

## ИССЛЕДОВАНИЕ ОТКОЛА В УДАРНО СЖАТЫХ АЛЮМИНИЕВЫХ ПОРОШКАХ

А. Н. Дремин, Г. И. Канель, А. М. Молодец

(Москва)

Одним из новых способов обработки минералов является взрывное прессование порошков [1—3]. Однако физика и динамика этого процесса еще не вполне ясна, что затрудняет отработку технологии взрывного прессования каждого конкретного изделия. В известных работах [4—9] изучение динамики взрывного прессования сводится к определению структуры, амплитуд и скоростей волн сжатия относительно небольшой интенсивности, генерируемых в пористых образцах детонацией заряда ВВ или ударом быстро летящей пластины. В этих работах представлены данные о динамическом пределе прочности пористых материалов при сжатии, о зависимости степени уплотнения от давления и поведении спрессованного в волне сжатия материала при разгрузке.

Цель же настоящей работы — выяснение вопроса о том, в какой мере частицы пористого материала сцепляются между собой непосредственно в процессе уплотнения их в ударной волне. Для этого методом откола определялась прочность образцов пористого алюминия через  $10^{-7}$ — $10^{-6}$  сек после прохождения по образцу ударной волны, уплотняющей его до монолитного состояния. Исследовались образцы из алюминиевых порошков АСД-1 различной плотности, АСП-1, а также спрессованные взрывом и затем спеченные образцы САП-1.

Порошок АСД-1 состоит из частиц сферической формы диаметром примерно от 1 до 60 мк. Средний массовый диаметр частиц  $d_{30} \approx 20$  мк, содержание алюминия 98,2%. Порошок АСП-1 состоит из частиц неправильной формы с поперечными размерами приблизительно от 1 до 100 мк, средний массовый диаметр частиц  $d_{30} \approx 40$  мк, частицы содержат в среднем 8,5% окиси алюминия. Для опытов порошки брались в состоянии поставки.

Явление откола в монолитных металлах исследовалось в последние двадцать лет довольно широко и описано в [1, 10—20]. В данной работе для исследования откола и определения критических напряжений применен метод, использовавшийся в [21] для воды, этилового спирта и плексигласа. Принципиальная схема экспериментов по регистрации откола приведена на рис. 1, а. Детонация взрывной линзы 1 и заряда ВВ 2 генерирует через медный экран 3 в образце 4 плоскую ударную волну с плавным спадом давления за фронтом. Ударная волна сжимает пористый образец и уплотняет его до плотности сплошного материала. После выхода фронта ударной волны на свободную поверхность при взаимодействии отраженной волны разрежения с волной разрежения, идущей за фронтом ударной волны, в только что спрессованном образце появляются растяги-

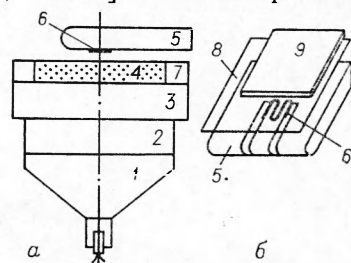


Рис. 1. Принципиальная схема опытов по регистрации откола (а) и схема расположения датчика на мишени (б).

1 — взрывная линза диаметром 100 мм; 2 — заряд ВВ высотой 20 мм; 3 — медный экран толщиной 20 мм; 4 — образец; 5 — мишень; 6 — датчик; 7 — плексигласовое кольцо; 8 — полиэтиленовая пленка; 9 — пластинки слюды или плексигласа.

вающие напряжения и происходит откол. Откольная пластина, пролетев через воздушный зазор, толщина которого 4—10 мм, ударяется о мишень 5 из плексигласа или алюминия. С помощью манганинового датчика давления 6, установленного на поверхности соударения, регистрируется генерируемый при ударе импульс давления.

Конструкция датчика, зависимость сопротивления использовавшейся манганиновой проволоки от давления и электрическая схема описаны в [22]. На рис. 1, б показано расположение датчика на мишени и форма мишени, которая выбиралась так, чтобы датчик и выводы от него попадали в область плоского участка подлетающей откольной пластины, который имел диаметр 3—4 см. Толщина мишени и расстояние от датчика до краев мишени были достаточно большими, чтобы волны разрежения с тыльной и боковых поверхностей мишени не искажали регистрируемый сигнал. В опытах с плексигласовой мишенью датчик наклеивался на ее поверхность и прикрывался полиэтиленовой пленкой толщиной 0,2 мм. Склейка и заполнение пустот осуществлялись вакуумной смазкой. В некоторых опытах для более надежной изоляции датчика от алюминиевой откольной пластины поверх полиэтиленовой пленки наклеивались пластинки из слюды толщиной 0,15 мм или плексигласа толщиной 0,5—1,0 мм. В опытах с алюминиевой мишенью добавлялась полиэтиленовая пленка между датчиком и поверхностью мишени.

