

新型机器人激光表面修复系统

刘继常

湖南大学



目 录

- 3D再制造需求
- 3D再制造需要解决的问题
- 激光3D修复再制造关键技术及系统
- 湖南大学再制造课题组



一、3D再制造需求

一) 零件失效特征与再制造要求

零件的失效是指零件的性能、组织以及几何形状与尺寸在外力作用下发生改变，而使该零件丧失完成指定的工作能力。其特征表现为其使用性能或工作能力衰退，图1所示为一些机电零件损伤示意图。若继续工作，则会造成重大的安全事故等。





齿面点蚀损伤



主轴颈的表面损伤



压缩机螺杆损伤



泵叶片磨损损伤

图1 机电零件损伤

1. 失效特征:

- 零件大都在3D空间发生改变。失效零件不仅与零件原形不一样，而且（表面）性能也改变。

2. 再制造质量要求:

- 形状尺寸必须恢复原状，有升级改进要求的必须与新设计的一致；
- 性能：强度、硬度、耐蚀性必须达到甚至超过原零件；
- 不允许有裂纹。

二) 3D再制造需求

- 再制造通过高技术手段对回收的废旧产品实施批量修复改造，显著降低成本。
- 据估算，再制造的成本仅为一般制造的50%，节能达60%，节材70%；
- 我国设备资产和耐用消费品达几十万亿元，若其中10%能利用再制造技术进行修复，便能迅速形成新的经济增长点，创造巨大的经济价值。

- 例如，我国是世界制造大国，亦是机床大国，目前国内机床保有量约有800万台，已连续7年机床消费世界第一。按国际上3%的淘汰率，每年接近24万台机床进入淘汰程序，占国内生产新机床的一半左右。如果充分利用废旧机床的床身、立柱等铸件，并对其进行修复改造，可节约60%左右的能耗，节约70%的成本，降低污染物排放达80%以上，从而实现循环生产。

二、3D再制造需要解决的问题

一) 再制造的工艺流程

1. 首先，对回收零部件进行拆解、清洗、分类。
2. 对进行外观检测、探伤，并进行可再制造性评价。
3. 对待修复工件进行失效分析。
4. 根据修复零部件或工件的特点，对其进行三维尺寸测量和逆向建模。

5. 制定再制造加工工艺。确定熔覆材料、工艺参数以及设计合理的加工路线。对损伤部件进行激光再制造时，根据基材材料、基材热处理状态等情况，确定是否进行预热工序。

6. 最后，进行后处理、性能实验、检测和使用性能评估等，其中检测主要包括硬度检测、抗裂性能检测、超声波检测等，性能评估主要包括使用寿命评估、经济性评估和可行性评估等。

