

УДК 539.42:620.172.254

ИССЛЕДОВАНИЕ НЕУСТОЙЧИВОСТИ ПЛАСТИЧЕСКОГО СДВИГА И ЛОКАЛИЗАЦИИ ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ ПРИ ВЫСОКОСКОРОСТНОМ НАГРУЖЕНИИ

© 2011 г.

В.В. Чудинов, Ю.В. Баяндин, М.А. Соковиков

Институт механики сплошных сред УрО РАН, Пермь

sokovikov@icmm.ru

Поступила в редакцию 24.08.2011

Исследован процесс пробивания образцов из сплава алюминия марки А6061 дискообразной формы стальным ударником с использованием высокоскоростной инфракрасной камеры CEDIP Silver 450M. Обнаружено, что для зоны первоначального проникновения ударника в образец, соответствующей зеркальной, гладкой поверхности разрушения, наблюдается относительно равномерное распределение деформации, тогда как при формировании и выносе пробки это распределение становится существенно неоднородным по радиусу образца.

Ключевые слова: динамическое нагружение материалов, пробивание преграды, выбивание пробки, термография образцов, микроструктурные исследования.

Исследование высокоскоростного соударения материалов представляет значительный интерес как для теоретического изучения поведения материалов при высоких скоростях деформации, так и для практических приложений.

Многочисленные теоретические и экспериментальные исследования были посвящены изучению пробивания мишеней с образованием пробки. При попадании ударника с затупленной или полусферической передней частью в мишень конечной толщины со скоростью, близкой к баллистическому пределу, из мишени выбивается почти цилиндрическая пробка, диаметр которой практически равен диаметру ударника. В этом случае форма и движение ударника таковы, что заставляют материал мишени смещаться в основном направлении движения ударника. В процессе формирования и выноса пробки пластическая деформация локализуется в узкой области по образующей пробки. Сопротивление материала сдвигу в данной узкой области резко падает [1, 2].

На оригинальной баллистической установке по изучению пробивания были исследованы образцы из сплава алюминия марки А6061. Иссле-

дован процесс пробивания дискообразных образцов диаметром 20 мм стальным ударником при скоростях соударения 101–260 м/с с использованием высокоскоростной инфракрасной камеры CEDIP Silver 450M. Основные технические характеристики камеры: чувствительность не менее 25 мК при 300 К, спектральный диапазон 3–5 мкм, максимальный размер кадра 320×240 точек.

Схема установки для высокоскоростного пробивания образцов приведена на рис. 1: 1 – камера высокого давления, 2 – ствол, 3 – фотодатчики, 4 – поддон, 5 – ударник, 6 – отсекающий механизм, 7 – рама, 8 – устройство для крепления мишени, 9 – мишень, 10 – приемная камера, 11 – улавливатель. В качестве ударника использовался стержень из высокоуглеродистой стали диаметром 5 мм, длиной 50 мм и массой 7.4 г. Для разгона ударника в стволе большего калибра использовался легкий поддон.

Скорость ударника задается давлением в воздушной камере и длиной разгона. Скорость ударника измерялась исходя из времени пролета ударника между двумя фотодатчиками. После вылета ударника из ствола поддона с ударником установленный отсекающий механизм задерживал поддон, а ударник продол-

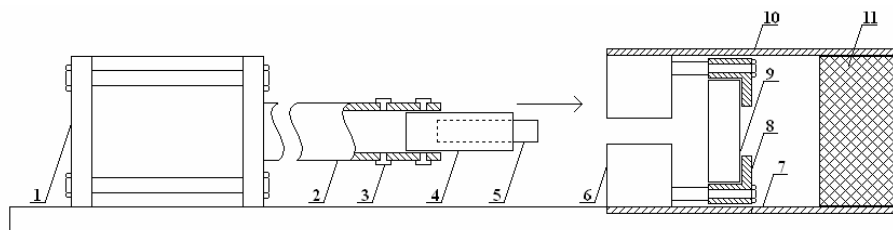


Рис. 1

жал двигаться к мишени.

