

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОБРАБОТКИ КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ КОМБИНИРОВАННЫМИ ИМПУЛЬСАМИ ТАНДЕМНОГО ИАГ:Nd-ЛАЗЕРА

С. А. Солохин, А. О. Суворкина, А. А. Чунаев, А. Е. Шепелев

ФГБОУ ВПО «Ковровская государственная технологическая академия им. В. А. Дегтярева»,
г. Ковров Владимирской обл.

Быстрое развитие техники генерирования потоков лазерного излучения сделало весьма актуальной проблему взаимодействия излучения с веществом. К настоящему времени в этой области появились многочисленные исследования, дающие возможность сделать выводы об основных физических процессах, вызванных действием излучения на материалы, а в ряде случаев и рассчитывать некоторые характеристики данных процессов.

Сегодня основное внимание уделяется проблемам фундаментальных исследований и разработок технологических процессов воздействия лазерного излучения на материал. Проблемы, лежащие в основе технологий лазерного воздействия на материалы: турбулентное течение расплава в зоне лазерного воздействия; механизмы поглощения энергии высокоинтенсивного лазерного излучения расплавами металлов; взаимодействие плазмы лазерного пробоя с лазерным излучением и обрабатываемым материалом. Перечисленные проблемы требуют развития широкого спектра различных физических исследований при анализе процессов лазерной микрообработки материалов, с целью повышения эффективности воздействия на материалы [1].

Комбинирование различных режимов лазерного воздействия позволяет повысить эффективность процесса лазерной деструкции материала, что позволяет существенно расширить области применения современной лазерной техники и повысить общий КПД ее функционального использования [2]. Весьма перспективными в этом случае оказываются твердотельные лазеры [3].

В данной работе была исследована эффективность обработки конструкционных материалов комбинированными импульсами тандемного ИАГ:Nd-лазера. Термин «тандемный» означает последовательное расположение каких либо элементов, в данном случае – излучателей (квантронов). Лазер создан на основе установки «Квант-15», предназначенной для термообработки, шовной и точечной сварки различных материалов.

Схема экспериментальной установки представлена на рис. 1.

Основу экспериментальной установки составляет лазерный излучатель реализованный на базе плоскопараллельного резонатора общей длиной 530 мм. В оптическом резонаторе последовательно установлено два квантрона ТД2.424.005 с активными элементами из иттрий-алюминиевого граната ($\varnothing 6,3 \times 100$ мм), легированного неодимом, и криптоновыми лампами накачки ИСПЗ-70/80А. Длина волны излучения – 1,06 мкм. Система накачки первого (рис. 1) квантрона реализована от блока питания ИПЛ7-200, второго – от штатного блока питания СПИК-3 установки «Квант-15».

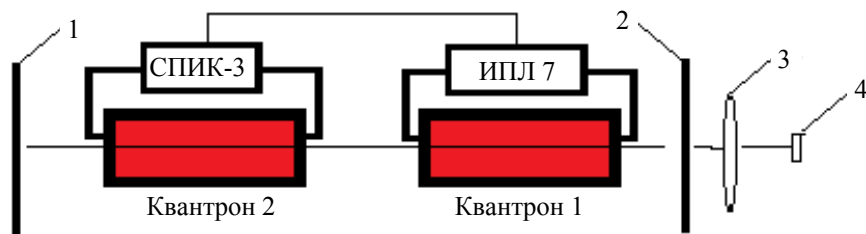


Рис. 1. Схема экспериментальной установки: 1, 2 – зеркала резонатора; 3 – оптическая система формирования излучения; 4 – объект воздействия

Блоки питания ИПЛ7-200 и СПИК-3 соединены между собой через линию временной задержки.

В процессе работы были исследованы энергетические и временные параметры лазерного излучения экспериментальной установки с помощью измерителя мощности OPHIR 30A-SH-V1, двухканального осциллографа Agilent 54641A и фотоприемника ФД25К.

