



## Projektowanie łańcuchów ogniowych w zapalnikach

Grzegorz JĄCZEK<sup>1\*</sup>, Józef GACEK<sup>2</sup>, Eva FRIIS<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Zakłady Metalowe DEZAMET S.A., ul. Szypowskiego 1, 39-460 Nowa Dęba,

<sup>2</sup>Instytut Techniki Uzbrojenia, Wydział Mechatroniki i Lotnictwa,  
Wojskowa Akademia Techniczna, ul. gen. Sylwestra Kaliskiego 2, 00-908 Warszawa,

<sup>3</sup>NAMMO Raufoss AS, P.O. Box 162, N-2831 Raufoss, Norway

\*autor korespondencyjny, e-mail: gjaczek@dezamet.com.pl

Artykuł wpłynął do redakcji 06.06.2014. Zweryfikowaną wersję po recenzji otrzymano 06.02.2015

DOI: 10.5604/20815891.1157783

**Streszczenie.** W pracy przedstawiono przykładowe metody konstruowania łańcuchów ogniowych zapalników, na przykładzie zapalnika do amunicji kalibru 25 mm. Pierwsza metoda polega na korzystaniu z istniejących rozwiązań z zapalników wprowadzonych do produkcji seryjnej. Druga metoda polega na opracowaniu całkowicie nowego wzoru łańcucha ogniowego. W artykule skoncentrowano się na drugiej metodzie konstruowania, którą można zrealizować na dwa sposoby. Pierwszy jest bardzo czasochłonny – polega na prowadzeniu prac doświadczalnych. Dożądanego wyniku dochodzi się metodą prób i błędów. Drugi sposób wykorzystuje wzajemnie ze sobą powiązane analityczne metody obliczeniowe, symulacje komputerowe, doświadczenia oraz testy. W przypadku opisywanego łańcucha ogniowego do amunicji kalibru 25 mm zastosowano drugi sposób konstruowania. W związku z tym w opracowaniu opisano zasadę działania łańcucha ogniowego oraz kolejne etapy prac nad jego elementami. Opisano również wyniki z badań doświadczalnych i poligonowych.

**Słowa kluczowe:** mechanika, materiały wybuchowe, zapalnik, łańcuch ogniowy zapalnika, inicjator, pobudzac

## 1. WSTĘP

Podczas projektowania nowych wzorów zapalników do środków bojowych, konstruktor musi rozwiązać wiele problemów konstrukcyjnych, związanych również z materiałami wybuchowymi. Obowiązujące aktualnie normy dla systemów zapalnikowych kładą szczególny nacisk na zapewnienie bezpieczeństwa ich użytkowania. To powoduje, że nowe konstrukcje tego rodzaju są układami bardzo skomplikowanymi.

W przypadku tworzenia części mechanicznej zapalnika, praca konstruktora jest wspomagana wieloma użytecznymi „narzędziami”. Dostępne są publikacje opisujące szczegółowo istniejące wzory zapalników oraz publikacje na temat podstaw ich konstrukcji [1, 2]. Programy typu CAD/CAM pozwalają na: tworzenie projektów w trzech wymiarach, automatyczne tworzenie rysunków elementów konstrukcyjnych (części) oraz rysunków złożeniowych, sprawdzenie, czy elementy konstrukcyjne już na tym etapie projektowania pasują do siebie. Dodatkowo programy te umożliwiają przeprowadzanie, dla projektowanego zapalnika, analiz wytrzymałościowych oraz symulacji funkcjonowania mechanizmów w warunkach statycznych i dynamicznych. Dostępne są również bogate bazy parametrów materiałów konstrukcyjnych. Przy właściwym i rozsądnym wykorzystaniu dostępnych informacji, możliwe jest zaprojektowanie nowego wyrobu w takim stopniu, że jego rzeczywisty model ma duże szanse poprawnego działania.

