

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ГОРЕНИЯ ГАЗОГЕНЕРИРУЮЩИХ КАРТРИДЖЕЙ ПЛАМЕГАСИТЕЛЕЙ С ДОБАВКАМИ УГЛЕРОДНЫХ ГОРЮЧИХ ДОБАВОК

Е. Айтенов¹, Ф.Ю. Абдракова¹, Ж.Б. Бексултан¹, Ж.К. Мышырова¹, М.И. Тулепов¹

¹Казахский Национальный Университет им. аль-Фараби, г. Алматы, Казахстан

АННОТАЦИЯ

Целью работы является поиск оптимальных составов газогенерирующих картриджей пламегасителей, которые должны загореться за очень короткие промежутки времени, измеряемых в пределах 10-15 миллисекунд, в связи с этим, проводились исследования температуры вспышки при минутной задержке воспламенения пиротехнических компонентов. Установлены температура вспышки исходных компонентов, включая нано алюминии $T = 420^{\circ}\text{C}$. Оптимальный состав пламегасителя НА – 80; Нано Al -5; Нано С -15, при этом составе температура вспышки снижается до $T = 350^{\circ}\text{C}$. Также следует отметить минимальную чувствительность этого состава, которая равна 0,02 МПа. В случае увеличения количества углерода до 20% температура горения, как и скорость понижаются настолько, что потери тепла за счет излучения приводят к затуханию горения.

Ключевые слова: Газогенерирующие картриджи, пламегасители, температура вспышки, наноалюминии, углерод.

Введение. В Казахстане осуществляется добыча более 110 млн. тонн угля в год, одним из методов добычи является закрытый шахтный способ [1]. Главной проблемой добычи угля закрытым способом является скопление газопылевой смеси метана и угольной пыли в пространстве шахты. Естественно, что в процессе выработки повышается вероятность накопления газа, данная газопылевая смесь легко воспламеняется. Ежегодно в мировой угольной промышленности регистрируется огромное количество аварий, связанных с воспламенением метановой смеси [2]. Обеспечение безопасности жизнедеятельности шахтеров в угольных выработках закрытого типа является приоритетной задачей любого государства, осуществляющей добычу, транспортировку и экспорт ценного топливного сырья.

Необходимым условием взрывозащиты является быстрое действие взрывопламегасителей. Определяющим фактором является время, в течение которого происходит полное вытеснение огнетушащего порошка из контейнера и формирование волны распыла смеси.

По техническим характеристикам в период взрыва метановоздушной смеси время срабатывания пламегасителя должно составлять порядка 35-50 мс. В этом случае, оказывается возможным перехват движущейся ударной волны со скоростью до $V \leq 150/0,05 = 3000$ м/с [3,4].

Вследствие этого, срабатывание пламегасителя должно иметь активный компонент, имеющий высокую энергоемкость и в то же время срабатывающий в области более низких температур вспышки.

Методы исследования. Предварительные исследования показали [5,6], что наноалюминий характеризуется высокой интенсивностью горения, и имеет низкую температуру воспламенения. В связи с этим готовился состав с различным соотношением компонентов: нитрат аммония, порошок наноалюминия, наноуглерод и иницирующий состав, в виде бездымного пороха и магнезия, последний закладывался в верхней части картриджа. Компоненты взвешивали на электронных весах и перемешивали в фарфоровой ступке.

Состав закладывался в толстостенную картонную трубу, с диаметром 1,5 см, с высотой 22,7 см (рисунок 1).

Горение инициировалось с верхней части трубы с инициирующим составом (50 % Mg+50% бездымный порох) с выходом на огнепроводный шнур. Такой способ поджигания объясняется тем, что распространение пламени возможно в более узком интервале концентрации. Время сгорания состава фиксировалась секундомером. Скорость горения состава определялась делением высоты трубы на время сгорания состава.

