

Сорокин Юрий Владимирович

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ДИСТАНЦИОННОГО ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ МОЩНЫХ ВОЛОКОННЫХ ЛАЗЕРОВ НА ОБЪЕКТЫ

Адрес статьи: www.gramota.net/materials/1/2011/6/30.html

Статья опубликована в авторской редакции и отражает точку зрения автора(ов) по рассматриваемому вопросу.

Источник

Альманах современной науки и образования

Тамбов: Грамота, 2011. № 6 (49). С. 88-91. ISSN 1993-5552.

Адрес журнала: www.gramota.net/editions/1.html

Содержание данного номера журнала: www.gramota.net/materials/1/2011/6/

© Издательство "Грамота"

Информация о возможности публикации статей в журнале размещена на Интернет сайте издательства: www.gramota.net

Вопросы, связанные с публикациями научных материалов, редакция просит направлять на адрес: almanac@gramota.net

УДК 621.373.826

Юрий Владимирович Сорокин
ФГУП «НПО Астрофизика»

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ДИСТАНЦИОННОГО ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ МОЩНЫХ ВОЛОКОННЫХ ЛАЗЕРОВ НА ОБЪЕКТЫ[©]

В последние годы, в связи с появлением мощных компактных волоконных лазеров и накопленным опытом создания систем формирования и наведения лазерного луча, стало возможным создание мобильных лазерных технологических комплексов [2; 4]. Необходимость в них подтверждается увеличением техногенных аварий, при которых необходимо проводить восстановительные операции во взрывоопасной среде и труднодоступными рабочими зонами. Использование мобильных лазерных комплексов достаточно востребовано в современных условиях в МЧС [3] и для технологических операций в радиопромышленности [1].

Процессы, происходящие при этих работах, были не полностью исследованы.

Анализ результатов проведенных экспериментов [1; 3] показал наличие нового эффекта - интенсивного поверхностного горения вещества в закрытой оболочке, приводящего к экспоненциальному росту давления продуктов разложения и, как следствие, достижению предельных прочностных значений стального корпуса сборки. Лазерное воздействие на закрытые заполненные оболочки носит сложный характер и представляет собой двухстадийный процесс. Процесс представляет собой различные физические механизмы: воздействие на внешнюю поверхность оболочки сборки лазерного излучения и тепловое воздействие локального горячего пятна на внутренней поверхности оболочки сборки на поверхностный слой наполняемого вещества.

Лазерное воздействие на оболочку

Воздействие на оболочки характеризуется значительным темпом нагрева. Лазерный нагрев можно производить со сквозным и с частичным проплавлением для достижения режимов резки и сварки [2].

Основные параметры режима лазерного нагрева - это энергия и длительность импульсов, диаметр сфокусированного излучения, частота следования импульсов, положение фокального пятна относительно поверхности свариваемых деталей. Длительность лазерного импульса для проплавления должна соответствовать тепловой постоянной времени для данного материала, приближенно определяемой по формуле:

$$\tau = \delta^2 / (4\alpha),$$

где δ и α - соответственно толщина и коэффициент температуропроводности материала. Значения τ для тонких деталей ($\delta = 0,1 \dots 0,2$ мм) составляют несколько миллисекунд, а для толщин 1-2 мм до секунды. По экспериментальным данным [1; 3] возможны два варианта: прожигание оболочки и барический разрыв оболочки по образующей [Там же].

Тепловое действие на наполняемое вещество

Легковоспламеняющиеся вещества - это вещества, способные к экзотермическому превращению, которое передается от реагирующего слоя к близлежащему, распространяясь в виде тепловой волны по всему веществу. Тепловая волна должна иметь температуру воспламенения, при которой вещество испытывает фазовое превращение, и обычно примерно равна 300°C. Горение возникает при сильных местных разогревах выше температуры вспышки и характеризуется медленным распространением по веществу зоны реакции (пламени) в результате прогрева впереди лежащих слоев вещества. Скорость горения зависит от физико-химических свойств наполняемого вещества и внешних условий (давления, температуры):

$$U = a + bP^{\nu},$$

где a - параметр, не зависящий от давления;

b - размерный коэффициент;

ν - безразмерный коэффициент, не зависящий от давления и близкий к единице;

P - давление.

Температуры фазового перехода вещества - плавления и испарения - являются функцией давления:

$$T_{кр} = T_{p=1} + a * P, \text{ где } a = 2 * 10^{-2} \text{ град/атм.}$$

При P менее критическом не возникает условие $T_{кр} = T_{вспышки}$ и происходит распространение волны горения. Это происходит при разгерметизации корпуса за счет прожигания отверстия (Рис. 1) или за счет прочностного разрушения корпуса (Рис. 2) [Там же].

