



Topliwe mieszaniny wybuchowe z trinitrotoluenem i dinitroanizolem — porównanie właściwości

STANISŁAW CUDZIŁO, WALDEMAR A. TRZCIŃSKI,
SŁAWOMIR DYJAK, MARCIN NITA

Wojskowa Akademia Techniczna, Wydział Nowych Technologii i Chemii,
00-908 Warszawa, ul. S. Kaliskiego 2, scudzilo@wat.edu.pl, wtrzcinski@wat.edu.pl

Streszczenie. Porównano wrażliwość na bodźce mechaniczne i termiczne oraz wyznaczono niektóre parametry detonacyjne 2,4-dinitroanizolu (DNAN) i 2,4,6-trinitrotolenu (TNT). Przygotowano kompozycje zawierające DNAN lub TNT w roli składników topliwych oraz 3-nitro-1,2,4-triazol-5-on (NTO) i heksogen (RDX). Przeprowadzono porównawczą analizę właściwości użytkowych tych kompozycji.

Słowa kluczowe: kompozycje topliwe, TNT, DNAN, wrażliwość, parametry detonacyjne

1. Wstęp

Topliwe kruszące materiały wybuchowe (MW) są powszechnie używane w amunicji o dużych kalibrach ze względu na nieskomplikowany proces elaboracji i jednocześnie możliwość łatwego ich odzyskania z amunicji wycofywanej z uzbrojenia. Ponadto materiały tego typu są względnie tanie i charakteryzują się dobrymi parametrami detonacyjnymi. Składnikami topliwymi w stosowanych obecnie kompozycjach jest 2,4,6-trinitrotoluen (TNT, trotyl) lub 2,4-dinitroanizol (DNAN) [1].

Trotyl jest używany np. w mieszaninach oznaczanych symbolami XF[®] oraz XP[®], które opracowano w ostatnich latach we Francji. Materiały te mogą zawierać 3-nitro-1,2,4-triazol-5-on (NTO), heksogen (RDX) lub oktogen (HMX) w celu poprawy parametrów detonacyjnych. Ponadto dodawany jest sproszkowany glin, jeżeli konieczne jest zwiększenie efektu burzącego wybuchu. Kompozycja XF[®]13333 (zawierająca ok. 31% TNT, 48% NTO, 7,5% wosku i 13,5% Al) jest już produkowana

na masową skalę i używana między innymi w 155 mm pociskach artyleryjskich LU211 będących na uzbrojeniu armii francuskiej. Amunicja ta uzyskała NATO-wską sygnaturę niewrażliwości [2-5].

W Stanach Zjednoczonych opracowano i wprowadzono do użytku grupę topliwych materiałów wybuchowych z DNAN. W ich składach występują ponadto NTO, nitroguanidyna (NQ), chloran(VII) amonu (AP), RDX lub HMX i proszek glinowy w różnych zestawieniach i zawartościach. Przykładem takiej kompozycji, złożonej z DNAN, NTO i NQ, jest IMX-101. Została ona wytypowana jako mało wrażliwy zamiennik TNT w produkowanych obecnie pociskach artyleryjskich kalibru 105, 120 i 155 mm. Z kolei kompozycja IMX-104 zawiera DNAN, NTO i RDX i jest proponowana w miejsce mieszanin TNT/RDX używanych powszechnie w amunicji moździerzowej. Jej aluminizowana wersja, OSX-12, charakteryzuje się zwiększonym działaniem podmuchowym. Wielokrotnie potwierdzono, że topliwe materiały wybuchowe na bazie DNAN łagodzą reakcje amunicji na przypadkowe bodźce inicjujące we wszystkich typach testów sprawdzających poziom jej niewrażliwości [6-12].

DNAN jest więc mniej wrażliwym zamiennikiem TNT. Ponadto rozpuszczalność RDX w ciekłym DNAN jest kilkukrotnie większa niż w trotylu. To sprawia, że lepkość zawiesin krystalicznego RDX w DNAN jest mniejsza niż w przypadku odpowiednich zawiesin w stopionym TNT. W rezultacie łatwiej jest uzyskać lejne kompozycje z DNAN, nawet wtedy gdy udział składników nietopliwych jest stosunkowo duży. Z drugiej strony DNAN ma mniejszą gęstość, gorszy bilans tlenowy i niższe parametry detonacyjne od trotylu. Jest też mniej dostępny i droższy [13].

W ramach niniejszej pracy dokonano wieloparametrycznego porównania właściwości TNT i DNAN, istotnych z punktu widzenia zastosowania ich jako topliwych składników materiałów wybuchowych. Wykonano także porównawcze badania kompozycji zawierających 40% DNAN lub TNT, 20% RDX i 40% NTO.

