

Badania parametrów detonacyjnych materiałów wybuchowych emulsyjnych o niskiej gęstości modyfikowanej mikrobalonami

Andrzej MARANDA, Bartłomiej DROBYSZ, Józef PASZULA* – Wydział Nowych Technologii i Chemii, Wojskowa Akademia Techniczna, Warszawa

Prosimy cytować jako: CHEMIK 2014, 68, 1, 17–22

Wstęp

Materiały wybuchowe emulsyjne (MWE) chociaż zostały opracowane kilkadziesiąt lat temu [1 ÷ 3] są najbardziej nowoczesnymi górnictwami materiałami wybuchowymi (MW). Aktualnie stają się podstawowym środkiem strzałowym stosowanym w polskim przemyśle wydobywczym [4]. Do ich podstawowych zalet należy niska wrażliwość na bodźce mechaniczne, umożliwiającą mechaniczny załadunek otworów strzałowych. Inną bardzo istotną zaletą jest możliwość regulacji ich gęstości w bardzo szerokim zakresie. Zmiana gęstości MWE powoduje równoległe zmianę gęstości energii, a więc jej dostosowanie do parametrów mechanicznych górotworu.

Badania parametrów detonacyjnych MWE wykonywane są od kilkunastu lat w Wojskowej Akademii Technicznej, a ich wyniki przedstawiono między innymi w publikacjach [5 ÷ 14]. Rezultaty najnowszych eksperymentów dotyczących MWE o obniżonej gęstości zostały zawarte w niniejszej pracy.

Uczulanie matrycy materiałów wybuchowych emulsyjnych

Matryca MWE ma gęstość w przedziale (1,4–1,5) g/cm³ i jest pozbawiona grup eksplozoforowych. W celu podwyższenia jej zdolności do detonacji należy wprowadzić zmiany strukturalne, które po przejściu fali uderzeniowej będą obszarami o podwyższonej temperaturze („gorące punkty”). W tych obszarach energia wywołana falą uderzeniową jest wystarczająca do zapoczątkowania reakcji chemicznych. Sensybilizację matrycy można prowadzić za pomocą takich czynników jak:

- dodatek wysokoenergetycznych MW
- dodatek substancji o dużej twardości ziaren
- redukcja gęstości na drodze chemicznej lub fizycznej.

Zakładając uzyskanie niskiej gęstości MWE, znaczącą rolę będzie odgrywać zmniejszenie gęstości matrycy w wyniku nagazowania chemicznego lub dodatku substancji o niskiej gęstości usypowej. Większość przemysłowych MWE, a wszystkie ładowane luzem do otworów strzałowych, są nagazowywane chemicznie. Natomiast w skali laboratoryjnej proces wprowadzania szklanych mikrosfer, lub mikrobalonów wykonanych z tworzyw sztucznych do emulsji jest znacznie prostszy i powtarzalny niż jej chemiczne nagazowywanie.

Część eksperymentalna

Po wnikliwej analizie metod obniżania gęstości MWE do prób wybrano fizyczną drogę redukcji gęstości MWE przy użyciu mikrobalonów wykonanych z tworzyw sztucznych. Pomimo niższego kosztu chemicznej redukcji gęstości MWE, zrezygnowano z tej metody ze względu na dość skomplikowaną procedurę laboratoryjną oraz trudności w otrzymaniu powtarzalnych wyników badań.

Wybór ten wynika z prostej metody wprowadzania tych substancji do emulsji oraz powtarzalności wyników badań parametrów detonacyjnych MWE. W przypadku nagazowania chemicznego, rozmieszczenie i wielkość wtrąceń gazowych jest przypadkowa

i ma znaczny wpływ na osiągane parametry detonacyjne, co utrudnia uzyskanie powtarzalnych i wiarygodnych wyników. Ponadto przy nagazowaniu chemicznym duży wpływ na uczulenie oraz zmniejszenie gęstości MWE wywiera czas od dodania substancji (lub układu substancji) wydzielających wtrącenia gazowe, do momentu zdetonowania ładunku MW. Okres ten powinien być taki sam dla każdego z dodatków sensybilizatora. Wynika to z postępującego rozkładu substancji nagazowującej, która uwalnia dodatkowe mikropęcherzyki gazowe, zmniejszające gęstość ładunku. Oznacza to, że dwa ładunki, do których w tym samym momencie wprowadzono ten sam dodatek chemicznie zmniejszający gęstość, powinny zostać zainicjowane w tym samym czasie, aby pomiar ich gęstości był miarodajny.

