

不锈钢放射性模拟样片在空气中的激光去污技术

马梅花¹,高智星²,汤秀章²,郑佐西¹,朱欣研¹,张怡¹,刘雨昕¹

1. 中国原子能科学研究院 放射化学研究所,北京 102413;2. 中国原子能科学研究院 核技术应用研究所,北京 102413

摘要:采用 APEX 放电型准分子激光器作为激光光源,用低放废液制备不锈钢放射性模拟样片,在激光去污装置上开展激光去污工艺参数的研究。通过考察不同的辐照强度、脉冲频率、辐照角度及扫描速率参数对不锈钢放射性模拟样片表面去污因子 DF 的影响,获得了激光去污工艺参数。在此参数下对模拟样片表面的去污因子大于 200,剥离厚度小于 20 μm 。

关键词:激光去污;放射性模拟样片;工艺参数

中图分类号:TL944;TN249 **文献标志码:**A **文章编号:**0253-9950(2017)01-0069-03

doi:10.7538/hhx.2017.39.01.0069

Laser Decontamination Research on Radioactive Simulated Specimens in Air

MA Mei-hua¹, GAO Zhi-xing², TANG Xiu-zhang², ZHENG Zuo-xi¹,
ZHU Xin-yan¹, ZHANG Yi¹, LIU Yu-xin¹

1. China Institute of Atomic Energy, P. O. Box 275(93), Beijing 102413, China;

2. China Institute of Atomic Energy, P. O. Box 275(7), Beijing 102413, China

Abstract: The study on the laser decontamination parameters was carried on with the simulated radioactive specimens made by LLRW and using APEX laser. The efficiency of different laser parameters such as laser intensity, laser frequency, laser angle and laser scanning speed were investigated on the decontamination factor(DF), and then the optimized laser decontamination parameters were obtained. Using the optimized parameters, the laser decontamination was studied with the simulated stainless steel specimens by the laser decontamination equipment. The experimental results show that the DF is more than 200, and the peeling thickness on the stainless steel base is less than 20 μm .

Key words: laser decontamination; radioactive simulated specimens; processing parameters

激光去污技术是近年兴起的一种新型的去污技术^[1],该技术利用激光束将金属表面烧蚀或利用特种气体与核素发生光化学反应而气化的原理,实现放射性核素从污染表面分离的技术。由于激光烧蚀和光化学反应效率高,因此污染表面能够得到很好去污^[2-6]。激光去污技术与常规去污技术相比具有明显的优点:产生的二次废物极

少;不需要带压操作;利用光纤和机器人技术可实现远距离操控。因此激光去污技术在工业应用方面已经开展了很多研究,但在核设施去污方面的研究国内尚未开展。

本研究在调研的基础上,系统考察激光去污工艺参数对不锈钢放射性模拟样片表面去污效果的影响,拟为该技术的工程应用打下研究基础。

另外,由于使用放射性模拟样片进行实验,激光去污产生的等离子体暂没有在本实验中分析考察。

1 实验部分

1.1 实验仪器及其他

HW-10 型红外线快速干燥箱,北京兴争仪器设备厂;电热鼓风干燥箱,重庆四达试验仪器公司;微量取样器,大龙仪器设备(北京)公司;低本底 α 、 β 谱仪,北京核仪器厂;APEX248 放电型准分子激光器,匈牙利大学实验物理系;激光去污装置(非标),自行设计加工。

低放废液,中国原子能科学研究院放射化学研究所 301 室提供。

1.2 实验过程

将一定量的放射性废液滴在处理过的不锈钢样片表面,经过反复高温烘烤、稀硝酸清洗、去离子水清洗等制备实验用模拟样片。将制作好的模拟样片放置在激光去污装置的样品架上,以APEX248 放电型准分子激光器作为激光光源,在样片表面形成约 $1.8 \text{ mm} \times 0.56 \text{ mm}$ 光斑,在不同的辐照强度、脉冲频率、辐照角度和扫描速率下开展激光对不锈钢放射性模拟样片去污能力研究,通过改变激光的强度、频率、扫描速率和辐照角度,采用低本底 α 、 β 谱仪测量去污前后的放射性计数,测量时间 300 s,仪器效率分别为 67.4% (α)、69.4% (β)。计算去污因子 DF,从而优化激光去污工艺参数。

