，即：

$$E_A = E_p + E_R + E_T + E_c$$

根据黑体辐射定律和为维恩位移定律： $\lambda_m T = 2897.8 \mu m \cdot K$ ，其中 λ_m 为光谱辐射极大值对应波长， T 为绝对温度 (K)。由此而进行双波长比色红外测温。采用双波长比色测温计，测温范围 400~2 000，精度系数 $\pm 1\%$ ，其框图如下：

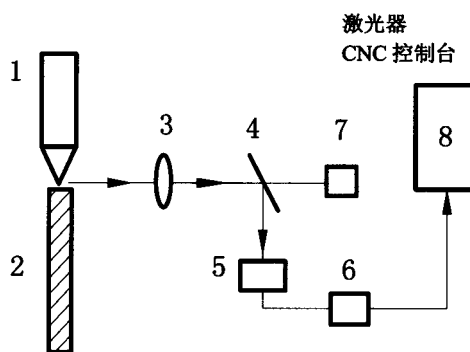


图3 激光熔敷层温度监控系统

Fig.3 A system for temperature monitoring and controlling of laser cladding process

同轴送粉工作头 1 再工件上熔敷时发出热辐射经光学系统 3 会聚到透反分光镜 4 上，一部分进入红外双波长比色测温计 转换成交流电信号，经放大和数据处理器 6 后，送入激光器和 CNC 控制柜 8，调节激光功率和机床运动速度。另一部分送入测试目镜 7 上，供瞄准测温点用。

2 激光再制造与热喷涂冶金组织比较

修复材料要与基材基本性能一致，要与基材有互熔性，实现冶金结合。修复层中不能有裂纹、气孔，且层内组织均匀，与基材结合界面强度不低于基材强度。目前激光再制造用材料与常规热喷涂技术基本一致，多为粉末型的 Ni 基、Fe 基、Co 基、WC、陶瓷等材料，可根据基材性能选用不同修复材料。

图 4 为激光修复组织与热喷涂组织对比照片。可以看到，激光修复层与基体是冶金结合，层内组织均匀细致，消除了气孔、裂纹、夹渣等缺陷。而热喷涂层与基体不是冶金结合，界面为机械粘接，存在气孔。热喷涂层内有大量气孔、夹渣、组织粗大。显然激光修复后显微组织和性能优于热喷涂工艺。

对损伤比较严重的部位,必须进行多层熔敷。每层厚度 0.54mm,计 30 层。图 5 为激光多层熔敷组织 SEM(扫描电镜)照片,可以看出,每层间的组织与每层内组织比较,稍有些粗大,但总体

来看,还是均匀的。熔敷材料为 Ni45,多层熔敷区的硬度分布和成分(SDX)经检测后,也是均匀的。硬度偏差不过 HV85。表明多层激光系统熔敷可以获得大面积的组织性能均匀的修复层。