W przeciwieństwie do chemicznej, fizyczna redukcja gęstości umożliwia utrzymanie niezmienną w czasie, zmniejszonej gęstości MWE, co daje możliwość uzyskania powtarzalnych i rzetelnych rezultatów pomiarów parametrów detonacyjnych. Wynika to z jednorodnego rozmieszczenia mikrocząstek (o znanych wymiarach) zmniejszających gęstość w całej objętości MWE.

Do badań wykorzystano matrycę produkcji firmy AUSTIN POWDER, Hydrox U, o lepkości 120000 cPa i składzie [%]: azotan(V) amonu – 64,4%; azotan(V) sodu – 14,6%; faza organiczna – 6,0%; woda 15,0%. Natomiast jako środki zmniejszające gęstość wykorzystano mikrobalony 092 DE 120 30.

W celu określenia wpływu mikrobalonów na zmniejszenie gęstości przygotowano 8 składów MWE uczulanych mikrobalonami, których gęstości znajdują się w Tabelicy I.

Tablica I

Wpływ dodatku mikrobalonów na gęstość ładunków MWE

| Zawartość mikrobalonów %mas | Gęstość g/cm ³ |
|-----------------------------|---------------------------|
| 0,6 | 1,07 ± 0,01 |
| 1,0 | 0,86 ± 0,01 |
| 1,4 | 0,81 ± 0,01 |
| 1,8 | 0,73 ± 0,01 |
| 2,2 | 0,67 ± 0,01 |
| 2,6 | 0,60 ± 0,01 |
| 3,0 | 0,56 ± 0,01 |
| 3,4 | 0,55 ± 0,01 |

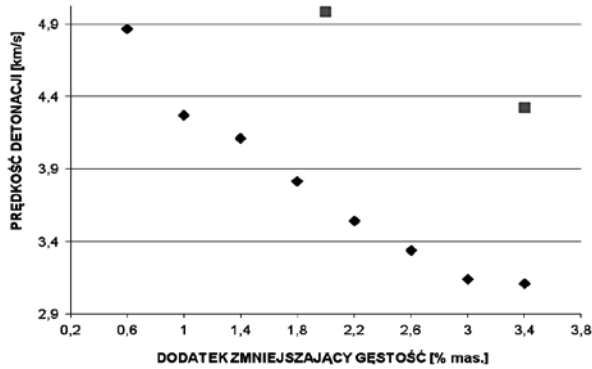
Największy spadek gęstości można zaobserwować pomiędzy zawartością 0,6% a 1,0% mikrobalonów, natomiast po przekroczeniu 3,0% dodatku zmiana gęstości nie jest już tak znaczna.

W celu określenia parametrów otrzymanych MWE o niskiej gęstości zrealizowane zostały testy mające na celu określenie prędkości detonacji i intensywność powietrznej fali podmuchowej.

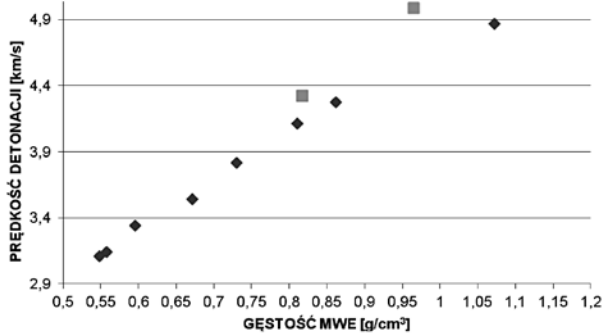
Pomiar **prędkości detonacji** wykonywany został metodą czujników zwarciowych, które zostały umieszczone w izolujących koszulkach w odległościach 15 mm, 55 mm, 95 mm i 135 mm od dna

Autor do korespondencji:
Dr inż. Józef PASZULA, e-mail: jpaszula@wat.edu.pl

ładunku. Dla każdej zawartości mikrobalonów wykonano 2 ładunki, które miały masę 400 g i średnicę 50 mm, natomiast wysokość ładunku była dostosowywana do jego gęstości. Środkami pobudzającymi we wszystkich pomiarach prędkości detonacji (D) były zapalniki elektryczne typu ERG. Wyznaczone prędkości detonacji przedstawiono na Rysunkach 1 i 2, które zawierają również, dla porównania, wyniki pomiarów prędkości detonacji dla MWE zawierających mikrosfery 46I DE 20 d70 firmy AkzoNobel.