Энергетические и временные параметры излучения при работе установки в одноквантронном режиме от блока накачки СПИК-3 представлены в табл. 1.

Таблица 1

Энергетические и временные параметры излучения при работе в одноквантронном режиме от блока накачки СПИК-3

Напряжение накачки СПИК-3, В	450	500	550
Энергия накачки СПИК-3, Дж	243	300	363
Средняя мощность излучения, Вт	12,80	21,20	27,20
Энергия импульса, Дж	1,28	2,12	2,72
Длительность импульса излучения, мс	2,5	3	3,5

Энергетические и временные параметры излучения при работе установки в одноквантронном режиме от блока накачки ИПЛ7-200 представлены в табл. 2.

Таблица 2

Энергетические и временные параметры излучения при работе в одноквантронном режиме от блока накачки ИПЛ7-200

Напряжение накачки ИПЛ7-200, В	350			390			430		
Длительность импульса, мс	0,5	1,5	2,5	0,5	1,5	2,5	0,5	1,5	2,5
Энергия накачки ИПЛ7-200, Дж	0,31	2,74	7	0,37	3,52	9,15	0,49	4,62	11,5
Средняя мощность излучения, Вт	2,80	9,60	16	4,30	12,90	22,80	5,80	16,70	32
Энергия импульса, Дж	0,28	0,96	1,6	0,43	1,29	2,28	0,58	1,67	3,2

При совместной работе блоков питания СПИК-3 и ИПЛ – 7 – 200 осуществлялась генерация комбинированных импульсов лазерного излучения. Комбинированный импульс представлял собой комбинацию фиксированного длинного импульса (длительность 3 мс) и амплитудного импульса-пика.

Осциллограммы комбинированных импульсов представлены на рис. 2.

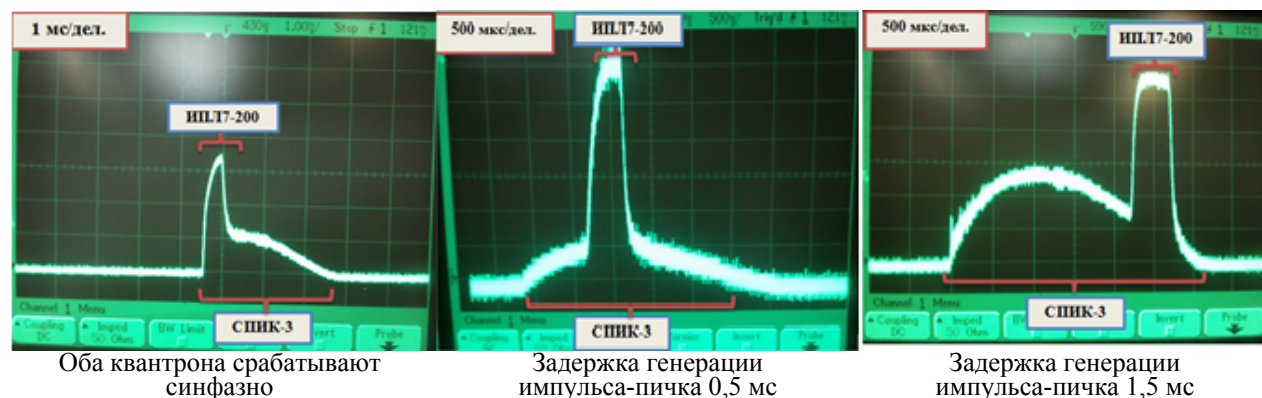


Рис. 2. Осциллограммы комбинированного лазерного импульса тандемного ИАГ:Nd-лазера

Для изготовления образцов объектов воздействия были выбраны конструкционная Сталь 20 и титановый сплав ВТ-20. Все образцы были выполнены в виде пластин и имели единые фиксированные размеры: толщина – 1 мм, ширина – 15 мм, длина – 70 мм.

