

**НЕКОТОРЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ  
ПОДЖИГАНИЯ АЦЕТИЛЕНО-ВОЗДУШНЫХ СМЕСЕЙ  
НАГРЕТЫМИ ЧАСТИЦАМИ**

*Н. А. Бойков, П. С. Звездин, Л. Б. Резник*  
(Донецк)

Разработка средств защиты от взрыва оболочек электрооборудования, предназначенного для работы на установках, где возможно образование взрывоопасных концентраций ацетилена в воздухе, представляет сложную проблему. Это связано с тем, что нестабильность частоты передач в ацетилено-воздушных смесях, объясняющаяся влиянием примесей ацетилена, влажностью и спецификой поджигания окружающей смеси, не позволяет определить экспериментальный безопасный зазор при плоскофланцевом соединении элементов оболочки. Предыдущие исследования показали, что передача взрыва в ацетилено-воздушной среде происходит частицами [1].

В настоящей работе приводятся результаты исследования процессов поджигания ацетилено-воздушных смесей сажистыми и металлическими частицами, выбрасываемыми взрывом из экспериментальной оболочки через плоские фланцевые сопряжения.

**МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТА**

Исследования проводились на установке, основной частью которой являлась цилиндрическая оболочка из нержавеющей стали объемом 2 л (диаметр равен высоте). Плоская крышка крепилась к корпусу шестью болтами М8. Между крышкой и фланцами оболочки с помощью калиброванных прокладок устанавливается зазор заданной ширины. Взрывоопасная смесь создавалась в оболочке по парциальным давлениям газов. Во время приготовления смеси фланцевая щель снаружи уплотнялась резиновым кольцом. В качестве взрывной камеры, в которую происходила передача взрыва, к оболочке в плоскости фланцевого зазора приставлялась прозрачная труба (диаметр 60 мм, длина 1,5 м) из органического стекла. Смесь в приставную взрывную камеру (ПВК) подавалась из газгольдера. Процессы, происходящие в ПВК и в воздухе, фотографировались на киноленту. Иницирование процесса горения в оболочке было синхронизировано с пуском скоростной кинокамеры.

Для удобства наблюдения траекторий и места вылета частиц, выбрасываемых из оболочки при взрыве, оболочка устанавливалась так, чтобы плоскость щели была расположена вертикально. Фотографирование производилось в затемненном помещении на фоне черного экрана. Перед проведением эксперимента внутренние поверхности оболочки и

крышка промывались этиловым спиртом. Затем устанавливалась заданная ширина зазора и в оболочке взрывалась 25—30%-ная водородо-воздушная смесь до прекращения вылета светящихся частиц (10—20 опытов). Лишь после этого считалось, что оболочка пригодна для проведения опытов.

Исследование полета и поджигания сажистыми частицами производилось следующим образом. В оболочке, предварительно очищенной описанным способом, взрывалась 25—27%-ная ацетилено-воздушная смесь. Образовавшаяся взрывная сажа оседала на стенках оболочки и в щели. Затем устанавливался необходимый зазор и производились исследования в 12,5%-ной ацетилено-воздушной смеси. При исследовании треков и поджигающей способности металлических частиц также производилась предварительная очистка оболочки. Затем в нее засыпались стальные опилки, устанавливался зазор заданной ширины и взрывалась 30—32%-ная водородо-воздушная смесь. При этом окружающей средой оставалась 12,5%-ная ацетилено-воздушная смесь.

### РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Использование при исследованиях приставной взрывной камеры дало возможность наблюдать передачи взрыва различными частицами, а также исследовать влияние преграждающих поверхностей на поджигающую способность частиц. На рис. 1 показана кинограмма вылета и фотография треков сажистых частиц, вылетевших через зазор 0,08 мм в 20%-ную ацетилено-воздушную смесь. В такой смеси не наблюдалось ни одного воспламенения из 150 опытов, хотя яркость свечения частиц была значительно выше, чем в 12,5%-ной смеси. Кроме того, длительность видимого свечения сажистых частиц в 20%-ной смеси заметно больше, чем в 12,5%-ной смеси, и достигает 3—7 сек.

