

СКОРОСТНАЯ РЕНТГЕНОГРАФИЯ УДАРНО ВОЛНОВОГО СЖАТИЯ ГИРОИДНОГО АЛЮМИНИЯ

*К. А. Тен^{1,2}, А. О. Кашкарров¹, Э. Р. Прууэл¹, И. А. Рубцов¹, А. А. Студенников¹,
А. С. Туманик¹, В. П. Халемчук¹, Л. И. Шехтман², Д. В. Петров³, Д. П. Кучко³,
Е. Б. Смирнов³, А. И. Клёнов³, А. М. Асылкаев⁴*

¹Институт гидродинамики им. М. А. Лаврентьева СО РАН, Новосибирск, Россия

²Институт ядерной физики им. Г. И. Будкера СО РАН, Новосибирск, Россия

³ФГУП «РФЯЦ – ВНИИТФ им. академ. Е. И. Забабахина», Снежинск, Россия

⁴Новосибирский государственный университет, Новосибирск, Россия

Алюминий широко используется в качестве конструкционного материала в авиа и ракетной технике. В настоящее время для построения объемных конструкций из алюминия широко используются 3D принтеры. Напечатанные на них образцы трудно создать другими способами.

Для правильного расчета конструкций из таких материалов, необходимо знать уравнение состояния с учетом возможных ударных нагрузок.

В данной работе ставилась целью исследование ударного сжатия 3D структурного (гибридного) алюминия с применением синхротронного излучения (СИ). Постановка экспериментов показана на рис. 1. Для создания ударных нагрузок применяется пушка (1) с использованием малого количества взрывчатого вещества (ВВ, 5–7 грамм), которая метает ударник (2) со скоростью 1–2 км/с. Образец (3) представлял собой цилиндр (диаметром 20 мм, длиной 15–20 мм), который крепился на опоре из оргстекла (4). Плотность образца варьировалась от 0,9 до 1,7 г/см³. Ударники были изготовлены из меди, титана, и алюминия имели толщину 4 мм и диаметр 20 мм. Плоскость регистрации СИ (6) захватывает расстояние от пушки до подложки. Вся сборка помещалась внутрь взрывной камеры на станции «Экстремального состояния вещества» накопителя ВЭПП-4 (ИЯФ СО РАН) [3]. Скоростная рентгеновская радиография велась с использованием СИ от 9-ти полюсного вогнутого ускорителя ВЭПП-4, который работал в режиме 2–6 банчей со скважностью между импульсами СИ 203 нс. Проходящее излучение записывается быстродействующим однокоординатным детектором DIMEX [3], который записывает одновременно 512 каналов с разрешением 100 мкм. Такая запись составляет один кадр детектора. Через 203 нс записывается еще один кадр, всего детектор может запоминать 100 кадров.

На рис. 2 приведены 50 последовательных кадров эксперимента с медным ударником (по оси Y). Номера кадров переведены в микросекунды. На рисунке видны движение ударника (1), исходный образец (2), фронт ударной волны в алюминии (3) и контактная граница (4) между ударником и сжатым алюминием.