При высокоскоростном взаимодействии ударника с мишенью реализуется разрушение в виде формирования и выноса пробки. Продолжающие движение после пробивания преграды ударник и пробка улавливаются приемной камерой с помощью мягкого наполнителя, не искажающего форму пробки. Для записи температурного поля на тыльной поверхности образца в процессе пробивания применялась высокоскоростная инфракрасная камера CEDIP Silver 450M. На рис. 2 представлено поле температур в момент вылета пробки и изображение вылетевшей пробки и отверстия после пробивания, максимальная температура 90°C , скорость ударника 117 м/с .

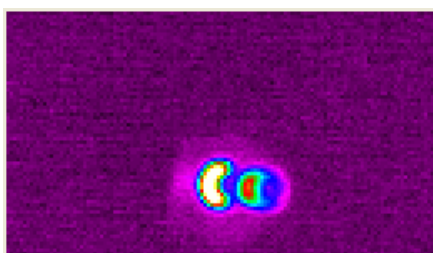


Рис. 2

После эксперимента образцы исследовались с помощью микроструктурного анализа с применением оптического микроскопа-интерферометра, позволяющего получать трехмерные данные о рельефе, и сканирующего электронного микроскопа. Распиленный по диаметру образец и выбитая пробка показаны на рис. 3 (1 – зеркальная зона, 2 – матовая зона, 3 – пробка).

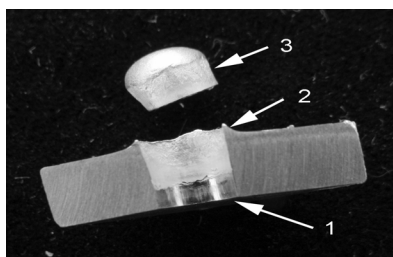


Рис. 3

При скоростях соударения $101\text{--}103\text{ м/с}$ энергия удара была недостаточной для выбивания пробки из образца, однако наблюдалось образование магистральной трещины у концентраторов напряжений по образующей цилиндрического ударника (рис. 4): 1 – направление ударника, 2 – трещина от концентратора напряжений, 3 – свободная поверхность. Условия для формирования и выноса пробки были реализованы при скоростях ударника свыше 112 м/с .

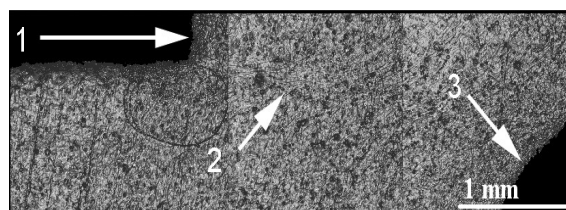


Рис. 4

Обнаружено, что для зоны первоначального проникновения ударника в образец, соответствующей зеркальной, гладкой поверхности разрушения, наблюдается относительно равномерное распределение деформации, тогда как при формировании и выносе пробки это распределение становится существенно неоднородным по радиусу образца. Имеет место локализация пластической деформации в узкой области по образующей пробки. По мере продвижения пробки происходит как огрубление рельефа поверхности разрушения, так и увеличение локальных неоднородностей сдвиговых деформаций вследствие искажений внутренней структуры.

Работа выполнена в рамках гранта РФФИ №09-01-92005-ННС_а.

Список литературы

1. Ударные волны и явления высокоскоростной деформации металлов: Пер. с англ. / Под. ред. М.А. Мейерса, Л.Е. Мурра. М.: Металлургия, 1984. 512 с.
2. Зукас Дж. и др. Динамика удара: Пер. с англ. М.: Мир, 1985. 296 с.

INVESTIGATION OF THE MULTITUDE OF LOCALIZED INSTABILITIES UNDER DYNAMIC DEFORMATION

V.V. Chudinov, Yu.V. Bayandin, M.A. Sokovikov

The process of perforation of a target involving plug formation and ejection at impact velocities of $101\text{--}260\text{ м/с}$ was investigated using a high-speed infra-red camera CEDIP Silver 450M. It is shown that the distribution of strain is relatively uniform in the initial penetration region with a smooth mirror-like fracture surface, whereas in the plug formation and ejection regions it becomes essentially non-uniform along the radius of a normal to the sample surface. Localization of plastic strain occurs in a thin region providing the plug formation. As the plug moves, the surface relief undergoes the roughening effect and the local inhomogeneities of shear deformation become larger.

Keywords: dynamic loads, target perforation, plug ejection, thermographic examination of specimens, microstructural analysis.