

激光强化电刷镀 Ni 镀层试验研究

闫 涛, 梁志杰, 谭 俊, 张 平

(装甲兵工程学院 装备再制造工程系, 北京 100072)

摘 要:进行了脉冲和连续Nd³⁺:YAG激光电刷镀Ni试验,利用SEM进行了镀层表面和横断面形貌观察,采用X射线衍射仪分析了镀层的相结构,对镀层横断面进行了EDX能谱线扫描,测试了镀层的显微硬度,定性地检测了镀层的结合强度。结果表明:激光强化电沉积镀层与基体结合良好。与普通电刷镀镀层相比,激光强化电刷镀镀层显微硬度提高约 200 HV,相对耐磨性增加约 10 倍,摩擦因数减小约 1/2,晶粒细化。激光的连续性对镀层晶粒度的影响较大,对硬度影响不明显。

关键词:激光强化;电刷镀

中图分类号: TG174.441; TN249 文献标识码: A 文章编号: 1007-9289(2006)02-0039-04

Research on Laser Enhanced Brush Plating Ni Coating

YAN Tao, LIANG Zhi-jie, TAN Jun, ZHANG Ping

(Department of Equipment Remanufacture Engineering, Academy of Armored Force Engineering, Beijing 100072)

Abstract: In this work, experiments of continuous and pulsed Nd³⁺:YAG Laser Enhanced Brush Plating (LEBP) Ni coating were carried out. SEM was used to observe the morphologies, XRD and EDX were also used to analyse the microstructure of coating. Micro-hardness of the Ni coating was measured and compared with the ordinary brush plated Ni coating. Qualitative analysis of the adhesion between coating and substrate was done. The result revealed that the LEBP coating showed good bonding strength, its micro-hardness was increased about 200HV, relative wear resistance became 10 times higher and friction coefficient was decreased about one half that of the conventional plating layer. The continuity of laser gave an obvious effect on the size of Ni crystal grain, but less effect on the coating's hardness.

Key words: laser enhanced; brush-plating

0 引 言

激光强化电沉积技术,就是利用激光所具有的高能量密度来增强电沉积中的电化学反应过程,提高沉积速率、改善镀层质量与性能的一种新型镀覆技术。20 世纪 70 年代末,美国IBM公司GutFeld首次报道了激光照射到阴极某点上可引起局部电流密度急剧增加的实验事实,又根据这一现象研究了用Ar⁺激光增强Ni、Au、Cu的电沉积过程^[1]。由于激光强化电沉积技术制备的镀层具有晶粒细小,耐磨性和减摩性好以及与基体结合强度高等特点,因而引起了人们的研究兴趣和重视。美国、英国、俄罗斯等工业发达国家都对激光沉积进行了探

索性研究^[2~5],而且发表了不少专利。

激光强化电刷镀技术是近年发展起来的新型镀覆技术,是激光技术和普通电刷镀技术的有机结合,能使零件表面具有更加卓越的性能,为失效零件的修复开辟了新的途径。

1 试验过程

1.1 试验设备和材料

激光器为脉冲Nd³⁺:YAG激光器,最大输出功率 400 W;连续Nd³⁺:YAG激光器,最大输出功率 1 000 W。刷镀设备为MD-100 电源,系列镀笔和转台。前处理液为电净液,2[#]、3[#]活化液。镀液为快镍镀液。基体为 45 钢。

试验装置如图 1 所示,激光照射在镀笔与试样的结合部。

收稿日期:2006-03-10

作者简介:闫涛(1978-),男(汉),山东阳谷人,硕士生。

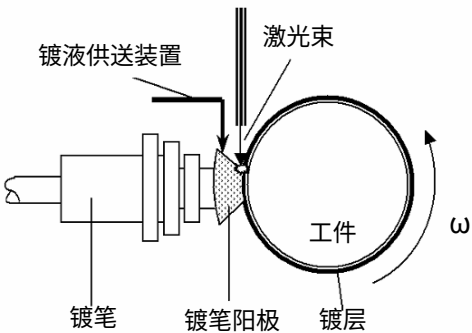


图 1 激光强化电刷镀工艺示意图

Fig.1 Scheme of the laser enhanced brush plating instruments

1.2 工艺流程及参数

试验的工艺流程为：镀前表面准备—电净—去离子水冲洗—2#活化液活化—去离子水冲洗—3#活化液活化—去离子水冲洗—无电擦拭—镀打底层—无电擦拭—激光刷镀工作层—镀后处理。

电刷镀工艺参数主要包括电压(V)、电流强度(A)、温度(°C)，镀液的性质如成份和浓度、工件与镀笔之间的相对运动速度(m/min)等。激光器输出参数主要包括激光波长(nm)，脉冲激光的脉冲宽度(ms)、单脉冲能量(J)、脉冲频率(Hz)以及