Образцы АСД-1 с плотностью  $\rho_{00}=2,1 \text{ г/см}^3$  — это прессованные из порошка таблетки диаметром 80 мм и высотой 10 мм. Менее плотные образцы представляли собой порошок, насыпанный в кювету, дном которой служил медный экран, а стенками — плексигласовое кольцо высотой 10 мм и внутренним диаметром 90 мм. После засыпки порошок слегка уплотнялся вручную для достижения заданной плотности, которая составляла 1,2 г/см<sup>3</sup> для АСД-1 и 1,3 г/см<sup>3</sup> для АСП-1. Исследовались также образцы диаметром 100 мм и высотой 10 мм из спрессованного взрывом и затем спеченного АСП-1 ( $\rho_{00}=2,6 \text{ г/см}^3$ ) и для сравнения из алюминия АД-1 в состоянии поставки.

На рис. 2 показаны типичные осциллограммы опытов по регистрации откола, представляющие собой график изменения давления на поверхности мишени со временем. Видно, что осциллограммы состоят из серии импульсов, каждый из которых соответствует удару откольной пластины о мишень. По амплитуде и длительности первого импульса  $\tau$  можно определить толщину откольной пластины  $h$ , воспользовавшись соотношением

$$\tau = \frac{h}{D_1} + \frac{\sigma_1 h}{c_1} - \frac{\delta}{D_2} + \frac{\sigma_2 \delta}{c_2}, \quad (1)$$

где  $D_1$  — скорость фронта ударной волны, генерируемой в откольной пластине при ее соударении с мишенью;  $\sigma_1 = \left(\frac{V}{V_0}\right)_1$  и  $c_1$  — соответственно степень сжатия и скорость звука за фронтом ударной волны в пластине;  $\delta$  — толщина слоя изоляции между датчиком и откольной пластиной;  $D_2$ ,  $\sigma_2$ ,  $c_2$  — средние значения скорости фронта ударной волны, степени сжатия и скорости звука в изоляции.

Длительность импульса определялась по осциллограмме как промежуток времени между моментом начала резкого увеличения регистрируемого датчиком давления и моментом начала резкого падения его. Параметры ударных волн в откольной пластине и изоляции рассчитывались по измеренной амплитуде импульса давления, генерируемого при соударении откольной пластины с мишенью. При этом для расчета

