
УДК 614.841:536.46

*О. В. Кириченко, д.т.н., с.н.с., зав. каф., ЧПБ ім. Г. Чорнобиля НУЦЗУ,
Р. Б. Мотрічук, ад'юнкт, ЧПБ ім. Г. Чорнобиля НУЦЗУ,
О. С. Діброва, ад'юнкт, НУЦЗУ,
В. П. Мельник, доц. каф., ЧПБ ім. Г. Чорнобиля НУЦЗУ,
В. А. Ващенко, д. т. н., професор, зав. каф., ЧДТУ,
Т. І. Бутенко, к.т.н., доцент, ЧДТУ*

ДОСЛІДЖЕННЯ СПАЛАХУВАННЯ ТА ГОРІННЯ ЧАСТИНОК МЕТАЛЕВОГО ПАЛЬНОГО У ПРОДУКТАХ РОЗКЛАДАННЯ НІТРАТНОВМІСНИХ ОКИСНЮВАЧІВ ТА ОРГАНІЧНИХ РЕЧОВИН ПРИ ЗОВНІШНІХ ТЕРМІЧНИХ ВПЛИВАХ

(представлено д.т.н. Ключкою Ю. П.)

Представлено результати експериментальних досліджень процесів спалахування та горіння частинок АМ сплавів у газоподібних продуктах термічного розкладання нітратовмісних окиснювачів та органічних речовин, які входять у склад піротехнічних нітратно-металевих сумішей, при зовнішніх термічних впливах, що передують їх пожежовибухонебезпечному спрацьовуванню.

Ключові слова: нітратно-металеві суміші, термічне розкладання, пожежовибухонебезпека.

Постановка проблеми. Піротехнічні суміші з порошків металевих пальних (алюмінієво-магнієві сплави (АМС), Ті, Zr тощо) з нітратовмісними окиснювачами (нітрати лужних та лужноземельних металів) та добавками органічних речовин (парафін, стеарин, нафталін, антрацен) широко використовуються у різних галузях господарства та військовій техніці (освітлювальні, сигнальні спалахувальні засоби, піротехнічні вироби ІЧ-техніки, тверді піротехнічні палива та ін.) [1–6]. Підвищення рівня пожежної безпеки використання таких речовин та матеріалів є актуальною проблемою.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. В умовах вимушеного зовнішнього нагріву (наприклад, при пожежах у складських приміщеннях, де зберігаються піротехнічні вироби, споряджені зарядами з розглядуваних сумішей, в умовах транспортування при інтенсивному зовнішньому нагріві їх поверхонь, при ударних теплових впливах в умовах пострілу та польоту тощо) піротехнічні суміші можуть передчасно спрацьовувати, викликаючи їх пожежовибухонебезпечні руйнування (рис. 1) [9–13]. Тому для попередження вказаних ситуацій необхідно, в першу чергу, мати дані про закономірності процесів спалахування та горіння у газоподібних продуктах термічного розкладання окиснювачів та органічних добавок. Нині окремі дані про спалахування та горіння частинок металевих пальних у активних газоподібних середовищах при підвищених температурах нагріву знаходяться у багаточисельних довідниках, монографіях, наукових статтях та працях [3–6, 14–19]. Це утруднює як встановлення закономірностей спалахування та горіння частинок АМС та ін. металів в умовах, близьких до реальних умов спрацьовування піротех-

нічних виробів, так й оперативне їх використання в якості керованої бази даних з властивостей компонентів сумішей в умовах термічних впливів, що дозволяє попереджати їх передчасне спалахування та вибухонебезпечне горіння у продуктах термічного розкладання окиснювачів.