Na etapie projektowania łańcucha ogniowego zapalnika, zawierającego materiały wybuchowe, sytuacja zaczyna się komplikować. Podobnie jak dla części mechanicznej, konstruktor ma możliwość wspomagania się w swojej pracy zasobem niezbędnych informacji, przy wykorzystaniu wielu sposobów rozwiązania konkretnego problemu. Najprostszym z tych sposobów jest wzorowanie się na istniejących rozwiązaniach łańcuchów ogniowych już wdrożonych zapalników. W przypadkach, kiedy konieczne jest opracowanie nowego wzoru łańcucha ogniowego, konstruktor może korzystać z dostępnej literatury dotyczącej materiałów wybuchowych [3-5] oraz projektowania zapalników [1, 2]. Bardzo pomocne są także specjalistyczne programy typu CAD z funkcją umożliwiającą symulowanie działania materiałów wybuchowych. Praktyka pokazuje jednak, że podczas projektowania łańcuchów ogniowych, „teoria” bardzo często nie pokrywa się z „praktyką”.

## 2. STOSOWANE METODY PROJEKTOWANIA ŁAŃCUCHÓW OGNIOWYCH ZAPALNIKÓW

Obowiązujące obecnie przepisy normatywne, dotyczące projektowania zapalników, narzucają stosowanie ściśle określonych rodzajów materiałów wybuchowych. Są to tak zwane materiały wybuchowe o zmniejszonej wrażliwości oraz wysokiej stabilności.

Materiały te zapewniają uzyskanie wymaganego poziomu bezpieczeństwa dla zapalników oraz amunicji, w której są one zabudowywane. Właściwości tych materiałów określone zostały w wyniku przeprowadzonych prac doświadczalnych, dla próbek o wymiarach gabarytowych rzędu kilkudziesięciu milimetrów („skala makro”) [4, 5]. Na podstawie analizy wyników badań doświadczalnych wyznaczane są współczynniki niezbędne do przeprowadzania symulacji komputerowych. Konstruktor opracowujący wyrób, w którym materiały wybuchowe mają wymiary odpowiadające skali makro, może z powodzeniem używać programów komputerowych z możliwością symulowania działania materiałów wybuchowych.

Jednak w przypadku rozpatrywania elementów używanych do projektowania łańcucha ogniowego należy stosować skalę mikro. W literaturze przedmiotu dotyczącej materiałów wybuchowych można znaleźć zbiory wyników, np. wykresy, opracowane dla próbek, których średnica minimalna przekracza kilkanaście milimetrów. Parametry materiałów wybuchowych o mniejszych średnicach, rzędu od dziesiątych części milimetra do kilku milimetrów, są zwykle określane na drodze aproksymacji. Oznacza to, że w procesie symulacji działania materiałów wybuchowych o małych wymiarach wyniki mogą być obciążone błędami. Wynika to m.in. z faktu, że działanie materiałów w „skali mikro” jest poznane dotąd w niewielkim stopniu.

Konstruktor, podczas projektowania łańcucha ogniowego zapalnika, ma do wyboru dwa sposoby realizacji fazy koncepcyjnej projektu.

Pierwszy sposób polega na wykonaniu elementów łańcucha ogniowego i przeprowadzeniu badań eksperymentalnych złożonego z nich zapalnika. Na podstawie wyników tych badań można stwierdzić, czy układ funkcjonuje poprawnie, czy też wymaga wprowadzenia zmian. Jest to metoda czasochłonna. Rzadko bowiem udaje się stworzyć łańcuch ogniowy działający prawidłowo, z parametrami zadanymi w dokumentacji. Dlatego też, w celu otrzymania wymaganych parametrów opracowywanej konstrukcji, konieczne jest przeprowadzenie dużej liczby prób doświadczalnych i wprowadzanie zmian w dokumentacji.

Drugi sposób polega na opracowaniu modelu matematycznego i odpowiedniego kodu komputerowego oraz przeprowadzeniu niezbędnych symulacji numerycznych. Na tym etapie bardzo ważne jest doświadczenie konstruktora lub osoby przeprowadzającej symulacje. Duży wpływ na wyniki będą miały bowiem parametry elementów łańcucha ogniowego wprowadzone do programu. Bardzo ważny jest także sposób podejścia do interpretacji wyników. Jeżeli wyniki symulacji nie odpowiadają wymaganiom, wówczas wprowadza się zmiany do projektu zapalnika. Dzięki symulacjom numerycznym można przeprowadzić w krótkim czasie wiele prób, dla różnych wariantów. Jeżeli wyniki symulacji uznane zostaną za prawidłowe (odpowiadające założonym wymaganiom), można przystąpić do wykonania modelu rzeczywistego oraz do przeprowadzania badań doświadczalnych.