В работе экспериментально оценивалось время сверления сквозного отверстия в образцах лазерным излучением с моноимпульсами (импульсами без амплитудного импульса-пика) и с комбинированными импульсами.

Время сверления сквозного отверстия в образце лазерным излучением оценивалось для генерации комбинированных импульсов с различной временной задержкой амплитудного импульса-пика, соответствующих осциллограммам, представленным на рис. 2.

Графики зависимости времени сверления отверстия от энергии импульсов лазерного излучения в одноквантронном режиме генерации при работе блока питания СПИК-3 представлены на рис. 3.

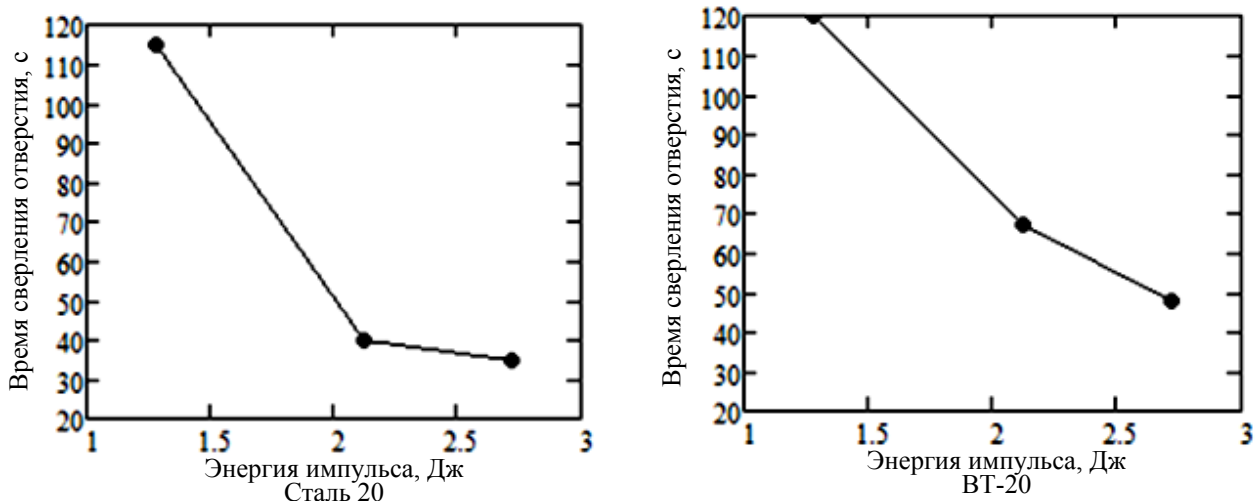


Рис. 3. Графики зависимости времени сверления отверстия от энергии импульсов генерации лазерного излучения в одноквантронном режиме генерации при работе блока питания СПИК-3

Графики зависимости времени сверления отверстия от энергии импульсов лазерного излучения в одноквантронном режиме генерации при работе блока питания ИПЛ7-200 при различных длительностях импульсов накачки представлены на рис. 4.

