

文章编号: 0258-7025(2007)Supplement-0070-04

塑料模具激光精密修复技术的研究

常 明, 张庆茂*, 廖健宏

(华南师范大学光子信息技术广东省高等学校重点实验室, 广东 广州 510006)

摘要 脉冲 Nd:YAG 激光熔覆技术是精密修复塑料模具最有效的方法之一, 激光器的电压、电流、脉冲宽度、脉冲频率与激光的扫描速度、光斑直径等工艺参数直接影响着熔覆的质量。为了综合考虑各工艺参数的影响和简化工艺调整过程, 提出了重叠率的观念, 建立了重叠率的计算方程。分别采用预置熔覆法和手动送丝法在低碳钢基体上熔覆 Ni 基合金, 获得了最佳工艺参数: 单脉冲能量为 6.7 J, 重叠率为 97.4%。利用扫描电子显微镜观察了手动送丝熔覆层存在的冶金缺陷, 对其产生的原因进行了初步探讨。

关键词 光学设计与制造; 塑料模具; 修复; 脉冲 Nd:YAG 激光熔覆; 单脉冲能量; 重叠率; 缺陷

中图分类号 TG156.99 **文献标识码** A

Research of the Precise Repairing Technology of Plastic Moulds by Laser Cladding

CHANG Ming, ZHANG Qing-mao, LIAO Jian-hong

(Laboratory of Photonic Information Technology, South China Normal University, Guangzhou,
Guangdong 510006, China)

Abstract The pulsed Nd:YAG laser cladding is one of the most effective methods of the precise repairing technology. It is decided by the voltage, electric current, pulse length, pulse frequency, scanning speed and beam diameter of the Nd:YAG laser. In order to fully consider the effect of these processing parameters and simply the adjustment processing parameters, spot overlap rate definition is referred. And the calculation equation of spot overlap rate is formulated. The experiment was carried out with precoated layer and wire feeding laser cladding repairing. The clad layers are found perfectly at single pulsed energy of 6.7 J and spot overlap rate of 97.4%. Different kinds of defects produced by wire feeding laser cladding are observed by SEM. The reasons of producing defects are preliminarily probed.

Key words optical design and fabrication; plastic moulds; repairing; pulsed Nd:YAG laser cladding; single pulse energy; spot overlap; defects

1 引 言

应用各种维修技术对失效的塑料模具进行快速、精密修复, 大幅度延长、提高模具的使用寿命, 是一项具有重要经济意义的工程。随着塑料模具向小型、精密、多样化的方向发展, 其失效的尺寸已是毫米级、微米级。传统的修复方法(如火焰喷涂、等离子体喷涂、电刷镀、手工亚弧堆焊等)由于技术本身的限制, 已不能胜任塑料模具的精密修复^[1]。基于激光熔覆技术的塑料模具精密修复技术则以其输出能量大、热变形小、稀释率低、冶金结合及其操作方便灵活、可准确定位、修复效率高、无污染等独特的

优点成为未来的发展方向^[2,3]。

目前, 应用于塑料模具修复的激光熔覆技术主要为连续 CO₂ 激光熔覆和脉冲 Nd:YAG 激光熔覆^[4]。其中, 由于脉冲 Nd:YAG 激光熔覆修复技术的激光脉冲输出使得基体的热积累少、熔池凝固快、熔覆层微观组织细密, 其熔覆质量优于连续 CO₂ 激光熔覆^[5]。随着脉冲 Nd:YAG 激光器输出功率的提高和激光器本身结构紧凑、体积小、性能稳定、维护费用低的特点^[6], 脉冲 Nd:YAG 激光熔覆必将成为塑料模具精密修复的主要技术。脉冲 Nd:YAG 激光熔覆的质量很大程度上取决于脉冲 Nd:YAG 激

