

УДК 662.42

Д.В. Вашневський¹, Е.О. Спорягін², Є.Б. Устименко¹, О.С. Косіцина², В.В. Плотніков¹¹ ДП «НВО «Павлоградський хімічний завод», Павлоград² Дніпропетровський національний університет імені Олеся Гончара, Дніпропетровськ**ДОСЛІДЖЕННЯ ГОРІННЯ БЕЗГАЗОВИХ ПІРОТЕХНІЧНИХ КОМПОЗИЦІЙ**

Досліджено залежність швидкості горіння піротехнічної композиції PbO₂/Si у пресованому вигляді від вмісту горючого компоненту, густини. Розраховані термодинамічні температури в зоні реакції горіння для композицій з різним вмістом горючого компоненту, визначена оптимальна рецептура піротехнічної композиції для елементів уповільнення систем ініціювання вибуху.

Ключові слова: піротехнічний уповільнювач, капсуль-детонатор.

Вступ

В сучасних системах ініціювання вибуху неелектричних (СІН) для створення заданих інтервалів часу уповільнення ініціювання вибуху використовуються безгазові або малогазові піротехнічні композиції, особливістю горіння яких є виділення малих об'ємів газів при горінні, а також незначна залежність швидкості їх горіння від зовнішнього тиску.

В якості окислювачів даних композицій найчастіше використовують Pb₃O₄, BaCrO₄, PbO₂, в якості горючих компонентів – Zr, Ni, Si.

Аналіз літературних даних [1 – 3] показує, що з позиції технологічності застосування у виробничих умовах, найбільш оптимальною є система PbO₂/Si, тому метою досліджень, що проводяться, є вивчення впливу вмісту горючого компонента і густини піротехнічної композиції на швидкість горіння вказаної системи, а також дослідження процесів, що відбуваються під час перебігу хімічної реакції горіння.

Дана робота виконувалася на базі лабораторного комплексу Науково-дослідного інституту високоенергетичних матеріалів та у виробничих умовах ДП «НВО «ПХЗ».

Виклад основного матеріалу

Для виконання даних досліджень були вибрані чотири рецептури табл. 1, а також типова рецептура

[2], відносно якої виконувалося порівняння характеристик реакції горіння системи PbO₂/Si. При цьому компоненти всіх піротехнічних композицій мали однакові характеристики:

– порошок PbO₂ (розмір часток менше 100 мкм – 99,1%, вміст води – 0,06%);

– порошок Si (розмір часток 1-5 мкм – 95,8%, вміст води – 0,04%).

У якості сполучної речовини використовувався 10 % розчин колоксиліну в спирто-ацетонової суміші в співвідношенні 2:1.

Для виключення впливу фізико-хімічних процесів, які перебігають між окислювачем і горючим, до випробувань усі типи піротехнічної композиції температурувалися на протязі 20 діб при температурі 25 °С.

В подальшому на машині для спорядження піротехнічних уповільнювачів фірми SHAFFLER (Австрія) піротехнічну композицію PbO₂/Si (різних рецептурних складів) запресували в алюмінієві втулки висотою 17 мм. Споряджені уповільнювачі запресували в гільзи, попередньо заповнивши їх 200 міліграм октогену, отриманого методами конверсійної переробки [4].

Час уповільнення даної системи оцінювався на приладі EXPLOMETR (Швейцарія) по виміру інтервалу часу при проходженні фронту детонаційної хвилі на вході в капсуль-детонатор і його детонації.

Після обробки інтервалів часу уповільнення, виконали розрахунок швидкостей горіння для різних рецептур (табл. 1).

Таблиця 1

Швидкість горіння піротехнічної композиції різних рецептур

	Вміст компонентів, %		Густина, г/см ³	Швидкість горіння, см/сек
	Оксид свинцю PbO ₂	Кремній Si		
Типова рецептура	89,5	10,5	3,77	1,70
Рецептура №1	85	15	4,68	5,25
Рецептура №2	65	35	3,65	9,54
Рецептура №3	60	40	3,29	9,59
Рецептура №4	55	45	3,49	9,36

На підставі розрахунків, побудували залежність швидкості горіння піротехнічної композиції від вмісту горючого рис. 1.

Збільшення вмісту горючого понад 35 % суттєво не впливає на швидкість горіння піротехнічної композиції. Це можна пояснити, зобразивши схематично зону реакції горіння рис. 2.

В даному випадку енергія, що виділяється в результаті перебігу реакції витрачається на попереднє прогрівання подальших шарів піротехнічної компо-

зиції, підтримку самої реакції, а також на нагрівання продуктів реакції.

Враховуючи те, що із збільшенням вмісту Si, виникає нестача кисню для повного його згорання, Si, що не прореагував, є енергетичним «баластом» даної системи. При цьому частина енергії реакції витрачається на його перетворення з твердої фази в розплав ($T_{\text{плав}} = 1414,85^{\circ}\text{C}$), що скорочує зону самої реакції і прогрівання подальших шарів піротехнічної композиції.

