



NOWY UKŁAD INICJOWANIA PROCESU DETONACJI

A NEW DETONATION INITIATOR

Marcin NITA, Radosław WARCHOŁ
Wojskowy Instytut Techniczny Uzbrojenia
Military Institute of Armament Technology

Streszczenie: W pracy zaprezentowano konstrukcję i wyniki badań nowego układu inicjowania procesu detonacji. Układ nie zawiera żadnych inicjujących materiałów wybuchowych, a proces inicjowania detonacji realizowany jest na drodze udarowego oddziaływania lineru (korpusu) na kruszący materiał wybuchowy. W badaniach, do napędzania (wybuchowego rozpęczenia) lineru wykorzystano materiały wysokoenergetyczne, takie jak pentryt lub proch nitrocelulozowy. Zbadano prędkość ekspansji ścianki bocznej lineru oraz wyznaczono wartość jej energii kinetycznej. Wyznaczono całkowity czas zadziałania nowego układu inicjowania detonacji oraz potwierdzono jego przydatność do pobudzania detonacji kruszących materiałów wybuchowych.

Słowa kluczowe: inicjujące materiały wybuchowe, detonacja, zapalnik, wrażliwość materiału wybuchowego na uderzenie

1. Wstęp

Obecnie stosowane układy inicjowania procesu detonacji w przeważającej części wykorzystują zjawisko łatwego przejścia z palenia do detonacji inicjujących materiałów wybuchowych, takich jak azydek ołowiu, trinitrorezorcynian ołowiu. Mimo wysokiej skuteczności działania, układy tego typu charakteryzują się szeregiem cech negatywnych, np. podatnością na incydentalne zainicjowanie (z powodu obecności wrażliwych na bodźce mechaniczne inicjujących materiałów wybuchowych), jak również koniecznością zachowania wyjątkowych środków bezpieczeństwa w trakcie ich produkcji. Najczęściej bazują na związkach metali ciężkich, np. ołowiu, co jest wadą z punktu widzenia ochrony

Abstract: The design and test results of a new initiator of detonation process are presented in the paper. The system does not include any initiating explosives and the process of initiating the detonation is performed through the impact action of a liner (body) against the high explosive (HE) material. The high energetic materials such as pentryt or nitrocellulose powder were used for propelling (explosive bulging) the liner. The expanding velocity of the liner side wall was investigated and the value of its kinetic energy was determined. Total time of operation for the new detonation initiating unit was determined and its suitability for initiating detonation of HE was confirmed.

Keywords: initiating explosives, detonation, fuse, explosives' sensitivity to impact

1. Introduction

Currently used system for initiating the detonation process mostly exploit the phenomenon of easy transition of initiating explosives such as lead azide or lead tri-nitro-resorcinian from burning to detonation. In spite of high effectiveness these systems have many drawbacks e.g. the susceptibility against incidental initiation (because of the presence of initiating explosives which are sensitive to mechanical stimuli) and a need for using special precautions at manufacture. Moreover they are based on compounds consisting of the heavy metals like the lead what is disadvantage from the point of environmental protection [1-3].

środowiska [1-3].

W wielu ośrodkach naukowych podjęto prace badawcze, których celem było otrzymanie nowych inicjujących materiałów wybuchowych, które mogłyby zastąpić obecnie stosowany azydek ołowiu i trinitrorezorcynian ołowiu. Materiały tego typu powinny cechować się niewielką wrażliwością na zainicjowanie, np. w wyniku uderzenia, wyładowania elektrostatycznego, wykazywać odpowiednią trwałość chemiczną i zgodność kontaktową z popularnymi materiałami konstrukcyjnymi, jak również kruszącymi materiałami wybuchowymi. Powinny też charakteryzować się znikomą rozpuszczalnością w wodzie, a w czasie wybuchowego rozkładu nie wydzielać związków metali ciężkich i chloru. Substancje spełniające część lub całość tych wymagań zostały znalezione m.in. w grupie związków wysokoazotowych i związków koordynacyjnych. Niestety, na przeszkodzie do ich praktycznego użycia w środkach inicjowania detonacji stoi najczęściej wiele przeszkód, takich jak: ekonomiczne, trudności w otrzymywaniu odpowiedniej postaci krystalicznej, niewielka wydajność otrzymywania i inne.

Praktycznie znane są również inne konstrukcje układów pobudzania detonacji nie zawierające inicjujących materiałów wybuchowych, np. bazujące na zjawisku elektrowybuchu przewodnika lub półprzewodnika. Ich niekwestionowaną zaletą jest ogromna szybkość działania, która najczęściej jest mniejsza od 10 μ s. Niestety, do poprawnej pracy wymagają wysokich napięć rzędu setek woltów. Istnieją też inne rozwiązania układów inicjacji detonacji, bazujące np. na zdolności niektórych klasycznych kruszących materiałów wybuchowych, (np. heksogenu lub pentrytu) przejścia z palenia się w detonację, lecz ich praktyczne użycie wymagałoby regulacji opłat związanych z ochroną patentową [4-6].

W tej pracy podjęto próbę opracowania i zbadania nowego układu inicjowania procesu detonacji, który nie zawierałby w swej konstrukcji wrażliwych inicjujących materiałów wybuchowych oraz którego całkowity czas działania nie przekraczałby 10 ms.