В результате происходит выброс горевших паров через образовавшееся отверстие. Измерения теплового потока на обратной стороне поверхности показывают наличие различного фазового состояния вещества в зависимости от плотности, мощности и скорости разложения (График 1).

Проведенные эксперименты [Там же] показывают надежные результаты по горению и испарению полимера. При воздействии в диапазоне мощностей 10-50 Вт/кв.см. - расплавление и испарение вещества без горения. Массовая скорость испарения описывается выражением:

$$V_m = 0,0024 * 1,07^S * (r * \text{см}^{-2} * \text{с}^{-1}), S = I/I_0, I_0 = 1 \text{ Вт} * \text{см}^{-2}$$

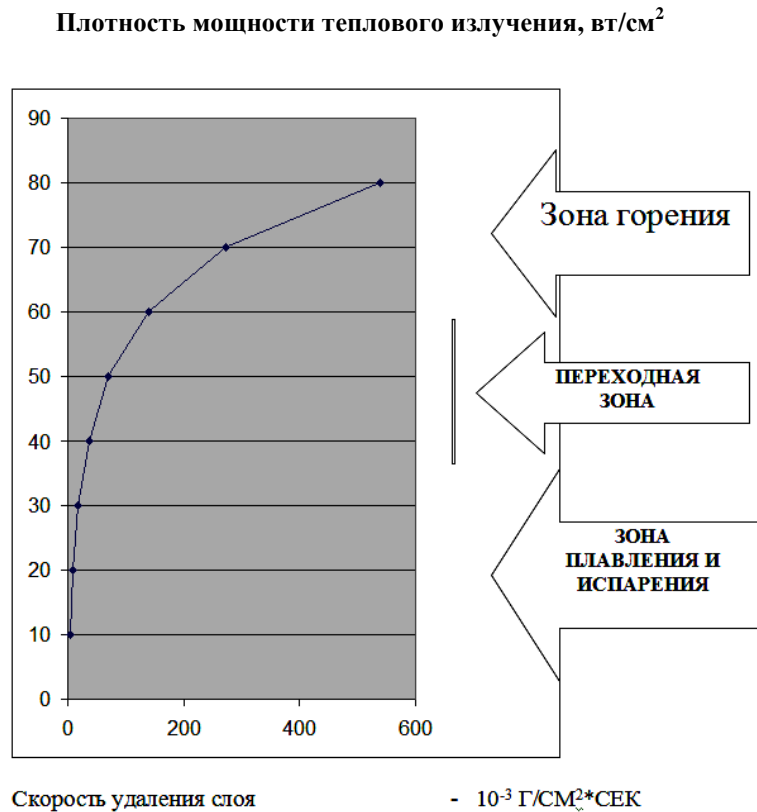


График 1. Зависимость скорости удаления слоя полимера от плотности мощности теплового излучения

Практическая скорость испарения и горения по результатам эксперимента около $0,4-0,6 \text{ г}/\text{кв.см} \cdot \text{сек}$. При горении скорость удаления увеличивается за счет тепловыделения и пропорциональна площади горения. Горение возникает при сильных местных разогревах выше температуры воспламенения и характеризуется медленным распространением по материалу в результате прогрева впереди лежащих слоев. Эффекты поверхностного горения описываются механизмами гидродинамических неустойчивостей [1; 4]: неустойчивости Релея-Тейлора и Кельвина-Гельмгольца, конвективная и др. Особенно характерна неустойчивость Кельвина-Гельмгольца, при которой может развиваться нелинейная стадия, приводящая к сильной вихревой турбулентности потока и как следствие к перемешиванию слоев испарившегося вещества и продуктов термического разложения, что приводит резкому возрастанию давления в рабочей зоне. Такие вихревые образования относятся к спиновым волнам воспламенения. Скорость горения зависит от физико-химических свойств наполняемого вещества и внешних условий (давления, температуры) и имеет характер, приведенный на Графике 2. Температура фазового перехода вещества - плавления и испарения - является функцией давления и имеет зависимость близкую к нелинейной.

В условиях локального поверхностного теплового контакта при экзотермических реакциях развивается поверхностная тепловая плазменная волна горения [5; 6]. Спиновое воспламенение во фронте волны происходит не по всему сечению фронта, а только в определенной части его, вблизи от стенки. Имеется головная часть (ядро) воспламенения, которая движется в трубе по спирали, за ней в виде спирали тянется светящийся хвост пламени (шлейф). Экспериментально доказанные особенности спина: в трубах круглого сечения ядро движется по спирали вдоль стенки; для данной горючей смеси шаг спина пропорционален диаметру трубы. При неоднородностях распространения развиваются гидродинамические неустойчивости: неустойчивости Релея-Тейлора и Кельвина-Гельмгольца, конвективная и др. Особенно характерна неустойчивость Кельвина-Гельмгольца, при которой может развиваться нелинейная стадия, приводящая к сильной вихревой турбулентности потока и как следствие к перемешиванию слоев испарившегося вещества и продуктов термического разложения, что приводит резкому возрастанию давления в рабочей зоне. Такие вихревые образования относятся к спиновым волнам воспламенения. Спиновое воспламенение во фронте волны происходит не по всему сечению фронта, а только в определенной части его, вблизи от стенки. Имеется головная часть (ядро) воспламенения, которая движется в трубе по спирали, за ней в виде спирали тянется светящийся хвост пламени (шлейф).

