

Materiały Wysokoenergetyczne / High-Energetic Materials, 2016, 8, 33 – 46

ISSN 2083-0165

Copyright © 2016 Institute of Industrial Organic Chemistry, Poland

Opracowanie elektrycznego inicjatora detonacji lontów i liniowych ładunków kumulacyjnych systemu cięcia wybuchowego łącznika pierścieniowego korpusu rakiety **Development of an electric initiator for explosive cords and cumulative linear shaped charges for segmented rocket body separation**

Zenon Wilk,^{*,1)} Piotr Koślik,¹⁾ Henryk Zuń,¹⁾ Bartosz Bartkowiak,²⁾ Błażej Marciniak²⁾

1) Oddział zamiejscowy w Krupskim Młynie, ul. Zawadzkiego 1, 42-693 Krupski Młyn, Instytut Przemysłu Organicznego, PL

2) Instytut Lotnictwa – Centrum Technologii Kosmicznych, Al. Krakowska 110/114, 02-256 Warszawa, PL

*E-mail: zenon.wilk@ipo.waw.pl

Streszczenie: W pracy przedstawiono rozwiązania konstrukcyjne elektrycznych inicjatorów detonacji (EID) o zminimalizowanych wymiarach, do zastosowań specjalnych. Dla realizacji pracy przyjęto założenia ze strony Instytutu Lotnictwa – Centrum Technologii Kosmicznych odnoszące się do projektowanego systemu rozczalenia stopni rakiety. Podstawowy parametr inicjatora określony przez masę zawartego w nim materiału wybuchowego (MW) musiał być zminimalizowany (do $80 \div 100$ mg). Dla systemu cięcia wybuchowego korpusu rakiety (materiał: stop aluminium, grubość 2-3 mm) założono zastosowanie odpowiednio dobranego lontu pentrytowego (PETN) z flegmatyzatorem, o gramaturze jak najmniejszej, np. $(6 \div 8)$ g/mb. Zaproponowano wykonanie lontu detonacyjnego w powłoce metalowej ze stopu Pb/Sb w technologii własnej IPO – Oddział w Krupskim Młynie. Do kolejnych prac doświadczalnych wykonana została partia lontu o średnicy 5 mm o wymaganej gramaturze 8 g/mb. Zaproponowano zastosowanie układu cięcia wybuchowego z wykorzystaniem lontu detonacyjnego profilowanego – z wgłębieniem kumulacyjnym (ładunek kumulacyjny liniowy ŁKL-PETN5F-6/8). Przeprowadzono testy skuteczności cięcia płytki aluminiowej o grubości 2 mm i 3 mm za pomocą ŁKL 6/8, które zakończyły się wynikiem pozytywnym. Liniowy ładunek inicjowano zaprojektowanym zestawem splonkowym (EID-100-0,2A). W cyklu badawczym oznaczono także prędkość detonacji ŁKL 6/8, która wynosi 7400 m/s.

Abstract: The paper presents design solutions for electrical initiators (EID) for special applications. An operating assessment carried out by the Aviation Institute – Centre for Space Technology, relating to the proposed system for explosively cutting a rocket body, was adopted. The basic parameter of the initiator, determined by the mass of the contained explosive had to be minimized to (80 - 100) mg. For the explosive cutting system of the rocket body (material: aluminum alloy, thickness (2 - 3) mm) the use of an appropriate PETN cord with a phlegmatizer, is assumed, with as low a mass as possible, e.g. (6 - 8) g/m. It proposes the making the detonation cord of the coating metal alloy Pb/Sb using the in-house capability in IPO - Branch in Krupski Młyn. Further experimental work involved making a partner fuse with a diameter of 5 mm with the required mass of 8 g/m. It proposes the use of an explosive cutting system using a detonating profile – with a cumulative recess (linear-shaped charge LLK-PETN5F 6/8). Its efficacy was tested by cutting aluminum plate of thickness 2 mm and 3 mm with LLK 6/8, which ended with the positive result. The linear charge is initiated using the designed primers (EID-100-0.2A). The test cycle also determined the detonation velocity of LLK 6/8, which was measured as 7400 m/s.

Słowa kluczowe: EID - elektryczny inicjator detonacji, lont detonacyjny, liniowy ładunek kumulacyjny, cięcie wybuchowe

Keywords: electric detonation initiator, detonating cord, linear shaped charge, explosive cutting system

1. Wprowadzenie

Mikrodetonatory elektryczne różnią się ze względu na zastosowany system inicjowania. Może nim być mostek elektryczny (ang. *Bridge Wire*, BW) lub układy elektrowybuchowe: eksplodująca folia (ang. *Exploding Foil Initiator*, EFI) oraz eksplodujący mostek oporowy (ang. *Exploding Bridge Wire*, EBW) [1-5]. Systemy inicjowania oparte na układach elektrowybuchowych (EFI i EBW) charakteryzują się najwyższym stopniem bezpieczeństwa, gdyż wymagają dostarczenia do zespołu zapalczego bardzo wysokiej energii, ($10 \div 30$) J. Odbywa się to zwykle poprzez rozładowanie kondensatora, w zależności od warunków stosowania, w obwodzie wysokonapięciowym lub niskonapięciowym.

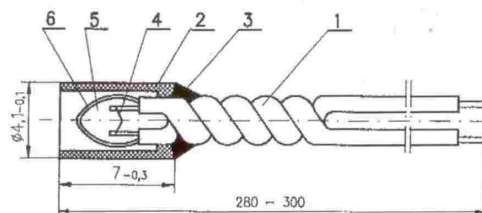
Istnieją również inne grupy i nowe systemy rozwiązań mikrodetonatorów: rozwiązania zespołów zapalnych oparte na technologii cienkowarstwowej, polegającej na zastosowaniu cienkiej warstwy mostka foliowego pod elementem np. w postaci płytki poliamidowej z otworem (ang. *Flying Plate System Initiator*) [6, 7], oraz rozwiązania, w których zamiast eksplodującego mostka foliowego metalowego zastosowano mikroelementy pirotechniczne [8]. Pozwala to na radykalne zmniejszenie wymaganej energii aktywowania zespołu zapalczego do rzędu kilku μJ .

