

3. Е. П. Унксон. Инженерная теория пластичности. М., Машгиз, 1959.
4. Л. М. Качанов. Основы теории пластичности. М., ГИТТЛ, 1956.
5. А. Г. Мержанов, В. В. Барзыкин, В. М. Гонтковская. Докл. АН СССР, 1963, 148, 380.

УДК 662.215.5

ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ ПЕРХЛОРАТА АММОНИЯ К МЕХАНИЧЕСКИМ ВОЗДЕЙСТВИЯМ

Г. Т. Афанасьев,
В. К. Боболев, Ю. А. Казарова
(Москва)

В ряде работ [1—5] для твердых ВВ развита локально-тепловая теория инициирования взрыва при ударе. Одни из основных ее положений:

1. Образование локальных разогревов происходит в процессе прочностного разрушения заряда.

2. Температура плавления ВВ является зависящей от давления границей локального разогрева.

В настоящей работе рассматривается применимость этих положений для перхлората аммония (ПХА) и производится сравнение его по чувствительности с тротилом. ПХА является химически стойким мало-мощным взрывчатым веществом, обладающим, как известно из практического опыта, низкой чувствительностью к механическим воздействиям. При нагревании в малых количествах при атмосферном давлении он возгорается. С повышением давления должен происходить переход к плавлению (после тройной точки). С точки зрения исследования чувствительности важно выяснить, плавится ли ПХА при тех давлениях, когда происходит возбуждение взрыва. С этой целью для ПХА были поставлены опыты, аналогичные тем, которые для вторичных ВВ позволили выяснить эффекты, связанные с их плавлением.

Заряды ПХА различной толщины h испытывались в приборе № 2 при ударе (диаметр $D=10$ мм). В процессе удара измерялось давление и фиксировался момент взрыва. Методика измерений подробно описывалась в работе [5]. Результаты опытов с зарядами, толщина которых не превышала 0,7—0,8 мм, представлены на рис. 1. Измерения показали, что ПХА ведет себя при этом подобно вторичным ВВ. После деформации, близкой к упругой (рассчитывались диаграммы напряжение — деформация [5]), происходит разрушение или взрыв заряда. Величины давлений, при которых происходит разрушение $p_{пр}$ или фиксируется

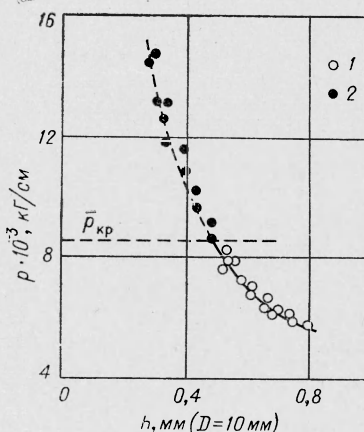


Рис. 1. Зависимость давления, при котором происходит разрушение (1) или взрыв (2) ПХА (0,1% влажности), от толщины заряда ($D=10$ мм).

взрыв заряда $p_{взр}$ с точностью до ошибки измерений ($\sim 10\%$), описываются общей зависимостью

$$\bar{p}_{пр} = \sigma_{пр} \left(1 + \frac{D}{3 \sqrt{3} h} \right), \quad (1)$$

если значение $\sigma_{пр}$ принять равным 1700 кг/см^2 . Переход от разрушения к взрыву происходит при определенной величине давления — критическом напряжении $p_{кр} = 8500 \text{ кг/см}^2$. При отношении h/D , соответствующем точке перехода, должен наблюдаться пик частоты взрывов

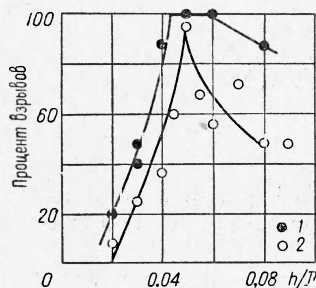


Рис. 2. Зависимость частоты взрывов ПХА (0,1% влажности) от h/D в приборе № 2 ($D=10 \text{ мм}$) при разных энергиях удара: 1 — $2,5 \text{ кг} \cdot \text{м}$; 2 — $1,5 \text{ кг} \cdot \text{м}$.