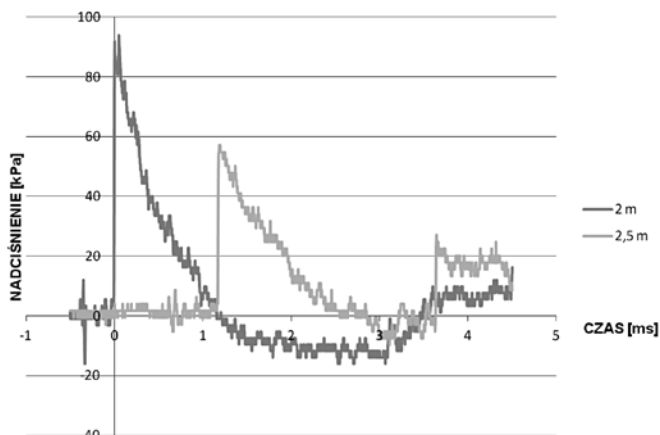


Rys. 1. Zależność prędkości detonacji od dodatku mikrosfer (MS) i mikrobalonów (MB)

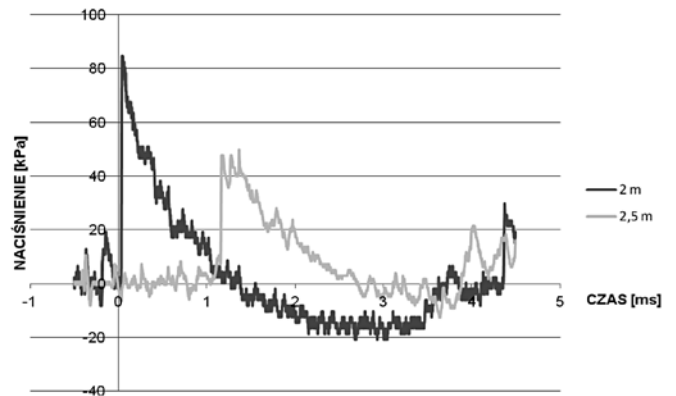


Rys. 2. Zależność prędkości detonacji od gęstości MWE

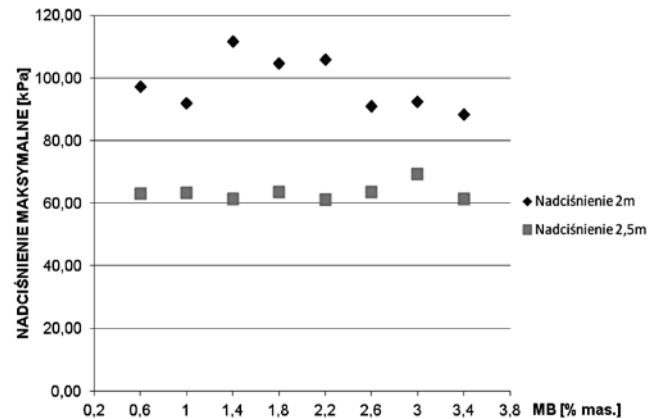
Intensywność powietrznej fali podmuchowej. Pomiarzy naciśnień towarzyszących propagacji powietrznej fali podmuchowej wykonywano stosując ładunki MWE o stałej masie 400 g umieszczone w obudowach z PCW, których średnica wynosiła 50 mm, zawieszono w powietrzu w odległości 2 m oraz 2,5 m od piezoelektrycznych czujników ciśnienia. Dla każdej zawartości MB wykonano po 2 pomiary. Przykładowe przebiegi krzywych naciśnienia dla kolejnych dodatków mikrobalonów pokazano na Rysunkach 3 i 4, natomiast wartości maksymalnych naciśnień na poszczególnych czujnikach oraz impulsu fali podmuchowej zestawiono na Rysunkach 5 i 6.



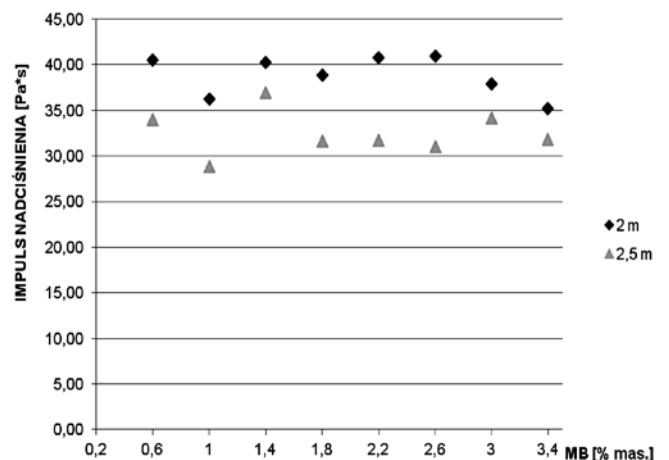
Rys. 3. Przebieg krzywej naciśnienia dla 0,6% zawartości MB



