

В.И. Букатый, Н.Н. Шараухов
**Исследования воздействия
 мощного лазерного излучения на гранит**

Исследования взаимодействия лазерного излучения с веществом были начаты практически одновременно с созданием первых сравнительно мощных импульсных рубиновых и неодимовых лазеров. В связи с этим появляется новое научно-техническое направление технологии машиностроения и других областей промышленности, такое как обработка материалов сфокусированным лазерным излучением. В промышленности мощное лазерное излучение в связи с малой областью его фокусировки и высокой плотностью энергии используют для резки и сварки твердых материалов [1]. Малая область фокусировки приводит к уменьшению ширины реза, что снижает зону термического влияния и дает более высокую скорость резки по сравнению с любым из других методов. В данной работе в качестве материала, на который воздействует мощное лазерное излучение (МЛИ), используется гранит. Этот выбор сделан в силу нескольких причин. Во-первых, это широко используемый в народном хозяйстве материал. Во-вторых, он широко распространен. В-третьих, существующие методы обработки гранита имеют ряд недостатков, что приводит к поиску новых технологий. Использование лазеров позволяет отказаться от ряда трудоемких операций, таких как применение режущего инструмента, сверл, абразивных кругов, электродов и др. При изучении воздействия излучения на различные материалы для экспериментальных исследований используются преимущественно чистые вещества, т.е. материалы, однородные как по составу, так и по структуре. Гранит же является достаточно сложным природным образованием, включающим в себя вещества, разнородные по своему составу и свойствам. Кроме того, режимы взаимодействия лазерного излучения с веществом отличаются большим разнообразием в зависимости от плотности потока и длины волны излучения. В связи с этим исследование процессов, происходящих при взаимодействии МЛИ с гранитом, и анализ получаемых результатов представляют собой достаточно трудоемкую задачу. Как уже говорилось ранее, граниты классифицируются по очень многим параметрам. Для экспериментальных исследований мы применяли образцы гра-

нитов №1 и 2 с уже известными характеристиками [2]. Образец №1: гранит среднезернистый, розовый, щелочной, биотитовый. Состоит из кварца (кварц – зональный, прозрачные, округлые и вытянутые зерна) – 20%, полевого шпата (микроклина розового и альбита, с резким преобладанием первого) – 65% и слюды – биотита – 10–15%. Структура – среднезернистая, равномерно зернистая. Текстура – нечетко полосчатая. Образец №2: гранит гигантозернистый, серый. Состоит из кварца (серые до черного полупрозрачные зерна размером 2–4 мм, округлой формы) – 30%; полевых шпатов (микроклина, альбита, олигоклаза) – 60–65%, с включениями (прорастаниями) биотита (в виде чешуек размером 1–2 мм) – 10% [3]. В силу отсутствия в литературе оптических характеристик гранита как целостного образования были проведены измерения коэффициента отражения экспериментальных образцов. Измерение проводилось на фотометре ФО-1, предназначенном для измерения коэффициентов пропускания, оптической плотности и отражения. Преимущество данного метода заключается в возможности использования образцов с грубо обработанной поверхностью. Согласно инструкции к фотометру измерения для каждой длины волны проводились три раза, и по ним вычислялось среднее значение коэффициента отражения. Результаты измерений представлены на рисунке 1.

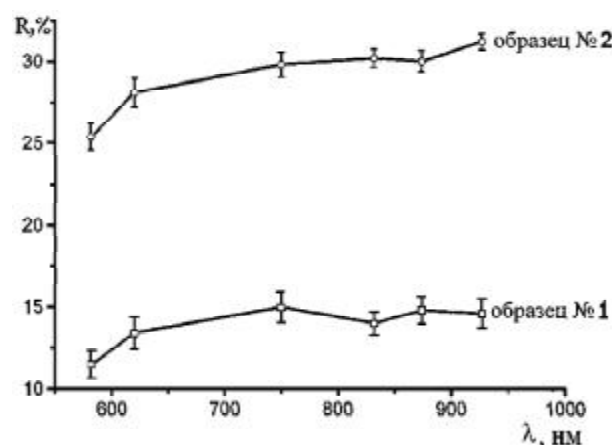


Рис. 1. Зависимость коэффициента отражения образца от длины волны

По результатам вышеприведенных измерений заметно, что на всех используемых длинах волн образец №2 имеет коэффициент отражения примерно в два раза больший, чем образец №1, вследствие чего можно предположить, что взаимодействие МЛИ с образцом №2 будет проявляться значительно меньше. Изучение воздействия МЛИ на гранит проводилось на установке, схема которой представлена на рисунке 2.