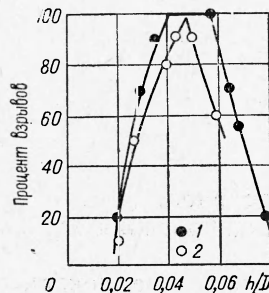


Рис. 3. Зависимость частоты взрыва ПХА (0,1% влажности) от h/D в приборе № 4 ($D=19 \text{ мм}$) при разных энергиях удара: 1 — $8 \text{ кг} \cdot \text{м}$; 2 — $10 \text{ кг} \cdot \text{м}$.

при постоянной энергии удара [5]. Результаты определения частоты взрывов в приборе № 2 ($D=10 \text{ мм}$) при двух значениях энергии удара даны на рис. 2. Малая мощность ПХА позволила в лабораторных условиях провести опыты на зарядах большего диаметра. На рис. 3 представлены данные по частоте взрывов при диаметре 19 мм (прибор № 4 [6]). Как видно, пик частоты взрывов наблюдается в обоих случаях при одном и том же отношении h/D . Отсюда следует, что критическое напряжение либо не зависит от диаметра, либо эта зависимость довольно слабая. Приведенные результаты свидетельствуют о том, что возбуждение взрыва в случае ПХА, как и для вторичных ВВ, происходит в процессе прочностного разрушения заряда, если давление при этом больше или равно критическому напряжению. Существование величины критического напряжения при этом связано с температурой плавления, являющейся зависящей от давления границей локального разогрева. Значение температуры плавления может быть найдено из эмпирической зависимости предела прочности от температуры плавления:

$$\sigma_{пр} = 4,2 T_{пл}, \quad (2)$$

где $T_{пл}$ — температура плавления при нормальном давлении, $^{\circ}\text{C}$. Для этого требуется знать величину предела прочности. Величина 1700 кг/см^2 , приведенная выше, соответствует пределу прочности не ПХА, а системы ПХА+0,1% H_2O . Дело в том, что ПХА легко увлажняется и это, по аналогии с добавкой к вторичным ВВ легкотекучего

компонента [7], должно существенно влиять на предел прочности. Использование в наших опытах увлажненного ПХА вызвано тем, что полностью высушенный ПХА не прессуется. На насыпных же зарядах невозможно произвести точных измерений. Естественно было попытаться определить предел прочности ПХА при такой наименьшей степени увлажнения, при которой он начинает прессоваться.

Опыты производились следующим образом: порошкообразный ПХА, полностью высушенный до постоянного веса, медленно увлажнялся в атмосфере воздуха; как только он начинал прессоваться, изготавливались заряды и сразу же испытывались. Влажность ПХА при этом составляла 0,01%. Измерялась величина $p_{пр}$ при толщине заряда 0,7 мм (прибор № 2). Среднее значение этой величины по данным многих опытов оказалось равным 7500 кг/см^2 . Используя это значение и формулу (1), получаем, что $\sigma_{пр} = 2000 \text{ кг/см}^2$. Данную величину можно принять за предел прочности чистого ПХА, так как экстраполяция $\sigma_{пр}$ от 0,1% влажности через 0,01% к нулю почти не изменяет эту величину. Согласно соотношению (2), такой величине предела прочности соответствует температура плавления при нормальном давлении, равная 480°C . О точности полученного значения температуры можно судить по тому, что сама зависимость (2) выполняется с точностью $\pm 10\%$.

Предсказанная таким образом температура не является действительной точкой плавления ПХА, она отвечает той температуре, при которой ПХА должен был бы плавиться при нормальном давлении, если бы не возгонялся при более низких температурах. В работе [8] наблюдалось плавление ПХА на поверхности горения при 19 атм. Как считают авторы этой работы, температура поверхности при этом должна была составлять примерно 500°C , что хорошо согласуется с величиной, приведенной в настоящей работе. Таким образом, давление, соответствующее тройной точке ПХА, не превышает 19 атм.

