

激光熔覆再制造技术修复磨损模具的应用研究



丁紫阳*, 李连荣

郑州职业技术学院新材料工程学院, 河南郑州 450121

摘要: 近年来, 随着激光技术的发展以及国内制造业转型升级, 激光熔覆再制造技术应用日趋增多。模具作为工业生产的常用装备, 其使用寿命直接影响到企业的生产成本和效率。磨损是模具失效的常见形式, 为恢复模具的使用性能, 延长模具使用寿命, 本文研究了激光熔覆再制造技术修复磨损模具。首先概述激光熔覆再制造, 然后介绍了模具激光熔覆再制造主要工艺流程, 接着以 45 模具钢为例, 在模具材料和焊接性分析的基础上, 合理选择激光熔覆材料, 采用实验法对模具进行激光熔覆再制造, 并进行了金相显微分析和硬度试验、磨损试验。研究结果表明: 磨损模具表面经激光熔覆再制造后, 平均硬度约为 55.5HRC, 耐磨性提升了 1 倍, 取得了较好的应用效果。因此, 激光熔覆再制造技术修复磨损模具具有广阔的应用前景。

关键词: 激光熔覆; 再制造; 磨损; 模具; 表面; 修复

DOI: [10.57237/j.mater.2022.01.003](https://doi.org/10.57237/j.mater.2022.01.003)

Application Research of Laser Cladding Remanufacturing Technology to Repair Worn Mold

Ding Ziyang*, Li Lianrong

School of New Materials Engineering, Zhengzhou Technical College, Zhengzhou 450121, China

Abstract: In recent years, with the development of laser technology and the transformation and upgrading of domestic manufacturing industry, the application of laser cladding remanufacturing technology is increasing. Mold as a common equipment of industrial production, its service life directly affects the production cost and efficiency of the enterprise. Wear is a common form of mold failure. In order to restore the performance of the mold and prolong the service life of the mold, The laser cladding remanufacturing technology to repair worn mold is studied in this paper. Firstly, the laser cladding remanufacturing is outlined, and the main technological process of the mold laser cladding remanufacturing is introduced. Then, taking 45 mold steel as an example, based on the analysis of the die material and weldability, the laser cladding material is selected reasonably, the mold is remanufactured by the experimental method, and the metallographic microscope analysis, hardness test and wear test are carried out. The research results show that the average hardness of the worn mold surface is about 55.5HRC after being remanufactured by laser cladding, and the wear resistance is doubled, and a good application effect has been achieved. Therefore, the laser cladding remanufacturing technology has a broad application prospect in repairing worn mold.

Keywords: Laser Cladding; Remanufacturing; Wear; Mold; Surface; Repair

*通信作者: 丁紫阳, tingzideshengyin@163.com

1 引言

模具作为现代工业生产的重要装备之一,广泛应用于机械、汽车、轻工、建材等行业[1-3]。生产实践表明:模具在使用过程中,一方面要承受巨大的摩擦,另一方面还会受到载荷、温度等交替变化的作用,随着使用时间的延长,模具表面会发生损伤。一般情况下,模具表面损伤后不会马上失效,当损伤不断积累到一定程度后,模具就会失效报废。模具常见的失效形式有磨损、裂纹、疲劳、断裂等[4]。其中,磨损是模具最常见的失效形式之一[5-7]。如果对磨损失效的模具表面进行修复再制造,不仅能够减少企业的时间损失,延长模具生命周期,产生巨大的经济效益,而且有助于提升资源利用率,响应国家发展循环经济的号召。因此,对模具的修复再制造具有重要的意义。目前,常用的模具表面修复技术有电弧堆焊[8]、复合堆焊[9, 10]、电刷镀[11]、热喷涂[12]、热喷焊[13]、等离子熔覆[14]等。其中,电弧堆焊、复合堆焊、等离子熔覆过程中热输入量大,在磨损模具表面修复时热影响区大、容易造成模具热变形;电刷镀、热喷涂、热喷焊技术应用于模具表面修复,模具基体与涂层之间结合强度差,一定程度影响了磨损模具表面的修复效果。近年来,随着激光技术的发展与进步,激光熔覆再制造技术应用逐渐增多。激光熔覆再制造技术是一种绿色制造技术,具有热输入小、变形小、结合力强、清洁无污染等优点[15, 16],现已成为国内外模具表面修复再制造的重要研究方向之一。

