

ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ ТЭНА К ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ИСКРЕ

*И. Д. Романов, В. В. Стеньгач*

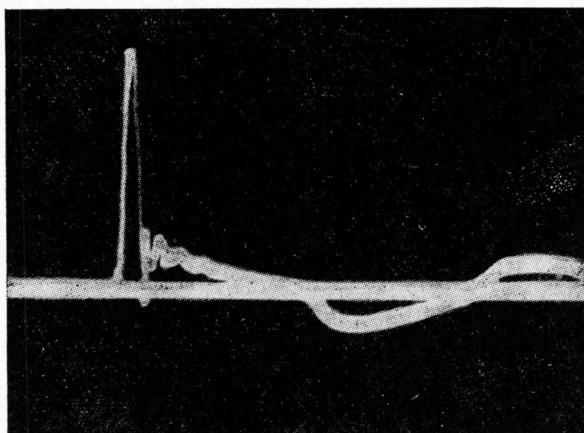
(Москва)

Изучение чувствительности взрывчатых веществ к воздействию различных видов начальных импульсов имеет как научный интерес (изучение механизма возбуждения взрыва), так и практическое значение (выработка мер безопасности, рекомендации по практическому использованию взрывчатых веществ).

В печати появился ряд работ по изучению чувствительности вторичных веществ к электрической искре и к взрыву проволоочки [1, 2].

Здесь изложены результаты экспериментального исследования чувствительности тэна к электрической искре. Изучено влияние дисперсности, плотности, температуры и влажности тэна на его чувствительность к электрической искре. Выяснена также роль межэлектродного расстояния и индуктивности разрядного контура на величину энергии, необходимой для инициирования взрыва.

*Методика опытов.* Для определения чувствительности к электрической искре тэн запрессовывался в камеру диаметром 6 мм, в которую были вмонтированы остроконечные электроды.



Фиг. 1

Возбуждение взрыва производилось разрядом емкости, подключенной параллельно искровому промежутку, при пробое между электродами в тэне. По осциллограммам тока и напряжения определено, что при индуктивности разрядной цепи 0.05 мкгн и сопротивлении 0.01 ом в искровом промежутке уже за время  $10^{-8}$  сек выделяется 90% энергии, запасенной в емкости. Такой же результат при пробое в воздухе был получен в работе [3].

Емкость, подключенная параллельно искровому промежутку образца, заряжалась от предварительно заряженного конденсатора через управляемый коммутатор и индуктивность такой величины, что подпитка разряда током от накопительного конденсатора не превышала 2—3% за интервал времени до детонации образца. Поэтому в оценке чувствительности

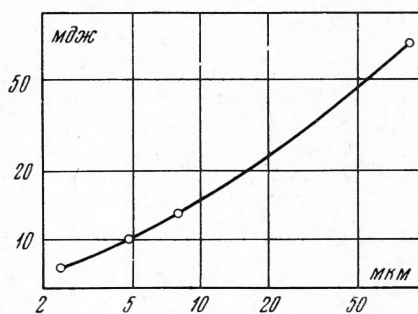
тэна энергией подпитки можно пренебречь. С погрешностью, не превышающей 10%, можно считать, что в искровом промежутке выделяется энергия

$$W = \frac{1}{2} CU^2$$

где  $C$  — емкость конденсатора,  $U$  — пробивное напряжение, измерившееся по осциллограммам (фиг. 1).

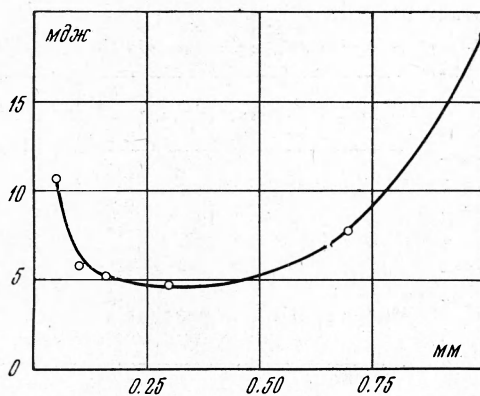
В опытах определялась зависимость частоты взрывов от энергии, выделяющейся в искровом промежутке. За меру чувствительности тэна принимали величину энергии, при которой наблюдалось 50% взрывов ( $W_{50}$  в мдж). Чем меньше величина этой энергии, тем больше чувствительность тэна.

