

РАЗРАБОТКА ПИРОТЕХНИЧЕСКОГО ГАЗОГЕНЕРИРУЮЩЕГО ЭЛЕМЕНТА ДЛЯ ПОРОШКОВЫХ ОГNETУШИТЕЛЕЙ© 2011 О.И. Алтухов¹, А.Р. Самборук¹, В.В. Фрыгин²¹Самарский государственный технический университет²ГУ МЧС России по Самарской области

Поступила в редакцию 28.03.2011

Разработаны рецептуры газообразующих составов для различных технологий прессования. Изготовлены и исследованы газогенерирующие элементы на основе таких рецептов. Показаны преимущества и обоснована целесообразность применения источников холодного газа на основе таких элементов для наддува порошковых огнетушителей.

Ключевые слова: горение, пиротехнический газообразующий состав, газогенерирующий элемент, газогенерирующее устройство, газопроизводительность, порошковый огнетушитель

Порошковые огнетушители в настоящее время получили широкое распространение за рубежом и в отечественной практике ввиду универсальности их использования и высокой огнетушащей способности.

К газогенерирующим устройствам (ГГУ) для огнетушителей предъявляются следующие основные требования [1, 2]:

- нормативная продолжительность приведения в действие огнетушителей с ГГУ составляет 5 секунд;

- температура корпуса ГГУ и струи газа из него не должна приводить к спеканию огнетушащего вещества и нагреву корпуса огнетушителя до температуры выше 60 °С;

- конструкция ГГУ и узла его крепления к огнетушителю должна исключать возможность попадания в огнетушащее вещество твердых продуктов реакции взаимодействия компонентов ГГУ.

Газогенерирующий элемент представляет собой составную часть газогенерирующего устройства, предназначенную для образования вытесняющего газа в ходе химической реакции между компонентами газообразующего состава. Согласно требованиям норм пожарной безопасности газогенерирующие устройства с низкой температурой генерируемого газа называются источниками холодного газа (ИХГ) [2].

Алтухов Олег Игоревич, младший научный сотрудник, инженерный центр «Самораспространяющийся высокотемпературный синтез». E-mail: oleg.altuhov@bk.ru

Самборук Анатолий Романович, доктор технических наук, профессор кафедры «Металловедение, порошковая металлургия, наноматериалы».

E-mail: samboruk55@mail.ru

Фрыгин Валерий Валентинович, начальник Судебно-экспертного учреждения Федеральной противопожарной службы «Испытательная пожарная лаборатория» по Самарской области. E-mail: wffire@rambler.ru

Наиболее известными и достаточно эффективными газообразующими материалами являются пироксилиновый артиллерийский порох и баллиститное твердое ракетное топливо [3]. Основным недостатком газогенерирующих устройств на основе порохов является высокая температура генерируемого газа (более 1300 °С). Охлаждение продуктов сгорания возможно за счет применения твердых химических охладителей, однако при этом генерируемый газ загрязняется продуктами их разложения.

Так же низкая температура генерируемого достигается путем применения газогенераторов фильтрационного типа, когда фильтрация продуктов горения пористых систем происходит через несгоревшую часть элемента [4]. Такой тип горения позволяет значительно снизить температуру газообразных продуктов горения, а так же получить «чистый» газ. Однако следует отметить, что недостатком фильтрационного горения, является низкая удельная газопроизводительность из-за малой плотности пористых элементов.

Для средств пожаротушения существенный интерес представляют пиротехнические газообразующие составы, способные сгорать с относительно малой скоростью и температурой, без взрыва и с образованием достаточного количества газов [5].

В настоящее время производством газогенерирующих устройств занимаются несколько предприятий Российской Федерации. Наиболее крупными из них являются: ООО «Интертехнолог», г. Санкт-Петербург и группа компаний «Источник», г. Бийск, Алтайский край.

ООО «Интертехнолог» предлагает ГГУ-2 для двухлитрового огнетушителя с объемом генерируемого газа 11 л, полное время работы 5 с, материал корпуса – картон [6].

Группа компаний «Источник» представляет источник холодного газа ИХГ-2: объем генерируемого газа – 8,2 л, температура рабочих газов не более 130 °С, время работы не более 5 с, материал корпуса – алюминий [7].