In many scientific centres the research work has been launched to obtain new initiating explosives which could replace currently used lead azide or lead trinitro-resorcinian. Such materials have to be characterised by a low level of sensitivity against initiation e.g. in the result of a hitting, electrostatic discharge, and moreover they have to possess relevant chemical durability and contact complacency both with typical designing and HE materials. They also have to possess minimal solubility in water and during the explosion not to emit the compounds consisting of heavy metals and chlorine. The material that meets partly or entirely these requirements was found in a group of high-nitro compounds and coordinating compounds. Unfortunately there are some barriers preventing their practical use as initiators of detonation such as economical, difficulties in obtaining a suitable crystal form, low production yield, etc.

In practice there are known other designs of systems initiating the detonation which does not include initiating explosives e.g. basing on the electro-explosion of the conductor or semi-conductor. Their great advantage is a high speed of action that is usually less than 10 μ s but unfortunately they require for correct operation the high voltages on the levels of a few hundred V. There are also other solutions of systems initiating detonation which are based for example on the capacities of some conventional HE materials like hexogen or pentryt to transition from burning into the detonation but their practical use would require the implementation of regulations concerning the patent protection [4-6].

In the paper below an effort has been undertaken to develop and test a new system initiating the detonation process that does not include in the design the sensitive initiating explosives and with the total time of action less than 10 ms.

2. Część praktyczna

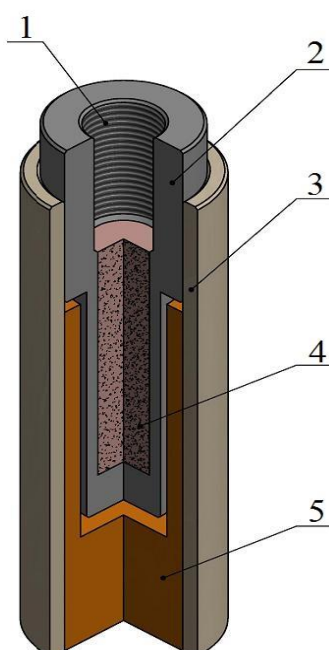
2.1. Koncepcja nowego układu inicjowania detonacji

Projekt nowego układu inicjowania detonacji przedstawiono na rysunku 1. Według autorów pracy układ ten powinien składać się z następujących elementów: gniazda układu zapłonowego z gwintem (1), korpusu - (linera) (2) wypełnionego materiałem wysokoenergetycznym (4) oraz korpusu (tulei zewnętrznej) (3) zawierającej klasyczny kruszący materiał wybuchowy (5) taki jak np. RDX.

2. Practical part

2.1. Concept of a new system initiating detonation

The concept of a new system initiating detonation is presented in figure 1. According to the authors the system has to consist of following parts: threaded socket of the igniting system (1), body (liner) (2) filled with the high energetic material (4) and body (external sleeve) (3) including conventional HE material (5) such as e.g. RDX.



Rys. 1. Projekt nowego układu inicjowania detonacji, w którym:
1-gniazdo z gwintem do wkręcania układu zapłonowego, 2-korpus ładunku wewnętrznego (liner), 3 - korpus (tuleja zewnętrzna), 4-materiał wysokoenergetyczny, 5-kruszący materiał wybuchowy

Figure 1. Concept of a new system initiating detonation:
1 - threaded socket to screw the igniting system in, 2-body of the internal charge (liner), 3 - body (outer sleeve), 4-high energetic material, 5-HE material

Hipotetyczne działanie układu przedstawionego na rysunku 1 jest następujące: impuls elektryczny podany od elementu zapłonowego powoduje jego zadziałanie i zapłon materiału wysokoenergetycznego (4), którego spalanie się powiązane jest z emisją produktów gazowych. Generowane produkty gazowe powodują wzrost ciśnienia w korpusie wewnętrznym (2) w wyniku tego następuje jego radialne rozpęczanie.

The assumed operation of the system presented in figure 1 is as follows: electric pulse sent to the igniting element causes its activation and ignites the high energetic material (4) providing the emission of gaseous products at its burning. The generated gaseous products make the pressure in internal body (3) increase what results in its radial

Zwiększając swe wymiary zewnętrzne korpus (liner) działa udarowo na kruszący materiał wybuchowy (5) znajdujący się wokół niego. Poddany działaniu ekspandującego lineru kruszący materiał wybuchowy (5) pobudza się do detonacji. Detonacja przemieszcza się w stronę końca ładunku kruszącego materiału wybuchowego i może zostać przekazana na sąsiednie ładunki wybuchowe.

W opisywanym układzie wybuchowym, czynnikiem inicjującym jest energia kinetyczna ścianki bocznej ekspandującego lineru (2). O podatności do wybuchowego rozkładu materiału wybuchowego pod wpływem tego rodzaju bodźca decyduje jego wrażliwość na uderzenie. Przyjmuje ona różną wartość w przypadku różnych materiałów wybuchowych - od ułamków dziesiątej dla inicjujących materiałów wybuchowych, do kilkudziesięciu dziesiątych dla mało wrażliwych materiałów wybuchowych.