去污因子 DF 计算公式如下:

$$DF = (C_0 - C_b) / (C_1 - C_b)$$

其中: C_0 ,去污前放射性计数; C_b ,本底计数; C_1 ,去污后放射性计数。

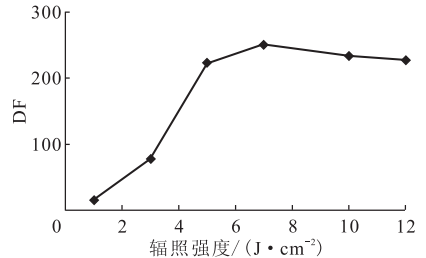
2 结果与讨论

实验所用的放射性废液 $\text{pH} \approx 9.17$,含盐量 $w \approx 0.425\%$,电导率 $6.35 \mu\text{s}/\text{cm}$,废液放射性活度浓度约为 $10^5 \text{ kBq}/\text{L}$,主要含 ^{137}Cs 、 ^{60}Co 等核素。制备的不锈钢放射性模拟样片表面污染水平约 $25 \text{ Bq}/\text{cm}^2$,主要的污染核素是 ^{137}Cs 、 ^{60}Co 等。

2.1 辐照强度对不锈钢放射性模拟样片表面去污因子的影响

在脉冲频率为 10 Hz、扫描速率 0.5 mm/s、辐照角度 15° 下考察激光辐照强度分别为 1、3、5、7、10、12 J/cm^2 时,激光辐照强度对放射性模拟样片去污能力的影响,结果示于图 1。由图 1 可

知,在脉冲频率为 10 Hz、扫描速率 0.5 mm/s、辐照角度 15° 下,放射性模拟样片表面去污因子随激光辐照强度的增强而增大。辐照强度小于 $3 \text{ J}/\text{cm}^2$ 时,去污因子均小于 100,不锈钢合金的表面损伤阈值约 $2 \text{ J}/\text{cm}^2$,考虑到激光传输过程中能量的损失,只有激光的辐照强度高于 $5 \text{ J}/\text{cm}^2$ 时,去污效果才更明显,因此辐照强度选为 $7 \text{ J}/\text{cm}^2$ 。



脉冲频率 10 Hz,扫描速率 0.5 mm/s,辐照角度 15°

图 1 不锈钢放射性模拟样片表面去污因子 DF 随激光辐照强度的变化

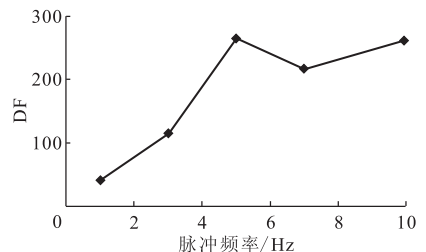
Fig. 1 Variation of DF on radioactive simulated specimens with laser intensity

2.2 脉冲频率对不锈钢放射性模拟样片表面去污因子的影响

在辐照强度为 $7 \text{ J}/\text{cm}^2$ 、扫描速率 0.5 mm/s、辐照角度 15° 下,考察激光脉冲频率分别为 1、3、5、7、10 Hz 时,其对放射性模拟样片去污能力的影响,结果示于图 2。由图 2 可知,当激光脉冲频率大于 3 Hz 时,去污因子大于 100。考虑在以后的工程应用研究中单位面积需要的去污时间,激光脉冲频率选为 10 Hz。

2.3 扫描速率对不锈钢放射性模拟样片表面去污因子的影响

在辐照强度 $7 \text{ J}/\text{cm}^2$ 、脉冲频率为 10 Hz、辐

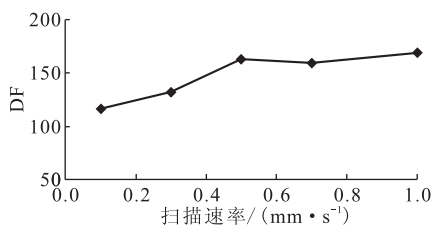


辐照强度 $7 \text{ J}/\text{cm}^2$,扫描速率 0.5 mm/s,辐照角度 15°

图 2 不锈钢放射性模拟样片表面去污因子 DF 随激光脉冲频率的变化

Fig. 2 Variation of DF on radioactive simulated specimens with laser frequency

照角度为 15° 下, 考察激光扫描速率为 0.1、0.3、0.5、0.7、1.0 mm/s 时, 其对放射性模拟样片去污能力的影响, 结果示于图 3。由图 3 可知, 在辐照强度 7 J/cm^2 、脉冲频率为 10 Hz、辐照角度为 15° 下, 激光扫描速率对样片表面的去污因子影响不大, 均能达到去污要求, 考虑在实际应用中单位面积的去污时间, 扫描速率选为 1.0 mm/s。



