



BIULETYN WAT
VOL. LV, NR 2, 2006

Rekrystalizacja i badanie parametrów użytkowych FOX-7

WALDEMAR A. TRZCIŃSKI, STANISŁAW CUDZIŁO*,
ZBIGNIEW CHYŁEK*, LESZEK SZYMAŃCZYK

Wojskowa Akademia Techniczna, Wydział Mechatroniki,
*Wydział Inżynierii, Chemii i Fizyki Technicznej,
00-908 Warszawa, ul. S. Kaliskiego 2

Streszczenie. Podjęto próbę optymalizacji metody rekrystalizacji nowego materiału wybuchowego FOX-7 pod kątem uzyskania produktu o obniżonej wrażliwości na bodźce zewnętrzne. Zbadano wrażliwość oraz charakterystyki użytkowe otrzymanego materiału wybuchowego. Wyznaczono m.in. wrażliwość na tarcie i uderzenie, prędkość i ciepło detonacji oraz energię Gurneya.

Słowa kluczowe: materiały wybuchowe, detonacja

Symbole UKD: 662.2

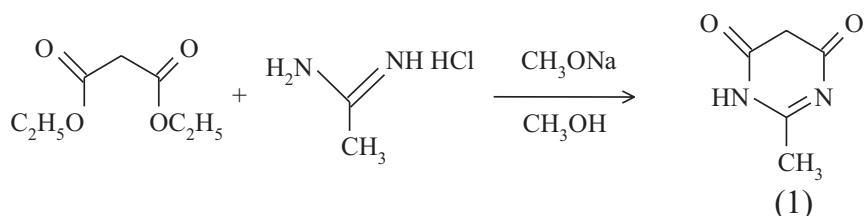
1. Wstęp

1,1-Diamino-2,2-dinitroeten (FOX-7, DADNE) dorównuje heksogenowi pod względem parametrów detonacyjnych, natomiast jego wrażliwość na różne bodźce inicjujące pozwala uznać go za względnie bezpieczny materiał wybuchowy [1]. Unikalne właściwości użytkowe tego związku wynikają z jego struktury, która sprzyja tworzeniu silnych wewnątrz- i międzycząsteczkowych wiązań wodorowych stabilizujących cząsteczki [2]. Po siedmiu latach od pierwszego doniesienia o otrzymaniu FOX-7 [3] jest on wciąż intensywnie badany w wielu ośrodkach na całym świecie. Wyniki dotychczasowych badań jednoznacznie potwierdzają, że FOX-7 to główny kandydat do zastosowań w nowoczesnej, mało wrażliwej amunicji.

W naszych wcześniejszych pracach zajmowaliśmy się optymalizacją procesu syntezy FOX-7, badaniem składu chemicznego i fazowego próbek krystalizowanych z różnych rozpuszczalników oraz ich analizą termiczną [4-6]. Niniejsze opracowanie zawiera wyniki badań nad rekrystalizacją FOX-7 oraz rezultaty pomiarów podstawowych charakterystyk użytkowych tego MW — wrażliwości i parametrów detonacyjnych. Sprawdzono wpływ rodzaju rozpuszczalnika i reżimu czasowo-temperaturowego procesu na kształt i wymiary kryształów. Parametry te oceniano w oparciu o zdjęcia z mikroskopu optycznego i skaningowego mikroskopu elektronowego (SEM). Badania właściwości użytkowych zostały wykonane dla produktu zawierającego kryształy o najbardziej regularnych kształtach. Obejmowały one pomiar wrażliwości na uderzenie i tarcie, pomiar prędkości detonacji, pomiar ciepła detonacji oraz test cylindryczny. Wyniki tego ostatniego wykorzystano do obliczenia energii Gurneya i energii detonacji.

2. Rekrystalizacja FOX-7

FOX-7 otrzymywano w dwuetapowym procesie, którego dokładny opis zawiera praca [4]. Najpierw kondensowano chlorowoderek acetamidyny z malonianem dietylu. Reakcja zachodzi w środowisku metanolu, w obecności metanolanu sodu dając 2-metylopirymidyna-4,6-dion(1) z wydajnością bliską wydajności teoretycznej (rys. 1).

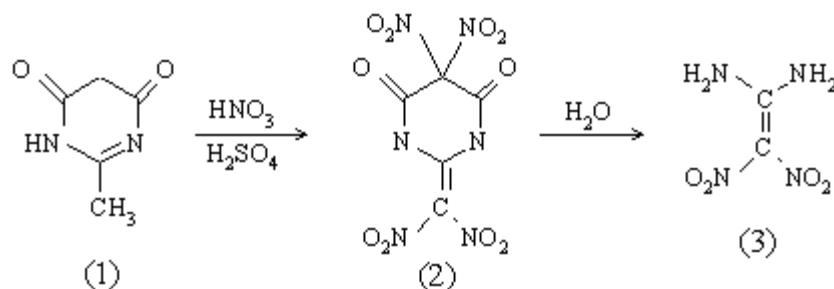


Rys. 1. Synteza 2-metylopirymidyna-4,6-dionu

W następnym etapie surowy produkt kondensacji poddawano nitrowaniu dwumiętym kwasem azotowym w obecności stężonego kwasu siarkowego. FOX-7 wydzielano przez wlanie mieszaniny reakcyjnej do wody z lodem (rys. 2).