2. Charakterystyka DNAN i TNT

2.1. Metodyka badań

Wszystkie analizy termiczne wykonano na aparacie LabSys-TG/DTA-DSC firmy SETARAM. Próbkę o masie ok. 5 mg umieszczano w otwartym aluminiowym naczyniu i ogrzewano z szybkością $5^{\circ}\text{C}/\text{min}$. Atmosferę pieca stanowił azot przepływający z natężeniem 50 ml/min. Wrażliwość na tarcie zbadano za pomocą aparatu tarcowego Petersa. Pomiar został przeprowadzony zgodnie z polską normą PN-EN 13631-3 (2004). Wrażliwość na uderzenie wyznaczono, stosując kafar Kasta. Używano odważnika o masie 5 kg, a pomiar wykonano według procedury zalecanej w normie PN-EN 13631-4 (2004).

Rejestracje procesu napędzania cylindrycznych otoczek produktami detonacji badanych materiałów wybuchowych (test cylindryczny) wykonano za pomocą rentgenografu impulsowego firmy SCANDIFLASH. Ładunki były umieszczone w rurach miedzianych o średnicy ok. 25 mm i długości ok. 250 mm. Grubość ścianki rury wynosiła ok. 2,5 mm. Zdjęcie detonującego ładunku wykonywano w chwili, gdy front fali detonacyjnej był w odległości ok. 5 mm od końca ładunku. Ciśnienie detonacji p_{CJ} wyznaczono metodą pośrednią poprzez pomiar głębokości krateru h powstałego w płycie stalowej w wyniku zdetonowania na niej ładunku materiału wybuchowego o średnicy ok. 40 mm i wysokości ok. 200 mm. Wykorzystywano wcześniej wyznaczoną zależność pomiędzy p_{CJ} [GPa] i h [mm] w postaci

$$p_{CJ} = 3,2455h + 0,4274. \quad (1)$$

Zależność (1) wyznaczono w pracy [14], gdzie do kalibracji stosowanych w badaniach płyt ze stali St 52-3 o twardości HB30 ok. 190 wykorzystano sześć kruszących materiałów wybuchowych. Maksymalne odchylenie między wartościami ciśnienia detonacji zmierzonymi dla tych materiałów innymi metodami (test wodny, czujniki piezorezystancyjne) a ciśnieniami określonymi ze wzoru (1) nie przekraczało 7%, zaś odchylenie standardowe było mniejsze niż 5%. Zdjęcie stanowiska pomiarowego przedstawiono na rysunku 1.

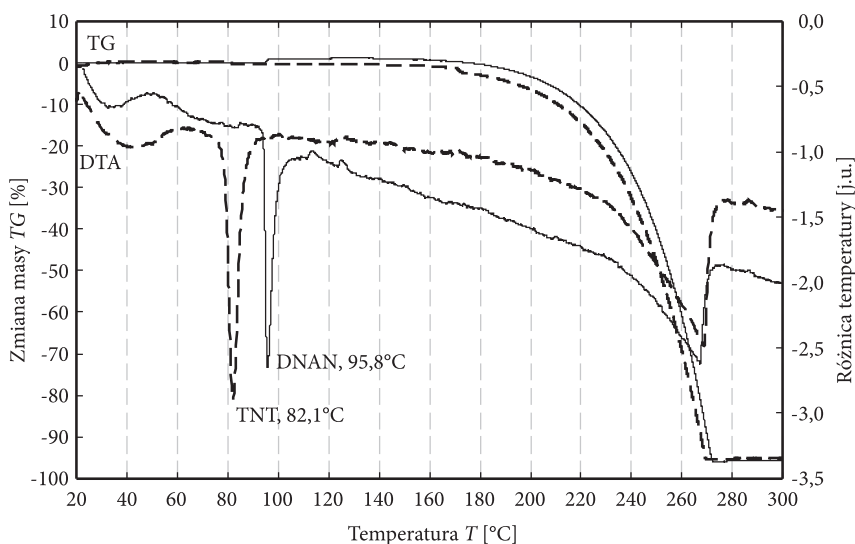


Rys. 1. Zdjęcie układu służącego do pośredniego pomiaru ciśnienia detonacji — badany ładunek ustawiony na stosie stalowych płyt

Podczas testów, których celem było wyznaczenie zdolności miotających oraz ciśnienia detonacji, mierzono także prędkość detonacji. Do tego celu wykorzystywano elektroniczny miernik czasu, którego włączenie i wyłączenie następowało w chwili przzerwania przez falę detonacyjną czujników wykonanych z drutu miedzianego o grubości 50 μm . Długości baz pomiarowych wynosiły od ok. 50 do 100 mm. Względny błąd pomiaru prędkości detonacji nie przekraczał 2%.