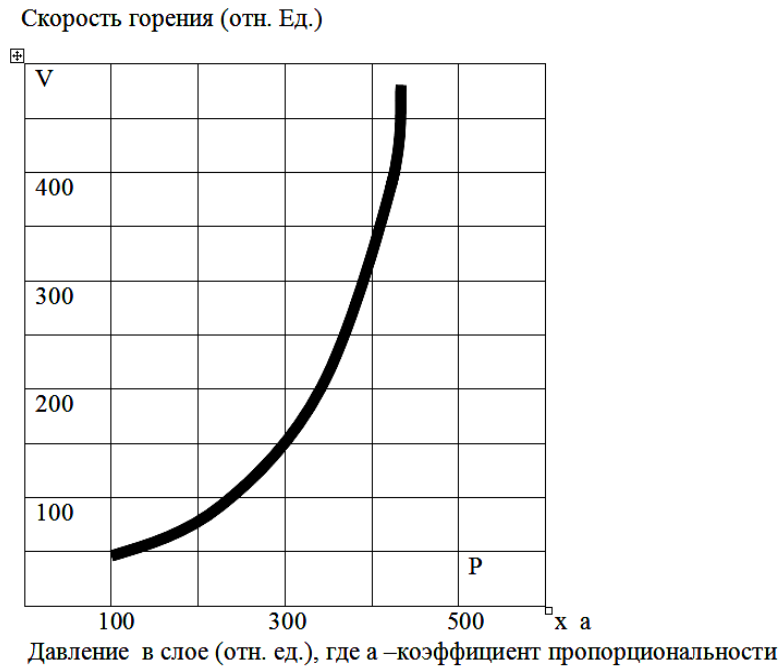


График 2. Скорость горения полимера от давления в слое

Экспериментально доказанные особенности спина:

- в трубах круглого сечения ядро движется по спирали вдоль стенки;
- для данной горючей смеси шаг спина пропорционален диаметру трубы;
- во время распространения фронта спиновой детонации наблюдаются колебания давления, соответствующие периоду спина.

Неустойчивость Кельвина-Гельмгольца для плоскопараллельного течения со скоростями V_1 , V_2 имеет фазовые скорости:

$$C = 0,5 (V_1 + V_2) \pm i 0,5 |V_1 + V_2|,$$

где вещественная часть фазовой скорости:

$$C^I = 0,5 (V_1 + V_2)$$

соответствует теореме Релея о том, что фазовая скорость возмущений лежит в интервале между максимальной и минимальной скоростями, а инкремент неустойчивости Кельвина-Гельмгольца

$$\gamma = 0,5 \kappa |V_1 + V_2|$$

Для неустойчивости Релея-Тейлора рассматривается неустойчивость двух слоев вещества с плотностями ρ_1 и ρ_2 в поле тяжести. Фазовая скорость возмущений

$$c^2 = -(\rho_2 - \rho_1)g(k(\rho_2 + \rho_1))^{-1}$$

Инкремент неустойчивости Релея-Тейлора

$$\gamma = c^I k = (Agk)^{0,5},$$

где число Атвуда: $A = (\rho_2 - \rho_1)(\rho_2 + \rho_1)^{-1}$

Неустойчивость Релея-Тейлора носит абсолютный, а не конвективный характер. Сравнение неустойчивостей показывает на возможное преимущество модели неустойчивости Релея-Тейлора из-за влияния разности плотностей нагретого и холодного слоев.

На начальном участке течение является неустановившимся. По результатам экспериментальных и теоретических исследований длина начального участка в ламинарном режиме определяется числом Рейнольдса:

$$l_m = 0,03 D Re$$

При критическом числе перехода от ламинарного к турбулентному режиму ($Re_{cr} = 2300$), длина начального участка составляет $l_m = 69 D$. При развитой турбулентности длина начального участка уменьшается и составляет $l_m = (25 - 40) D$.

Такой механизм может использоваться для прочностного разрушения корпуса. При нашем диаметре цилиндра 53 мм для турбулизации и спинового воспламенения необходима минимальная длина от 1250 мм. Видно, что длина в 200 мм не позволяет развиваться неустойчивости и привести к общему воспламенению. Происходит частичный разогрев и воспламенение.

