

BADANIA ZA POMOCĄ KAMERY VIS PROCESU SPALANIA OPÓŹNIACZY PIOROTECHNICZNYCH NASADKOWYCH GRANATÓW PODWODNYCH NGP-76

Miszczak M., Warchoń R., Gędziorowski M.P., Piecuch M., Grzeczka G.

Akademia Marynarki Wojennej, Wojskowy Instytut Techniczny Uzbrojenia, Zielonka, Warszawa

STRESZCZENIE

Przedstawiono proces spalania wielosegmentowej, małogazowej kolumny pirotechnicznej opóźniacza głowicy bojowej nasadkowego granatu podwodnego NGP-76, przeznaczonego do zwalczania nurków za pomocą podwodnej fali uderzeniowej. Proces spalania, tj. od zapłonu pierwszego segmentu opóźniacza do zakończenia spalania ostatniego jego segmentu rejestrowano kamerą VIS filmującą z częstotliwością 30 klatek na sekundę. Gwałtownemu, krótkiemu spalaniu tych skrajnych segmentów zawierających cyrkon i Pb_3O_4 (minię ołowianą) towarzyszył oślepiający snop smug jaskrawo świecących cząstek ditlenku cyrkonu i par ołowiu. Spalanie środkowych segmentów utworzonych z mieszaniny pirotechnicznej MGS-54 zawierającej $BaCrO_4$, $KClO_4$ i Sb_2S_5 , decydujących o czasie trwania opóźnienia, tj. zwłoki wypracowanej przez opóźniacz, przebiegało znacznie wolniej i dłużej niż segmentów skrajnych. Podczas spalania każdego segmentu MGS-54 front spalania przyjmował postać płaskiego odcinka w początkowej części segmentu, tj. w obszarze o większej gęstości, zaś w dalszej części segmentu (o mniejszej gęstości) kształt frontu stawał się nieregularny. Na granicy segmentów MGS-54 front spalania zatrzymywał się na krótko. Za frontem spalania, na odcinku segmentów MGS-54 uwidaczniał się wyraźnie stożkowy ogon świecących, stałych produktów spalania. Gazowymi produktami spalania segmentów MGS-54, powstającymi w niewielkich ilościach, ujawniającymi się w postaci białych smug były prawdopodobnie pary KCl i/lub ditlenek siarki. Po spalaniu kolumna opóźniacza na odcinku segmentów MGS-54 miała kolor zielony spowodowany obecnością związków chromu, prawdopodobnie $Ba(CrO_2)_2$.

Słowa kluczowe: nasadkowe granaty podwodne NGP-76, opóźniacz pirotechniczny, wielosegmentowa kolumna pirotechniczna, front spalania, rejestracja VIS, obezwładnianie nurków falą uderzeniową.

ARTICLE INFO

PolHypRes 2022 Vol. 78 Issue 1 pp. 31 – 42

ISSN: 1734-7009 eISSN: 2084-0535

DOI: 10.2478/phr-2022-0002

Strony: 12, rysunki: 6, tabele: 0

page **www of the periodical:** www.phr.net.pl

Publisher

Polish Hyperbaric Medicine and Technology Society

Typ artykułu: oryginalny

Termin nadesłania: 3.11.2021 r.

Termin zatwierdzenia do druku: 10.12.2022 r.



WSTĘP

Badania za pomocą kamery VIS procesu spalania wielosegmentowych, kolumnowych ładunków pirotechnicznych opóźniaczy zespołów głowic bojowych nasadkowych granatów podwodnych NGP-76 (Fot.1a, b, c) przeznaczonych do zwalczania nurków za pomocą podwodnej fali uderzeniowej, przedstawione w niniejszym artykule mają na celu rozpoznanie i zarejestrowanie zjawisk zachodzących podczas spalania tych kolumn pirotechnicznych, w kontekście bezpieczeństwa eksploatacji i niezawodności działania tego rodzajów granatów.