由此计算得出的激光的平均功率(W)等，见表 1~3。

表 1 镀前处理工艺参数

Table 1 Processing parameters before plating

工序	镀液	电源极性	操作时间/ min	工作电压/ V	相对运动速度/ (m/min)
电净	1#电净液	正接	0.5	10	9
	2#活化液	反接	1	10	9
活化	3#活化液	反接	1	18	9
	特殊镍	正接	1	12	9

表 2 脉冲激光电刷镀参数

Table 2 Parameters of pulse laser brush plating

脉宽/ ms	频率/ Hz	光斑直 径/mm	电流/ A	功率/ W	照射时 间/min	施镀电 压/V	相对速度 /(m/min)
2	20	5	90	125	18	12	9

表 3 连续激光电刷镀参数

Table 3 Parameters of continue laser brush plating

激光功 率/W	相对运动 速度/(m/min)	电流/ A	电压/ V	镀覆时 间/min	光斑直 径/mm	镀液温 度/°C
200	9	8	12	20	5	43.5

2 试验结果

2.1 镀层形貌

图 2 是在 Quant 200 扫描电镜下观察到的激光强化电刷镀 Ni 镀层与普通电刷镀 Ni 镀层的表面形貌。可以看出，

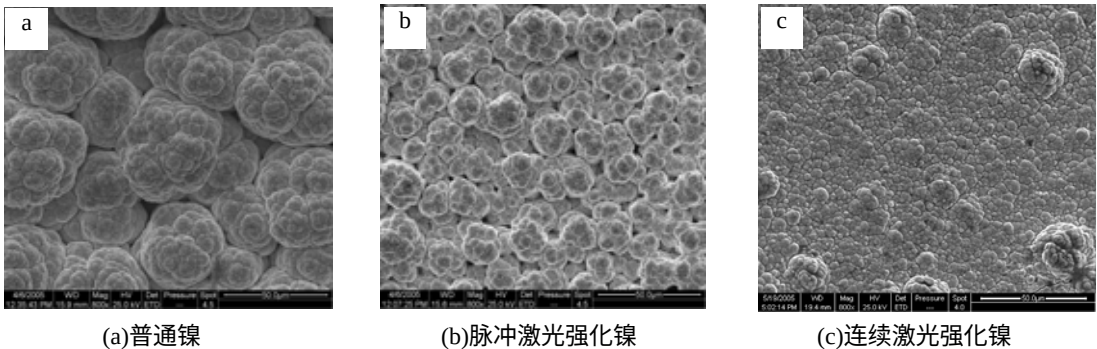


图 2 激光电刷镀与普通电刷镀镍镀层表面形貌 SEM 照片

Fig.2 SEM morphologies of Ni coating surface by laser brush plating and ordinary brush plating (a) Ordinary brush plating Ni coating (b) Pulse laser brush plating Ni coating (c) Continuous laser brush plating Ni coating

脉冲激光强化电刷镀得到的镍镀层的表面形貌仍然是菜花头状，但激光强化后的镍镀层的菜花头的俯视半径要比普通镀层的小，普通刷镀层大概在 40 μm 左右，脉冲激光刷镀层在 20 μm 左右。同时，脉冲激光和连续激光对刷镀层的表面形貌产生的影响是不一样的。如图 2 (b) 所示，脉冲激光条件

下得到的 Ni 镀层的表面形貌与普通刷镀层更相似，而图 2 (c) 所示的连续激光 Ni 刷镀层的表面形貌菜花头并不十分明显，少量的菜花头好像是平原上的小丘陵，其间平整地充斥了大量的组成菜花头的小单元，其孔隙率也明显地要低于普通刷镀层和脉冲激光刷镀层。