2.2. Analiza termiczna

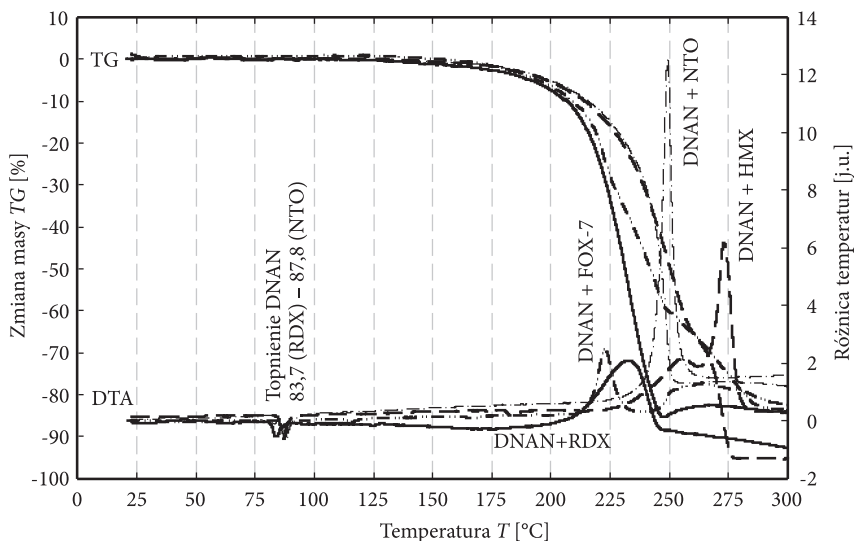
Wyniki analizy termicznej metodami termogravimetrii (TG) i różnicowej analizy termicznej (DTA) próbek DNAN i TNT przedstawiono na rysunku 2. Podczas ogrzewania w otwartych naczynkach z szybkością $5^\circ\text{C}/\text{min}$, TNT topi się w temperaturze ok. 82°C , a DNAN w ok. 96°C . W warunkach pomiaru obydwie związki nie ulegają rozkładowi, lecz całkowicie odparowują przed osiągnięciem 270°C .



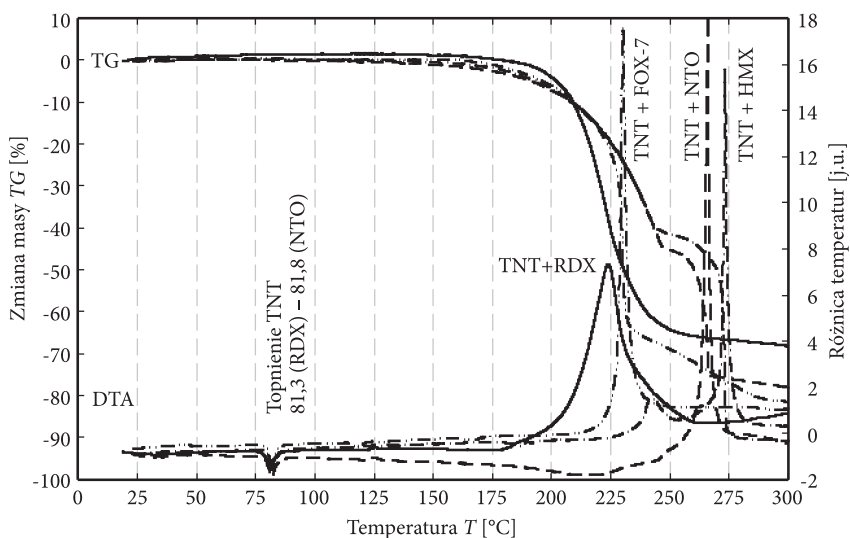
Rys. 2. Termogramy TG/DTA DNAN i TNT

Termogramy TG/DTA równowagowych mieszanin DNAN lub TNT z NTO, FOX-7, RDX i HMX przedstawiano na rysunkach 3 i 4. Każdy z wymienionych dodatków obniża temperaturę topnienia DNAN, a najbardziej RDX, ponieważ stosunkowo dobrze rozpuszcza się w stopionym DNAN [13, 15]. DNAN ma istotny wpływ na przebieg termicznego rozkładu RDX i HMX. Na krzywej DTA mieszaniny DNAN/RDX nie występuje endotermiczny pik związany z topnieniem heksogenu, gdyż proces dekompozycji rozpoczyna się już w około 180°C . Rozkład

mieszanin zawierających HMX i DNAN rozpoczyna się w temperaturze ok. 225°C, czyli o niemal 50°C niższej niż w przypadku czystego oktogenu.



