

Мл. научн. сотр. Д.Р. Аврамец,
Канд. техн. наук В.М. Косенков
(ИИПТ НАН Украины, г. Николаев)

ДЕФОРМИРОВАНИЕ МАТЕРИАЛОВ ИМПУЛЬСНЫМИ И ИМПУЛЬСНО–СТАТИЧЕСКИМ СПОСОБАМИ

Проаналізовано зміни параметрів мікроструктури матеріалів, підданих впливові трьох способів двовісного навантажування (статичного, імпульсного електрогідравлічного та комбінованого).

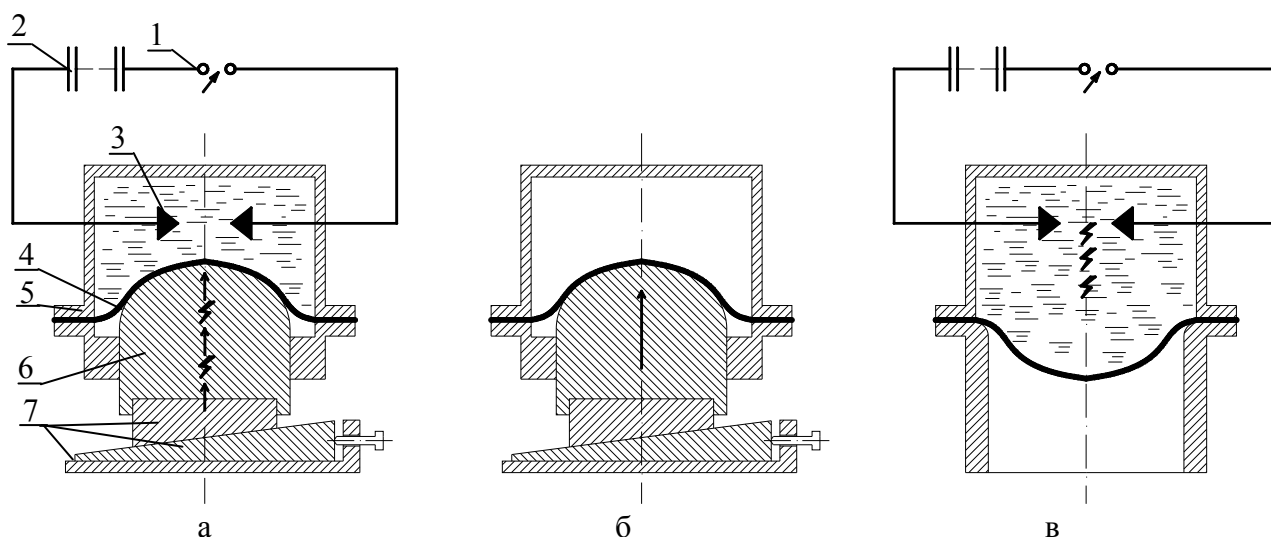
DEFORMATION OF MATERIALS IMPULSIVE AND IMPULSIVE–STATIC BY METHODS

The changes of parameters of microstructure of materials sheets under influence of three modes of biaxial treatment (pulse, pulse electro hydraulic and mixed) was analyzed.

Микроструктура металлических матеріалів є одним з головних факторів, визначаючих їх фізичні та хімічні властивості. Вона може змінюватися як при зовнішньому впливі на матеріал, так і під впливом, наприклад, дифузійних процесів, міграції меж дислокацій тощо. Керування фізико-хімічними властивостями металлических матеріалів означає, по суті, цільовий змінювання їх мікроструктури [1]. Одним з способів отримання матеріалів з заданими властивостями є імпульсна обробка тиском [2]. В авіа-, автомобіль-, машинобудівній галузі все ширше застосовується спосіб імпульсного впливу на матеріал при електричному розряді в воді [2–4]. Якщо споріднена технологія магнітно-імпульсної обробки з точки зору формування структури вивчена достатньо добре [5,6], то імпульсна електрогідравлічна обробка – все ще недостатньо, про що свідчать обмежені кількість публікацій на цю тему.

