

05.1;08;12

©1995

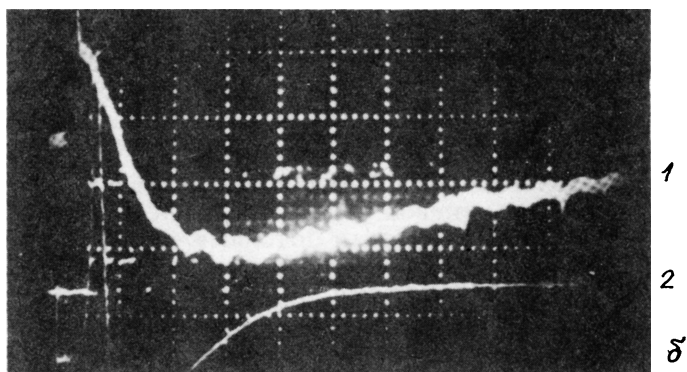
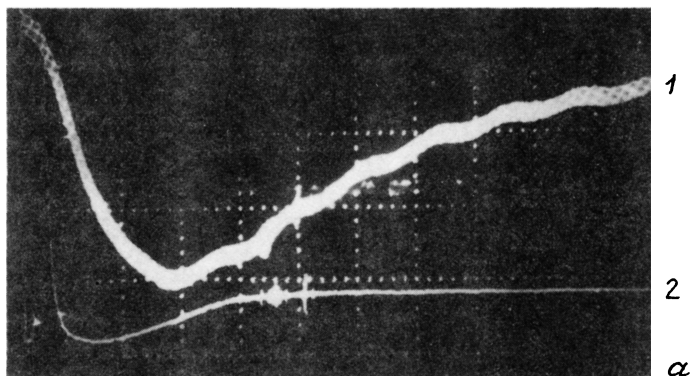
ВОЗБУЖДЕНИЕ УПРУГИХ ВОЛН В ТИТАНОВЫХ ПЛАСТИНАХ ПРИ ИМПУЛЬСНОМ ЛАЗЕРНОМ ВОЗДЕЙСТВИИ

А.Н.Бекренев, А.А.Паркин, С.С.Жаткин

При интенсивных импульсных воздействиях (в частности, при лазерном) в материалах могут возникать явления, трудно описываемые в рамках классической теории равновесных процессов. Это обусловлено комплексным влиянием возникающих в материалах высоких градиентов температур, термонапряжений и концентрации точечных дефектов за счет сверхвысоких скоростей нагрева и охлаждения. Например, при лазерном воздействии, так же как и при взрыве, обнаружен аномальный массоперенос, который не объясняется обычными диффузионными процессами [1,2]. Аномальный массоперенос проявляется при лазерном и электронно-лучевом легировании, сопровождаемом интенсивными турбулентными потоками жидкого расплава за счет появляющихся градиентов сил поверхностного натяжения [3].

В то же время лазерная обработка материалов, особенно тонких, может сопровождаться высокими скоростями их деформации, вызванными градиентом температур и соответственно возникающими термонапряжениями, или градиентом давления в случае интенсивного испарения материала и образования плазмы. При этом в материалах могут возбуждаться упругие волны [4].

В данной работе приведены предварительные экспериментальные исследования по возбуждению резонансных упругих колебаний после воздействия импульсного лазерного излучения. Исследования проводились на установке ГОС-1001 с $\lambda = 1.06$ мкм. В качестве материала был выбран титановый сплав ОТ-4 в виде пластин толщиной 0.5, шириной 20 мм и переменной длины. Лазерное воздействие проводилось в среде аргона. Диаметр пятна был выбран 13 мм, плотность мощности лазерного излучения составляла $1.5 - 2.5 \cdot 10^5$ Вт/см². Процессы нагрева образцов и возбуждения упругих волн контролировались с помощью специально разработанного и изготовленного вихретокового прибора с индукционным датчиком, который располагался с обратной стороны обрабатываемой пластины. Частота генерации подбиралась таким образом, чтобы глубина про-



Осциллограмма сигналов от вихревого индукционного датчика (кривая 1) и фотопирометра тыльной стороны титановой пластины (кривая 2) при воздействии лазерного импульса длительностью 1.4 мс с плотностью мощности $q = 1.5 \cdot 10^5$ Вт/см²:

a — пластина размерами $0.5 \times 20 \times 100$ мм. Скорость развертки $S_T = 10$ мс/дел, чувствительность по входу сигнала от вихретокового датчика $S_p = 20$ мВ/дел, от фотопирометра $S_T = 100$ мВ/дел; *b* — пластина размерами $0.5 \times 20 \times 50$ мм. $S_T = 5$ мс/дел, $S_T = 50$ мВ/дел, $S_p = 20$ мВ/дел.

никновения поля была соизмерима с толщиной пластины, т. е. 0.5 мм. Одновременно контролировалась температура поверхности со стороны воздействия лазерного излучения и с обратной стороны образцов с помощью фотоэлектрических пирометров [5,6]. Сигнал с фотоэлектрических пирометров и вихретокового датчика регистрировался двухлучевым запоминающим осциллографом СВ-17.

