

MATERIAŁY ZAPALAJĄCE STOSOWANE W UKŁADACH ZAPŁONOWYCH WSPÓŁCZESNEJ AMUNICJI ARTYLERYJSKIEJ

Streszczenie: W artykule przedstawiono przegląd materiałów zapalających stosowanych w układach zapłonowych ładunków miotających artyleryjskiej amunicji artyleryjskiej. Zasygnalizowano także główne uwarunkowania, które wpływają na efektywność zapalania stosowanych mieszanin zapalających.

THE IGNITION MATERIALS USED IN IGNITERS FOR MODERN ARTILLERY AMMUNITION

Abstract: The article consists description of ignition materials used in igniters for propellant charges of artillery ammunition. There is also mentioned the main problems which influenced on ignition effectiveness for most popular mixture.

1. Wstęp

Współczesne działa artyleryjskie a szczególnie armaty czołgowe charakteryzują się, z uwagi na konieczność nadania pociskom dużych prędkości początkowych w celu osiągnięcia zwiększonych donośności (artyleria polowa) lub zwiększonych zdolności przebicia pancerza (armaty czołgowe), wysokim ciśnieniem w przewodzie lufy, dużą gęstością ładowania (stosunek masy ładunku miotającego do objętości komory ładunkowej) i coraz częściej stosowaniem nowych rodzajów wysokoenergetycznych a jednocześnie mniej wrażliwych materiałów miotających (tzw. LOVA). Mniejsza wrażliwość materiałów miotających na oddziaływanie czynników zewnętrznych powoduje jednak, że stają się one także trudniejsze do zapalenia. W pracy [1] omówiono budowę różnych typów układów zapłonowych stosowanych w artyleryjskiej amunicji czołgowej. Podkreślono, że „w celu zapewnienia prawidłowego funkcjonowania ładunku w szerokim przedziale temperatury otoczenia należy zapewnić warunki prawidłowego zapłonu materiału miotającego to znaczy jednoczesnego zapalenia się ładunku prochowego w całej objętości komory nabojoyej. Równomierny proces palenia się ładunku miotającego zmniejsza ryzyko pojawienia się fal ciśnienia w komorze nabojoyej i w przewodzie lufy. Zjawisko to jest oceniane na podstawie pomiarów ciśnienia gazów prochowych w pobliżu zamka p_z i w rejonie dna pocisku p_p . Jeżeli rejestrowane w pewnej chwili ciśnienie p_z jest mniejsze od p_p , może to świadczyć o niekorzystnym funkcjonowaniu ładunku miotającego”. Podstawowe tezy i wnioski odnośnie wymagań stawianych układom zapłonowym amunicji czołgowej dotyczą także szerszego spektrum amunicji artyleryjskiej.

W niniejszym opracowaniu omówione zostaną materiały stosowane w układach zapłonowych amunicji artyleryjskiej. Właściwości ich mają bowiem również istotny wpływ na funkcjonowanie układu zapłonowego.

Materiały zapłonowe można podzielić na:

- materiały inicjujące zapłon;
- materiały zapalające ładunek miotający.

2. Materiały inicjujące zapłon

Materiały inicjujące stosowane są do wyrobu spłonek nakłuciowych (działają od nakłucia iglicą) oraz elektrycznych (działają od przepływu prądu elektrycznego).

W nabojach broni małokalibrowej płomień spłonki zwykle wystarcza do zapalenia ładunku miotającego, natomiast w nabojach artyleryjskich spłonka jest pierwszym ogniwem łańcucha ogniowego pobudzając materiał zapalający zapłonnik, następnie płomień przenoszony jest na podsypkę i ładunek miotający.

Do tradycyjnych materiałów inicjujących należą (w nawiasach podano nazwy angielskie):

- piorunian rtęci (merkury fulminate) – $\text{Hg}(\text{ON})_2$,
- siarczek antymonu (antimony sulfide) – Sb_2S_3 ,
- azydek ołowiu (lead azide) – $\text{Pb}(\text{N}_3)_2$,
- trójnitrorezorcynian ołowiu (lead styphnate – TNRO) – $\text{C}_6\text{H}(\text{O}_2\text{Pb})(\text{NO}_2)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$,
- tetrazen (tetrazanecarboxamidine) – $\text{C}_2\text{H}_6\text{N}_{10}$.