作者简介: 常 明(1982—), 男, 硕士研究生, 主要从事激光表面强化技术的研究。E-mail: jm_chang@163.com

导师简介: 张庆茂(1966—), 男, 教授, 硕士生导师, 主要从事激光先进制造技术的研究。

* 通信联系人。E-mail: zhangqm@senu.edu.cn

光器的电压、电流、脉冲宽度、脉冲频率和激光的扫描速度、光斑直径这六个工艺参数的选择及其匹配。为了综合考虑各种参数的影响并简化工艺调整的过程,引入单脉冲能量的概念及关系式,提出重叠率的概念,并进行理论分析,建立了重叠率与脉冲频率、激光的扫描速度、光斑直径相互关系的方程式。在理论分析的指导下,优化了预置熔覆和手动送丝熔覆的工艺参数,并获得了最佳的熔覆层成型图与微观形貌。同时,利用扫描电子显微镜(SEM)系统观察了手动送丝熔覆层的冶金缺陷,对其产生的原因进行了探讨,为今后采用脉冲 Nd:YAG 激光器熔覆方法进行模具修复提供了依据。

2 实验方法

2.1 实验材料

基体材料为 Q235,试样尺寸为 100 mm × 60 mm × 12 mm;熔覆材料分别为 NiCrSiB 系合金粉末和 φ8 mm 的 Ni 基合金熔丝。其中 NiCrSiB 系合金粉末粒度为 43~104 μm,化学成分(质量分数)为: 16.5% Cr + 3.8% B + 3.5% Si + 15.5% Fe + 0.1% C + Ni 余量。

2.2 实验方法及工艺条件

采用广州瑞通千里激光设备有限公司的 LWS-300WC 系列脉冲 Nd:YAG 激光器,激光输出功率为 0~300 W,烧痕法估测激光光束直径为 0.8 mm。将混合均匀的熔覆粉末用特制的黏结剂调制成糊状,预涂在清洗干净的试样表面上,预涂层厚度 1.0 mm,空气中自然干燥。在氩气的保护下,进行单道熔覆实验。熔丝熔覆时,采用手动送丝法。沿垂直方向将熔覆层切开,经研磨、抛光、腐蚀后供组织和性能分析。利用 Nikon4500 数码相机和 JSM-5910 扫描电镜分别观察、测量和记录各种参数下熔覆层的成型性和微观组织。试样采用 5% 硝酸乙醇溶液腐蚀。

3 熔覆工艺参数的优化

为了综合考虑各工艺参数对工艺过程的作用及其相互关系,利用单脉冲能量和重叠率综合描述了脉冲 Nd:YAG 激光器的电压、电流、脉冲宽度、脉冲频率和激光的扫描速度、光斑直径这六个工艺参数的影响和相互作用,并建立了理论方程,分析了影响因素。

3.1 单脉冲能量

大量实验表明,单脉冲能量是脉冲 Nd:YAG 激光熔覆的前提条件。每一个脉冲激光的输出能量则

与激光器的电压、电流、脉冲宽度有关。其关系式可表示为

$$W = UI\tau \times 3\%, \quad (1)$$

其中 W 为激光的单脉冲能量, U 为激光器的外接电压, I 为通过激光器的电流, τ 为激光器的脉冲宽度,3% 为激光器的光-电转换效率。(1)式表明,在工艺调整中,可以以单脉冲能量为依据,调整电压、电流、脉冲宽度。

3.2 重叠率

重叠率(O_L)为前一个脉冲光斑的直径和它后一个脉冲光斑直径的重叠长度(L)与激光光斑直径(D)的比,如图 1 所示,其中 $0 \leq L \leq D$ 。其数学表达式为

$$O_L = L/D. \quad (2)$$

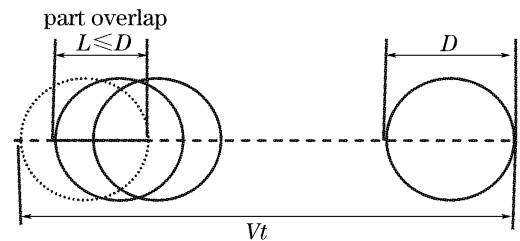


图 1 光斑重叠示意图

Fig. 1 Figure of spot overlap

根据在单位时间内工作台移动的距离(S)与激光所有光斑经过的实际长度(R)相等可推导出重叠率与脉冲频率、扫描速度、激光光斑直径的关系表达式。

从图 1 知在单位时间内工作台移动的距离

$$S = V, \quad (3)$$

单位时间内激光所有光斑经过的实际长度

$$R = fD - (f - 1)O_L D, \quad (4)$$

式中 V 为激光的扫描速度, f 为激光的脉冲频率。

由(3)式和(4)式相等得出

$$V = fD - (f - 1)O_L D, \quad (5)$$

则重叠率的关系式为

$$O_L = \frac{fD - V}{(f - 1)D}. \quad (6)$$

(6)式表明,重叠率与脉冲频率、扫描速度、激光光斑直径有直接关系。将脉冲频率、扫描速度、激光光斑直径三种因素归结为重叠率可简化工艺参数的调整。在工艺调整中,能够以重叠率为依据,调整脉冲频率、扫描速度及激光光斑直径。