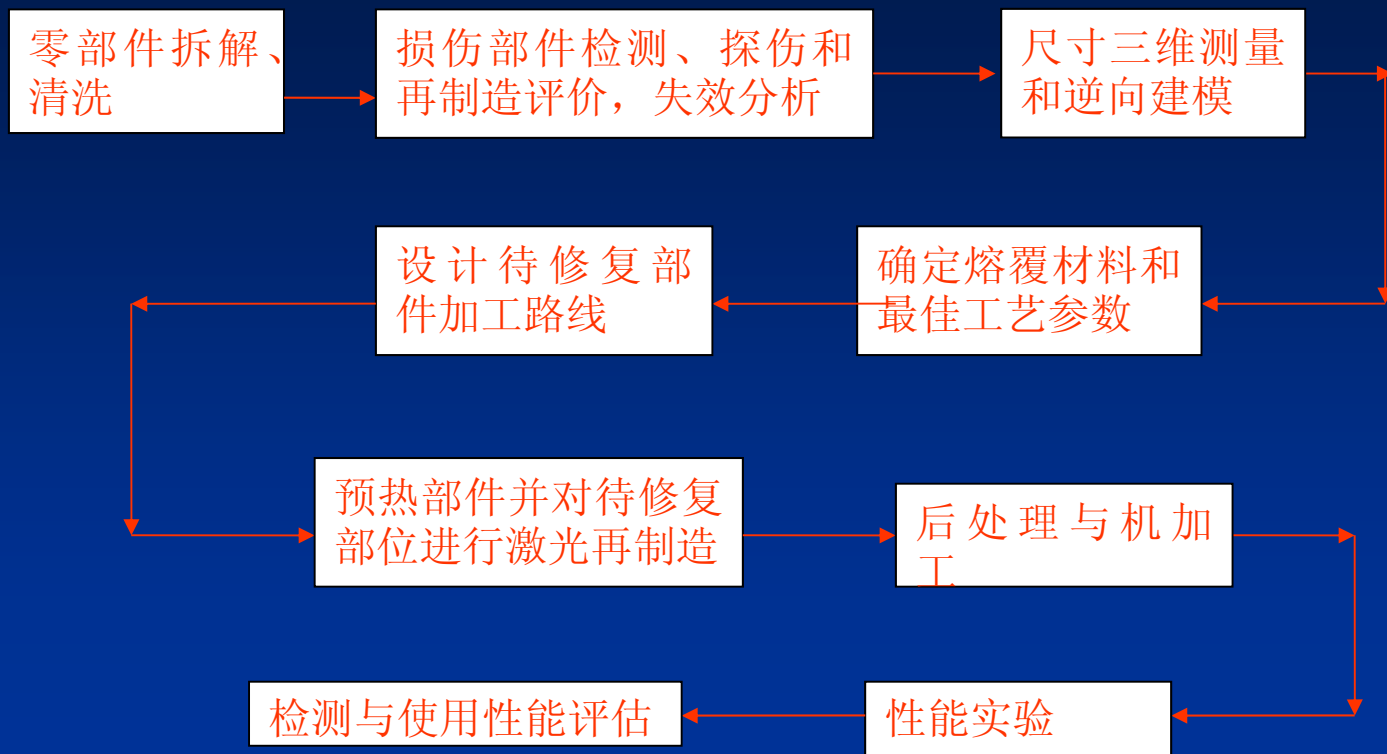


图2 激光再制造的工艺流程

二) 3D再制造需要解决的问题

➤ 在3D空间准确性

要求具有适应于3D异型曲面的再制造加工路径规划能力，并且要求执行机构能够在修复过程中以合适、准确的姿势对待修复部位进行作用。

➤ 在3D空间无方向性

要求作用的结果满足零件的需求且无方向性，对于激光再制造而言，要求激光光束功率和粉末密度分布无方向性。

➤ 过程稳定性

要求对装备状态进行实时监控及对再制造过程进行在线检测控制。

➤ 功能完好性

在保证修复熔覆层性能的前提下，要求修复材料与基体材料相容，不能出现裂纹。

- 半导体激光3D再制造过程是一个涉及到光、粉、气耦合的复杂过程，要对零件进行3D再制造，应使送粉准确、均匀、稳定和可控，且粉末与激光作用耦合性好。

三、激光3D修复再制造关键技术及系统

激光3D再制造工艺集成了激光技术、数控技术和计算机技术、先进材料技术、机-电-光检测控制技术，建立在激光熔覆、直接金属沉积等技术基础之上，结合现代先进制造技术、快速成型等理念发展而来，是一种绿色再制造技术。

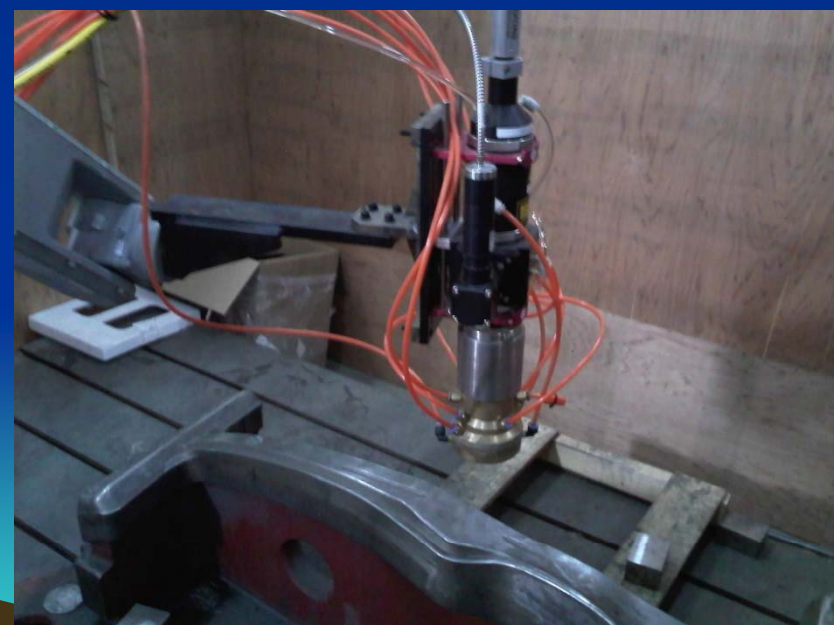
激光3D再制造系统包括硬件系统与软件系统。这里以湖南大学开发的激光3D再制造系统为例，介绍半导体激光3D再制造关键技术。

