

14. А. Н. Дремин, К. К. Шведов. ПМТФ, 1964, 2.
15. D. Price, E. J. Petrone. J. Appl. Phys., 1964, 35, 710.
16. М. Н. Павловский. ФТТ, 1967, 9, 11.
17. Л. В. Альтшулер и др. ЖЭТФ, 1960, 38, 3.
18. И. П. Дудолодов, В. И. Ракитин и др. ПМТФ, 1969, 4.
19. М. В. Жерноклетов, В. Н. Зубарев, Г. С. Телегин. ПМТФ, 1969, 4.

УДК 662.215.5

ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ АЗИДА СВИНЦА К ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ИСКРЕ

В. В. Стеньгац
(Москва)

Сейчас известно много исследований по чувствительности взрывчатых веществ к тепловому импульсу, к удару, к наколу, к трению, к воздействию ударной волны, к действию инициирующих веществ и к другим видам начального импульса. Установлены зависимости чувствительности ВВ от различных факторов, проведены исследования механизма возбуждения и развития взрыва [1—12]. В последнее время выполнены исследования чувствительности инициирующих и вторичных ВВ к электрической искре [13, 14, 15].

В настоящей статье излагаются результаты исследования чувствительности азид свинца к электрической искре. Приведены экспериментальные данные о зависимости чувствительности азид свинца к искровому разряду от различных факторов (плотности, величины кристаллов, межэлектродного расстояния, температуры, наличия инертных примесей) и высказаны соображения о механизме инициирования искрой.

В опытах применялся нефлегматизированный (по ГОСТу 1905—57) и флегматизированный парафином азид свинца. Азид свинца запрессовывался в камеру с искровым промежутком, образованным двумя стальными электродами (рис. 1). Средняя плотность азид свинца в камере варьировалась от 1,1 до 2,7 г/см³, а межэлектродный промежуток — от 0,02 до 0,5 мм.

Чувствительность ВВ к электрической искре можно характеризовать величиной энергии, которая возбуждает взрыв. Чем больше энергия, тем ниже чувствительность ВВ. Электрическая схема, при помощи которой измеряли эту энергию, приведена на рис. 2. В ходе опыта конденсатор C_1 заряжался до требуемого напряжения через сопротивления R_1 и R_2 и сопротивление образца R_0 ($C_2 \gg C_1$). При подаче на поджигающий электрод трехэлектродного реле Р импульса напряжения это реле срабатывало, один из электродов образца О соединялся с «землей», между электродами образца возникала разность потенциалов и происходил его пробой, емкость C_1 разряжалась через искровой промежуток образца и в нем выделялась энергия. Если величина энергии

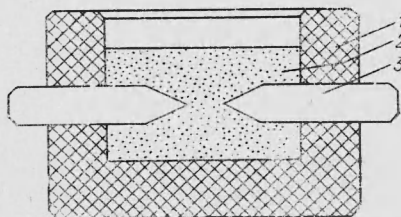


Рис. 1. Схема образца.
1 — корпус из пластмассы; 2 — ВВ; 3 — электрод.

была достаточна для инициирования азид свинца, то пробой сопровождался взрывом.

Энергия инициирования ВВ вычислялась по формуле

$$Q = \frac{(C_1 + C_0) U_0^2}{2} = \frac{(C_1 U_1)^2}{2(C_1 + C_0)} \quad (1)$$

и была несколько завышена (но не намного), так как сопротивлением искры в воздухе можно было пренебречь по сравнению с сопротивлением искрового промежутка образца, с одной стороны, а с другой стороны, дуга в реле формировалась за счет емкостей киловольтметра, реле и подводящих проводов C_3 . Для фиксации пробоя образца пластины осциллографа (п. о.) подключались к емкости C_2 через сопротивление R_3 . Запуск осциллографа синхронизировался с подачей импульса напряжения на поджигающий электрод реле Р. При замыкании реле напряжение между емкостями C_0 , C_1 и C_2 перераспределялось по разному в случае наличия или отсутствия пробоя в образце. По виду осциллограммы можно было судить о том, наступил ли пробой (рис. 3).