4 实验结果与分析

经过反复实验,证明采用预置法在低碳钢基体上

熔覆 Ni 基合金粉末时在单脉冲能量为 6.7 J, 重叠率为 97.4% 时可获得最佳的熔覆质量。其熔覆层的成型图如图 2 所示。图 2(b) 为图 2(a) 中的试样沿垂直

方向切开, 经研磨、抛光、腐蚀后, 用 JSM-5910 扫描电镜观察的熔覆层微观形貌。

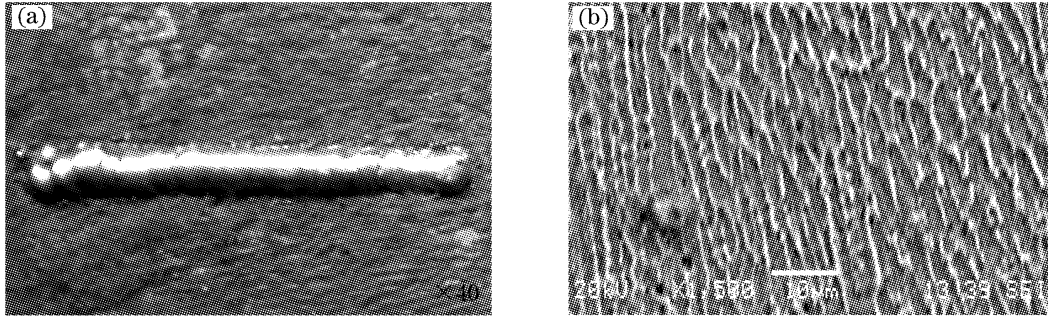


图 2 最佳参数下熔覆层的成型图(a)和微观形貌(b)

Fig. 2 Layers (a) and SEM micrographs (b) at optimizing processing parameter

观察分析表明, 在最佳的工艺参数(单脉冲能量为 6.7 J, 重叠率为 97.4%) 下, 熔覆层成型性良好, 无宏观、微观裂纹, 与基体呈冶金结合, 稀释率低。

手动送丝熔覆工艺调整过程与参数的优化、选择与预置熔覆法大致相同, 但由于熔覆材料的不同, 手动送丝熔覆法有其独特的一面。将不同工艺参数下获得的熔覆层制成试样, 利用扫描电镜进行显微观察, 并对形成冶金缺陷的可能原因进行初步的探讨。

图 3(a) 中熔覆层与基体之间存在夹杂物。由于丝材、基体的表面长期放置产生氧化物, 或者材料内含有杂质等, 在激光熔覆时由于能量输入小, 不能形成良好的流动, 沉积而造成熔覆层与基体之间存在异物。这种缺陷影响了熔覆层与基体的冶金结合。

图 3(b) 中熔覆层与基体之间结合不好, 存在球状物质。熔丝在激光照射时, 由于温度成梯度分布, 在加热过慢的情况下, 其表面先行熔化下流于熔丝和基体之间受冷成球形, 而激光能量未能使熔丝底部彻底熔化, 从而造成球状物的存在。

图 3(c) 中熔覆层内存在裂纹, 主要是由于熔丝与基体的匹配性不好, 熔丝的膨胀系数、热传导性以及冷却速度与基体不匹配, 在修复过程中产生残余应力。当应力集中到一定的程度时裂纹萌发, 并扩展形成可见裂纹。

图 3(d) 中熔覆层内存在气孔, 产生原因是由于熔覆过程中有气体存在, 而在快速凝固过程中来不及逸出表面所致。一般是由于溶液中的碳和氧反应或者金属氧化物被碳还原形成的反应性气孔, 或者