1.1. Przykłady konstrukcji zespołu spłonkowego z mostkiem drutowym (BW)

Na przykładzie krajowych znanych rozwiązań spłonki elektrycznej typu MB-2N i typu EW-32 poniżej podano obliczenia energii niezbędnej do ich zadziałania na skutek efektu termicznego. W przedstawionych przykładach wykorzystano dane katalogowe dla wyrobów podane przez producenta (NITROERG S.A.).

Przykład 1. Spłonka elektryczna MB-2N.

Na rys.1 przedstawiono schemat konstrukcji zespołu zapalczego z mostkiem oporowym drutowym typu MB-2N.



Rys. 1. Schemat konstrukcji spłonki elektrycznej typu MB-2N: 1 – przewód; 2 – tuleja; 3 – lakier uszczelniający; 4 – mostek żarzenia; 5 – ładunek; 6 – lakier wzmacniający

Spłonka MB-2N jest wykonywana również w wersji bez tulei osłonowej z tworzywa.

Charakterystyka techniczna:

Masa ładunku: 0,015 g

Skład ładunku: mieszanina na bazie chloranu(V) potasu, rodanku ołowiu i chromianu ołowiu

Mostek żarzenia: drut nichromowy o średnicy 0,024 mm

Własności elektryczne:

Rezystencja: ($2,5 \div 4,5$) Ω

Bezpieczne natężenie prądu: 50 μA

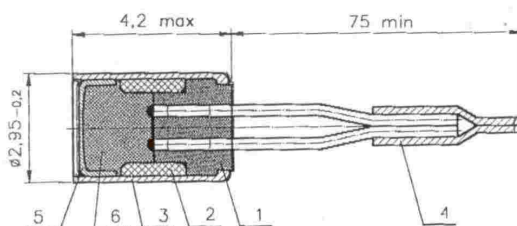
Minimalne natężenie prądu działania: 400 μA

Spłonka MB-2N posiada mostek oporowy z drucika nichromowego o średnicy 0,024 mm, o odporności 2500 Ω/mb . Dla zakresu odporności ($2,5 \div 4,5$) Ω długość mostku oporowego wynosi od 1 mm do 1,8 mm.

Dla gęstości i ciepła właściwego nichromu (odpowiednio: 8,15 g/cm^3 i 0,1553 $\text{kcal}/(\text{kg}\cdot^\circ\text{C})$), dla podgrzania drucików do temperatury 200 $^\circ\text{C}$, obliczona energia elektryczna jaką należy dostarczyć wynosi od ok. 500 μJ do 900 μJ . Dla przyrostu temperatury do 400 $^\circ\text{C}$ energia ta będzie dwukrotnie wyższa tj. w zakresie ($1 \div 1,8$) mJ.

Przykład 2. Spłonka elektryczna EW-32

Na rys. 2 przedstawiono schemat konstrukcji zespołu zapalczego z mostkiem oporowym drutowym typu EW-32.



Rys. 2. Schemat konstrukcji spłonki elektrycznej typu EW-32: 1 – łączówka z mostkiem żarzenia; 2 – tuleja; 3 – osłona; 4 – kapturek zwieracza; 5 – czapeczka; 6 – ładunek

Charakterystyka techniczna:

Masa ładunku: 0,014 g

Skład ładunku: modyfikowany trójnitrorezorcynian ołowiu (TNRO FA)

Mostek żarzenia: drut nichromowy o średnicy 0,014 mm

Własności elektryczne:

Rezystencja: $(6 \div 8) \Omega$

Bezpieczne natężenie prądu: 30 mA

Minimalne natężenie prądu działania: 200 mA

Spłonka EW-32 posiada mostek oporowy z druczika nichromowego o średnicy 0,014 mm, którego oporność wynosi $7100 \Omega/\text{mb}$. Dla zakresu oporności $(6 \div 8) \Omega$ długości mostka wynosi ok. 0,85 mm do 1,12 mm.

Analogicznie jak w przykładzie 1, obliczona energia niezbędna do podgrzania mostka do temperatury 200°C w tym przypadku wynosi $(140 \div 180) \mu\text{J}$. Dla przyrostu temperatury do 400°C energia ta będzie dwukrotnie wyższa tj. w zakresie $(0,28 \div 0,36) \text{mJ}$.

W przypadku stosowania mas inicjujących naniesionych na drucik żarowy, które posiadają wyższą temperaturę niezbędną do zapłonu, również odpowiednio wyższa musi być energia dostarczona do zespołu zapalczego. W praktyce ilość niezbędnej energii potrzebnej do zainicjowania masy na drucziku żarowym zależy również od ilości tej masy. Zwykle na zasadzie prób dobierana jest niezbędna minimalna ilość tej masy dla prawidłowego i pewnego zadziałania zespołu zapalczego. Czas reakcji tego typu spłonek elektrycznych jest ściśle związany z wartością prądu i czasem jego płynięcia przez mostek oporowy. Standardowe rozwiązania stosowane dla zapalników elektrycznych pozwalają na uzyskanie czasów reakcji główki zapalczej w granicach kilku milisekund. Jeżeli zastosuje się prąd odpalający kilkakrotnie przekraczający wartość nominalną można ten czas reakcji skrócić do ok. 1 ms. Natomiast gdy wymagany jest krótszy czasu reakcji zespołu zapalczego należy w masie pirotechnicznej zastosować składniki szybciej reagujące (np. dodatek MW inicjującego). Przykładem takiego rozwiązania jest krajowa spłonka EW-32 zawierająca masę na bazie TNRO FA.

Innym przykładem bardzo szybkiego miniaturowego elektrodetonatora (czas reakcji poniżej $300 \mu\text{s}$) jest konstrukcja firmy EaglePicher typu M-100 [2]. Poniżej przedstawiono widok i wymiary mikrodetonatora elektrycznego (rys. 3) i podano jego charakterystykę według danych producenta.