Tak więc, prawidłowość działania nowego układu inicjowania detonacji zależy od prędkości radialnej ekspandującego korpusu wewnętrznego, co przekłada się bezpośrednio na energię dostarczaną do kruszącego materiału wybuchowego (5) zgodnie ze wzorem:

$$E = 0,5mv^2$$

gdzie: E – energia kinetyczna dostarczana do materiału wybuchowego, m – masa ekspandującego lineru, v – prędkość lineru.

W tabeli 1 przedstawiono, jako odniesienie wyniki pomiarów wrażliwości na uderzenie wybranych kruszących materiałów wybuchowych. Pomiary wykonano aparatem Kasta powtarzając próbę sześciokrotnie dla ustalonej wysokości spadku ciężarka. Otrzymane wartości odpowiadają minimalnej energii kinetycznej, jaką należało dostarczyć na drodze uderzenia tak, by w 1 z 6 prób badany materiał wybuchowy uległ zainicjowaniu.

Jak wynika z tabeli, nowy układ inicjowania detonacji powinien działać prawidłowo, jeśli ekspandujący liner dostarczy około 20 J energii oraz jeśli po zainicjowaniu wybuchowego rozkładu w materiale wybuchowym (5) rozwinie się zjawisko detonacji.

bulging. The body (liner) increases its external dimensions and provides shock wave to surrounding HE material (5). The HE material (5) subjected to action of expanding liner becomes activated to detonation. The detonation moves to the end of HE material and may be transferred to the adjacent explosive charges.

The kinetic energy of expanding liner (2) side wall is the initiating factor in described explosive system. The sensitivity of explosive material to the impact decides about susceptibility to explosive decomposition. It accepts different values for particular explosives starting from fraction of joule for initiating materials and ending at dozens of joules for insensitive explosives.

In this way the proper function of the new system for initiating detonation depends on the radial velocity of expanding internal body what translates directly on the energy provided to the HE material (5) according to formula:

where: E – kinetic energy provided to explosive material, m – mass of expanding liner, v – liner's velocity.

Table 1 includes as the reference the results of measurements of sensitivity against impact for some selected HE materials. Kast's apparatus was used for measurements and tests were repeated six times for a set height of dropping the testing load. The received values correspond to minimal kinetic energy through the impact required to the initiation of tested explosive material in one of six trials.

The above table indicates that the new system for initiating detonation has to function correctly if the expanding liner provides the energy on the level of ca. 20 J and after the initiation of explosive decomposition the process of detonation develops within the explosive material (5).

Tabela 1. Minimalna energia kinetyczna potrzebna do pobudzenia wybranego materiału wybuchowego.

Table 1. Minimal kinetic energy needed for the initiation of indicated explosive material.

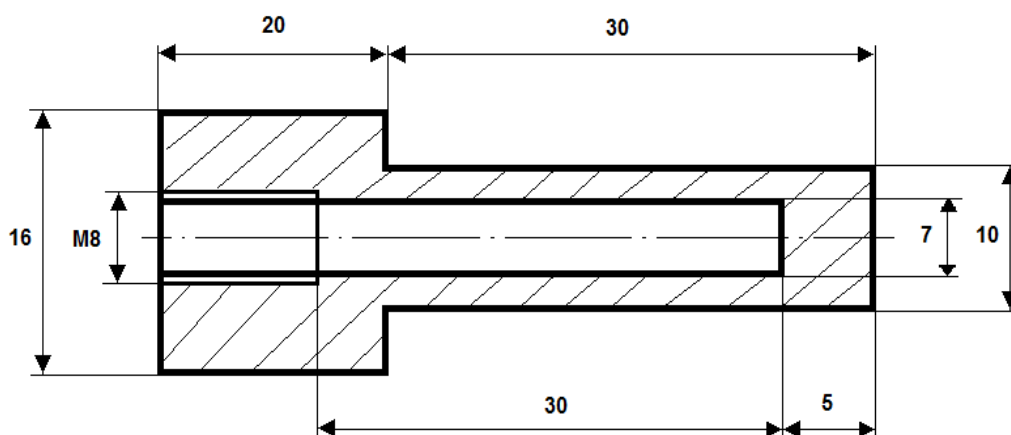
Badany materiał wybuchowy/ <i>Tested explosive material</i>	Energia/Energy, J
Pentryt	3
RDX	5
TNT	14

2.2. Koncepcja i badania linera do nowego układu inicjowania detonacji

Kolejnym etapem w badaniach nad nowym układem inicjowania detonacji było zaprojektowanie, wykonanie, a następnie zbadanie skuteczności działania odpowiedniego linera według rysunku 2. Głównym celem badań prowadzonych na tym etapie pracy był pomiar prędkości ekspansji jego ścianki bocznej oraz energii kinetycznej odpowiadającej temu procesowi.

2.2. The concept and tests of liner for the new detonation initiating system

The next step on the investigations of the new detonation initiating system concerned the designing, preparing and testing the functional efficiency of a suitable liner according to figure 2. The main goal of measurements carried out on this stage of the work was the measurement of liner side wall velocity and kinetic energy corresponding to this process.