一) 硬件系统

- 该系统硬件包括计算机、激光器、机器人或多轴联动数控平台、监测反馈系统、送气、送粉机构等。
- 图3所示为集成后的半导体激光器机器人加工系统。



图3 集成后的半导体激光器机器人加工系统



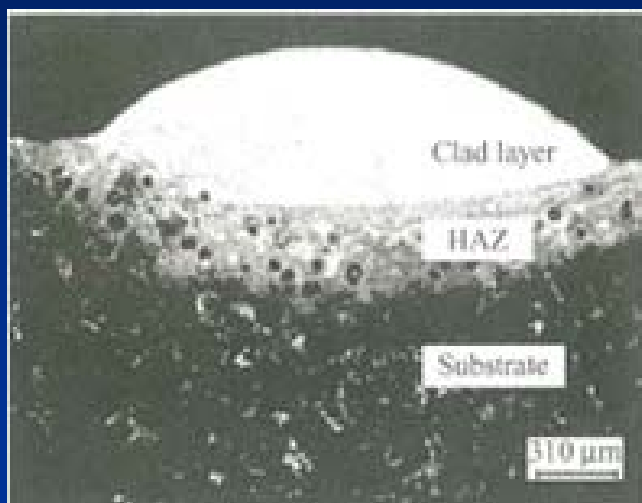
二) 软件系统

- 软件系统包括3个模块：前处理模块、系统监控模块、工艺过程监测控制模块。
- 开发前处理模块和工艺过程检测控制模块，并集成到机器人的软件平台上。
- 前处理模块又称为数字化激光加工工艺设计与优化系统软件，包含扫描路径规划子模块和工艺参数优化子模块；
- 工艺过程检测控制模块包含光学高温计检测控制子模块和CCD检测控制子模块，二者一般不同时使用。
- 系统监控模块对整个系统状态进行监测控制，是在机器人的软硬件控制平台上实现的。

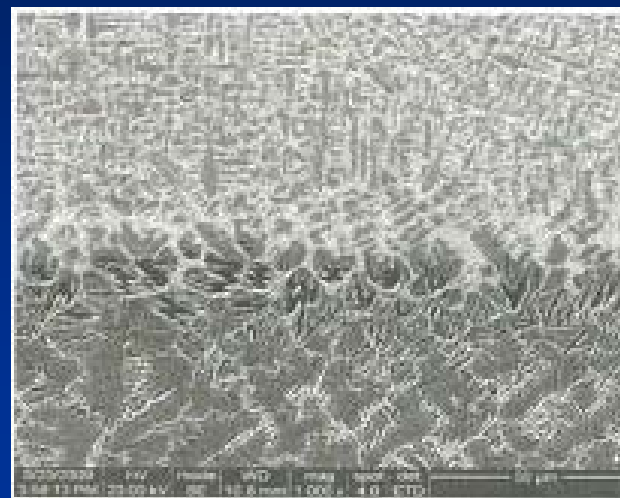
三) 数字化激光加工工艺设计与优化系统

1、激光加工工艺数据库

- ◆ 工艺数据库结构：描述激光加工工件的化学成分、组织及性能、尺寸精度、表面质量与激光加工工艺参数间的关系；
- ◆ 在线充实、更新数据库的数据记录；
- ◆ 利用数据库数据检索等技术，设计激光加工工艺参数。