*Результаты опытов.* В опытах использовался тэн со средней величиной кристаллов 2.4, 4.8, 7.9 и 100 мк, запрессованный до плотности 1.1 г/см<sup>3</sup> в образцы с расстоянием между электродами 0.7 мм. Результаты опытов приведены на фиг. 2, из которой видно, что энергия  $W_{50}$  увеличивается с увеличением размеров кристаллов.

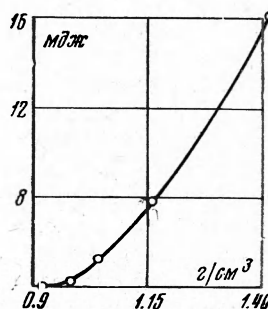


Фиг. 2

Для определения зависимости энергии  $W_{50}$  от расстояния между электродами тэн со средней величиной кристаллов 2 ÷ 3 мк запрессовывался до плотности 1.1 г/см<sup>3</sup> в образцы с расстоянием между электродами от 0.05



Фиг. 3



Фиг. 4

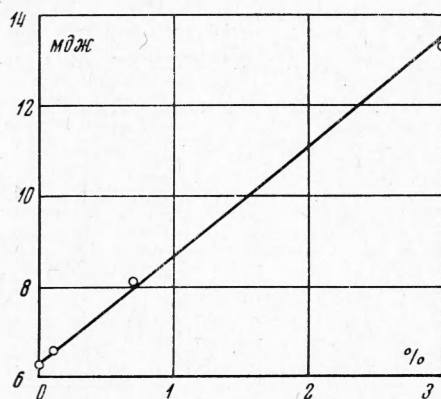
до 1 мм. Результаты опытов приведены на фиг. 3, из которой видно, что зависимость  $W_{50}$  от межэлектродного расстояния имеет минимум при расстоянии между электродами 0.2 ÷ 0.3 мм.

Зависимость энергии  $W_{50}$  от плотности определялась для тэна со средней величиной кристаллов 2 ÷ 3 мк, запрессованного в образцы с расстоянием между электродами 0.2 мм. Полученные результаты приведены на фиг. 4, из которой видно, что в исследованном диапазоне плотностей энергия  $W_{50}$  увеличивается при увеличении плотности.

Результаты опытов по определению энергии  $W_{50}$  для тэна со средней величиной кристаллов 2 ÷ 3 мк, запрессованного до плотности 1 г/см<sup>3</sup> в образцы с межэлектродным расстоянием 0.2 мм, при различных темпера-

турах приведены в табл. 1, из которой видно, что энергия  $W_{50}$  уменьшается при повышении температуры.

Влияние индуктивности разрядного контура на величину энергии  $W_{50}$  определялось на образцах с межэлектродными расстояниями 0.2 мм, в которые был запрессован тэн со средней величиной кристаллов  $2 \div 3$  мк до плотности  $1 \text{ г/см}^3$ . Результаты опытов приведены в табл. 2, из которых видно, что увеличение индуктивности разрядной цепи приводит к росту энергии, необходимой для возбуждения взрыва тэна.



Фиг. 5

Определена зависимость энергии  $W_{50}$  для тэна со средней величиной кристаллов  $2 \div 3$  мк, запрессованного до плотности  $1 \text{ г/см}^3$  в образцы с расстоянием между электродами 0.2 мм, от количества влаги в нем (фиг. 5). Энергия  $W_{50}$  возрастает с увеличением количества влаги в тэне.

**Обсуждение результатов.** Искровой пробой в воздухе сопровождается ударной волной [4-7]. Теория развития искрового разряда основана на

рассмотрении ударных гидродинамических процессов [7]. Было установлено, что скорость расширения канала искры и скорость распространения ударной волны в воздухе тесно связаны со скоростью введения энергии в разряд. Скорость введения энергии в разряд зависит от параметров разрядной цепи, особенно сильно от величины индуктивности. Уменьшение индуктивности приводит к увеличению скорости выделения энергии и, следовательно, к увеличению скорости ударной волны. Скорость ударной волны в воздухе при атмосферном давлении равна  $1 \div 5 \text{ км/сек}$  [4], в азоте при давлении 20 атм —  $60 \text{ км/сек}$ , а в водороде при давлении 20 атм —  $80 \text{ км/сек}$  [8]. Эти скорости близки или превышают скорости детонации взрывчатых веществ. Температура искры может достигать  $10\,000^\circ \text{K}$  [9].

Возбуждение детонации тэна является сложным процессом. По-видимому, в этом процессе играют роль как ударная волна, возникающая при мощном искровом разряде, так и тепловые процессы электрического пробоя в порошкообразном тэне, часть объема которого занимают кристаллы тэна, а другую часть — воздух.