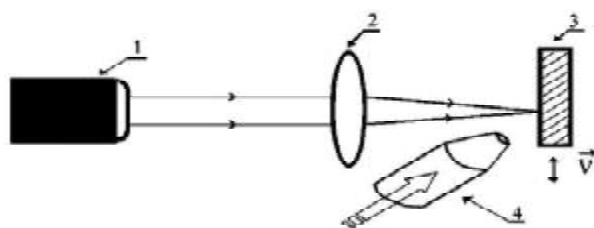


Рис. 2. Блок-схема экспериментальной установки:
1 – CO₂-лазер; 2 – собирающая линза;
3 – обрабатываемый материал;
4 – сопло для подачи газа

В экспериментах использовалось непрерывное излучение как CO₂-лазера с мощностью излучения $P = 92$ Вт, так и лазера на иттрий – алюминиевом граните с мощностью излучения $P = 34$ Вт [4]. Исследования проводились на двух образцах гранита с использованием двух линз с различным фокусным расстоянием: $F = 10$ и $F = 24$ см. Кроме того, на длине волны CO₂-лазера исследовалось влияние внешней струи газа на область взаимодействия излучения с образцом. Измеряемыми параметрами являлись диаметр и глубина получаемых отверстий. В начальный момент времени при плотностях мощности лазерного излучения выше определенного значения материал в зоне облучения начинает испаряться, в результате чего на поверхности образца образуется кратер, глубина которого растет со временем. С увеличением глубины кратера часть энергии, поглощенная боковыми стенками, будет возрастать. Одновременно плотность мощности излучения, попадающего на дно

канала, будет падать. Так как давление паров вещества при температуре плавления ниже атмосферного, кипение наблюдается в глубоком канале, стенки которого окружены расплавом. При прекращении кипения расплавленный материал, окружающий канал, заливает его, глубина канала уменьшается и кипение возобновляется. В результате возникает такое стационарное состояние, при котором на испарение материала расходуется небольшая часть энергии, необходимая лишь для поддержания существования парового канала и предотвращения затопления его расплавом. При выключении луча жидкость заливает канал и, поскольку объем расплава значительно превосходит объем парового канала, в образце остается лишь небольшое углубление. В условиях кипения жидкости пар давит на поверхность расплава и вызывает его течение по краям канала. При установившемся течении удаление жидкости осуществляется в режиме фонтанирования.

Режим автономного удаления жидкой фазы из канала (лунки) не всегда желателен с точки зрения качества образующегося реза (отверстия): расплав, вытекая из канала, застывает вблизи его входной части в виде валика на поверхности материала. Для предотвращения его образования или же при плотностях мощности, не обеспечивающих самостоятельного удаления расплава в режиме выплеска, на практике для получения сквозных каналов (лунок) часто используется вспомогательный поток газа, направляемый в зону обработки для выдувания расплава с нижней кромки материала. С увеличением скорости газового потока снижается толщина расплава, уменьшается количество теплоты, расходуемое на перегрев материала свыше температуры плавления, уменьшаются потери за счет теплопроводности и процесс резки лимитируется лишь стадией прогрева материала до температуры плавления, плавлением и тепловыми потерями. Результаты исследований по взаимодействию мощного лазерного излучения

Параметры резки гранита мощным лазерным излучением

Длина волны λ , мкм	Фокусное расстояние линзы F , см	Время взаимодействия t , с	Подача газа	Образец №1		Образец №2	
				диаметр, мм	глубина, мм	диаметр, мм	глубина, мм
10.6	24	15	есть	0.9	2.2	0.9	1.1
			нет	1.3	1.1	1.8	1.4
		30	есть	0.9	0.6	0.8	1.2
			нет	1.4	0.6	1.5	1.2
	10	15	нет	3.5	0.7	3.9	0.6
		30	нет	3.5	0.7	3.7	0.9
1.06	24	15	нет	1.2	0.5	1.3	0.2
	10	15	нет	1.5	0.5	1.6	0.1