Rys. 3. Widok miniaturowego elektrodetonatora typu M-100 firmy EaglePicher [2], wymiary gabarytowe: długość 6,35 mm i średnica 2,54 mm

Mikrodetonator M-100 montowany jest w aluminiowym korpusie. Zastosowano w nim masę inicjującą na bazie koloidalnego azydku ołowiu. Inicjowanie detonacji następuje w wyniku dostarczenia do spłonki energii o wartości nominalnej 12,8 J, która powstaje przez rozładowanie w obwodzie mostkowym naładowanego kondensatora.

Charakterystyka techniczna:

Masa ładunku inicjującego – azydki ołowiu koloidalny: ok. 0,3 mg

Masa łączna ładunku MW: 35 mg

Własności elektryczne:

Rezystencja: (3,5 ÷ 7) Ω

Odpalenie impulsem prądowym: w obwodzie z kondensatorem

Nominalny impuls odpalający: 12,8 J

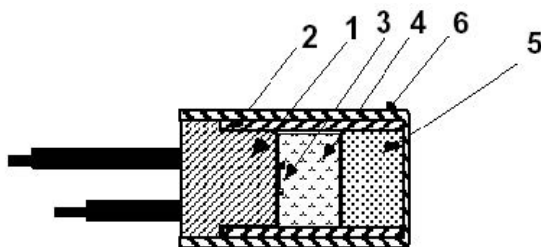
- rozładowanie kondensatora o pojemności 10 μF i napięciu 1,6 kV

Impuls nieodpalający: 10 mA, 10 s

Czas reakcji dla pewnego impulsu odpalania: ≤ 300 μs

1.2. Przykłady konstrukcji zespołu spłonkowego z eksplodującym mostkiem oporowym (EBW)

Mikrodetonator typu RP-87 jest konstrukcją opisaną szczegółowo w literaturze [3] przedmiotu i poniżej przedstawiono jego charakterystykę. Detonator RP-87 (typ EBW) produkowany jest przez firmę RISI. Detonatory typu EBW zawierają drucik, który pod wpływem przepływu bardzo dużego prądu wybucha i inicjuje znajdujący się w jego otoczeniu materiał wybuchowy. Mikrodetonator (rys. 4) zawiera MW inicjujący (4) w postaci 26 mg pentrytu (PETN) jako inicjator oraz heksogen (RDX) (5) jako właściwy MW (43 mg RDX wraz z lepiszczem).



Rys. 4. Widok mikrodetonatora RP-87 [3]: 1 – oprawa tworzywowa; 2 – tuleja z mosiądzu; 3 – mostek (drucik lub folia – złoto); 4 – PETN; 5 – MW; 6 – huska ze stali nierdzewnej

Wymiary mikrodetonatora RP-87 pokazuje rys. 5, a parametry strzałowe zamieszczone są w tabeli 1.



Rys. 5. Wymiary mikrodetonatora RP-87 [3]: średnica ok. 4,9 mm, długość ok. 10,4 mm

Tab. 1. Parametry strzałowe mikrodetonatora RP-87

Parametr	Wartość
Progowa wartość prądu odpalającego, [A]	210
Napięcie progowe zadziałania, [V]	ok. 500
Maksymalne odchylenie standardowe napięcia progowego, [V]	75
Czas zadziałania, [μ s]	1,95
Maksymalne odchylenie standardowe jednoczesne czasu zadziałania, [μ s]	0,125

2. Materiały i metody

2.1. Opracowanie i wykonanie inicjatorów pirotechnicznych detonacji

Dla realizacji pracy przyjęto wstępne założenia. Uzgodniono, że w konstrukcji miniaturowych inicjatorów niezbędne będzie zastosowanie dostępnych główek zapalających o minimalnych wymiarach. Zaproponowano zastosowanie główek zapalających na bazie konstrukcji typu MB-2N (NITROERG S.A.). W tym celu zamówiona została i wykonana partia tego wyrobu o przyjętych parametrach prądowych jak w tabeli 2.

Tab. 2. Parametry prądowe inicjatora

Parametr	Wartość
Prąd bezpieczny zapalnika (nieodpalający), [A]	0,2
Maksymalny impuls nieodpalający, [mJ/ Ω]	1,20
Minimalny impuls odpalający, [mJ/ Ω]	2,40
Prąd odpalający, [A]	3
Rezystancja główki zapalczej, [Ω]	1,2 ÷ 2,20
Maksymalny czas zadziałania, [ms]	10

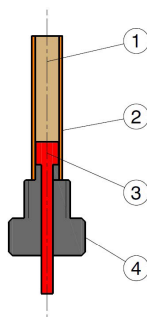
Inicjator musi być wykonany w sposób zapewniający możliwie jak największe bezpieczeństwo przy jego obsłudze oraz transporcie. W tabeli 3 przedstawiono ogólne założenia konstrukcji. Główna część zawierająca ładunek inicjujący musi znajdować się w osłonie (łuski) zabezpieczającej przed uszkodzeniem i przypadkowym pobudzeniem w trakcie manipulacji i montażu.

Tab. 3. Ogólne założenia dla konstrukcji miniaturowego inicjatora detonacji

Parametr	Wartość
Długość maksymalna, [mm]	25
Średnica maksymalna (łuski), [mm]	5
Masa maksymalna, [g]	80
Maksymalny gwint przyłącza	M6 lub M8
Długość przewodu, [m]	1

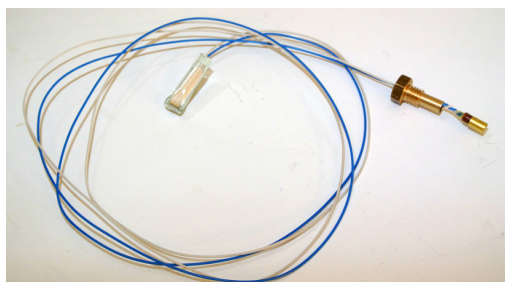
Przewód elektryczny musi zapewniać bezpieczeństwo w trakcie jego użytkowania a izolacja powinna być odporna na zdzieranie. Rys. 6 przedstawia schemat budowy inicjatora detonacji. Podstawowy parametr inicjatora

określony przez masę zawartego w nim materiału wybuchowego (MW) ma być zminimalizowany. Parametr ten powinien zostać dobrany na podstawie testów zdolności inicjowania lontów detonujących na bazie PETN.



