

Список литературы

1. D.J.Idar, R.A.Lucht, J.W.Straight, R.J.Scammon, R.V.Browning, J.Middleditch, J.K.Dienes, C.B.Skidmore, G.A.Duntain "Low amplitude insult project: PBX-9501 high explosives violent reaction experiments", Los Alamos National Laboratory. Eleventh International Detonation Symposium, Snowmass, CO, Aug.31-Sept.4, 1998, P.101.
2. Дмитриев Н.А., Дмитриева Л.В., Малиновская Е.В., Софронов И.Д. Методика расчета нестационарных двумерных задач газовой динамики в лагранжевых координатах //Теоретические основы и конструирование численных алгоритмов задач математической физики /Под ред. К.И.Бабенко. М.:Наука, 1979, С.175-200.
3. С.Ю.Седов, О.М.Величко, О.В.Денисова, А.С.Кривонос, А.М.Вялых Расчеты на основе вязкоупругой модели критериев начала взрыва при низкоскоростном воздействии на взрывчатый состав на основе октогена //Труды международной конференции XV Харитоновские научные чтения. Саров:РФЯЦ-ВНИИЭФ, 2013.С.246-253.
4. Yehuda Partom. A threshold criterion for impact ignition//12th International symposium on Detonation. San Diego, California, 2002. N. 0950.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДА АКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ ПРОЦЕССОВ РАЗРУШЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ ИЗ ПЛАСТИФИЦИРОВАННОГО ОКТОГЕНА С РАЗНОЙ ДИСПЕРСНОСТЬЮ

М.С. Никифорова, Е.Н. Костюков, С.А. Вахмистров

РФЯЦ-ВНИИЭФ, Саров, Россия

Известно, что деформация и разрушение структурно-неоднородных материалов сопровождается генерацией акустического излучения. Физические механизмы этого излучения связаны с динамической локальной перестройкой внутренней структуры материала. Изучение этого явления, называемого акустической эмиссией (АЭ), дает ценные сведения о закономерностях деформирования и разрушения материалов, которые необходимы для прогнозирования предельных состояний материала по результатам предварительного нагружения деталей из ВВ без разрушения. Характер разрушения деталей из ВВ предопределяется совокупностью некоторых факторов. Во-первых, при изготовлении изделий из ВВ, имеющих в своем составе полидисперсный наполнитель, существует вероятность того, что распределение различных его фракций по объему изделия будет неравномерным, а это, в свою очередь, может привести к различию физико-механических свойств материала по объему детали. Во-вторых, разница в физико-механических характеристиках будет зависеть и от присущей всем деталям из такого состава дефектности в виде пор и контактных границ между частицами или гранулами исходного сырья, размеры и несовершенства которых так или иначе связаны с дисперсностью наполнителя [1].

В связи с этим цель данного этапа работ заключалась в исследовании взаимосвязи параметров акустической эмиссии и структуры деталей, изготовленных на основе октогена с различным соотношением массовых долей крупной и мелкой фракций, в условиях испытания на растяжение.

В качестве модельного материала при проведении исследований был использован пластифицированный октоген, из которого методом прессования изготавливали детали. Общее соотношение массовых долей октогена и пластификатора для всех деталей сохранялось постоянным. Изменение дисперсности состава осуществлялось за счет изменения соотношения массовых долей крупной фракции октогена (обозначенной здесь А) и октогена мелкой фракции (Б). На рисунке 1 представлено распределение кристаллов по фракциям. Количественное содержание октогена разных фракций определялось соотношением А/Б % - 100/0, 50/50, 0/100. Т.о. исследования

проводили с использованием трех модификаций состава, из которых были изготовлены три группы деталей: гр. №1 – из состава с соотношением А/Б = 100/0, гр. №2 – А/Б = 50/50, гр. №3 – А/Б = 0/100.