W praktycznych zastosowaniach nie używa się czystych materiałów inicjujących lecz mieszaniny z innymi składnikami. L. Heger [2] podaje, że na przykład piorunian rtęci jest zbyt kruszący i daje słaby płomień, azydek ołowiu jest jeszcze bardziej kruszący i daje jeszcze słabszy płomień, trójnitrorezorcynian ołowiu jest mało wrażliwy na uderzenie i nakłucie, tetrazen daje zbyt słaby płomień.

Pierwszymi mieszaninami inicjującymi zapłon zastosowanymi w spłonekach były mieszaniny piorunianu rtęci, chloranu potasu i siarczku antymonu z dodatkiem lepszca i niekiedy mielonego szkła [3]. Piorunian rtęci nadaje masie odpowiednią wrażliwość na uderzenie, chloran potasu podczas spalania uwalnia wolny tlen, który utlenia siarczek antymonu do ciekłego, w temperaturze wybuchu, tlenku antymonu [2]. Siarczek antymonu zwiększa także wrażliwość masy na uderzenie. Tą samą rolę spełnia mielone szkło. Produkty spalania mas opartych na piorunianie rtęci powodują przyspieszoną korozję luf (do niedawna nie zwracano uwagi na ich wpływ na środowisko). W stosowanych współcześnie mieszaninach piorunian rtęci zastępuje się trójnitrorezorcynianem ołowiu z domieszką tetrazenu, a jako utleniacza używa się azotanu baru.

Skład przykładowych mieszanin inicjujących podano poniżej [2,3]:

1. Piorunian rtęci 15%, chloran potasu 37%, siarczek antymonu 29%, szkło mielone 7%;
2. Trójnitrorezorcynian ołowiu 35%, tetrazen 1-2%, azotan baru 50%, stop krzemu, żelaza, wapnia i magnezu 13-14%.

3. Materiały zapalające ładunek miotający

Zainicjowanie strzału odbywa się przez zadziałanie zapłonnik, który przekazuje płomień na dalsze elementy układu zapłonowego np. podsypki prochowej lub wprost do ładunku miotającego. Od płomienia spłonki, zawierającej mieszaninę inicjującą, zapala się główna mieszanina zapalająca znajdująca się w zapłonniku. Gazy zapłonnik i rozpalone cząstki produktów spalania przedostają się do komory z ładunkiem prochowym i pod działaniem wysokiej temperatury i ciśnienia ($p_z = 2 - 5 \text{ MPa}$) zapalają ładunek miotający. Zastosowanie podsypki z mieszaniną zapalającą, jest konieczne wtedy, gdy impuls pochodzący z zapłonnik jest nie wystarczający do szybkiego zapalenia całego ładunku. Ma to miejsce w przypadku tzw. zapłonników krótkich. W przypadku zapłonników długich, zawierających dużą ilość materiału zapalającego, podsypek nie stosuje się.

Poniżej omówione zostaną najczęściej stosowane materiały zapalające stosowane we współczesnej amunicji artyleryjskiej.

Proch czarny

Proch czarny wynaleziony został w Chinach, prawdopodobnie na wiele stuleci przed naszą erą. Początkowo używany był do wytwarzania rac, ogni sztucznych i wzniesienia pożarów. W Europie zastosowano go jako materiał miotający w broni palnej w czasach średniowiecza. Skład prochu używanego w XIV wieku był następujący: 67 cz. saletry; 16,5 cz. węgla drzewnego; 16,5 cz. siarki. Współcześnie najczęściej stosowany jest proch czarny o składzie: 75% saletry potasowej KNO_3 ; 15% węgla drzewnego; 10% siarki.

Rozróżnia się prochy stosowane do celów wojskowych, górniczych, myśliwskich itd. Często też używa się nazw tradycyjnych np. proch armatni, karabinowy, myśliwski, normalny, lontowy, zapalnikowy mimo, że zazwyczaj nazwy te nie odpowiadają współczesnemu zastosowaniu. W układach zapłonowych amunicji artyleryjskiej używa się prochu ziarnistego, karabinowego nr 1 i nr 2. Niekiedy proch czarny prasowany jest w postaci pastylek lub krótkich cylinderek (z jednym centralnym kanałkiem).