Rys. 3. Termogramy TG/DTA mieszanin DNAN z NTO, FOX-7, RDX i HMX



Rys. 4. Termogramy TG/DTA mieszanin TNT z NTO, FOX-7, RDX i HMX

Mieszania DNAN/FOX-7 ulega rozkładowi w dwóch etapach, podobnie jak czysty FOX-7 [16]. Szybkość rozkładu prowadząca do akumulowania ciepła w próbce jest osiągnięta powyżej 200°C. Mieszanina DNAN/NTO rozkłada się z największą

szybkością temperaturze ok. 250°C, czyli o ok. 20°C niższej od tej rejestrowanej podczas termolizy czystego NTO [17].

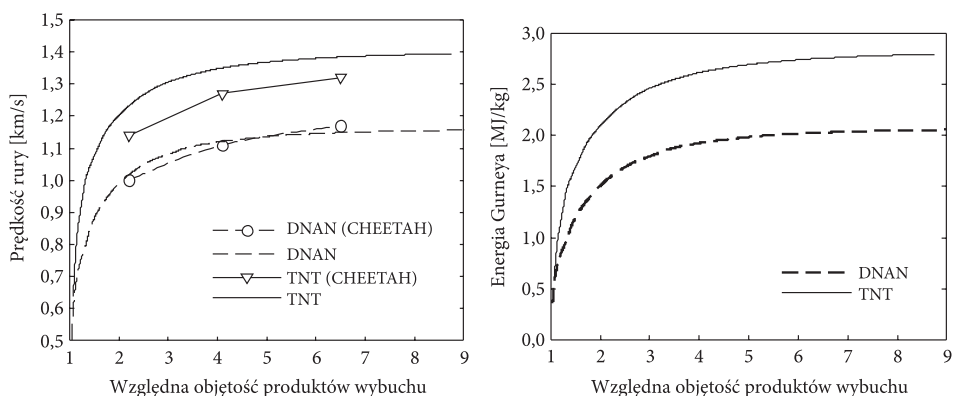
Egzotermiczny efekt procesu rozkładu mieszanin TNT z FOX-7 i HMX jest widoczny dopiero powyżej 200°C. Dekompozycja tych MW zachodzi w dwóch wyraźnie rozdzielanych etapach. Każdy z nich związany jest z wydzieleniem ciepła. Tylko w przypadku mieszaniny TNT/NTO początkowy ubytek masy ma charakter endotermiczny. Oznacza to, że ciekły trotyl nie obniża temperatury rozkładu NTO, a jedynie odparowuje. Skutkuje to zmniejszeniem masy próbki i jednocześnie obniżeniem jej temperatury.

Mieszanina RDX/TNT charakteryzuje się najmniejszą stabilnością termiczną. Egzotermiczne reakcje rozkładu rozpoczynają się już w temperaturze ok. 180°C.

2.3. Właściwości wybuchowe DNAN i TNT

Badania wrażliwości wykazały, że DNAN jest niewrażliwy na uderzenie i tarcie (powyżej 200 J, 360 N), natomiast wrażliwość trotylu na uderzenie wynosi ok. 16 J. DNAN wyraźnie ustępuje trotylowi pod względem parametrów detonacyjnych. Zaprasowany do gęstości ok. 1,52 g/cm³ detonuje w ładunkach o średnicy 25 mm, umieszczonych w rurze miedzianej z prędkością 5960±50 m/s. W tych samych warunkach prędkość detonacji ładunku prasowanego TNT o gęstości 1,59 g/cm³ wynosi 6910±50 m/s.

Zdolność miotającą DNAN i TNT wyznaczono, wykorzystując wyniki testu cylindrycznego, tzn. eksperymentalny profil zewnętrznej ścianki rury miedzianej miotanej produktami detonacji i zmierzoną podczas testu prędkość detonacji. Szczegółową procedurę określania zdolności miotającej przedstawiono w pracy [18]. Wyznaczone tą metodą zależności prędkości otoczki i energii Gurneya od względnej



Rys. 5. Prędkość rury miedzianej i energia Gurneya DNAN i TNT w funkcji względnej objętości produktów detonacji

objętości produktów wybuchu przedstawiono na rysunku 5. Umieszczono na nim także prędkości ścianki rury przy trzech różnych wartościach objętości względnej, obliczone za pomocą kodu CHEETAH. W obliczeniach wykorzystywano równanie stanu BKW z zestawem parametrów BKWC [19].