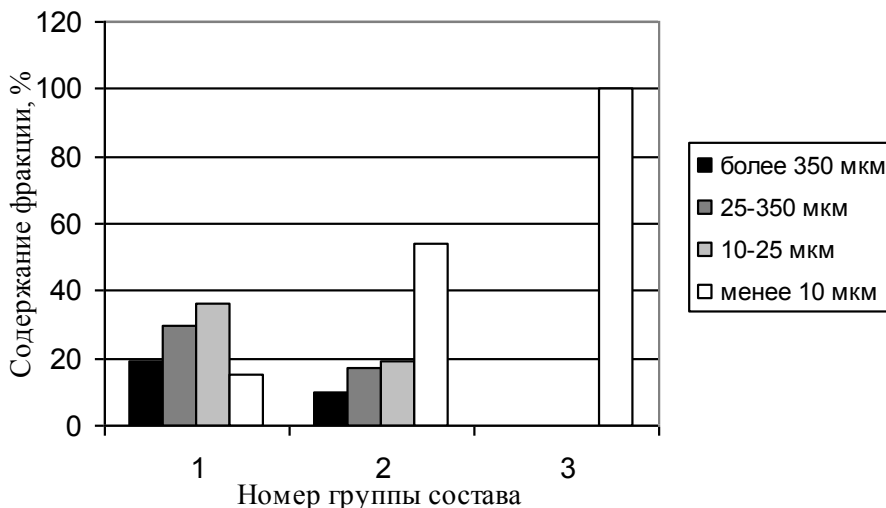


Рисунок 1. Распределение наполнителя по фракциям в группах состава

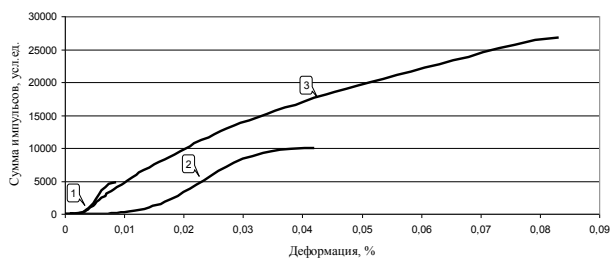
Регистрацию сигналов АЭ при механических испытаниях проводили с помощью акустико-эмиссионного комплекса A-Line 32D, который представляет собой многоканальную систему регистрации АЭ импульсов.

Диаграммы АЭ записывали при испытании деталей на растяжение. Испытанию на растяжение подвергались призматические детали размером 10x15x150 мм. В связи с небольшим размером испытываемых деталей и длительностью эксперимента, не превышающей полутора-двух минут, для записи сигналов АЭ был использован один канал и минимальное время усреднения, предусмотренное в используемой системе контроля, равное одной секунде.

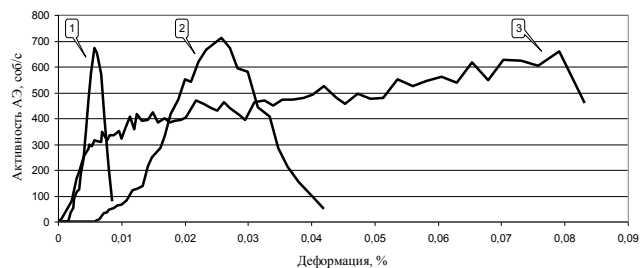
Акустическая эмиссия при испытании деталей на растяжение

На рисунке 2 (а–ж) представлены полученные в результате экспериментов по испытанию деталей диаграммы изменения параметров АЭ: сумма, активность, длительность, амплитуда и энергия событий, а также выбросы или интенсивность, и диаграммы деформирования деталей.

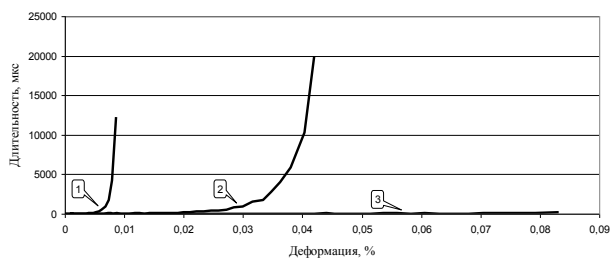
Анализ сигналов АЭ начнем с рассмотрения диаграмм накопления событий (импульсов) АЭ, которые представлены на рисунке 2а. Первое, что обращает на себя внимание – явное отличие формы диаграмм, полученных при испытании первых двух групп деталей, в составе которых присутствует октоген фракции “А” (они имеют форму буквы «S») от диаграмм, полученных при испытании третьей группы деталей, в которых эта фракция октогена отсутствует (диаграмма представляет собой практически прямую линию). Различный вид диаграмм суммы событий АЭ предполагает разные механизмы накопления поврежденности в деталях представленных групп. Для деталей группы №3 вплоть до разрушения детали наблюдается равномерный рост количества импульсов, рисунок 2а, что соответствует равномерному изменению активности, рисунок 2б. Учитывая, что длительность импульсов, рисунок 2в, количество выбросов в импульсе, рисунок 2г, и энергия в течение опыта изменяются также незначительно, можно предположить, что накопление дефектов здесь носит объемный характер. Локализация микротрещин, образование и рост макротрещины, приводящей к разрыву детали, происходят практически мгновенно, в течение нескольких микросекунд. На диаграммах параметров АЭ не наблюдается никаких видимых признаков изменения хода процесса, свидетельствующего о смене стадий в накоплении дефектов, предшествующих разрыву детали.