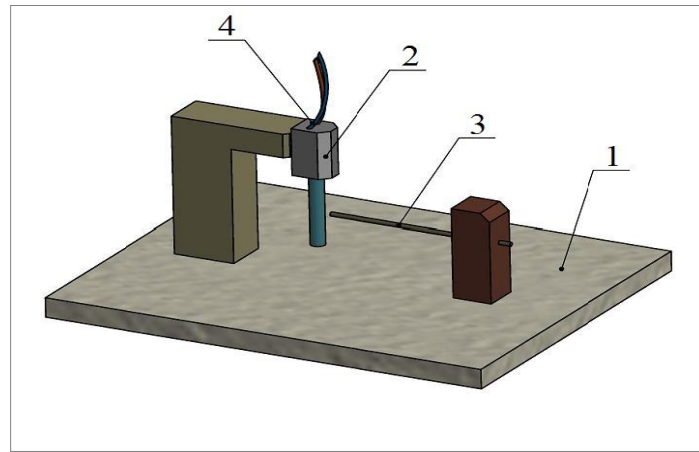


Rys. 2. Projekt linera do nowego układu inicjowania detonacji

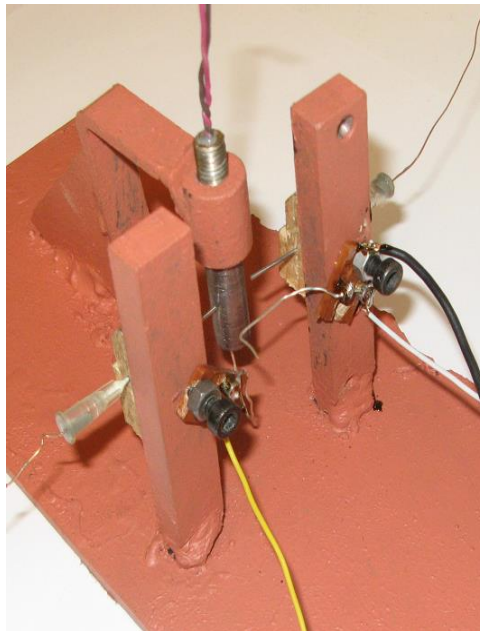
Figure 2. Design of the liner for the new detonation initiating system

Jako materiał konstrukcyjny wykorzystano miękką stal St3. Do pomiaru prędkości ścianki bocznej wykonano układ, widoczny na rysunkach 3 i 4. W układzie tym liner przytwierdzony był do masywnego stalowego korpusu. Wewnątrz linera umieszczono krystaliczny pentryt o gęstości usypowej (około $0,7 \text{ g/cm}^3$). Układ zapłonowy stanowiła elektryczna spłonka zapalająca MB-2N inicjowana impulsem elektrycznym pochodzącym z zapalarki elektrycznej TZK-100M.

The soft steel St3 has been used as the designing material. The velocity of the side wall was measured by the set-up presented in figures 3 and 4. In the set-up the liner is fixed to the bulk steel body. Inside the liner the crystalline pentryt having the free strewn density ca. 0.7 g/cm^3 is placed. The electric igniting primer MB-2N initiated by the electric pulse from the electric igniter TZK-100M was used as an igniting system.



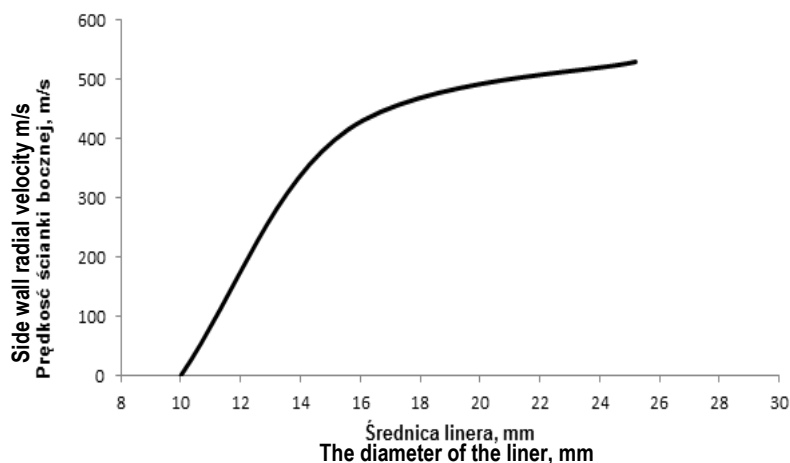
Rys. 3. Schemat układu wykorzystanego do badań linera w którym: 1-stalowa podstawa, 2-badany układ (liner), 3-igłowy czujnik zwarcioowy, 4-układ zapłonowy
Figure 3. Concept of a set-up used for testing the liner: 1-steel base, 2-tested device (liner), 3-pin short circuiting sensor, 4-igniting system



Rys. 4. Układ badawczy do pomiaru prędkości radialnej ścianki bocznej linera
Figure 4. Testing set-up for liner side wall radial velocity measurement

Prędkość radialną ścianki bocznej linera mierzono czujnikami zwarcioowymi typu igłowego, połączonymi z elektronicznym miernikiem czasu. Na tym etapie wyznaczono również czas zwłoki od podania impulsu elektrycznego do momentu zwiększenia się średnicy linera o 1,2 mm (o 20%). Pomiar ten wykonano oscyloskopem Rigol DS10 52. Otrzymane wyniki prędkości radialnej ścianki bocznej przedstawiono na rysunku 5.