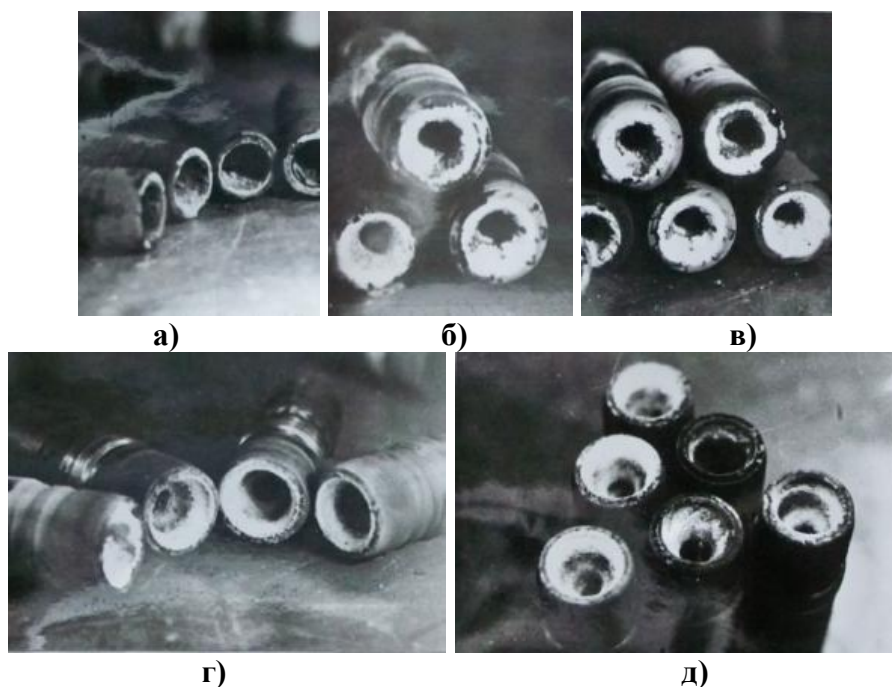


Рис. 1. Різні ракурси серійних малогабаритних піротехнічних ГЧ-снарядів після їх передчасного спрацьовування, пожежонебезпечного руйнування та повного згоряння зарядів сумішей NaNO_3 + АМС + антрацен при наступних швидкостях пострілу V : а) – $V = 7 \cdot 10^2$ м/с; б) – $V = 9 \cdot 10^2$ м/с; в) – $V = 1,2 \cdot 10^3$ м/с; г) – $V = 1,7 \cdot 10^3$ м/с; д) – $V = 2 \cdot 10^3$ м/с

В результаті проведених досліджень [3, 5, 6, 10] було встановлено, що при температурах, властивих конденсованій фазі піротехнічних сумішей в умовах їх спалахування та розвитку горіння, основними активними газоподібними продуктами термічного розкладання окиснювачів (NaNO_3 , $\text{Ba}(\text{NO}_3)_2$, $\text{Sr}(\text{NO}_3)_2$ та ін.) та розглядуваних органічних речовин є O_2 , N_2 , H_2O , CO_2 .

Постановка завдання та його вирішення. Тому метою даної роботи є систематизація та аналіз вказаних даних для частинок АМС, а також їх узагальнення у вигляді нових закономірностей, сукупність яких є однією з складових частин бази даних з пожежонебезпечних властивостей піротехнічних сумішей в умовах зовнішніх термічних дій.

Усі дослідження проводились на порошках АМС, які випускаються піротехнічною промисловістю, з використанням стандартного обладнання [3–7, 10]. Застосовувались наступні сучасні методи фізико-хімічного аналізу: методи швидкісної кінозйомки, методи термогравиметрії, волюмо-метричні на нанометричні методи, оптичні методи, хімічний аналіз тощо.

В результаті проведених досліджень встановлено, що спалахування та горіння частинок АМС у розглядуваних окислювальних середови-

щах є складним та маловивченим. Існують, принаймні, дві точки зору на горіння частинок сплаву. По одній з них процес згоряння частинки АМС протікає у дві стадії: вигорання магнію з частинки сплаву та горіння розплавленої краплі алюмінію, що залишилася. Обидві фази горіння проходять у паровій фазі (рис. 2).

За результатами спектроскопічних досліджень горіння обох компонентів сплаву Al – Mg починається одночасно, але магній вигоряє швидше, ніж алюміній. На противагу цьому існує точка зору, що при горінні АМС спочатку вигоряє більш леткий магній (парофазним полум'ям), а нелеткий алюміній потім розсіюється у вигляді дрібних частинок, що догорають. Крім цього, частинки АМС, що містять менше 20 % Mg, горять як частинки алюмінію, а при вмісті Mg більше 20 % – як частинки магнію.

Затримка спалахування частинок порошку сплаву 30 % Mg +70 % Al розміром 53...66 мкм у окислювальному середовищі $\text{CO}_2 + 0,77\text{O}_2$ при температурі 2800 К, складала 3,4 мс (затримка спалахування частинок Al того ж розміру складала 5,9 мс, а магнію – 1,8 мс).

Згідно другій точки зору має місце сумісне випаровування та вигорання обох частинок.

Встановлено почергове випаровування магнію та алюмінію з частинки та повну відсутність у парі складних молекул на основі Mg та Al.