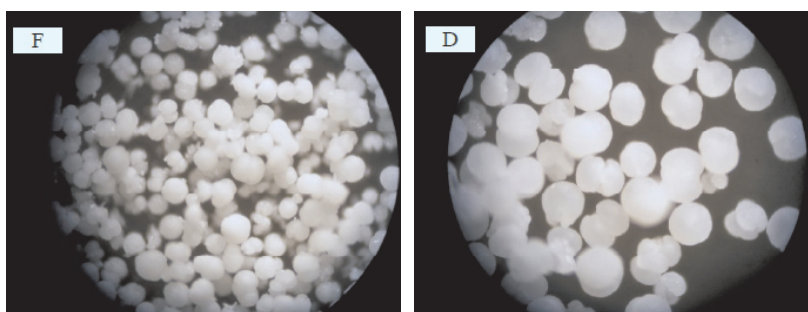
Zarówno obliczone jak i eksperymentalne prędkości otoczki napędzanej produktami detonacji trotylu są większe niż w przypadku DNAN. Różnica wartości maksymalnych wynosi ok. 250 m/s.

Energia Gurneya TNT i DNAN w końcowych etapach procesu napędzania otoczki osiąga odpowiednio ok. 2800 i 2060 J/g, a zatem zdolność miotająca DNAN jest o ok. 25% mniejsza od TNT.

3. Charakterystyka mieszanin DNAN/RDX/NTO i TNT/RDX/NTO

3.1. Otrzymywanie mieszanin

Do badań porównawczych wytypowano topliwe mieszaniny zawierające 40% DNAN lub TNT, 20% RDX i 40% NTO. Wytwarzano je, wprowadzając (przy ciągłym mieszanii) krystaliczny NTO i RDX do stopionego TNT lub DNAN. Wszystkie składniki były wcześniej ogrzane do ok. 95°C. Używano handlowego RDX (w stanie dostawy), natomiast NTO poddawano rekryształacji, której celem było uzyskanie jak największej ilości sferoidalnych cząstek o średnicach z przedziału 125-160 μm i 250-300 μm . Zdjęcia tych frakcji cząstek NTO przedstawiono na rysunku 6.

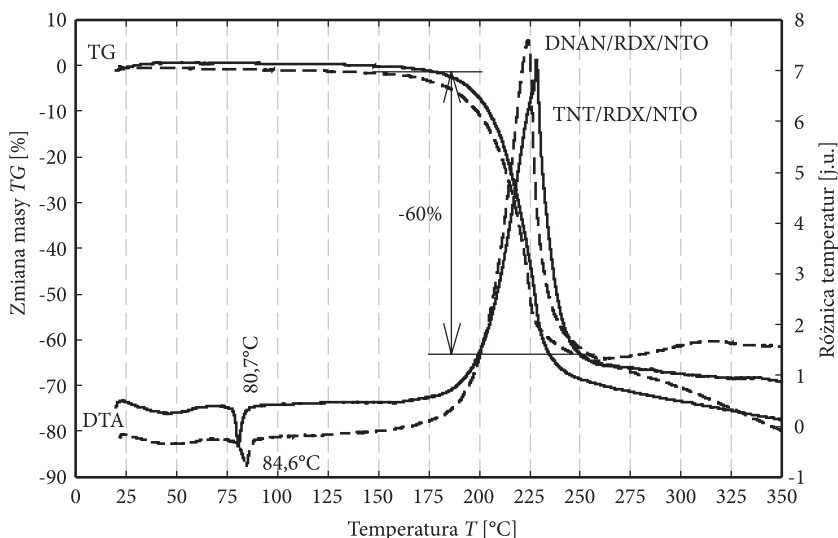


Rys. 6. Zdjęcia krystalitów NTO używanych do przygotowania badanych MW

Do sporządzania badanych kompozycji używano mieszaniny cząstek NTO o wymiarach z przedziałów 125-160 i 250-300 μm , w stosunku masowym 50/50. Uzyskiwano wówczas zawiesiny o lepkości gwarantującej leżność w temperaturze odlewania i jednocześnie uniemożliwiającej szybką sedymentację kryształów RDX i NTO.

3.2. Analiza termiczna

Właściwości termiczne obydwu porównywanych kompozycji są prawie takie same (rys. 7). DNAN i TNT w obecności RDX i NTO topią się tuż powyżej 80°C i ulegają rozkładowi połączonemu z akumulowaniem ciepła w próbce po przekroczeniu 180°C, a zatem zachowany jest margines bezpieczeństwa wymagany przy pracy ze stopionymi materiałami wybuchowymi, tzn. przynajmniej 100°C różnicy pomiędzy temperaturą topnienia i temperaturą krytyczną.