Метою цієї роботи було визначення впливу способів імпульсного електричного навантаження на зміну параметрів мікроструктури зразків з листового алюмінієвого сплаву 6111 за допомогою методики, описаної в [7].

Об'єктом для дослідження послужили зразки розмірами 200×200 мм з листового алюмінієвого сплаву 6111, оскільки цей сплав часто використовується в автомобільній промисловості саме для імпульсної штамповки [4]. Ці зразки двохосно деформували на спеціальному пристрої (рис. 1) імпульсним, статичним та комбінованим імпульсно-статичним методом до руйнування.



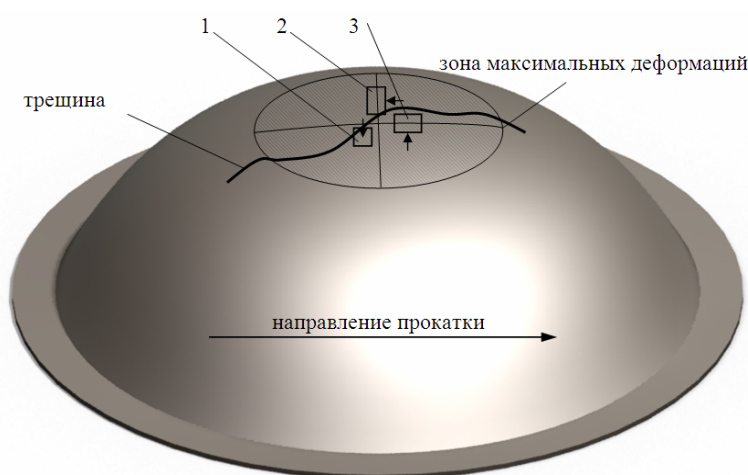
а) импульсно-статическое деформирование; б) статическое; в) импульсное.

1- разрядник; 2- батарея конденсаторов; 3- дуговой промежуток; 4- образец; 5- разрядная камера; 6- пуансон; 7- клиновья система.

Рис. 1 – Устройство для деформирования образцов.

Для измерения деформации использовался метод нанесения деформационной сетки. С её помощью определяли максимальную, минимальную и среднюю деформацию в локальных областях плоскость листового материала.

Для анализа изменений микроструктуры в зависимости от вида нагружения из образцов вырезали темплеты из зон в окрестности куполов образцов, причем выбирались участки с одинаковой средней деформацией. Для учета влияния анизотропии, обусловленной прокаткой листа, выбирали темплеты с ориентацией шлифа перпендикулярно («поперечные» темплеты) и параллельно («продольные» темплеты) направлению прокатки листов, а также темплеты с поверхностью шлифа параллельной плоскости листа («плоскостные» темплеты), сошлифованные на 1/3 толщины листа (рис. 2).

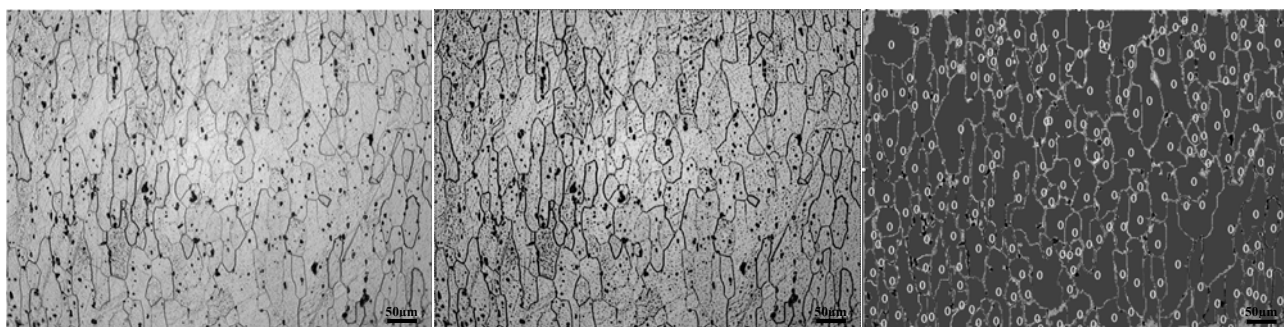


1 – «плоскостной» темплет; 2 – «поперечный» темплет; 3 – «продольный» темплет.