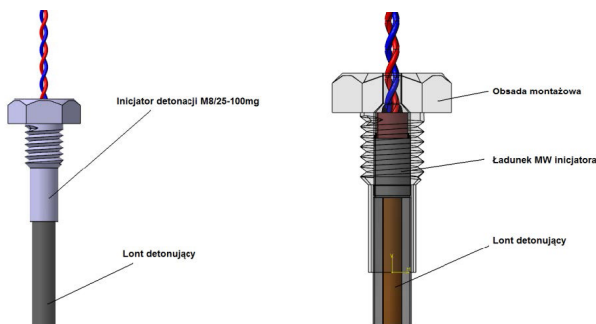
Rys. 6. Ogólny schemat inicjatora: 1 – ładunek inicjujący; 2 – osłona (łuska); 3 – główka zapalcza z przewodem; 4 – obsada mocująca

Zaprojektowany inicjator pirotechniczny detonacji, dedykowany dla pobudzania detonacji lontu, składa się z dwóch odrębnych elementów: obsady montażowej i elektrycznego zestawu spłonkowego (elektrodetonator). Rys. 7 przedstawia widok konstrukcji inicjatora z obsadą montażową M8/25, o długości przewodów 1 m.



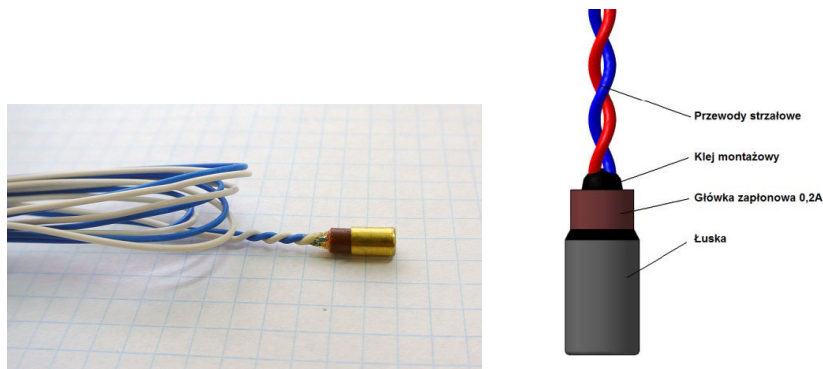
Rys. 7. Elektryczny inicjator detonacji z obsadą montażową M8/25mm

Rys. 8 przedstawia schemat funkcjonalny współdziałania inicjatora z obsadą montażową M8/25 w połączeniu z odcinkiem lontu detonującego.



Rys. 8. Elektryczny inicjator detonacji z obsadą montażową M8/25mm – schemat funkcjonalny współdziałania inicjatora w połączeniu z odcinkiem lontu detonującego

Widok rzeczywistej konstrukcji miniaturowego elektrycznego zestawu spłonkowego z opisem budowy przedstawia rys. 9.



Rys. 9. Widok elektrycznego inicjatora detonacji typu EID-100-0,2A

W skład konstrukcji elektrycznego inicjatora detonacji typ EID-100-0,2A wchodzi dwa elementy:

- główka zapalnicza typu MB-2N o prądzie bezpiecznym 0,2A,
- miniaturowa spłonka detonująca w łusce metalowej, zawierająca kompozycję materiałów wybuchowych o określonej dla typu masie (np. 100 mg).

Dla przedstawionej na rysunku konstrukcji inicjatora, o masie ładunku MW 100 mg, wymiary gabarytowe wynoszą: średnica 4,8 mm, wysokość 11 mm.

Ładunek spłonkowy wykonywany jest wg technologii własnej IPO – Oddział w Krupskim Młynie. Materiały wybuchowe – wysokoenergetyczne prasowane są do łuski metalowej, w układzie kilkuwarstwowym, z użyciem precyzyjnego oprzyrządowania i prasy bezpiecznej, z precyzyjnym ustawianiem (kontrolą) nacisku. Jako główny materiał wybuchowy kruszący w spłonce zastosowano PETN.

Zasadniczym zadaniem opracowywanego inicjatora jest pobudzenie lontu detonującego, który wytypowano do zastosowania w systemie rozczalania wybuchowego korpusu rakiety.

Optymalnym założeniem – celem było uzyskanie skutecznego działania miniaturowych inicjatorów z ładunkiem MW w zakresie (80 ÷ 100) mg dla pobudzenia detonacji lontu na bazie PETN z flegmatyzatorem, o małej gramaturze (6 ÷ 10) g/mb. Lonty do testów były wykonane w zadaniu równoległym.

2.2. Przygotowanie lontów detonujących

Dla systemu cięcia wybuchowego korpusu rakiety (materiał: stop aluminium, grubość: (2 ÷ 3) mm) założono zastosowanie odpowiednio dobranej lontu pentrytowego (PETN) z flegmatyzatorem, o gramaturze jak najmniejszej, np. (6 ÷ 8) g/mb.

Zaproponowano wykonanie lontu detonującego w powłoce metalowej ze stopu Pb/Sb w technologii własnej IPO – Oddział w Krupskim Młynie, który wykonuje tego typu lonty dla potrzeb górnictwa ropy i gazu i do prac specjalistycznych z użyciem MW. Wykonane zostały próby technologiczne wyciągania lontu o średnicy 5 mm, w powłoce metalowej, z zastosowaniem w rdzeniu lontu MW na bazie PETN z flegmatyzatorem fluoropolimerowym (5%) o wymaganej gramaturze (ok. 8 g/mb). Dla tego lontu przyjęto oznaczenie typu LD-PETN5F.