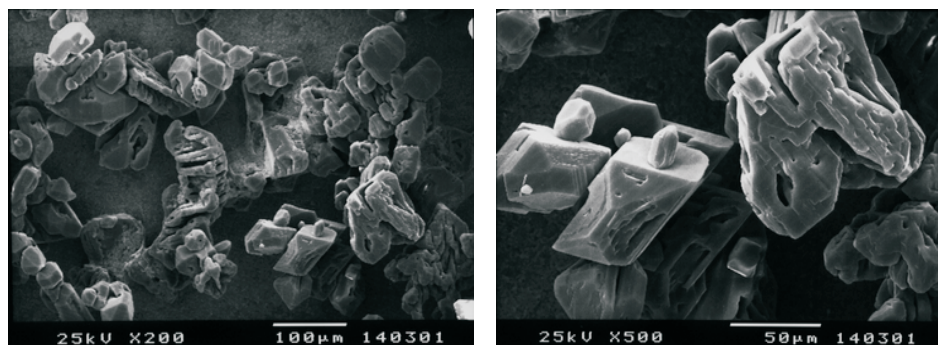
Wstępne oczyszczenie i odkwaszenie produktu polegało na długotrwałym gotowaniu surowego FOX-7 w 0,1% roztworze wodnym NaHCO_3 . Następnym etapem oczyszczania była krystalizacja z różnych rozpuszczalników. Jej celem było nie tylko usunięcie zanieczyszczeń chemicznych, ale również uzyskanie sferoidalnych kryształów o gładkich powierzchniach i rozdrobnieniu z zakresu 10-300 μm .

Krystalizacja z wody. Woda jest słabym rozpuszczalnikiem FOX-7. Silna zależność rozpuszczalności od temperatury umożliwia jednak wydajną rekrystalizację, pomimo konieczności używania dużych ilości tego rozpuszczalnika [5].



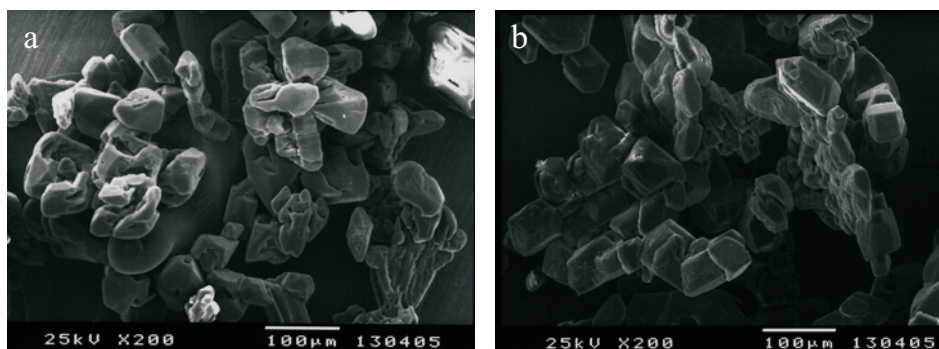
Rys. 2. Synteza FOX-7 z 2-metylopyrimidyna-4,6-dionu (1)

Pierwsze próby rekrystalizacji polegały na sporządzeniu nasyconego roztworu FOX-7 w temperaturze wrzenia wody i następnie na schłodzeniu go do temperatury pokojowej w celu wytrącenia produktu. Uzyskane w tych warunkach kryształy FOX-7 były bardzo drobne, często połączone w łańcuchy (dendryty), nieregularne pod względem kształtu, o porowatej, zdeformowanej powierzchni (rys. 3).