Наблюдались передачи взрыва в ацетилено-воздушную смесь через фланцевый зазор шириной 0,03 мм (практически приемлемыми в электрооборудовании являются зазоры больше 0,05 мм). Приставная взрывная камера была разделена легкоъемной перегородкой на две части. Первая часть (у оболочки, длиной 40 см) заполнялась смесью, содержащей 20% ацетилена, вторая часть (длиной 40 см) — смесью, содержащей 12,5% ацетилена. Перед взрывом перегородка, разделяющая ПВК, убиралась. Время от момента удаления перегородки до воспла-

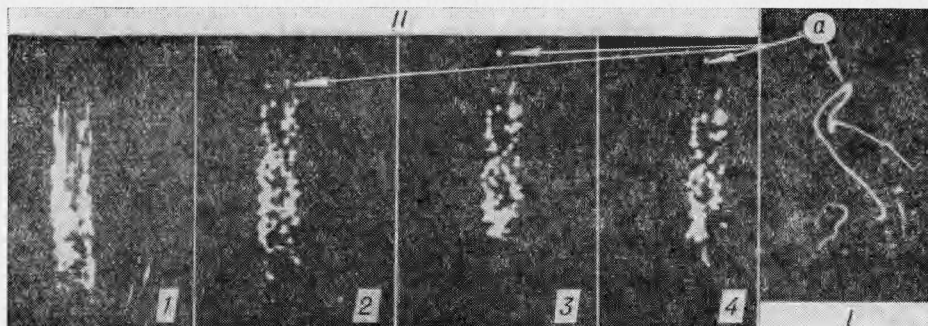


Рис. 1. Кинограмма (II) и фотография (I) вылета сажистых частиц в ПВК.

1, 2, 3, 4 — последовательные кадры кинограмм (частота съемки 32 к/сек).  
а — частица, траектория которой зафиксирована на фотографии (I); время ее жизни 4 сек.