Общим недостатком газогенерирующих устройств, выпускаемых ООО «Интертехнолог» и ГК «Источник», является недостаточная удельная газопроизводительность газообразующих составов, что снижает общий объем генерируемого газа на выходе из устройства [8]. Следовательно, необходимо разработать газогенерирующий состав с увеличенной газопроизводительностью.

Нормативная продолжительность приведения в действие огнетушителей с ГГУ составляет 5 секунд [1, 2]. Опыт практического использования таких огнетушителей показал, что в экстремальных условиях пожара люди открывают выпускной клапан до истечения необходимого времени и, не получив огнетушащей струи, отбрасывают огнетушитель в сторону, считая его неисправным [9]. Поэтому необходимо сократить время приведения огнетушителя с газогенерирующим устройством в готовность до 1,5-2 с.

Кроме того, наличие тепловыделения при действии элемента ГГУ может приводить к значительному отличию температуры газов, поступающих в корпус, от температуры окружающего воздуха и элементов конструкции огнетушителя. Это явление нежелательное, так как повышение температуры порошка из-за теплообмена с горячими газами приводит к снижению его текучести. При значительном увеличении температуры порошка (до 190-200 °С) возможно его плавление, спекание, образование пробок, перекрывающих транспортную магистраль подачи порошка и снижающих его выброс [10]. Поэтому одна из задач, которую также необходимо решить – это снизить температуру генерируемого газа.

Вследствие того, что недостатком газогенераторов фильтрационного типа является низкая удельная газопроизводительность, было решено разработать газогенерирующий элемент традиционного типа горения, при условии обеспечения требований по скорости горения и уровню внутрикамерного давления, а также температуре генерируемого газа на выходе из устройства.

Выбор исходных компонентов состава осуществлялся, исходя из общих требований, предъявляемых к газообразующим составам, а также специальных требований к газогенераторам, предназначенным для наддува порошковых огнетушителей [2, 11].

В результате аналитического обзора литературы было установлено, что наиболее оптимальным является использование окислителей второго и третьего типа разложения [12]. Окислители

первого топохимического типа разложения использовать нецелесообразно, так как реакция горения в этом случае протекает неустойчиво, а сами окислители (например, MnO_2 , $KMnO_4$) имеют низкий процент содержания свободного кислорода. Для исследований был выбран нитрат калия (НК), который сначала плавится, затем разлагается, а между температурой плавления и разложения имеется достаточный интервал [12].

В качестве горючего для исследований были выбраны: бакелит (БК), поливиниловый спирт (ПВС), циануровая кислота (ЦК), амелид (АМ), меламин (МА), дициандиамид (ДЦДА) [11].

В работе [13] упомянуто использование нитрата калия и фенольной смолы новолачного типа в качестве основы газогенерирующего элемента. Кроме нитрата калия и фенольной смолы в состав газогенерирующего элемента входят карбонат магния основной, аммофос и хлорид калия. Удельная газопроизводительность газогенерирующего элемента на основе указанных компонентов составляет не менее 360 л/кг. Газогенерирующий элемент использован автором для разработки источников холодного газа для порошковых огнетушителей с максимальной температурой генерируемых газов на выходе не более 187 °С. Время срабатывания огнетушителей с разработанными ИХГ составило не более 6 с.

Для изготовления газогенерирующего элемента была разработана и изготовлена цилиндрическая пресс-форма. Для улучшения прессования в качестве технологической добавки во все составы вводился графит (Г) в количестве 1% сверх массы газогенерирующего состава.

График зависимости плотности газогенерирующего заряда (ρ , г/см³) от удельного давления прессования ($P_{уд}$, МПа) представлен на рис. 1.

Из графика видно, что при значениях удельного давления прессования 80-120 МПа плотность шашки практически не увеличивается, а остается постоянной. В качестве рабочего значения давления прессования было выбрано значение $P_{уд} = 100$ МПа.