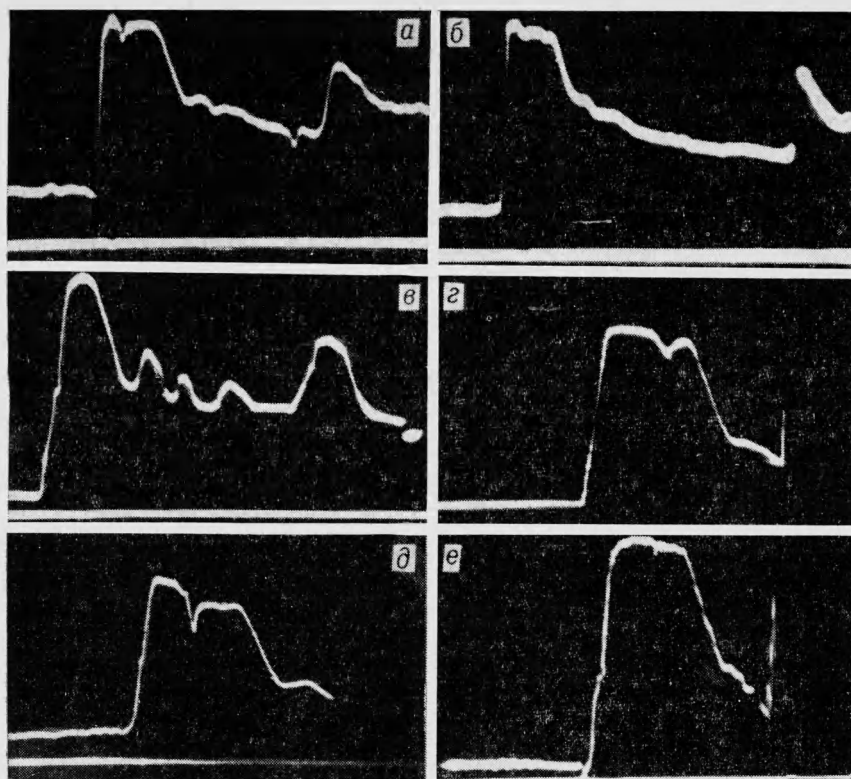


Рис. 2. Осциллограммы опытов по регистрации откола.  
 а) алюминий АД-1; б) спрессованный взрывом образец из АСП-1; в) АСД-1 с плотностью 2,1 г/см<sup>3</sup>; г) АСП-1 с плотностью 1,3 г/см<sup>3</sup>; д, е) АСД-1 с плотностью 1,2 г/см<sup>3</sup>.

скорости звука использовалась формула, полученная в предположении совпадения ударной адиабаты и изэнтропы монолитного материала в координатах давление  $p$  — массовая скорость  $u$  [21, 23]. Расчет критических напряжений по толщине откольной пластины и профилю  $p(t)$  в ударной волне, как это делалось ранее в [21], для пористых образцов связан со многими трудностями из-за того, что импульс сжатия в пористых средах нельзя рассматривать как простую волну.

Дело в том, что ударная адиабата и изэнтропа разгрузки пористых материалов существенно различны, в результате чего профиль давления за фронтом ударной волны определяется интерференцией возмущений, нагоняющих фронт и отраженных от него. Для упрощения определения максимальной величины отрицательного давления в плоскости откола, которая принималась равной пределу прочности при отколе, в данной работе использовались профили давления на границе между образцом и плексигласовой пластиной. На рис. 3 приведены схема опытов по регистрации профилей давления в ударной волне и типичная осциллограмма. Толщина образцов в этих опытах была той же, что и в опытах по регистрации откола.

Как известно [10], после выхода фронта ударной волны на свободную поверхность образца распределение давлений в образце определяется взаимодействием волны разрежения, идущей за фронтом, с отраженной волной разрежения от свободной поверхности. Изменения

давления  $p$  и массовой скорости  $u$  вдоль характеристик (т. е. вдоль кривых, описывающих распространение возмущений в координатах  $t-x$ ) при этом определяются инвариантами Римана или, что то же самое, изэнтропами разгрузки. Если пористый образец за фронтом ударной волны сжат до плотности монолитного материала, а давление

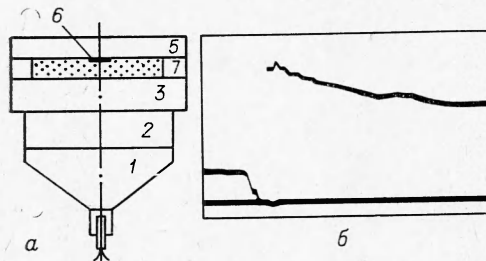


Рис. 3. Принципиальная схема опытов по регистрации  $p(t)$  на границе между образцом и плексигласовой пластиной (а) и типичная осциллограмма (б). Цифровые обозначения см. на рис. 1.

за фронтом не слишком велико, то его изэнтропы разгрузки в координатах  $p-u$  с достаточной степенью точности можно считать параллельными ударной адиабате монолитного материала или симметричными ей. Последнее утверждение основано на приведенных в [24] экспериментальных данных, но его можно вывести и из того известного факта, что ударные адиабаты и изэнтропы разгрузки монолитных материалов в  $p-u$ -координатах практически совпадают даже для ударных

волн большой амплитуды (500—1000 кбар) [25].

В точке пересечения двух характеристик  $p$  и  $u$  определяются пересечением соответствующих кривых изменения состояния вдоль характеристики. Если профиль давления в исходной ударной волне имеет треугольную форму, то в хвосте отраженной волны давление становится отрицательным, причем максимальная величина отрицательного давления в каждом слое образца достигается при прохождении хвостовой характеристики центрированной волны разрежения. Максимальное значение отрицательного давления в плоскости откола, которое принимается равным динамической прочности образца при отколе, можно определить, найдя ту  $C_+^*$ -характеристику, которая встречается в плоскости откола с хвостовой  $C_-^0$ -характеристикой центрированной волны разрежения, и кривую изменения  $p$  и  $u$  вдоль нее, а также амплитуду ударной волны в момент выхода ее на свободную поверхность, знание которой дает нам положение кривой изменения  $p$  и  $u$  вдоль хвостовой характеристики центрированной волны.