Zdarza się jednak, że wyniki z badań eksperymentalnych różnią się od uzyskanych z symulacji komputerowych. Wtedy na podstawie analizy wyników z badań doświadczalnych wprowadza się zmiany do modelu matematycznego lub parametrów wejściowych. Tak zweryfikowany model matematyczny możemy wykorzystywać w procesie doboru parametrów projektowanego układu w celu spełnienia przez niego założonych wymagań.

Opisany wyżej sposób podejścia podczas konstruowania łańcuchów ogniowych, oparty zarówno na metodach numerycznych, jak i badaniach doświadczalnych, został wykorzystany w trakcie prac zmierzających do opracowania nowej konstrukcji zapalnika do amunicji kalibru 25 mm. Zapalnik ten powstał w ramach współpracy między Zakładami Metalowymi DEZAMET S.A. i norweską firmą NAMMO Raufoss AS. W projekcie tym udział brali także: Forsvarets Forskningsinstitut (Instytut Badań nad Obronnością) z Norwegii, System Design Evaluation Ltd. z Anglii, Hydrosoft International ze Stanów Zjednoczonych oraz dr Jan Bagrowski.

### **3. ŁAŃCUCH OGNIOWY ZAPALNIKA DO AMUNICJI KALIBRU 25 MM**

#### **3.1. Podstawowe wymagania sformułowane dla zapalnika**

Projekt zapalnika powstał w Z.M. DEZAMET S.A. na podstawie wymagań podanych przez Zamawiającego, którym jest firma NAMMO Raufoss AS z Norwegii. NAMMO określiło Założenia Taktyczno-Techniczne dla zapalnika i amunicji oraz wykaz norm, związanych z projektowaniem amunicji i zapalników.

Podstawową normą, której wszystkie wymagania musiały być spełnione bezwzględnie, jest MIL-STD-1316E. Określa ona kryteria bezpieczeństwa dla projektowanych zapalników, w celu zapewnienia wymaganego poziomu bezpieczeństwa podczas całego cyklu życia wyrobu, czyli od rozpoczęcia produkcji do chwili wystrzału i osiągnięcia bezpieczniej odległości na torze lotu.

Konstrukcja zapalnika wymusiła sposób zainicjowania łańcucha ogniowego, który polega na nakłuciu jego pierwszego elementu iglicą. Zastosowanie elementu pirotechnicznego posiadającego mieszaninę inicjującą czułą na nakłucie oraz materiał wybuchowy inicjujący wymusiło, zgodnie z wymogami normy, przerwanie łańcucha ogniowego, czyli oddzielenie inicjatora od pobudzacza za pomocą przegrody.

### 3.2. Opis działania łańcucha ogniowego

Łańcuch ogniowy zapalnika do amunicji kalibru 25 mm, opracowany w Z.M. DEZAMET S.A., składa się z inicjatora oraz pobudzacza.

Inicjator znajdujący się na początku łańcucha ogniowego przyjmuje impuls energii kinetycznej z iglicy mechanizmu uderzeniowego i po zainicjowaniu przekazuje energię do pobudzacza. W zapalniku uzbrojonym inicjator poprzez niewielką szczelinę powietrzną inicjuje pobudzacza, natomiast w zapalniku nieuzbrojonym produkty wybuchu inicjatora zostają pochłonięte przez przegrodę.

Inicjowanie pobudzacza przez szczelinę odbywa się poprzez oddziaływanie energii kinetycznej napędzanych wybuchem elementów inicjatora. Parametry inicjatora i pobudzacza, zapewniające prawidłowe funkcjonowanie zapalnika, zostały ustalone w wyniku przeprowadzenia wielu obliczeń, symulacji komputerowych oraz prób doświadczalnych.

## 4. METODY KONSTRUOWANIA ELEMENTÓW ŁAŃCUCHA OGNIOWEGO

Prace nad konstrukcją łańcucha ogniowego zapalnika do 25 mm amunicji zostały podzielone na kilka, wzajemnie ze sobą powiązanych etapów.

W pierwszym etapie prace ukierunkowane były na dobór materiałów wybuchowych do elaboracji elementów łańcucha ogniowego. Materiały wybuchowe musiały spełniać wymagania normy MIL-STD-1316E oraz zapewnić niezawodne funkcjonowanie zapalnika, w całym zakresie parametrów określonych w ww. wymaganiach.