W zależności od producenta (lub kraju) proch o praktycznie zbliżonych charakterystykach i wymiarach nosi różne nazwy i oznaczenia. Dotyczy to zwłaszcza uzbrojenia starszych wzorów. Jako przykład można podać fakt, że proch czarny nr 1 używany w marynarce USA odpowiadał pod względem wymiarów prochowi nr 3 używanemu w wojskach lądowych USA. Ogólnie jednak obowiązuje zasada, że proch o niższym numerze (ang. Class) ma ziarna grubsze od prochu o numerze większym. Podobnie skład prochu może różnić w pewnym zakresie od podanego wyżej.

W przeszłości podejmowano próby stosowania prochu czarnego bez siarki. W Wielkiej Brytanii oraz w ZSRR produkowano proch zawierający 80% KNO_3 i 20% węgla drzewnego. Był on stosowany jako materiał zapłonowy w amunicji artyleryjskiej. Brak siarki powodował zmniejszenie korozji luf, lecz wpływał niekorzystnie na inne parametry. Siarka bowiem wpływa na zwiększenie objętości gazów wydzielających się przy wybuchu, obniża temperaturę początku rozkładu prochu, zwiększa wrażliwość mieszanin na uderzenie oraz przeciwdziała powstawaniu tlenku węgla w produktach wybuchu [2]. Powstawanie trującego tlenku węgla może być niebezpieczne dla obsługi dział montowanych w wozach bojowych i innych zamkniętych pomieszczeniach. Z tego względu obecnie używa się raczej prochu o typowym składzie. Na przykład norma amerykańska MIL-P-223B podaje następującą zawartość procentową poszczególnych składników: KNO_3 – 74 ± 1 ; siarka – $10,4 \pm 1$; węgiel drzewny – $15,6 \pm 1$. Właściwości prochu w dużym stopniu zależą od zawartości wilgoci (jest bardzo higroskopijny). MIL—P-223B dopuszcza zawartość wilgoci max. 0,7% (polskie normy 1%). Podstawową wadą prochu czarnego jest trudność uzyskania podczas procesu produkcji powtarzalności charakterystyk balistycznych, które zależą w dużym stopniu od rodzaju użytego węgla drzewnego i temperatury zwęglania drewna. Węgiel drzewny otrzymywany z drewna lekkiego, porowatego łatwiej się zapala niż otrzymywany z drewna ciężkiego np. dębu. Temperatura zwęglania drewna ma wpływ na temperaturę zapłonu otrzymywanego produktu i zawartość czystego węgla. Produkt o zabarwieniu brunatnym, wytwarzany w niższej temperaturze, ma niską temperaturę zapłonu ($340-360^\circ\text{C}$) i niższą zawartość węgla (ok. 74%). Natomiast produkt o kolorze czarnym, silniej wypalony, ma temperaturę zapłonu wyższą (do 800°C) oraz zawartość węgla do ok. 90%. Jednocześnie jest mniej higroskopijny i bardziej energetyczny. Także wytrzymałość mechaniczna ziaren prochu ma duży wpływ na uzyskiwane ciśnienia podczas procesu zapłonu (pokruszenie się ziaren może powodować powstanie piku ciśnienia i szybki jego spadek w początkowym okresie zapalania ładunku miotającego i nieregularne jego spalanie).

Mimo tych wad proch czarny jest nadal powszechnie używany w ładunkach artyleryjskich i jest wzorcowym materiałem w pracach nad poszukiwaniem nowych mieszanin zapalających.

Benite

Benite używany jest podobnie jak proch czarny do zapalania ładunków miotających zwłaszcza w nabojach scalonych do dział większych kalibrów (np. 105 i 120 mm armat czołgowych). Wypełnia się nim długie zapłoniki przeznaczone do centralnego zapłonu ładunków wykonanych z prochów ziarnistych.

