

В.Г. Кравець, д.т.н., проф.
Національний технічний університет України "КПІ"
А.Воеводка, доктор-інженер
Сілезький технічний університет (Польща)
Т.В. Косенко, інж.
Національний технічний університет України "КПІ"

КЕРУВАННЯ ЩІЛЬНІСТЮ ТА ДЕТОНАЦІЙНИМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ ПВР ДОДАВАННЯМ ІНЕРТНИХ МАТЕРІАЛІВ

В роботі викладено принципи розробки вибухових сумішей з низькими параметрами детонації. Критерієм добору вибухових речовин є швидкість детонації та критичний діаметр. Найкращі показники отримані в результаті додавання до амоналів окисів свинцю.

1. Вступ

В гірничій справі для розробки блочних масивів і в деяких методах високоенергетичної обробки металів (покриття свинцем, посадка трубок у дні теплообмінників, зміцнення поверхні відповідальних деталей і конструкцій) використовують вибухові речовини з низькими детонаційними параметрами. Всі індивідуальні кристалічні вибухові речовини (ВР) (тротил, гексоген, тетрил, октоген, тен) в межах реальних щільностей характеризуються високими детонаційними параметрами. Їх можна знизити додаванням інертних субстанцій чи додаванням субстанцій з малою насипною щільністю. Низькі детонаційні параметри характерні також для аміачноселітрових ВР, що сенсифілізовані нітроефірами і вміщують великі кількості хлориду натрію NaCl чи іонообмінні домішки. Однак, враховуючи присутність в цих домішках вибухових компонентів, чутливих до механічних впливів, їх використання, особливо поза гірничими підприємствами, може бути небезпечним.

Для розробки вибухових сумішей з низькими параметрами детонації, які не містять молекулярних (індивідуальних) ВР, проведено досліди із сумішами, що містять аміачну селітру (АС) і алюмінієвий порошок Al, який посилює здатність до детонації. Основний склад суміші містив невелику кількість пластинчатого алюмінієвого порошку, завдяки чому суміші відрізнялись низькою швидкістю детонації D та малим критичним діаметром $d_{кр}$ [1]. Як компоненти, що додатково зменшують швидкість детонації, застосовано речовини з дуже низькою насипною щільністю.

2. Критерії добору компонентів вибухових сумішей

Критерієм добору ВР для конкретної вибухової технології є в першу чергу швидкість детонації та критичний діаметр.

Для отримання потрібних сумішей застосовувались такі компоненти:

- подрібнена аміачна селітра сільськогосподарського призначення фракції $< 0,8$ мм, що не містить опудрюючих додатків;
- алюмінієвий пластинчатий порошок з питомою поверхнею ≈ 4000 см²/г;
- мікросфери, виготовлені з формальдегідно-мочевинної смоли з насипною щільністю 0,08 г/см³;
- скляні мікросфери з відходів електростанцій з насипною щільністю 0,36–0,38 г/см³ і фракцій $< 0,125$ мм;
- аеросил в колоїдальному стані з насипною щільністю 0,06 г/см³;
- хлористий натрій фракції 0,06–0,3 мм;
- окиси свинцю PbO₂ і Pb₃O₄ фракції $< 0,2$ мм.

Останні два компоненти вирізнялись високою щільністю.

3. Обговорення результатів

На першому етапі експериментів визначався вплив щільності амоналів, що вміщують невелику кількість порошку Al, на швидкість детонації. Вимірювання проводились у сталевих

трубах 36/42 мм і в паперових тонкостінних трубках з внутрішнім діаметром 25 мм. В деяких випадках визначено критичний діаметр детонації методом конуса (табл. 1).

Таблиця 1

Вплив щільності на параметри детонації амоналів

Склад Al/AC (мас. частина)	Щільність, г/см ³	Швидкість детонації, м/с		Критичний діаметр, мм
		Паперова трубка $d = 25$ мм	Сталева трубка 36/42 мм	
1/99	0,64	1060	—	—
	0,72	1110	1970	14
	0,81	1230	2140	11
	0,90	1400	2310	15
	1,00	—	2370	32
	1,10	—	2460	—
	1,20	—	2220	—
	1,30	—	2000	—
3/97	0,81	1800	2690	11
	0,88	2070	—	10
	0,92	2200	2930	10
	0,99	2340	—	9
	1,05	2220	—	—
	1,10	—	3190	9
	1,15	1920	3110	11
6/94	0,76	2130	3330	11
	0,80	2230	—	—
	0,94	2350	3360	9
	1,10	2400	3380	—
	1,20	2310	3440	13
	1,30	—	—	27

В наступних експериментах до амоналів додавалися різні кількості мікросфер, аеросилу, двоокису і чотириокису свинцю, хлористого натрію. Результати вимірювань швидкості детонації і критичного діаметра виготовлених вибухових сумішей подані в табл. 2–8.

