

6. Левашов Е.А., Рогачев А.С., Юхвид В.И., Боровинская И.П. Физико-химические и технологические основы самораспространяющегося высоко-температурного синтеза. — М.: Бинوم, 1999. — 176 с.

УДК 534.2

Ушеренко С.М., Романенков В.Е., Ушеренко Ю.С.

ОСОБЕННОСТИ ДИНАМИЧЕСКОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ТЕЛ

*Белорусский национальный технический университет
Минск. Республика Беларусь*

At researches of dynamic processes of influence on materials numerous anomalies are found out. Dynamic interaction of high-speed clots of particles can occur in a mode of superdeep penetration when resistance of a firm material of a barrier to movement in it is less a than particle, than resistance met by a bullet in water.

При исследованиях динамических процессов воздействия на материалы обнаружены многочисленные аномалии. Динамическое взаимодействие высокоскоростных сгустков микроударников может происходить в режиме сверхглубокого проникания, когда сопротивление твердого материала преграды движению в ней частицы меньше, чем сопротивление встречаемое пулей в воде.

Введение

Основные знания о поведении материалов были получены при их изучении в условиях статических нагрузок. Поэтому, когда в ходе технического развития в возрастающей степени стали использоваться импульсные процессы, последовали многочисленные публикации об обнаружении аномалий в поведении материалов. Главной особенностью статических процессов обработки материалов является то, что флуктуации энергии, полей давлений, полей температур и других факторов могут иметь место, но они являются исключением из общих правил. По мере развития исследований динамических процессов становилось очевидным, что эти необычные флуктуации являются скорее правилом, чем исключением. Развитие различных направлений динамического воздействия в конце прошлого века позволило рассмотреть эту необычную тенденцию.

Динамический массоперенос, происходящий в твердом теле при наложении на него ударных нагрузок, характеризуется возрастанием коэффициента массопереноса на несколько порядков [1] по сравнению с аналогичным

коэффициентом той же пары элементов в условиях статических нагрузок. При сварке взрывом были получены соединения свинца с железом и титаном, которые в статических условиях получить невозможно [2]. Процесс динамического легирования приводит к проникновению легирующих элементов в твердом металлическом теле на глубины в десятки и сотни миллиметров за 100–1000 мкс [3]. Динамические процессы традиционно характеризуются амплитудой давлений и временем действия динамических нагрузок. Если же во всех этих процессах задать одинаковые максимальные давления, что на практике, возможно, то время действия динамических нагрузок оказывается определяющим фактором, влияющим на глубину массопереноса и возникновение структурных аномалий. Длительность процесса нагружения на единичную площадку взаимодействия (10^{-4} м^2) при сварке взрывом не превышает $6 \cdot 10^{-3} \text{ с}$. Длительность же процесса нагружения при динамическом массопереносе на такую же площадь может достигать $2 \cdot 10^{-3} \text{ с}$. Процесс динамического легирования (сверхглубокого проникания) на ту же поверхность в среднем во времени продолжается $\approx 0,4 \text{ с}$. Как правило, процесс сварки взрывом приводит к формированию переходной зоны между металлами не более 10^{-6} м . При динамическом массопереносе толщины переходной зоны достигают десятки и сотни микрон. Поэтому в дальнейшем будем сравнивать между собой только два процесса: динамический массоперенос и процесс сверхглубокого проникания (СГП).

Проведение сравнительных экспериментов

В качестве критериев для сравнения двух динамических процессов прием глубину массопереноса порошковых частиц в объем преграды и проявление структурных аномальных образований в зоне массопереноса. В качестве материала преграды используем медь (М1).