На рис. 4 приведены диаграммы  $t-x$  и  $p-u$ , иллюстрирующие волновую картину при отражении треугольной ударной волны на границе между образцом и плексигласовой пластиной. В первом случае (рис. 4, а, б) образец имеет большую динамическую жесткость, чем плексиглас, т. е. на диаграмме  $p-u$  ударная адиабата образца располагается выше ударной адиабаты плексигласа. После выхода в момент  $t_0$  фронта ударной волны  $S_1$  на границу раздела в образец пойдет центрированная волна разрежения. Последовательными приближениями можно определить момент  $t_1$  пересечения хвостовой  $C_-'$ -характеристики этой центрированной волны с искомой  $C_+^*$ -характеристикой и момент  $t_2$  выхода  $C_+^*$ -характеристики на границу раздела с плексигласом. Промежуток времени  $t_2-t_0$  находится из соотношения

$$t_2 - t_0 = \frac{\sigma_{MN}(h + \Delta x)}{c_{MN}} + \frac{\sigma_{NL}(h + \Delta x)}{c_{NL}}, \quad (2)$$

где  $\sigma$ ,  $c$  — соответственно средние значения степени сжатия образца и скорости звука на указанных в индексах отрезках характеристик;

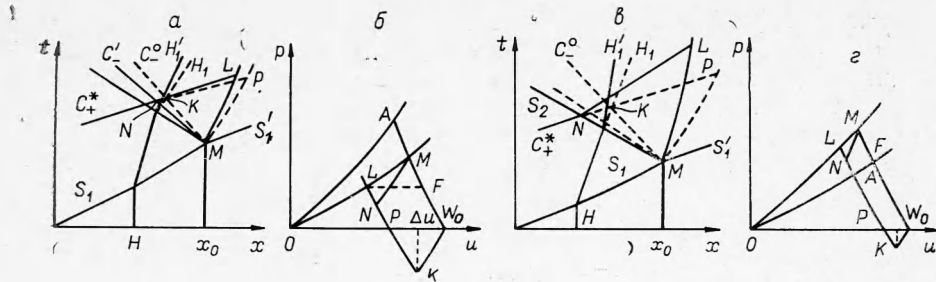


Рис. 4. Иллюстрация волновых взаимодействий после выхода фронта ударной волны на свободную поверхность образца или на границу раздела между образцом и плексигласовой пластиной.

На диаграммах  $t-x$  пунктиром изображены характеристики и траектории движения плоскости откола  $HH_1$  и свободной поверхности  $x_0ML$  при отколе;  $S_1$  — траектория фронта падающей ударной волны в образце,  $S_1'$  — траектория фронта ударной волны в плексигласовой пластине,  $S_2$  — траектория фронта отраженной ударной волны в образце; остальное поясняется в тексте. На диаграммах  $p-u$   $OA$  — ударная адиабата образца,  $OM$  — ударная адиабата плексигласа,  $AM$  — отрезок ударной адиабаты «вторичного сжатия», остальные кривые — изэнтропы разгрузки сжатого образца. Обозначения на  $t-x$  и  $p-u$ -диаграммах соответствуют друг другу.

$\Delta x$  определяет разность координат пересечения характеристик  $C_-^0$  и  $C_-^*$  с  $C_+^*$ -характеристикой. Величину  $\Delta x$  можно определить из соотношения

$$\frac{\sigma_{MK}h}{c_{MK}} = \frac{\sigma_{MN}(h + \Delta x)}{c_{MN}} + \frac{\Delta x \sigma_{NK}}{c_{NK}}. \quad (3)$$

Так как в проведенных экспериментах амплитуда ударных волн и скорости спада давления за фронтом были сравнительно небольшими, то для первого приближения можно взять  $\sigma$  и  $c$ , соответствующими пику измеренного на границе образец — плексиглас профиля давления, и выражение (3) заменить на следующее:

$$\frac{h}{c_0} = \frac{\sigma(h + \Delta x)}{c} + \frac{\Delta x}{c_0}, \quad (4)$$