Benite jest mieszaniną prochu nitrocelulozowego i prochu czarnego z dodatkiem lepiszcza. Produkowany jest w postaci wstążek, pręcików i pastylek. Typowy skład mieszaniny stosowanej w amunicji amerykańskiej jest następujący: NC – 39,8%; KNO₃ – 44,08; S – 6,27%; C – 9,35%; EC(lepiszcze) – 0,5%.

Podstawowe charakterystyki balistyczne *Benite* są następujące: siła $f = 550$ kJ/g; temperatura spalania $T = 2520$ K; kowolumen $\alpha = 0,863$ g/cm³. Dla porównania odpowiednie dane dla prochu czarnego wynoszą: $f = 290$ kJ/g; $T = 2165$ K; $\alpha = 0,797$ g/cm³.

Benite trudniej się zapala niż proch czarny, lecz ponieważ ma lepsze własności energetyczne wytwarza wyższe ciśnienie w fazie zapłonu ładunku miotającego. Zwykle wymagana ilość *Benite* do zapalenia tej samej ilości ładunku jest dwukrotnie mniejsza niż prochu czarnego.

Materiały zastępujące proch czarny i benite

W ostatnich latach podejmowano szereg prób zastępowania klasycznych materiałów zapalających innymi substancjami. Celem tych prac było wyeliminowanie głównych wad prochu czarnego i w pewnym stopniu *Benite* (zawierającego proch czarny) i uzyskanie produktów, które charakteryzowałyby się odpowiednimi zdolnościami zapalającymi materiał miotający oraz większą odpornością na wilgoć, zmniejszonym oddziaływaniem korozyjnym na metalowe elementy zapłoników i wewnątrz przewodu lufy, bezpieczniejszym procesem produkcyjnym, łatwiejszym magazynowaniem i mniejszą toksycznością gazów powybuchowych. Drugim nie mniej ważnym celem było poszukiwanie materiałów odpowiednich do zapalania prochów typu LOVA, które zapalają się znacznie trudniej niż prochy nitrocelulozowe i nitroglicerynowe.

W Stanach Zjednoczonych Ameryki pod koniec ubiegłego wieku prowadzono badania nowych mieszanin mających zastąpić dotychczas stosowane materiały zapalające. Jako zamienniki *Benite* wytypowano mieszaniny o składzie podanym w poniższej tabeli:

Oznaczenie	Składniki	Skład procentowy
6779	NC/NG/KClO ₄ /C/EC	55/35/8/1/1
6828	NC/NG/KClO ₄ /C/EC	26/17/57/0/1
6856	NC/KNO ₃ /NG/C/S/EC	35/36/15/8/5/1
M9+5% Al	NC/NG/Al./KNO ₃ /EC	55/38/5/1,3/0,7

Jak można zauważyć mieszaniny, za wyjątkiem 6856, praktycznie nie zawierają węgla i siarki. Jako składnika utleniającego użyto w dwóch pierwszych nadchloranu potasu, a w pozostałych azotanu potasu (jak w prochu czarnym). Wszystkie rozpatrywane mieszaniny, w porównaniu do *Benite*, wytwarzają cząsteczki o wyższej temperaturze, dają wyższą temperaturę płomienia, większą zawartość utleniaczy i większą ilość gazowych produktów spalania.

Badania wyżej wymienionych mieszanin prowadzono w Ballistic Research Laboratory Aberdeen pod kątem zastosowania ich w układach zapłonowych amunicji do 105 mm armat czołgowych [4]. W rezultacie tych prac stwierdzono, że nowe materiały powodują szybszy, w stosunku do *Benite*, przyrost ciśnienia oraz skrócenie czasu zapłonu. Efekt ten był największy dla mieszaniny 6826 i kolejno 6779, M9+Al., 6856. Jednocześnie zaobserwowano niekorzystne zjawisko gwałtownego wzrostu ciśnienia w przedniej części komory naboju (przy dnie pocisku). Zjawisko to nie występowało w przypadku *benite*. W związku z powyższym, na tym etapie prac nie rekomendowano zastąpienia dotychczas stosowanego w zapłonnikach *Benite* nowymi mieszaninami.