Алюмінієвий порошок в сумішах виконував роль сенсibilізатора, підсилювача теплоти вибуху і швидкості детонації. Найбільший градієнт росту схильності до детонації (зменшення $d_{кр}$), порівняно з AC, спостерігається в амоналах, що містять малі кількості (декілька %) порошку Al типу P1. В той же час присутність мікросфер з полімерів і аеросилу в колоїдальному стані чи у вигляді мікросфер, призводить до зменшення початкової щільності суміші. Це впливає безпосередньо на кількість теплоти, генерованої під час детонації в одиниці об'єму ВР, знижуючи його і відповідно знижуючи енергетичні параметри процесу. Результатом цього є зростання $d_{кр}$ і падіння D . Ступінь зміни цих параметрів залежить від кількості домішок, що зменшують щільність ВР, і від їх фізико-хімічних властивостей.

Додавання 1% мас. скляних мікросфер призводить до зниження D на 20–60 м/с і зростання $d_{кр}$ на декілька десятків часток міліметра (табл. 2). Ця зміна більш інтенсивна при більш високому вмісті скляних мікросфер.

В той же час при додаванні до амоналу полімерних мікросфер спостерігається той же механізм зміни досліджуваних параметрів, однак за більш високих значень швидкості детонації (табл. 3). Це пов'язано з відмінністю у поведінці скляних і полімерних мікросфер. Формальдегідно-мочевинні мікросфери в досліджуваних амоналах можуть бути додатковим паливом і реагувати з продуктами розкладу окислювача. В той же час скляні мікросфери, що складаються в основному з SiO_2 – інертного матеріалу – негативно впливають на тепловий ефект реакцій вибухового розкладу, оскільки частина енергії витрачається на їх нагрівання і руйнування.

Аеросил в колоїдному стані з урахуванням малої щільності дозволяє отримати вибухові суміші з дуже низькою швидкістю детонації (проба 22, табл. 4).

Таблиця 2
Детонаційні параметри амоналів, що містять Al і скляні мікросфери

Склад і параметри	Номер проби													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Al лускуватий, %	2	2	2	3	3	3	4	4	5	5	5	6	6	6
АС, %	96	91	88	92	87	82	92	89	92	89	86	89	94	79
Скляні мікросфери, %	2	7	10	5	10	15	4	7	3	6	9	5	10	15
Щільність сумішей, г/см ³	0,97	0,90	0,85	0,99	0,90	0,85	0,93	0,92	0,94	0,89	0,82	0,96	0,93	0,85
$d_{кр}$, мм	10	12	14	11	15	18	9	9	9	9	11	10	12	16
D , м/с в зарядах $d = 18$ мм	1630	1400	1220	1560	1280	1060	1720	1660	1860	1700	1600	1600	1490	1150

Таблиця 3
Детонаційні параметри амоналів, що містять формальдегідно-мочевинні мікросфери

Склад і параметри	Номер проби					
	15	16	17	18	19	20
Al лускуватий, %	3	3	3	6	6	6
АС, %	92	87	82	89	84	79
Мікросфери, %	5	10	15	5	10	15
Щільність, г/см ³	0,84	0,68	0,54	0,83	0,67	0,58
$d_{кр}$, мм	8	10	16	8	12	18
D , м/с в зарядах $d = 25$ мм	2230	1880	1570	2450	2120	1810
$d = 18$ мм	1930	1610	—	2300	1930	—

Таблиця 4
Детонаційні параметри амоналів, що містять Al і колоїдний аеросил

Склад і параметри	Номер проби			
	21	22	23	24
Al лускуватий, %	3	3	6	6
АС, %	92	89,5	89	86,5
Аеросил, %	5	7,5	5	7,5
Щільність, г/см ³	0,46	0,40	0,46	0,37
$d_{кр}$, мм	12	17	12	15
D , м/с в зарядах $d = 25$ мм	1700	990	2230	1450

Додавання до амоналів окисів свинцю викликає зростання їх щільності й падіння D .

Характер отриманих залежностей $D = f(\%Pb_xO_y)$ залежить від специфіки вибухового розкладу амоналів і деяких властивостей досліджуваних окисів свинцю.

Процес детонації амоналів протікає, як було вказано вище, в 2 етапи – екзотермічний розклад АС і реакція між киснем чи продуктами розкладу АС, які містять кисень, і алюмінієм. Залежно від вмісту Al генерується певна кількість тепла, а теоретично оптимальним вмістом Al, що призводить до оптимального виділення тепла із зони реакції, є 18,37 % мас. Al (стехіометричне співвідношення). Відхилення від цього значення в меншу сторону наближає амонал до низькоенергетичної АС; при високому вмісті Al кількість енергії, що генерується в зоні хімічної реакції, зростає, а при великому вмісті може призвести до затухання детонації.

У випадку сумішей амоналу з окисами свинцю отримані суміші з дуже низькою D (проби 33, 36, 37, 41, а особливо 27, табл. 5 і 6).