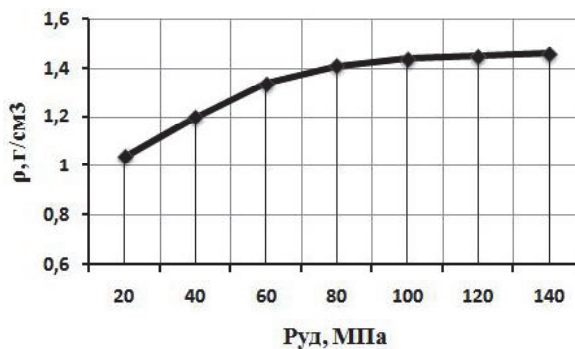


Рис. 1. График зависимости плотности газогенерирующего элемента от удельного давления прессования

Последовательность разработки рецептур газообразующих составов заключалась в следующем: определялось такое соотношение между окислителем и горючим, когда достигалась максимальная скорость горения и наибольшая газопроизводительность исследуемых бинарных смесей. Затем в выбранную таким образом смесь вводилось необходимое количество газифицирующей добавки для повышения газопроизводительности при сохранении требуемых уровней внутрикамерного давления и скорости горения.

Для выбора горючего проводились сжигания двойных смесей с вариацией содержания горючего 30-70%. Окислителем в этих смесях был ранее выбранный нитрат калия. В качестве горючего применялись: бакелит (БК), поливиниловый спирт (ПВС), циануровая кислота (ЦК), аммелид (АМ), меламин (МА), дициандиамид (ДЦДА).

С каждым из них изготавливались газообразующие элементы, и проводилось их сжигание. Зависимости скорости горения (\bar{u} , мм/с), максимального давления в камере ($P_{к\max}$, МПа) и удельной газопроизводительности ($\bar{W}_{уд}$, л/кг) от процентного содержания бакелита в двойной смеси НК-БК представлены на рис. 2, рис. 3 и рис. 4 соответственно.

Из рисунков видно, что двойная смесь нитрата калия в качестве окислителя и бакелита в качестве горючего удовлетворяет требования для пиротехнического газообразующего состава по

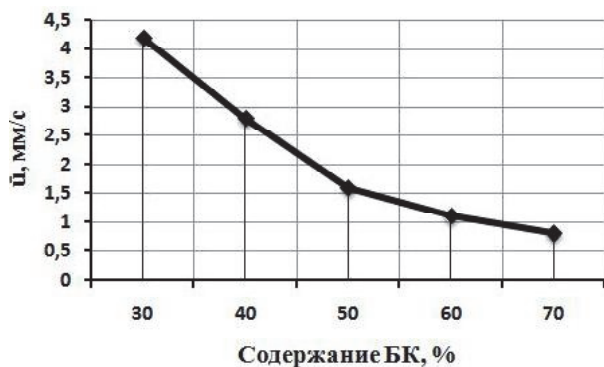


Рис. 2. График зависимости скорости горения от содержания БК в двойной смеси НК-БК

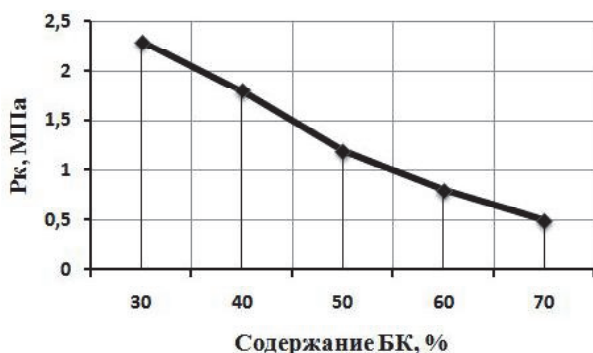


Рис. 3. График зависимости максимального давления в камере от содержания БК в двойной смеси НК-БК

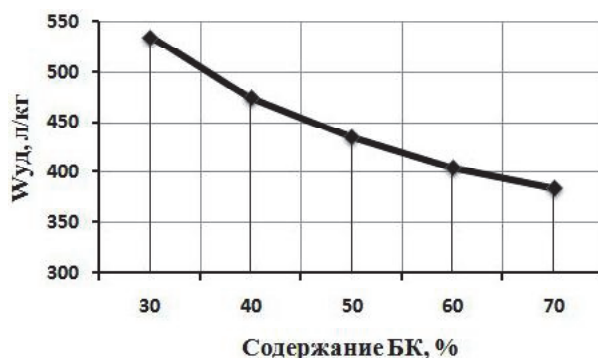


Рис. 4. График зависимости удельной газопроизводительности от содержания БК в двойной смеси НК-БК

скорости горения и внутрикамерному давлению.