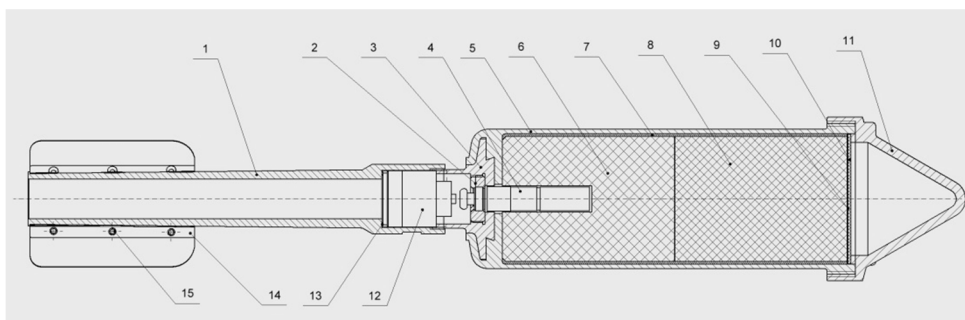


a



b

Nasadkowy granat podwodny NGP-76:
a – stabilizator z brzechwami, b – głowica.



Przekrój osiowy nasadkowego granatu podwodnego NGP-76

1 – stabilizator, 2 – tuleja redukcyjna, 3 – stalowy element łączący głowicę z trzonem, 4 – zespół pirotechnicznego opóźniacza głowicy, 5 – korpus głowicy, 6 – tylna kostka MW kruszącego, 7 – warstwa parafiny, 8 – przednia kostka MW, 9,10 – przekładki amortyzujące, 11 – czepiec balistyczny głowicy, 12 – denny zapalnik DC-1, 13 – podkładka zabezpieczająca, 14 – brzechwy stabilizatora, 15 – nity mocujące brzechwy do korpusu stabilizatora.

Fot.1 (a,b,c): Nasadkowy granat podwodny NGP-76 i jego elementy.

Przed ww. badaniami nad spalaniem opóźniaczy pirotechnicznych, bardzo istotnymi początkowymi etapami prac eksperymentalnych było przygotowanie próbek oraz ich rentgenograficzne badania defektoskopowe techniką radioskopii w czasie rzeczywistym (RTR- ang. Real Time-X-ray Radioscopy).

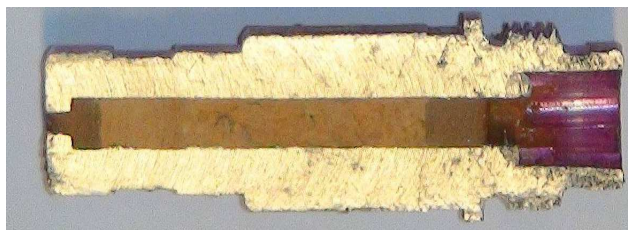
BADANIA EKSPERYMENTALNE

PRZYGOTOWANIE I OPIS PRÓBEK PRZEZNACZONYCH DO BADAŃ

Z bojowych głowic nasadkowych granatów podwodnych NGP-76 wyjmowano spłonkę pobudzającą połączoną z opóźniaczem, oddzielano od siebie oba ww. elementy, a następnie opóźniacz pirotechniczny (Fot. 2) przecięto wzdłużnie na półcylindryczne połowy, z których każda stanowiła próbkę (Fot. 3) gotową do dalszych badań, tj. spalaniem.



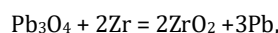
Fot. 2 Opóźniacz pirotechniczny nasadkowego granatu podwodnego NGP-76.



Fot. 3 Przekięty wzdłużnie opóźniacz pirotechniczny nasadkowego granatu podwodnego NGP-76.