2.2 镀层相结构和晶粒大小

激光强化 Ni 刷镀层的 X 射线衍射图如图 3 所示。

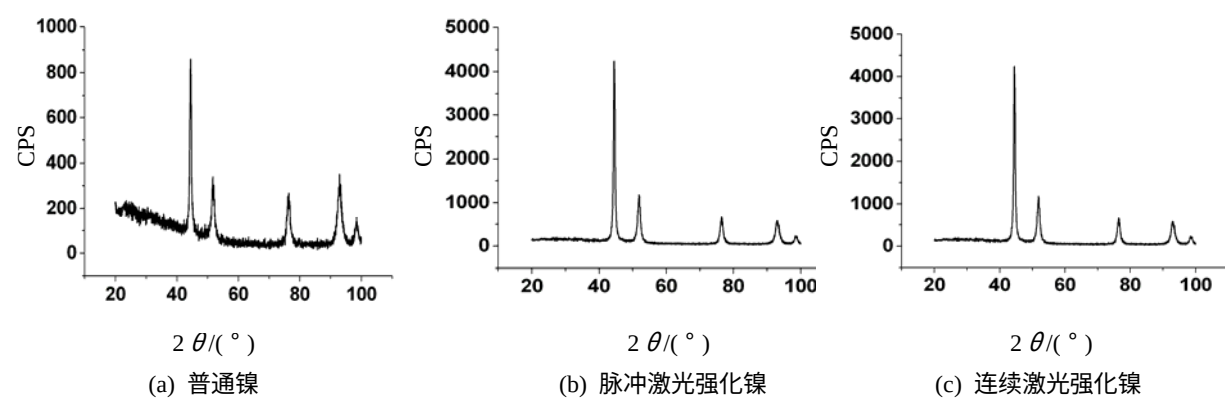


图 3 激光强化电刷镀镍层 XRD 图

Fig.3 XRD pattern of laser enhanced electro brush plating Ni coating (a) Ordinary brush plating Ni coating (b) Pulse laser brush plating Ni coating (c) Continuous laser brush plating Ni coating

根据晶粒度计算公式： $D_{hkl} = \frac{K\lambda}{\cos\theta\beta_{hkl}}$ ，其中：
 θ 为掠射角， β_{hkl} 为半峰宽， $K=0.87$ ， λ 为X射线波长：
 $\lambda=0.15406\text{ nm}$ 。得出不同工艺条件下的镍镀层晶粒度如表 4 所示。

表 4 镀层的晶粒度比较		
Table 4 Comparison of grain size for different Ni coatings		
镀 层	β/rad	D_{hkl}/nm
普通 Ni 镀层	0.006644	21.9
脉冲激光 Ni 镀层	0.007902	18.3
连续激光 Ni 镀层	0.009251	15.7

如图 3 所示，脉冲激光镍刷镀层的XRD图谱和连续激光镍刷镀层的XRD图谱基本相同，都有 5 个比较明显的衍射峰，按衍射角由小到大分别对应镍的 (111)、(200)、(220)、(311) 和 (222) 晶面，与普通镍刷镀层没有明显区别。但激光的加入使得镍刷镀层的晶粒比普通刷镀镍镀层的要小，如表 4 所示。同时，连续Nd³⁺:YAG激光对镀层晶粒度的影响较大。这与上述镀层的SEM图像结果一致。

2.3 显微硬度

试验在HVS-1000 显微硬度计上完成，测试载荷 50 g，加载时间 15 s，测试部位为试样抛光后的表面，每个试样均取 5 个点求平均值。如表 5 所示，激光强化电刷镀镀层的显微硬度比普通电刷镀镀层的显微硬度提高约 200 HV，但Nd³⁺:YAG激光的连续性对镀层显微硬度的影响差别不大。

表 5 不同条件下镍刷镀层显微硬度比较				
Table 5 Micro hardness of Ni coatings prepared by different technologies				
材料	基材材料 (45 钢)	普通镍 刷镀层	脉冲激光镍 刷镀层	连续激光镍 刷镀层
硬度/HV	290	347	573	562

2.4 镀层的摩擦磨损性能

测试设备采用 MM-200 摩擦磨损试验机，滑动速度 0.84 m/s，载荷 500 N，摩擦副为 45 钢。试验前后，均将试样进行了超声波清洗，吹干后用分析天平称重。所得数值与原样重量之差即为磨损量，分别取相同条件下 5 个镀层磨损量的平均值。

在油润滑条件下，脉冲激光强化电刷镀快镍的摩擦因数为 0.12，失重为 0.8 mg。连续激光强化电刷镀快镍的摩擦因数为 0.13，质量损失为 1.1 mg。而同样工艺条件下得到的普通电刷镀快镍镀层的摩擦因数为 0.24，质量损失为 12.3 mg。激光强化镍刷镀层比普通镀层的相对耐磨性增加约 10 倍，摩擦因数减小约 1/2。由此可见，激光强化可改善镀层的耐磨性和减摩性。

2.5 镀层的结合强度测定

采用锉削法来定性评价镀层与基体之间的结合强度。试验采用粗扁锉刀，将试样用台钳固定，用锉刀由基体锉向镀层，锉刀与镀层面约成 45°角。测试结果表明，在镀层与基体交界处未发现分层、崩落和起皮脱落现象，表明镀层与基体结合牢固。图 4 为脉冲激光强化电刷镀镍镀层的断面形貌 SEM

表 6 边界润滑条件下激光镀层的磨损失重和摩擦因数
Table 6 Friction coefficient and failure mechanism of laser brush plating coating and ordinary friction plating coating under boundary lubrication condition