Rys. 4. Przebieg krzywej naciśnienia dla 3,4% zawartości MB



Rys. 5. Naciśnienie powietrznej fali podmuchowej generowanej w wyniku detonacji MWE zawierających różne ilości MB



Rys. 6. Zależność impulsu naciśnienia od zawartości mikrobalonów

Analiza wyników badań

Gęstość MWE. W pierwszym etapie eksperymentów zmniejszono gęstość MWE przez dodatek mikrobalonów i uzyskano stopień redukcji badanego parametru 48,87% początkowej gęstości ładunku MWE. Dalsza redukcja gęstości przy użyciu mikrobalonów może przysparzać trudności w aspekcie jednorodności ładunku. Już przy dodatku 3,0% mikrobalonów drastycznie zmieniła się konsystencja materiału. Początkowo materiał był bardzo lepki i ciągliwy, o strukturze kisielu, natomiast przy coraz większych dodatkach mikrobalonów stał się suchy i zbrylający.

Prędkość detonacji MWE. Początkowo nastąpił znaczący spadek prędkości detonacji, ale następnie przybrał on postać zależności wykładniczej. Wyniki zmian prędkości detonacji zestawiono w Tabelicy 2.

Tablica 2

Zestawienie zmian prędkości detonacji dla badanych ładunków

| Dodatek redukujący gęstość | Zawartość dodatku %mas | Prędkość detonacji km/s | % początkowej prędkości detonacji |
|----------------------------|------------------------|-------------------------|-----------------------------------|
| MB | 0,6 | 4,87 | 100 |
| | 1,0 | 4,27 | 87,76 |
| | 1,4 | 4,11 | 84,49 |
| | 1,8 | 3,82 | 78,39 |
| | 2,2 | 3,54 | 73,78 |
| | 2,6 | 3,34 | 68,59 |
| | 3,0 | 3,14 | 64,52 |
| | 3,4 | 3,11 | 63,87 |
| MS | 2,0 | 4,98 | 100 |
| | 3,4 | 4,32 | 86,76 |

$$y = 5,1408 e^{-0,16x} \quad (1)$$

$$y = 1,9665 e^{-0,8767x} \quad (2)$$

Opierając się na równaniu funkcji wykładniczej dla mikrobalonów (1) można osiągnąć prędkość detonacji na poziomie 2310 m/s dla 5% udziału mikrobalonów w emulsji. Gęstość takiego materiału wybuchowego obliczona na podstawie zależności (2) powinna oscylować w granicach 0,20 g/cm³.

Impuls nadciśnienia. Pomimo względnie dużego rozrzutu wyników maksymalnego nadciśnienia oraz impulsu fali podmuchowej, w funkcji ilości mikrobalonów, można przybliżyć te zależności funkcjami wielomianowymi.

$$y = -6,6365x^2 + 22,99x + 84,99 \quad (3)$$

$$y = 0,2154x^2 - 0,2012x + 62,644 \quad (4)$$

$$y = -1,4759x^2 + 4,9298x + 35,829 \quad (5)$$

$$y = 0,1209x^2 - 0,6851x + 33,284 \quad (6)$$

Równania (3) oraz (4) dotyczą nadciśnienia w odległości 2 m i 2,5 m od ładunku, natomiast (5) i (6) opisują impuls fali podmuchowej w tych odległościach. Można zauważyć, że wartości wejściowe są zbliżone do wyjściowych, a ich zakresy zamieszczono w Tablicach 3 i 4. Oznacza to, że dodatek mikrobalonów nieznacznie zmienia impuls nadciśnienia.

Tablica 3

Zakres nadciśnień w zależności od odległości czujnika od ładunku

| Odległość czujnika od ładunku m | Minimalne nadciśnienie kPa | Maksymalne nadciśnienie kPa |
|---------------------------------|----------------------------|-----------------------------|
| 2 | 88,29 | 111,72 |
| 2,5 | 61,25 | 69,25 |

Tablica 4

Zakres impulsu nadciśnienia w zależności od odległości czujnika od ładunku

| Odległość czujnika od ładunku m | Minimalny impuls nadciśnienia Pa*s | Maksymalny impuls nadciśnienia Pa*s |
|---------------------------------|------------------------------------|-------------------------------------|
| 2 | 35,18 | 40,96 |
| 2,5 | 28,83 | 36,91 |

Podsumowanie

W ramach realizacji pracy obniżano gęstości matryc MWE i zmierzono prędkość detonacji oraz intensywność powietrznej fali podmuchowej dla różnych ilości masowych środka napowietrzającego. Otrzymane wyniki eksperymentów pokazują spadek prędkości detonacji wraz z redukcją gęstości MWE. Natomiast zmiany nadciśnienia powietrznej fali podmuchowej są niewielkie. A więc również można przyjąć, że zdolność do wykonania pracy testowanych MWE zmienia się w niewielkim zakresie.

