

文章编号: 0258-7025(2002)Supplement-0555-03

激光微区烧蚀典型工程材料的机理研究

曾晓雁¹ B. Ozygus² H. Weber²

(¹ 华中科技大学激光技术国家重点实验室, 激光加工国家工程研究中心, 武汉 430074)
(² Optical Institute, Department of Physics, Technical University, BerlinBerlin, Germany)

摘要 研究了 LD 抽运 YAG 激光烧蚀 W, Ta, Nb, Fe 等金属和单晶硅、金刚石等材料的速率与机理, 结果表明材料的熔点、沸点、导热性、晶体结构等参数对激光烧蚀速率影响很大。对激光烧蚀的物理模型进行了初步分析。

关键词 YAG 激光, 微区烧蚀, 烧蚀速率

中图分类号 TN249 **文献标识码** A

Parameters and Mechanisms of Laser Ablation Typical Engineering Materials

ZENG Xiao-yan¹ B. Ozygus² H. Weber²

(¹ National Key Laboratory of Laser Technology, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074)
(² Optical Institute, Department of Physics, Technical University Berlin, Berlin, Germany)

Abstract The ablation rates and mechanisms of typical engineering materials such as Ni, W, Ta, Cu, Si and diamond by diode pumped YAG laser were analyzed. It was found that a lot of factors such as the melting point, evaporation point, thermal conductivity and crystal structure have a big effect on the ablation rates. In almost all the cases, the materials are heated up to melting point and the evaporation is the main mechanism for laser ablation.

Key words YAG laser, laser ablation, ablation rates

1 引 言

LD 抽运 YAG 激光器因为体积小、抽运效率高、光束质量好, 在激光加工领域特别是精密、微细加工领域中正得到越来越广泛的应用。例如, 采用 LD 抽运 YAG 激光器对许多种金属材料、陶瓷材料、高分子材料进行切割、焊接、打标等加工, 已被成功应用于工业生产中。激光加工技术的重要特点之一是可以完成超硬、超脆或者超软工程材料的加工, 有关的工程技术人员也进行了许多的前期研究与开发工作, 但迄今为止仍然缺乏有关激光加工许多典型工程材料机理研究的基础数据。本文正是针对这一问题进行了一些研究工作。

2 实验设备与方法

激光加工实验是在柏林工业大学光学研究所 Weber 教授的研究室进行的。所使用的激光器为 LD 抽运 YAG 激光器, 输出功率分别为 90 mW,

230 mW 和 360 mW, 激光重复频率为 25000 Hz, 脉宽为 5 ns, 光斑直径约为 15 μm 。用于加工的材料包括典型金属材料 Cu, W, Ta, Nb, Ti, In, Al, Cu-Zn 合金等和典型非金属材料如单晶硅、金刚石等。激光烧蚀区域的面积为 400 $\mu\text{m} \times 125 \mu\text{m}$ 。

实验方案分为两类, 一是相同激光辐照时间下, 不同激光功率对各种材料烧蚀速率的影响规律; 二是相同激光功率下, 激光烧蚀速率与时间的关系。烧蚀实验完成后, 用带有刻度尺的光学显微镜在高放大倍数下测试烧蚀前后平面与底面的聚焦点尺寸变化来判定激光烧蚀的平均深度(测定精度为 1 μm)。采用 Hitachi 2000 的扫描电子显微镜及能谱分析仪对烧蚀表面进行成分与形貌分析。

3 结果与讨论

3.1 激光辐照时间对烧蚀深度的影响规律

表 1 给出了激光烧蚀不同材料时烧蚀时间与烧蚀深度的关系, 该表还同时列出了被加工材料的熔

点和沸点。根据表 1 绘出的曲线见图 1。根据表 1 和图 1, 不难得出如下结论:

- 1) 材料的熔点与沸点对激光烧蚀速度影响很大。一般而言, 随着材料熔点与沸点的提高, 激光烧蚀速率降低;
- 2) 材料的热导率对激光烧蚀的速率影响很大。例如, Cu 的熔点和沸点虽然远远低于 Ni, 但其激光

烧蚀速率则远低于后者, 主要原因就在于前者的热导率比后者高得多;

- 3) 材料的化学稳定性对激光烧蚀速率影响很大。Ti 和 Nb 的激光烧蚀速率低于 Ta 和 W, 可能的原因就在于前者化学活性比较大, 在空气中进行激光烧蚀时容易在表面生成氧化物, 导致激光烧蚀的能量阈值提高。

表 1 不同材料的激光辐照时间与烧蚀深度的关系

Table 1 Relationship between laser irradiation time versus ablation depth for different materials

depth/ μm current/A	materials										
	In	Al	Cu	Si	Ni	Fe	Pd	Ti	Nb	Ta	W
10	6	6	4.5	10	1	1	6	1	2	2	
20	12	12	8	17	2	2.5	11	3	8	4	2
40	42	23	14	29	4	5	15	4	10	6	4
80	>100	49	21	69	10	11	26	7	12	10	11
160		81	41	210	20	19	48	12	19	18	24
320		160	76	321	50	40	66	30	28	48	36
T_m ($^{\circ}\text{C}$)	156	660	1083	1410	1453	1535	1552	1660	2468	2996	3410
T_v ($^{\circ}\text{C}$)	2000	2467	2567	2335	2732	2750	2927	3287	4927	5425	5560

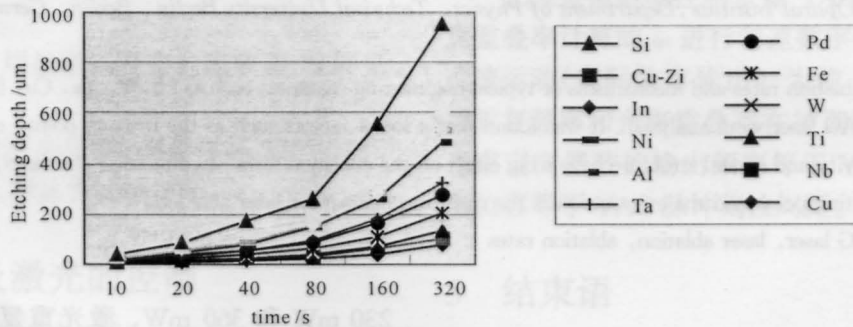


图 1 不同材料表面激光烧蚀深度与时间的关系

Fig. 1 Relationship between laser ablation depth versus time at different material surface

表 2 激光能量密度对烧蚀深度的影响

Table 2 Influence laser power density on ablation depth

current/A	depth/ μm	Laser irradiation times /s					
		10	20	40	80	160	320
Al	16A	6	12	23	49	81	96
	18A	10	24	55	106	147	290
Pd	16A	6	11	15	26	48	66
	18A	6	10	22	42	62	Pass through
W	16A	1	2	4	11	24	36
	18A	4.5	9	19	36	72	161
Ta	16A	2	4	6	10	18	48
	18A	4	6.5	13	20	38	67

3.2 激光能量密度对烧蚀深度的影响规律

表 2 给出了激光能量密度对材料烧蚀深度的影响。由该表可见, 对所有材料, 随着激光能量密度的增加, 激光烧蚀深度也相应增加。然而, 激光烧蚀时

不同材料的烧蚀速率增加幅度是不同的。例如, 当激光电源电流由 16 A 增加到 18 A 时, Al 的烧蚀速率增加近两倍, 而 W 的烧蚀速率增加几乎 4 倍。