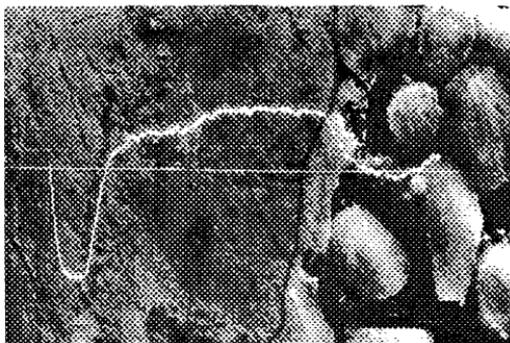


Рис.1. Структура медной преграды (продольный разрез) после динамического нагружения порошком Zn в режиме динамического массопереноса ($\times 3500$)

В экспериментах по динамическому массопереносу в качестве инструмента, создающего высокое давление использовали порошок цинка. В качестве источника энергии использовали заряд взрывчатого вещества (аммонит №6ЖВ) массой 0,2 кг. После динамического нагружения медной заготовки ее разрезали на части, из которых приготавливали шлифы. Исследования этих шлифов выполняли с помощью сканирующего микроскопа и микрозондового анализа. На рис. 1 показан продольный разрез обработанной медной преграды. Выполненный микроанализ позволяет определить глубину массопереноса вводимого цинка в медь.

Глубина массопереноса обработанного образца составила ~ 22 мкм. Концентрации вводимого Zn в меди меняется по глубине по зонам, отличающихся друг от друга разной отражательной способностью. В области динамического массопереноса нет необычных структурных образований. Вводимое вещество образует с материалом преграды ряд соединений с различной концентрацией и с четкими границами между зонами.

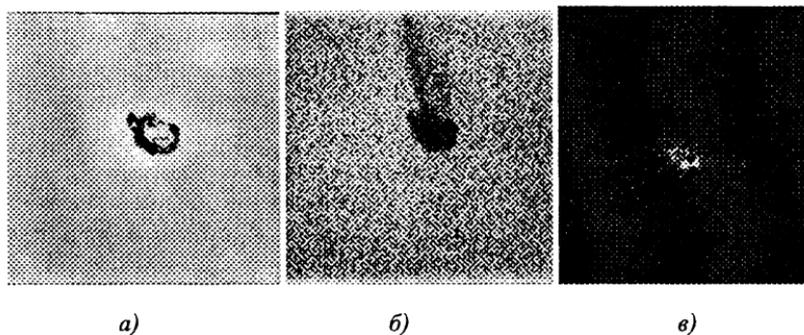


Рис. 2. Структура канального образования в медной преграде, сформировавшегося при бомбардировке сгустком окиси алюминия ($\times 400$):
 а — растровое изображение; б — характеристическое излучение меди;
 в — характеристическое излучение алюминия

В экспериментах по сверхглубокому прониканию в качестве рабочего вещества, передающего давление от заряда взрывчатого вещества, использовали порошки окиси алюминия. В качестве источника энергии для динамического нагружения также использовали заряд аммонита №6ЖВ массой 200 г. После динамического нагружения в режиме сверхглубокого проникания (СПП) медную заготовку разрезали на образцы и исследовали аналогично первому варианту динамического массопереноса. На рис. 2 показаны остатки частицы из окиси алюминия в области торможения ударника. Из рис. 2 б видно, что в объеме медной преграде сформировалась канальная структура,

заканчивающаяся кратерной полостью.. Концентрация вводимого по этому варианту алюминия в медную преграду на глубинах до 20 мм не превышала 0,01–0,1%. На полученных образцах можно рассмотреть зоны канальных образований, отличающихся от матричного материала отражательной способностью. В отличие от динамического массопереноса в варианте сверхглубокого проникания на продольном шлифе можно наблюдать многочисленные трассеры, образовавшиеся при совмещении траектории движения микро ударников с плоскостью шлифа (рис. 3 а). Относительно наибольшие размеры этих трассеров (5–10 мкм) показывают, что при движении микро ударников наблюдаются значительные колебания относительно оси введения порошкового потока. При большем увеличении видно, что при снятии поверхностных слоев происходит разбухание канальной зоны массопереноса со вспучиванием стенки трассера. Это позволяет утверждать, что вещество канальной зоны находится в сжатом состоянии.