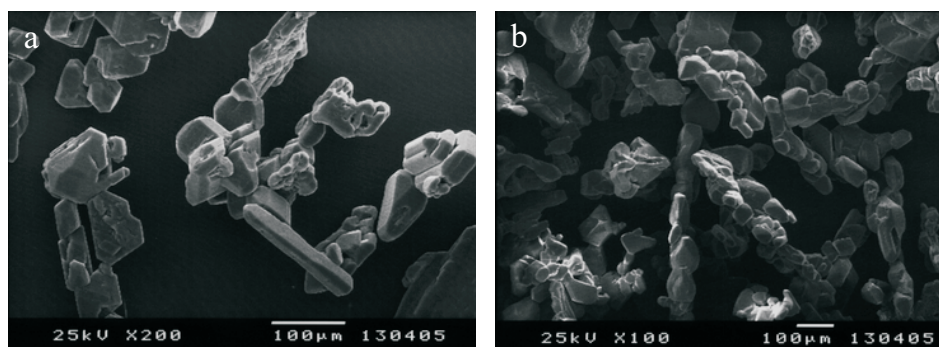


Rys. 3. Zdjęcia SEM FOX-7 krystalizowanego z wody

Podjęto próby ujednorodnienia kształtów i wygładzenia powierzchni kryształów poprzez długotrwałe intensywne mieszanie (ok. 1000 obr./min.) zawiesiny kryształów w niewielkiej ilości rozpuszczalnika (także w podwyższonej temperaturze). Najpierw zastosowano czystą wodę, a następnie roztwór N-metylopirolidonu (NMP) w wodzie o różnym stężeniu. Wybrano NMP, ponieważ jest najlepszym rozpuszczalnikiem FOX-7, a zatem jego wprowadzenie do wody powinno sprzyjać zwiększeniu rozpuszczalności. Używano ok. 50 ml rozpuszczalnika na 50 g FOX-7. Oczekiwano, że mechaniczne oddziaływanie kryształów pomiędzy sobą i ściankami naczyń, połączone z rozpuszczaniem najmniejszych kryształów i ostrych krawędzi większych kryształów, pozwoli uzyskać produkt bardziej jednorodny wymiarowo i kształtowo. Zdjęcia kryształów FOX-7 poddanych operacji mieszania w zawiesinie wodnej lub w roztworze $\text{H}_2\text{O}/\text{NMP} = 75/25$ przedstawiono na rysunkach 4 i 5.



Rys. 4. FOX-7 krystalizowany z wody i następnie intensywnie mieszany w zawieszynie wodnej: (a) w temperaturze 20°C przez 20 godzin, (b) w temperaturze 80°C przez 8 godzin

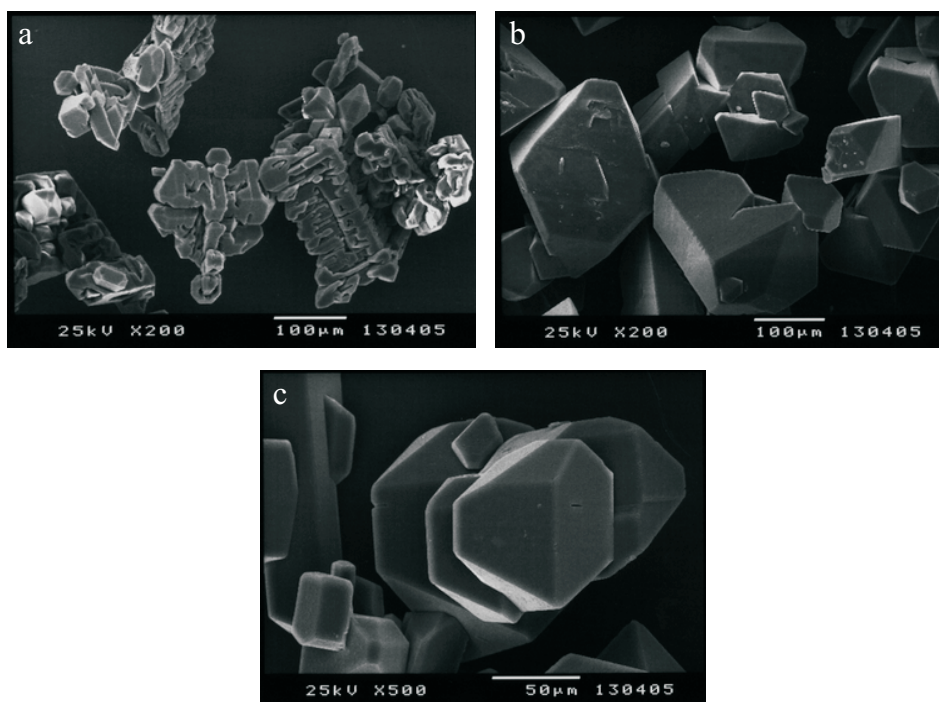


Rys. 5. FOX-7 krystalizowany z wody i następnie intensywnie mieszany w roztworze H₂O/NMP = 75/25 w temperaturze 80°C przez: (a) 8 godzin, (b) 12 godzin

Analiza zdjęć z rysunków 4 i 5 pozwala stwierdzić, że próby modyfikacji rozmiaru i kształtu kryształów FOX-7 na drodze mieszania ich zawiesziny w wodzie lub w roztworze H₂O/NMP zakończyły się fiaskiem. W wielu przypadkach nawet dendrytyczna struktura polikryształów nie została zniszczona.

Krystalizacja z roztworu H₂O/NMP. Kolejnym etapem badań było wykorzystanie roztworu N-metylopirolidonu w wodzie do rekrystalizacji FOX-7. Aby jednocześnie ocenić wpływ szybkości schładzania roztworu na charakterystyki formujących się kryształów, wykonano kilka eksperymentów. W każdym przypadku chłodzenie realizowano przy ciągłym mieszaniu zawiesziny. Przykładowe zdjęcia kryształów uzyskanych w różnych warunkach przedstawiono na rysunku 6.