Бездымный порох, состоит обычно из трёх компонентов: селитры, угля и серы. При сгорании пороха селитра даёт кислород для сжигания угля; сера — цементирует угольно-селитряную смесь. Кроме того, обладая более низкой температурой воспламенения, чем уголь, сера ускоряет процесс воспламенения пороха.

Основными базовыми компонентами газогенерирующего состава являлись окислители и наноглеродные горючие добавки [7-9]. Определялась скорость горения наноалюминия, в зависимости от его количества в составе. Базовый состав, в масс. %: нитрат аммония (НА) – 80; наноалюминия (Нано Al) -5; наноглерод (Нано С) -15.



Рисунок 1 – Конструкция химического газохимического картриджа - пламегасителя
1- огнепроводной шнур, 2 – картонный корпус

Результаты исследования. При работе газогенерирующих картриджей пламегасителей состав должен загореться за очень короткие промежутки времени измеряемых в пределах 10-15 миллисекунд, в связи с этим, проводились исследования температуры вспышки при минутной задержке пиротехнических компонентов. Температура вспышки компонентов фиксировалась оптическим пирометром Raytek 3 i 1M.

Проводились эксперименты на воспроизводимость, на каждый полученный результат исследование проводилось шесть раз. Далее выводилось среднее значение. Полученные данные сведены в рисунок 2. Как видно из рисунка 2, скорость горения исследуемого газогенерирующего состава возрастала от 0,33 до 1,25 мм /с., при увеличении содержания наноалюминия.

Приведенная прямолинейная кривая на рисунке 2 показала, что этот состав является оптимальным составом для газогенерирующего состава, поскольку скорость горения имеет прямолинейную зависимость и исключаются случаи послышного горения, что нежелательно для составов газохимических картриджей.

Присутствие в окислительной среде некоторой доли частиц наноалюминия позволяет перевести реакцию горения углерода на более интенсивный уровень. Снижение потенциального барьера химических реакций окисления, за счет повышения энергетического состояния исходных веществ, способно изменить ход химического акта в целом.

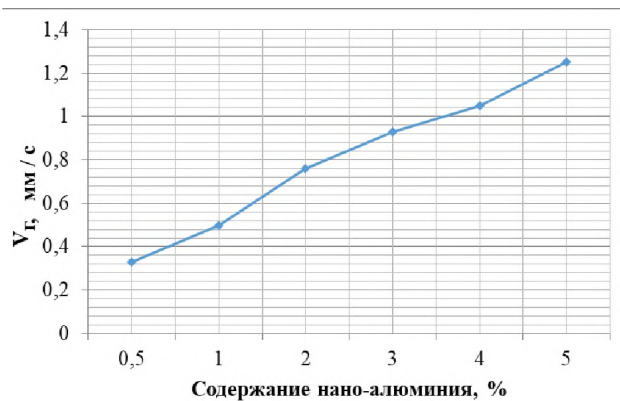


Рисунок 2 – Зависимость скорости горения от содержания нано- алюминия в составе НА – 80; Нано Al -5; Нано С -15

Также проводились эксперименты по определению чувствительности пиротехнических компонентных составов, поскольку минимальная чувствительность срабатывания системы пламегашения зависит от давления фронта ударно-воздушной волны.

Результаты исследования сведены в таблицу 1.

Таблица 1 - Температура вспышки и чувствительность пиротехнических компонентных составов

| Исходные составы | НА | Нано Al | Нано С |
|---------------------------|---------------------------------------|--|--|
| Температура вспышки, Т °С | 338 | 750 | 340 |
| Чувствительность, МПа | 0,05 | - | - |
| Пламегасители | НА – 80; Нано Al -5; Нано С -15 | НА – 80; Нано Al -10; Нано С -10 | НА – 80; Нано Al -15; Нано С - 5 |
| Температура вспышки, Т °С | 350 | 420 | 430 |
| Чувствительность, МПа | 0,04 | 0,03 | 0,02 |

Как видно из таблицы 1 температура вспышки исходных компонентов, включая нано алюминия высока, но комбинационная смесь из нитрата аммония, наноалюминия, в присутствии углерода позволяет значительно снизить температуру вспышки. Оптимальный состав пламегасителя НА – 80; Нано Al -5; Нано С -15, при этом составе температура вспышки снижается до Т = 350 °С. Также следует отметить минимальную чувствительность этого состава, которая равна 0,02 МПа.