(a) 激光表面熔覆横截面微观形貌

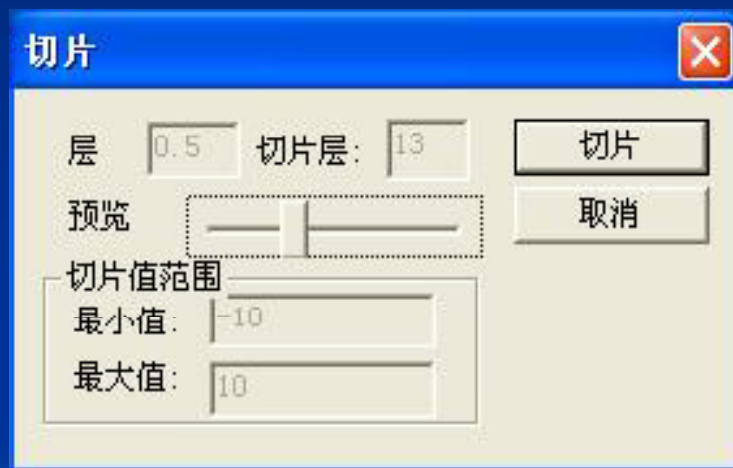


(b) 涂层结合区的微观结构

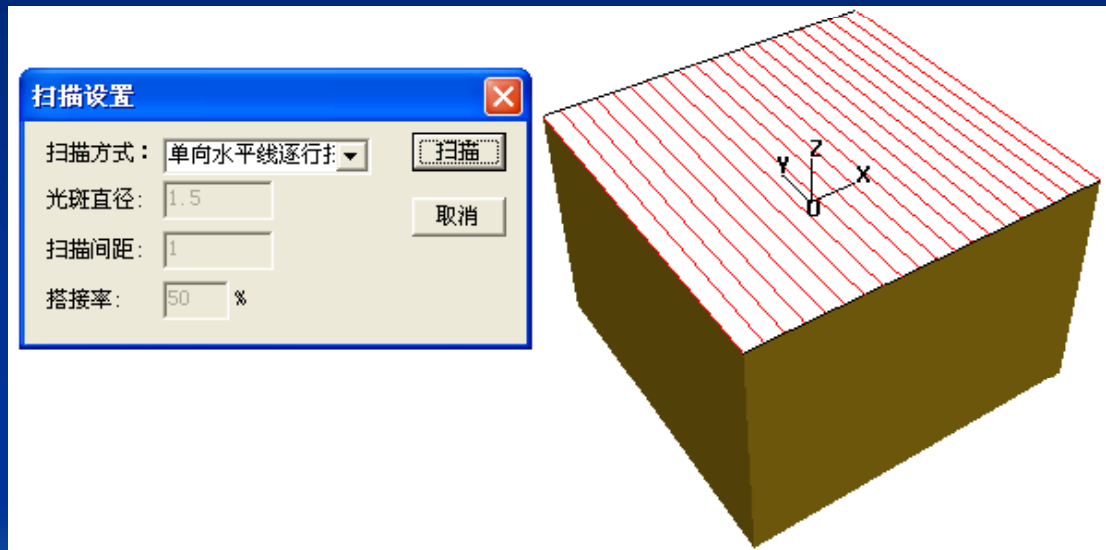
图6 球墨铸铁表面激光熔覆铁基合金涂层

2、路径规划与工艺参数优化子系统

- 针对工件结构特点和质量要求，应用数字图像、CAE/CAD/CAM等技术进行路径规划。



a) 切片对话框



b) 扫描路径规划效果

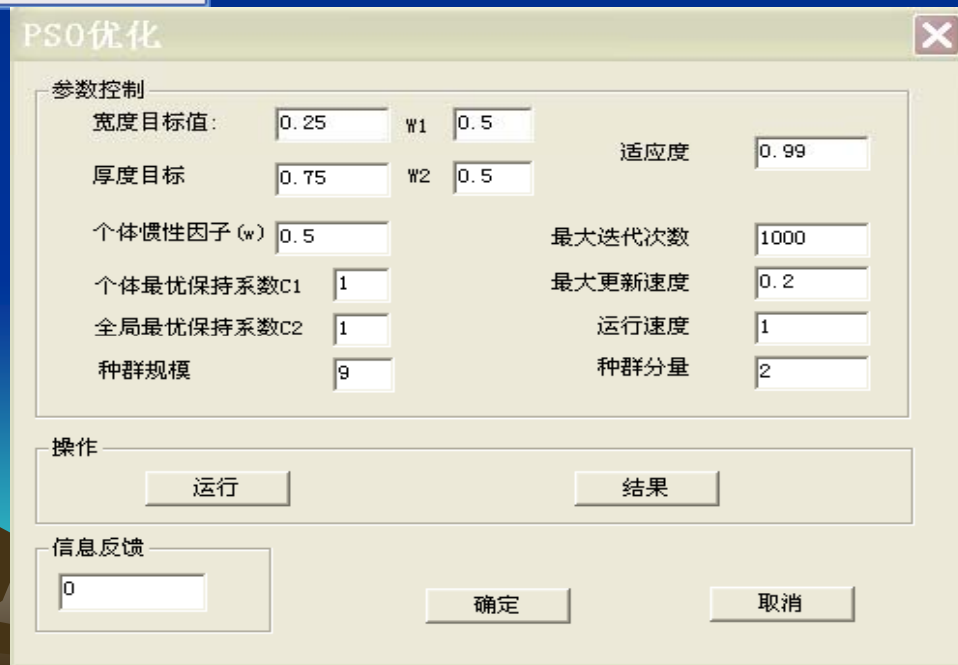
图7 激光熔覆扫描路径规划

◆ 用神经网络、粒子群算法或蚁群算法优化工艺



图8 神经网络人机界面的主窗口（左图）

图9 粒子群优化算法的子窗体设计（右图）



四) 激光加工过程检测控制系统

- 两种系统：1) 基于光学高温计的系统；2) 基于CCD的系统。
 - 基于光学高温计的系统主要是通过设定温度值，在线检测温度来实时调节激光功率。
 - 基于CCD的系统包括针对不同的激光加工工艺进行检测控制的子系统，其检测控制原理有所不同。