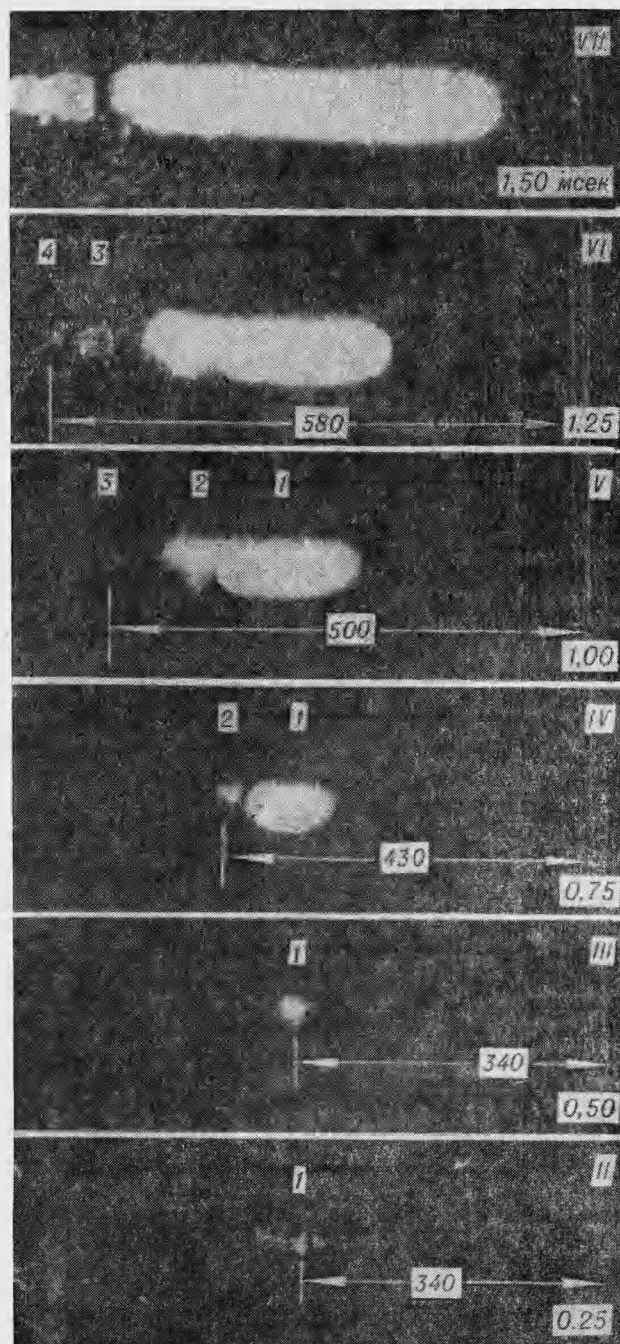


Рис. 2. Последовательное воспламенение ацетилено-воздушной смеси несколькими стальными частицами (цифры в правом углу кадров показывают время от начала воспламенения смеси в ПВК первой частицей).

менения смеси составляло 0,3—0,5 сек, поэтому можно допустить, что в процессе опыта градиент концентраций вдоль ПВК сохранялся неизменным. При просмотре фильма видно, что частица, попадая в первую часть ПВК, разгорается и, не поджигая смесь, движется дальше. Попав в среду с 12,5% ацетилена, частица поджигает смесь. Весь процесс длится 1—3 сек.

На рис. 2 приведена кинограмма поджигания 12,5%-ной ацетилено-воздушной смеси стальными частицами, выброшенными давлением взры-



Рис. 3. Фотография вылета стальных частиц в ПВК с 20%-ной ацетилено-воздушной смесью.

1 — характерные «взрывы» частиц.

ва через зазор 0,18 мм. Время задержки передачи взрыва в данном случае достигает 70—80 мсек. Под временем задержки понимается время от момента поджигания смеси в экспериментальной оболочке до момента воспламенения окружающей смеси. Поджигание происходило на расстоянии 30 см и более от внешней кромки фланцев. При установке преграждающей поверхности в ПВК на расстоянии менее 30 см от кромки фланцев стальные частицы не воспламеняли смесь. Подобное действие преграждающей поверхности на поджигающую способность частиц было замечено и при исследовании поджигания сажистыми частицами.

При заполнении ПВК 20%-ной ацетилено-воздушной смесью (рис. 3) яркая вспышка стальных частиц не приводила к воспламенению смеси, а длительность их существования в смеси не изменялась (около 100 мсек).

#### ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Было показано [1], что передача взрыва в ацетилено-воздушных смесях через зазоры, меньшие пламегасящих, происходит частицами, выброшенными из оболочки вместе с продуктами взрыва. Известно [2, 3], что при горении ацетилена образуется сажа. А. Гейдон [4] отмечает, что в пламени предварительно смешанных ацетилено-воздушных смесей даже при избытке кислорода, т. е. при концентрациях ацетилена ниже стехиометрического состава, наблюдается образование углеродных частиц. Естественно, было сделано предположение, что частицы, поджигающие ацетилено-воздушную смесь, являются частицами сажи, образовавшимися при взрыве в оболочке.

Исследования, проведенные в 1962—1963 гг., подтвердили сделанное предположение. Кроме того, было замечено, что поджигание окружаю-

щей смеси может происходить как сажистыми, так и другими частицами. Некоторые исследователи [5] склонны считать механизм поджигания ацетилено-воздушных смесей сажистыми и металлическими частицами аналогичным. Приведенные здесь результаты позволяют заметить разницу между ними.

При вылете сажистых и металлических частиц наблюдаемое свечение их обусловлено температурой, возникающей при взрыве смеси в оболочке, и экзотермическими процессами, происходящими на поверхности частиц при взаимодействии с окружающей средой. После отражения от преграждающей поверхности металлические частицы движутся почти прямолинейно, сажистые — по сложным траекториям (см. рис 1 и 3). Существование частиц заканчивается неодинаково: металлические вспыхивают, а затем быстро гаснут, сажистые частицы как разгораются, так и гаснут, медленно изменяя яркость.