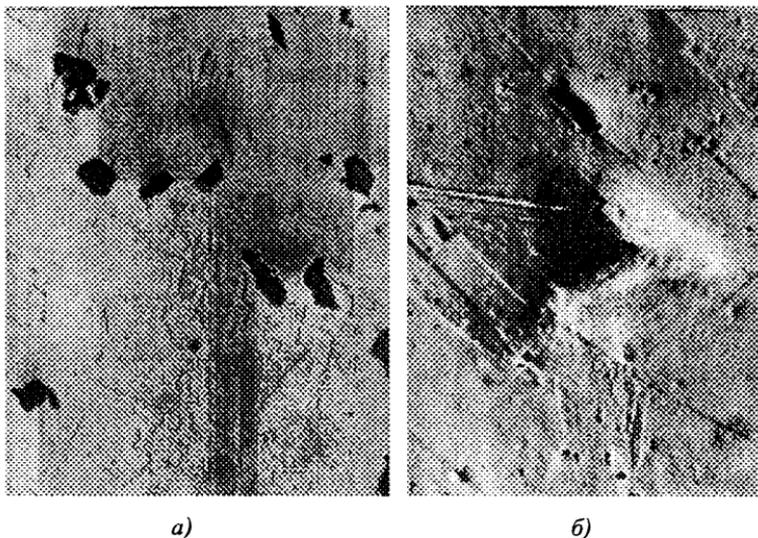


Рис. 3. Структура медной преграды (продольный разрез) на глубине 20 мм после бомбардировки потоком частиц Al_2O_3 : а) $\times 700$, б) $\times 1000$.

Сопоставление результатов динамического нагружения, показывает их качественные отличия. Процесс динамического массопереноса приводит к созданию поверхностных зон глубиной до 100 мкм с высокой концентрацией вводимого вещества и отсутствию необычных структурных образований. При увеличении времени нахождения материала под действием динамических нагрузок, что характерно для обработки в режиме СГП, процесс массо-

переноса вводимого вещества локализуется в узких длинномерных зонах, соответствующих траектории движения микро ударников в медной преграде. Это приводит к падению по глубине легированной зоны концентрации вводимого вещества на порядки и формированию необычных структурных образований — трассеров. Поскольку СГП микро ударников реализуется в закрытой системе ударник — преграда материал преграды в канальной зоне находится под действием высоких давлений.

Заключение

Путем сопоставления результатов массопереноса и структурообразования в различных процессах нагружения динамическими нагрузками показано, что наиболее существенное влияние на протекание динамического массопереноса оказывает время нагружения. Увеличение времени нагружения приводит к увеличению глубины проникания и локализации процесса динамического массопереноса в канальные зоны. Это также сопровождается появлением необычных структурных образований — трассеров, формированием на основе медной заготовки композиционного материала. Полученные результаты не могут быть объяснены с позиции статической обработки материалов давлением.

ЛИТЕРАТУРА

1. Zvorykin L.O., Usherenko S.M. On the influence on initial metal temperatur on the formation of a mass transfer zone during high-rate deformation// Met. Rhus. Adv.Tech., 1997, Vol. 16. — P. 14–21.
2. Смирнов Г.В., Роман О.В., Ушеренко С.М. Технология создания и обработки композиционных материалов взрывом // Сварка и родственные технологии в XXI веке. Сб. трудов международной конференции «Сварка и родственные технологии в XXI веке» Киев ИЭС им. Е.О. Патона, 1998 . — С. 12-23 .
3. Особенности упрочнения металлов при взрывном легировании/ Ситало В.Г., Ушеренко С.М., Губенко С.И., Бунчук Ю.П., Правдин Н.Ю. // Сб. научных трудов Национальной горной академии Украины, Видавництво «Навчальна книга», Днепропетровск, 2002 г., — С. 231–234.