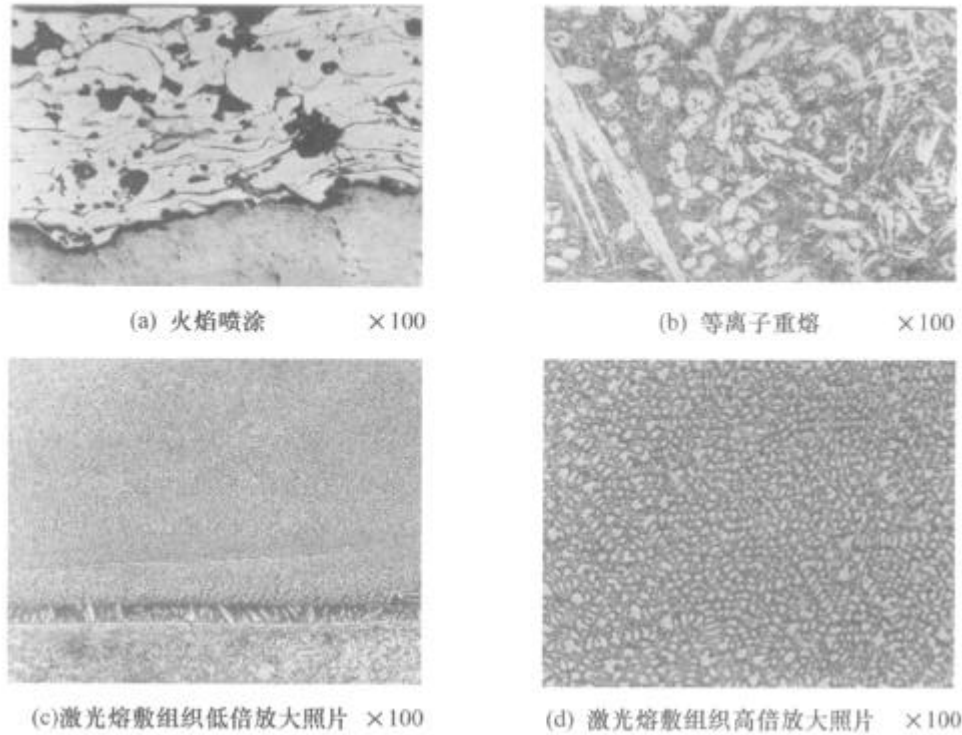


图 4 激光修复组织与热喷涂组织对比照片 (FeCrSiB 合金)

Fig.4 The microstructure of the laser cladding and arc spraying coatings

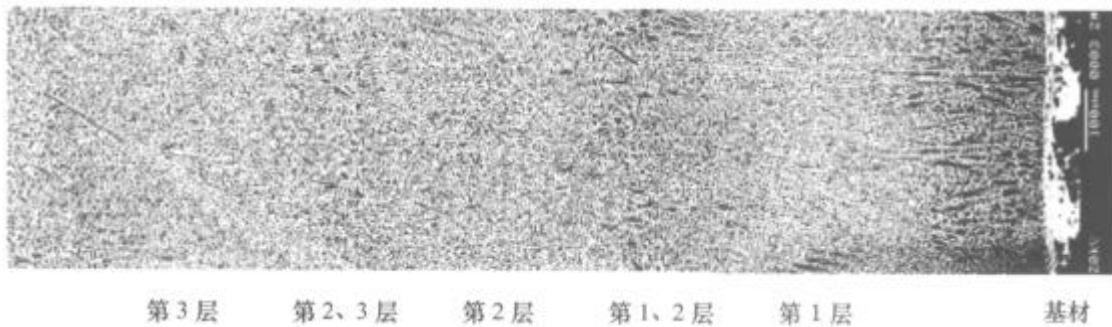


图 5 多层熔敷试样横剖面组织形貌扫描电镜 (SEM) 照片

Fig.5 Microstructure morphologies of laser clad layers on cross section(SEM)

3 激光再制造技术工业应用及前景展望

激光熔敷技术诞生以来,作为一种修复技术已得到许多重要应用。如英国 P.R 航空发动机公司^[4]将它用于涡轮发动机叶片的修复,美国海军试验室用于修复舰船螺旋桨叶^[5]。国内对此项技

术应用也在近年来取得很大进展。天津工业大学已将此技术用于冶金轧辊,拉丝辊的修复,石油行业的采油泵体、主轴的修复,铁路、石化行业大型柴油机曲轴的修复,均收到良好的效果,如图 7 所示。

