

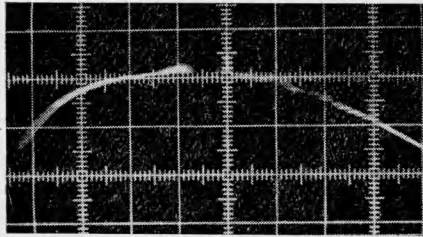
ОБ ОСОБЕННОСТЯХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ С МЕТАЛЛАМИ КВАЗИСТАЦИОНАРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ЛАЗЕРА

Б. М. Жиряков, А. К. Фаннибо, Н. Н. Юрышев
(Москва)

Излучение импульсного лазера на твердом теле в условиях свободной генерации (без применения устройств модуляции добротности) может осуществляться в двух режимах, зависящих от параметров резонатора. Первый из них, так называемый пичковый режим, достаточно подробно описан в литературе. Второй — «квазистационарный», («квазинепрерывный», «беспичковый») исследован значительно менее. Характерная осциллограмма такого излучения приведена на фиг. 1.

В статье приводятся результаты экспериментов по изучению воздействия квазистационарного излучения на металлы. Сравнительный анализ этих результатов с результатами воздействия пичкового излучения, имеющего ту же энергию и суммарную длительность импульса, но существенно отличного от квазистационарного по структуре, позволяет сделать заключение о качественной разнице механизмов такого взаимодействия. Делается вывод о перспективности использования квазистационарного излучения для целей сварки и плавления металлов.

1. Излучение лазера, работающего по традиционной схеме с плоскопараллельным резонатором Фабри—Перо, имеет сложную структуру и при общей продолжительности $\sim 10^{-3}$ сек состоит из набора большого количества (порядка 10^2) хаотически возникающих коротких импульсов, так называемых «пичков». Их длительность имеет величину примерно $5 \cdot 10^{-7}$ сек, а частота следования $\sim 10^6$ гц, поэтому мощность, которую несет каждый такой пичок, на 1—2 порядка выше средней мощности всего импульса в целом.



Фиг. 1. Осциллограмма квазистационарного (беспичкового) излучения импульсного рубинового лазера. Скорость развертки 10^{-4} сек/см

Взаимодействие с металлами сфокусированного лазерного излучения, имеющего такую структуру и плотность потока выше 10^{12} эрг / $см^2$ сек [1], приводит к разрушению образцов, сопровождающемуся образованием кратера, истечением плазменных струй и уносом материала мишени в виде расплавленных капель, масса которых может достигать десятков миллиграммов. Каждый пичок воздействует на металл как

независимый микроимпульс, образуя свою зону разрушения, сопровождающегося испарением и выбросом вещества мишени [2], т. е. время взаимодействия излучения с металлом не превышает длительности пичка.

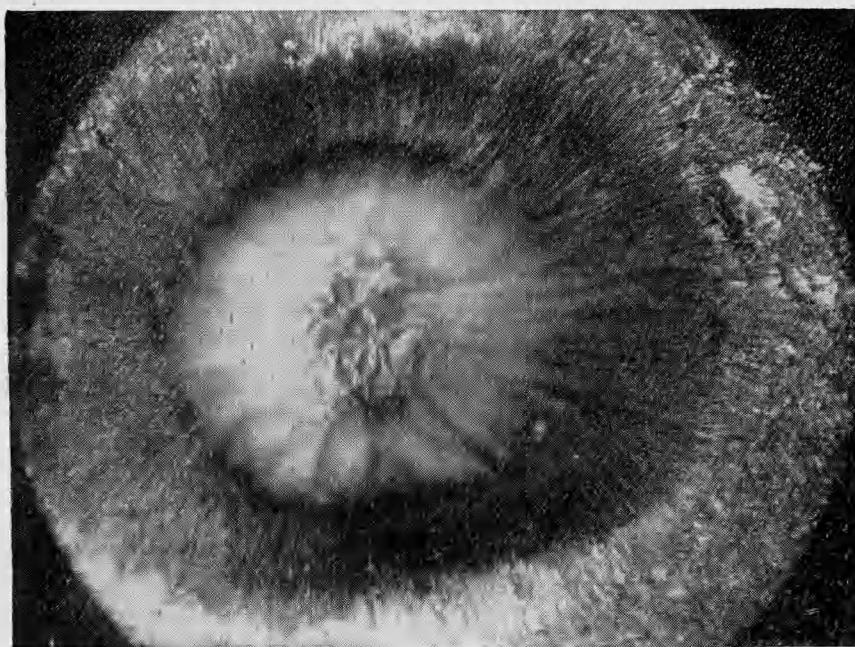
На фоторазвертках такого взаимодействия видно, что примерно к середине импульса интенсивность плазменных струй падает. Это можно объяснить поглощением и отражением излучения лазера продуктами разлета. Причем основную роль здесь играет жидкая фаза, так как коэффициент поглощения плазмы с концентрацией атомов $\sim 10^{19}$ $см^{-3}$ (что имеет место при таких процессах) как показывают расчеты равен 10^{-3} — 10^{-4} $см^{-1}$ для длины волны 6943Å.