Rys. 7. Termogramy TG/DTA mieszanin DNAN/RDX/NTTO i TNT/RDX/NTTO

Termiczny rozkład mieszanin DNAN/RDX/NTTO i TNT/RDX/NTTO przebiega niemal identycznie. W obydwu przypadkach jest to proces dwuetapowy, przy czym ubytek masy w pierwszym etapie wynosi ok. 60%. Może to oznaczać, że w warunkach pomiaru najpierw rozkłada się DNAN lub TNT i RDX (składniki te stanowią 60% mieszaniny), a następnie NTO.

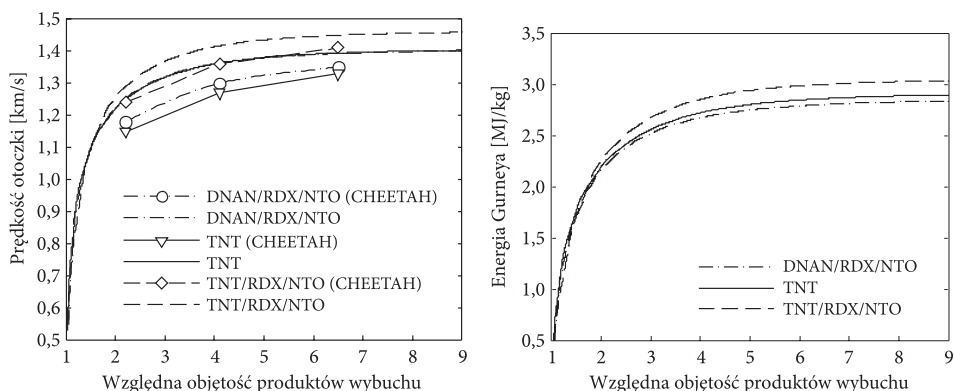
3.3. Parametry detonacyjne mieszanin TNT/RDX/NTTO i DNAN/RDX/NTTO

Wrażliwość na uderzenie kompozycji DNAN/RDX/NTTO i TNT/RDX/NTTO wynosi odpowiednio 25 i 14 J. W porównawczych badaniach stwierdzono, że wrażliwość czystego NTO jest równa 15 J.

Ładunki potrzebne do wykonania testu cylindrycznego przygotowano metodą odlewania. Stopione kompozycje wlewano bezpośrednio do ogrzanych miedzianych

zur używanych w teście (patrz pkt 2.1). Po zestaleniu, średnia gęstość odlewów DNAN/RDX/NTO wynosiła około $1,64 \text{ g/cm}^3$. Mieszaniny z TNT miały nieco wyższą gęstość, ok. $1,66 \text{ g/cm}^3$. W tych warunkach porównywane MW detonowały, odpowiednio, z prędkościami 7040 i 7410 m/s. Wykonano także ładunek z czystego TNT. Jego gęstość wynosiła ok. $1,60 \text{ g/cm}^3$, a prędkość detonacji 6730 m/s.

Doświadczalne i obliczone (kodem CHEETAH) charakterystyki miotania metalowych otoczek produktami detonacji mieszanin z DNAN lub TNT i czystego TNT przedstawiono na rysunku 8.



Rys. 8. Zależność prędkości otoczki i energii Gurneya od względnej objętości produktów detonacji

Kompozycja TNT/RDX/NTO charakteryzuje się największą zdolnością miotającą, jednak biorąc pod uwagę gęstość tego ładunku i prędkość detonacji, energia Gurneya jest zaskakująco mała, zwłaszcza w porównaniu z wartością wyznaczoną dla czystego TNT. Mieszanina zawierająca DNAN daje w tym teście jeszcze gorsze wyniki. Nieoczekiwanie mała prędkość otoczki i energii Gurneya kompozycji zawierających NTO może być rezultatem relatywnie wysokiej wartości wykładnika izentropii produktów detonacji tego związku [20].

Wyniki pomiarów i obliczeń prędkości D i ciśnienia detonacji p_{CJ} zestawiono w tabeli 1. Właściwości kruszące badanych MW są dobrze skorelowane z gęstością ładunków i prędkością detonacji. Zgodnie z oczekiwaniami, najwyższe ciśnienie panuje w fali detonacyjnej kompozycji TNT/RDX/NTO, natomiast najniższe zmierzono w przypadku odlewanej ładunku TNT. Obliczone prędkości detonacji są zgodne z wartościami doświadczalnymi, z kolei zmierzone ciśnienia detonacji są o 5-10% większe od obliczonych.