где  $c_0$  — скорость звука в алюминии при  $p=0$ . Тогда с учетом (4) формула (2) примет вид

$$t_2 - t_0 = 4\sigma \frac{h}{\sigma c_0 + c}. \quad (5)$$

Используя (5) и измеренный профиль давления и учитывая, что изменение  $p$  и  $u$  в волне разрежения, нагоняющей фронт ударной волны в плексигласе, происходит по изэнтропе разгрузки, совпадающей с ударной адиабатой плексигласа, можно получить граничные условия для кривых, по которым меняются  $p$  и  $u$  вдоль  $C_-^0$ -характеристики (точка  $W_0$  на рис. 4, б) и вдоль искомой  $C_+^*$ -характеристики (точка  $L$ ). При отколе максимальное растягивающее напряжение в плоскости откола определяется пересечением кривых  $LK$  и  $W_0K$ . Кривая  $LK$  симметрична ударной адиабате монолитного алюминия и описывает изменение состояния вдоль  $C_+^*$ -характеристики; кривая  $W_0K$  параллельна ударной адиабате сплошного алюминия и описывает изменение состояния вдоль  $C_-^0$ -характеристики. Аналитически величину отрицательного давления в плоскости откола можно рассчитать по формуле

$$p^* \approx \rho_0 c_0 \Delta u. \quad (6)$$

Значение  $\Delta u$  ясно из рис. 4, б. Для определения величины  $\Delta u$  по осциллограмме находятся амплитуда  $p_m$  и средняя скорость спада давления  $dp/dt$  за фронтом ударной волны на границе между образцом и плексигласом. Затем определяется перепад давления  $\Delta p$  за промежуток времени  $t_2 - t_0$  между приходом на датчик фронта ударной волны и  $C_+$ -характеристики:  $\Delta p = (t_2 - t_0)(dp/dt)$ . Так как кривые  $MW_0$  и  $LK$  параллельны по координате  $u$ , то величина  $\Delta u$  определяется как

$$\Delta u = \frac{\Delta p}{2} \left[ \left( \frac{du}{dp} \right)_{ML} + \left( \frac{du}{dp} \right)_{MF} \right], \quad (7)$$

где  $(du/dp)_{ML}^{-1}$ ,  $(du/dp)_{MF}^{-1}$  — средние наклоны изэнтроп плексигласа и алюминия на участках  $ML$  и  $MF$  соответственно (рис. 4, б), причем  $dp/du = \rho_0(c_0 + 2bu)$ ; если изэнтропа разгрузки совпадает с ударной адиабатой в координатах  $p-u$ .

Аналогичным образом рассчитывается критическое напряжение по профилю  $p(t)$  на границе образец — плексиглас и в тех случаях, когда динамическая жесткость у плексигласа выше, чем у образца. На рис. 4, в, г приведены соответствующие диаграммы. Промежуток времени  $t_2 - t_0$  в этом случае определяется выражением

$$t_2 - t_0 = \frac{\sigma_{MN}(h + \Delta x)}{D_{MN}} + \frac{\sigma_{NL}(h + \Delta x)}{c_{NL}}. \quad (8)$$

Величина  $\Delta x$  находится из соотношения:

$$\frac{h}{c_{MK}} = \frac{\sigma_{MN}(h + \Delta x)}{D_{MN}} + \frac{\sigma_{NK}\Delta x}{c_{NK}}, \quad (9)$$

где  $\sigma_{MN}$ ,  $D_{MN}$  — средние на участке  $MN$  величины скорости фронта отраженной ударной волны  $S_2$  и степени сжатия перед фронтом. Для первого приближения можно взять для  $\sigma_{MN}$ ,  $\sigma_{NL}$ ,  $D_{MN}$ ,  $c_{NL}$  величины, рассчитанные по измеренной амплитуде импульса  $p(t)$  и ударным адиабатам образца, а  $\sigma_{NK}$  и  $c_{NK}$  принять равными

$$\sigma_{NK} = \frac{\sigma + 1}{2}; \quad c_{NK} = \frac{c + c_0}{2}.$$

Скорость фронта отраженной ударной волны  $D_{MN}$  можно рассчитать с помощью адиабаты двукратного сжатия подобно тому, как это сделано в [26]. Критическое напряжение  $p^*$  определяется по формулам (6), (7).