Составы с поливиниловым спиртом не горят. Аммелид, меламин, дициандиамид и циануровая кислота ведут себя аналогично поливинилового спирту, что не позволяет их использовать в качестве горючего.

В результате исследований в качестве горючего и одновременно связующего было выбрано вещество являющееся реактопластом, реагирующее с окислителем с образованием прочных шлаков, препятствующих уносу жидких продуктов реакции из зоны горения. К тому же, смесь НК и БК имеет высокую скорость горения, что наглядно видно из рис. 2.

Для выбора газифицирующей добавки проводились сжигания тройных смесей. В качестве основы тройной смеси была выбрана двойная смесь НК/БК=70/30, так как именно эта смесь обладает самой высокой скоростью горения из исследованных бинарных смесей. Для повышения газопроизводительности состава поочередно были исследованы смеси с содержанием поливинилового спирта, циануровой кислоты, аммелида, меламин и дициандиамида. Их доля в тройной смеси составляла 10%, 15%, 20%, 25% и 30% для каждого компонента.

Анализ результатов сжигания тройных смесей позволяет сделать вывод о том, что наибольшая удельная газопроизводительность наблюдается в составах с содержанием в качестве газифицирующей добавки поливинилового спирта и циануровой кислоты. К тому же смеси с содержанием этих компонентов обеспечивают необходимые значения по скорости горения, температуре генерируемого газа и внутрикамерному давлению. Что же касается аммелида, меламин и дициандиамида, то смеси с содержанием этих веществ показали неудовлетворительные значения по газопроизводительности.

Зависимости скорости горения, максимального давления в камере, удельной газопроизводительности от процентного содержания поливинилового спирта и циануровой кислоты в

тройной смеси НК-БК-ГД представлены на рис. 5, рис. 6 и рис. 7 соответственно.

Анализ графиков зависимости скорости горения, давления в камере, удельной газопроизводительности от процентного содержания поливинилового спирта и циануровой кислоты в тройной смеси НК-БК-ГД позволяет сделать вывод о том, что необходимые значения этих характеристик наблюдаются при содержании газифицирующих добавок в пределах $15(\pm 5)\%$. При этой концентрации газифицирующей добавки скорость горения составляет приблизительно 3 мм/с, что позволяет газогенерирующему элементу с толщиной свода 4,5 мм сгорать в течение 1,5 с. К тому же максимальное внутрикамерное давление находится на безопасном уровне (менее 2 МПа).

Исходя из результатов испытаний были определены следующие рецептуры:

1. Нитрат калия – $58(\pm 4)\%$, бакелит – $25(3)\%$, поливиниловый спирт – $17(3)\%$, графит – 1% сверх массы.

2. Нитрат калия – $65(4)\%$, бакелит – $20(3)\%$, циануровая кислота – $15(3)\%$, графит – 1% сверх массы.

Из представленных выше графиков видно, что поливиниловый спирт и циануровая кислота в тройной смеси ведут себя аналогично. Однако эти два компонента имеют разные физические свойства. Поливиниловый спирт является термопластом и может быть использован для обеспечения

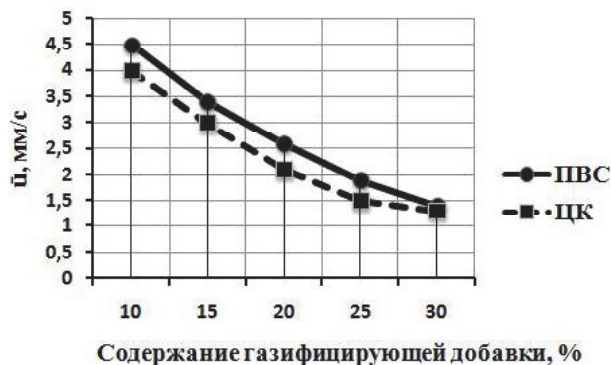


Рис. 5. График зависимости скорости горения от содержания ПВХ и ЦК в тройной смеси НК-БК-ГД

