

ОТКОЛЬНОЕ РАЗРУШЕНИЕ И КОМПАКТИРОВАНИЕ ЛАТУНИ Л63. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

И. Р. Трунин^{1,2}, И. А. Терешкина^{1,2}, А. М. Подурец^{1,2}, В. Г. Симаков^{1,2},
В. А. Брагунец¹, И. Н. Кондрохина¹, М. И. Ткаченко^{1,2}, А. В. Цветков¹

ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», 607188, г. Саров Нижегородской обл.

²СарФТИ НИЯУ МИФИ, 607186, г. Саров Нижегородской обл.

Выполнен полный цикл работы по исследованию откольного разрушения и компактирования латуни Л63, включающий проведение экспериментов и металлографический анализ сохраненных образцов.

Ключевые слова: откольное разрушение, поврежденность, компактирование, металлографический анализ.

Введение

Исследование механизмов разрушения и последующего компактирования материалов при импульсных ударно-волновых нагрузках представляет большой интерес для практических приложений.

Одним из типов разрушения динамическими нагрузками является откольное разрушение, вызываемое развитием кратковременных растягивающих напряжений внутри тела, образованных взаимодействием встречных волн разрежения [1–3]. Особый интерес также представляет вопрос о восстановлении сплошности (компактировании) в процессе, например, повторного нагружения разрушенного образца [4, 5].

Изучение механизмов разрушения и компактирования, математическое моделирование этих процессов является сложной задачей, для решения которой требуется получение большого объема экспериментальной информации и разработка численных моделей, описывающих указанные процессы.

В настоящей работе выполнены экспериментальные исследования внутреннего откольного разрушения и последующего компактирования в процессе повторного нагружения образцов из латуни марки Л63 ГОСТ 15527-2004 (Cu~ 63%, Zn~ 37%), ударно нагруженных плоскими ударниками. Выбор в качестве исследуемого материала латуни Л63 был обусловлен его механическими свойствами и характером разрушения. Латунь Л63 –

двойной медный сплав с основным легирующим элементом – цинком. По сравнению с медью обладает более высокой прочностью и коррозионной стойкостью, но меньшей тепло- и электропроводностью.

1. Микроструктура исходного образца латуни

Выявление особенностей микроструктуры материала является одним из этапов аттестации или входного контроля материала перед его использованием при изготовлении элементов различных конструкций. При исследовании прочностных характеристик материала важно знать исходные параметры структуры: размер зерна, наличие примесей и микродефектов и т. п., поскольку начальное структурное состояние среды может повлиять на характер распространения ударной волны и на прочностные характеристики исследуемого материала.

В качестве исходного образца была использована литая латунь, вырезанная из прутка диаметром 70 мм. Для выявления структуры применялась последовательная полировка алмазными суспензиями 6, 3, 1 и 0,05 мкм по 5 минут каждой. Состав травителя: 50 мл воды, 1 г – $K_2Cr_2O_7$, 2-4 капли HCl, 4 мл – HNO_3 .

Как выяснилось, в микроструктуре исходной латуни есть заметная неоднородность. В металле существуют области мелкого зерна (порядка 60–

70 мкм) и крупного, даже сверхкрупного зерна (до 1 мм) (рис. 1), что не может не сказываться на макроскопических механических свойствах.

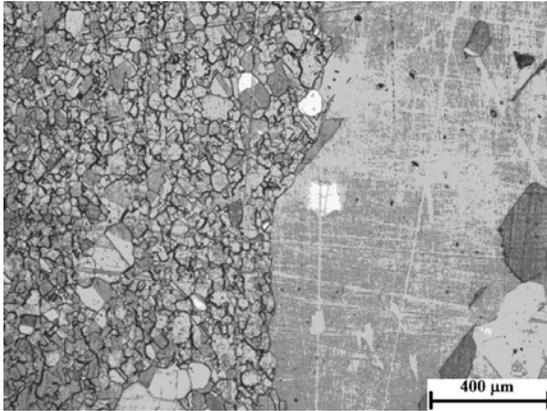


Рис. 1. Микроструктура исходного образца латуни при увеличении 50х

Микроструктура литой α -латуни имеет дендритное строение. Светлые участки – дендриты, богатые медью, затвердевшие первыми из жидкого состояния; темные участки – междендритные пространства, обогащенные легкоплавким цинком.

2. Постановка экспериментов и результаты опытов по откольному разрушению

Схема постановки опытов приведена на рис. 2 (материал ударника, экрана, кольца и образца – латунь, подложки – фторопласт; все размеры сборки в миллиметрах приведены на рисунке).