В таблице приведены результаты измерений и расчетов и указаны максимально возможные погрешности. Для определения по экспериментальным данным амплитуд ударных волн в пористых образцах рассчитывались ударные адиабаты последних с использованием пластинчаточелевой модели [27]. Алюминиевая пудра АСП-1 содержит 8,5%  $Al_2O_3$ , ударные адиабаты для нее рассчитывались в предположении аддитивной сжимаемости смеси  $Al$  и  $Al_2O_3$ . Расчетная плотность монолитных образцов из АСП-1  $\rho_0 = 2,79 \text{ г/см}^3$ . Ударная адиабата для этой плотности имеет вид  $D = (5,29 + 1,43 u) \text{ км/сек}$ .

Приведенные в таблице величины являются средними для 4—8 опытов. Амплитуды ударных волн в образцах были не менее 16 кбар. По данным работы [4], пористый алюминий уплотняется до плотности монолитного материала в ударной волне с амплитудой 10 кбар, что указывает на правомерность сделанных при расчетах предположений о состоянии пористого образца за фронтом ударной волны.

Откол в образцах АСП-1 с плотностью  $\rho_{00} = 1,2 \text{ г/см}^3$  не всегда был выражен достаточно четко. Типичные осциллограммы опытов по реги-

Показатели	АСД-1	АСП-1	АСД-1	АСД-1	АСП-1, прессован- ный взрывом	АД-1
Плотность образца $\rho_{00}$ , $г/см^3$ . . . . .	1,2	1,3	2,1	2,1	2,6	2,71
Измеренная амплитуда ударной волны на границе с плексигласом, $p_M, кбар, \pm 10\%$	31	31	33	36	39	40
Рассчитанная амплитуда ударной волны в образце $p_A$ , $кбар, \pm 10\%$ . . . . .	16,5	16	43	46,5	71	83
Скорость спада давления за фронтом ударной волны на границе с плексигласом, $dp/dt, кбар/мк-сек, \pm 10\%$	2,4	3,4	5,6	4,0	8,0	10,2
Толщина откольной пла- стины, $h, мм, \pm 10\%$ . . . .	2,6 4,1	2,8	1,3	1,5	2,4	2,5
Критическое напряжение, $p^*, кбар, \pm 30\%$ . . . . .	3,9 6,0	6,3	4,4	3,6	11,5	14,1

страции откола в этих образцах приведены на рис. 2, *д*, где видно четкое разделение двух откольных пластин, и на рис. 2, *е*, где разделение незаметно. Поэтому в таблице приведены по две величины толщины откольной пластины и критического напряжения, которые принимаются за верхнюю и нижнюю границы области значений  $p^*$  и  $h$  для этих образцов. В образцах АСП-1 малой плотности во всех опытах четко зафиксировано разделение откольных пластин. Различие в характере регистрируемых осциллограмм в опытах по отколу в АСД-1 и АСП-1 малой плотности обусловливается, по-видимому, различием скорости спада давления в волне разрежения. Полученная в данной работе величина предела прочности при отколе для алюминия АД-1 разумно согласуется с данными работ [14, 16, 18]. Прочность пористых образцов уже через  $10^{-7} \div 10^{-6}$  сек после их уплотнения во фронте ударной волны доходит до 55% окончательной прочности спрессованных взрывом и затем спеченных образцов.

Столь высокая прочность едва ли может быть обеспечена одним только «переплетением» частиц. По-видимому, в процессе ударного уплотнения происходит разрушение окисных пленок, при этом оголяются металлические поверхности и устанавливаются металлические связи между частицами. Такой же вывод сделан в работах [29, 30], где проведено сравнение электропроводности образцов, спрессованных взрывом и статически, и отмечено, что электропроводность у образцов, спрессованных взрывом, значительно выше, чем у образцов, спрессованных до той же плотности статически.

Из сравнения прочности образцов АСД-1 с плотностью 1,2 и 2,1  $г/см^3$  видно, что повышение плотности образцов перед взрывным прессованием не улучшает качества сцепления между частицами.