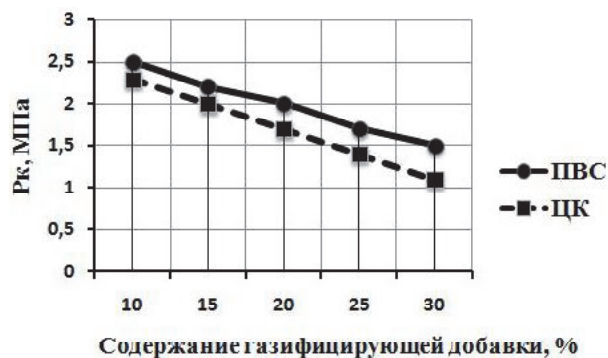


Рис. 6. График зависимости максимального давления в камере от содержания ПВХ и ЦК в тройной смеси НК-БК-ГД

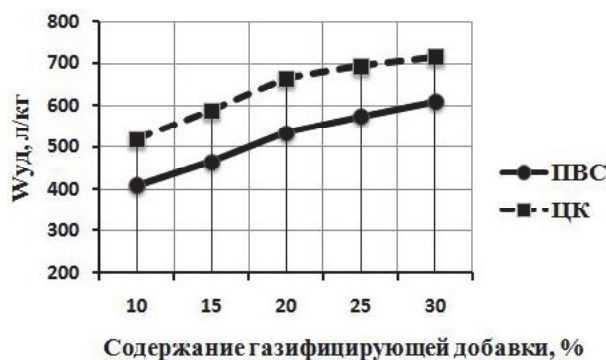


Рис. 7. График зависимости удельной газопроизводительности от содержания ПВХ и ЦК в тройной смеси НК-БК-ГД

возможности формования элементов методом горячего прессования, для обеспечения прочности элемента. Более прочные газогенерирующие элементы могут быть использованы в составе источников холодного газа для наддува автомобильных порошковых огнетушителей, так как огнетушитель и, следовательно, элемент находится под постоянным воздействием вибрации. Горячее прессование применяется для формования газогенерирующего элемента на УОБ «Петра-Дубрава» Самарского государственного технического университета.

Газогенерирующий элемент с содержанием циануровой кислоты изготавливается по технологии холодного прессования. Холодное прессование является более распространенным и не требует операции нагрева. Такое прессование планируется проводить на роторных таблеточных прессах (например, ФКП «Коммунар»).

Газогенерирующий элемент было решено изготавливать в виде одноканальной цилиндрической шашки.

Разработанная конструкция газогенерирующего заряда представлена на рис. 8.

Сначала производится приготовление смеси исходных компонентов в шаровой мельнице в течение 0,5-1 ч. Готовая смесь подвергается виброуплотнению в специальной пресс-форме. Перед прессованием собранная пресс-форма выдерживается в термощкафу при температуре 80-100 °С в течение 0,5-1 ч, а затем в горячем виде помещается на пресс, где происходит прессование до смыкания пресс-инструмента.

Холодное прессование газогенерирующего элемента осуществляется на роторных прессах после смешивания компонентов в шаровой мельнице и, в случае необходимости, предварительно подвергается гранулированию.

На рис. 9 показан внешний вид газогенерирующего элемента, изготовленного по технологии горячего прессования.

Таким образом, в результате проведенных исследований разработаны рецептуры газогене-