Выбор постановки опытов (размеры сборки, материал подложки, скорости соударения) определялся созданием в срединном сечении образца условий для возникновения растягивающих напряжений и необходимостью сохранения образцов для постопытного металлографического анализа.

С латунными образцами было проведено пять опытов, в которых для создания внутренней поврежденности образцы нагружались ударниками со скоростями $W_{уд} \sim 165, 187, 207, 227$ и 237 м/с.

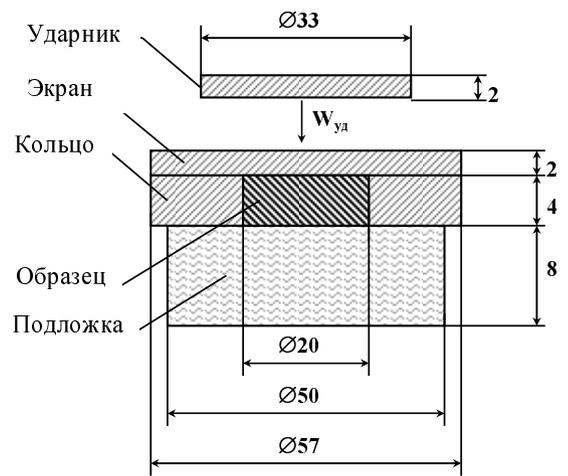


Рис. 2. Схема эксперимента

После опытов сохраненные образцы разрезались, и исследовались шлифы их поперечных сечений. На рис. 3 приведены изображения поврежденных участков в диаметральных поперечных срезах сохраненных в пяти опытах образцов из латуни с увеличением 50х, 100х и 200х.

Как следует из рис. 3, в срединных сечениях образцов образовалась зона с пористой структурой, где видны следы повреждений – нарушения сплошной структуры материала образца, к которой прилегают две неповрежденные части образца.

С помощью металлографического анализа поперечного среза образцов удалось определить их степень разрушения:

- при скоростях нагружения $W_{уд} = 165, 187$ м/с видны отдельные дефекты – поры, имеющие приблизительно сферическую форму, что характерно для вязкого типа разрушения;

- при скоростях нагружения $W_{уд} = 207, 227$ м/с соседние поры объединяются, увеличиваются в размерах, образуя в некоторых частях среза микротрещины;

- при скорости нагружения $W_{уд} = 237$ м/с все дефекты сливаются, и по всему сечению образца образуется магистральная трещина, которая разделяет образец на две части.