The radial velocity of liner side wall was measured by pin short circuiting sensors connected to a time meter. At this stage the delay time between the moment when electric pulse is applied and the increase of liner diameter by 1.2 mm (by 20%) was also measured. The measurement was made by oscilloscope Rigol DS10 52. Received results of side wall radial velocities are presented in figure 5.



Rys. 5. Prędkość radialna ścianki bocznej linera w funkcji średnicy zewnętrznej ekspandującego linera

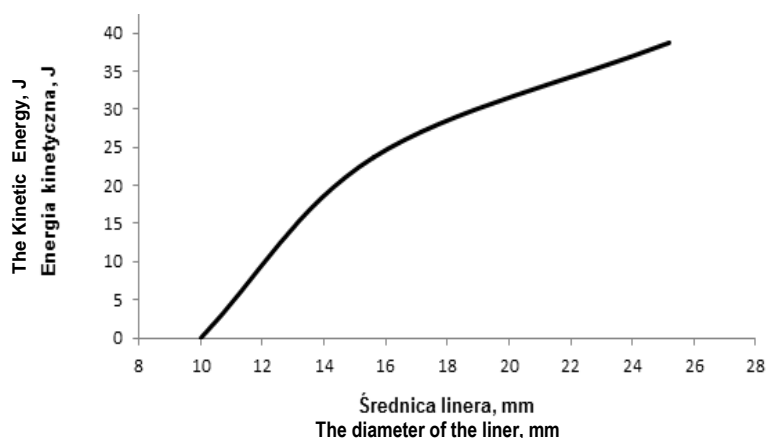
Figure 5. Liner as a function of expanding liner external diameter

2.3. Energia kinetyczna ekspandującego linera

Warunkiem niezbędnym do prawidłowego działania nowego układu inicjowania jest dostarczenie odpowiednio dużej energii przez liner do kruszącego materiału wybuchowego. Znając prędkość radialną ścianki bocznej korpusu wewnętrznego (linera) możliwe było obliczenie jego chwilowej energii kinetycznej. Należy pamiętać, że zjawisko ekspansji wiąże się ze stopniową zmianą grubości ścianki ekspandującego linera, a więc i jego energią kinetyczną. W celu wyznaczenia wartości energii kinetycznej przyjęto, że ekspansji ulega pierścień o wysokości tylko 1 mm, średnicy wewnętrznej 7 mm i zewnętrznej 10 mm. Wyniki tych obliczeń przedstawiono w postaci wykresu na rys. 6.

2.3. Kinetic energy of expanding liner

The necessary condition of proper operation of the new initiating system is to provide the required amount of energy through the liner to the HE material. Knowing the radial velocity of the internal body side wall (liner) it was possible to calculate its momentary kinetic energy. It has to be remembered that the phenomenon of expansion is linked with a gradual change of the wall thickness of the expanding liner and consequently with its kinetic energy. In order to find out its kinetic energy it has been taken that the expansion is undergoing for a ring having the height only 1 mm, internal diameter 7 mm and external 10 mm. The results of these calculations are presented as a graph in figure 6.



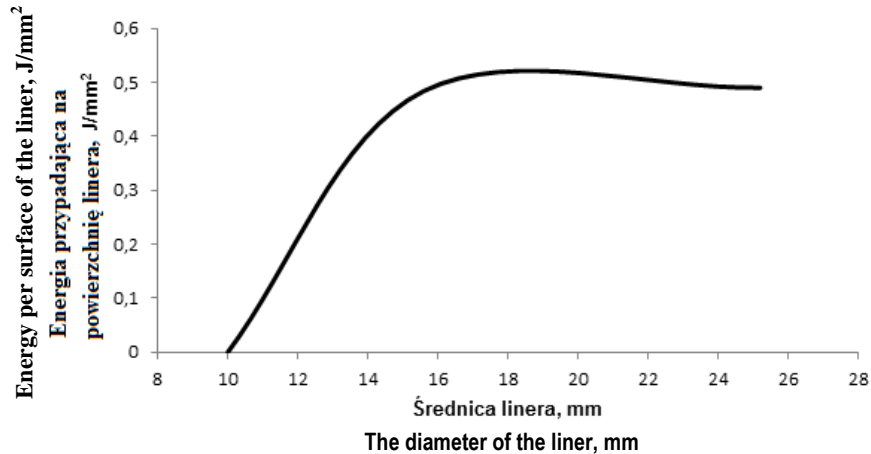
Rys. 6. Energia kinetyczna ekspandującego pierścienia o wysokości 1 mm w funkcji jego średnicy zewnętrznej

Figure 6. Kinetic energy of expanding ring with the height of 1 mm as the function of its internal diameter

W związku z tym, że w trakcie ekspansji | Regarding the fact that in the process of

zmniejsza się grubość pierścienia, a zwiększa jego średnica i pole powierzchni bocznej, to wyznaczono również stosunek energii kinetycznej do jego powierzchni bocznej. Wyniki obliczeń przedstawiono na poniższym rysunku 7.

expansion the thickness of the ring decreases and the diameter both with the area of side surface increase the ratio between the kinetic energy and its side surface has been also determined. The results of calculations are presented in figure 7 below.