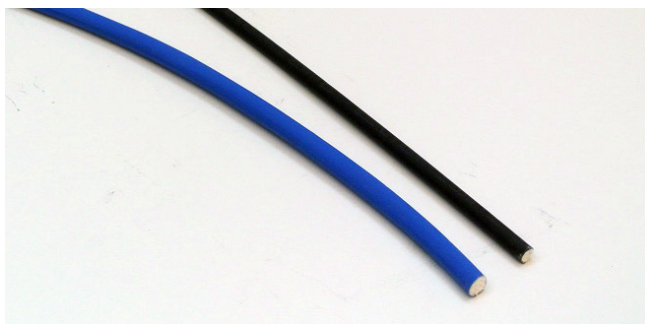
Ponadto zaproponowano wykonanie lontów detonujących o wymaganej docelowo długości (ok. 0,75 m) w innych osłonach metalowych np. w rurkach aluminiowych o średnicy 5 mm i grubości ścianki 1 mm lub w rurkach mosiężnych o średnicy 4 mm i grubości ścianki 0,5 mm.

Na rys. 10 przedstawiono widok lontu typu LD-PETN5F-8g/mb i widok innych możliwych rozwiązań lontu: w powłoce z aluminium lub mosiądzu.



Rys. 10. Widok lontów detonujących w powłoce metalowej: 1 – lont detonujący typu LD-PETN5F, wyciągany w powłoce Pb/Sb; 2 – lont detonujący w otoczce aluminiowej o średnicy 5 mm, rdzeń MW o średnicy 3 mm; 3 – lont detonujący w rurce z mosiądzu o średnicy 4 mm, rdzeń MW o średnicy 3 mm

Możliwe jest także zastosowanie w tnącym układzie wybuchowym lontów, o odpowiednio dobranej gramaturze, wykonanych w osłonce z tworzywa sztucznego. Na rysunku 11 przedstawiono dla przykładu dwa typy lontu w osłonkach tworzywowych o średnicy 3 mm i 4 mm.



Rys. 11. Przykłady lontów w osłonkach z tworzywa, o średnicy rdzenia MW 3 mm lub 4 mm

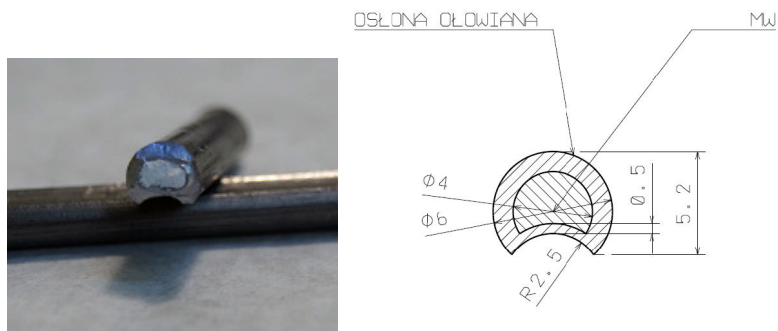
Do dalszych prac i testów wybrano lont detonujący w otoczce metalowej ze stopu Pb/Sb, wg technologii IPO - Krupski Młyn. Decydująca w tym przypadku była dostępność technologii i łatwa możliwość regulowania parametrów lontu (średnica rdzenia, gęstość i gramatura MW). Lont detonujący o średnicy końcowej ($4,9 \div 5,0$) mm wykonywany jest metodą wielokrotnego przeciągania rury o większej średnicy, uprzednio zadołowanej materiałem wybuchowym, w tym przypadku PETN z flegmatyzatorem fluoropolimerowym (5%). Wykonana została partia kontrolna lontu typu LD-PETN5F w odcinkach o długości ok. 1 m i gramaturze ok. ($7,5 \div 8,5$) g/mb i gęstości materiału wybuchowego ok. ($1,2 \div 1,3$) g/cm³.

2.3. Lont detonujący z efektem kumulacyjnym

W czasie równolegle prowadzonych prac nad problemem zaproponowano zastosowanie układu cięcia wybuchowego z wykorzystaniem lontu detonującego profilowanego – z wgłębieniem kumulacyjnym. Dla realizacji tego celu także zaproponowano technologię własną IPO w Krupskim Młynie, który wykonuje tego typu ładunki kumulacyjne liniowe w całym typoszeregu (oznaczenie ŁKL D/M, gdzie D – oznacza wymiar poprzeczny ładunku [mm], M – oznacza gramaturę MW [g/mb]).

Dla badań wykonano testową partię ładunków kumulacyjnych liniowych typu ŁKL-6/8 w odcinkach o długości ok. 1 m. Analogicznie, w tym lonce profilowanym, wykonywanym metodą wielokrotnego przeciągania zastosowano MW na bazie PETN z flegmatyzatorem fluoropolimerowym.

Rys. 12 przedstawia widok zaproponowanego ładunku kumulacyjnego liniowego i jego przekrój.



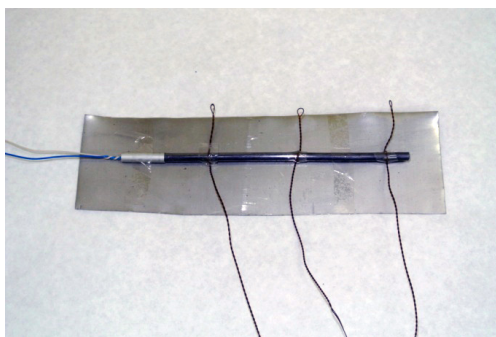
Rys. 12. Ładunek kumulacyjny liniowy ŁKL-6/8

3. Badania inicjatorów detonacji – zdolności pobudzenia detonacji lontu

Wykonane zostały partie próbne inicjatorów detonacji o masie ładunku spłonkowego wynoszącej odpowiednio: 150 mg, 120 mg, 100 mg, 80 mg i 50 mg.

Dla tych gramatur ładunku spłonkowego inicjatorów przeprowadzono badania zdolności inicjowania przyjętego w rozwiązaniu lontu detonującego typu LD-PETN5F.