2 激光熔覆再制造概述

2.1 再制造内涵

再制造是让废旧或者报废的产品重新焕发生命活力的过程[17, 18]。再制造作为一种绿色制造技术,是在产品修复过程中将优质、高效、节能、节材、环保作为重要考虑因素,采用恰当的技术方法恢复并提升废旧产品的性能,实现报废产品的再利用。其典型特点是报废产品经再制造后,产品的关键部位(表面)得到强化,产品性能与新品相当或者优于新品,而制造成本却显著降低。一般上,再制造成本大约为新品的 50%,不仅显著减少材料、能源等消耗,而且对环境无污染。

2.2 激光熔覆再制造技术

激光熔覆再制造技术作为一种日趋成熟的激光加工技术,其原理主要是在基体表面上添加适当的熔覆材料,采用激光作为热源,使基体与熔覆材料同时熔化,并且在基体表面形成熔覆层[19, 20]。它是一种性价比极高的表面改性技术和产品再制造技术,通过使用极少量的贵重材料,以较低的成本实现普通材料表面性能的提升。

3 模具激光熔覆再制造主要工艺流程

采用激光熔覆再制造技术,能够实现失效模具再制造,恢复其使用性能。模具激光熔覆再制造主要流程如下图 1 所示。

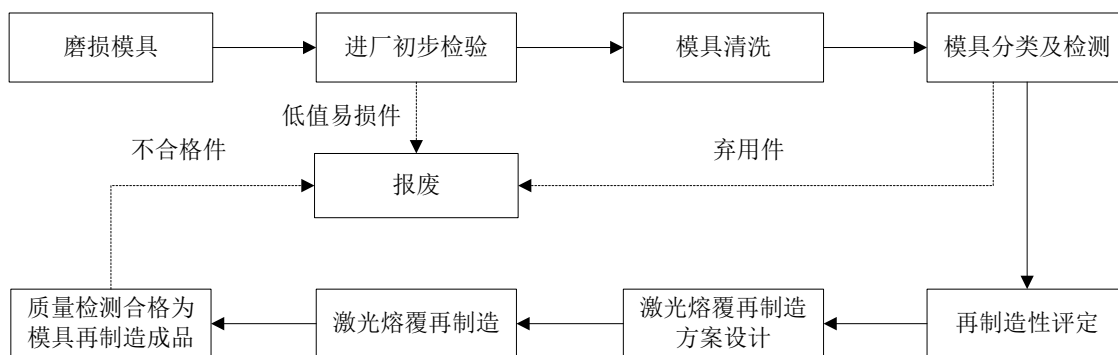


图 1 模具激光熔覆再制造主要流程

针对磨损模具，首先对其开展进厂初步检验，判断模具是否有再制造的必要性与价值。根据相关评判标准，对于低值易损模具，直接作报废处理。对于筛选出的有必要修复再制造的磨损模具，全面清洗后对其分类及检测，将磨损尺寸过多不易修复再制造的模具作为弃用件后作报废处理。对于筛选出的实施修复再制造的模具，按照再制造评定标准进行再制造性评定，然后设计激光熔覆再制造方案，并按照方案实施激光熔覆再制造，质量检测合格后成为模具激光熔覆再制造成品，若质量检测不合格，将其以不合格件做报废处理。