FOX-7 wykrysztalizowany z szybko chłodzonego roztworu jest drobnokryształiczny i bardzo porowaty. Powierzchnie kryształów są zdeformowane i pokryte głębokimi kawernami. Większe kryształy o gładkich powierzchniach uzyska-



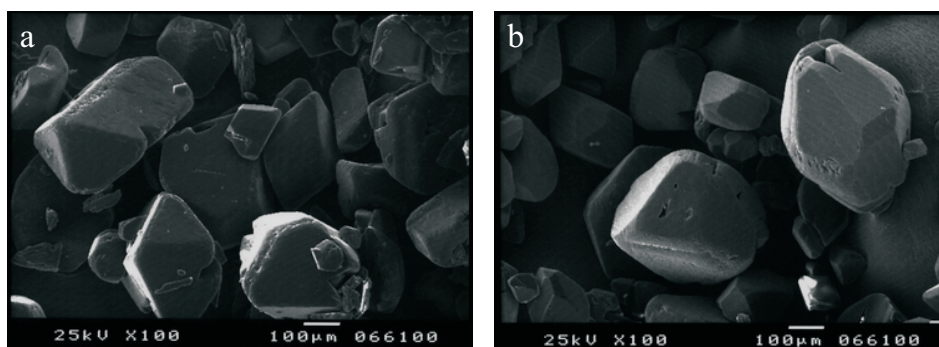
Rys. 6. FOX-7 krystalizowany z roztworu $H_2O/NMP = 75/25$ przy szybkości schładzania równej około: (a) 7,5 K/min; (b) i (c) 0,3 K/min

no, gdy szybkość chłodzenia wynosiła ok. 0,3 K/min. Powolne przesycanie roztworu skutkuje mniejszą liczbą zarodków krystalizacji i zapewnia dostatecznie długi czas ich wzrostu. Kryształy wzrastają w warunkach bliższych warunkom równowagowym (mniejsze gradienty stężeń w sąsiedztwie rosnącego kryształu) i dzięki temu kryształy mają regularne kształty, proste ścianki i ostre krawędzie.

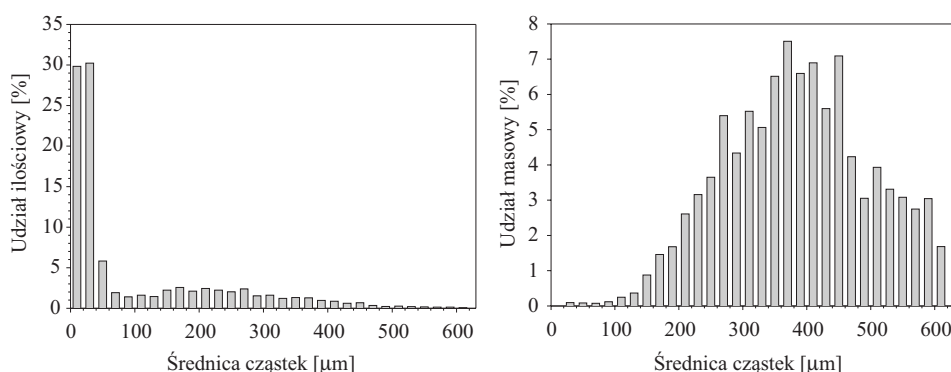
W celu dalszej sferoidyzacji kryształów, próbki FOX-7 rekrystalizowane z $H_2O/NMP = 75/25$ wprowadzano do równowagowej ilości wodnego roztworu NMP o stężeniu 75%. Uzyskaną zawiesinę mieszano z szybkością ok. 1000 obr./min. w ciągu ok. 6,5 godz. Temperatura zawiesiny była równa 25 lub 60°C. Zdjęcia SEM kryształów uzyskanych w tych warunkach przedstawiono na rysunku 7.

Pomimo użycia stężonego roztworu NMP w wodzie i długotrwałego mieszania zawiesiny FOX-7 w tym rozpuszczalniku, kształt kryształów nie uległ zdecydowanej poprawie. Porównując zdjęcia z rysunków 6 i 7, można stwierdzić, że po tej operacji jedynie krawędzie kryształów ulegają pewnemu zaokrągleniu.

Do badań parametrów detonacyjnych, opisanych w dalszej części pracy, wykorzystano produkt otrzymany na drodze krystalizacji z roztworu w $H_2O/NMP = 75/25$, bez dalszych modyfikacji. Na rysunku 8 przedstawiono procento-



Rys. 7. FOX-7 krystalizowany z $H_2O/NMP = 75/25$ i następnie mieszany w $H_2O/NMP = 25/75$, w temperaturze równej 25°C (a) i 60°C (b)



Rys. 8. Procentowy rozkład wielkości cząstek FOX-7 używanego w badaniach parametrów detonacyjnych

wy rozkład wielkości cząstek w próbce FOX-7 pobranej z około kilogramowej porcji uzyskanej w wyniku kilkunastu operacji rekrytalizacji. Średnice cząstek zostały oszacowane przy umownym założeniu, że kryształy są kulami. Największy udział ilościowy (około 65%) mają kryształy o średnicach mniejszych od 50 μm . Zdecydowanie inaczej rozkłada się udział masowy cząstek w badanej próbce. Dominują cząstki o rozmiarach od 250 do 500 μm . Taki rozkład nie zapewnia uzyskania maksymalnej gęstości zaprasowanego FOX-7. W celu zwiększenia gęstości wyprasek należałoby podwyższyć zawartość masową drobnych ziaren do ok. 20% poprzez dodanie produktu rekrytalizacji o wymiarach kryształów do 50 μm .