Рис. 2 – Деформированный до разрыва образец и места вырезки темплетов.

Для выявления межзеренных границ использовался универсальный травитель такого состава: 17 мл HNO_3 , 5 мл HF , 78 мл H_2O [8]. Изображения участ-

ков поверхности шлифов получали, используя металлографический микроскоп ММО-1600 со встроенной видеокамерой и системой передачи данных в файловую систему компьютера, также применялись фильтры программы "Adobe Photoshop". Анализ изображений проводили с помощью программы "Image_pro_plus", что позволило контролировать площадь зерна, удлинение, периметр зерна, некруглость, длину, ширину и средний размер зерна, фрактальную размерность [9, 10]. Пример обработки изображения микроструктуры показан на рис. 3.



а)

б)

в)

а) изображение, полученное с помощью ПО микроскопа ММО-1600;

б) изображение, обработанное в программе Adobe Photoshop CS 8.0;

в) изображение с выделением зерен металла в программе Image Pro-Plus 6.1.

Рис 3 – Стадии обработки изображений микроструктуры.

Разрешение снимка составляло 640×480 пикселей. При увеличении $200\times$ количество зерен, подлежащих статистической обработке, составляло от 50 до 250 в зависимости от ориентации плоскости шлифа относительно направления прокатки листа. Для каждого шлифа фотографировали 3 случайно выбранных участка с дальнейшей статистической обработкой полученных экспериментальных данных и строили гистограммы плотности распределения параметров с оценкой погрешности.

Анализ гистограмм проводили следующим образом. Для каждого параметра микроструктуры по гистограмме распределения этого параметра выбирали новый диапазон интервалов группировки так, чтобы частота попадания элементов была не меньшей 5 % (рис.4) и рассчитывали среднее значение частоты попадания избранного параметра микроструктуры на выбранном диапазоне интервалов его изменения A_j по формуле (1):

$$A_j = \frac{\sum_{i=1}^n k_i x_i}{\sum_{i=1}^n x_i}, \quad (1)$$

где k_i – средняя частота попадания элементов выборки; x_i – интервал группировки для данного k_i ; $i=1, 2, 3, \dots, n$ – номер интервала группировки; n – количество интервалов группировки; $j=1, 2, 3, 4$ – номер способа деформирования

(1–исходный материал; 2–импульсное; 3–импульсно–статическое; 4–статическое деформирование).

Далее определяли относительную величину контролируемого параметра D по отношению к исходному материалу образцов по формуле (2):