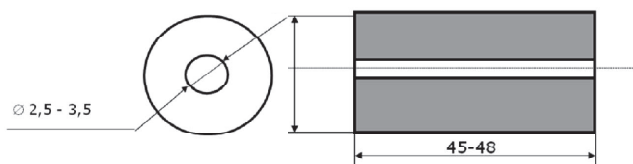


Рис. 8. Конструкция газогенерирующего заряда

рирующих составов для технологий горячего и холодного прессования на основе недорогих и недефицитных компонентов. Экспериментально подтверждена техническая возможность изготовления газогенерирующих элементов с низкой температурой генерируемого газа (не более 150 °С) и увеличенной удельной газопроизводительностью (до 715 л/кг), которые позволяют сократить время приведения огнетушителя в готовность до 1,5-2 с при низком уровне внутрикамерного давления (не более 2 МПа).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- ГОСТ Р 51057-2001. Техника пожарная. Огнетушители переносные. Общие технические требования. Методы испытаний (Система стандартов по пожарной технике). М.: 2001. 42 с.
- НПБ 199-2001. Техника пожарная. Огнетушители. Источники давления. Общие технические требования. Методы испытаний. М.: 2001. 8 с. (Нормы пожарной безопасности)
- Сакович Г.В., Ильясов С.Г., Казанцев И.В., Ильясов Д.С., Аверин А.А., Шатный М.В. Исследование и разработка компонентов газогенерирующих составов на основе нитропроизводных мочевины // Ползуновский вестник. 2010. № 4-1. С. 47-51.
- Самборук А.Р. Горение пористых газогенерирующих и аэрозолеобразующих составов для средств пожаротушения: дис. ... докт. техн. наук. Самара, 2006. 339 с.
- Самборук А.Р., Новоторов И.А., Амосов А.П., Алтухов О.И. Газогенерирующее устройство с сокращенным временем работы для порошкового огнетушителя ОП-2(г) // Современные проблемы специаль-



Рис. 9. Общий вид газогенерирующего элемента

ной технической химии. Материалы Международной научно-технической и методической конференции. Казань: КГТУ, 2007. С.165-169.

- Сайт фирмы ООО "Интертехнолог". URL: <http://www.intertecholog.spb.ru/> (дата обращения 22.02.2011).
- Сайт ЗАО «Источник Плюс» <http://www.antifire.org/> (дата обращения 22.02.2011).
- Алтухов О.И. Порошковые огнетушители с газогенерирующими устройствами, с сокращенным временем работы и низкой температурой газа // Будущее технической науки. Тезисы докладов VII Международной молодежной научно-технической конференции. Нижний Новгород: НГТУ им. Р.Е. Алексеева, 2008. С.345-346.
- Алтухов О.И. Источники холодного газа для порошковых огнетушителей // XVI Туполевские чтения. Труды Международной молодежной научной конференции. Казань: КГТУ им. А.Н. Туполева, 2008. Т. 1. С.299-300.
- Алтухов О.И., Амосов А.П., Каплун Е.С., Самборук А.Р., Фрыгин В.В. О порошковом огнетушителе с источником холодного газа и сокращенным временем работы // Системы безопасности – 2009. Материалы восемнадцатой научно-технической конференции. Москва: Академия ГПС МЧС России, 2009. С.232-233.
- Шидловский А.А. Основы пиротехники. М.: Машиностроение, 1973. 320 с.
- Силин Н.А., Ващенко В.А., Зарипов Н.И., Кашторов Л.Я., Шахиджанов Е.С., Шейнман Л.Е. Окислители гетерогенных конденсированных систем. М.: Машиностроение, 1978. 456 с.
- Осипков В.Н. Создание новых пиротехнических источников холодного газа, совершенствование процессов, аппаратов и технологии производства: дисс. ... канд. техн. наук. Бийск, 2004. 163 с.

WORKING OUT OF PYROTECHNIC GAS GENERATOR ELEMENT FOR POWDER FIRE EXTINGUISHERS

© 2011 O.I. Altuhov¹, A.R. Samboruk¹, V.V. Frygin²

¹ Samara State Technical University

² MEM of Russia the Samara region

Compounds of gas-generator compositions for various technologies of pressing are worked out. Gas generator elements of such compounds are made and investigated. Advantages and the expediency of application such elements for cold gas produce in powder fire extinguishers are shown.

Keywords: burning, pyrotechnic gas-generator composition, gas-generator element, gas-generator device, gasproductivity, the powder fire extinguisher

Oleg Altuhov, Associate Research Fellow at the Engineering Center «Self-propagation high-temperature synthesis». E-mail: oleg.altuhov@bk.ru.

Anatoly Samboruk, Doctor of Technics, Professor at the Physical Metallurgy, Powder Metallurgy, Nanomaterials Department. E-mail: samboruk55@mail.ru.

Valery Frygin, the Chief of Judicial-Expert Establishment of the Federal Fire Fighting Service «Test Fire Laboratory» of the Samara Region. E-mail: wffire@rambler.ru.