3. Badania parametrów użytkowych FOX-7

Pomiar wrażliwości na bodźce mechaniczne. Wrażliwość FOX-7 na uderzenie badano za pomocą kafaru Kasta. Zastosowano młot udarowy o masie 5 kg.

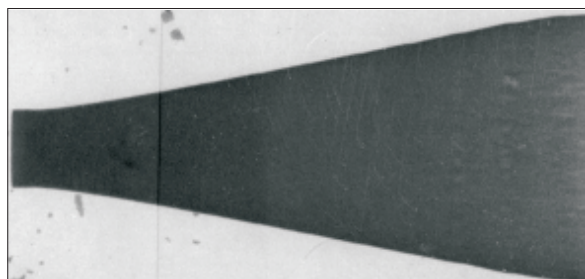
Wyznaczono dolną granicę wybuchowości (DGW), czyli największą wysokość, dla której prawdopodobieństwo reakcji pozytywnej wynosi zero. Pomiaru wrażliwości na uderzenie dokonano zgodnie z normą PN-EN 13631-4. Na danej wysokości wykonywano maksymalnie 10 prób. Uzyskana wartość DGW wynosi 23 cm, co odpowiada energii ok. 11,3 J. Dla porównania, dolna granica wybuchowości wyznaczona w takich samych warunkach dla heksogenu krystalicznego ma wartość 6 cm (2,9 J). DGW dla FOX-7 wyznaczona w pracy [7] wyniosła 15,5 J dla materiału o wielkości kryształów 250-355 μm oraz 12,4 J dla kryształów mniejszych od 70 μm . W pracy [7] stosowano młot udarowy o masie 2 kg.

Przeprowadzono również test według metody „góra-dół” opracowanej w laboratorium Bruceton i opisanej szczegółowo w [8]. Wyznaczono wysokość położenia młota h_{50} , dla której prawdopodobieństwo wybuchu wynosi 50% oraz odchylenie standardowe S . Wykonano 30 prób dla FOX-7 w postaci krystalicznej. Uzyskano następujące wyniki: $h_{50} = 35,2$ cm, $S = 5,7$ cm. Wysokość ta odpowiada energii uderzenia równej 17,3 J. Dla porównania, dla oktogenu krystalicznego otrzymano $h_{50} = 19,5$ cm (9,6 J). W pracach [9-10] wyznaczano h_{50} , stosując młot udarowy o masie 2 kg i również metodykę „góra-dół”. Uzyskano $h_{50} = 126$ cm (24,7 J) dla krystalicznego FOX-7 oraz 159 cm (31,2 J) dla materiału po rekrystalizacji (kryształy o wymiarach 350-500 μm).

Oznaczenia wrażliwości FOX-7 na tarcie dokonano za pomocą aparatu tarcowego Petersa w układzie badawczym zgodnym z normą PN-C-86019. Pomiar rozpoczęto od obciążenia 353 N, czyli od górnej wartości stosowanej podczas badań kruszących materiałów wybuchowych. Dla dziesięciu przeprowadzonych prób uzyskano wynik negatywny (brak jakiegokolwiek reakcji). Można więc uznać, że dolna granica wrażliwości badanego krystalicznego FOX-7 na tarcie jest większa niż 353 N.

Pomiar parametrów detonacyjnych. Prędkość detonacji krystalicznego FOX-7 wyznaczano metodą czujników zwarciovych mierząc czas przejścia fali detonacyjnej przez trzy bazy pomiarowe w ładunku o średnicy 20 mm. Cylindryczne kostki z FOX-7 prasowano do gęstości $\rho_0 = 1780$ kg/m³, co stanowi 94,4% maksymalnej gęstości teoretycznej. Zmierzona prędkość detonacji wyniosła 8325 ± 80 m/s. Teoretyczne wartości prędkości oraz ciśnienia detonacji obliczono za pomocą kodu termodynamicznego CHEETAH [11], wykorzystując dwa zestawy parametrów równania stanu BKW (BKWC oraz BKWR). Niezbędne do obliczeń dane termodynamiczne dla FOX-7 zaczerpnięto z pracy [10]. Uzyskano wartości prędkości detonacji 8453 i 8451 m/s oraz ciśnienia detonacji 29,3 i 31,4 GPa odpowiednio dla zestawu BKWC i BKWR.