辐照强度 7 J/cm^2 , 脉冲频率 10 Hz, 辐照角度为 15°

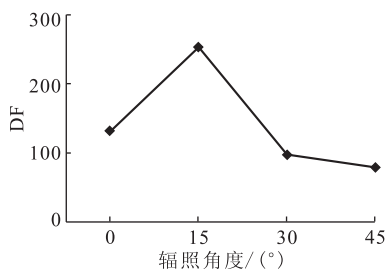
图 3 不锈钢放射性模拟样片表面去污因子 DF 随激光扫描速率的变化

Fig. 3 Variation of DF on radioactive simulated specimens with laser scanning speed

2.4 辐照角度对不锈钢放射性模拟样片表面去污因子的影响

在辐照强度 7 J/cm^2 、脉冲频率为 10 Hz、扫描速率 1.0 mm/s 下, 考察激光辐照角度为 0° 、 15° 、 30° 、 45° 时对放射性模拟样片去污能力的影响, 结果示于图 4。由图 4 可知, 激光辐照角度对放射性模拟样片表面去污因子的影响比较明显。当辐照角度小于 30° , 去污因子大于 100。当激光入射角与样片表面在 $0^\circ \sim 30^\circ$ 时, 形成的等离子体不易二次沉积在样片表面, 故辐照角度选为 15° 。

在辐照强度 7 J/cm^2 、脉冲频率 10 Hz、扫描速率 1.0 mm/s、辐照角度 15° 下对不锈钢放射性



辐照强度 7 J/cm^2 , 脉冲频率为 10 Hz, 扫描速率 1.0 mm/s

图 4 不锈钢放射性模拟样片表面去污因子 DF 随激光辐照角度的变化

Fig. 4 Variation of DF on radioactive simulated specimens with laser angle

模拟样片进行模拟层去除率测量及去污因子计算, 结果列于表 1。从表 1 可以看出, 在初步选定的工艺参数下激光对放射性模拟样片的表面去污因子达到 216, 剥离厚度达到 $15.86 \mu\text{m}$ 。

表 1 不锈钢放射性模拟样片的表面去污情况

Table 1 Decontaminated level of radioactive simulated specimens surface

No.	DF	剥离厚度/ μm
1	304	18.51
2	164	13.34
3	180	15.72
	(216)	(15.86)

注: 辐照强度 7 J/cm^2 , 脉冲频率 10 Hz, 扫描速率 1.0 mm/s, 辐照角度 15° ; 括号中数值为平均值

3 结论

放射性样片表面的去污因子与激光工艺参数有关; 激光对放射性模拟样片表面的去污效果比较明显。在辐照强度 7 J/cm^2 、脉冲频率 10 Hz、扫描速率 1.0 mm/s、辐照角度 15° 下放射性模拟样片表面的去污因子达到 216, 且表层剥离厚度为 $15.86 \mu\text{m}$ 。

参考文献:

- [1] 罗上庚, 张振涛, 张华. 核设施与辐射设施的退役[M]. 北京: 中国环境出版社, 2010: 82-83.
- [2] Kameo Y, Nakashima M, Hirabayashiy T, et al. New laser decontamination technique for radioactively contaminated metal surfaces using acid-bearing sodium silicate gel[J]. J Nucl Sci Technol (Tokyo, Jpn), 2004, 41(9): 919-924.
- [3] LI Lin, Steen W M, Modern P J, et al. Laser removal of surface and embedded contamination on/in building structures[J]. Laser Materials Processing and Machining, 1994, 2246: 84-95.
- [4] Veiko V P, Mutin T Y, Smirnov V N, et al. Laser decontamination of radioactive nuclides polluted surface[J]. Laser Phys, 2011, 21: 608-613.
- [5] Baigalmaa B, Won H J, Moon J K, et al. A comprehensive study on the laser decontamination of surfaces contaminated with Cs^+ ion[J]. Appl Radiat Isot, 2009, 67: 1526-1529.
- [6] Jr Potiens A J, Dellamano J C, Vicente R, et al. Laser decontamination of the radioactive lightning rods[J]. Radiat Phys Chem, 2014, 95: 188-190.