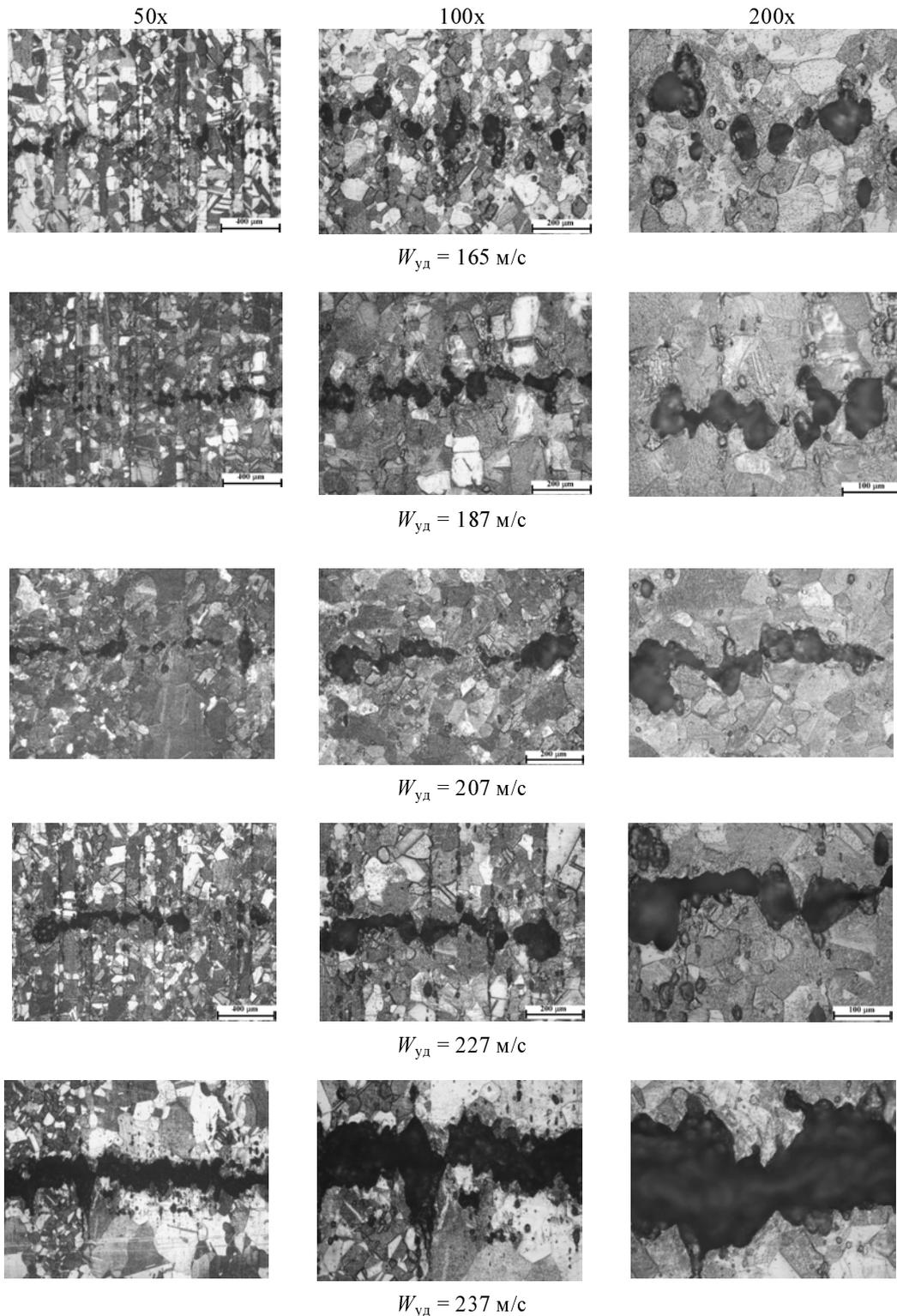


Рис. 3. Результаты металлографического анализа латунного образца после опыта на откол

3. Результаты опытов по компактированию

Экспериментальное исследование процесса компактирования латуни проводилось на образцах, имеющих предварительную внутреннюю от-

кольную поврежденность. Было подготовлено по три образца с различными степенями разрушения, которые соответствовали уровню поврежденности, полученному в опытах на откольное разрушение с $W_{уд} = 187$ и 227 м/с .

Образцы с заданной внутренней поврежденностью помещались в экспериментальные сборки по схеме, показанной на рис. 2. Отличие от схемы экспериментов на откольное разрушение заключается в замене фторопластовой подложки, расположенной за образцом, на латунную, что позволило исключить образование волны разрежения на границе раздела образец – подложка и, следовательно, повторного образования откольного разрушения. Таким образом, предварительно разрушенный образец должен будет компактироваться (будут «залечиваться» внутренние повреждения) проходящей ударной волной.

В опытах на компактирование скорость нагружения составила:

1) $W_k = 91$ м/с, $W_k = 182$ м/с и $W_k = 240$ м/с для образцов с заданной поврежденностью, полученной при $W_{уд} \approx 187$ м/с ± 8 м/с;

2) $W_k = 94$ м/с, $W_k = 172$ м/с и $W_k = 237$ м/с для образцов с заданной поврежденностью при $W_{уд} \approx 227$ м/с ± 4 м/с.

Так же, как и в опытах на откольное разрушение, проводился металлографический анализ сохранных после опытов образцов.

На рис. 4, 5 приведены изображения участков поперечных срезов сохранных в экспериментах на откол и компактирование латунных образцов с увеличением 50х, 100х и 200х.