Окиси PbO_2 і Pb_3O_4 розкладаються відповідно при температурі 290 °С і 500 °С. Низька температура розкладання PbO_2 означає, що навіть при великому його вмісті в 1%-му амоналі проходить процес детонації.

Таблиця 5

Вплив додавання двоокису свинцю на швидкість детонації амоналів

Склад і параметри	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34
Al, %	1	1	1	1	6	6	6	6	6	6
АС, %	79	59	49	39	74	54	34	14	9	4
PbO ₂ , %	20	40	50	60	20	40	60	80	85	90
Щільність, г/см ³	0,89	1,11	1,21	1,32	0,87	1,00	0,34	1,80	2,15	2,43
D, м/с в зарядах d = 25 мм	1130	890	450	ND	2160	1950	1600	1040	840	ND

Таблиця 6

Вплив додавання чотириокису свинцю на швидкість детонації амоналів

Склад і параметри	Номер проби							
	35	36	37	38	39	40	41	42
Al, %	1	1	1	1	6	6	6	6
АС, %	89	79	74	69	74	34	14	4
Pb ₃ O ₄ , %	10	20	25	30	20	60	80	90
Щільність, г/см ³	0,76	0,81	0,86	0,91	0,88	1,17	1,40	1,48
D, м/с в зарядах d = 25 мм	1010	880	810	ND	2100	1320	810	ND

Таблиця 7

Вплив додавання NaCl на детонаційні параметри амоналів

Склад і параметри	Номер проби					
	43	44	45	46	47	48
Al, %	3	3	3	6	6	6
АС, %	87	77	67	84	74	64
NaCl, %	10	20	30	10	20	30
Щільність, г/см ³	0,95	0,96	0,99	0,96	0,98	1,00
d _{кр} , мм	12	16	>25	10	13	23
D, м/с в зарядах d = 25 мм	1970	1770	ND	2460	2200	1860
d = 36/42 мм (сталь)	2760	2480	2130	2980	2780	2450

В табл. 7 наводяться дані щодо впливу домішок хлориду натрію на процес детонації в амоналах. Вплив NaCl на регулювання швидкості детонації серед досліджуваних домішок є найменш корисним. Він забезпечує відносно мале зниження швидкості детонації і одночасно високе зростання критичного діаметра.

4. Оцінка результатів застосування різних домішок

З отриманих результатів вимірів швидкості детонації і здатності до детонації в зарядах діаметром 25 мм можна припустити участь окисів свинцю в хімічних реакціях на фронті детонаційної хвилі в амоналах. Їх вплив на процес детонації може також полягати в формуванні "внутрішніх оболонок" амоналу, для чого вони особливо придатні, враховуючи їх високу щільність. Додавання до амоналів домішок скляних мікросфер, формальдегідно-мочевинних мікросфер та аеросилу призводить до зменшення швидкості детонації та збільшення критичного діаметра. При збільшенні діаметра заряду та кількості алюмінію ця тенденція зберігається. Найменша стійка швидкість детонації для сумішей досягається при таких пропорціях: Al – 6 %, АС – 79 %, скляні мікросфери – 15 %; Al – 3 %, АС – 87 %, формальдегідно-мочевинні мікросфери – 10 %; Al – 3 %, АС – 89,5 %, аеросил – 7,5 %; Al – 3 %, АС – 77 %, NaCl – 20 %. Найбільш корисний вплив на регулювання швидкості детонації виявляють окиси свинцю. Найкращі результати отримані при таких пропорціях сумішей: Al – 1 %, АС – 49 %, PbO₂ – 50 % та Al – 1 %, АС – 74 %, Pb₃O₄ – 25 %.

ЛІТЕРАТУРА:

1. *A. Maranda, A. Paplinski, A. Wojewodka. Investigations into Reactivity and Detonation Parameters of Ammonals // Polish Journal of Applied Chemistry. – 2003. – XLVII. – № 2. – P. 75–81.*

КРАВЕЦЬ Віктор Георгійович – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри геобудівництва та гірничих технологій Інституту енергозбереження та енергоменеджменту Національного технічного університету України “КПІ”.

Наукові інтереси:

- вибухові роботи;
- геобудівництво.

Тел.: 441-10-84.

E-mail: undergeo@svitonline.com

ВОЄВОДКА Анджей – доктор філософії, керівник лабораторії промислових вибухових матеріалів хімічного факультету Сілезького технічного університету (Польща).

Наукові інтереси:

- теорія промислових вибухових матеріалів.

КОСЕНКО Тетяна Володимирівна – інженер кафедри геобудівництва та гірничих технологій Інституту енергозбереження та енергоменеджменту Національного технічного університету України “КПІ”.

Наукові інтереси:

- якісне відокремлення монолітів від масиву.

Тел.: 441-10-84.

E-mail: undergeo@svitonline.com

Подано 12.06.2004