Фиг. 2. Фоторазвертка взаимодействия пичкового импульса с металлом. Середина процесса. Время течет слева направо. Скорость развертки равна 15 000 об/мин

На фиг. 2 приведена фоторазвертка воздействия лазерного импульса на поверхность иодидного циркония. Фоторазвертка дает некоторое представление об экранирующей роли капель расплавленного металла. Скорость разлета жидкой фазы равна 10^3 — 10^4 см / сек, поэтому капли, образовавшиеся в начальный момент взаимодействия, до его окончания могут удалиться от мишени на расстояние всего в несколько миллиметров. На фигуре видны жидкие частицы, которые не успев вылететь из конуса сфокусированного лазерного луча, подвергаются воздействию последующих пичков образовавшего их импульса, поглощают их, испаряются и, образуя свои плазменные факелы, изменяют траекторию из-за реактивного действия последних.

Скорость нагрева металла достигает величины 10^{10} град / сек, а температурный градиент — 10^6 град / см. Эффективная глубина прогрева за время высвечивания пичка близка по порядку величины размерам области поглощения лазерного излучения. Поэтому его тепловое воздействие на материал вне этой области мало. Причиной разрушения вещества является тепловой взрыв, происходящий в области поглощения при давлениях 10^3 — 10^6 атм [2]. Это происходит потому, что ни теплопроводность, ни испарение не могут обеспечить за время пикового воздействия полного отвода энергии, внесенной в облученную зону. Поэтому эффект повышения твердости в районе разрушения [3] следует объяснять не только тепловыми, но и деформационными процессами, обусловленными импульсами высокого давления, которые также являются следствием пикового характера излучения.



Фиг. 3. Поверхность иодидного циркония после взаимодействия с беспичковым импульсом. Увеличение $\times 30$. Область фокусировки 10^{-2} см²

2. Подавлению хаотических пульсаций генерации лазера способствует использование резонаторов со сферическими зеркалами при концентрическом или конфокальном их расположении [4]. Картина излучения в этом случае имеет вид непрерывной генерации, которая характеризуется наличием плавной составляющей, иногда слегка промодулированной периодическими колебаниями. Время генерации равно общей длительности импульса аналогичного лазера с пиковым режимом ($\sim 10^{-3}$ сек); их выходная энергия, как правило, имеет одну и ту же величину, однако, мощность излучения определяется в этом случае не мощностью пичка, а энергией и длительностью импульса в целом, и значение ее, как минимум, на порядок ниже, чем при пиковом излучении той же энергии.

В работе использовался лазер с концентрическим резонатором, образованным сферическими зеркалами с радиусами, равными 175 мм. Коэффициенты отражения зеркал составляли 99 и 50%. Строго в центре резонатора находился рубиновый стержень длиной 120 мм и диаметром 12 мм. Накачка осуществлялась импульсной лампой ИФПП-7000. Выходная энергия импульса генерации достигала 10 дж, а плотности потока — значений 10^{12} — 10^{13} эрг / см²сек.

Процесс взаимодействия квазистационарного излучения с металлами существенно отличается от рассмотренного выше. На фоторазвертках такого взаимодействия равномерный шлейф паров металла, занимает обычно весьма небольшую и едва заметную область вблизи поверхности мишени; при этом плазменные ступки и металл, уносимый в жидкой фазе, отсутствует. Сравнивая интенсивность свечения, можно отметить значительно меньшую плотность паров металла по сравнению с плотностью факелов плазмы при пиковом воздействии. Испарение и, видимо, сублимация, неизбежные в этих условиях, уносят сравнительно небольшую массу вещества. Величина ее не пре-

вышает, как показали измерения, десятых долей миллиграмма. Все это говорит об отсутствии экранировки лазерного излучения продуктами разлета мишени при ее облучении квазистационарным импульсом, что значительно повышает коэффициент использования такого импульса при решении научных и технических задач.