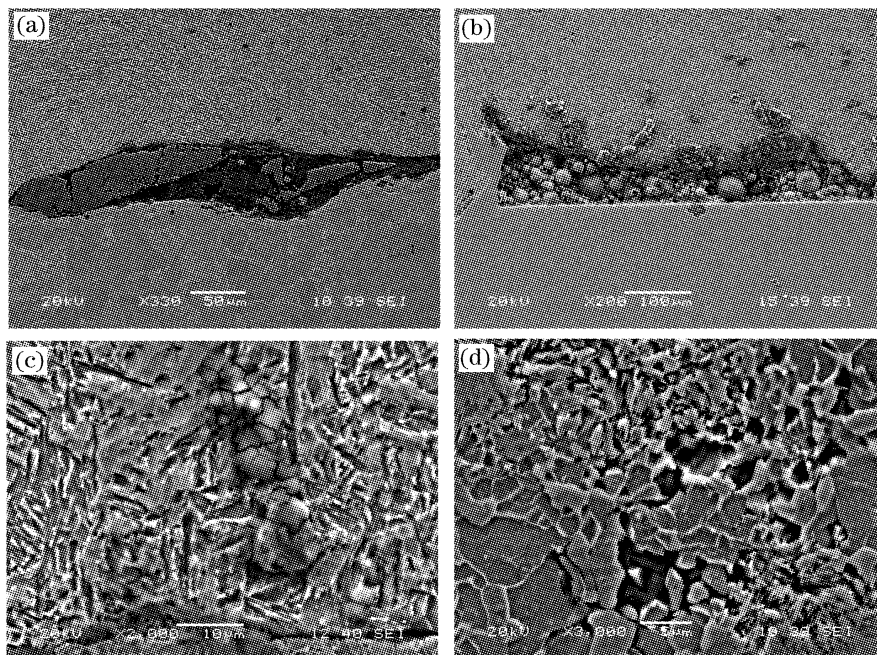


图 3 送丝法激光熔覆产生的缺陷形式

Fig. 3 Forms of defects which are produced by wire feeding laser cladding

是固体物质的挥发和湿气蒸发等非反应性的气孔。

5 结 论

1) 提出了重叠率的概念, 并给出了计算方程。将激光器的电压、电流、脉冲宽度、脉冲频率和激光的扫描速度、光斑直径等工艺参数对熔覆质量的影响综合考虑为单脉冲能量与重叠率, 可简化工艺调整过程, 易于获得最佳的熔覆层质量。

2) 在最佳的工艺参数(单脉冲能量为 6.7 J, 重叠率为 97.4%)下, 通过预置法激光熔覆获得了成型性良好、无宏观和微观裂纹、与基体呈冶金结合的熔覆层。

3) 采用手动送丝激光熔覆法修复塑料模具产生的缺陷形式主要有: 夹杂物、金属球状物、裂纹和气孔等。

参 考 文 献

- 1 Chang Ming, Zhang Qingmao, Liao Jianhong *et al.*. Comments and prospects of the precise repairing technology of plastic moulds [J]. *Heat Treatments of Metals*, 2006, **31**(7): 1~5
常 明, 张庆茂, 廖健宏 等. 塑料模具精密修复技术的评述及展望[J]. *金属热处理*, 2006, **31**(7): 1~5
- 2 Vilar R. Laser cladding[J]. *J. Laser Applications*, 1999, **11**(1): 64~79
- 3 S. W. Huang, D. Nolan, M. Brandt. Pre-placed WC/Ni clad layers produced with a pulsed Nd:YAG laser via optical fibers[J]. *Surface & Coatings Technology*, 2003, **165**(1): 26~34
- 4 Y. P. Kathuria. Some aspects of laser surface cladding in the turbine industry [J]. *Surface & Coatings Technology*, 2000, **132**(2~3): 262~269
- 5 S. Sun, Y. Durandet, M. Brandt. Parametric investigation of pulsed Nd:YAG laser cladding of satellite 6 on stainless steel[J]. *Surface & Coatings Technology*, 2005, **194**(2~3): 225~231
- 6 Shang-liang Chen, Lon-lei Hsu. In-process vibration - assisted high power Nd:YAG pulsed laser ceramic-metal composite cladding on Al-alloys [J]. *Optics & Laser Technology*, 1998, **30**(5): 263~273