4 模具激光熔覆再制造试验——以 45 模具钢为例

4.1 模具材料及焊接性分析

为合理确定相关参数，保证激光熔覆再制造质量及效果，模具材料在激光熔覆再制造前需要进行焊接性分析。

焊接性主要通过碳当量分析得出。碳当量计算公式如下式所示。

$$CE = [C + Mn/6 + (Cr + Mo + V)/5 + (Ni + Cu)/15]\%$$

本文以 45 模具钢为例，其化学成分如表 1 所示。

表 1 45 模具钢化学成分 (wt.%)

C	Si	Mn	Cr	Ni	Cu	P	S
0.43	0.26	0.65	0.14	0.08	0.11	0.019	0.012

45 模具钢属于中碳调质钢，碳当量为 0.47%，焊接性一般，激光熔覆再制造过程中根据需要可适当预热。

4.2 模具激光熔覆材料选择

结合模具使用的受力特点、工作环境、性能要求合理选择激光熔覆材料。针对磨损模具，经激光熔覆再制造后要有较好的耐磨性，试验选用合金粉末主要化学成分如下表 2 所示。

表 2 试验选用合金粉末主要化学成分 (wt.%)

C	Si	B	Mn	Cr	Ni	Mo	Fe
0.2	0.8	1.0	0.5	16	2.5	1.0	Bal.

4.3 模具激光熔覆再制造试验

由于模具激光熔覆再制造后取样试验将会破坏模具的表面，另外准备与模具钢 45 钢同材质试样，采用与模具修复再制造相同的激光熔覆再制造工艺参数对试样进行激光熔覆，并对其取样和测试。

(1) 对试样表面进行预处理，彻底去除表面的氧化膜、疲劳层、油污等杂质。

(2) 综合考虑激光熔覆再制造设备类型、功率、模具材质及焊接性、激光熔覆材料、冷却方式、送粉方式等因素，确定激光熔覆再制造参数，如下表 3 所示。

表 3 再制造试验参数

激光熔覆功率 (kW)	激光器与工件距离 (mm)	搭接量 (mm)	激光熔覆速度 (mm/min)	送粉速度 (g/min)
3.8	280	7.5	320	50

(3) 机加工

由于模具在使用过程中有装配要求，模具经激光熔覆再制造后一般无法直接满足，通常需要对模具进行机加工。采用车床、磨床、抛光机对激光熔覆再制造后的试样进行机加工，直至满足模具装配时的尺寸、粗糙度等技术要求。