Próbka badawcza składała się z siedmiosegmentowej kolumny pirotechnicznej wprasowanej w aluminiowy korpus. Długość kolumny pirotechnicznej wynosiła 32,0 mm, zaś jej średnica 3,2 mm na odcinku mieszczącym sześć pierwszych segmentów i część siódmego segmentu. Na zwężonym, wylotowym odcinku ostatniego (siódmego) segmentu, wynoszącym ok. 2,1 mm, średnica kolumny pirotechnicznej wynosiła ok. 2,0 mm. Skrajne, ciemnobrązowe segmenty ładunku pirotechnicznego, tj. pierwsze dwa - wlotowe (trudne do rozróżnienia) mają za zadanie zapoczątkować i ustabilizować fazę zapłonu opóźniacza, zaś ostatni - wylotowy, ma pobudzić spłonkę detonującą, inicjującą wybuch zasadniczego ładunku wybuchowego granatu NPG-76. Segmenty te zawierają związki ołowiu i cyrkon. Ciemnobrązowy kolor mieszaniny te zawdzięczają obecności minii ołowianej (Pb_3O_4) w ich składach. Pierwszy segment o długości ok. 0,4 mm wykonany był z mieszaniny pirotechnicznej SC-1 zawierającej 2,0% wagowych nitrocelulozy (koloksyliny), 74,5% części wagowych tlenku ołowiu (II, IV) (Pb_{304}) oraz 23,5% części wagowych proszku cyrkonowego (Zr). A zatem, Pb_3O_4 i proszek Zr zmieszane były w stosunku stechiometrycznym.

Zgodnie z równaniem reakcji spalania podanym w szwajcarskim opisie patentowym CH₆₄₈₀₁₂ (A5) [1] oraz książce [2]:



w wyniku spalania mieszaniny pirotechnicznej SC-1 powstają gorące cząstki ditlenku cyrkonu oraz pary ołowiu (temp. topnienia Pb wynosi 327°C, zaś wrzenia ok. 1750°C).

Drugi segment o długości ok. 4,4 mm wykonany był z kompozycji pirotechnicznej W-11 zawierającej 24,2% części wagowych chromianu (VI) baru ($BaCrO_4$), 52,3% części wagowych Pb_3O_4 , 16,3% części wagowych proszku Zr, 2,9% części wagowych chloranu (VII) potasu ($KClO_4$), 2,3% części wagowych siarki i 2,0% części wagowych koloksyliny.

Cztery wewnętrzne (środkowe), jasnobrązowe segmenty pirotechniczne tworzące zasadniczy odcinek opóźniający o długości ok. 23,0 mm wykonane były z mieszaniny pirotechnicznej MGS-54 zawierającej 78,2% części wagowych $BaCrO_4$, 9,9% części wagowych pięciosiarczku antymonu (Sb_2S_5) oraz 2,0% części wagowych koloksyliny. Barwa segmentów MGS-54 spowodowana była obecnością Sb_2S_5 i $BaCrO_4$. Ostatni, wylotowy segment o długości ok. 4,2 mm wykonany był z kompozycji W-11.

A zatem, kolejność spalania siedmiu segmentów ładunku pirotechnicznego była następująca: SC-1, W-11, MGS-54, MGS-54, MGS-54, MGS-54 oraz W-11.

BADANIA DEFEKTOSKOPOWE PRÓBEK

Bezpośrednio przed spalaniem każda próbka poddana została rentgenograficznym badaniom defektoskopowym w komorze detekcyjnej systemu diagnostycznego RTR typu MU-17F-225-9 firmy YXLON International X-ray Corporation.

W wyniku badań defektoskopowych stwierdzono, że segmenty kolumny pirotechnicznej nie posiadały widocznych wad strukturalnych w postaci pęknięć czy wnęk (ubytków) (Fot. 4).



Fot. 4 Zdjęcie RTR opóźniacza pirotechnicznego nasadkowego granatu podwodnego NGP-76.

Gęstość segmentów MGS-54 wzdłuż ich długości nie była jednorodna. Od strony części wylotowej korpusu opóźniacza gęstość każdego segmentu MGS-54 była mniejsza niż od strony zapłonu. Segmenty SC-1 i W-11 były najciemniejsze na rentgenogramie RTR ze względu na obecność Pb_3O_4 ich składzie. Granicy między segmentem SC-1 i W-11 nie można było rozróżnić na rentgenogramie RTR ze względu na ich zbliżoną zdolność pochłaniania promieniowania rentgenowskiego.