Poprzez zmianę gęstości ładunków można modyfikować jego ilość w otworze strzałowym, w zależności od właściwości wytrzymałościowych urabianego górotworu. Pozwala to w szerokim zakresie zmieniać parametry siatki strzałowej, stosując wyjściowo tę samą matrycę MWE, a zmieniając wyłącznie stopień jej napowietrzenia.

Literatura

- pat. USA 3161551, 1964.
- pat. USA 3447978, 1969.
- pat. USA 4111727, 1978.
- Krzelowski J., Szulik A.: *Stosowanie materiałów wybuchowych w zakładach górniczych*. Górnictwo i Geoinżynieria 2004, **28**, 3/1, 161–169.
- Maranda A.: *Nowoczesne materiały wybuchowe w górnictwie odkrywkowym*, Górnictwo Odkrywkowe 2006, **47**, 3–4.
- Maranda A., Gołąbek B., Kasperski J.: *Materiały wybuchowe ekologiczne nowej generacji [w:] Jakość środowiska. Technika i Technologie*. Wyd. Komdruk-Komag, Gliwice 2001, 249–260.
- Maranda A., Cudziło S., Gołąbek B., Kasperski J.: *Work performance of newest generation of explosives as estimated cylinder test*. Proc. 33rd International Annual Conference of ICT, Energetic Materials Synthesis Production and Application, Karlsruhe 25 28.06.2002, P 126.1–10.
- Maranda A., Gołąbek B., Kasperski J.: *Detonation and application characteristics of the latest generation of emulsion explosives*. Proc. V Seminar New Trends in Research of Energetic Materials, Pardubice 24–25.04.2002, 158–163.
- Maranda A., Gołąbek B., Kasperski J.: *Materiały wybuchowe emulsyjne*, Wyd. WNT, Warszawa 2008.
- Maranda A., Buczkowski D., Zygmunt B.: *Materiały wybuchowe trzeciej generacji*. Wyd. WAT, Warszawa 2007, 193–232.
- Maranda A., Gołąbek B., Kasperski J.: *Parametry detonacyjne materiałów wybuchowych emulsyjnych uczulanych przez nagazowanie chemiczne*. Przemysł Chemiczny 2003, **82**, 5, 347–349.
- Trzeciński W., Maranda A.: *Parametry detonacyjne materiałów wybuchowych emulsyjnych zawierających chlorek sodu*. Przegląd Górniczy, 2009, **65**, 1–2, 46–50.
- Maranda A., Paszula J., Nicolczuk K., Wilk Z.: *Materiały wybuchowe emulsyjne zawierające chlorek sodu uczulane mikrobalonami*. Przemysł Chemiczny 2011, **90**, 6, 1254–1259.
- Maranda A.: *Przemysłowe materiały wybuchowe*, Wyd. WAT, Warszawa 2010, 301–365.

Prof. dr hab. inż. Andrzej MARANDA ukończył studia w roku 1971 Wydział Chemiczny Politechniki Warszawskiej. Obecnie pracuje w Wojskowej Akademii Technicznej oraz w Instytucie Przemysłu Organicznego w Warszawie. Zainteresowania naukowe: chemia i technologia materiałów wybuchowych, ochrona środowiska. Jest autorem i współautorem pięciu monografii, 20. patentów oraz ponad 500. publikacji zamieszczonych w czasopismach naukowych oraz prezentowanych na krajowych i zagranicznych konferencjach naukowych.
e-mail: amaranda@wat.edu.pl, tel. 22 683 75 41

Inż. Bartłomiej DROBYSZ ukończył studia I stopnia na Wydziale Nowych Technologii i Chemii Wojskowej Akademii Technicznej - specjalność materiały wybuchowe i pirotechnika. Aktualnie kontynuuje studia II stopnia.

* Dr inż. Józef PASZULA jest absolwentem Wydziału Chemii i Fizyki Technicznej Wojskowej Akademii Technicznej. Doktorat Uzyskał na Wydziale Mechatroniki (2000). Obecnie pracuje na Wydziale Nowych Technologii i Chemii WAT. Jest współautorem ok. 100. prac naukowych (artykułów i referatów konferencyjnych).
e-mail: jpaszula@wat.edu.pl