(4) 质量检测

质量检测主要包括模具几何参数检测（如尺寸、平面度等）、表面缺陷检测（如气孔、裂纹等）、力学性能检测（如表面硬度、耐磨性）等。

5 再制造试验结果与分析

5.1 组织分析

对激光熔覆再制造后的试样进行取样，经磨样、抛光、腐蚀后，采用金相显微镜对其横截面进行观察，如图 2 所示。

由图 2 可知，基材与熔覆层紧密相连，熔覆层显微组织与基材明显不同，其中，界面结合区组织细小，主要为平面晶，而激光熔覆层晶粒表现出明显的树枝

状。整体看来熔覆层晶粒相对均匀、细小，这为熔覆层具有良好的性能奠定了组织基础。

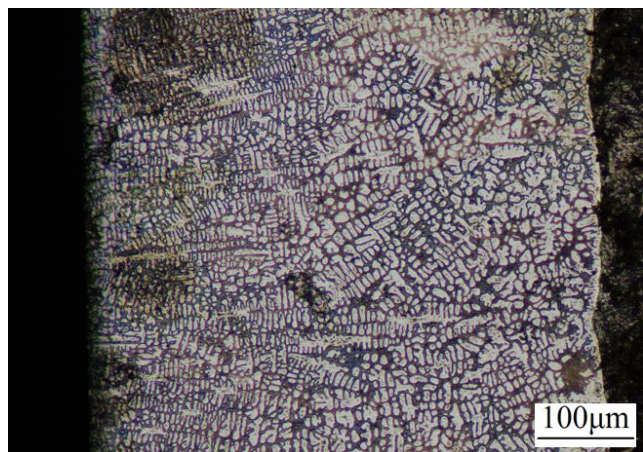


图2 试样横截面金相组织

5.2 硬度分析

对激光熔覆再制造后的试样熔覆层表面进行洛氏硬度测试，其结果如下图3所示。

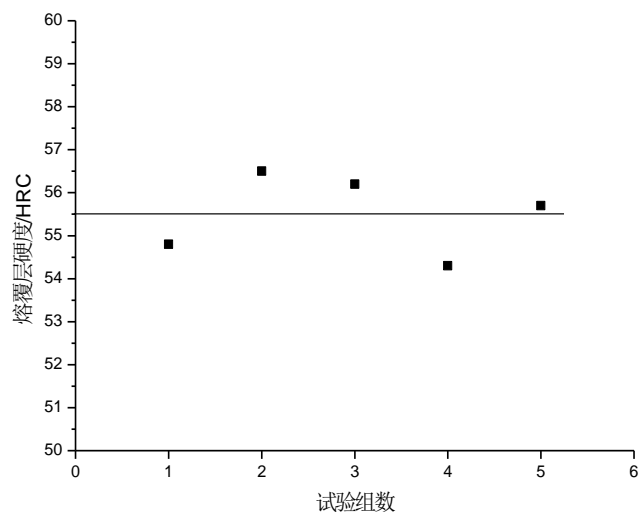


图3 熔覆层硬度测试结果

由上图3可知，激光熔覆再制造后试样熔覆层表面硬度测试结果稳定，平均硬度约为55.5HRC。这表明，模具经激光熔覆再制造后，熔覆层表面硬度满足45 模具钢的要求。由此可见，试验选用的激光熔覆材料成分配比合适。若要获得更高的熔覆层硬度，需要调整激光熔覆材料成分及配比，适当增加 B、Si、Ni 等的含量。但是硬度越高，通常激光熔覆材料的成本也就越高，并且焊接性会下降，因此，在选择激光熔覆材料时，要根据模具表面对硬度的要求合理进行选

择。

5.3 耐磨性分析

为了更加直观的观察模具经激光熔覆再制造后表面耐磨性的变化，采用磨损试验机在相同磨损试验条件下，对模具熔覆层和模具基材进行磨损试验，对比磨损失重量。为减少偶然误差的干扰，对比试验共进行五组。图4为模具耐磨性试验结果。

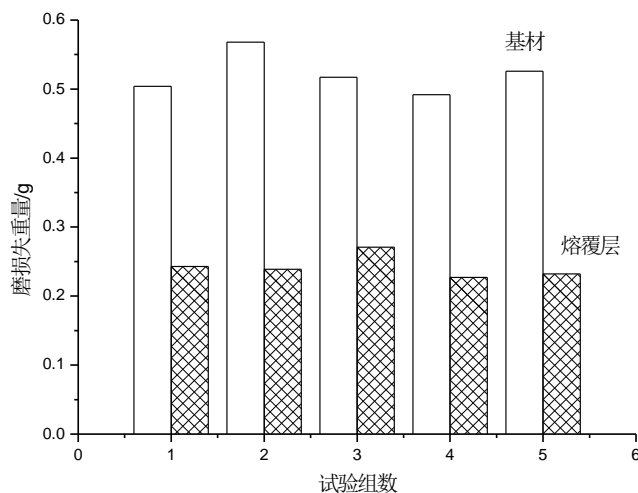


图4 耐磨性试验结果

由上图4可知，相同试验条件下，模具基材磨损失重量大约为熔覆层的1倍，即模具基材耐磨性比熔覆层差。由此可见，经模具经激光熔覆再制造后，表面耐磨性显著提升，大约增加了1倍。

6 结论

磨损模具采用激光熔覆再制造技术修复后，不仅能够使因磨损报废的模具恢复使用性能，而且再制造后的模具表面硬度、耐磨性显著提升。随着国内制造业转型升级与国内发展循环经济的影响，激光熔覆再制造作为一种先进的绿色制造技术，在未来的模具修复再制造领域中，应用将会日趋增多，前景广阔。