За меру чувствительности принималась энергия, необходимая для инициирования 50% образцов. Исследовалась зависимость частоты взрывов от энергии, а также зависимость инициирования 50% образцов от определенного фактора (плотности, температуры и пр.).

Влияние различных факторов. Чувствительность азид свинца к искре повышается с увеличением плотности (рис. 4, 5). Опыты, проведенные над тремя осаждениями азид свинца с различной величиной кристаллов, показывают, что с увеличением кристаллов наблюдается уменьшение чувствительности азид свинца к искровому разряду

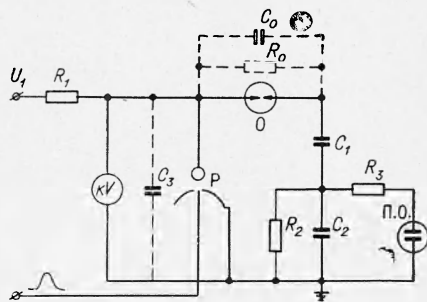


Рис. 2. Электрическая схема для измерения энергии инициирования ВВ искровым разрядом.

$R_1=10^9$ ом, $R_2=10^6$ ом, $R_3=50$ ом, $R_0=10^4 \div 10^8$ ом, $C_0=0,2 \div 1$ мкмкф, $C_1=var$, $C_2=var$, $C_3=30$ мкмкф.

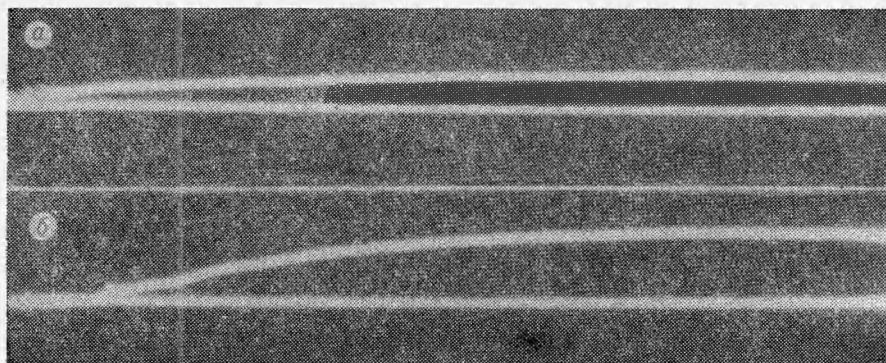


Рис. 3. Осциллограммы.
а) без пробоя, б) при пробое.

(табл. 1). С увеличением размера кристаллов уменьшается частота взрывов от энергии порядка 30 эрг (межэлектродный промежуток 0,16 мм). Размеры кристаллов были определены с помощью микрофотографии.

Результаты по влиянию расстояния между электродами l (оно изменялось от 0,02 до 0,5 мм) на Q при средней плотности азида свинца, равной $2,7 \text{ г/см}^3$, приведены на рис. 6, откуда видно, что с увеличением расстояния l между электродами энергия увеличивается в первом приближении по линейному закону. С повышением температуры азид свинца его чувствительность к искровому разряду повышается (рис. 7).

Влияние примесей. В табл. 2 приведены результаты измерений энергии с примесями нитрата свинца, титана бария и графита при $l=0,16 \text{ мм}$.

Размеры частиц титаната бария 1—5 мк, нитрата свинца 1—10 мк, графита 1—10 мк. Примеси вводились в реактор при получении азид свинца (масса тщательно перемешивалась), затем смесь запрессовывалась при давлении 400 кг/см^2 .

Из табл. 2 видно, что твердые инертные примеси в количестве до 10% не оказывают существенного влияния на чувствительность азид свинца к электрической искре.