На роль ударной волны указывает, прежде всего, то, что энергия  $W_{50}$  увеличивается с увеличением индуктивности разрядного контура, ведущим к уменьшению скорости ударной волны [6]. Для получения скорости ударной волны, необходимой для инициирования взрыва, при большей индук-

Таблица 1

Энергия  $W_{50}$  при различных температурах

№	Температура, °K	$W_{50}$ , мДж
1	203	27.0
2	293	6.5
3	323	4.5

Таблица 2

Энергия  $W_{50}$  при различных индуктивностях разрядной цепи

№	Индуктивность разрядной цепи, мкГн	$W_{50}$ , мДж
1	0.05	6.5
2	0.30	15.0
3	0.68	500.0

тивности необходимо увеличить величину энергии, запасенной в емкости. Прохождение по веществу ударной волны сопровождается резким повышением давления и температуры [10]. На фронте ударной волны в нагретых кристаллах происходит химическая реакция разложения ВВ. Нагрев кристаллов ВВ, по-видимому, происходит от нагретых ударной волной воздушных пор, расположенных между кристаллами. Величина пор влияет на величину энергии, необходимой для возбуждения взрыва:  $W_{50}$  уменьшается при уменьшении плотности, т. е. при увеличении размеров воздушных пор. При уменьшении величины кристаллов, при одной и той же объемной доле воздушных пор, увеличивается удельная поверхность кристаллов. Вследствие этого большая поверхность и большая масса ВВ вовлекаются в реакцию разложения и происходит энергетическая подпитка ударной волны, что приводит к уменьшению энергии, необходимой для возбуждения взрыва (в согласии с работой [11] и в отличие от работы [12]).

Влияние тепловых процессов пробоя характеризуется тем, что  $W_{50}$  увеличивается: 1) при понижении температуры (чем ниже температура, тем больше требуется тепла для нагрева до температуры, при которой идет быстрая химическая реакция разложения), 2) при увлажнении тэна (чем больше увлажнение, тем толще слой воды на кристаллах тэна, а тепло расходуется не только на нагрев кристаллов тэна, но и на нагрев воды), 3) при уменьшении межэлектродного расстояния — меньше 0.2 мм (часть энергии расходуется на нагрев электродов [13]).

Поступила 1 XII 1971

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Накапо У., Такака У., Кусакабе М. Electric spark sensitivity of explosives. J. Industr. Expl. Soc., Japan, 1963, vol. 24, No. 6.
2. Muller G. M., Moore D. B., Bernstein D. Growth of explosion in electrically initiated RDX. J. Appl. Phys., 1961, vol. 32, No. 6.
3. Андреев С. И., Ванюков М. П. Применение искрового разряда для получения интенсивных световых вспышек длительностью  $10^{-7}$ — $10^{-8}$  сек. II. Ж. техн. физ., 1962, т. 32, вып. 6.
4. Абрамсон И. С., Гегечкори Н. М., Драбкина С. И., Мандельштам С. Л. О канале искрового разряда. ЖЭТФ, 1947, т. 17, вып. 10.
5. Гегечкори Н. М. Экспериментальное исследование канала искрового разряда. ЖЭТФ, 1951, т. 21, вып. 4.
6. Абрамсон И. С., Гегечкори Н. М. Осциллографические исследования искрового разряда. ЖЭТФ, 1951, т. 21, вып. 4.
7. Драбкина С. И. К теории развития канала искрового разряда. ЖЭТФ, 1951, т. 21, вып. 4.
8. Демидов Б. А., Скачков Ю. Ф., Фанченко С. Д. Расширение канала мощных миниатюрных искр. ЖЭТФ, 1961, т. 40, вып. 2.
9. Мандельштам С. Л., Суходрев Н. К. Элементарные процессы в канале искрового разряда. ЖЭТФ, 1953, т. 24, вып. 6.
10. Андреев К. К., Беляев А. Ф. Теория взрывчатых веществ. М., Оборонгиз, 1960.
11. Campbell A. W., Davis W. C., Ramsay J. B., Travis J. Shock initiation of solid explosives. Phys. Fluids, 1961, vol. 4, No. 4.
12. Dinigar R. H., Rochester R. H., Millican M. S. Effect of specific surface on the shock sensitivity of pressed granular PETN. Explosivstoffe, 1963, vol. 11, No. 9.
13. Эльбе Г. Проблема зажигания. В сб. «Вопрос горения и детонационных волн», М., Оборонгиз, 1958.