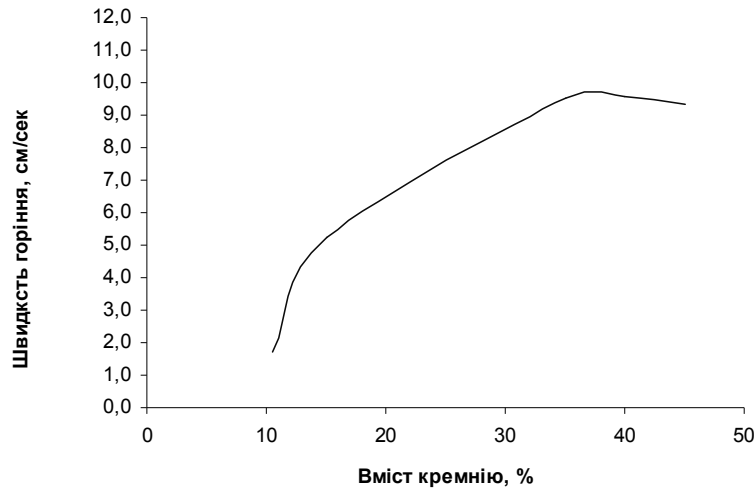


Рис. 1. Залежність швидкості горіння піротехнічної композиції від вмісту кремнію

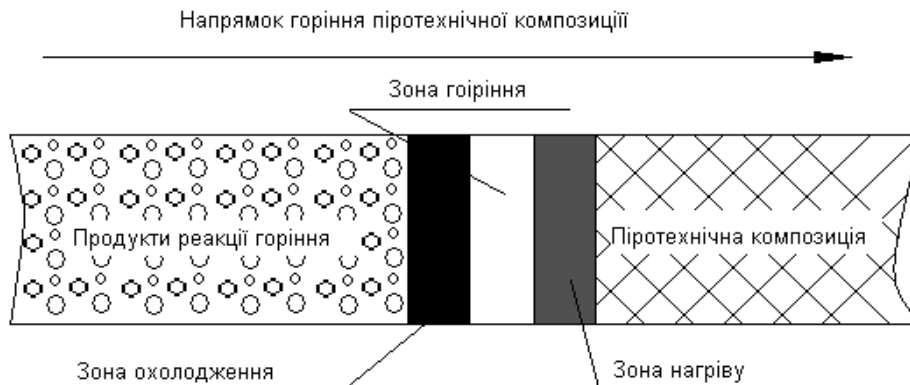


Рис. 2. Зонування реакції горіння піротехнічної композиції

Виходячи з даних, по температурі в зоні реакції, отриманих при моделюванні рівноважних станів даної термодинамічної системи при підвищених значеннях температури в програмному комплексі REAL, можна припустити, що в даному випадку, в композиціях з вмістом Si до 28 %, відбувається плавлення Si, його кипіння ($T_{\text{кип.}} = 2349,85^{\circ}\text{C}$) і подальше охолодження. У композиціях з вмістом Si понад 60 %, відбувається розігрівання і подальше його охолодження, оскільки температура в зоні реакції не досягає $T_{\text{плав}}$.

Залежність розрахункової температури в зоні реакції від вмісту кремнію наведена на рис. 3.

Також, був визначений вплив густини запресування композиції на горіння для рецептури № 2 та рецептури № 4 відповідно (рис. 4).

Як видно з рис. 2, для композиції з 45 % Si, зміна її густини на 4 % призводить до зниження швидкості горіння на 21 %; для композиції з 35 % така ж зміна густини призводить до зниження швидкості горіння на 8 %, і тому даний фактор потрібно враховувати при розробці технологічного процесу, підбираючи параметри, які виключають неоднорідність густини піротехнічної композиції.

Висновки

1. Досліджено залежність швидкості горіння композиції PbO_2/Si у пресованому вигляді від вмісту горючого компоненту. Отримані дані можуть бути використані для оптимізації рецептурного складу піротехнічного уповільнювача.