При вылете сажистых частиц в ацетилено-воздушную среду яркость<sup>1</sup> и длительность их видимого свечения в 20%-ной смеси выше, чем в 12,5%-ной. Это может быть объяснено следующим. Разогрев частиц обусловлен как экзотермическим разложением ацетилена на поверхности частицы, так и окислительным процессом. В связи с тем, что преобладающим является процесс разложения, свечение частицы будет тем интенсивнее, а длительность свечения тем больше, чем выше концентрация ацетилена. В сравнении с сажистыми металлическими частицы не изменяют яркость и длительность свечения при попадании в различные среды (в 20- и 12,5%-ную ацетилено-воздушную смесь, воздух). Поджигающая способность сажистых частиц в 12,5%-ной ацетилено-воздушной смеси выше, чем в 20%-ной. Для ацетилено-воздушных смесей установлено [6], что минимальная энергия поджигания составляет 0,01 мдж и соответствует концентрации 9,25% ацетилена в воздухе. При повышении содержания горючего в смеси энергия поджигания возрастает, поэтому частицы с примерно одинаковой энергией лучше поджигают 12,5%-ную ацетилено-воздушную смесь, чем 20%-ную.

Одной из основных характеристик процесса передач взрыва частицами является время задержки  $\tau$  (рис. 4). Как видно из рисунка, зависимости  $\tau = f(\delta)$  для металлических и сажистых частиц имеют сходный характер, описываемый аналитическим выражением вида:

$$\tau = A \delta^2 B^{1/6},$$

где  $A$  и  $B$  — экспериментальные коэффициенты. При одной и той же ширине зазора время задержки для сажистых частиц в 2—3 раза больше времени задержки для металлических частиц.

Разогрев металлических частиц связан только с окислительным процессом, а сажистых — с экзотермическим разложением ацетилена на поверхности частицы и окислительными процессами, т. е. разогрев проте-

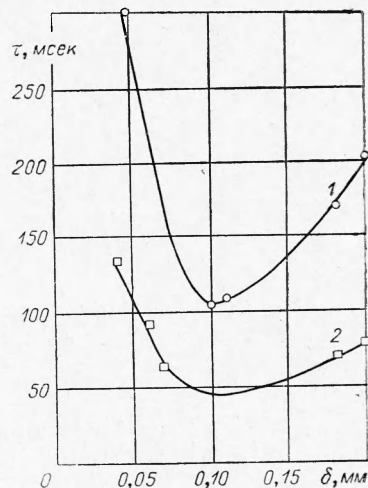


Рис. 4. Кривые зависимости времени задержки передачи взрыва от величины зазора ( $\delta$ ) для сажистых (1) и металлических (2) частиц в смеси 12,5% ацетилена с воздухом.

<sup>1</sup> Под яркостью свечения в данном случае понимается плотность изображения на пленке.

кает в две стадии. Стадия экзотермического разложения способствует разогреву частицы и началу окислительного процесса, поэтому время задержки при поджигании металлическими частицами оказывается меньше, чем при поджигании сажистыми частицами.

#### ВЫВОДЫ

Передача взрыва через зазоры, меньшие пламегасящих (наименьший исследованный зазор 0,03 мм), может происходить сажистыми и металлическими частицами, которые отличаются траекториями полета, длительностью видимого свечения, а также временем задержки передачи взрыва.

Плоские фланцевые зазоры в практически применяемых пределах не обеспечивают защиту электрооборудования, предназначенного для ацетилено-воздушных сред, от взрыва.

*Поступила в редакцию  
22/X 1966*

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Н. А. Бойков, А. В. Григорьева и др. Взрывобезопасное электрооборудование. Сб. науч. тр. Гипронисэлектрошахт. Вып. III. «Энергия», 1965.
2. Вопросы горения. Материалы VI и VII Международных симпозиумов по горению. Металлургиздат, 1963.
3. П. А. Теснер. Газовая промышленность, 1961, 5.
4. А. Гейдон. Спектроскопия пламени. ИЛ., 1959.
5. А. Г. Ихино. Вопросы горной электротехники. Тр. МакНИИ, т. XVI, 1965.
6. В. С. Комаров. Канд. дисс., Кемерово, 1966.