W tym samym czasie, w związku z wprowadzaniem nowego prochu (NACO – Navy's insensitive low erosion propellant) w amunicji do dział okrętowych, na zlecenie Gun Systems Engineering Naval Ordnance Station prowadzono w Applied Combustion Technology Inc.–Orlando, badania efektywności zapłonu ładunków miotających wykonanych z prochu NACO przy użyciu wybranych materiałów zapalających.[5].

Zlecniodawca wytypował do badań:

- proch czarny BP,
- mieszaninę $BKNO_3$ (o składzie boron (B) - 23,7%; saletra potasowa (KNO_3) – 70,7% ; lepiszcze 5,6%O,
- proch nitrocelulozowy NC.

Badania prowadzono porównawczo, a wzorcem był proch czarny jako typowy materiał aktualnie stosowany w zapłonnikach dział okrętowych. W rezultacie analiz teoretycznych jak i przeprowadzonych badań eksperymentalnych na specjalnie do tego celu zbudowanym stanowisku uszeregowano rozpatrywane materiały pod względem ich względnej efektywności zapalającej ładunek miotający:

1. Mieszanina $BKNO_3$;
2. Proch czarny BP;
3. Proch nitrocelulozowy.

Badania wykazały, że na zdolności zapłonowe w największym stopniu wpływa zawartość, w produktach spalania materiału zapłonika, frakcji stałych i ciekłych. Natomiast kaloryczność materiału ma mniejsze znaczenie. Z tego względu proch nitrocelulozowy mimo, że daje przy takiej samej naważce wyższe ciśnienie słabiej zapala główny ładunek miotający niż $BKNO_3$ lub proch czarny.

Oprócz wyżej omówionych materiałów rozważane jest zastosowanie jako substancji zapalającej mieszaniny pod nazwą MTV o składzie: magnez 54%, teflon 30%, viton 16% (viton – elastomer fluorowęglowy) [6]. Produkty spalania MTV dzięki zawartości magnezu zawierają dużo frakcji stałych.

4. Podsumowanie

Przedstawiona powyżej charakterystyka klasycznych materiałów zapalających używanych w ładunkach miotających amunicji artyleryjskiej ukierunkowana była na przyczyny poszukiwania ich nowych zamienników o pożądanych właściwościach.

Wyniki prowadzonych w wielu ośrodkach prac badawczych wskazują, że trudno jest wytypować jeden uniwersalny produkt, który mógłby zastąpić proch czarny lub *benite* we wszystkich rodzajach amunicji.

Wydaje się, że najbardziej prawdopodobnym jest zastosowanie w przyszłościowych układach zapalających, mieszanin opartych na saletrze potasowej (KNO_3) z domieszkami boru (B) lub innych składników o podobnych właściwościach na przykład cyrkonu (Zr) lub magnezu (Mg).

Literatura

- [1] Z. Pankowski, *Układy zapłonowe artyleryjskiej amunicji czołgowej*, Problemy Techniki Uzbrojenia, Nr 1/2010,
- [2] L. Heger, *Elaboracja amunicji*, Warszawa 1955,
- [3] T. Urbański, *Chemia i technologia materiałów wybuchowych*, Warszawa 1954,
- [4] L. M. Chang, J. Rocchio, *Simulator Diagnostic of The Early Phase Ignition Phenomena in 105 mm Tank Gun Chamber*, BRL Aberdeen 1988,
- [5] J. Martino, M. Varney, *An Exploratory Investigation of the Influence of Igniter Chemistry on Ignition in Porous Bed Gun Propellants*, Gun Systems Engineering Naval Ordnance Station, Indian Head 1981,
- [6] L. Stiefel, *Gun Propulsion Technology*, New Jersey 1988,
- [7] P. L. Langsjoen, *Development of an Improved Ignition Train for the 120mm Tank Ammunition Primer*, NDIA 39 Conference Baltimore 2004,
- [8] E. Rozumov, D. Park, T. Manning, I. O'Reilly, J. Laquidara, E. Caravaca, D. Thompson, *High Performance BKNO₃ Igniter Formulations*, NDIA , Dallas 2010.