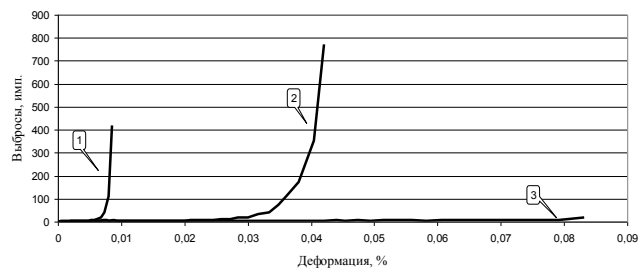
а



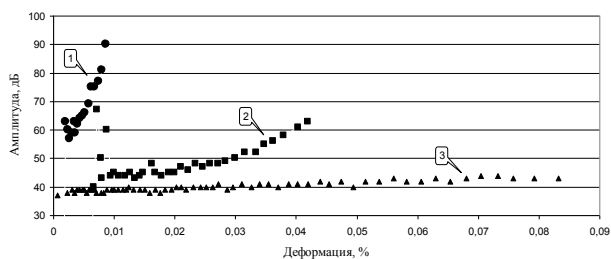
б



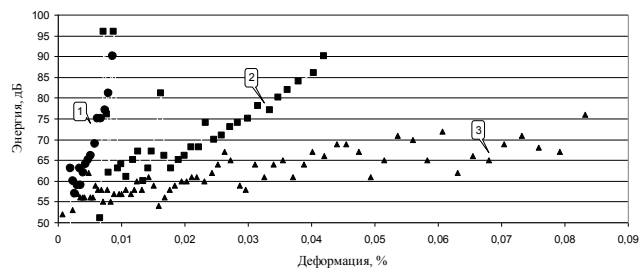
в



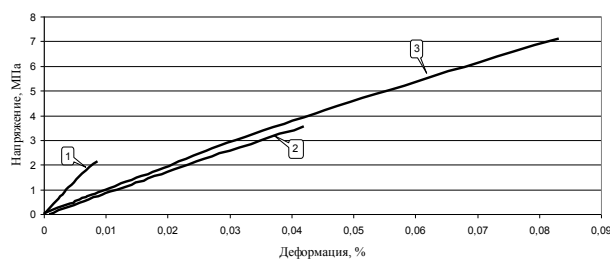
г



д



е



ж

1 – Детали, изготовленные в соотношении массовых долей фракций А и Б: А/Б = 100/0 %, 2 – А/Б = 50/50 %, 3 – А/Б = 0/100%

Рисунок 2. Диаграммы изменения параметров акустической эмиссии: суммы импульсов (а), активности (б), длительности (в), интенсивности (г), амплитуды (д), энергии (е). Диаграмма деформирования деталей (ж)

Для деталей групп №№1, 2 диаграммы суммы импульсов имеют вид буквы «S» с точками перегиба. Наличие этих точек свидетельствует об изменениях в процессе трещинообразования, происходящих в ходе нагружения. После точки перегиба наблюдается снижение градиента скорости роста количества импульсов АЭ, что предполагает достижение в отдельных частях детали

в ходе объемного трещинообразования такой концентрации микротрещин, при которой становится возможным их слияние. В результате происходит переход процесса накопления поврежденности в следующую стадию, сопровождающуюся укрупнением микротрещин и увеличением вероятности их локализации в наиболее поврежденных зонах детали. Разумеется, в это время не прекращается и процесс образования микродефектов, хотя, его активность снижается по мере расширения массива повреждений более крупного уровня. Такой характер процесса роста поврежденности продолжается до появления макротрещины, приводящей к разрушению детали. Непосредственно перед разрушением линия диаграммы становится практически параллельной оси абсцисс, т.е. рост количества событий АЭ прекращается, что свидетельствует о непрерывной АЭ, соответствующим развитию макротрещины разрушения.