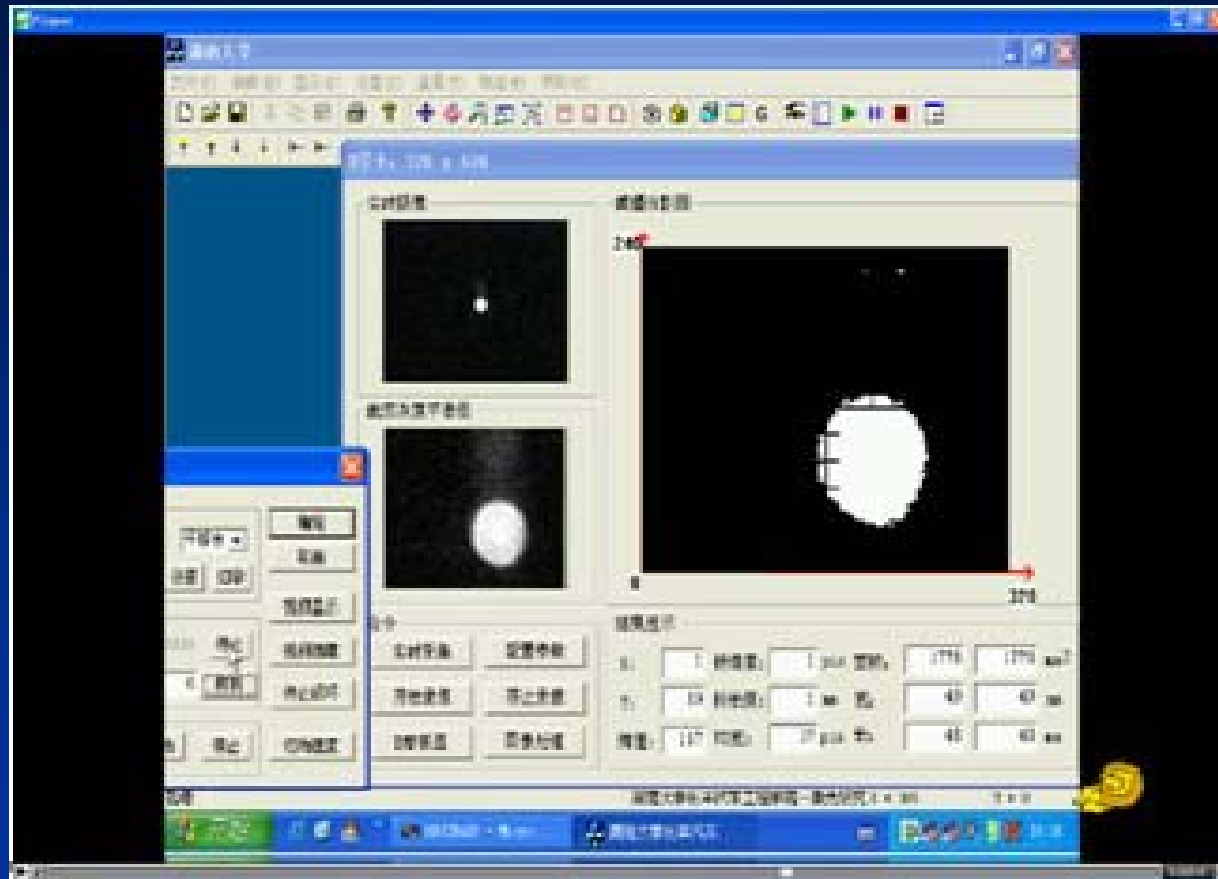


图11 激光加工熔池检测过程中的截图

四、湖南大学再制造课题组

◆主要人员：

- 6位在职教师：两名教授和四名副教授；
- 研究生：4名博士生和若干硕士生。

◆主要研究方向：

- 1) 再制造工艺；
- 2) 再制造拆解工艺与装备；
- 3) 再制造设计；
- 4) 再制造管理信息系统。

谢谢!