致谢

本文为河南省重点研发与推广专项（科技攻关）项目《面向高端液压支架易损零部件的激光熔覆表面强化关键技术与工艺研究》(222102220118)的阶段性成果之一。

参考文献

- [1] 杨化雨, 马云飞, 张嘉城, 王新云, 王爱华, 张茂. 模具激光表面处理的研究现状及发展趋势 [J]. 金属加工(热加工), 2022 (08): 1-8.
- [2] 高善旺, 高炜, 杨保健. 中国模具制造业现状及发展趋势 [J]. 机电工程技术, 2022, 51 (06): 6-10.
- [3] 聂华伟. 模具材料及表面处理 [M]. 重庆: 重庆大学出版社, 2020, 1-5.
- [4] 金荣植. 提高模具寿命的途径 选材及热处理 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2016, 1-9.
- [5] 莫杰, 刘坚, 李旋, 郑琼娥. 基于正交试验的内六角冲头磨损分析及工艺参数优化 [J]. 锻压技术, 2022, 47 (09): 1-6.
- [6] 蔡力钢, 刘海东, 程强, 等. 基于正交试验法的模锻模具磨损分析及优化 [J]. 北京工业大学学报, 2020, 46 (01): 1-9.
- [7] 任建行. 45 钢模具材料冲蚀磨损性能分析与预测 [D]. 郑州大学, 2020, 1-3.
- [8] 张珂珉, 周杰, 张盟盟, 等. 电弧堆焊的热成形模具镍基合金涂层摩擦磨损性能 [J]. 锻压技术, 2019, 44 (10): 146-151+156.
- [9] 黄国开. 热作模具堆焊修复再制造技术发展现状与趋势 [J]. 内燃机与配件, 2021 (21): 111-112.
- [10] 滕树满, 朱勇. 热锻模具堆焊用材 RMD248 热处理参数计算及工艺优化 [J]. 大型铸锻件, 2022 (03): 48-51+54.
- [11] 刘瑞娟, 张凤营. 基于电刷镀修复冲压模具用导柱 [J]. 电镀与环保, 2018, 38 (01): 16-18.
- [12] 李绍宏, 何文超, 张旭, 李东辉, 肖茂果. H13 型热作模具钢表面改性技术研究进展 [J]. 钢铁, 2021, 56 (03): 13-22+40.
- [13] 任婕, 杨道合. 采用热喷焊工艺强化热作模具钢表面研究 [J]. 模具制造, 2007 (10): 75-79.
- [14] 胡明强. Mn13 钢等离子熔覆碳化钨—镍基合金复合涂层组织与性能的研究 [D]. 广东工业大学, 2021, 11-15.
- [15] 赵火平, 李士伟, 沈明学, 肖叶龙, 季德惠. 制动盘过度磨损表面激光再制造钴基合金熔覆层的摩擦磨损性能 [J]. 机械工程材料, 2022, 46 (06): 78-83.
- [16] 杜学芸, 许金宝, 宋健. 激光熔覆再制造技术研究现状及发展趋势 [J]. 表面工程与再制造, 2020, 20 (06): 18-22.
- [17] 黄智泉. 堆焊制造与再制造技术发展综述 [J]. 金属加工(热加工), 2021 (06): 23-28.
- [18] 朱胜. 再制造工程基础 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2020, 1-5.
- [19] 见飞龙, 刘琪, 杨强, 王泽. 激光熔覆技术在石油钻井设备再制造中的应用 [J]. 表面工程与再制造, 2022, 22 (03): 21-25.
- [20] 姜明明, 孙树峰, 王津, 王萍萍, 孙晓雨, 邵晶, 刘纪新, 曹爱霞, 孙维丽, 陈希章. 激光熔覆制备高熵合金涂层耐磨性研究进展 [J]. 材料工程, 2022, 50 (03): 18-32.