TABELA 1

Ciśnienie i prędkość detonacji badanych kompozycji wybuchowych

Materiał wybuchowy	Gęstość [g/cm ³]	Wynik pomiaru D [m/s]	Wartość obliczona D [m/s]	h [mm]	p_{CJ} [GPa]	Wartość obliczona p_{CJ} [GPa]
TNT/RDX/NTD	1,66	7500±100	7453	7,00	23,1	22,18
DNAN/RDX/NTD	1,64	7200±200	7143	6,64	22,0	19,92
Odlewany TNT	1,60	6700±200	6705	5,65	18,9	17,91

4. Wnioski

Zarówno TNT jak i DNAN obniżają temperaturę rozkładu RDX, ale szybki rozkład skutkujący akumulacją ciepła w próbce zachodzi dopiero powyżej 180°C, czyli w temperaturze wyższej o ok. 100°C od temperatury topnienia kompozycji. Analizy termiczne wskazują także na potencjalną niezgodność kontaktową heksoгену z TNT i DNAN, jednak szybki rozkład tych mieszanin rozpoczyna się dopiero w ok. 225°C. Zarówno TNT jak i DNAN są kompatybilne z NTO.

Prasowane ładunki czystego DNAN o średnicy 25 mm i gęstości 1,52 g/cm³, umieszczone w rurze miedzianej, detonują z prędkością 5960±50 m/s. Zdolność miotająca (energia Gurneya) DNAN jest o około 25% niższa niż trotylu zaprasowanego do gęstości 1,59 g/cm³. DNAN jest materiałem wybuchowym niewrażliwym na bodźce mechaniczne, natomiast wrażliwość trotylu na uderzenie wynosi ok. 16 J.

Opracowano proste kompozycje na bazie TNT i DNAN zawierające 60% składników nietopiących się. W temperaturze ok. 95°C mieszaniny te mają właściwą lepkość, tzn. mogą być z łatwością mieszane i odlewane, a przy tym składniki stałe nie ulegają sedymentacji. Charakteryzują się rozsądną wrażliwością na uderzenie (14-25 J) i ulegają egzotermicznej dekompozycji powyżej 180°C. Ładunek DNAN/RDX/NTD odlany w typowych warunkach ma gęstość ok. 1,64 g/cm³ i detonuje z prędkością 7040 m/s (ładunek o średnicy 25 mm umieszczony w miedzianej rurze) lub 7200 m/s (nieosłonięty ładunek o średnicy 40 mm). Ciśnienie detonacji wynosi ok. 22 GPa, a energia Gurneya ok. 2,9 MJ/kg. Parametry detonacyjne mieszanin TNT/RDX/NTD są lepsze — gęstość: ok. 1,66 g/cm³, prędkość detonacji: 7400-7500 m/s, energia Gurneya ok. 3,1 MJ/kg, ciśnienie detonacji: ok. 23,1 GPa.

Praca naukowa finansowana ze środków Narodowego Centrum Badań i Rozwoju jako grant O R00 0018 09.

Artykuł wpłynął do redakcji 11.04.2012 r. Zweryfikowaną wersję po recenzji otrzymano w maju 2012 r.