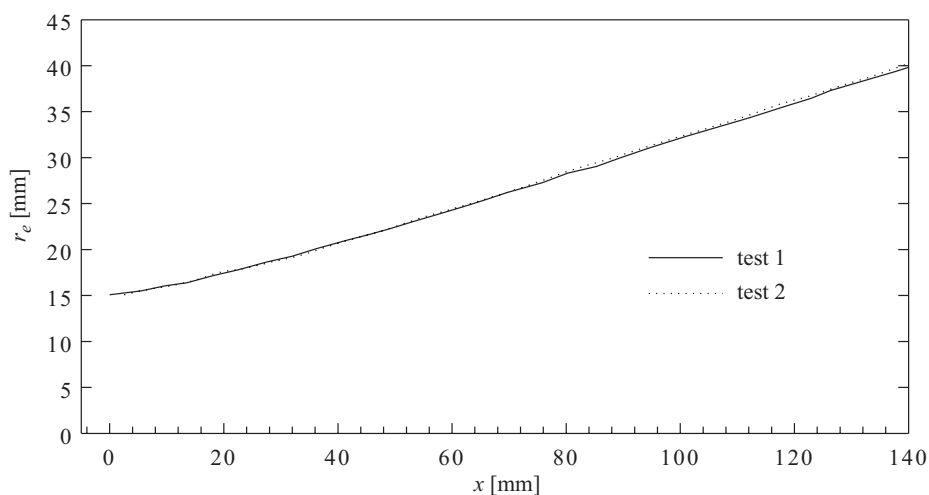
Kalorymetryczne ciepło detonacji FOX-7 wyznaczono, wykorzystując metodykę opisaną w pracy [12]. W bombie kalorymetrycznej o objętości ok. 5 dm³ detonowano ładunki o masie ok. 20 g. Bomba wypełniona była argonem sprężonym wstępnie do ciśnienia ok. 2 MPa. Wykonano trzy pomiary. Ciepło detonacji czystego FOX-7 wyniosło 4860 ± 60 J/g. Dla porównania, energia detonacji



Rys. 9. Zdjęcie rentgenowskie rurki miedzianej napędzanej produktami detonacji FOX-7 (test 1)

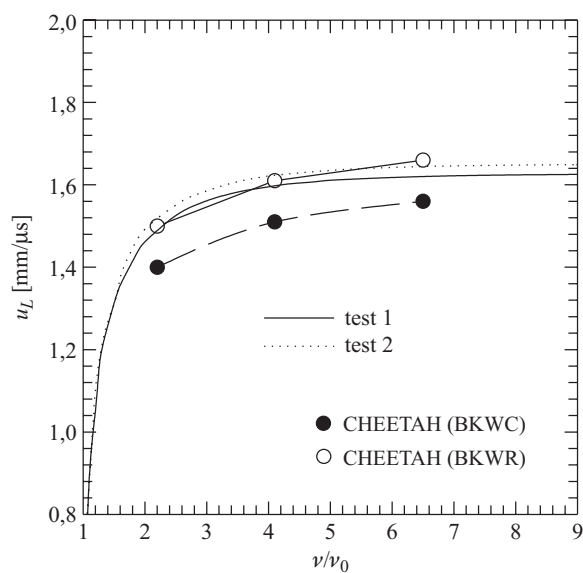
obliczona za pomocą kodu CHEETAH z izentropy rozprężania produktów detonacji wynosi 4774 J/g (zestaw BKWC) lub 4849 J/g (zestaw BKWR).

Do określenia zdolności miotających badanego FOX-7 wykorzystano wyniki testu cylindrycznego. Wykonano dwa testy. Przykładowe zdjęcie rentgenowskie cylindrycznej rurki miedzianej napędzanej produktami detonacji krystalicznego FOX-7 pokazano na rysunku 9. Wyniki rejestracji procesu napędzania w postaci zależności promienia zewnętrznej ścianki rurki od współrzędnej osiowej przedstawiono na rysunku 10.



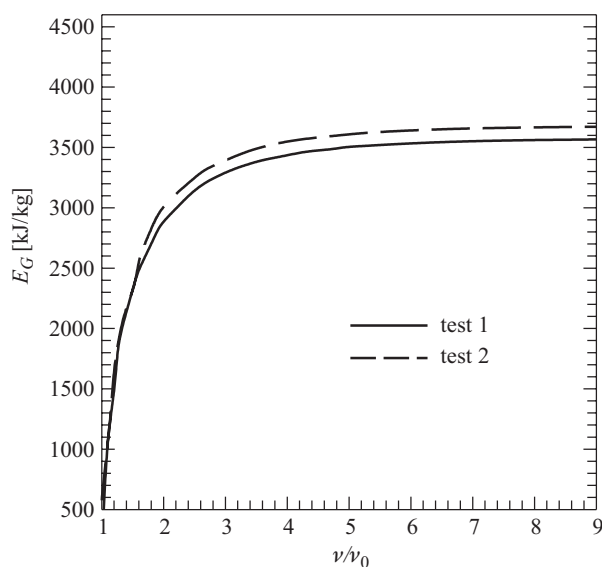
Rys. 10. Zależność położenia zewnętrznej ścianki rurki miedzianej (r_e) od współrzędnej osiowej (x)

Zgodnie z metodyką opisaną szczegółowo w pracy [13], dane z testu cylindrycznego umożliwiły wyznaczenie w pierwszej kolejności zależności prędkości ścianki rurki od objętości względnej produktów detonacji (rys. 11). Na rysunku 11 umieszczono również obliczone za pomocą kodu CHEETAH prędkości ścianki dla trzech wartości objętości względnych.



Rys. 11. Zależność prędkości rurki miedzianej od względnej objętości produktów detonacji FOX-7

Zmianę energii Gurneya wraz z objętością produktów detonacji pokazano na rysunku 12. W tabeli 1 podsumowano wyniki testu cylindrycznego dla FOX-7. Podaną w tabeli energię Gurneya oraz prędkość Gurneya wyznaczono dla $v/v_0 = 9$,



Rys. 12. Zależność energii Gurneya FOX-7 od względnej objętości produktów detonacji

tzn. dla objętości produktów detonacji, dla której zachowana jest jeszcze ciągłość materiału miotanej rurki. Dla porównania w tabeli umieszczono również wyniki testu dla trotylu i flegmatyzowanego heksogenu [14].