Выводы. Проведенные эксперименты с локальным лазерным прожиганием цилиндрического образца показали наличие нового эффекта поверхностного горения твердого вещества в закрытых оболочках. Данный

эффект может быть использован для технологических целей при полевых работах МЧС и ремонтах на нефтегазопроводах. Расчет показал, что такие работы можно вести на локальных участках с длиной не более 100 см для нашего случая, тогда не происходит критического воспламенения вещества внутри полости. Для более крупных систем длина безопасного участка пропорционально увеличивается и может достигать размера более 10 м.

Список литературы

1. **Валуев В. В., Жиган И. П., Игнатьков С. Н., Сорокин Ю. В., Григорьев Г. С.** Процессы лазерной резки и сварки слоистых разнородных материалов // Материалы Международной научно-технической конференции «Фундаментальные проблемы радиоэлектронного приборостроения». М.: Энергоатомиздат, 2010. Ч. 2. С. 323-326.
2. **Григорьянц А. Г., Шиганов И. Н.** Лазерная техника и технология // Лазерная сварка металлов. М.: Высшая школа, 1988. Т. 5.
3. **Жиган И. П.** Лазер против мин и снарядов // Оборонный заказ. 2010. № 4. С. 33-36.
4. **Томи С., Кон Г., Фоллертсен Ф.** Применение высокоомощных волоконных лазеров в процессах сварки // <http://library.bmstu.ru/BooksSearcher.aspx?author=%d2%ee%ec%e8+%d1>. Автоматическая сварка. 2006. № 7. С. 37-39.
5. **Шкадов В. Я.** Некоторые методы и задачи теории гидродинамической устойчивости // Труды НИИ механики. М.: Изд-во МГУ, 1973. Вып. 25.
6. **Энциклопедия низкотемпературной плазмы** / под ред. акад. В. Е. Фортова. М.: Наука, 2000. Т. 1. С. 130-133; Т. 2. С. 145-147.

УДК 621.373.826

Юрий Владимирович Сорокин
ФГУП «НПО Астрофизика»

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПТИЧЕСКИЕ ВОЛОКНО ДЛЯ ПЕРЕДАЧИ МОЩНОГО ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ[©]

Работа выполнена по гранту № 3945 Министерства науки и просвещения для МИРЭА (ТУ).

Передача мощного лазерного излучения для технологических целей при помощи волоконных световодов является актуальной задачей современной оптоэлектроники. Препятствием в реализации волоконно-оптических систем передачи мощного лазерного излучения является появление нежелательных нелинейных эффектов: вынужденного рассеяния ВРМБ и ВКР и четырехфотонного смешения. Решение данной проблемы приводит к разработке волоконных световодов с увеличенным сечением поля основной моды.

Фотонный кристалл, в частности одномерный (Рис. 1), - это периодическая диэлектрическая структура, период которой состоит, как минимум, из двух слоев. Рассмотрим простейший пример одномерной бесконечной периодической структуры. Показатель преломления такой структуры (Рис. 1) определяется с помощью периодической функции:

$$n(x) = n_1, \quad 0 < x < h_1 \quad (1)$$

$$n(x) = n_2 \quad h_1 < x < \Lambda \quad (2)$$

где $\Lambda = h_1 + h_2$ - период решетки.

Электрическая и магнитная проницаемости зависят от показателя преломления традиционным образом:

$$n_m = (\epsilon_m \mu_m)^{0.5}, \quad m=1, 2 \quad (3)$$

Таким образом, одномерный фотонный кристалл есть ничто иное как, зеркало Брэгга, состоящее из альтернативных слоев с низким и высоким показателем преломления. Такая структура препятствует распространению света в определенном диапазоне длин волн, зависящем от угла падения плоской волны на структуру. Другими словами для фотонно-кристаллических структур существует область частот, где распространение света внутри материала частично или полностью запрещено. Эта область называется запрещенной зоной, по аналогии с твердым телом (кристаллом), где области возможной энергии электронов «отсортированы» запрещенными зонами.

Эффект непропускания (отражения) света в такой структуре используется в многослойных диэлектрических зеркалах. При этом оптическая толщина слоев должна быть сравнима с длиной волны, а также при изменении угла падения область запрещенных длин частот смещается.

С другой стороны, излучение может распространяться параллельно слоям, и такая структура представляет собой многоканальный планарный волновод, в котором становится существенной связь каналов. Эта связь ведет к «размазыванию» дисперсионных кривых отдельно взятого планарного волновода и образованию зоны, подобной зонам твердого тела (зоны пропускания). Аналогичные ситуации происходят и в двумерных фотонных кристаллах (ФК), Брэгговских оптических волокнах, состоящих, например, из регулярно