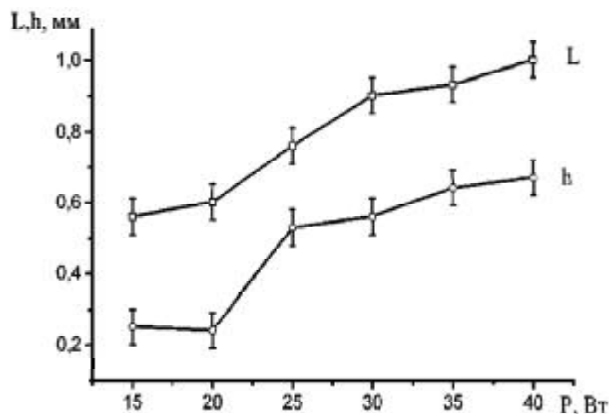


Рис. 3. Зависимость глубины h и ширины прорезания L гранита излучением YAG-лазера от мощности излучения

с неподвижным образцом, диаметр и глубина отверстий, образующихся при действии МЛИ с различными длинами волн на неподвижные образцы гранита при различных условиях, представлены в таблице.

Следует отметить значительное влияние струи газа на качество отверстий. Края кратеров становятся значительно ровнее, так как струя газа удаляет расплав и охлаждает стенки отверстия, также значительно снижая толщину деформированного слоя. Фокусное расстояние линзы F , определяющее наряду с аппаратурным размером угол схождения лучей ϕ после фокусирующей системы, оказывает существенное влияние на глубину прорезания материалов. Для диэлектрических материалов отражение излучения стенками и волноводный характер распространения луча внутри канала реза ввиду небольшой отражательной способности вещества носят несущественный характер. В связи с этим

для обеспечения большей глубины прорезания необходимо стремиться к формированию излучения, сохраняющего на возможно большей длине в направлении распространения плотность мощности выше порогового значения, необходимого для разрушения материала, т.е. стремиться к минимально возможному углу схождения лучей. В то же время необходимо иметь в виду, что при увеличении фокусного расстояния возрастает диаметр сфокусированного излучения, и при превышении им некоторого значения снижение глубины прорезания за счет уменьшения плотности мощности будет происходить быстрее, чем ее рост, обусловленный уменьшением угла схождения лучей. Положение фокальной плоскости относительно поверхности разрезаемого материала также влияет на геометрические характеристики реза. Минимальная ширина реза обычно обеспечивается при фокусировке на поверхность материала. Смещение фокуса в ту или иную сторону от положения с минимальной шириной приводит к увеличению этого параметра, поскольку растет размер пятна излучения на материал. Глубина реза достигает максимального значения при положении фокальной плоскости на поверхности или на некотором расстоянии (1–1,5 мм) под ней. Для излучения с длиной волны $\lambda = 1,06$ мкм были проведены исследования зависимостей глубины h и ширины L прорезания от мощности падающего на поверхность излучения. Результаты измерений приведены на рисунке 3. Из результатов эксперимента видно, что с увеличением мощности излучения происходит плавное нарастание ширины прорезания. Кроме того, глубина резов в интервале мощности излучения 20–25 Вт возрастает наиболее значительно.

Литература

1. Лазерная техника и технология. Кн. 4: Лазерная обработка неметаллических материалов: Учеб. пособие для вузов / А.Г. Григорьянц, А.А. Соколов; Под ред. А.Г. Григорьянца. М., 1988.
2. Пособие к лабораторным занятиям по курсу об-

- щей геологии: Учеб. пособие. 2-е изд., перераб. и доп. М., 1974.
3. Физическая энциклопедия / Гл. ред. А.М. Прохоров. М., 1992. Т. 3.
4. Тарасов Л.В. Лазеры и их применение. М., 1983.