BADANIA PRÓBEK SPALANIEM

Po badaniach defektoskopowych spalanie każdej próbki inicjowano wiązką laserową (laser CO₂) z prawej strony (Fot. 5), tj. od strony segmentu pirotechnicznego SC-1.



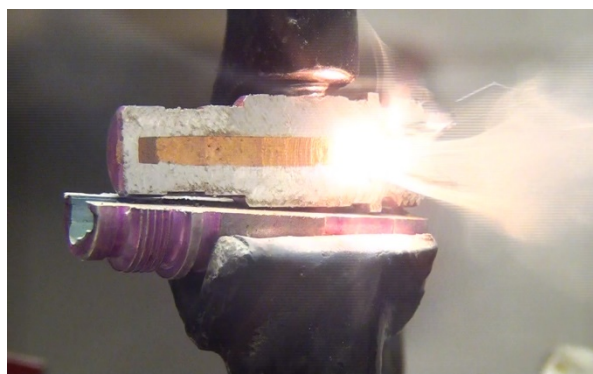
Fot. 5 Próbką badawczą – przecięty wzdłużnie opóźniacz pirotechniczny nasadkowego granatu podwodnego NGP-76, bezpośrednio przed zapłonem za pomocą wiązki laserowej.

Proces spalania półcylicyrycznej, siedmiosegmentowej kolumny pirotechnicznej rejestrowano kamerą VIS filmującą z częstotliwością 30 klatek na sekundę przy rozdzielczości obrazu 1920x1080 pikseli.

Z filmu wybrano zdjęcia (klatki filmowe) (Fot.6(a-u)), na których zarejestrowano najważniejsze etapy i zjawiska zachodzące podczas spalania próbki.