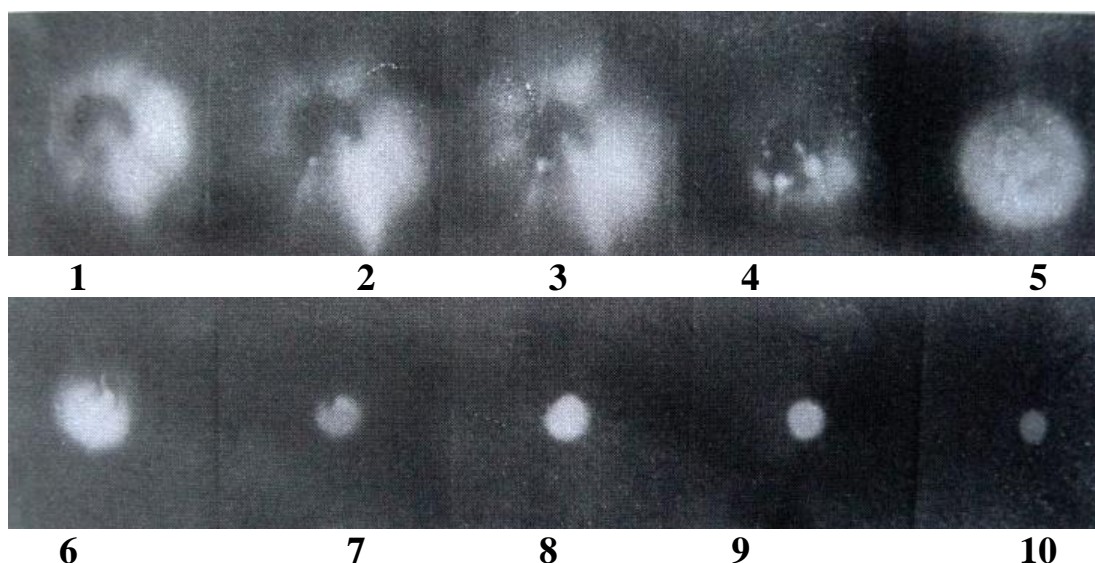


Рис. 2. Кінокадри процесу горіння частинок сплаву 30 % алюмінію + 70 % магнію при атмосферному тиску у суміші, що містить по об'єму 15 % кисню та 85 % аргону: 1 – 5 – перша стадія горіння частинки, коли з неї практично вигоряє магній; 6 – 10 – друга стадія горіння частинки, коли з неї вигоряє алюміній

При дослідженні горіння частинок АМС у полум'ї горілок встановлено, що продукти згорання складаються головним чином з шпінелі MgAl_2O_4 (табл. 1). Для пояснення автори пропонують модель утворення шпінелі безпосередньо при реакції у рідкій фазі.

Добавка до АМС присадок Li, B, Ti, Zn, V, Mo, Cr, Mn у кількості 1...2 % знижувала швидкість горіння частинок у 5...6 разів.

Табл. 1. Рентгенографія продуктів згорання сплавів

Склад сплаву	Основні оксиди	Вторинні оксиди
Al	α -Al ₂ O ₃	γ -Al ₂ O ₃
Al – 5 % Mg	γ -Al ₂ O ₃	MgAl ₂ O ₄
Al – 12 % Mg	MgAl ₂ O ₄	γ -Al ₂ O ₃
Al – 36 % Mg	MgAl ₂ O ₄	α -Al ₂ O ₃ , γ -Al ₂ O ₃
Al – 43 % Mg	MgAl ₂ O ₄	γ -Al ₂ O ₃ , MgO
Al – 50 % Mg	MgAl ₂ O ₄ , MgO	γ -Al ₂ O ₃
Al – 55 % Mg	MgAl ₂ O ₄ , MgO	α -Al ₂ O ₃ , γ -Al ₂ O ₃
Al – 65 % Mg	MgAl ₂ O ₄ , MgO	–
Al – 80 % Mg	MgO	MgAl ₂ O ₄
Al – 90 % Mg	MgO	MgAl ₂ O ₄
Mg	MgO	–

Незважаючи на протиріччя у судженнях про механізм горіння АМС експериментально підтверджується факт збільшення швидкості горіння частинок сплаву у порівнянні зі швидкістю горіння чистого алюмінію та чистого магнію.

При дослідженнях процесу горіння одиничних нерухомих частинок АМС за допомогою швидкісної кінозйомки та малоінерційних термопар було встановлено, що механізм спалахування цих частинок у сумішах кисень – аргон у повітрі, водяній парі та вуглекислому газі має велику схожість з механізмом спалахування чистого магнію, тобто початку процесу спалахування частинок передують окислювальні реакції, що протікають на їх поверхні.