LITERATURA

- [1] P. RAVI, D.M. BADGUJAR, G.M. GORE, S.P. TEWARI, A.K. SIKDER, *Review on Melt Cast Explosives, Propellants, Explosives, Pyrotechnics*, 36, 2011, 393-403.
- [2] A. WECKERLE, C. COULOUARN, *A step further for the XF[®] explosive family dedicated to insensitive munitions (IM)*, 2010 Insensitive Munitions & Energetic Materials Technology Symposium, Munich, Germany, October 11-14, 2010.
- [3] C. COULOUARN, R. BOULANGER, D. BOUCHAUD, *XP[®]: A cost effective approach for medium calibre Insensitive Munitions (IM)*, 2010 Insensitive Munitions & Energetic Materials Technology Symposium, Munich, Germany, October 11-14, 2010.
- [4] R. AUMASSON, *Insensitive Munitions[®] using Fusible and Pressable Explosives*, WAT — NEXTER-NitroChem Conference, Warsaw, 15.03.2011.
- [5] C. SPYCKERELLE, C. SONGY, G. ECK, *IM Melt Cast Compositions based on NTO*, 2010 Insensitive Munitions & Energetic Materials Technology Symposium, Munich, Germany, October 11-14, 2010.
- [6] J. RUTKOWSKI, R. CIRINCIONE, C. PATEL, *Common Low-cost Insensitive Munitions Explosive Program to Replace TNT and Comp B*, 2010 Insensitive Munitions & Energetic Materials Technology Symposium, Munich, Germany, 11-14 October, 2010.
- [7] W.B. HUMMERS, *The Insensitive TNT Replacement Explosive IMX-101 and IMX-104 Qualification*, 2010 Insensitive Munitions & Energetic Materials Technology Symposium, Munich, Germany, 11-14 October, 2010.
- [8] V. FUNG, *Development and Manufacture of an Insensitive Composition B Replacement Explosive IMX-104 for Mortar Applications*, 2010 Insensitive Munitions & Energetic Materials Technology Symposium, Munich, Germany, 11-14 October, 2010.
- [9] V. FUNG, D. PRICE, E. LECCLAIRE, J. MORRIS, N. TUCKER, A. CARRILLO, *Further Development and Optimization of IM Ingredients at Holston Army Ammunition Plant*, 2010 Insensitive Munitions & Energetic Materials Technology Symposium, Munich, Germany, October 11-14, 2010.
- [10] K.E. LEE, W.A. BALAS-HUMMERS, A.R. DI STASIO, C.H. PATEL, J. SAMUELS, *Qualification Testing of the Insensitive TNT Replacement Explosive IMX-101*, 2010 Insensitive Munitions & Energetic Materials Technology Symposium, Munich, Germany, October 11-14, 2010.
- [11] P. PELLETIER, D. LAVINGNE, I. LAROCHE, F. CANTIN, L. PHILLIPS, V. FUNG, *Additional Properties Studies of DNAN Based Melt-pour Explosive Formulations*, 2010 Insensitive Munitions & Energetic Materials Technology Symposium, Munich, Germany, October 11-14, 2010.
- [12] D. ZALOGA, K. PATEL, B. TRAVERS, P. SAMUELS, A. DI STASIO, S. SINGH, *Initiation Trials of IMX-104 in 81mm Mortars*, 2010 Insensitive Munitions & Energetic Materials Technology Symposium, Munich, Germany, October 11-14, 2010.
- [13] P.J. DAVIES, A. PROVATAS, *Characterization of 2,4-Dinitroanisole: An Ingredient for Use in Low Sensitivity Melt Cast Formulations*, Defense Science and Technology Organization, Edinburgh South Australia 5111, DSTO-TR-1904, Australia, 2006.
- [14] D. BARTOŁOWICZ, *Zastosowanie testu płyty stalowej do pomiaru ciśnienia detonacji materiałów wybuchowych*, praca dyplomowa, kierownik pracy W.A. Trzciński, WAT, Warszawa 2012.
- [15] A. PROVATAS, C. WALL, *Thermal Testing of 2,4-Dinitroanisole as a TNT Replacement for Melt-Cast Explosives*, 42nd International Annual Conference of ICT, Karlsruhe, Germany, 24 June-01 July, 2011.

- [16] W.A. TRZCIŃSKI, S. CUDZIŁO, Z. CHYLEK, L. SZYMAŃCZYK, *Investigation of Sensitivity and Detonation Properties of FOX-7*, 37th International Annual Conference of ICT, Karlsruhe, Germany, 27-30 June, 2006.
- [17] A. BECUWE, A. DELCLOS, *Low-sensitivity Explosive Compounds for Low Vulnerability Warheads*, Propellants, Explosives, Pyrotechnics, 18(1), 1993.
- [18] W.A. TRZCINSKI, *Application of a Cylinder Test for Determining Energetic Characteristics of Explosives*, Journal of Technical Physics, 42(2), 165, 2001.
- [19] L.E. FRIED, *CHEETAH 1.39 — User's Manual*, Manuscript UCRL-MA-117541 Rev.3, Lawrence Livermore National Laboratory, 1996.
- [20] S. CUDZIŁO, W.A. TRZCIŃSKI, *A Study on Detonation Characteristics of Pressed NTO*, Journal of Energetic Materials, 19(1), 2001, 1-21.

S. CUDZIŁO, W.A. TRZCIŃSKI, S. DYJAK, M. NITA

**Melt-pour explosives with trinitrotoluene and dinitroanisole
— a comparison of properties**

Abstract. Some sensitivity and performance characteristics for pure 2,4-dinitroanisole (DNAN) and 2,4,6-trinitrotoluene (TNT) as well as for melt-pour composites containing DNAN or TNT with hexogen (RDX) and 3-nitro-1,2,4-triazole-5-one (NTO) were determined (under the same conditions) and compared.

Keywords: melt-pour composites; 2,4-dinitroanisole; TNT, sensitivity, performance