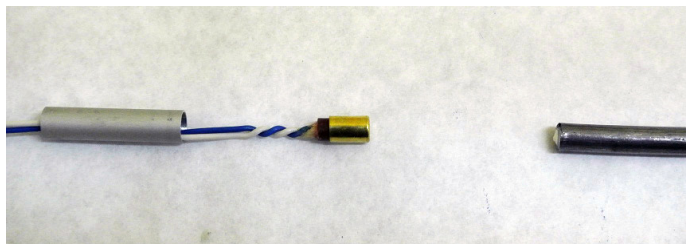
Z partii kontrolnej lontu wykonywano odcinki 150 mm przeznaczone do badań zdolności inicjalnej projektowanego inicjatora i do pomiaru czasu zadziałania inicjatora. Zaproponowano układ badawczy, w którym inicjator z lontem układano na płycie aluminiowej o grubości 0,5 mm, będącej elementem kontrolnym prawidłowego zadziałania lontu. Jednocześnie przeprowadzono pomiar prędkości detonacji inicjowanego lontu w układzie przedstawionym na rys. 13.



Rys. 13. Układ badawczy do testowania inicjatorów i oznaczania prędkości detonacji lontu

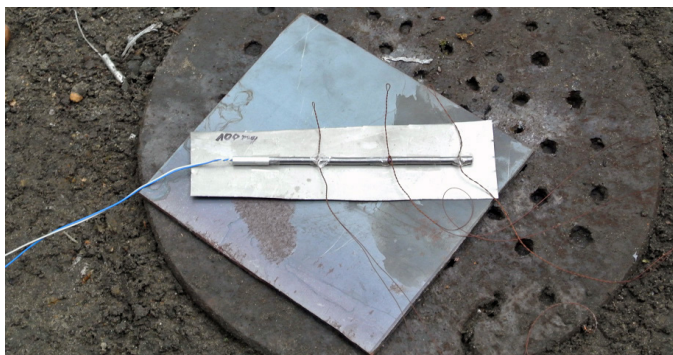
Układ badawczy składał się z testowanego inicjatora detonacji centrowanego odpowiednio w tulejce montażowej z odcinkiem o długości 150 mm lontu LD-PETN5F (o średnicy 5 mm i gramaturze około 8 g/mb).

Widok inicjatora przedłączeniem z odcinkiem kontrolnym lontu przedstawia rys. 14.



Rys. 14. Widok inicjatora detonacji przed połączeniem z końcówką lontu

Zestaw przygotowano na płycie aluminiowej o grubości 0,5 mm, będącej elementem kontrolnym prawidłowego zadziałania (detonacji) lontu. Widok układu testowego inicjatora o masie 100 mg, na stanowisku strzałowym, przedstawia rys. 15.



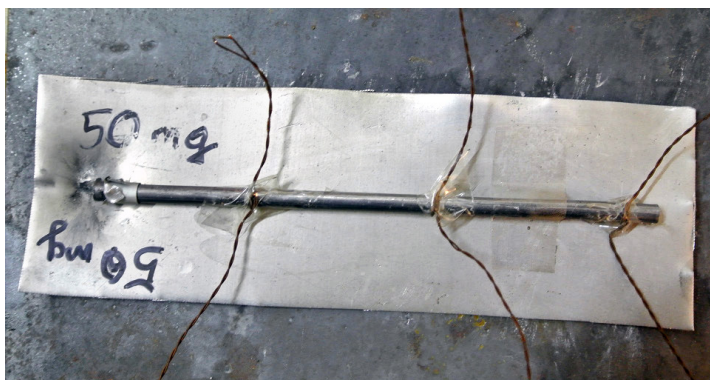
Rys. 15. Widok układu testowego zdolności inicjatora do pobudzania detonacji lontu

Wynik przykładu prawidłowego zadziałania inicjatora (pełna detonacja odcinka testowego lontu) przedstawiono na rys. 16.



Rys. 16. Widok prawidłowego zadziałania inicjatora detonacji, w tym przypadku dla masy ładunku słonkowego 80 mg

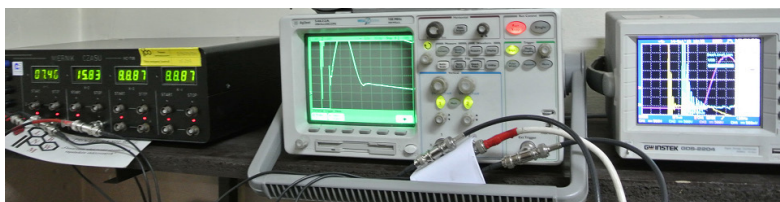
Dla masy ładunku słonkowego równej 50 mg stwierdzono nieprzeniesienie się detonacji słonki na lont testowy, co przedstawiono na rys. 17.



Rys. 17. Widok układu testowego po detonacji inicjatora z ładunkiem spłonkowym 50 mg; nie doszło do detonacji odcinka lontu testowego

W trakcie tych testów inicjatorów o różnych masach ładunku spłonkowego jednocześnie przeprowadzano pomiar prędkości detonacji lontu z użyciem sond kontrolnych mechanicznych (skrętki cienkiego emaliowanego drutu miedzianego) umieszczanych na odcinku lontu.

Stosowano dwie bazy pomiarowe: 50 mm i 100 mm. Czasy detonacji na odcinkach bazowych mierzono za pomocą wielokanałowego elektronicznego miernika czasu i równolegle rejestrowano zadziałania sond pomiarowych za pomocą oscyloskopu cyfrowego. Przykład jednej z rejestracji wyników oznaczania prędkości detonacji lontu testowego przedstawia rys. 18.