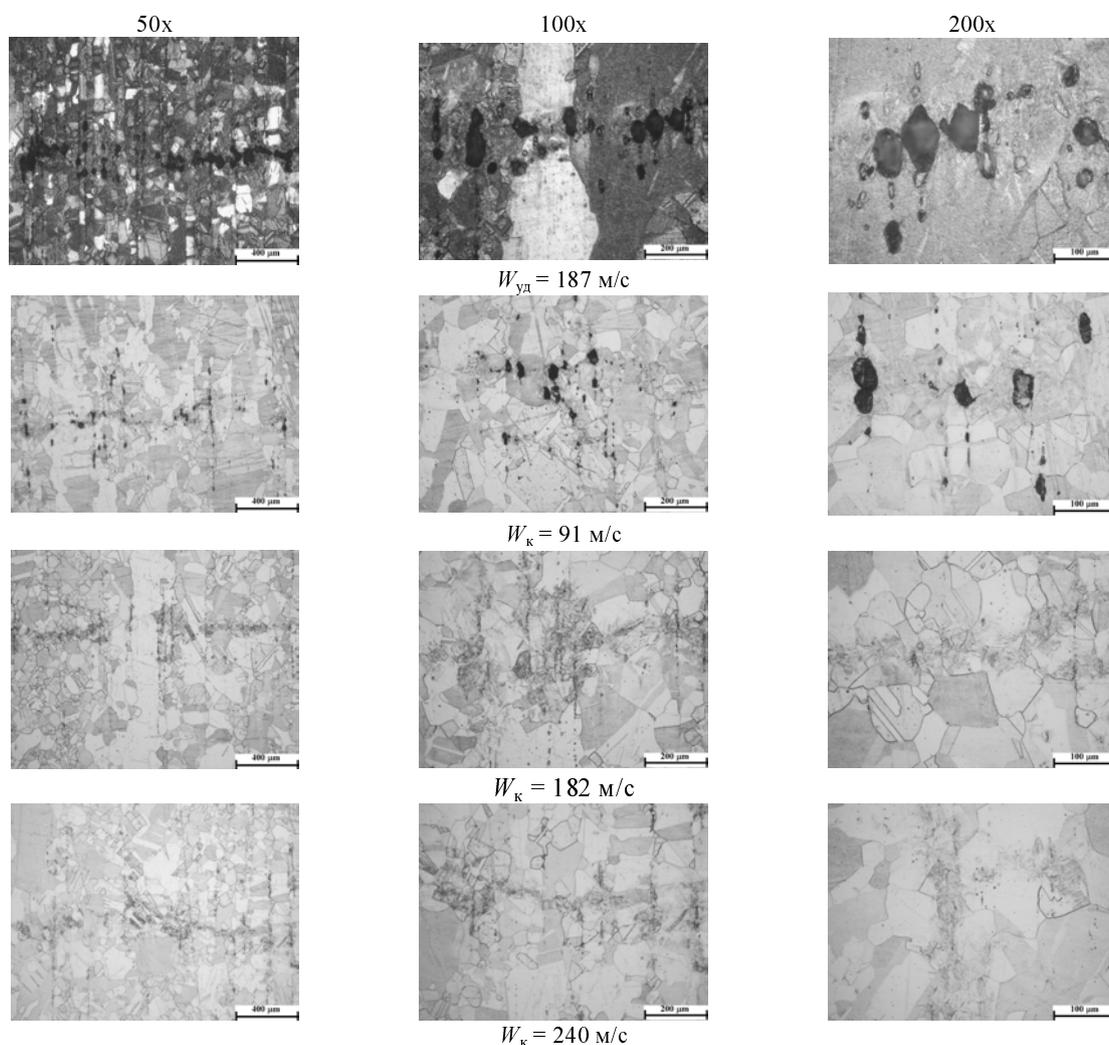


Рис. 4. Фрагменты шлифов поперечных срезов латунных образцов после опытов на откол и компактирование. Сравнение фрагментов шлифов при увеличениях 50х, 100х, 200х

