

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЕ СООБЩЕНИЯ

УДК 621.375.8.001.4

ПРИМЕНЕНИЕ ИМПУЛЬСНО-ПЕРИОДИЧЕСКОГО ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ДЛЯ ОБРАБОТКИ РЕАКТОРНЫХ МАТЕРИАЛОВ

*Дробязко С.В., Лиханский В.В., Лобойко А.И., Сенаторов Ю.М.
(ГНЦ РФ — ТРИНИТИ), Вавилин О.И., Швом Е.М. (НИИ «Полюс»)*

Лазерная технология нашла широкое применение в промышленности благодаря тем свойствам когерентного излучения, которые удастся реализовать на основе лазеров и которые трудно достичь другими способами воздействия на материалы. В первую очередь к таким свойствам следует отнести малую угловую расходимость лазерного излучения и возможность фокусировки энергии в малом объеме. Непрерывное излучение используется для получения высокой температуры при исследовании физико-химического взаимодействия материалов [1, 2], повышения коррозионной стойкости конструкционных материалов [3] и измерения малых смещений [4].

Однако непрерывное лазерное излучение непригодно в тех случаях, когда необходимо ввести энергию в малый объем вещества без существенного повышения температуры остальной части образца. К ним можно отнести резку оболочек твэлов без разрушения (нагрева) топливных таблеток, вырезание микрофрагментов из различных зон топливной таблетки, локализованное плавление или испарение облученных материалов (топливо, поглощающие материалы) без разрушения основного объема, сварку материалов с минимальным размером зоны термического влияния, импульсный лазерный нагрев для физического моделирования изменений свойств облученных материалов в условиях реактивных аварий. В то же время излучение импульсно-периодических лазеров позволяет успешно решать перечисленные задачи.

В настоящей работе исследованы режимы лазерной резки оболочек твэлов транспортных реакторов, циркониевых оболочек энергетических реакторов и воздействия на имитатор топлива при использовании импульсно-периодических Nd:YAG и CO₂-лазеров [5] с частотой следования импульсов ~10—100 Гц, длительностью ~10⁻⁴ с и средней мощностью 100—1000 Вт. Диаметр лазерного пятна на поверхности мишени составлял 1 мм для CO₂- и 0,1 мм для Nd:YAG-лазера.

Резка материала. При резке материала с помощью непрерывного лазера часть излучения (~50% и выше) периодически проходит за мишень, что делает процесс трудноконтролируемым. При импульсно-периодическом воздействии за один импульс с мишени уносится небольшая часть материала. Поэтому при известных параметрах лазерного излучения легко подобрать число импульсов, необходимых для появления отверстия. Процесс резки в этом случае выполняется в режиме «перфорации» и является хорошо прогнозируемым. На рис. 1, а приведен внешний вид разрезанной излучением CO₂-лазера циркониевой оболочки и керамики из Al₂O₃ (в качестве имитатора топлива), которая во время эксперимента была прижата к оболочке с внутренней стороны. Ширина реза циркониевой оболочки толщиной 0,7 мм составляла ~0,8 мм, скорость в режиме перфорации ~1 мм/с. Унос материала керамики без оптимизации параметров CO₂-импульсов был на уровне 10⁻⁴ г на 1 см длины реза.

При использовании Nd:YAG-лазера ширина реза составляла ~0,1 мм, что дало возможность вырезать из керамики и металлических образцов (циркониевых оболочек и оболочек из нержавеющей стали) небольшие фрагменты без заметного теплового воздействия на окружающую область (рис. 1, б).

Сверление материала. В экспериментах по сверлению керамики из Al₂O₃ излучением CO₂-лазера мишень состояла из двух притер-

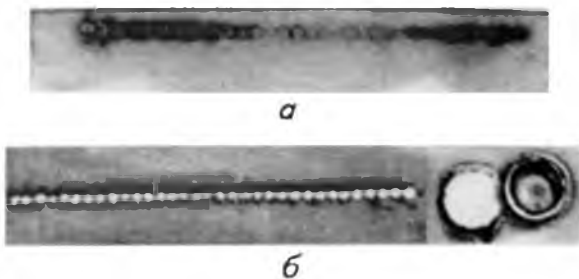
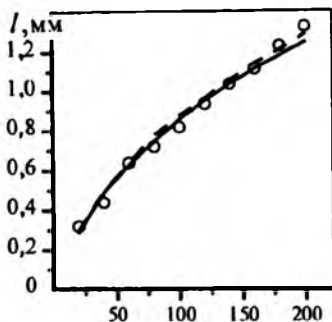