$$D = \frac{A_1}{A_j} \cdot 100\% , \quad (2)$$

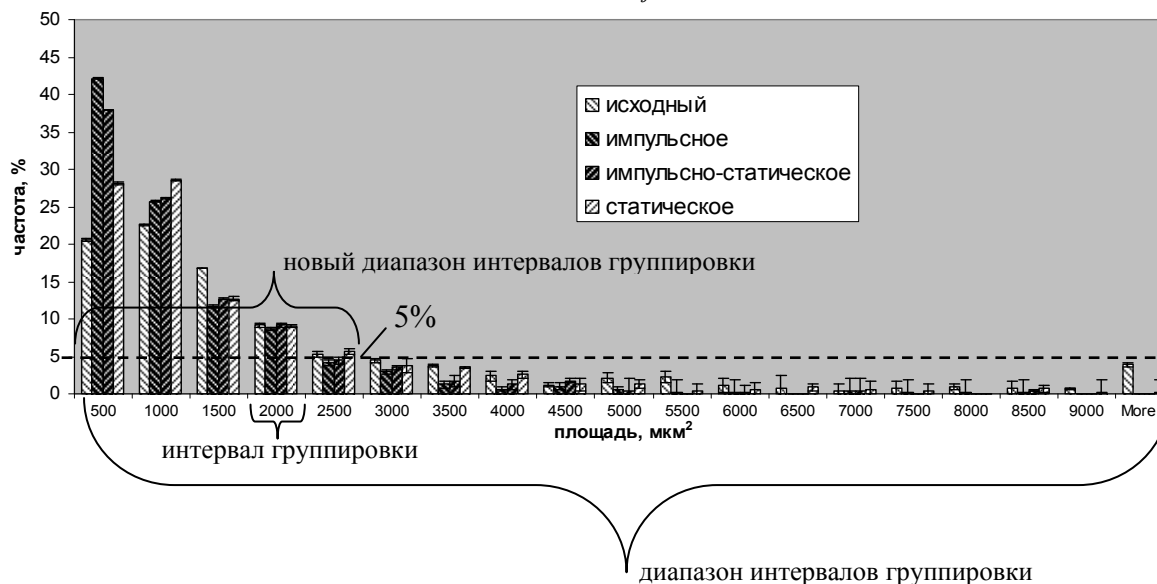
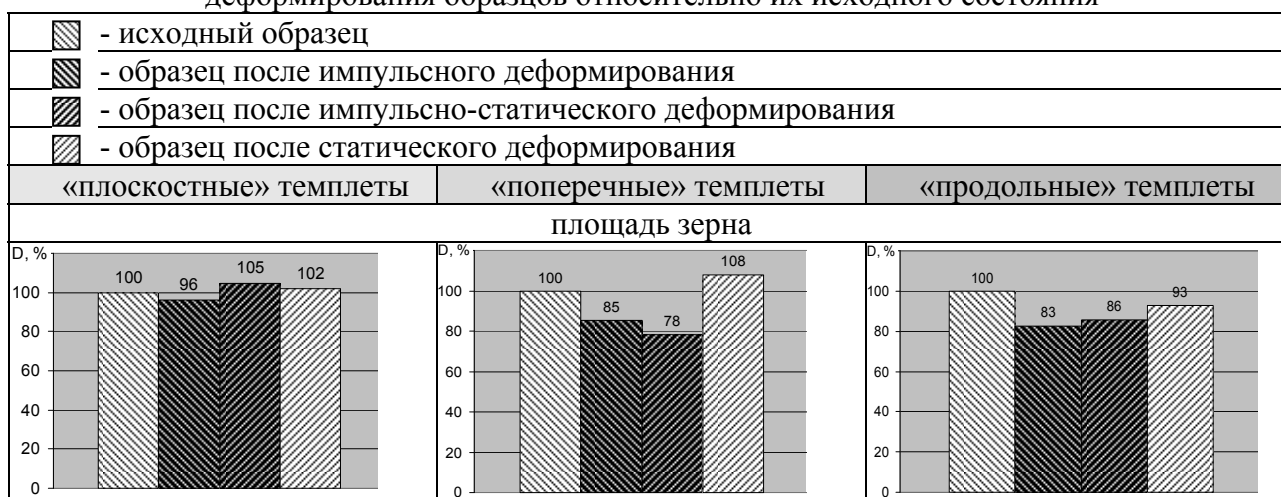
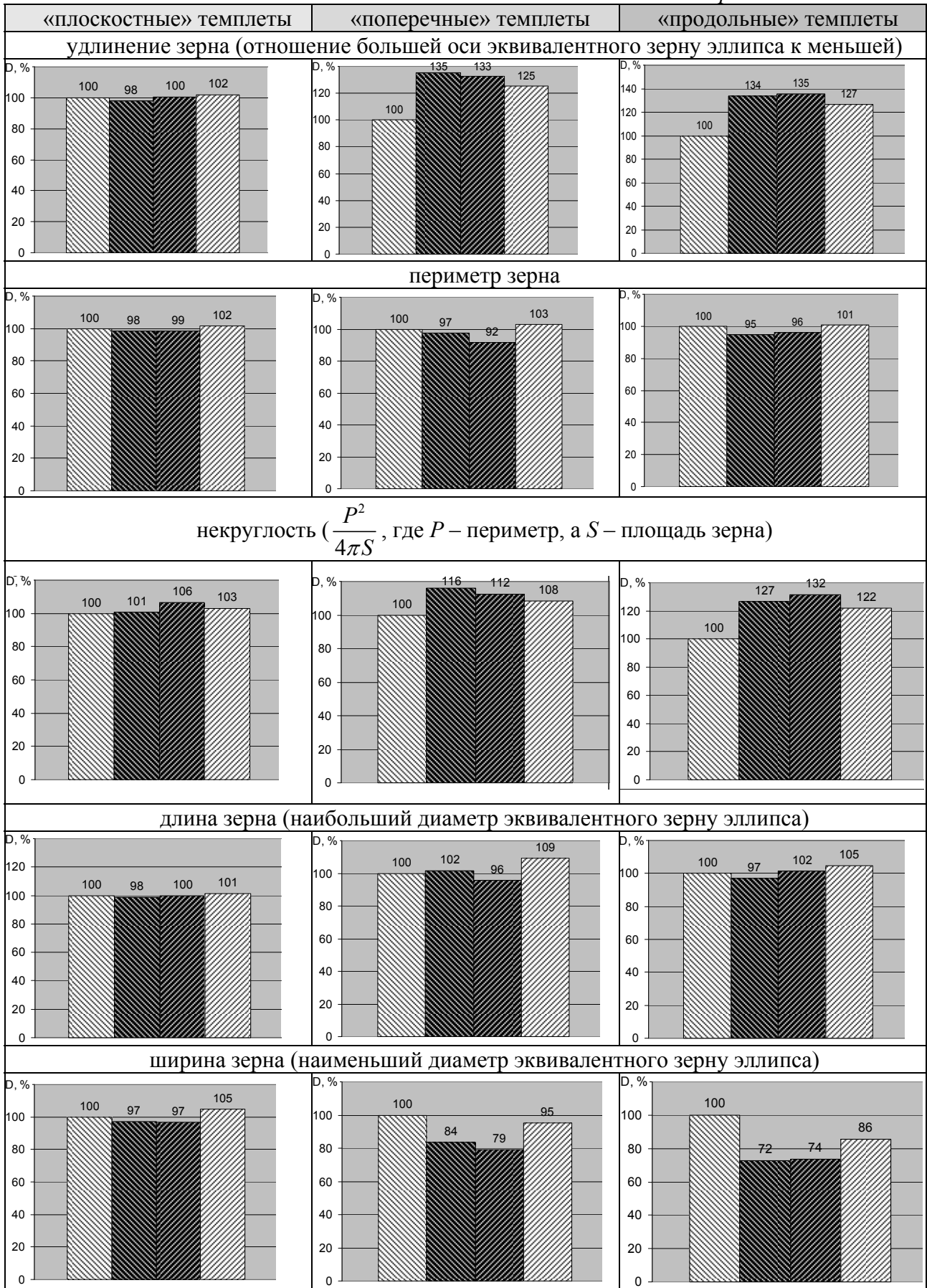