Таким образом приходим к выводу, что при удалении состава смеси от стехиометрического соотношения или увеличении содержания добавления в состав углеродного компонента, мы можем получить резкое снижение температуры вспышки Нано Al до 420°С. В этом случае температура горения, как и скорость понижаются настолько, что потери тепла за счет излучения приводят к затуханию горения.

Затухание горения обусловлено теплоотводом излучения наноуглеродом введенным в состав пламегасителя, который меняет концентрационные пределы распространения пламени, соответственно, быстрогорящие взрывчатые газовые смеси с Нано Al будут зависеть от теплопроводности системы.

Нами проводились исследования поверхности НА на предмет покрытая наноалюминием и наноуглеродом (рисунок 3).

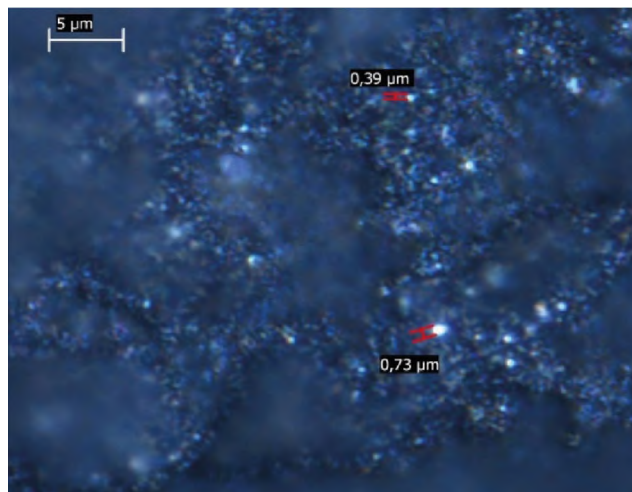


Рисунок 3 – Микроснимок наноалюминия в составе АС+НА

Морфологию и структуру состава изучали методом сканирующей электронной микроскопии (SEM) на микроскопе марки QUANTA 3 D 200i. Из микроскопических снимков видно, что на грануле АС имеются нанопоры, наноуглубление, нанотрещина, в которых цепко держатся наноалюминиевые и наноуглеродные составы.

Таким образом, в результате исследования получен газогенерирующий состав с наноуглеродом и наноалюминиевыми добавками. Скорость горения состава НА – 80%; Нано Al -5%; Нано С -15% составила 1,25 мм/с. Определена температура вспышки пламегасителя состава НА – 80%; Нано Al -5%; Нано С -15% , которая составила 430 °С и минимальная чувствительность вспышки при ударе в 0,02 МПа. Исследованы закономерности горения газогенерирующего состава в зависимости от содержания наноалюминия.

Следующий состав газохимических картриджей ГХК (таблица 2) разрабатывался и оптимизировался под определенную задачу - повышение скорости воспламенения и горения состава ГХК, обеспечив, по возможности, меньшую передачу энергии фрагментам разрушающегося объекта, но сохраняющему взрывоподавляющий эффект. Поэтому к основным компонентам добавлялись нитроцеллюлозные твердые топлива. Основная функция нитроцеллюлозного твердого топлива

(НТП) - регулировать более-менее постоянное давление и довести давление в устройстве до 900-1000 кгс/см².

Для определения энергии и мощности взрыва пламягасящих газогенерирующих составов проводились испытания на полигоне над минеральной породой волуногаличником. Необходимо было найти промежуточный энергоемкий состав, который имел свойства взрывоподавления, но и не являлся инициатором разрушения.