Drugi etap prac polegał na zgromadzeniu informacji o wybranych materiałach wybuchowych. Informacje te są dostępne prawie wyłącznie w anglojęzycznych publikacjach naukowych [3-5]. Do najistotniejszych informacji w tym względzie należą:

- a) optymalna gęstość prasowania wybranego materiału wybuchowego,
- b) wykresy przedstawiające gęstość prasowania w funkcji ciśnienia prasowania,
- c) wykresy odległości przejścia materiału wybuchowego w detonację w funkcji ciśnienia impulsu inicjującego oraz gęstości ładunku (tak zwane „pop-plot”),
- d) stałe Hugoniota dla wybranych materiałów wybuchowych,
- e) zależności prędkości detonacji w funkcji gęstości materiału wybuchowego,
- f) parametry pirotechnicznych mas inicjujących,
- g) średnice krytyczne wybranych materiałów wybuchowych.

W trzecim etapie prac, po przeprowadzeniu niezbędnych obliczeń, zaprojektowano inicjator i pobudzacze oraz sposób ich rozmieszczenia w zapalniku.

Czwartym etapem prac była analiza wyników symulacji działania łańcucha ogniowego oraz wprowadzanie ewentualnych poprawek do projektu. W przypadku łańcucha ogniowego opracowanego w Z.M. DEZAMET S.A. analiza wyników badań wykazała, że spełnia on założone wymagania. W związku z tym rozpoczęto kolejny (piąty) etap prac, który polegał na wykonaniu elementów łańcucha ogniowego oraz niezbędnego oprzyrządowania technologicznego. Szóstym etapem prac było przeprowadzenie testów.

#### 4.1. Opis metody konstruowania pobudzaczy

Pobudzacze zapalnika do amunicji kalibru 25 mm służy do zainicjowania ładunku materiału wybuchowego w pocisku. Jego projektowanie rozpoczęto od wybrania jednego, z kilku dopuszczonych normą MIL-STD-1326E, materiału wybuchowego oraz ustalenia jego parametrów. Do najistotniejszych informacji w tym względzie należą:

- a) średnica krytyczna,
- b) wykres zależności gęstości prasowania od ciśnienia prasowania,
- c) wykres odległości przejścia w detonację w funkcji ciśnienia impulsu inicjującego oraz gęstości ładunku,
- d) minimalna ilość materiału wybuchowego w pobudzaczu do zainicjowania ładunku zasadniczego pocisku.

Przy doborze gęstości prasowania materiału wybuchowego należało mieć na uwadze, że:

- a) czułość materiału wybuchowego jest tym większa, im mniejsza jest jego gęstość,
- b) wraz ze zmniejszaniem gęstości zaprasowanego materiału wybuchowego zmniejsza się jego spójność – ładunek o małej spójności ma małą wytrzymałość i może zostać rozrzucony w procesie inicjowania. Zmniejszanie gęstości materiału wybuchowego powoduje również przyjęcie w jednostce czasu mniejszej ilości energii, co negatywnie wpływa na propagację fali detonacyjnej. Jest to istotne, jeżeli przewidujemy inicjowanie materiału wybuchowego za pomocą energii kinetycznej rozpędzonego elementu.

Zawarte w literaturze [3-5] dane dotyczące gęstości prasowania materiałów wybuchowych są wyznaczane przy użyciu próbek w kształcie walca o średnicy i wysokości około 1 cala. W rozważanym przypadku konieczne było przeprowadzenie badań na próbkach o wymiarach rzędu kilku milimetrów. Celem badań było znalezienie optymalnej gęstości prasowania materiału wybuchowego dla pobudzacza, niezbędnej do niezawodnego pobudzania go zastosowanym inicjatorem.

Znając średnicę krytyczną, odległości przejścia w detonację w funkcji gęstości prasowania i ciśnienia impulsu inicjującego oraz minimalną ilość materiału wybuchowego konieczną do zainicjowania ładunku materiału wybuchowego pocisku, ustalono wymiary ładunku pobudzacza i jego kształt.

#### 4.2. Opis zastosowanej metody konstruowania inicjatorów

Pobudzacza zapalnika do amunicji kalibru 25 mm jest inicjowany energią kinetyczną rozprężonego elementu inicjatora.