При применении ВВ часто в качестве флегматизатора берутся вещества, которые могут обволакивать частицы взрывчатых веществ (парафин, церезин, воск, вазелин, касторовое масло, камфара и др.). Были проведены опыты по определению чувствительности азид свинца с раз-

Таблица 1

Частота взрыва азид свинца в зависимости от размера кристаллов ($Q=30 \text{ эрг}$)

Размер кристаллов, мк	Частота взрывов, %
0,3—1	88
1—3	73
3—7	67

Таблица 2

Зависимость Q от примесей

Примесь	Количество примеси С, %	$Q \text{ эрг}$		Количество испытанных образцов
		100% взрывов	отдельные случаи взрывов	
Нитрат свинца	6,4	50	12	40
Титанат бария	10,0	70	15	40
Графит	4,2	60	8	40
Чистый азид свинца	—	60	10	40

личным содержанием парафина; эти опыты показали, что с введением в азид свинца парафина уменьшается его чувствительность к электрической искре (рис. 8). Кроме этого, чувствительность флегматизированного парафином азид свинца к электрической искре понижается с уменьшением давления прессования так же, как и для нефлегматизированного азид свинца. В частности, энергия, необходимая для 50% взрывов азид свинца с примесью 8% парафина при плотности $2,8 \text{ г/см}^3$ равна 40 эрг , а при плотности $2,2 \text{ г/см}^3$ увеличивается до 200 эрг .

Влияние влажности η азид свинца на его чувствительность к электрической искре проверялось на образцах с межэлектродным расстоянием 0,2 мм, когда азид свинца с различным содержанием влаги запрессовывался до плотности $2,4 \text{ г/см}^3$. Вода в азид свинца вводилась путем промывки его водой и неполной сушки.

Из этих опытов (рис. 9) видно, что энергия, необходимая для инициирования азид свинца, возрастает с увеличением его влажности.

Энергия инициирования при определенной влажности азид свинца различается от опыта к опыту в $20 \div 30$ раз. Это происходит, по-видимому, вследствие неравномерного распределения влаги по объему азид

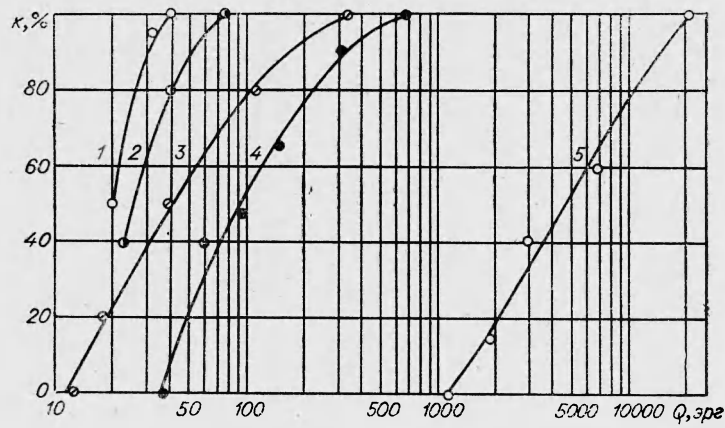


Рис. 4. Зависимость частоты взрывов k от энергии Q при разной плотности азидов свинца.
 Плотность, g/cm^3 : 1 — 2,7, 2 — 2,45, 3 — 2; 4 — 1,65, 5 — 1,1.

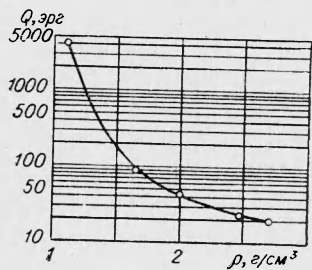


Рис. 5. Зависимость энергии Q от плотности (ρ) азидов свинца при 50% взрывах.

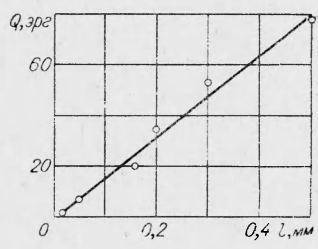


Рис. 6. Зависимость энергии Q от межэлектродного расстояния при 50% взрывах.

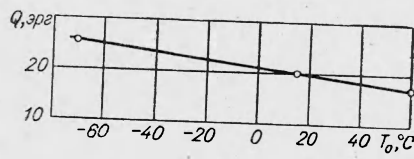


Рис. 7. Зависимость энергии Q от температуры азидов свинца при 50% взрывах.