Rys. 7. Stosunek energii kinetycznej pierścienia do jego powierzchni w funkcji średnicy linera

Figure 7. The ratio of the ring kinetic energy to its surface in function of liner diameter

Jak widać na rys. 6 wartość energii kinetycznej linera w momencie uzyskania przez niego średnicy 14 mm jest wystarczająca do pobudzenia większości klasycznych kruszących materiałów wybuchowych. Jednocześnie na rys. 7 widać, że wartość energii kinetycznej przypadającej na 1 mm² powierzchni linera rośnie do chwili, w której osiąga on średnicę około 15 mm. W kolejnych etapach ekspansji stosunek energii kinetycznej do pola powierzchni bocznej linera utrzymuje stałą wartość aż do średnicy około 21 mm.

Mając na uwadze powyższe wyniki badań przyjęto, że tuleja zewnętrzna (2) z rysunku 1 powinna charakteryzować się średnicą wewnętrzną wynoszącą 15 mm.

2.4. Wykonanie nowego układu inicjowania detonacji i pomiar czasu jego zadziałania

Z praktycznego punktu widzenia, całkowity czas zadziałania układu inicjowania detonacji decyduje o jego potencjalnych zastosowaniach. W niniejszej pracy zbadano tę wartość w dwojaki sposób. Wyznaczono, bowiem czas od podania impulsu inicjującego do chwili zwiększenia się średnicy zewnętrznej linera o 1,2 mm (o 20%).

It can be seen in figure 6 that the value of liner kinetic energy in the moment when it gets the diameter 14 mm is sufficient to initiate the most number of conventional HE materials. At the same time the figure 7 shows that the value of kinetic energy at 1 mm² of liner surface is increasing to the moment when it gets the diameter of ca. 15 mm. In the next stage of expansion the ratio of kinetic energy to the liner side wall surface keeps on a constant value up to ca. 21 mm diameter.

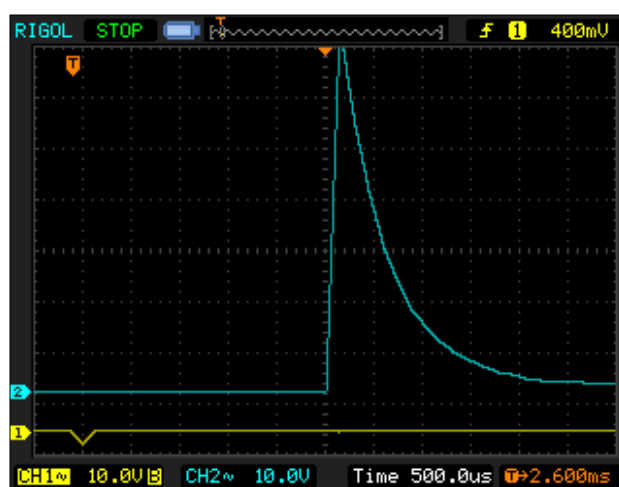
Taking into account the above results of tests it was accepted that the external sleeve (2) from figure 1 has to have the internal diameter of 15 mm.

2.4. Preparation of the new system initiating detonation and measurement its time of activation

From the practical point of view the total time of activation of the system initiating detonation decides about its potential applications. In the paper this value was investigated in two ways. Firstly the time passing between applying the initiating pulse and the moment when the external diameter of the liner increases by 1.2 mm (by 20%)

Zdaniem autorów ekspansja do takiej średnicy może się wiązać z momentem pobudzenia kruszącego materiału wybuchowego (5) zgodnie z oznaczeniem na rys. 1. W tym celu wykorzystano układ analogiczny jak na rysunku 3 z tą różnicą, że do pomiaru wykorzystano igłowy czujnik zwarcioowy zasilany napięciem około 100 V i połączony z wejściem kanałem nr 2 oscyloskopu Rigol DS10 52. Momentem startu był impuls prądowy podany na układ zapłonowy badanego układu (spłonkę MB-2N) oraz jednocześnie na wejście nr 1 będące triggerem oscyloskopu. Otrzymany oscylogram zaprezentowano na rys. 8.

was measured. According to authors the expansion to this diameter may correspond to the moment of initiation of the HE material (5) shown in figure 1. For this reason the same system as presented in figure 3 was used with a difference that now the pin short circuiting sensor powered by the voltage ca. 100 V and connected with channel 2 of oscilloscope Rigol DS10 52 was applied. The starting moment was in the while when the current pulse was applied to the igniting system of tested system (primer MB-2N) and simultaneously to the input No 1 that was also the oscilloscope's trigger. The obtained oscillogram record is presented in figure 8.



Rys. 8. Wyniki pomiaru czasu ekspansji linera o 20%

Figure 8. Results of time measurement for 20% liner expansion

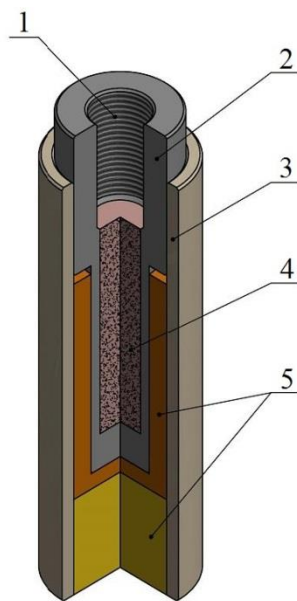
Z uzyskanego w ten sposób oscylogramu jasno wynika, że czas od podania impulsu elektrycznego do momentu zwiększenia się średnicy linera o 1,2 mm (o 20%) wynosi około 2,6 ms.