Згідно з результатами вимірювання температури частинок малоінерційними термопарами температура у момент спалахування слабо залежить від співвідношення компонентів у АМС, якщо у ньому міститься менше 50 % Al. При вмісті Al більше 50 % температура поверхні частинок у момент спалахування сильно залежить від співвідношення компонентів. Це показує, що при малому вмісті алюмінію у сплаві протікання процесу спалахування визначається властивостями магнію, та лише при вмісті Mg менше 50 % на процес спалахування починає впливати алюміній, що знаходиться у частинці.

Характер процесу горіння частинок АМС у сильному ступені залежить від співвідношення компонентів у сплаві та параметрів окислювального навколишнього середовища.

Процес горіння АМС, що містять менше 80 % Al, у повітрі та сумішах кисню з аргонем є двостадійним та безперервним. Отримані знімки показують, що на першій стадії горіння виникає неоднорідна по своїй структурі зона свічення, що складається з системи струменів, які відтікають від поверхні частинки; сама частинка, що знаходиться у центрі зони, не змінює своїх геометричних розмірів на протязі всієї першої стадії, хоча у передполум'яний період внаслідок термічного розширення та плавлення вона збільшується у розмірі.

Зона свічення, що характерна для першої стадії, довгий час не змінюється, але коли процес вигорання магнію закінчується, вона зменшується, наближаючись до поверхні частинки.

У період зменшення зони свічення на поверхні частинки виникають невеликі осередки, температура яких більш висока, ніж решти поверхні. При подальшому зменшенні зони свічення кількість осередків на поверхні частинки збільшується.

На другій стадії частинку оточує більш ярка, рівномірна по свіченню зона, менша за розміром, ніж на першій стадії.

Кінокадри показують, що на початку другої стадії оксидна оболонка, що утворюється після вигорання магнію, плавиться та зливається з краплею.

Полум'я, що оточує частинку на другій стадії, по структурі має велику схожість з дифузійним полум'ям, яке оточує краплю вуглеводневого палива.

За характерний розмір зони горіння у цьому випадку можна брати середній радіус зони свічення, що оточує частинку.

У зоні свічення спостерігається процес утворення крупних частинок оксидів.

На другій стадії зона свічення по мірі вигорання алюмінію звужується, одночасно зменшується й сама частинка. Залишок, що утворюється після згорання частинки, довгий час випромінює.

Таким чином, залежність відношення радіуса зони свічення до початкового радіуса частинки від відносного часу горіння частинок АМС є більш складною, ніж у чистих магнію та алюмінію (рис. 3). При спалахуванні частинки сплаву 30 % Al – 70 % Mg у повітрі відношення r_c / r_0 за вельми короткий проміжок часу ($\approx 10^{-4}$ с) досягає максимального значення (аб). Потім значний час це відношення практично не змінюється (плато бв). Коли процес вигорання Mg з частинки закінчується, відношення r_c / r_0 починає зменшуватися до мінімуму (точка г). Далі у момент початку горіння алюмінію воно знову різко зростає (ділянка гд), досягаючи максимуму (точка д). По мірі вигорання алюмінію відношення r_c / r_0 монотонно зменшується (де), наближаючись по величині до розміру частинки оксиду, що світиться, яка залишилася після завершення процесу горіння. Характер зміни відношення $r_c / r_0 = f(\theta)$ при зміні концентрації кисню у середовищі зберігається для частинок сплавів, що містять не більше 80 % Al. На стадії стаціонарного вигорання магнію з частинки відношення r_c / r_0 зменшується із зменшенням концентрації кисню у середовищі та вмісту у сплаві. Якщо у кінці вигорання Mg з частинки відношення r_c / r_0 зменшується до одиниці (зона свічення зникає, то настає розщеплення частинки з подальшим догоранням крапель, що утворилися.

Процес горіння частинок алюмінієво-магнієвого сплаву, що містить 80 % та більше Al у повітрі у більшості випадків є двостадійним та переривчастим (рис. 4). При переході горіння від першої до другої стадії зона свічення звужується до розміру частинки, що існувала на першій стадії (ділянка гд), та процес горіння припиняється. Вигорання алюмінію починається лише після повторного спалахування частинки (ділянка де); розщеплення, як правило, у цьому випадку не відбувається. Частинки, процес повторного спалахування яких не відбувся, являють собою порожнисті пористі оксидні оболонки, в середині яких містяться краплі алюмінію, що не згоріли.