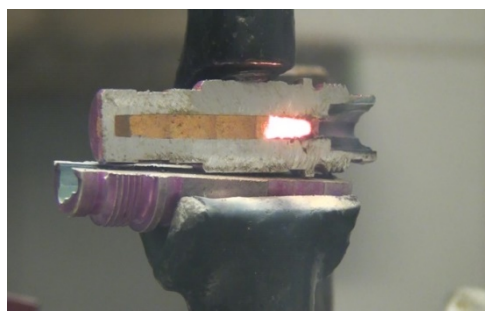
Fot. 6a; t=0,43(3)s



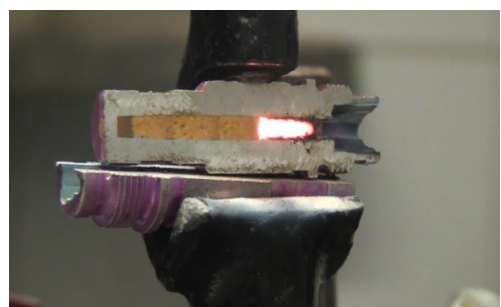
Fot. 6b; t=0,46(6)s



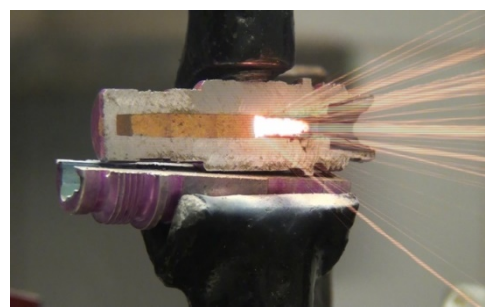
Fot. 6c; t=0,73(3)s



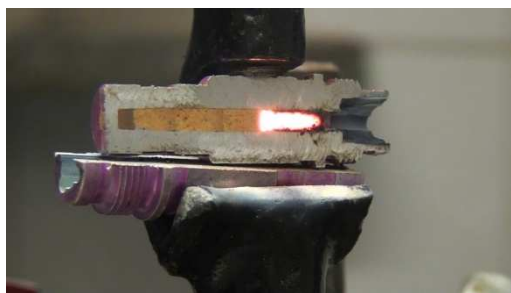
Fot. 6; t=1,06(6)s



Fot. 6e; t=1,33(3)s



Fot. 6f; t=1,36(6)s



Fot. 6g; t=1,4s



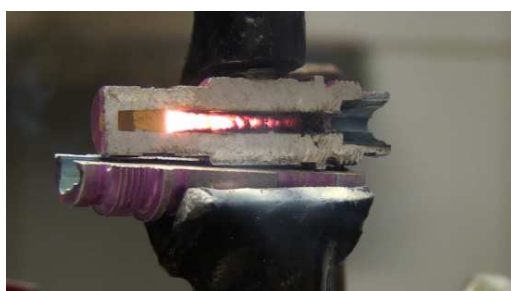
Fot. 6h; t=2,06s



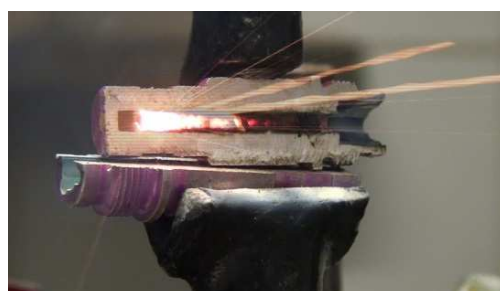
Fot. 6i; t=2,5s



Fot. 6j; t=3,06(6)s



Fot. 6k; t=3,33(3)s



Fot. 6l; t=3,83(3)s



Fot. 6m; t=3,86(6)s



Fot. 6n; t=4,06(6)s



Fot. 6o; t=4,1s



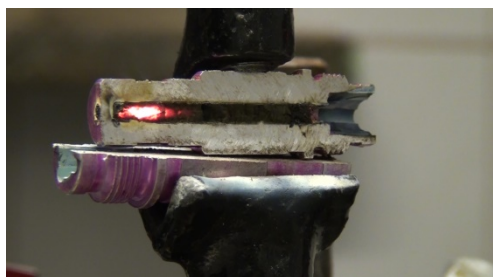
Fot. 6p; t=4,13(3)s



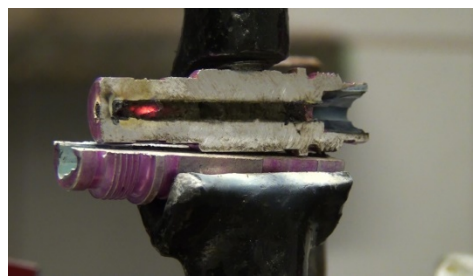
Fot. 6r; t=4,16(6)s



Fot. 6s; t=4,2s



Fot. 6t; t=5,46(6)s



Fot. 6u; t=6,23(3)

Fot. 6 (a-u): Sekwencja wybranych zdjęć procesu spalania wielosegmentowej kolumny pirotechnicznej opóźniacza nasadkowego granatu podwodnego NGP-76. Punkty czasowe trwania procesu spalania pokazano pod każdym zdjęciem.

Podczas spalania pierwszych dwóch segmentów pirotechnicznych (SC-1 i W-11) oraz ostatniego-wylotowego (W-11) dominował oślepiający snop smug jaskrawo świecących cząstek ZrO_2 (Fot. 6(a, b, m, n, o, p, r)) oraz pary Pb (Fot. 5(b, n, o, p, r, s)).

Na podstawie czasu trwania intensywnego świecenia ZrO_2 oszacowano, że czas spalania dwóch pierwszych segmentów: SC-1 i W-11 mieścił się w przedziale 0.1-0.2 s.

Niestety, oślepiające produkty spalania tych segmentów uniemożliwiły obserwację początkowej fazy spalania pierwszego segmentu opóźniającego (MGS-54).