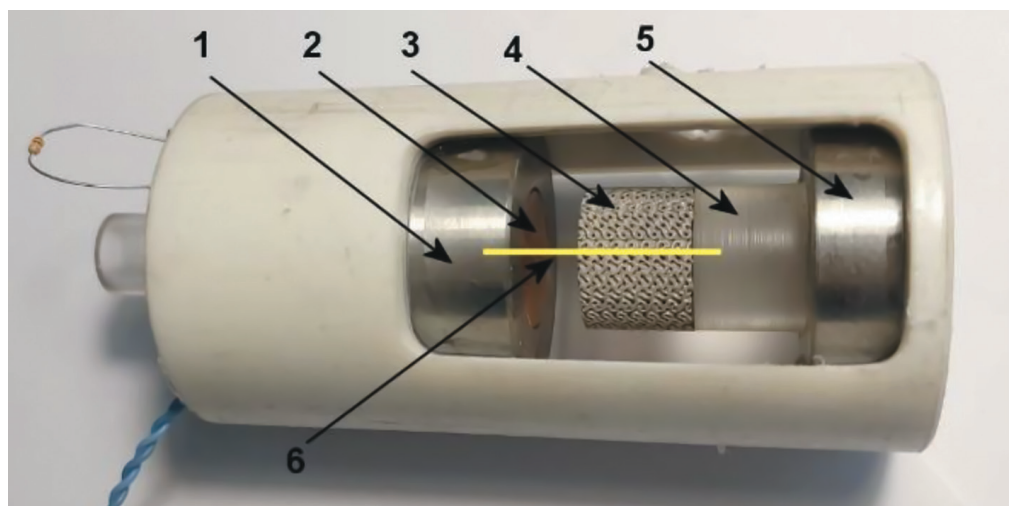


Рис. 1. Экспериментальная сборка:

1 – пушка, 2 – ударник (медь, диаметр 20 мм, толщина 4 мм), 3 – образец напечатанного структурного алюминия (диаметр 20 мм, плотность 0,91 г/см³), 4 – подложка (ПММА), 5 – преграда (сталь), 6 – полоса регистрации СИ

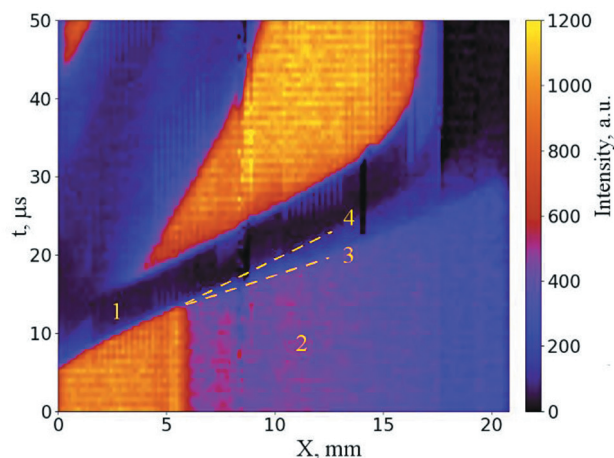


Рис. 2. Рентгеновское кино ударного сжатия алюминия:

1 – ударник, 2 – исходный образец (гироидный алюминий), 3 – ударная волна, 4 – контактная граница между сжатым веществом и ударником

Скорость ударной волны (3) составляет $D = 1$ км/с, а массовая скорость (4) $U = 0,71$ км/с. Сжатие составило $D/(D-U) = 3,4$. Такое же сжатие получено после калибровки детектора. Проведены также эксперименты с ударниками из титана и алюминия. Получены D и U для гироидного алюминия в диапазоне скоростей ударной волны от 1 до 2,5 км/с.

Полученные данные будут полезны для математического моделирования ударного сжатия 3-D структурного алюминия.

Литература

1. **Aulchenko, V. M.** GEM-based detectors for SR imaging and particle tracking. Shekhtman L.I. [Text] / V. M. Aulchenko, A. E. Bondar, V. N. Kudryavtsev et al. // Journal of Instrumentation. – 2012. – Vol. 7. – No. 3. – P. 1–18.
2. **Aulchenko, V. M.** The fast processes investigation by X-ray diffraction methods in the Siberian Center of Synchrotron and Terahertz Radiation [Text] / V. M. Aulchenko, V. V. Zhulanov, G. N. Kulipanov et al. // Uspekhi Fizicheskikh Nauk. – 2018. – Vol. 188. – No. 6. – P. 577–594.
3. **Титов, В. М.** Опыт применения синхротронного излучения для исследования детонационных процессов [Текст] / В. М. Титов, Э. Р. Прууэл, К. А. Тен и др. // Физика горения и взрыва. – 2011. – Т. 47, № 6. – С. 3–16.