Następnie zbudowano kompletny, finalny układ inicjowania detonacji, przedstawiony na rysunku 9. Układ składał się z linera wypełnionego krystalicznym pentrytem. Inicjowanie jego zapłonu realizowano za pomocą spłonki elektrycznej MB-2N. Wokół linera znajdowała się stalowa tuleja o średnicy wewnętrznej wynoszącej 15 mm. Przestrzeń pomiędzy linerem, a powierzchnią wewnętrzną tulei wypełniono krystalicznym oktogenem, a wylot z tulei zaślepiono prasowanym ładunkiem wykonanym z mieszaniny flegmatyzowanego heksogenu z glinem (oznaczenie handlowe A-IX-2).

The oscillogram obtained in this way clearly indicates that the time between the application of the electric pulse and increasing the diameter of the liner by 1.2 mm (by 20%) is ca. 2.6 ms.

Next a complete final system initiating detonation was built and it is presented in figure 9. The system consists of the liner filled with the crystalline pentryt. The initiation of its ignition was made by means of the electric primer MB-2N. The liner was surrounded by the steel sleeve with internal diameter 15 mm. The space between the liner and the sleeve internal surface was filled with the crystalline octogene and the output of the sleeve was capped by a pressed charge made from the mixture of phlegmatized hexogen with aluminium (trade marking by A-IX-2).

Pomiar czasu zadziałania nowego układu inicjowania detonacji (rysunek 10) wykonano za pomocą oscyloskopu Rigol DS10 52 wyzwalanego analogicznie jak w przypadku badania czasu ekspansji średnicy linera o 20%. Moment pojawienia się fali uderzeniowej na zewnątrz układu inicjowania detonacji rejestrowano na jego wyjściu za pomocą czujnika zwarciovego zasilonego napięciem około 100 V i połączonego z kanałem nr 2 oscyloskopu. Otrzymany w ten sposób oscylogram zaprezentowano na rys. 11.



Rys. 10. Układ do pomiaru całkowitego czasu zadziałania

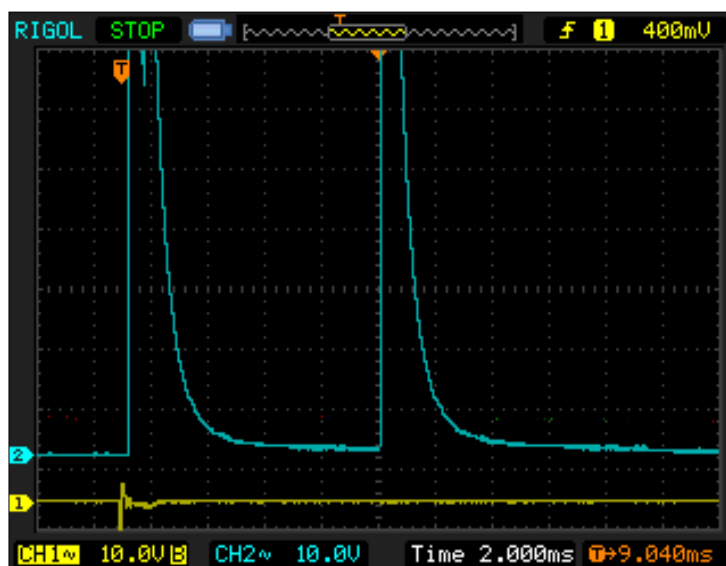
Figure 10. Set up for measuring total time of activation

The measurement of activation time for the new detonation initiating system (figure 10) has been performed by oscilloscope Rigol DS10 52 triggered in the same way as at investigation of the liner expansion by 20%. The moment when the blasting wave leaves outside the system initiating detonation was registered at its output by the short circuiting sensor powered by voltage ca. 100 V and connected to channel No 2 of the oscilloscope. The oscillogram obtained in this way is presented in figure 11.

Rys. 9. Finalny układ inicjowania detonacji:
1-gniazdo z gwintem do wkręcania układu zapłonowego, 2 - korpus ładunku wewnętrznego (liner), 3- korpus (tuleja zewnętrzna), 4-material wysokoenergetyczny, 5-kruszący material wybuchowy

Figure 9. Final detonation initiating system:
1- threaded socket to screw the igniting system in, 2- body of the internal charge (liner)body, 3- body (outer sleeve), 4- high energetic material, 5-HE material





Rys. 11. Oscylogram prezentujący całkowitą zwłokę zadziałania nowego układu inicjowania detonacji

Figure 11. Oscillogram showing the total delay of activation for the new detonation initiating system

2.5. Badania skuteczności działania nowego układu inicjowania detonacji

W celu potwierdzenia skuteczności działania nowego układu inicjowania detonacji wykonano szereg prób pobudzenia za jego pomocą ładunków kruszących materiałów wybuchowych ustawionych na stalowych płytach. Rolę pobudzanych materiałów wybuchowych stanowiły ładunki wykonane z 2,4,6-trinitrotoluenu, pentrytu z żywicą poliestrową (75/25), plastycznego materiału wybuchowego MWP-10M. W każdym z wykonanych testów nowy układ inicjowania detonacji wykazał swą pełną skuteczność działania, pobudzając ładunki kruszących materiałów wybuchowych. Potwierdzeniem pełnego zadziałania było przebicie stalowych płyt (świadków). Przeprowadzono też test polegający na pobudzeniu układu umieszczonego bezpośrednio na stalowej płycie grubości 2 mm. Również i w tym teście uzyskano wynik wskazujący na jego pełne prawidłowe działanie skutkujące przebicciem płyty (rys. 12).