Остановимся кратко на одном явлении, наблюдавшемся в опытах с ПХА, влажность которого составляла 0,1% и более. При ударе по образцам толщиной $h \geq 0,7 \text{ мм}$ (осциллограмма давления и диаграмма $p-h$ даны на рис. 4 и 5, а) обнаруживаются ясно выраженные площадки текучести. Если влажность составляет 0,01%, то площадки текучести отсутствуют и образцы ведут себя при ударе хрупко. Естественно поэтому данное явление, не встречавшееся ранее на твердых ВВ, связать с физическим влиянием влажности. Аналогичное явление, как было проверено, обнаруживается и у других гигроскопичных веществ (NaCl , NH_4NO_3). Таким образом, увлажнение ПХА играет пластифицирующую роль.

На рис. 5, б даны кривые деформации ПХА + 0,3% H_2O при медленном нагружении (на прессе). На рис. 5, а, б пунктиром нанесены кривые прочности (или кривые текучести), соответствующие пределу прочности 1000 кг/см^2 (или пределу текучести 1000 кг/см^2). Как видно, кривые нагружения при ударе практически совпадают с пунктирными кривыми, тогда как кривые медленного нагружения после пересечения их отклоняются выше. Такой ход кривых нагружения может быть объяснен следую-

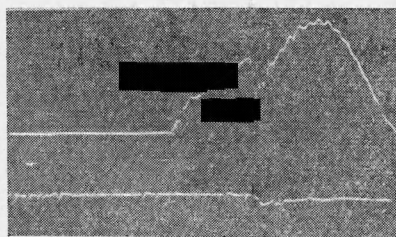


Рис. 4. Осциллограмма давления для перхлората аммония, $h_0 > 0,7 \text{ мм}$.

щим образом. В случае медленного нагружения образцов ПХА, как это было ранее получено и для вторичных ВВ, после участка упругой деформации развивается пластическая деформация, сопровождающаяся упрочнением. Деформация при ударе отличается от случая медленного нагружения изотермичностью и поэтому упрочнение компенсируется уменьшением предела текучести из-за разогрева ПХА на контактных

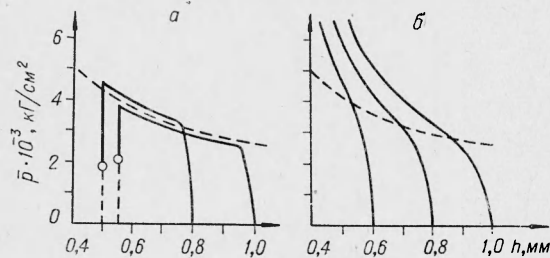


Рис. 5. Кривые нагружения образцов ПХА (0,3% влажности), $\sigma_s = 1000 \text{ кг/см}^2$ при ударе (а) и при медленном сжатии (б).

плоскостях. Режим деформации при этом зависит от скорости теплоотвода и тем самым от скорости деформации. Если уменьшение предела текучести за счет разогрева окажется сильнее, чем упрочнение, то самопроизвольно развивается пластическое разрушение, что было рассмотрено в работе [5]. Этому моменту отвечает конец площадки текучести.

Как показали эксперименты, увеличение скорости удара сокращает протяженность площадок текучести, что хорошо согласуется с предложенным объяснением. Трение — скольжение ПХА по поверхности металла приводит к существенному разогреву, зависящему от скорости скольжения. Возбуждение взрыва, однако, происходит при достижении или превышении критического напряжения $p_{кр}$ составляющего для ПХА 8500 кг/см^2 .

Произведем оценку чувствительности ПХА к механическим воздействиям по открытому объему. Согласно работе [5], такая оценка должна производиться по величине $(D_{min})_{abc}$ — величине наименьшего диаметра ударяющего тела, способного вызвать детонацию всего заряда. Выражение для $(D_{min})_{abc}$ имеет вид

$$(D_{min})_{abc} \approx 2,6 \frac{\bar{p}_{кр} - \sigma_{пр}}{\sigma_{пр}} d_{крmin}, \quad (3)$$