Поступила в редакцию  
3/1 1972

## ЛИТЕРАТУРА

1. Дж. С. Райнхарт, Д. Пирсон. Взрывная обработка металлов. М., ИЛ, 1966.
2. O. K. Bergman, J. Barrington. J. of Amer. Ceramic Soc., 1966, 49, 502.
3. Г. А. Ададулов, О. Н. Бреусов, А. Н. Дремин. Сб. докл. Всесоюзного совещания по формированию порошковых материалов. Ленинград, 22—27 февраля 1970 г.
4. K. R. Linde, D. N. Schmidt. J. Appl. Phys., 1966, 37, 8, 3259.
5. R. R. Voade. J. Appl. Phys., 1968, 39, 12, 5693.
6. P. C. Lysne, W. I. Halpin. J. Appl. Phys., 1968, 39, 12, 5488.
7. R. R. Voade. Bull. Amer. Phys. Soc., 1968, 13, 12, 1678.
8. W. Herrmann. J. Appl. Phys., 1969, 40, 6, 2490.
9. P. C. Lysne. J. Appl. Phys., 1970, 41, 1, 351.
10. Я. Б. Зельдович, Ю. П. Райзер. Физика ударных волн и высокотемпературных гидродинамических явлений. М., «Наука», 1966.
11. J. S. Ripenart. J. Appl. Phys., 1951, 22, 3, 555.
12. R. A. McQueen, S. P. Marsh. J. Appl. Phys., 1962, 33, 2, 654.
13. J. H. Smith. ASTM Special Techn. Publ., 1962, 336, 264.
14. D. W. Blincow, D. V. Keller. ASTM Special Techn. Publ., 1962, 336, 252.
15. V. V. Keller, J. G. Trulio. J. Appl. Phys., 1963, 34, 1, 172.
16. В. М. Бутчер, Л. М. Варкер а. о. AIAA J., 1964, 2, 6, 977.
17. Л. В. Альтшулер, С. А. Новиков, И. И. Дивнов. Докл. АН СССР, 1966, 166, 1, 67.
18. С. А. Новиков, И. И. Дивнов, А. Г. Иванов. ФММ, 1966, 21, 4, 608.
19. А. П. Рыбаков, Е. В. Ментешев, В. П. Шавков. ФГВ, 1968, 4, 1, 126.
20. F. David, J. Vasseller а. о. Explosifs, 1970, 4, 121.
21. А. Н. Дремин, Г. И. Канель, С. А. Колдунов. В сб. докладов III Всесоюзного симпозиума по горению и взрыву. Ленинград, 5—10 июля 1971 г.
22. А. Н. Дремин, Г. И. Канель. ФГВ, 1972, 8, 1.
23. А. Н. Дремин, Г. И. Канель. ПМТФ, 1970, 3, 140.
24. T. C. Skidmore, E. Morris. Symp. on Thermodynamics of Nuclear Materials, Vienna, 1962, p. 173.
25. М. Райс, Р. Мак-Куин, Дж. Уоми. В сб. «Динамические исследования твердых тел при высоких давлениях». М., «Мир», 1965, стр. 9.
26. P. Lahagague, J. Morvan, J. Thouvenin. Comport. Milieux denses hautes pressions dynam., Paris — New-York, 1968.
27. J. Heyda. Comport. milieux denses tates pressions dynam. Paris — New-York, 1968.
28. А. Н. Дремин, Н. А. Карпухин. ПМТФ, 1960, 3, 184.
29. Е. А. Дорошкевич, О. В. Роман. Сб. «Новая техника и прогрессивная технология». Минск, «Высшая школа», 1969, стр. 276.
30. О. В. Роман, Е. А. Дорошкевич и др. В сб. «Прогрессивные способы изготовления металлокерамических изделий». Минск, «Польмя», 1971, стр. 136.

УДК 662.215.1+662.4

## РАСЧЕТ ИНИЦИИРОВАНИЯ ДЕТОНАЦИИ МЕХАНИЧЕСКИ НЕОДНОРОДНЫХ ВВ УДАРНОЙ ВОЛНОЙ

*В. А. Васильев, А. А. Ивлев*

*(Москва)*

### О двух пределах инициирования детонации

Согласно общепринятой точке зрения, в ударно сжатых механически неоднородных (насыпных и прессованных) ВВ химическая реакция первоначально возникает в отдельных очагах — горячих точках. При этом, хотя кинетика реакции в каждом очаге определяется законом Аррениуса, суммарное энерговыделение зависит уже не от средней температуры неоднородно нагретого ВВ, а от размеров и концентрации го-