Таблица 2 - Состав газохимических картриджей

| Состав ГХК-1 | Масс, % | Состав ГХК - 2 | Масс, % |
|--|---------|---|---------|
| Каменноугольный арен | 10 | Каменноугольный арен | 10 |
| Сера | 10 | Сера | 10 |
| Окислитель(NH ₄ NO ₃) | 80 | Окислитель (NH ₄ NO ₃) | 70 |
| | | Нитроцеллюлозные твердые топлива | 10 |

В ходе испытания установлено, что сейсмические проявления не свойственны ГХК. Если для традиционных взрывчатых материалов сейсмическое проявление вызывается ударной волной в преграде от детонации заряда и воздушной ударной волной, воздействующей на почву и конструкции, то при сгорании состава ГХК осуществляется безударное, квазистатическое разрывное воздействие на преграду, что немаловажно в условиях работы угольных шахт.

Таким образом, результаты экспериментов показали, что более равномерное дробление при незначительном разлете фрагментов происходило при содержании каменноугольного арена КА- 5,5-6,5%. Очевидно, это вызвано тем, что при большей скорости нарастания давления заряд работает более синхронно, и дробление осуществляется по более сложному сочетанию полей напряжения от заряда. Снижение же максимального возможного дав-

ления на этот процесс никак не сказывается, так как прочность бетона, да и камня на разрыв на порядки меньше этих величин.

Выводы:

1. В результате исследования получен газогенерирующий состав с нанокремнеземом и наноалюминиевыми добавками. Скорость горения состава НА – 80%; Нано Al -5%; Нано С -15% составила 1,25 мм/с. Определена температура вспышки пламегасителя состава НА – 80%; Нано Al -5%; Нано С -15% , которая составила 430 °С и минимальная чувствительность вспышки при ударе в 0,02 МПа.

2. Присутствие в окислительной среде некоторой доли частиц наноалюминия позволяет перевести реакцию горения углерода на более интенсивный уровень. Снижение потенциального барьера химических реакций окисления, за счет повышения энергетического состояния исходных веществ, способно изменить ход химического акта в целом.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРА

- 1 Tulepov, M., Mansurov, Z., Sassykova, L., Baiseitov, D., Dalelhanuly, O., Ualiev, Z., Gabdrashova, S., Kudyarova, Z. Research of iron containing concentrates of Balkhash deposit (Kazakhstan) for processing of low-grade coal. //Journal of Chemical Technology and Metallurgy SJR: 0.331 (IF: 0.63). Volume 54 Iss. 3, 2019, 531-538 pp.
- 2 Tulepov M. I., Mansurov Z. A., Kazakov Yu. V., Abdrakova F. Yu., Chikhradze N. and Chikhradze M.N. Methods of Reducing the Front Performance Flame at the Underground Mines Work, Orient. //J. Chem. -2018. - Vol. 34(6). -P. 3037-3043.
- 3 Edgar Mataradze, Nikoloz Chikhradze, Nika Bochorishvili, Irakli Akhvlediani, Dimitri Tatishvili. Experimental Study of the Effect of Water Mist Location On Blast Overpressure Attenuation in A Shock Tube, 2017 World Multidisciplinary Earth Sciences Symposium (WMESS 2017)
- 4 E. Mataradze, N. Chikhradze, I. Akhvlediani, N. Bochorishvili, T. Krauthammer. New design of shock tube for the study of vapor cloud explosion. Proceeding of the World Multidisciplinary Earth Sciences Symposium. - Prague, 2016. -P. 733-737.
- 5 Казаков Ю.В., Алипбаев А.Н., Мансуров З.А. Углеродные материалы (отходы производства) в составе дымных порохов // Матер. VI междунар. симп. «Горение и плазмохимия». - Алматы: Қазақ университеті, 2011. – С. 181-184
- 6 Mansurov Z.A., Tulepov M.I., Kazakov Y.V., Tursynbek S., Abdrakova F.Y., Baiseitov D.A. The study of combustion process of chemical gas-generating cartridge (CGG) in the composition of ammonium nitrate and nano aluminum combustible additives // Материалы VIII Международного симпозиума «Горение и плазмохимия» и Международной научно-технической конференции «Энергоэффективность-2015». –Алматы, 2015. – С.137-140.
- 7 Ульянова Е.В., Денисюк А.П., Е Зо Тве, Д.Л. Русин. Баллиститные пороха с нитратом аммония // Успехи в химии и химической технологии. – 2011. – Т.25, №12. -С.30-34.
- 8 <http://www.neochemical.kz/price1296111766>
- 9 <http://www.neochemical.kz/ditsiandiamid-dicyandiamide>