Рис.4 – Гистограмма плотности распределения площадей зерен в темплетях «вдоль» направления прокатки.

В итоге были получены диаграммы изменения параметров микроструктуры при различных видах деформирования образцов из алюминиевого сплава 6111 относительно их исходного состояния (табл. 1).

Таблица 1 – Диаграммы изменения параметров микроструктуры при различных видах деформирования образцов относительно их исходного состояния







Анализ результатов. Анализируя гистограммы изменения параметров микроструктуры и приведенные в таблице диаграммы изменения средних значений параметров микроструктуры при различных видах деформирования образцов относительно их исходного состояния, можно отметить следующее.

Средняя площадь зерен для «плоскостных» шлифов, приготовленных из образцов, деформированных импульсным, импульсно–статическим и статическим способами отличается не более, чем на 5 %. Заметно увеличение площади для зерен шлифов, деформированных импульсно–статическим методом. Средняя величина площади зерен всех «плоскостных» шлифов лежит в пределах 2800...3050 мкм² для рассмотренных способов нагружения образцов.

По сравнению с исходным материалом площади зерен для «поперечных» шлифов, деформированных импульсным и импульсно–статическим способами, меньше на 15 % и 22 % соответственно. Лишь для статически деформированных образцов наблюдалось увеличение площади на 8 %.