где $d_{крmin}$ — критический диаметр детонации при той плотности, когда он принимает наименьшее значение. Проведем сравнение ПХА по чувствительности с тротилом, причем это сравнение будем проводить при нормальной температуре и размере зерна $\approx 60 \text{ мк}$, так как только для этих параметров состояния ВВ известна величина $d_{крmin}$ для тротила. Она соответствует плотности $\approx 1,60 \text{ г/см}^3$ и составляет $\approx 2 \text{ мм}$. Значения $p_{кр}$ и $\sigma_{пр}$ для тротила составляют соответственно ≈ 11000 и 340 кг/см^2 [5]. Детонационная способность ПХА изучалась в работе [9]. Критический диаметр детонации ПХА возрастает с увеличением плотности. В качестве $d_{крmin}$ используем величину критического диаметра при насыпной плотности ($1,1 \text{ г/см}^3$), так как меньшие плотности, получаемые специально, вряд ли имеют практическое значение. Критический диаметр ПХА при нормальной температуре, влажности 0,01% и размере зерна $\approx 60 \text{ мк}$ приблизительно равен 40 мм . Используя приведенные данные и выражение (3), получаем для ПХА $(D_{min})_{abc} = 34 \text{ см}$ и для тротила $(D_{min})_{abc} = 16 \text{ см}$. Таким образом, ПХА менее чувствителен к механическим воздействиям по открытому объему, чем тротил.

Поступила в редакцию
24/III 1969

ЛИТЕРАТУРА

1. Ю. Б. Харитон. Сборник по теории взрывчатых веществ. М., Оборонгиз, 1940, стр. 177.
2. Н. А. Холево. Канд. дисс. Казань, КХТИ, 1947.
3. Ф. И. Бюден, А. Д. Иоффе. Возбуждение и развитие взрыва в твердых и жидких веществах. М., ИЛ, 1955.
4. Л. Г. Болховитинов. Канд. дисс. М., ИХФ АН СССР, 1960.
5. Г. Т. Афанасьев, В. К. Боболев. Иницирование твердых взрывчатых веществ ударом. М., «Наука», 1968.
6. К. К. Андреев, Ю. А. Теребилина. Сб. «Теория взрывчатых веществ». М., Оборонгиз, 1963.
7. В. К. Боболев, И. А. Карпунин, ФГВ, 1967, 3, 4, 471.
8. I. D. Hightower, E. W. Price. 11-th Symposium (International) on Combustion, 1967.
9. В. А. Горьков, Г. Х. Курбангалина. ФГВ, 2, 2, 1966.

УДК 662.215.2

ОСОБЕННОСТИ ВОЗБУЖДЕНИЯ И ДЕЙСТВИЯ ВЗРЫВА ПРИ БОЛЬШИХ ГИДРОСТАТИЧЕСКИХ ДАВЛЕНИЯХ

Е. А. Левин,
С. А. Ловля, Ю. П. Неласов
(Москва)

Возбуждение взрыва при повышенном гидростатическом давлении осуществляется путем передачи детонации от герметичного взрывателя (взрывной патрон) к основному заряду устройства. Передающей средой является вода, буровой раствор, нефть. Рассмотрим, как могут сказаться условия, действующие в скважине, на передачу детонации¹.

Повышенное гидростатическое давление может вызвать: 1) изменение поля ударных волн вокруг взрывателя, связанное с изменением сжимаемости среды, передающей ударную волну; 2) изменение свойств ВВ пассивного заряда вследствие сжатия ВВ заряда гидростатическим давлением, сжатия газов в порах заряда и частичное заполнение пор жидкостью, а также растворения газов в порах и полное заполнение пор ВВ окружающей жидкостью.

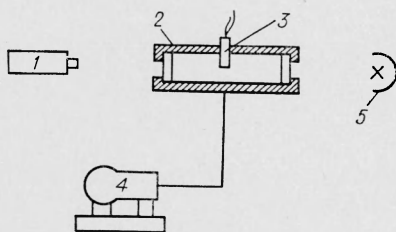


Рис. 1. Схема установки.
1 — СФР; 2 — автоклав с оптическими вводами; 3 — взрывное устройство; 4 — насос; 5 — импульсный источник света.

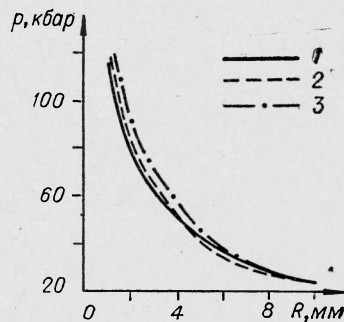


Рис. 2. Поле давлений патрона по его оси при гидростатических давлениях (атм):
1 — 1; 2 — 500; 3 — 800.

¹ Влияние температуры в данной работе не рассматривается.