Stabilne spalanie pierwszego segmentu opóźniającego MGS-54 (Fot. 6c) widoczne było po upływie ok. 0,73 s od chwili zapłonu segmentu SC-1. Na Fot.6c widać prostoliniowy front spalania znajdujący się w obszarze pierwszego segmentu MGS-54 o większej gęstości. Widoczna jest także biała mgła (smuga) gazowych produktów spalania segmentu MGS-54, którymi mogą być pary KCl oraz kwasu siarkowego(IV) (H_2SO_3) powstałego w wyniku połączenia wydzielanego z MGS-54 ditlenku siarki (SO_2) z wodą (wilgocią) zawartą w powietrzu. Wyżej wymienione, gazowe produkty stwierdzono [3] podczas spalania małogazowej mieszaniny pirotechnicznej o podobnym składzie co mieszanina pirotechniczna MGS-54, tj. zawierającej 72% części wagowe $BaCrO_4$, 20% części wagowych Sb_2S_3 , 8% części wagowych $KClO_4$ oraz 1% części wagowej koloksyliny. Po przejściu frontu spalania z obszaru pierwszego segmentu MGS-54 o większej gęstości w obszar o mniejszej gęstości, front spalania przyjmuje kształt nieregularny (Fot. 6d). Na granicy pierwszego i drugiego segmentu MGS-54 front spalania „wyrównywał się”, stawał się prawie prostoliniowy i zatrzymywał (Fot. 6e), po czym zaczynał przemieszczać się w drugim segmencie MGS-54, utrzymując swój prostoliniowy kształt (Fot. 6f-g). Występowanie zjawiska zatrzymania przemieszczania frontu spalania na granicy sąsiadujących ze sobą sprasowanych segmentów pirotechnicznych zasygnalizowano w książce [4]. Front spalania przemieszczając się w obszarze drugiego segmentu MGS-54 stawał się nieregularny (Fot. 6h), zatrzymywał się na granicy drugiego i trzeciego segmentu MGS-54, po czym przemieszczał się w trzecim segmencie MGS-54, przyjmując kolejno kształt prostoliniowy (Fot. 5i), nieregularny (Fot. 5j) i zatrzymywał się na granicy trzeciego i czwartego segmentu MGS-54. Podobnie jak w segmencie trzecim MGS-54, front spalania zachowywał się w segmencie czwartym MGS-54, przyjmując kształt regularny (Fot. 6k) i nieregularny (Fot. 6l). Podczas przemieszczania się frontu spalania w segmentach MGS-54 bardzo widoczny stawał się obszar („ogon”) świecących, stałych produktów spalania (Fot. 6c-t). „Ogon” wydłużał się i zwężał w kierunku zapłonowego końca kolumny pirotechnicznej, wyraźnie przybierając kształt stożkowy (Fot. 6h-l), który wynikał z kolejności stygnięcia stałych produktów spalania, rozpoczynającego się od bocznej powierzchni (bocznych brzegów) na odcinku spalanej kolumny pirotechnicznej. Stożkowy „ogon” składał się ze świecących „komórek”, zwężających się i gasnących wraz ze wzrostem odległości od frontu spalania (Fot. 6i-l).

W wyniku zetknięcia się frontu spalania z ostatnim-wylotowym pirotechnicznym segmentem W-11, segment ten zapalał się gwałtownie, intensywnie, generując jasny snop cząstek ZrO_2 rozlatujących się prostoliniowo, do tyłu (Fot. 6m) Uderzenie niektórych cząstek ZrO_2 w spalane segmenty MGS-54 czasami powodowało oderwanie i wyrzucenie do tyłu fragmentu (fragmentów) tych segmentów lecącego (leczących) po zakrzywionej trajektorii, widocznej w postaci grubej, żółto-szarej smugi (Fot. 6m). Na kolejnych trzech klatkach filmu (Fot. 6n,o,p) widać narastający snop prostoliniowych smug świecących cząstek ZrO_2 wyrzucanych przez wylotowy otwór opóźniacza, stanowiących zasadniczy impuls energetyczny mający zainicjować działanie następnego elementu - sponki pobudzającej w łańcuchu ogniowym granatu NGP-76. Wraz z narastaniem wylotowego impulsu ogniowego malał impuls ogniowy generowany przez segment W-11 do tyłu (Fot. 6n,o,p). Podczas dopalania się segmentu W-11 (Fot. 6r,s) widoczne są pary stygnącego Pb. Na ostatnich dwóch klatkach filmu (Fot. 6t,u) przedstawiających końcową fazę ostygnięcia spalanej, segmentowej kolumny pirotechnicznej widoczne jest zielone