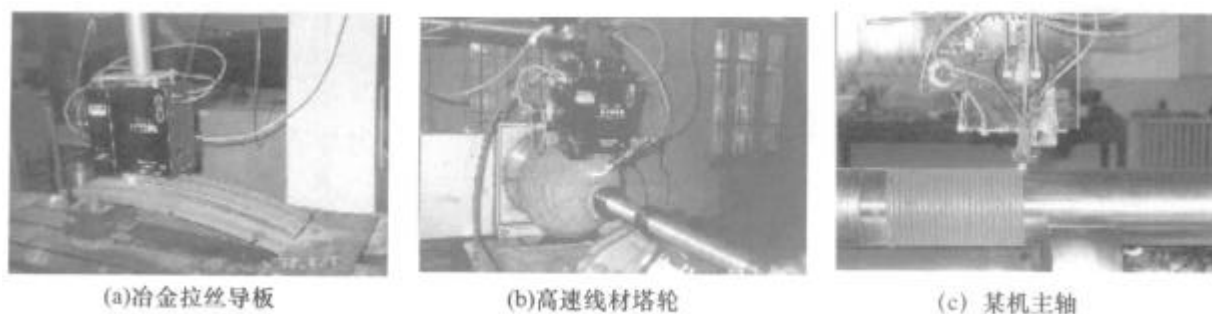


图 6 激光再制造工业应用

Fig.6 Application of laser refabricating technology (a) Drawing wire plate (b) Wrie drawing wheel (c) Driving shaft

目前上述修复工作都采用一维激光熔敷方法,只能解决部分修复零件,而且仅是修复概念上的工作。事实上,在生产中还有大量的复杂贵重装备需要三维激光再制造技术,特别是不能移动的大型设备需要解决现场修复问题。可以预见,随着该项技术的发展与完善,在经济建设和国防建设中将发挥巨大作用。

参考文献:

- [1] Srikanth Sankaranarayanan, Wen Guo. Characteristics of laser-fabricated metal structures [J]. Materials and Manufacturing Processes, 1998,13(4):537-554.
- [2] Yang Xi-chen, Zhao Xin, Wang Yun-shan. New development of laser cladding system on large area

for industrial application [J](Invited Paper). The Proceedings of SPIE, 1996,2888(6-7): 14-20.

- [3] Yang Xi-chen, Wang Yun-shan, Zhao Xin. Development of laser repairing parts in metallurgical industries in china [C]. ICALEO' 1999 Proceedings, Section A 67,1999, San Diego, USA.
- [4] Steen W M. Laser materials processing [M]. Springer-Verlag. 1993.
- [5] 关振中. 激光加工工艺手册 [M]. 北京:中国计量出版社, 1998:200-230.

作者地址:天津市 天津工业大学 激光技术研究所 300160
Tel: (022)24592627; 13802184370
E-mail: xch-y@163.net

· 学术动态 ·

2003 年中国机械工程学会年会 11 月在深圳召开

中国机械工程学会定于今年 11 月 14 日至 17 日在深圳举行 2003 年年会,主题为“全球化、信息化、绿色化提升中国制造业”,目的是通过来自科技、经济、工业、教育和政府部门等各界人士的集思广益和殚精竭虑,为党和政府制定中国制造业未来发展战略规划,为落实振兴装备制造业的总体战略部署出谋划策,贡献才智,作出一个学术团体独特的贡献。

年会由特邀报告大会、工业工程与企业未来学术交流及应用研讨会、光机电一体化技术与装备应用及发展研讨会、节能环保与可持续发展学术会议、运动控制技术装备的现状与展望研讨会、无损检测技术应用及发展研讨会、焊接培训与国际认

证研讨会暨全国焊接培训工作会议、物流园区及配送中心案例研讨会、第四届企业家论坛、2003 年度中国机械工业科学技术奖和中国机械工程学会科技奖颁奖仪式、中国机械工业科学技术重大进展发布会、《机械工程学报》创刊五十周年纪念大会、第二届中国国际制造技术与设备展览会等 13 个相互关联呼应的独立单元组成。

中国机械工程学会热忱邀请广大会员积极撰写论文,踊跃出席年会活动,力争将此重点学术交流活动办得更加出色,在更大层面上动员产学研各界人士为振兴中国制造业献计献策。

(中国机械工程学会工作总部)