На рисунке приведены осциллограммы сигналов от вихретокового прибора (кривая 1) и фотопирометра обратной стороны титановой пластины (кривая 2). Наибольшее из-

менение сигнала от вихретокового датчика приходится на момент времени, когда тепловой фронт достигает обратной стороны пластины (начало роста температуры поверхности). С понижением температурного градиента по толщине пластины изменения сопротивления материала образца уменьшаются. При этом обнаруживается, как видно из рисунка, возникновение колебательных процессов. Как показали наши исследования, частота этих релаксационных колебаний зависит от геометрии образцов. Диапазон изменения частот в экспериментах составлял 50–500 Гц. При этом колебания возбуждаются на образцах с определенной длиной, т. е. они являются резонансными. С увеличением длины образца частота колебаний падает, поскольку собственные частоты упругих волн в пластине определяются упругими свойствами материала и уменьшаются с ростом ее длины и ширины [7]. На осциллограммах наблюдаются колебания с частотами 80 Гц (рисунок, а, пластина длиной 95 мм) и 300 Гц (рисунок, б, пластина длиной 50 мм).

Наиболее вероятными причинами возбуждения упругих волн в данном случае представляются следующие:

- механический импульс, вызванный низкороговым пробоем вблизи поверхности титана;
- высокие значения термонапряжений, вызванные большими скоростями деформации и высокими температурами;
- крупномасштабные движения в ванне расплава.

Возможности низкорогового пробоя вблизи мишени при импульсном лазерном воздействии подтверждены многочисленными исследованиями [8]. При этом пороговая интенсивность падающего излучения может составлять $10^6 - 10^7$ Вт/см² в зависимости от типа мишени, диаметра пятна и давления газа вблизи обрабатываемой поверхности. Однако низкие значения плотности мощности лазерного излучения ($1.5 - 2 \cdot 10^5$ Вт/см²), а также измерения поверхностной температуры, не превышавшей 2300 К в данных экспериментах, не позволяют однозначно говорить о возможности низкорогового пробоя. К тому же повторное облучение зоны с той же интенсивностью увеличивает амплитуду колебаний, хотя плотность поглощенного потока и температура поверхности при этом падают из-за увеличения отражательной способности оплавленной поверхности зоны после первого облучения. В то же время при высоких температурах и скоростях деформации, характерных для процессов импульсной лазерной обработки, не исключается возможность протекания динамической рекристаллизации, которая может носить периодический характер [9,10]. При этом проходят конкурирующие процессы, уменьшающие (повышение температуры) и увеличивающие (увеличе-

ние скорости деформации) внутренние напряжения. Поэтому процессы динамической рекристаллизации могут стать источником возбуждения упругих волн в пластине. Кроме того, при лазерной обработке с оплавлением наблюдаются крупномасштабные пульсации расплава [11], частота которых составляет 100–1000 Гц. Частоты наблюдаемых в титановой пластине упругих волн укладываются в данный диапазон, что указывает также на вероятность возбуждения колебаний в ней по данному механизму. В целом же причины возбуждения колебаний требуют для однозначного толкования дальнейших экспериментальных исследований.

Работа выполняется в рамках гранта, финансируемого Госкомвузом России.

Список литературы

- [1] *Быковский Ю.И.* Ионная и лазерная имплантация металлических материалов. М., 1991. 320 с.
- [2] *Бекренев А.Н., Камашев А.В., Путилин В.А.* // Письма в ЖТФ. Т. 19. В. 13. С. 14–15.
- [3] *Углов А.А., Смуров И.Ю., Лашин А.М., Гуськов А.Г.* Моделирование теплофизических процессов импульсного лазерного воздействия на металлы. М., 1991. 285 с.
- [4] *Коротеев Н.И., Шумай И.Л.* Физика мощного лазерного излучения. М., 1991. 310 с.
- [5] *Бекренев А.Н., Жаткин С.С., Паркин А.А.* // ФХОМ. 1994. В. 6.
- [6] *Паркин А.А., Жаткин С.С.* В кн: Обработка материалов концентрированными потоками энергии. Пенза, 1988. С. 22–23.
- [7] *Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М.* Теория упругости. М., 1987. 246 с.
- [8] *Прохоров А.М., Конов В.И., Урсу И., Михайлеску И.Н.* Взаимодействие лазерного излучения с металлами. М., 1988. 537 с.
- [9] *Фрост Г.Дж., Эшби М.Ф.* Карты механизмов деформации. Челябинск, 1989. 327 с.
- [10] *Судзуки Т., Есинага Х., Такеути С.* Динамика дислокаций и пластичность. М., 1989. 293 с.
- [11] *Моряцев С.Ф.* // ФХОМ. 1988. В. 6. С. 110–111.

Самарский государственный
технический университет

Поступило в Редакцию
19 сентября 1994 г.