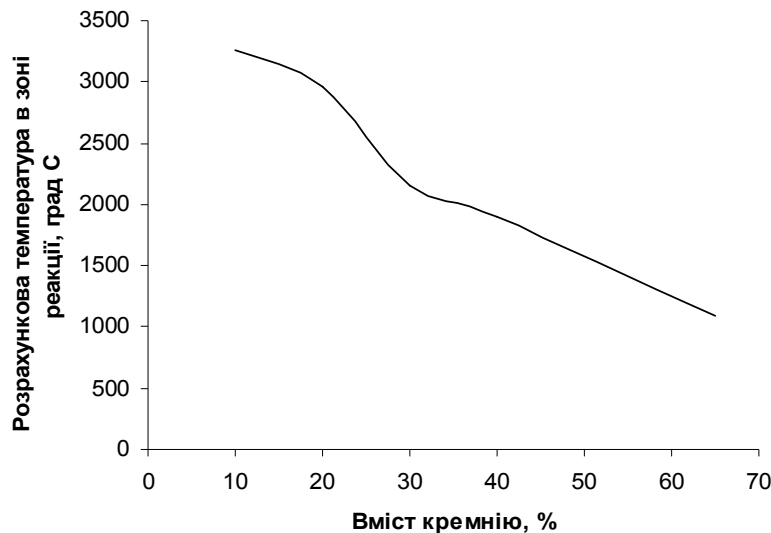


Рис. 3. Залежність температури в зоні реакції від вмісту кремнію

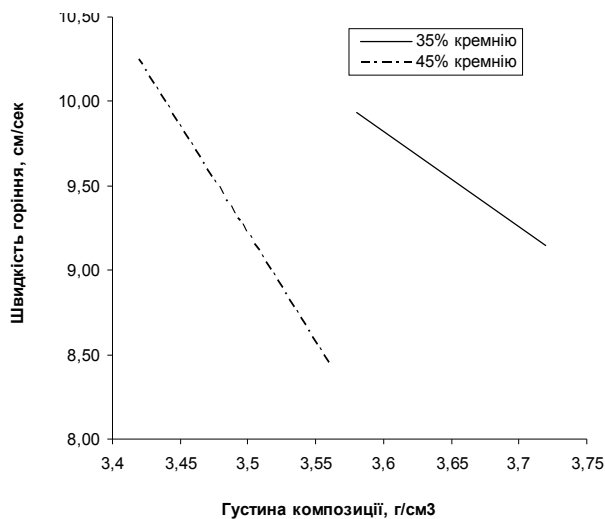


Рис. 4. Залежність швидкості горіння піротехнічної композиції від густини

2. Досліджена залежність швидкості горіння композицій з однаковим вмістом горючого компоненту при різних густинах.

3. Виконана розрахункова оцінка термодинамічних параметрів даної композиції, вивчено процеси, які перебігають при її нагріванні.

Напрямок подальших досліджень буде підбір параметрів тиску пресування рецептур з 35 % Si, для вирішення питання однорідності густини по всій довжині уповільнювача, а також стабільності швидкості горіння даної композиції.

Список літератури

1. Шидловский А.А. Основы пиротехники [Текст] / А.А. Шидловский. – М.: Машиностроение, 1973. – 320 с.
2. Conkling J.A. Chemistry of pyrotechnic [Text] / J.A. Conkling. – New York, 1985. – 190 p.
3. Мельников В.Э. Современная пиротехника [Текст] / В.Э. Мельников. – М.: Наука, 2014. – 480 с.
4. Опыт конверсии отдельных компонентов твердого ракетного топлива и аспекты безопасности для их использования в качестве активного вещества в элементах неэлектрических систем иницирования [Текст] / Е.Б. Устименко, Л.Н. Шиман, Л.И. Подкаменная, М.М. Челтонов // Вісник кременчуцького державного політехнічного університету імені Михайла Остроградського. – 2008. – № 1 (48). – С. 100-102.

Надійшла до редколегії 24.07.2015

Рецензент: д-р техн. наук Л.М. Шиман, ДП «НВО «Павлоградський хімічний завод», Павлоград.

ИССЛЕДОВАНИЕ ГОРЕНИЯ БЕЗГАЗОВЫХ ПИРОТЕХНИЧЕСКИХ КОМПОЗИЦИЙ

Д.В. Вашневский, Э.А. Спорягин, Е.Б. Устименко, Е.С. Косицина, В.В. Плотников

Исследована зависимость скорости горения пиротехнической композиции PbO₂/Si в прессованном виде от содержания горючего компонента, плотности. Рассчитаны термодинамические температуры в зоне реакции горения для композиций с различным содержанием горючего компонента, определена оптимальная рецептура пиротехнической композиции для элементов замедления систем иницирования взрыва.

Ключевые слова: пиротехнический замедлитель, капсуль-детонатор.

RESEARCH OF COMBUSTION OF GASLESS PYROTECHNIC COMPOSITIONS

D.V. Vashnevsky, E.O. Sporyagin, O.B. Ustimenko, O.S. Kositsyna, V.V. Plotnikov

The dependence of the combustion rate of pressed pyrotechnic composition PbO₂/Si on the content of the combustible component and density was studied. The thermodynamic temperatures in the combustion reaction zone for compositions with different content of the combustible component were calculated, the optimal formulation of the pyrotechnic composition for delay elements of nonelectric initiation system was determined.

Keywords: pyrotechnic delay element, blasting cap.