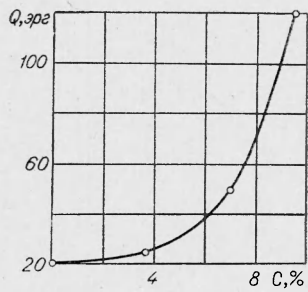


Рис. 8. Зависимость энергии Q от количества парафина в азиде свинца при 50% взрывах.

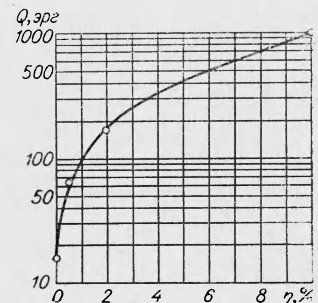


Рис. 9. Зависимость энергии Q от количества влаги в азиде свинца при 50% взрывах.

свинца, из-за чего в месте пробоя у разных образцов находится неодинаковое количество влаги (это же наблюдается и в опытах с парафином).

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Возбуждение взрыва ВВ под действием внешнего импульса по современным представлениям сводится к образованию «горячих точек» и к тепловому инициированию. Непосредственной причиной, обуславливающей начало взрывчатого распада ВВ, является возрастание температуры выше точки самовоспламенения.

Пробой пресованного азида свинца происходит в воздушных каналах, образованных воздушными промежутками между кристаллами азидов свинца. При пробое в воздухе температура в канале искры может достигнуть $10^4 \div 4 \cdot 10^4$ °К [16]. Для того чтобы вызвать взрыв азидов свинца, необходимо, по-видимому, нагреть определенный слой его от канала искры до температуры самовоспламенения. При этом происходит детонация, так как азид свинца не способен к устойчивому горению и может детонировать в ничтожных количествах.

Энергия, необходимая для возбуждения взрыва одного и того же ВВ в определенном состоянии, не постоянна. Увеличение концентрации энергии в объеме и во времени снижает [2] общее количество энергии, необходимое для инициирования ВВ. При искровом разряде энергия, выделяемая в веществе за короткий промежуток времени порядка 10^8 сек, может быть локализована в небольшом объеме (в искровом канале порядка нескольких микрон). Следует ожидать, что инициирование ВВ искрой можно осуществить сравнительно малой величиной энергии. Действительно, при малом зазоре (0,02 мм) и плотности 3 г/см³ инициирование азидов свинца наблюдается от энергии порядка 1 эрг.

Качественное объяснение полученным результатам можно получить из грубого допущения, что вначале после пробоя энергия, выделившаяся в искровом промежутке, локализована в воздушном канале между кристаллами. За счет этой энергии тонкие слои кристаллов, прилегающих к искровому каналу, нагреваются до температуры воспламенения. Чем больше объем искрового канала, тем больше энергии нужно ввести в канал для получения одной и той же плотности энергии (или температуры).

Если принять, что искровой канал имеет форму цилиндра длиной l и сечением s и для инициирования азидов свинца необходима одна и та же плотность энергии w в искровом канале, то общая энергия, необходимая для инициирования азидов свинца, выразится формулой

$$Q = slw. \quad (2)$$

Экспериментально установлено, что чувствительность азидов свинца к электрической искре понижается: а) с уменьшением плотности азидов свинца; б) с увеличением величины кристаллов; в) с увеличением межэлектродного расстояния; г) с уменьшением температуры азидов свинца; д) с увеличением количества в азиде свинца парафина или воды.

Наличие в азиде свинца твердых инертных примесей (нитрат свинца, титанат бария, графит и др.) до 10% практически не сказывается на чувствительности азидов свинца к искровому разряду.

Формула (2) качественно подтверждает полученные экспериментальные закономерности. Действительно, чем меньше плотность азидов

свинца или чем крупнее его кристаллы, тем больше сечение воздушных каналов s , по которым происходит пробой, и тем больше величина энергии Q , необходимая для инициирования, при одной и той же длине искрового промежутка l . Из формулы (2) вытекает и экспериментально установленная прямая пропорциональность между энергией Q , необходимой для инициирования, и длиной искры l (при постоянных сечении s и плотности энергии ω).