Укрупнение дефектов (их слияние) после фиксируемой на диаграмме «Сумма событий – Деформация» точки перегиба подтверждается началом ускоренного роста длительности импульсов АЭ, рисунок 2в. Такое изменение хода диаграммы длительности характерно для всех деталей, изготовленных с использованием крупной фракции октогена. Из представленных диаграмм «Длительность-Деформация» следует, что, если для деталей на основе октогена фракции Б этот параметр даже при максимальных нагрузках (перед разрушением) не превышает 50-60 мкс, то для деталей на основе октогена фракции А длительность импульсов перед разрывом детали увеличивается до 12000 мкс. Максимальная величина этого параметра наблюдается для деталей с соотношением фракций А/Б = 50/50. Здесь длительность достигает значения более 20000 мкс.

Следствием совокупного изменения длительности импульсов АЭ и количества выбросов, эмитируемых при нагружении деталей из составов с разным соотношением крупной и мелкой фракций октогена, является разная величина их энергетической составляющей. Изменение энергии АЭ в процессе нагружения представлено на рисунке 2е. Из полученных данных следует, что средняя энергия акустических сигналов постоянно увеличивается, причем, чем крупнее кристалл, тем быстрее происходит увеличении энергии. Аналогичную картину можно наблюдать на диаграммах изменения амплитуды сигнала. Здесь следует отметить тот факт, что энергия событий при разрушении деталей на основе октогена фракции Б равна энергии событий, фиксируемых в точке перегиба диаграмм суммы событий для деталей с присутствием октогена фракции А, что подтверждает достижение в обоих случаях критической концентрации микродефектов. Однако в первом случае деталь разрушается, достигнув при этом максимального значения прочности, а во втором – накопление поврежденности переходит в новую стадию развития поврежденности при значениях напряжения и деформации, значительно меньших разрушающих.

Структура

Для выяснения причин различий в изменении параметров акустической эмиссии исследованных деталей при одинаковом соотношении массовых долей в составе взрывчатого наполнителя и пластификатора, была исследована структура поверхности разрушения, фотографии которой для разных деталей, сделанные с помощью электронного микроскопа, представлены на рисунке 3.

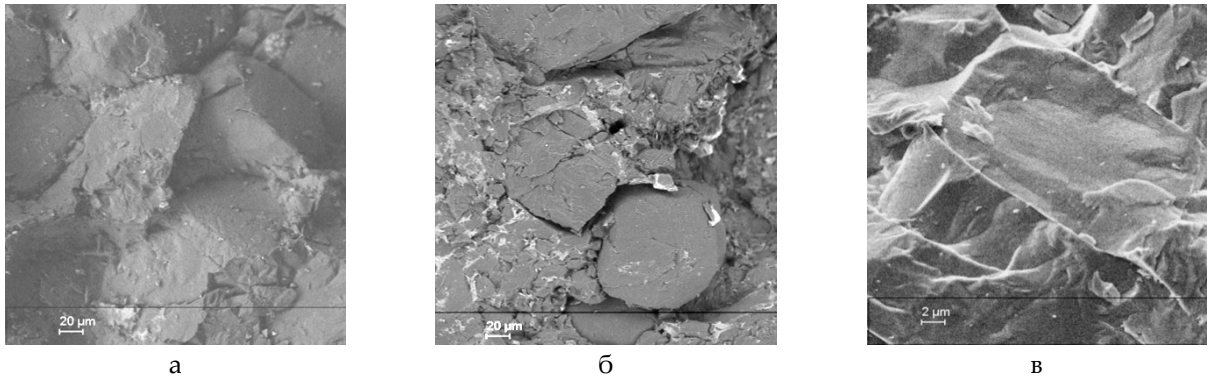


Рисунок 3. Электронное изображение поверхности сколов деталей: а - изготовленных на октогене фракции А; б - изготовленных на октогене с соотношением массовых долей фракций А и Б – 50/50%; в - изготовленных на октогене фракции Б