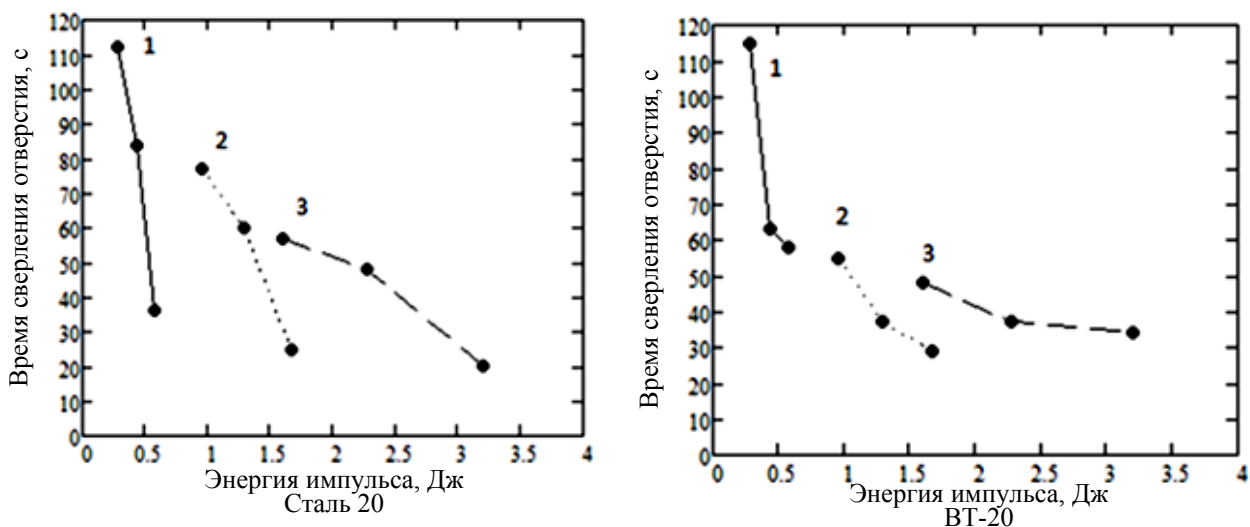


Рис. 4. Графики зависимости времени сверления отверстия от энергии импульсов лазерного излучения в одноквантронном режиме генерации при работе блока питания ИПЛ7-200 при длительности импульсов накачки: 1 – 0,5 мс, 2 – 1,5 мс, 3 – 2,5 мс

В одноквантронном режиме генерации при работе тандемного ИАГ:Nd-лазера с использованием блока питания СПИК-3 время сверления отверстия в образце, изготовленного из материала Сталь 20, снижается в 3,3 раза (с 115 с до 35 с) при увеличении энергии импульсов лазерной генерации в 2,1 раз (с 1,28 Дж до 2,72 Дж), при использовании блока питания ИПЛ7-200 – время сверления отверстия снижается в 3 раза (с 77 с до 25 с) при увеличении энергии импульсов лазерной генерации в 1,7 раз (с 0,96 Дж до 1,67 Дж).

При тех же режимах генерации тандемного лазера, время сверления отверстия в образце, изготовленного из материала ВТ-20 снижается при работе блока питания СПИК-3 в 2,5 раза (с 120 с до 48 с) при увеличении энергии импульсов лазерной генерации в 2,25 раз (с 1,28 Дж до 2,72 Дж), при работе блока питания ИПЛ7-200 – снижается в 1,8 раз (с 55 с до 29 с) при увеличении энергии импульсов лазерной генерации в 1,7 раз (с 0,96 Дж до 1,67 Дж).

Воздействие комбинированными импульсами, в случае задержки импульса-пичка 1,5 мс, на материал Сталь 20 позволяет сократить время сверления отверстия в 17,5 раз. Причем, дополнительной прирост суммарной энергии комбинированного лазерного импульса, обусловленный воздействием короткого импульса-пичка – незначителен (~1 Дж), а эффективность воздействия оказывается существенной, что оказывается более выгодным к простому увеличению энергии накачки, реализованному в случае одноквантронного режима генерации лазера.

Для образца из материала ВТ-20, при тех же режимах генерации, время сверления отверстия сокращается в 16 раз.

Графики зависимости времени сверления сквозного отверстия от энергии импульсов генерации лазерного излучения в комбинированном режиме генерации при работе блока питания ИПЛ7-200 при различных длительностях импульсов накачки представлены на рис. 5. Напряжение накачки блока СПИК-3 при этом составляло 550 В, что соответствовало энергии импульса лазерного излучения 2,72 Дж.