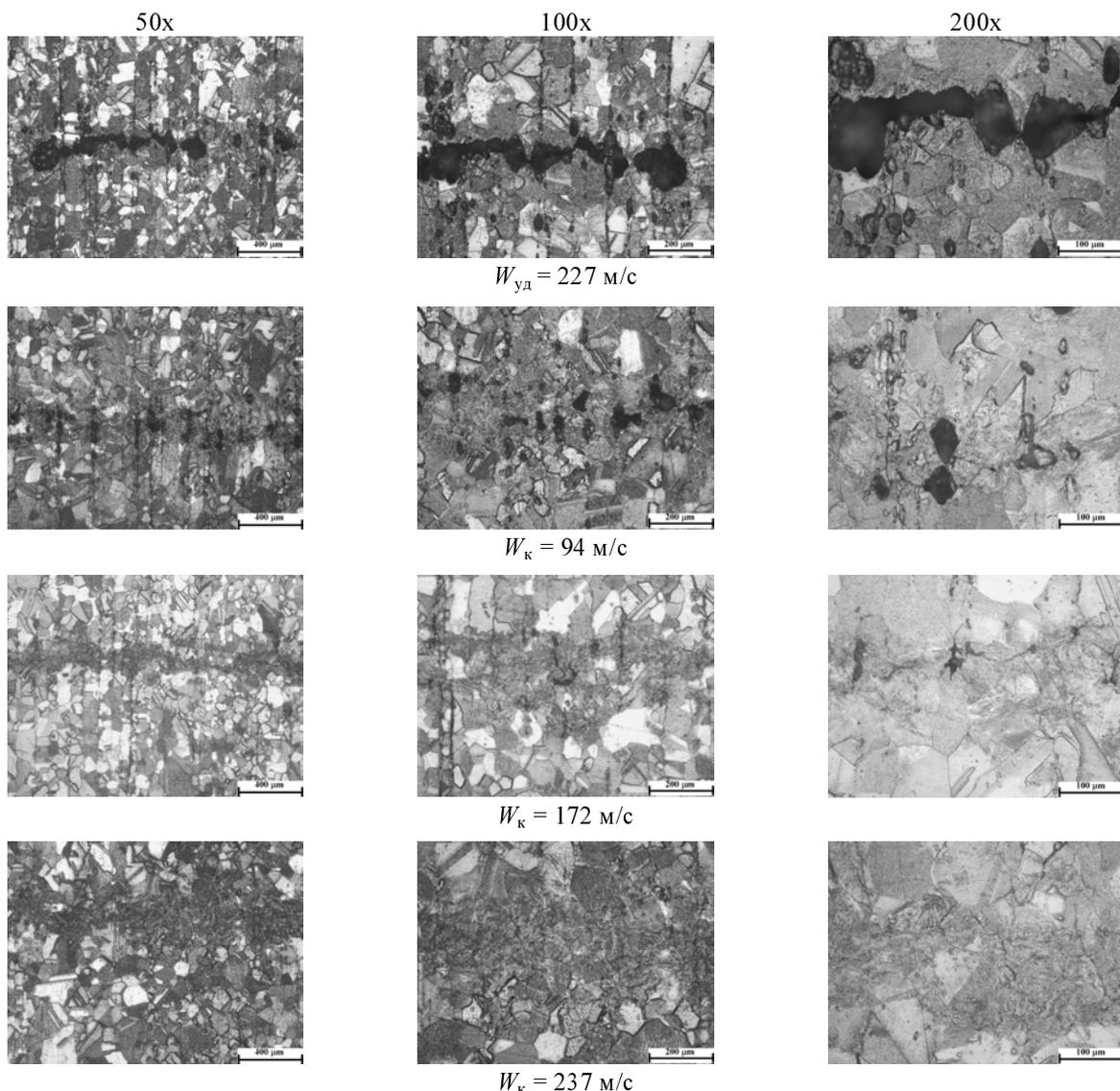


Рис. 5. Фрагменты шлифов поперечных срезов латунных образцов после опытов на откол и компактирование. Сравнение фрагментов шлифов при увеличениях 50х, 100х, 200х

Как следует из рис. 4 и 5, во всех опытах ударное нагружение заранее поврежденных образцов привело к уменьшению поврежденности (особенно это заметно на фотографиях фрагментов шлифов, сделанных при больших увеличениях). При скоростях нагружения $W_к \sim 90$ м/с, согласно полученным изображениям, в образцах с различной степенью начальной поврежденности заметны дефекты в виде отдельных пор; при скорости соударения $W_к \sim 170 - 180$ м/с можно различить участки шлифа с микроповреждениями; при $W_к \sim 240$ м/с микродефекты полностью отсутствуют, и в области откольного разрушения остается только «след» в виде затемнения зоны компактирования.

Заключение

В результате проведенных экспериментов и металлографического анализа сохраненных в опытах образцов:

- прослежена динамика развития внутренней откольной поврежденности в образцах из двухкомпонентного сплава латуни при ударном нагружении;
- внутренние дефекты имеют приблизительно сферическую форму, что характерно для вязкого типа разрушения.

Также представлена картина процесса компактирования предварительно поврежденных образцов, и, впервые, удалось получить полностью «залеченную» внутреннюю структуру поврежденного образца.

Список литературы

1. Прочность и ударные волны // Сб. статей под ред. Новикова С. А. Саров: РФЯЦ-ВНИИЭФ, 1996.

2. Иванов А. Г. Разрушение разномасштабных объектов при взрыве: Монография. Саров: РФЯЦ-ВНИИЭФ, 2001.

3. Kanel G. I. Spall fracture: methodological aspects, mechanisms and governing factors // *Int. J. Fracture*. 2010, № 163. P. 173–191.

4. Трунин И. Р., Терешкина И. А., Симаков В. Г. и др. Экспериментальное исследование и математическое моделирование откольного разрушения и компактирования алюминия // *ФГВ*. 2014. Т. 50, № 6. С. 109–113.

5. Трунин И. Р., Терешкина И. А., Симаков В. Г. и др. Способы определения давления компактирования поврежденной меди // *ВАНТ. Сер. Теоретическая и прикладная физика*. 2014. Вып. 2. С. 20–32.

Статья поступила в редакцию 09.06.2016