Na wstępie realizacji projektu został stworzony wykaz wymagań, jakie powinien spełniać inicjator, aby zapalnik działał niezawodnie i posiadał wymagany poziom bezpieczeństwa. Podstawowym wymaganiem były minimalne wymiary inicjatora, od których zależała ilość materiału wybuchowego zawartego w inicjatorze, przekładająca się z kolei na bezpieczeństwo użytkownika zapalnika. Oznacza to, że podczas niezamierzonego zadziałania inicjatora w zapalniku nieuzbrojonym, ciśnienie produktów wybuchu materiałów wybuchowych musi być na tyle małe, aby zapalnik nie uległ zniszczeniu [11].

Kolejnym krokiem było dobranie kombinacji materiałów wybuchowych inicjatora, czyli mieszaniny inicjującej, materiału wybuchowego inicjującego i materiału wybuchowego kruszącego (wtórnego). Mieszanina wybuchowa inicjująca musiała być czuła na nakłucie iglicą mechanizmu uderzeniowego. Natomiast materiał wybuchowy kruszący (wtórny) musiał przejść w detonację podczas inicjowania, a jego produkty detonacji musiały napędzić elementy inicjatora do żądanej wartości prędkości. Materiały wybuchowe musiały być również dopuszczone przez odpowiednie normy militarne i dostępne w handlu.

Prace konstrukcyjne nad inicjatorem rozpoczęto od wyznaczenia gęstości prasowania wybranego materiału wybuchowego oraz grubości jego warstwy. Gęstość prasowania i grubość warstwy musiały być dobrane w taki sposób, aby:

- a) produkty detonacji zainicjowały ładunek materiału wybuchowego kruszącego,
- b) deflagracja przeszła w detonację,
- c) detonacja przebiegała bez zakłóceń,
- d) fala detonacyjna w materiale wybuchowym kruszącym (wtórnym) posiadała odpowiednią szybkość do napędzenia elementów inicjatora, które z kolei inicjują pobudzacza.

Do wyznaczenia gęstości prasowania i grubości warstwy materiału wybuchowego wykorzystane zostały tak zwane wykresy POP-PLOT [4]. Przedstawiają one zależność odległości, na której zainicjowana reakcja chemiczna w materiale wybuchowym przechodzi w detonację, w funkcji gęstości prasowania danego materiału wybuchowego i ciśnienia, którym materiał jest inicjowany.

Kolejnym krokiem, po określeniu wyżej opisanych parametrów materiałów wybuchowych inicjatora, było wyznaczenie parametrów elementu, który po rozpędzeniu miał inicjować pobudzacza za pomocą swojej energii kinetycznej. Wykorzystano w tym celu równania Gurneya [6, 7]. Są to równania umożliwiające wyznaczenie prędkości, jaką uzyskają elementy z materiału o dowolnej gęstości i grubości, podczas rozpędzania produktami wybuchu materiałów wybuchowych.

Znając warunki początkowe konieczne do poprawnego zainicjowania pobudzacza, tj. poziom ciśnienia inicjującego i czas trwania impulsu inicjującego, można było wyznaczyć wymaganą prędkość przemieszczającego się elementu inicjatora.

Wykorzystując równania Gurneya, przy znanych parametrach materiału wybuchowego kruszącego (wtórnego) w inicjatorze, w postaci gęstości i grubości jego warstwy, dokonano doboru materiału dla przemieszczającego się elementu, który inicjuje pobudzacza oraz wyznaczono grubość tego elementu.

### 4.3. Wyniki projektowania łańcucha ogniowego

Na etapie obliczeń analitycznych i dokumentacji konstrukcyjnej przeprowadzono niezbędne symulacje numeryczne. Wyniki symulacji wykazały poprawne zaprojektowanie łańcucha ogniowego.

W kolejnym etapie prac wykonano obiekty do badań i przeprowadzono testy niezawodności działania łańcucha ogniowego oraz testy bezpieczeństwa [11], w całym zakresie temperatur użytkowania zapalnika, to jest w temperaturach odpowiednio:  $-57^{\circ}\text{C}$ ,  $+21^{\circ}\text{C}$  oraz  $+80^{\circ}\text{C}$ . Wyniki z badań doświadczalnych były zgodne z wynikami symulacji numerycznych. Potwierdziły to także przeprowadzone testy.