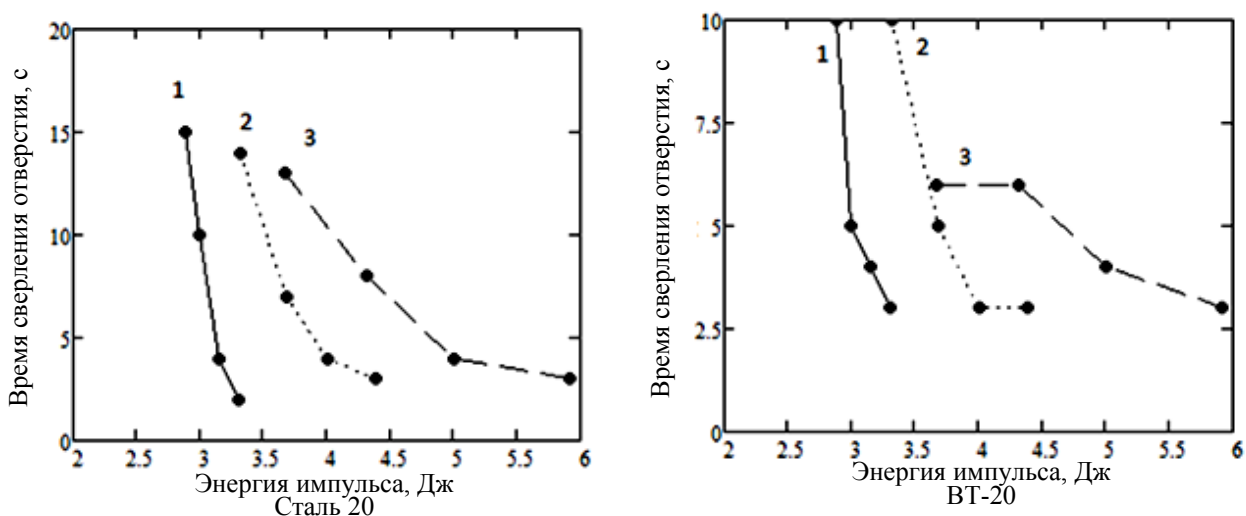


Рис. 5. Графики зависимости времени сверления отверстия от энергии импульсов лазерного излучения в комбинированном режиме генерации при работе блока питания ИПЛ7-200 при длительности импульсов накачки: 1 – 0,5 мс, 2 – 1,5 мс, 3 – 2,5 мс

Полученные результаты экспериментальных работ, демонстрируют целесообразность сверления сквозных отверстий в конструкционных материалах лазерным излучением с комбинированными импульсами.

Использование лазерного излучения с комбинированными импульсами позволило значительно сократить время сверления сквозных отверстий в образцах, изготовленных из материалов Сталь 20 и ВТ-20 (в 17,2 и в 16 раз) соответственно, по сравнению с временем сверления отверстий излучением с моноимпульсами.

Таким образом, полученные результаты позволяют установить параметры комбинированных лазерных импульсов, при которых обеспечивается наименьшее время сверления сквозного отверстия в образце:

– величина временной задержки генерации короткого импульса-пичка в комбинированном лазерном импульсе должна составлять не менее 1,5 мс;

– длительность короткого импульса-пичка – порядка 0,5 мс;

– энергия короткого импульса-пичка – от 0,5 Дж до 1 Дж.

Использование короткого импульса-пичка с энергией меньше 0,5 Дж не внесет вклад в сокращение времени сверления сквозного отверстия. Повышение энергии импульса-пичка выше 1 Дж нецелесообразно с точки зрения энергоэффективности, так как это не приведет к еще большему сокращению времени сверления сквозного отверстия.

Список литературы

1. Анисимов С. И., Имас Я. А, Романов Г. С., Ходыко Ю. В. Действие излучения большой мощности на металлы. – М.: Наука, 1970. 272 с.

2. Каюков С. В. Расширение возможностей импульсных YAG – лазеров миллисекундного диапазона длительности в технологии сварки.

3. Гаврилов А. В., Ершков М. Н., Сметанин С. Н., Солохин С. А., Федин А. В. Лазерные системы для бездетонационного обезвреживания оболочечных боеприпасов. – Известия Саратовского университета. Т. 12. – 2012.