

05;07

Особенности формообразования отверстий в алюминиевом ультрамелкозернистом сплаве лазерным излучением

© П.Ю. Кикин, А.И. Пчелинцев, Е.Е. Русин

Институт машиноведения РАН (Нижегородский филиал),
Нижегород
E-mail: rusin@mech.unn.ru

Поступило в Редакцию 9 апреля 2007 г.

Показано, что процессы взаимодействия лазерного излучения с алюминиевыми ультрамелкозернистыми сплавами существенно различаются по сравнению с теми же крупнокристаллическими сплавами, что приводит к изменению геометрии отверстий при лазерной размерной обработке.

PACS: 61.82.Rx

Объемные ультрамелкозернистые (УМЗ) материалы, полученные методами интенсивной пластической деформации со средним размером зерен до $\sim 1 \mu\text{m}$, отличаются своими физико-механическими свойствами от материалов с крупнокристаллической (КК) структурой [1]. Исследование этого класса материалов представляет в настоящее время большой интерес с научной и практической точки зрения. Последнее определяет перспективность использования новых технологий, в частности лазерных, для целей модификации и размерной обработки указанных материалов.

Если процессы при воздействии лазерного излучения на традиционные материалы изучены достаточно подробно как в экспериментальном, так и в теоретическом отношении, то существует лишь ограниченная информация о процессах и результативности лазерного воздействия на УМЗ-материалы [2,3]. Это не позволяет в настоящий момент определить механизмы, ответственные за отличие процессов, происходящих в УМЗ-структурах по сравнению с КК-структурами при воздействии на них лазерного излучения.

В работе [2] было показано, что при лазерной размерной обработке время, за которое образуется отверстие в алюминиевом сплаве 1420 с УМЗ-структурой, меньше, чем у того же сплава с КК-структурой.

В представленной работе рассматриваются особенности формирования отверстий при лазерном импульсном воздействии на алюминиевый УМЗ-сплав 1420 (Al — 5.5% Mg — 2.2% Li — 0.12% Zr), полученный методом равноканального углового прессования, и тот же сплав в КК-состоянии. Структура УМЗ-сплава характеризуется средним размером зерна $\sim 0.5\text{--}1\ \mu\text{m}$. По границам зерен присутствуют выделения частиц S-фазы (Al_2LiMg), размер которых не превышает $0.2\text{--}0.4\ \mu\text{m}$. Средний размер зерен КК-структуры составлял $10\text{--}15\ \mu\text{m}$.

Для проведения исследований использовался импульсный лазер на алюмоиттриевом гранате, работавший в режиме свободной генерации (длительность импульса излучения $\tau_1 \sim 200\ \mu\text{s}$, энергия излучения изменялась в диапазоне от 0.2 до 1.5 J). Излучение лазера фокусировалось на поверхность образцов линзой с фокусным расстоянием $F = 30\ \text{mm}$.

Как показали результаты исследований, диаметр входного отверстия d_1 и выходного отверстия d_2 у образцов с УМЗ-структурой больше, чем диаметр входного и выходного отверстий у образцов с КК-структурой. Профиль отверстия у образцов с УМЗ-структурой имеет конусообразную форму, что не наблюдается у образцов с КК-структурой, у которых профиль отверстия ближе к цилиндрической форме (конусность незначительна). На рис. 1 показан характерный профиль отверстий для образцов с УМЗ-структурой и КК-структурой. На рис. 2 представлена зависимость диаметра входного отверстия от энергии излучения для УМЗ- и КК-структуры. Возможной причиной отличия могут быть следующие механизмы: связанные с параметрами излучения лазера и с поглощающей способностью материала, а также с тепловыми свойствами материала. Лазерное излучение по своему сечению неравномерно. Наибольшая плотность потока энергии сосредоточена в центральной части и убывает к периферии. В идеальном случае распределение энергии по поперечному сечению имеет гауссову форму. При фокусировке это распределение излучения сохраняется [4], поэтому при поглощении излучения поверхностью металла тепловое воздействие на поверхность убывает от центра к периферии. В работе [2] отмечено, что одной из возможных причин более быстрого образования отверстий в УМЗ-структуре по сравнению с КК-структурой

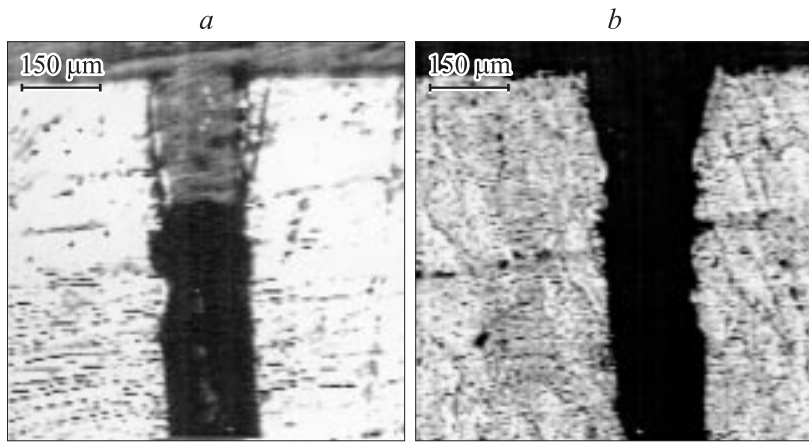


Рис. 1. Профили отверстий, образованных лазерным излучением в КК-структуре (а) и в УМЗ-структуре (b).