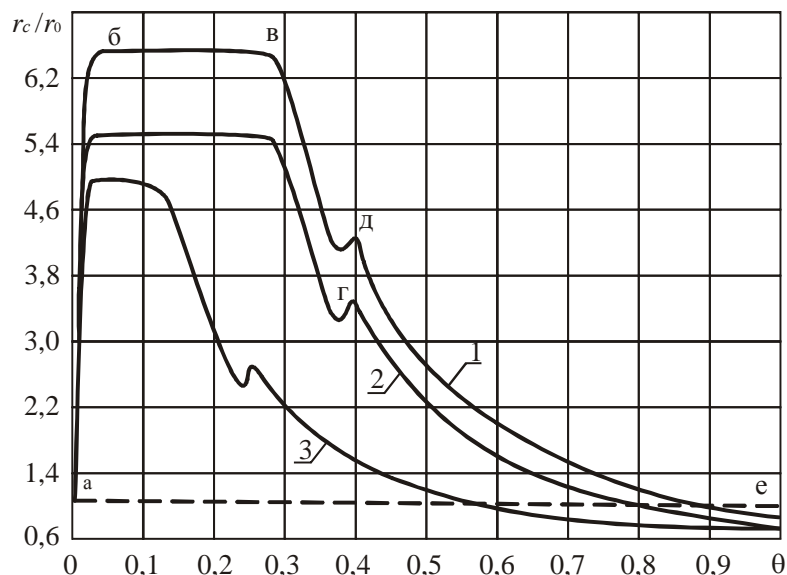


Рис. 3. Залежність відношення радіуса зони свічення до початкового радіуса частинки алюмінієво-магнієвого сплаву від відносного часу її горіння: 1 – горіння сплаву 30 % Al + 70 % Mg у повітрі; 2 – горіння сплаву 30 % Al + 70 % Mg у суміші 15 % O₂ + 85 % Ar; 3 – горіння сплаву 50 % Al + 50 % Mg у повітрі

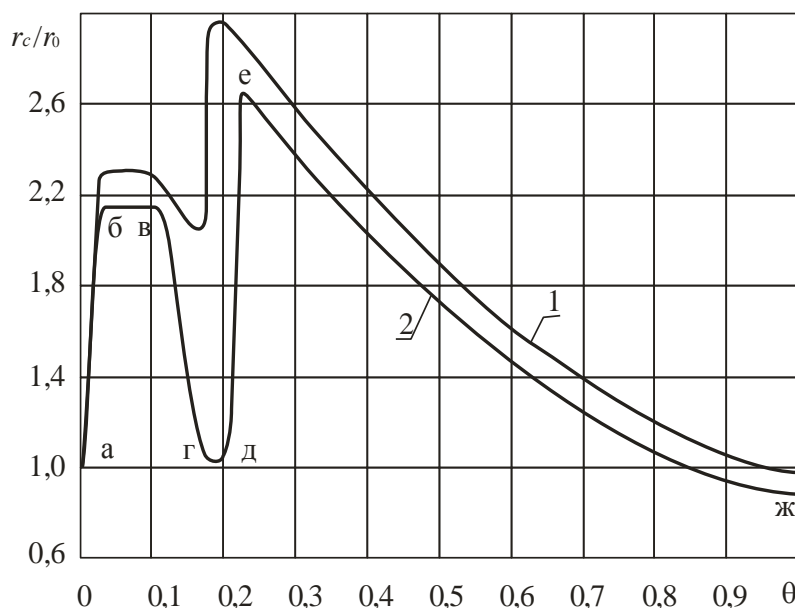


Рис. 4. Залежність відношення радіуса зони свічення до початкового радіуса частинки сплаву 80 % Al + 20 % Mg від відносного часу її горіння у повітрі: 1 – безперервне горіння; 2 – переривчасте горіння

Частка частинок АМС, що розщепилися при горінні у повітрі, як показали експерименти, залежить від співвідношення компонентів у сплаві та режиму нагріву частинок (рис. 5).

Горіння частинок алюмінієво-магнієвих сплавів при будь-якому співвідношенні компонентів у середовищі водяної пари суттєво відрізняється від горіння у сумішах кисень – аргон та у повітрі (рис. 6).

Відмінність полягає у тому, що оксидна плівка, яка утворилася на першій стадії, руйнується воднем, який утворюється при реакції з водою, утворюючи корал. Алюміній, що залишився, спалахує через деякий час після завершення першої стадії. При цьому процес його вигорання має ве-

лику схожість з гетерогенним процесом горіння, що протікає повільно.

Двостадійність процесу горіння частинок сплаву зберігається при будь-якому співвідношенні компонентів у сплаві.

Час затримки спалахування залишку частинки сплаву на другій стадії у середовищі H_2O складав $10^{-2} \dots 10^{-3}$ с.