Rys. 18. Widok stanowiska pomiarowego do oznaczania prędkości detonacji: wielokanałowy elektroniczny licznik pomiaru czasu i równolegle prowadzona rejestracja zadziałania sond pomiarowych za pomocą oscyloskopu cyfrowego

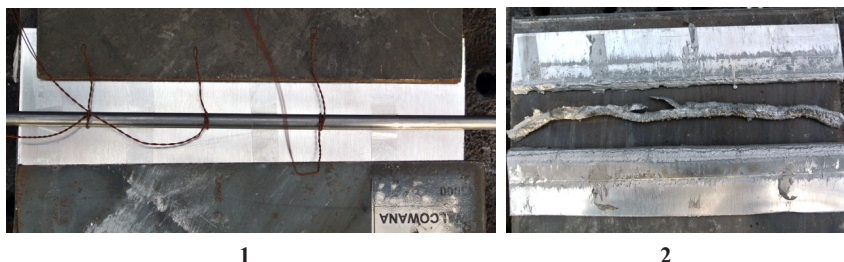
W cyklu badawczym uzyskano prędkości detonacji lontów 6700 m/s dla ładunków spłonkowych o masie większej lub równej 80 mg. Dla konstrukcji ostatecznej inicjatora detonacji lontu testowego i do dalszych prac związanych z funkcjonowaniem układu ciecicia wybuchowego wybrano masę ładunku spłonkowego 100 mg (oznaczenie typu: EID-100-0,2A).

4. Badania lontu detonującego z efektem kumulacyjnym

Dla systemu ciecicia wybuchowego korpusu rakiety z zastosowaniem lontu kumulacyjnego została wykonana partia testowa ładunków kumulacyjnych liniowych o gramaturze 8 g/m, wymiarze poprzecznym 6 mm i MW na bazie PETN z flegmatyzatorem polimerowym 5% (oznaczenie typu: ŁKL-PETN5F-6/8). Liniowe ładunki kumulacyjne wykonywano w odcinkach o długości ok. 1 m.

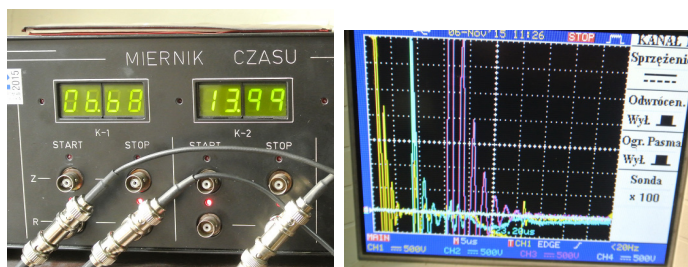
Przeprowadzone zostały testy skuteczności tymi ładunkami: ciecicia płytki aluminiowej o wymiarach (200 x 80 x 2) mm. Jednocześnie za pomocą sond pomiarowych i systemu rejestracji czasu oznaczono także prędkość detonacji ŁKL. Ładunek kumulacyjny liniowy inicjowano zaprojektowanym zestawem spłonkowym

(EID-100-0,2A). Na rys. 19 przedstawiono układ do testu cięcia wybuchowego na stanowisku strzałowym i efekt działania ŁKL-6/8.



Rys. 19. Widok układu do testu cięcia wybuchowego płytki Al o grubości 2 mm ładunkiem ŁKL-6/8: 1 – na stanowisku strzałowym; 2 – efekt cięcia wybuchowego

Wynik testu ciecienia blachy aluminiowej o grubości 2 mm jest pozytywny. Na rys. 20 przedstawiono wyniki oznaczania prędkości detonacji liniowego ładunku kumulacyjnego, które przeprowadzono jednocześnie z testem cięcia płytki Al o grubości 2 mm.



Rys. 20. Wynik oznaczania prędkości detonacji ŁKL-6/8

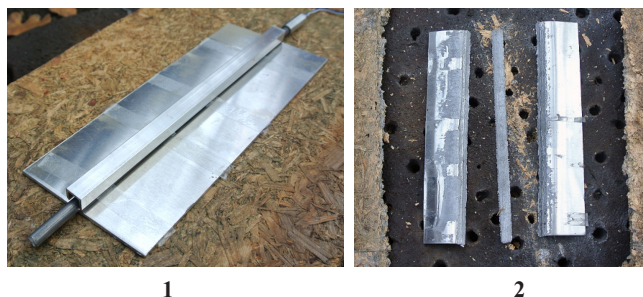
Prędkość detonacji liczona jest na podstawie czasu przebiegu frontu fali detonacyjnej wzdłuż lontu, np. dla pierwszego odcinka pomiarowego 50 mm i czasu 6,68 μ s (rys. 20) wynosi 7485 m/s. Na odcinku pomiarowym 100 mm (czas 13,99 μ s) prędkość detonacji wynosi 7148 m/s.

4.1. Test funkcjonalny systemu cięcia wybuchowego z zastosowaniem ŁKL-6/8

W ostatnim planie badań dotyczących ładunku kumulacyjnego liniowego ŁKL-6/8 przeprowadzono testy funkcjonalne systemu ciecienia wybuchowego, testy ciecienia wybuchowego osłony w postaci modeli odcinkowych o długości 200 mm.

Test nr 1.

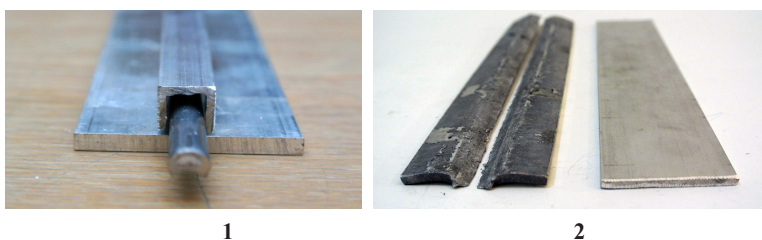
Zastosowano materiał symulujący materiał korpusu rakiety w postaci płytki aluminiowej o grubości 2 mm i wymiarach 200 x 80 mm. Lont kumulacyjny ŁKL-6/8, o długości ok. 250 mm zbrojony inicjatorem EID-100-0,2A, był mocowany w sposób przyległy do płytki aluminiowej. Od góry ładunek liniowy przykryty był profilem kształtowym aluminiowym (10 mm x 10 mm) w kształcie litery U. Widok układu dla testu nr 1 przed detonacją oraz efekt ciecienia przedstawia rys. 21.