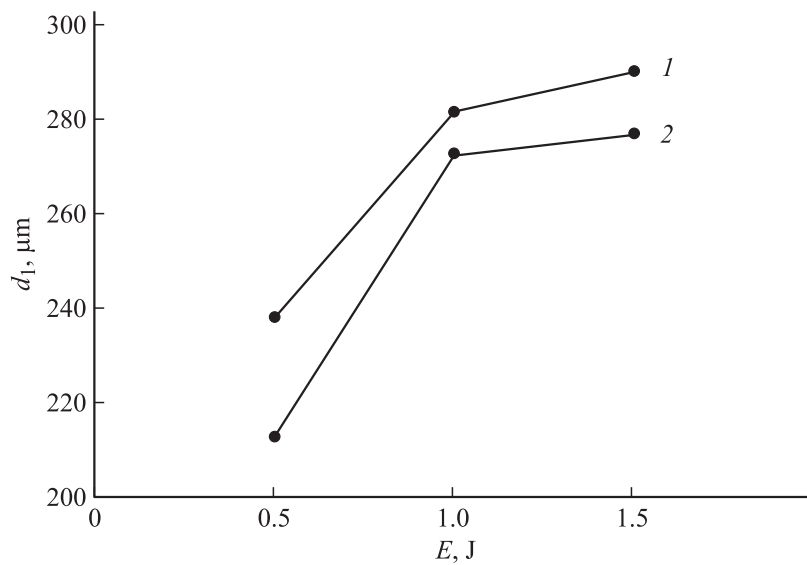


Рис. 2. Зависимость диаметров входных отверстий от энергии излучения лазера для КК-структур (2) и УМЗ-структур (1).

является меньшей теплопроводность у образцов с УМЗ-структурой. За счет меньшего отвода тепла в материал процессы плавления и испарения, ответственные за образование отверстия, протекают более интенсивно, что и определяет время образования отверстия. Малая теплопроводность вызывает в образцах с УМЗ-структурой повышение температуры на периферийных областях пучка излучения, что приводит к увеличению поглощения лазерного излучения [3] и дальнейшему увеличению температуры, что в конце концов приводит к расплавлению материала и на периферийных областях сечения лазерного излучения. Расплавленный металл под действием давления паров, образовавшихся в центральном канале отверстия, удаляется, что и приводит к образованию конусообразного отверстия. У образцов с КК-структурой, вследствие отвода тепла за счет большей теплопроводности, рассмотренный процесс не приводит к расплавлению материала на периферийных областях. По мере углубления отверстия излучение экранируется выбросами парокапельной фазы материала, а также плазмой, возникающей при поглощении излучения парами сплава. Интенсивность излучения на периферийных областях уменьшается, конусность отверстия заметно снижается и становится по форме ближе к цилиндрической.

Для проверки механизма образования конусообразного отверстия у УМЗ-образцов был проведен эксперимент, в котором с помощью диафрагмы убирались периферийные области излучения. Энергия излучения лазера без диафрагмы и с ней была одинакова. В результате был получен профиль отверстия, который был близок к цилиндрическому и не отличался от профиля отверстий, как у образцов с КК-структурой. Входной диаметр и соответственно конусность уменьшились. Отношение диаметра входного отверстия, полученного без диафрагмы, к диаметру входного отверстия с диафрагмой для УМЗ-структуры составило $1.3 \div 1.35$, а в КК-структуре $1.05 \div 1.1$.

Малое изменение входного диаметра отверстия при увеличении энергии излучения лазера от $E = 1.0$ до $E = 1.5 \text{ J}$ (рис. 2) связано с тем, что при этих энергиях излучения работает все поперечное сечение активной среды лазера и периферийная зона излучения не увеличивается.

Работа выполнена при поддержке РФФИ, грант 05-08-17955.

Список литературы

- [1] *Валиев Р.З., Александров И.В.* Наноструктурные материалы, полученные интенсивной пластической деформацией. М.: Логос, 2000. 272 с.
- [2] *Кикин П.Ю., Перевезенцев В.Н., Пчелинцев А.И., Русин Е.Е.* // Письма в ЖТФ. 2006. Т. 32. В. 19. С. 47–51.
- [3] *Кикин П.Ю., Пчелинцев А.И., Русин Е.Е.* // Письма в ЖТФ. 2004. Т. 30. В. 21. С. 7–10.
- [4] *Григорьянц А.Г.* Основы лазерной обработки материалов. М.: Машиностроение, 1989. 301 с.