На поверхности образца разрушение отсутствует, а в зоне воздействия имеется оплавленная область, внешний поперечник которой в 2—3 раза превосходит диаметр кратера, полученного с той же энергией и степенью фокусировки при пиковом воздействии.

На фиг. 3 дана фотография облученной поверхности иодидного циркония, на которой отчетливо видны зоны различных кристаллических структур — в частности столбчатой структуры — обусловленные чисто тепловыми факторами. Изменение формы поверхности объясняется процессами отвердевания металла в ванне расплава. Резкого повышения твердости в районе воздействия луча, какое имело место при пиковом облучении, не наблюдалось.

3. Таким образом, механизм квазистационарного взаимодействия лазерного излучения с металлами, качественно можно представить себе так. В отличие от импульса с пиковой структурой при квазистационарном импульсе время воздействия равно 10^{-3} сек. На 1—2 порядка уменьшается плотность потока при неизменной энергии излучения лазера, и скорость нагрева металла становится сравнимой по величине со скоростью отвода тепла за счет теплопроводности, которая начинает играть основную роль в процессе передачи энергии.

Можно считать, что применение режима пиковой генерации может дать хорошие результаты там, где нужно испарить или разрушить вещество, и крайне затруднено при решении задач, связанных с процессами, где основную роль должен играть механизм теплопроводности, например, при сварке или плавлении металлов. Здесь предпочтительнее следует отдать применению режима квазистационарной (беспиковой) генерации лазера на твердом теле.

В заключение авторы благодарят С. П. Анохова за помощь в эксперименте.

Поступила 12 I 1968

ЛИТЕРАТУРА

1. Брагинский В. Б., Минакова И. И., Руденко В. Н. Некоторые механические эффекты при взаимодействии импульсного электромагнитного излучения с металлами. Ж. техн. физ., 1967, т. 37, вып. 6. 4
2. Жиряков Б. М., Фаннибо А. К., Юрышев Н. Н. Некоторые деформационные эффекты взаимодействия лазерного излучения с металлом. ПМТФ, 1967, № 4.
3. Аверьянова Т. М., Миркин Л. И., Филипецкий Н. Ф. Действие светового луча на дислокационную структуру кристаллов. ПМТФ, 1966, № 1.
4. Зубарев Т. Н., Соколов А. К. Зависимость от времени вынужденного излучения в рубиновом лазере со сферическими зеркалами. Докл. АН СССР, 1964, т. 159, № 3.

МОДЕЛЬ «ПЕРМАНЕНТНОЙ НЕСТАЦИОНАРНОСТИ» ЗОНЫ ГОРЕНИЯ СМЕСЕВЫХ КОНДЕНСИРОВАННЫХ СИСТЕМ

С. С. Новиков, П. Ф. Похил, Ю. С. Рязанцев, Л. А. Суханов

(Москва)

В работах [1,2] начаты исследования влияния одной из существенных особенностей механизма горения конденсированных смесей в зоне присущей зоне горения нестационарности, обусловленной гетерогенной, статистической структурой конденсированной фазы (*k*-фазы) на скорость горения. Хотя средняя скорость горения при достаточном измельчении и перемешивании компонентов и при неизменных внешних условиях (давлении и температуре) остается постоянной в процессе горения данного образца, тем не менее, микроструктура зоны горения имеет флуктуационный характер. В системе отсчета, жестко связанной со средним уровнем горячей поверхности во всякой точке с фиксированными координатами по мере сгорания вещества *k*-фазы, будут появляться то горючее, то окислитель. Окислитель и горючее даже в стационарных условиях имеют различную скорость горения, поэтому мгновенная скорость горения не может оставаться постоянной, а поверхность конденсированной фазы не может оставаться плоской. Если окислителем является перхлорат аммония, то он способен к самостоятельному горению [3], тогда как участки горючего могут гореть лишь при подводе окислителя (обычно это осуществляется путем молекулярной диффузии). Возможен также случай (например, бидисперсные системы [4] или случай плавящихся на горячей поверхности окислителя и горючего), когда участки, обогащенные горючим, также способны к самостоятельному горению и обладают при данных внешних условиях своей характерной стационарной скоростью горения.