КӨМІРТЕК ЖАНҒЫШ ҚОСПАЛАРЫМЕН ЖАЛЫН СӨНДІРЕТІН ГАЗӨНДЕУ КАРТРИДЖДЕРІНІҢ ЖАНУ ПРОЦЕСІН ЗЕРТТЕУ

Түйіндеме. Жұмыстың мақсаты 10-15 миллисекунд шегінде өлшенетін өте қысқа уақыт аралығында жануы тиіс жалын сөндіргіштердің газ генерациялайтын картридждерінің оңтайлы құрамдарын іздеу болып табылады. Осыған байланысты пиротехникалық компоненттердің тұтануының минуттық кідірісі кезінде тұтану температурасына зерттеулер жүргізілді. Бастапқы компоненттердің тұтану температурасы, оның ішінде nano алюминий $t = 420^{\circ}\text{C}$, жалын сөндіргіштің оңтайлы құрамы NA – 80; Nano Al -5; Nano C -15, бұл құрамда тұтану температурасы $T = 350^{\circ}\text{C}$ дейін төмендейді. Сондай-ақ, бұл композицияның 0,02 МПа-ға тең минималды сезімталдығын атап өткен жөн. Көміртегінің жану температурасы 20%-ға дейін саны көбейген жағдайда, жылдамдығы да соншалықты азайып, сәулелену есебінен жанудың сөнуіне алып келеді.

Түйінді сөздер: газды генерациялайтын картридждер, жалын сөндіргіштер, тұтану температурасы, nano алюминий, көміртек.

INVESTIGATION OF THE COMBUSTION PROCESSES OF GAS-GENERATING FLAME EXTINGUISHER CARTRIDGES WITH CARBON COMBUSTIBLE ADDITIVES

Annotation. The aim of the work is to search optimal compositions of gas-generating flame extinguisher cartridges, which should catch fire in very short periods of time, measured within 10-15 milliseconds, in this regard, studies of the flash point with a minute delay in ignition of pyrotechnic components were conducted. The flash point of the initial components, including nano aluminum $T = 420^{\circ}\text{C}$, has been established. The optimal composition of the flame extinguisher is NA - 80; Nano Al - 5; Nano C - 15, with this composition the flash point decreases to $T = 350^{\circ}\text{C}$. It should also be noted the minimum sensitivity of this composition, which is 0.02 MPa. In the case of increasing carbon content up to 20%, burning as well as its speed, decrease to the extent that it leads to the decay of combustion through radiation heat loss.

Key words: Gas-generating cartridges, flame arresters, flash point, nanoaluminium, carbon.

Сведения об авторах

Ержан Айтенев, PhD докторант КазНУ им. аль-Фараби, e-mail: erzhan-aytenov@mail.ru

Федосья Юрьевна Абдракова, PhD докторант КазНУ им. аль-Фараби, e-mail: abdrakova86@mail.ru

Жансая Бексултан, PhD докторант КазНУ им. аль-Фараби, e-mail: zhansayabeksultankyzy@mail.ru

Жанат Мышырова, PhD докторант КазНУ им. аль-Фараби, e-mail: zh.mk@mail.ru

Марат Изтлеуович Тулепов, кандидат химических наук, ассоциированный профессор КазНУ им. аль-Фараби, e-mail: Marat.Tulepov@kaznu.kz