На рисунке 3а, представлена поверхность разрушения детали, изготовленной с использованием октогена фракции А. Видны практически сохранившие целостность кристаллы октогена с поврежденными краями. Разрушение произошло по межкристаллическим границам, которые представляют скопление частиц разрушенных крупных кристаллов, не скрепленных пластификатором. Учитывая, что следствием развития трещины при растяжении является возникновение зоны разгрузки с исключением из работы части напряженного материала и уменьшение поперечного сечения детали, соответственно, с увеличением напряжения в нагруженных зонах [2], а также, принимая во внимание быстрый рост длительности импульсов и количества выбросов АЭ, а, значит, и энергии импульсов можно предположить для деталей из ВВ на октогене фракции А высокую вероятность быстрого образования и достижения критической концентрации микротрещин и их объединения в более масштабные образования согласно теории стадийности разрушения. При достижении критического уровня напряжения в материале возникают трещины такого размера, когда значение высвобождающейся энергии при движении трещины превышает прирост затрат на её развитие. При этом условии начинается самопроизвольное развитие трещин [2] приводящее к разрушению детали.

На снимке 3в (отметим, что снимок сделан при увеличении в 10 раз большем, чем снимки (а) и (б)) представлена практически монолитная поверхность разрыва, которая состоит из множества плотно упакованных кристаллов мелкодисперсного октогена с прослойками пластификатора. Следует отметить, что в данном случае, несмотря на минимальные размеры, разрушению подверглись сами кристаллы. На этом основании можно сделать вывод, что адгезионная прочность в данном случае сравнима с прочностью кристаллов, что делает структуру детали практически монолитной. При нагружении детали напряжения распределяются равномерно по всему объему деформируемого материала. Распространение возникающих трещин ограничивается пределами размеров кристаллов. Отсюда минимальное количество выбросов, минимальная длительность и энергия событий АЭ при максимальном их количестве.

Снимок 3б представляет собой поверхность разрушения детали, структура которой состоит из совокупности крупных и мелких фракций октогена. Видно, что крупные кристаллы как бы вкраплены в матрицу из октогена мелкой фракции, который в свою очередь смешан с частицами разрушенных кромок крупных кристаллов и пластификатором. По фиксируемым параметрам АЭ: длительности, количества выбросов событий эти детали занимают среднее положение между деталями на основе октогена А и Б.

Таким образом, добавление в состав мелкой фракции наполнителя делает условия прессования деталей более мягкими, как непосредственно за счет уменьшения в составе количества октогена фракции А, так и за счет заполнения пространства между крупными кристаллами высокодисперсной фракцией. Это снижает вероятность возникновения дефектных зон в деталях от

разрушения кромок крупных кристаллов при прессовании, которые не связаны пластификатором, и положительно влияет на перераспределение напряжений при нагружении.

Заключение

Экспериментально исследован процесс накопления повреждений и разрушения деталей из пластифицированного октогена с различным соотношением массовых долей крупной и мелкой фракций в условиях испытания на растяжение. Выявлены зависимости параметров АЭ от особенностей структуры деталей. Показано, что размер кристаллов наполнителя является одним из ключевых факторов, от которого зависят параметры и общий вид сигналов АЭ.

Основываясь на полученных результатах по измерению параметров АЭ при испытании деталей, изготовленных на основе октогена разной дисперсности в условиях растяжения, можно предложить следующие механизмы накопления повреждений:

- для деталей из пластифицированного октогена высокодисперсной фракции Б (гр. №3) в течение всего периода нагружения происходит накопление объемной поврежденности, которое характеризуется относительно малой длительностью, количеством выбросов и низким значением энергии сигналов АЭ. Разрушение развивается по всему объему, образуется большое количество мелких трещин, длина которых при развитии не превышает размера кристаллов наполнителя, за счет чего увеличивается количество сигналов АЭ и характер этого процесса не изменяется до момента разрушения, т.е. практически до момента разрушения процесс накопления поврежденности в этих деталях не локализуется;
- для деталей групп №№1,2, имеющих в своем составе октоген крупнодисперсной фракции А, критический уровень объемной поврежденности в отдельных зонах объема детали достигается в ходе нагружения (отмечается точкой перегиба), что способствует появлению возможности слияния дефектов. В этом случае продолжение процесса накопления поврежденности будет осуществляться на новом масштабном уровне до момента достижения критической концентрации, образованию очагов локализации трещин и развития макротрещин по принципу «слабого» звена.

Список литературы

1. О.В.Роман, В.В.Скороход, Г.Р.Фридман. Ультразвуковой и резистометрический контроль в порошковой металлургии.// Минск, 1989.
2. М.А.Штремель. Разрушение.// Соросовский образовательный журнал. 1997г. №4. С.91-98