Повышение чувствительности азидов свинца к искре с ростом температуры можно объяснить тем, что количество тепла, необходимое для нагрева определенного слоя азидов свинца до температуры самовоспламенения, зависит от начальной температуры азидов свинца. С увеличением последней энергия должна уменьшаться (в соответствии с экспериментальными).

Введение в азид свинца до 5—10% инертных твердых примесей не оказывает существенного влияния на его чувствительность к электрической искре, потому что вдоль канала искры еще достаточно кристаллов азидов свинца, которые беспрепятственно нагреваются до температуры самовоспламенения. Твердые инертные примеси играют «пассивную» роль — они и не помогают и не препятствуют возбуждению взрыва, в то время как при механических воздействиях твердые тугоплавкие примеси являются источниками «горячих точек» и оказывают поэтому существенное влияние на чувствительность ВВ к механическим воздействиям.

Установлено, что наличие влаги в азиде свинца или флегматизация его парафином приводят к понижению чувствительности азидов свинца к искре. Как при наличии влаги, так и при флегматизации парафином кристаллы обволакиваются инертной пленкой (парафина или воды). Чем больше процент парафина или влаги, тем больше толщина инертной пленки. Для инициирования азидов свинца необходимо не только нагреть до температуры самовоспламенения определенный его слой, но еще инертную пленку, на что требуется дополнительная энергия. Она будет тем больше, тем толще инертная пленка, т. е. с увеличением количества примеси, способной обволакивать кристаллы азидов свинца, чувствительность его к искровому разряду понижается.

Вследствие неравномерного распределения обволакивающего вещества (парафин, вода и др.) по объему отдельные образцы сильно отличаются (до 20—30 раз) друг от друга по величине энергии, необходимой для инициирования азидов свинца.

Полученные экспериментальные данные находятся в согласии с тепловым механизмом возбуждения взрыва в азиде свинца, разработанным советскими учеными.

*Поступила в редакцию
23/IX 1968*

ЛИТЕРАТУРА

1. Ю. Б. Харитон. Сборник статей по теории ВВ. М., Оборонгиз, 1940.
2. А. Ф. Беляев. Сборник статей по теории ВВ. М., Оборонгиз, 1940.
3. Ф. А. Баум. Известия Артакадемии. Т. 30а. М., 1941.
4. Н. А. Холеев. Сб. «Теория ВВ». М., Оборонгиз, 1963.
5. К. К. Андреев. Сб. «Теория ВВ». М., Оборонгиз, 1963.
6. Я. И. Лейтман. Вопросы теории взрывчатых веществ. М., Изд-во АН СССР, 1947.
7. П. Ф. Бубнов. Иницирующие взрывчатые вещества. М., Оборонгиз, 1940.

8. Ф. Боуден, А. Иоффе. Возбуждение и развитие взрыва в твердых и жидких веществах. М., ИЛ, 1955.
 9. Ф. А. Баум, К. П. Станюкович, Б. Н. Шехтер. Физика взрыва. М., Физматгиз, 1959.
 10. К. К. Андреев, А. Ф. Беляев. Теория взрывчатых веществ. М., Оборонгиз, 1960.
 11. Ф. Боуден, А. Иоффе. Быстрые реакции в твердых веществах. М., ИЛ, 1962.
 12. R. H. Dinegar, R. H. Rochester, M. C. Millican. Explosivstoffe, 1963, 9.
 13. J. Nakano, J. Tanaka, M. Kusakabe. J. Ind. Expl. Soc. 1963, 24, 6.
 14. J. Nakano, J. Tanaka, J. Mizushima. J. Ind. Expl. Soc., 1965, 26, 5.
 15. R. M. H. Wyatt, P. W. J. Moore a. o. Proc. Roy. Soc. 1958. A 246, 1245.
 16. Г. Г. Долгов, С. Л. Мандельштамм. ЖЭТФ, 1953, 24, 6.
-