TABELA 1

Charakterystyki FOX-7 uzyskane z testu cylindrycznego

Materiał wybuchowy	Gęstość [kg/m ³]	Prędkość detonacji [m/s]	Energia Gurmeya [kJ/kg]	Prędkość Gurmeya [m/s]
FOX-7	1780	8290	3568	2671
		8300	3672	2710
Trotyl	1590	6910	2795	2364
Heksogen flegmatyz. (RDX/(CH ₂) _n 95/5)	1650	8390	3734	2733

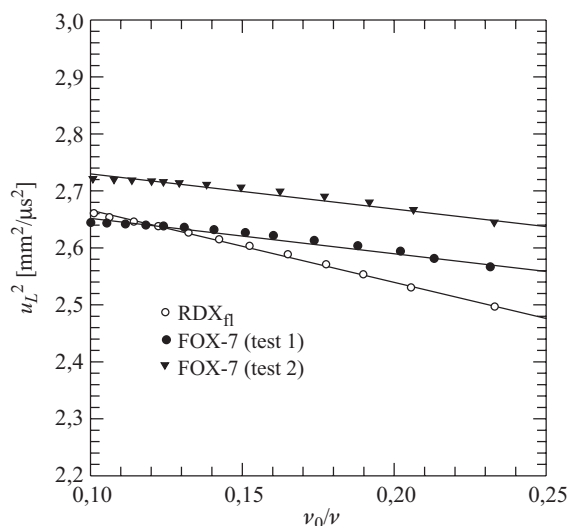
Z porównania danych w tabeli 1 wynika, że prędkość detonacji oraz zdolności miotające produktów detonacji badanego FOX-7 są zbliżone do parametrów heksogenu flegmatyzowanego.

W pracy [15] wykazano, że wyniki testu cylindrycznego umożliwiają również oszacowanie energii detonacji materiału wybuchowego, którą można wyznaczyć ze wzoru:

$$\frac{e_0}{e_0^{\text{wz}}} = \frac{\mu + \frac{1}{2}}{\mu^{\text{wz}} + \frac{1}{2}} \left(\frac{u_L}{u_L^{\text{wz}}} \right)^2, \quad (1)$$

gdzie: u_L oznacza prędkość rurki miedzianej dla względnej objętości produktów detonacji $v/v_0 \cong 10$, e_0 oznacza energię detonacji, zaś μ jest stosunkiem masy rurki do masy materiału wybuchowego. Wskaźnik „wz” identyfikuje parametry materiału wzorcowego. Jako materiał wzorcowy przyjęto heksogen flegmatyzowany z energią detonacji równą 5344 J/g [16].

W pracy [15] pokazano, że kwadrat wyznaczonej z testu cylindrycznego prędkości rurki miedzianej w funkcji odwrotności względnej objętości produktów detonacji można z dobrym przybliżeniem aproksymować funkcją liniową. Na rysunku 13 pokazano taką zależność dla badanych materiałów wybuchowych. Ze wzoru (1) otrzymano następujące wartości energii detonacji dla krystalicznego FOX-7: 4984 J/g (test 1) i 5135 J/g (test 2). Średnia wartość energii detonacji wynosi więc 5060 J/g i jest nieco wyższa od kalorymetrycznego ciepła detonacji. Energię detonacji wykorzystuje się m.in. w procedurze wyznaczania równania stanu produktów detonacji [17].



Rys. 13. Zależność kwadratu prędkości rurki miedzianej od odwrotności względnej objętości produktów detonacji FOX-7 i heksogenu flegmatyzowanego

4. Podsumowanie

W pracy dokonano krystalizacji FOX-7 rozpuszczonego w wodzie oraz w roztworze wody i N-metylopirolidonu (NMP). Zdecydowanie lepszy efekt uzyskano, stosując roztwór H₂O/NMP. Kryształy FOX-7 mają w tym przypadku regularne kształty, proste ścianki i ostre krawędzie. Próba dalszej sferoidyzacji kryształów przyniosła niewielki efekt. Udało się jedynie wygładzić ich krawędzie.

Zbadano wrażliwość FOX-7 na uderzenie i tarcie. Za pomocą kafaru Kasta wyznaczono dolną granicę wybuchowości oraz wysokość spadku młota, dla której prawdopodobieństwo wybuchu wynosi 50%. Wyniki badania wrażliwości wskazują jednoznacznie, że uzyskany FOX-7 można zaliczyć do materiałów wybuchowych o obniżonej wrażliwości na bodźce mechaniczne.

Wyznaczono prędkość detonacji nowego materiału wybuchowego, kalorymetryczne ciepło detonacji, zdolności miotające (energię Gurneya) oraz energię detonacji. Wartości wymienionych charakterystyk użytkowych FOX-7 są zbliżone do parametrów heksogenu flegmatyzowanego woskiem. Fakt ten oraz niska wrażliwość FOX-7 sugerują, że może on być zamiennikiem stosunkowo wrażliwego heksogenu. Potwierdzenie powyższej tezy wymaga jednak dalszych badań wrażliwości nowego materiału na różne bodźce, na przykład na falę uderzeniową i przebiecie pociskiem.