Рис. 1. Внешний вид реза циркониевой оболочки излучением CO₂-лазера и отпечатка на керамике из Al₂O₃ (а) и керамической пластины из Al₂O₃ излучением Nd:YAG-лазера (б)

тых пластин, излучение направляли в место их стыка. После разъединения пластин анализировали форму и глубину полученного кратера. Схема пуска лазера позволяла плавно регулировать частоту следования импульсов, а также формировать серии импульсов с их фиксированным полным числом и частотой следования. Для математического описания этого процесса была использована модификация модели [6], которая учитывает нагрев образца, плавление, испарение и вытеснение расплава парами из зоны взаимодействия в зависимости от параметров лазерного излучения и свойств материала. Прямое использование одномерной модели [6] дает линейную зависимость глубины кратера от числа импульсов. Простейшая модификация модели построена на том экспериментальном факте, что при взаимодействии лазерного излучения с керамикой диаметр кратера не зависит от числа импульсов и равен диаметру пятна облучения $2r_0$. Поэтому уменьшение мощности, поглощаемой единицей поверхности, можно учесть перенормировкой интенсивности лазерного пучка $I = I_0 r_0 (h + r_0)$, где I_0 — интенсивность в пятне облучения при $h = 0$.



Число импульсов

Рис. 2. Зависимость глубины кратера I в керамике из Al_2O_3 (— — теория, $\bigcirc$ — эксперимент) и диоксида урана (--- — теория) от числа импульсов CO_2 -лазера

На рис. 2 сравнивается расчетная и экспериментальная глубина кратера в керамике из Al_2O_3 в зависимости от числа импульсов излучения. Хорошее соответствие теоретической и измеренной глубины кратера свидетельствует об адекватности математической модели реальным физическим процессам. Здесь же приведена теоретическая зависимость глубины кратера в диоксида урановом топливе при тех же параметрах лазерного излучения, что и для керамики из Al_2O_3 . Слабое отличие этих двух зависимостей позволяет использовать керамику из Al_2O_3 в качестве имитатора для планирования экспериментов и отработки методологии по воздействию излучения на топливо. С учетом того, что газовые продукты деления выходят из расплава за время, намного меньшее длительности импульса лазерного излучения, рассматриваемая методика в сочетании с диагностикой представляется перспективной для экспресс-анализа облученных материалов.

Работа выполнена при частичной поддержке РФФИ, проект № 00-02-16161.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Prater J., Courtright E. High-Temperature Oxidation of Zircaloy-4 in Steam and Steam-Hydrogen Environments. NUREG/CR-4476, 1986, PNL-5558.
2. Hiernaut J., Hyland G., Ronchi C. Premelting transition in uranium dioxide. — Intern. J. Thermophysics, 1993, v. 14, № 2, p. 259—283.
3. Косырев Ф.К., Копельович Д.Х., Кузьменко Т.Г. Перспективы повышения коррозионной стойкости сталей типа 18-10 методом поверхностной лазерной обработки. — Вопросы атомной науки и техники. Сер. Ядерная техника и технология, 1989, вып. 5, с. 7—10.
4. Gilbert E., Chin B. Irradiated materials measurement technology. — In: Proc. of 10th Intern. Symp. «Effects of radiation on materials». Savannah, 1980, p. 665—679.
5. Дробязко С.В., Павлович Ю.В., Сенаторов Ю.М. Импульсно-периодический непрерывный лазер с накачкой импульсным самостоятельным разрядом для термической технологии. — Квант. электроника, 1985, т. 12, № 12, с. 2467—2470.
6. Allmen M. Laser drilling velocity in metals. — J. Appl. Phys, 1976, v. 47, № 11, p. 5460—5463.

Поступило в Редакцию 18.06.99

УДК 621.039.76

ТРЕБОВАНИЯ К СИСТЕМЕ РАДИАЦИОННОГО КОНТРОЛЯ В СВЯЗИ С РИСКОМ И ДОЗОЙ

Пузанов Ю.В., Ожован М.И., Соболев И.А.
(МосНПО «Радон»)

Радиоэкологический мониторинг требует учета не только радиоактивного загрязнения, но и характеристик района контроля, в частности, плотности и численности населения. Это естественно, поскольку, если индивидуальная доза превысит установленные пределы для одного-двух человек, навряд ли в данном регионе проживания возникнут существенные последствия, связанные с отдаленными наследственными эф-