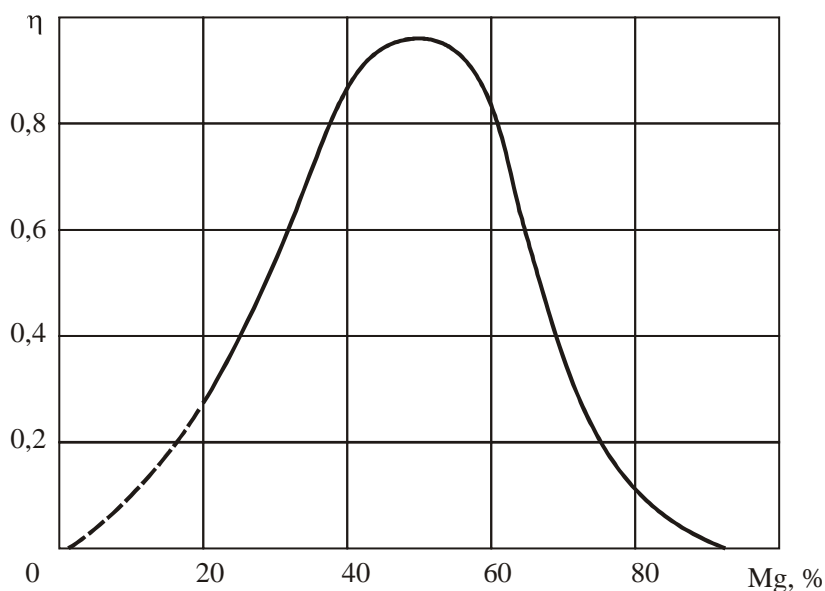


Рис. 5. Залежність частки частинок алюмінієво-магнієвого сплаву, що розщепилися при горінні у повітрі, від вмісту Mg у сплаві

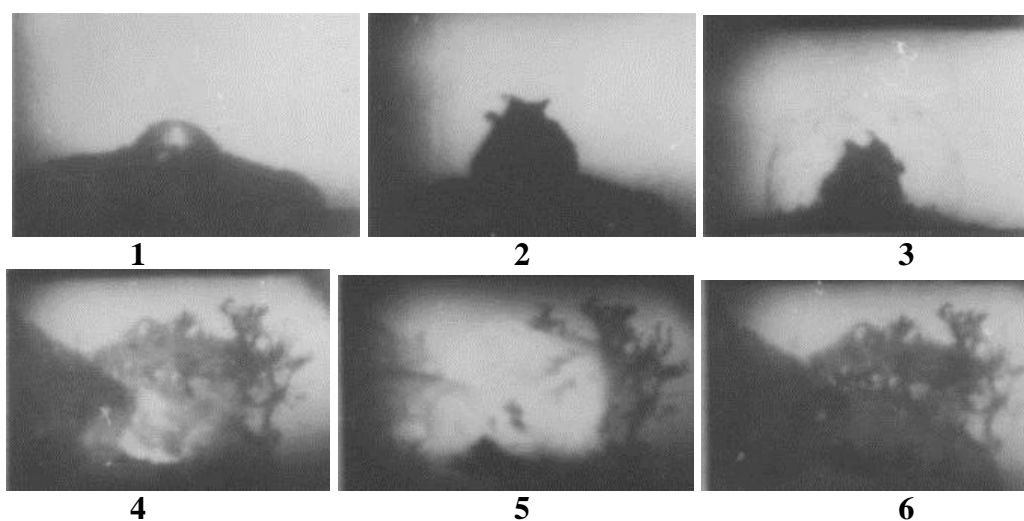


Рис. 6. Кінокадри процесу горіння частинок сплаву 40 % алюмінію + 60 % магнію при атмосферному тиску у навколишньому повітрі у присутності парів H_2O , який закінчується їх вибуховим руйнуванням: 1 – 3 – перша стадія горіння частинки, коли утворюється оксидна плівка; 4 – 6 – друга стадія, коли оксидна плівка руйнується воднем, який утворюється при реакції з водою, утворюючи корал, який потім вибухонебезпечно руйнується

Отримано емпіричні залежності часу горіння частинок АМС (τ_z , с) від їх розміру (d , мкм) та концентрації O_2 у продуктах розкладання окиснювача (C_{O_2} , об'єм. %).