zabarwienie czterech spalonych segmentów MGS-54. Zielony kolor tych segmentów wynika z obecności związków chemicznych zawierających chrom, prawdopodobnie $Ba(CrO_2)_2$. Obecność tego związku chemicznego stwierdzono w produktach spalania mieszaniny pirotechnicznej o zbliżonym składzie do MGS-54 [3].

PODSUMOWANIE I WNIOSKI

Proces spalania segmentowej kolumny pirotechnicznej opóźniacza głowicy bojowej nasadkowego granatu podwodnego NGP-76, tj. od zapłonu segmentu SC-1 do początkowej fazy intensywnego wyrzutu produktów spalania ostatniego segmentu pirotechnicznego W-11 przez wylot korpusu opóźniacza (Fot. 6o) zarejestrowano na 121 kolejnych klatkach, czyli proces ten trwał ok. 4s. A zatem czas opóźnienia (zwłoki) opóźniacza mieścił się w dopuszczalnym przedziale czasowym wynoszącym od 3,8 do 4,5 s.

Front spalania przemieszczał się przez kolejne segmenty pirotechniczne (bez t.zw. „przeskoków”, czyli nie występowało bardzo niebezpieczne zjawisko przedwczesnego zapłonu ostatniego segmentu (W-11) opóźniacza.

Przebieg procesu spalania w poszczególnych segmentach opóźniających MGS-54 był podobny, tzn. na początkowym odcinku każdego segmentu MGS-54 o większej gęstości front spalania miał kształt płaski, zaś na odcinku końcowym każdego segmentu kształt frontu spalania stawał się nieregularny. Na granicy segmentów MGS-54 front spalania zatrzymywał się na krótko.

Za frontem spalania wykształcał się stożkowy, wydłużający się w czasie spalania ogon świecących, stałych produktów spalania mieszaniny pirotechnicznej MGS-54. Gazowe produkty spalania segmentów MGS-54, to prawdopodobnie pary KCl oraz SO_2 , zaś stałym produktem spalania tych segmentów, nadającym zieloną barwę spalanej kolumny pirotechnicznej na odcinku tych segmentów jest prawdopodobnie $Ba(CrO_2)_2$.

Produkty spalania segmentów skrajnych: SC-1 i W-11, to gorące cząstki ZrO_2 zarejestrowane na zdjęciach w postaci jaskrawo świecącego snopu (pęku) smug oraz pary Pb widoczne w postaci białoszarych wijących się smug.

BIBLIOGRAFIA

1. Ryffel K., Delay Composition Containing Primary Explosives, Swiss Patent CH 648012 (A5), 28.02.1985
2. Kubota N., Propellants and Explosives. Thermochemical Aspects of Combustion, 2007, VILEY-VCH Verlag GmbH & Co.KGaA, Weinheim, str. 293. ISBN: 978-3-527-31424-9
3. Sarawadekar R.G., Swarge N.G., Jayaraman S., Agrawal J.P., Use of Bismuth Chromate with Antimony Trisulphide in Delay Compositions, *Energetic Materials*, 2003, 21, 97-107. ISSN: 0737-0652; DOI: 10.1080/07370650390227702
4. Kosanke B.J. (Ed.), *Pyrotechnic Chemistry. Pyrotechnic Reference Series No.4*, 2004, Publisher Journal of Pyrotechnics Inc. p.8-4, p.8-11

dr hab. inż. Grzegorz Grzeczka
Akademia Marynarki Wojennej,
Wojskowy Instytut Techniczny Uzbrojenia
Ul. Wyszyńskiego 7
05 – 220 Zielonka