

**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. Инициирование 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-

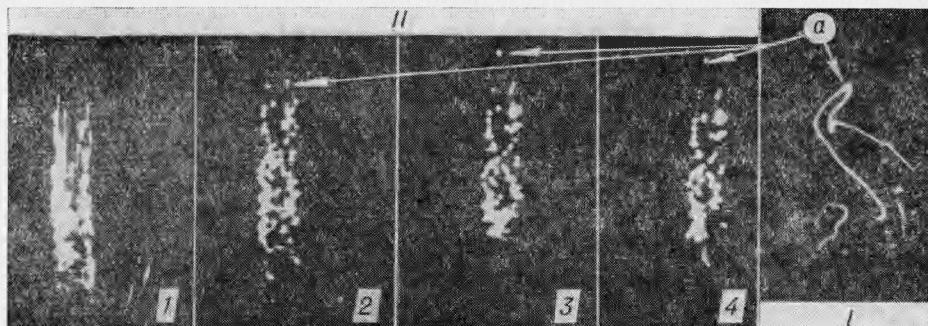


Рис. 1. Кинограмма (II) и фотография (I) вылета сажистых частиц в ПВК.

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.

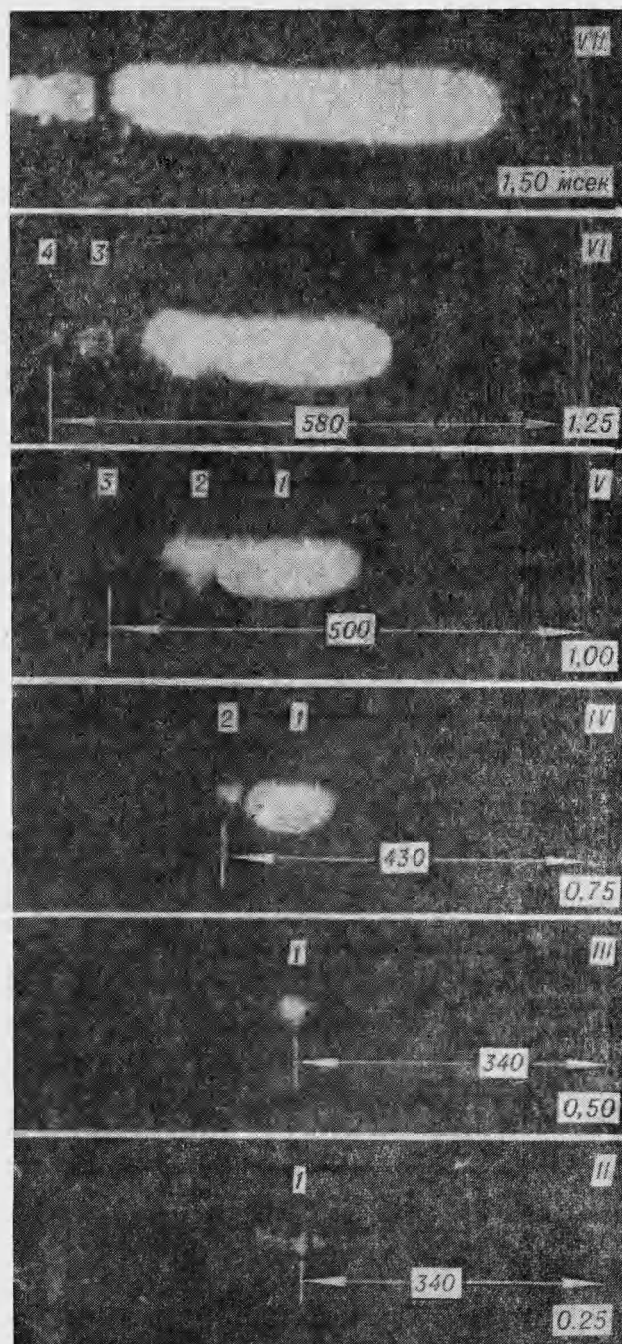


Рис. 2. Последовательное воспламенение ацетилено-воздушной смеси несколькими стальными частицами (цифры в правом углу кадров показывают время от начала воспламенения смеси в ПВК первой частицей).

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-

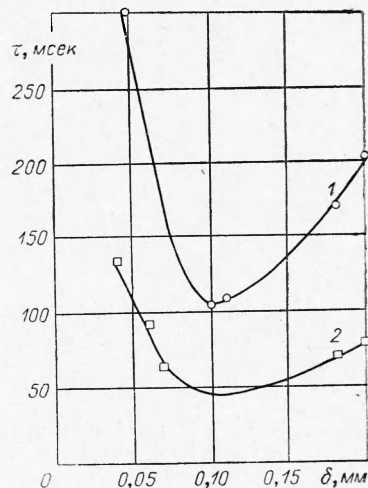


Рис. 4. Кривые зависимости времени задержки передачи взрыва от величины зазора ( $\delta$ ) для сажистых (1) и металлических (2) частиц в смеси 12,5% ацетилена с воздухом.

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