Залежність часу горіння частинок (τ_z , с), що містять 50 % Mg та 50 % Al при атмосферному тиску у середовищі кисень – аргон від їх ро-

зміру (d , мкм) та концентрації O_2 (C_{O_2} , об'єм. %) може бути апроксимована емпіричною залежністю (відносна похибка 5...7 %):

$$\tau_2 = (2,378 + 22,5 \cdot 10^{-3} \cdot C_{O_2}) \cdot d^{1,2 + 8 \cdot 10^{-3} \cdot C_{O_2}} \quad (1)$$

Для частинок сплавів АМ з різними співвідношеннями компонентів у повітрі отримано наступні емпіричні залежності (відносна похибка 4...6 %):

$$\tau_{\Gamma} = 1,0 \cdot d^{1,8} \quad (40 \% \text{ Mg} + 60 \% \text{ Al}); \quad (2)$$

$$\tau_{\Gamma} = 1,23 \cdot d^{1,6} \quad (50 \% \text{ Mg} + 50 \% \text{ Al}); \quad (3)$$

$$\tau_{\Gamma} = 1,18 \cdot d^{2,3} \quad (80 \% \text{ Mg} + 20 \% \text{ Al}). \quad (4)$$

Висновки. Систематизація та узагальнення отриманих експериментальних даних по спалахуванню та горінню частинок алюмінієво-магнієвих сплавів у активних газоподібних продуктах термічного розкладання нітратовмісних окиснювачів та органічних речовин (парафіну, стеарину, нафталіну, антрацену) (O_2 , N_2 , H_2O , CO_2) показують, що:

- процеси спалахування та горіння частинок АМ сплавів є складними та залежать від великої кількості різних чинників (співвідношення компонентів у сплаві, дисперсності частинок, складу та властивостей навколишнього середовища тощо);

- механізм згоряння частинок АМ у потоці $O_2 + N_2$ визначається співвідношенням у ньому компонентів: при надлишку Mg (більше 50 %) процес згоряння частинок протікає у паровій фазі у дві стадії (вигорання магнію у частинці сплаву та горіння розплавленої краплі алюмінію, що залишилась; при надлишку Al – спочатку вигоряє парофазним полум'ям більш леткий Mg, а нелеткий Al потім розсіюється у вигляді дрібних частинок, що догорають; при цьому частка частинок АМС (η), що розщепились при горінні у продуктах розкладання $O_2 + N_2$, залежить від співвідношення компонентів у сплаві (при 40...60 % Mg $\eta_{max} = 85...95$ %);

- механізм спалахування одиничних нерухомих частинок АМС у сумішах кисень – аргон, у суміші $O_2 + N_2$, водяній парі та вуглекислому газі повністю відповідає механізму спалахування частинок чистого Mg, тобто початку процесу спалахування частинок передують окислювальні реакції, що протікають на їх поверхні;

- процес горіння частинок АМС у суміші $O_2 + N_2$ у присутності пари H_2 протікає у дві стадії, що відрізняються від горіння у сумішах $O_2 +$ аргон, $O_2 + N_2$ та закінчується вибухонебезпечним руйнуванням незалежно від співвідношення компонентів у сплаві;

- добавки (у межах 1...2 %) до АМС присадок Li, B, Ti, Zn, V, Mo, Cr, Mn знижують швидкість горіння частинок у 5...6 разів;

- час згоряння частинок АМС залежить від співвідношення компонентів у них, їх дисперсності, складу навколишнього середовища та концентрації у ньому окислювальних компонентів; при цьому для вказаних залежностей отримано емпіричні залежності (відносна похибка 4...7 %).