	摩擦因数/ μ	磨损失重 $\Delta w / \text{mg}$	相对 耐磨性
普通快镍刷镀	0.24	12.3	1
脉冲激光强化	0.12	0.8	15.4
连续激光强化	0.13	1.1	11.2

照片。可以看出,镀层与基体金属结合紧密,有明显的分界线,但没有出现普通刷镀层中的贯穿性裂纹。图 5 表明镀层和基体之间的元素分布改变比较突然,没有出现互融层。

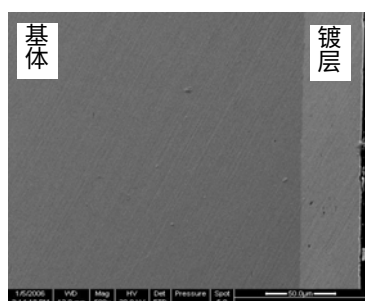


图 4 连续激光 Ni 刷镀层的断面形貌

Fig.4 SEM morphology on cross section of continuous laser enhanced electro brush plating Ni coating

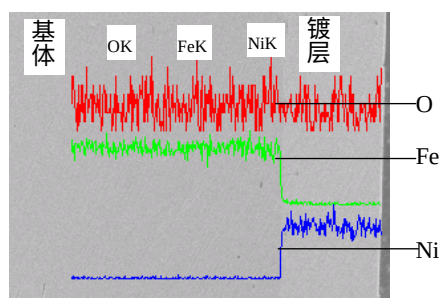


图 5 连续激光 Ni 刷镀层的断面 EDX 线扫描照片

Fig.5 Linear distribution of elements by EDX on cross section of continuous laser enhanced electro brush plating Ni coating

3 分析讨论

一般认为金属镍的电沉积行为分成传质—表面转化—电化学反应—新相生成—结晶长大 5 个步骤。激光对电刷镀过程中镍沉积行为的影响,主要表现在:激光的热效应使溶液中的传质步骤加快。同时,由于激光的一部分热量通过电极邻近周围的液相传导,热效应产生明显的紊流和微区搅拌效果,导致界面扩散层厚度的降低,界面消耗的金属

离子浓度能得到及时补充。故从热力学角度,激光通过热效应,促进了传质过程,降低了浓差极化,有利于改善界面因为电极反应引起的金属离子贫乏现象,使得晶粒细化且较平整。也因此镀层的摩擦因数减小,减摩性有所提高。

另外,在激光的作用下,金属离子在镀层表面各处的形核几率大致相同,所以晶粒团大小较为均匀。同时,由于晶粒细化而引起位错密度增加,使得镀层硬度增加^[6]。

4 结 论

(1) 激光强化电刷镀 Ni 镀层与基体结合良好,且晶粒较普通刷镀层细化,镀层硬度有所提高。脉冲激光 Ni 刷镀层显微硬度为 573 HV,连续激光 Ni 刷镀层显微硬度为 562 HV,两者硬度差别不大。激光强化电刷镀 Ni 镀层的显微硬度比普通电刷镀 Ni 镀层的显微硬度提高约 200 HV。

(2) 激光强化电刷镀 Ni 镀层比普通 Ni 刷镀层的相对耐磨性增加约 10 倍,摩擦因数减小约 1/2。

(3) Nd³⁺:YAG 激光的加入和其连续性在此试验中未对 Ni 晶粒的晶格常数产生明显影响。但激光的加入使得 Ni 刷镀层的晶粒比普通 Ni 刷镀层的要小,而且连续 Nd³⁺:YAG 激光对镀层晶粒度的影响较大。

参考文献:

- [1] Von Gutfield RJ, Vigliotti DR. High-speed electroplating of copper using the laser-jet technique [J]. Appl Phys Lett, 1985,46(10):15.
- [2] 王建, 郁祖湛. 激光镀技术的研究动态 [J]. 电镀与精饰, 1999,21(1):1-5.
- [3] 贾艳琴. 电沉积与激光电沉积 Ni 基合金及其复合镀层腐蚀磨损特性研究 [D]. 天津:河北工业大学, 2002.
- [4] 梁志杰. 现代表面镀覆技术 [M]. 北京:国防工业出版社, 2005:23-78.
- [5] Kordás K, Remes J, Leppävuori S, et al. Laser-assisted selective deposition of nickel patterns on porous silicon substrates [J]. Applied Surface Science, 2001,178: 93-97.
- [6] 董允, 贾艳琴. 电沉积及激光辅助电沉积镍基镀层表面形貌研究 [J]. 河北工业大学学报, 2001,30 (1): 89-93.

作者地址: 北京丰台杜家坎 21 号 100072

Tel: (010) 66718476

Email: yantao2005001@sina.com