Также обнаружены отличия в площадях зерен «продольных» шлифов для всех способов деформирования в продольной относительно направления прокатки плоскости образцов. Обнаружено снижение значений площади зерен от 7 % до 17 %.

Средняя площадь зерен при рассмотренных способах деформирования образцов находится в пределах 850...1200 мкм² для «поперечных» и «продольных» шлифов.

Удлинение зерна для «плоскостных» шлифов мало отличается от исходного материала. Для «поперечных» и «продольных» шлифов удлинение больше относительно исходного материала примерно на 34 % – для импульсных способов деформирования и на 26 % – для статического способа.

Средний периметр зерна для всех видов деформирования «плоскостных» шлифов был примерно одинаков и составил около 250 мкм. Для импульсных способов деформирования «поперечных» и «продольных» шлифов он уменьшался на 3...8 %, а для статического – увеличивался до 103 % по сравнению с исходным материалом.

Средняя величина некруглости зерна [11] для всех ориентаций шлифов и способов деформирования была больше, чем в исходном состоянии материала. Ее изменения были максимальны для «продольных» шлифов в случае импульсно-статического деформирования образцов и составили 32 % по сравнению с исходным материалом.

Средняя длина зерна практически не изменялась для всех «плоскостных» шлифов (около 92 мкм), несколько уменьшалась (до 4 %) в случаях импульсно-статического деформирования для «продольных» и «поперечных» шлифов. При статическом деформировании на «продольных» и «поперечных» шлифах заметно возрастание длин зерен на 5 %...9 % по сравнению с исходным состоянием.

Ширина зерна для «плоскостных» шлифов отличалась в среднем на 3 %...5 %, возрастая для статического способа деформирования. Для «продольных» и «поперечных» шлифов заметны изменения ширины зерен в гораздо большей степени, чем их длины. Наибольшие изменения произошли у деформированных импульсными способами образцов, причем наблюдалось стабильное уменьшение ширины зерен (на 16...28 %) относительно исходного состояния материала.

Количество зерен в области поля зрения камеры микроскопа (области размером 640×480 пикселей) для «плоскостных» шлифов, вырезанных из образцов, деформированных обоими импульсными способами, было на 4 %...6 % выше, чем у исходного материала, для «продольных» – больше на 6 %...12 %, а для «поперечных» шлифов – выше до 80 %. При статическом деформировании для «плоскостных» и «поперечных» шлифов количество зерен меньше, соответственно, на 26 % и 12 %, чем у исходного материала, а для «продольных» шлифов – на 43 % больше.

Основные выводы. Деформирование импульсным и импульсно–статическим способами имеют близкие тенденции изменений микроструктуры, при этом наибольшие различия присутствуют в шлифах, ориентированных вдоль и поперек направления прокатки. На этих шлифах обнаружено изменение формы зерен на более вытянутую (возрастание удлинения до 34 %), причем не за счет увеличения длины зерна, а за счет уменьшения его ширины (на 15 %...20 %), что свидетельствует о дроблении зерна при импульсных нагружениях.

Статья подготовлена по материалам доклада IX Международной научной конференции “Импульсные процессы в механике сплошных сред” (15-19 августа 2011, г. Николаев).