ЛІТЕРАТУРА

1. Тарасов В. В., Якушенков Ю. Г. Инфракрасные системы “смотрящего” типа М.: Логос, 2004. С. 444.
2. Глущенко А. Р., Гордиенко В. И., Бурак А. В., Денисенко А. Ю. Танковые ночные системы и приборы наблюдения Черкассы: Фотоприбор, 2007. С. 441.
3. Шидловский А. А. Основы пиротехники / М.: Машиностроение, 1973. С. 320.
4. Силин Н. А., Ващенко В. А., Кашпоров Л. Я. Металлические горючие гетерогенных конденсированных систем / Н. А. Силин, и др. М.: Машиностроение, 1976. С. 320.
5. Силин Н. А., Ващенко В. А., Кашпоров Л. Я. Горение металлизированных гетерогенных конденсированных систем М.: Машиностроение, 1982. С. 232.
6. Ващенко В. А., Кириченко О. В., Лега Ю. Г., Заика П. И., Яценко И. В., Цыбулин В. В. Процессы горения металлизированных конденсированных систем К.: Наукова думка, 2008. С. 745.
7. Кириченко О. В. Скорость и предельные режимы горения трехкомпонентных пиротехнических смесей в условиях внешних термовоздействий. Международный научно-практический журнал “Пожаровзрывобезопасность”. Россия. М.: Пожнаука, 2013. № 5. С. 20–25.
8. Кириченко О. В. Экспериментально-статические модели для прогнозирования влияния внешних термовоздействий на скорость горения пиротехнических смесей. Вестник КИИ. Минск: КИИ МЧС РБ, 2013. № 2(18). С. 35–41.
9. Кириченко О. В., Ващенко В. А., Цибулин В. В. Пожежонебезпечні термовпливи на поверхню металевих корпусів піротехнічних виробів в умовах пострілу та польоту / О. В. Кириченко, Проблеми пожарной безопасности. Харьков: НУГЗУ, 2012. № 32. С. 98–112.
10. Кириченко О. В., Пашковський П. С., Ващенко В. А., Лега Ю. Г. Основи пожежної безпеки піротехнічних нітратовмісних виробів в умовах зовнішніх термовпливів. Монографія К.: Наукова думка, 2012. С. 318.
11. Вогман Л. П., Зуйков В. А., Татаров В. Е., Лепесий В. В. Разработка рекомендаций по обеспечению пожарной безопасности фейерверочных пиротехнических изделий. Пожаровзрывобезопасность. 2002. №3. С. 24–41.
12. ГОСТ Р 51271 – 99. Изделия пиротехнические. Методы сертификационных испытаний.
13. Кириллов Г. Н., Дешевых Ю. И., Гилетич А. Н., Вогман Л. П., Зуйков В. А., Нестругин А. Н., Пшеничников А. М. Требования пожарной безопасности при обращении пиротехнической продукции. Обзорно-аналитический материал М.: ВНИИПО и ДНД МЧС России, 2010. С. 19.
14. Бекстед М. В. Анализ данных по временам горения частиц алюминия. Физика горения и взрыва, 2005. № 5. С. 17–26.

15. Калинин В. В., Черненко А. С. Критические условия гетерогенного воспламенения нагретой частицы магния в холодном воздухе. Физика аэродисперсных систем, 2006. № 43. С. 82–89.

16. Калинин В. В., Черненко А. С., Манюк С. А. Зажигание, высокотемпературное окисление и самопроизвольное погасание металлических частиц. Физика аэродисперсных систем, 2011. № 48. С. 69–81.

17. Кириченко О. В., Ващенко В. А., Цибулін В. В., Тищенко Є. О. Високотемпературне окислення магнію в продуктах розкладання нітратомісних окислювачів та органічних речовин піротехнічних сумішей при зовнішніх термовпливах. Вісник Черкаського державного технологічного університету, 2011. № 3. С. 115–120.

18. Кириченко О. В. Високотемпературне окислення алюмінію в продуктах розкладання окислювачів та органічних речовин піротехнічних сумішей в умовах зовнішнього нагріву / О. В. Кириченко, В. А. Ващенко, В. В. Цибулін, В. М. Тупицький // Науковий вісник УкрНДІПБ, 2011. № 1(24). С. 47–53.

19. Кириченко О. В., Ващенко В. А., Цибулін В. В., Тупицький В. М. Спалахування частинок цирконію в продуктах термічного розкладання нітратомісних окислювачів та органічних речовин піротехнічних сумішей при підвищених температурах нагріву. Вісник Черкаського державного технологічного університету, 2012. № 1. С. 124–128.

Отримано редколегією 09.01.2020

Е. В. Кириченко, Р. Б. Мотричук, О. С. Диброва, В. П. Мельник, В. А. Ващенко, Т. И. Бутенко

Воспламенение и горение частиц металлического горючего в продуктах разложения нитратосодержащих окислителей и органических веществ при внешних термических воздействиях

Представлены результаты экспериментальных исследований процессов воспламенения и горения частиц АМ сплавов в газообразных продуктах термического разложения нитратосодержащих окислителей и органических веществ, входящих в состав пиротехнических нитратно-металлических смесей, при внешних термических воздействиях, предшествующих их пожаровзрывоопасному срабатыванию.

Ключевые слова: нитратно-металлические смеси, термическое разложение, пожаровзрывоопасность.

O. Kirichenko, R. Motrichuk, O. Dibrova, V. Melnyk, V. Vashchenko, T. Butenko

Ignition and combustion of metallic fuel particles in the decomposition products of nitrate-containing oxidizing agents and organic substances under external thermal influences

The results of experimental studies of the ignition and combustion of particles of AM alloys in gaseous products of thermal decomposition of nitrate-containing oxidizing agents and organic substances that are part of pyrotechnic nitrate-metal mixtures under external thermal influences preceding their fire and explosion hazard are presented.

Keywords: nitrate-metal mixtures, thermal decomposition, fire and explosion hazard.