Podziękowania

Autorzy pragną podziękować dr inż. Józefowi Paszuli za wykonanie pomiarów ciepła detonacji oraz dr inż. Andrzejowi Dębskiemu za wykonanie zdjęć mikroskopowych oraz określenie rozkładu granulometrycznego FOX-7.

Badania wykonano przy wsparciu finansowym Ministerstwa Nauki i Informatyzacji w ramach projektu badawczego nr 0 T00C 01528 realizowanego w latach 2005-2007.

Artykuł wpłynął do redakcji 16.11.2005 r. Zweryfikowaną wersję po recenzji otrzymano w grudniu 2005 r.

LITERATURA

- [1] S. CUDZIŁO, W. KICIŃSKI, *Właściwości i otrzymywanie DADNE*, Biul. WAT, 53, 2004, 2-3.
- [2] U. BEMM, H. OSTMARK, *1,1-Diamino-2,2-dinitroethylene — a novel energetic material with infinite layers in two dimensions*, Acta Cryst., C54, 1998, pp. 1997-1998.
- [3] N. LATYPOV, J. BERGMAN, A. LANGLET, U. WELLMAR, U. BEMM, *Synthesis and reactions of 1,1-diamino-2,2-dinitroethylene*, Tetrahedron 54, 1998, pp. 11525-11536.
- [4] Z. CHYLEK, S. CUDZIŁO, J. BŁĄDEK, S. PIETRZYK, *Optymalizacja syntezy 1,1-diamino-2,2-dinitroetenu*, Biul. WAT, 54, 2005, 5-6
- [5] S. CUDZIŁO, Z. CHYLEK, R. DIDUSZKO, *Krystalizacja i analiza 1,1-diamino-2,2-dinitroetenu (DADNE)*, Biul. WAT, 54, 2005, 5-6.
- [6] S. CUDZIŁO, Z. CHYLEK, R. DIDUSZKO, *Crystallization and characterization of 1,1-diamino-2,2-dinitroethane (DADNE)*, 36th International Annual Conference of ICT & 32nd International Pyrotechnics Seminar, Karlsruhe 2005.
- [7] S. KARLSSON, et al., *Detonation and sensitivity properties of Fox-7 and formulations containing FOX-7*, 12th International Symposium on Detonation, San Diego 2002.
- [8] *Energetic materials testing and assessment policy committee, Manual of tests*, 2005.
- [9] B. JANZON, et al., *FOX-7 — a novel, high performance, low vulnerability high explosive for warhead applications*, 20th International Symposium on ballistics, Orlando 2002.
- [10] H. OSTMARK, et al., *FOX-7 — a new explosive with low sensitivity and high performance*, 11th International Symposium on Detonation, Snow Mass 1998.
- [11] L. E. FRIED, *CHEETAH 1.39 — User's manual*, LLNL, 1996.
- [12] J. PASZULA, W. A. TRZCIŃSKI, R. TRĘBIŃSKI, *Badanie charakterystyk energetycznych amonowosaletranych mieszanin wybuchowych*, II Międzynarodowa Konferencja Naukowa IPOEX 2005, Ustroń Jaszowiec 2005.
- [13] W. A. TRZCIŃSKI, *Application of a cylinder test for determining energetic characteristics of explosives*, Journal of Technical Physics, 42, 2, 2001, 165-179.
- [14] S. CUDZIŁO i in., *Wojskowe materiały wybuchowe*, Częstochowa 2000.
- [15] W. A. TRZCIŃSKI, R. TRĘBIŃSKI, *Metody pomiaru ciepła detonacji materiałów wybuchowych*, II Międzynarodowa Konferencja Naukowa IPOEX 2005, Ustroń Jaszowiec 2005.
- [16] S. CUDZIŁO, R. TRĘBIŃSKI, W. A. TRZCIŃSKI, P. WOLAŃSKI, *Porównanie efektów cieplnych spalania i detonacji materiałów wybuchowych w bombie kalorymetrycznej wypełnionej gazem obojętnym lub powietrzem*, Biul. WAT, 47, 1998, 11.
- [17] R. TRĘBIŃSKI, W. A. TRZCIŃSKI, *Determination of an expansion isentrope for detonation products of condensed explosives*, Journal of Technical Physics, 40, 1999, 4.

W. A. TRZCIŃSKI, S. CUDZIŁO, Z. CHYŁEK, L. SZYMAŃCZYK

Recrystallization and studies of utilization parameters of FOX-7 explosive

Abstract. An attempt has been undertaken to optimize the recrystallization method of the new FOX-7 explosive in order to obtain a product of lowered sensitivity at the external stimulus's. The sensitivity and the utilizing characteristics of the obtained explosive have been investigated. Among others the sensitivity on friction and striking, velocity and detonation heat as well as the Gurney energy have been determined.

Keywords: explosives, detonation

Universal Decimal Classification: 662.2