Rys. 21. Widok układu do testu cięcia wybuchowego płytki Al o grubości 2 mm ładunkiem ŁKL-6/8 (test nr 1):
1 – na stanowisku strzelowym; 2 – efekt cięcia wybuchowego

Test nr 2.

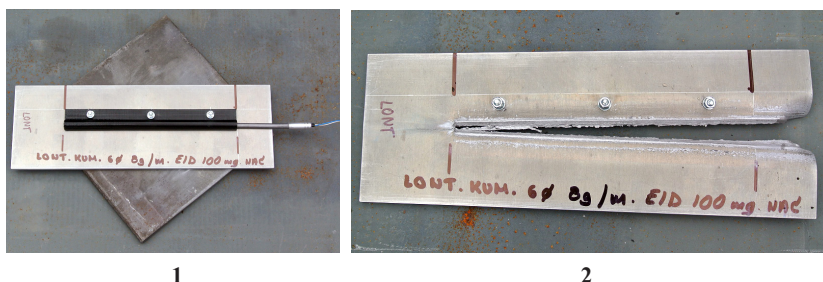
Zastosowano materiał symulujący materiał korpusu rakiety w postaci płytki aluminiowej o grubości 3 mm i wymiarach 200 x 40 mm. Lont kumulacyjny ŁKL-6/8, o długości ok. 250 mm zbrojony inicjatorem EID-100-0,2A, był mocowany analogicznie, w sposób przyległy do płytki aluminiowej. Od góry ładunek kumulacyjny liniowy przykryty był profilem kształtowym aluminiowym (10 mm x 10 mm) mm w kształcie litery U. Widok układu dla testu nr 2 przed detonacją oraz efekt ciecia przedstawia rys. 22.



Rys. 22. Widok układu do testu cięcia wybuchowego płytki Al o grubości 3 mm ładunkiem ŁKL-6/8 (test nr 2):
1 – na stanowisku, przed detonacją; 2 – efekt cięcia wybuchowego

Test nr 3.

Zastosowano materiał korpusu rakiety w postaci płytki aluminiowej o grubości 3 mm i wymiarach 200 x 70 mm. Lont kumulacyjny ŁKL-6/8, o długości ok. 250 mm zbrojony inicjatorem EID-100-0,2 A, był mocowany w sposób przyległy do płytki aluminiowej. Od góry ładunek liniowy przykryty i umocowany był profilem kształtowym z tworzywa ABS w kształcie litery U. Na rysunku 23 przedstawiono widok układu przed detonacją i efekt cięcia wybuchowego za pomocą ładunku liniowego ŁKL-6/8 dla testu nr 3.



Rys. 23. Widok układu do testu cięcia wybuchowego płytki z materiału do korpusu rakiety (Al o grubości 3 mm) ładunkiem ŁKL-6/8 (test nr 3): 1 – przed detonacją; 2 – efekt cięcia wybuchowego

5. Podsumowanie

Celem pracy było opracowanie i przygotowanie partii prototypowych rozwiązań: inicjatorów pirotechnicznych detonacji i odcinków lontu do systemu cięcia wybuchowego korpusu rakiety. W ramach pracy przeprowadzone zostały badania inicjatorów detonacji i lontów w szerokim zakresie:

- testy funkcjonowania miniaturowej elektrycznej spłonki detonacyjnej oraz jej parametrów,
- testy przeniesienia detonacji ze spłonki na lont detonujący,
- testy ciecicia wybuchowego modeli elementów konstrukcyjnych łącznika stopni rakiety.

Opracowano i sprawdzono nowe rozwiązania konstrukcyjne mikrozapalnika elektrycznego do zastosowań specjalnych, z ładunkiem spłonkowym MW ok. 100 mg, prądzie bezpiecznym 0,2A, nominalnie przeznaczonego do inicjowania lontu detonującego na bazie pentrytu. Zaproponowano zastosowanie układu cięcia wybuchowego łącznika stopni rakiety z wykorzystaniem lontu detonującego profilowanego typu: ładunek kumulacyjny linowy ŁKL-PETNSF-6/8. W systemie inicjowanie detonacji tego lontu kumulacyjnego zaproponowano i sprawdzono nowej konstrukcji inicjator detonacji typu EID-100-0,2A.

Podziękowanie

Pracę realizowano na podstawie zamówienia Instytutu Lotnictwa – Centrum technologii Kosmicznych nr CTK/46/2015 z dnia 08.09.2015 r. i umowy badawczej pomiędzy Instytutem Lotnictwa i Instytutem Przemysłu Organicznego nr 59/NKN/B/2015 z dnia 22.09.2015 r.

Literatura

- [1] Korzun Mikołaj. 1974. *Elektryczna eksplozja przewodnika inicjująca sterowaną detonację materiałów wybuchowych*. Rozprawa doktorska, WAT.
- [2] Prospekty reklamowe firmy EaglePicher
- [3] *RP-87 EBW Detonator*. Prospekty reklamowe firmy RISI (<http://www.teledynerisi.com>)
- [4] *RP-95 EFI Detonator*. Prospekty reklamowe firmy RISI (<http://www.teledynerisi.com>)
- [5] Hirlinger J., *Investigating alternative green primary explosives*. 39th Annual Guns & Ammunition Conference.
- [6] Laib Gerald, *Integrated thin film explosive micro-detonator*. Patent USA 7,597,046 B1, 2009.
- [7] Neyer T. Barry, Adams T. John, Edwards C. James, Stoutenborough S. Terry, Tomasoski J. Robert, *A Low Cost, Reliable, Hermetically Sealed, Chip Slapper Detonator Suitable for Various Aerospace Applications*. American Institute of Aeronautics and Astronautics, 1999.
- [8] www.vishay.com

Received: 27th October 2016

Accepted: 5th December 2016

Published: 30th December 2016