- a) Podczas testów niezawodności działania łańcucha ogniowego uzyskano 100% wyników pozytywnych (wszystkie pobudzacze uległy detonacji).
- b) Podczas testu bezpieczeństwa przeprowadzonego według normy MIL-STD-331C również uzyskano 100% wyników pozytywnych.
- c) W żadnym przypadku nie doszło do zainicjowania pobudzacza w zapalniku nieuzbrojonym.

Ostateczne potwierdzenie poprawności działania konstrukcji łańcucha ogniowego odbyło się podczas badań poligonowych, strzelaniem amunicją kalibru 25 mm uzbrojoną w zaprojektowany zapalnik. W tym przypadku również uzyskano 100% wyników pozytywnych.



## 5. PODSUMOWANIE I WNIOSKI

1. Podstawą do poprawnego skonstruowania łańcucha ogniowego każdego zapalnika jest znajomość praw rządzących działaniem materiałów wybuchowych, ich parametrów oraz wymagań, jakie stawiane są w normach dotyczących zapalników.
2. Najefektowniejszą (najbardziej godną polecenia) metodą projektowania łańcuchów ogniowych jest zastosowanie wzajemnie powiązanych obliczeń, symulacji komputerowych i badań doświadczalnych.
3. Uzyskane wyniki funkcjonalnych badań laboratoryjnych oraz poligonowych łańcucha ogniowego były zgodne z wynikami obliczeń i symulacji komputerowych.
4. Wyniki z badań doświadczalnych mogą być wykorzystywane do walidacji modeli komputerowych funkcjonowania zapalników.
5. Zastosowanie metodyki opisanej w niniejszej pracy pozwoliło skonstruować zapalnik, który spełnia wszystkie wymagania normy MIL-STD-1316E.

## LITERATURA

- [1] Hornung S., *Podstawy konstrukcji zapalników*, Wydawnictwa Politechniki Warszawskiej, Warszawa, 1961.
- [2] Wasiliew M., *Teoria projektowania zapalników*, Wydawnictwo MON, Warszawa, 1955.
- [3] *LASL Shock Hugoniot Data*, University of California Press, 1980.
- [4] *LASL Explosive Property Data*, University of California Press, 1980.
- [5] TM 9-1300-214, *Military Explosives*, Headquarters, Department of the Army, 1984.
- [6] Yadav H.S., Initiation of detonation in explosives by impact of projectiles, *Defence Science Journal*, vol. 56, no. 2, pp. 169-177, 2006.
- [7] Kennedy J.E., *Gurney Energy of Explosives: Estimation of the Velocity and Impulse Imparted to Driven Metal*, Sandia Laboratories, Albuquerque, New Mexico, 1970.
- [8] Norma Obronna NO-13-A233 *Systemy zapalnikowe. Zapewnienie bezpieczeństwa. Wymagania konstrukcyjne.*
- [9] Norma Obronna NO-13-A234 *Systemy zapalnikowe. Zapewnienie bezpieczeństwa. Metody konstrukcyjne.*
- [10] Military Standard MIL-STD-1316E *Fuze design, safety criteria.*
- [11] Military Standard MIL-STD-331C *Fuze and fuze components, environmental and performance tests for.*

## **Design of Explosive Trains of Fuzes**

Grzegorz JĄCZEK, Józef GACEK, Eva FRIIS

**Abstract.** This paper presents the examples of fuze explosive trains designing methods, on the example of 25-mm ammunition fuze. There have been described two, possible to choose, design methods for explosive trains of fuzes. The first method relies on existing solutions using the serial-produced fuzes. The second one is to develop a completely new design explosive train. This paper focuses on the second method of design of explosive trains which can be implemented in two different ways. The first way is very time consuming, long-lasting and needs an experimental work to be done. In this method, we obtained the desired result by „trial and error method”. Second method uses mutually interrelated analytical calculation methods, computer simulations, experiments, and tests. In the case of this explosive train of fuze for 25-mm ammunition, the second method for design was used. As a result of that, the operating principle of explosive train of this fuze and subsequent stages of work on its components was described. The results of experimental tests and live tests on proving ground with the use of 25-mm ammunition was described as well.

**Keywords:** mechanics, fuze, explosive train of fuze, initiator, booster, explosives