Список литературы

1. Haldar A., Satyam S. Debashish B. Proceedings of the International Conference on Microstructure and Texture in Steels and Other Materials, February 5–7, 2008, - Jamshedpur, India. – 488 с.
2. Davis B., Hryn J. Innovative Forming and Fabrication Technologies: New Opportunities, Final Report, - Kingston Process Metallurgy, Energy Systems Division, Argonne National Laboratory Inc. - December 15, 2007. p.9-12.
3. Golovashchenko S., Mamutov. V. Electrohydraulic Forming of Automotive Panels; Symposium on Global Innovations in Materials Processing & Manufacturing, TMS. – 2005.
4. 2010 DOE Vehicle Technologies Program Review. – Project LM015 Report. – R. Davies. Pacific Northwest National Laboratory, Richland, March 22, 2010, p.1-10.
5. Microstructure Development during High-Velocity Deformation. P.J. Ferreira, J.B. Vander Sande, M. Amaral Fortes. - Metallurgical And Materials Transactions. – Vol. 35A, October 2004. - p. 3091-3100.
6. Daehn, G.S., Shang, J., Vohnout, V.J. Electromagnetically Assisted Sheet Forming: Enabling Difficult Shapes and Materials by Controlled Energy Distribution in The MPMD Fourth Global Innovation Symposium. 2003.
7. Косенков В.М., Аврамец Д.Р. Методика определения влияния способа деформирования материала на изменение параметров его структуры. Электронная обработка материалов. – 2011. – Том 47 – № 5, с. 83–88.

8. Брюховецкий В.В., Пойда В.П., Пойда А.В., Аврамец Д.Р. и др. Механические свойства и структурные изменения в ходе сверхпластической деформации алюминиевого сплава 6111. *Металлофизика и новейшие технологии*. 2009 – Т.31, №9. – С.1289-1302.

9. Салтыков С.А., *Стереометрическая металлография*. – М., *Металлургия*, 1975. – 150 с.

10. Study on the Microstructure and Texture of 3003 Aluminum Sheets Rolled by Laser-Textured Roll. / Chunbo Cai, Zesheng Ji, Huajun Zhang, Guojun Wang. // *Journal of Metallurgy*, Hindawi Publishing Corporation. – Volume 2009. P.1-6.

11. Mark L., Neil W. Selection of Descriptors for Particle Shape Characterization. *Particle & Particle Systems Characterization*. – February, 2003. – Volume 20, Issue 1, p. 25–38.

УДК 534.222.2

Канд. физ.-мат. наук Б.Г. Жуков,
научн. сотр. Р.О. Куракин,
канд. физ.-мат. наук С.И. Розов,
канд. физ.-мат. наук Б.И. Резников,
д-р физ. – мат. наук С.В. Бобашев,
канд. физ.-мат. наук С.А. Поняев
(ФТИ им. А.Ф. Иоффе, Санкт-Петербург)

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВЫСОКОСКОРОСТНЫХ СОУДАРЕНИЙ ЧАСТИЦ С ПРЕГРАДАМИ

Розглядається постановка експериментів по дослідженню процесів високошвидкісних (до 6 км/с) співударянь пластикових ударників мм-розміру з багатошаровими алюмінієвими мішенями. Отримано данні про картину розльоту продуктів руйнування мішеней. Показано, що у разі тонких (перший шар) екранів в таких співударяннях не відбувається повного випаровування пластикового ударника.

EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF HIGH-SPEED SO-STRESS OF PARTICLES WITH BARRIERS

In this work an experiment on investigation of the process of high-speed (up to 6 km/s) impact of mm-size projectiles on multilayer aluminum plates are presented. A new data on plate break-down and process of debris cloud formation are presented. It is shown that in the case of thin (first layer) plates in such an impact a full evaporation of projectile does not occur.

Защита космических аппаратов (КА) от ударов частиц космического мусора мм-размера весьма актуальна ввиду их многочисленности [1]. Эти частицы, как правило, имеют неправильную форму. Поэтому последствия их удара во многом должны отличаться от сферического удара. Это мотивировало постановку данной работы. Ее цель – выяснить особенности пробоя тонких пластин (элементов многослойной защиты КА – «защиты Уипла») ударниками кубической формы при различной ориентации вектора скорости и граней ударника относительно поверхности экрана.

Для разгона ударников до высоких скоростей использовался созданный в ФТИ им. А.Ф. Иоффе РАН [2] «компактный» рельсотрон с плазменным поршнем, способный в воздухе при атмосферном давлении разгонять до высоких скоростей 5-6 км/с пластиковые кубики мм-размера. Этот ускоритель представляет собой удобный и простой инструмент для экспериментальных исследований широкого круга задач динамики гиперскоростного полета тел и их взаимодействия с преградами. Постановка экспериментов с гиперскоростными телами