2.5. Testing the functional effectiveness of the new detonation initiating system

In order to confirm the effectiveness of operation for the new detonation initiating system many trials were performed by means of it to initiate HE materials put in the steel plates. As initiated explosive materials were used charges made from 2,4,6-trinitrotoluen, pentryt with polyester resin (75/25), plastic explosive material MWP-10M. The new system initiating detonation has proved its full effectiveness of operation in each performed test by initiating HE charges. The confirmation of complete action was received in penetration of witness steel plates. Moreover a test was performed to initiate a stuff placed directly on the steel plate with 2 mm thickness. This test also has provided the result that confirms its entirely proper operation resulting in the plate penetration (figure 12).



Rys. 12. Test nowego układu inicjowania detonacji na stalowej płycie
Figure 12. Testing the new detonation initiating system on the steel plate

2.6. Rozszerzone badania nowego układu inicjowania detonacji

W ostatnim etapie pracy przygotowano wiele układów inicjowania detonacji zawierających różnorodne materiały wybuchowe, począwszy od luźno usypanego prochu nitrocelulozowego (proch NC), a skończywszy na 2,4,6-trinitrotoluenie (TNT) elaborowanym metodą zalewania. Układy po zaopatrzeniu w spłonkę elektryczną MB-2N ustawiano na stalowej płycie grubości 2 mm i inicjowano impulsem prądowym. O prawidłowym zadziałaniu układu decydowało przebicie płyty „świadka”. Na rys. 13 zaprezentowano elementy składowe układów bezpośrednio przed montażem, a w tabeli 2 zawarto uzyskane wyniki ich badań.

2.6. Extended tests over the new detonation initiating system

In the last stage of the work a lot of set-ups for initiating detonation were prepared with different explosive materials starting with loose heaped nitrocellulose powder (powder NC) and finishing on 2,4,6-trinitrotoluene (TNT) elaborated by casting. Consecutive set-ups were fitted with the electric primer MB-2N and set on the steel plate of 2 mm thickness and then initiated by the electric current pulse. The proper operation was qualified by the penetration of the witness plate. The components of the setups directly before the integration are presented in the figure 13 and in table 2 are presented the received results of their tests.



Rys. 13. Elementy składowe nowych układów inicjowania detonacji
Figure 13. Components of new systems for initiating detonation

Tabela 2. Wyniki badań i charakterystyka układów inicjowania detonacji wykorzystanych do

badan rozszerzonych

Table 2. Results of extended tests and characteristics of used detonation initiating systems

Lp. No	Korpus wewnętrzny <i>Internal body</i>	Gęstość MW g/cm ³ <i>Density of explosive material</i>	Tuleja zewnętrzna <i>External sleeve</i>	Gęstość MW g/cm ³ <i>Density of explosive material</i>	Wynik badania <i>Results of tests</i>	Uwagi <i>Notes</i>
1	Pentryt	0,7	TNT	1,6	Przebicie świadka <i>Witness penetrated</i>	Deflagracja <i>Deflagration</i>
2	Pentryt	0,7	Pentryt/ A-IX-2	0,7/1,84	Przebicie świadka <i>Witness penetrated</i>	Detonacja <i>Detonation</i>
3	Pentryt	0,7	Pentryt/ żywica /resin/ 82,5/17,5	1,56	Przebicie świadka <i>Witness penetrated</i>	Detonacja <i>Detonation</i>
4	Proch NC <i>NC powder</i>	Usypowa <i>powder</i>	Pentryt/ A-IX-2	0,7/1,84	Przebicie świadka <i>Witness penetrated</i>	Detonacja <i>Detonation</i>
5	Proch NC <i>NC powder</i>	Usypowa <i>powder</i>	TNT/ A-IX-2	0,7/1,84	Brak przebicia <i>No penetr.</i>	Deflagracja <i>Deflagration</i>
6	Pentryt	0,7	Brak tulei/ <i>without the sleeve/, MWP-10M</i>	Okolo/ca. 1.7	Brak przebicia <i>No penetr.</i>	Rozrzucony MWP-10M <i>Scattered</i>

3. Dyskusja otrzymanych wyników

Zaprojektowany i wykonany w trakcie realizacji niniejszej pracy liner okazał się odpowiedni do wykonania na jego bazie nowego układu inicjowania detonacji. O jego potencjalnej przydatności świadczą wyniki pomiaru prędkości radialnej jego ścianki bocznej wskazujące, że porusza się ona stosunkowo szybko. W chwili uzyskania przez liner średnicy 15 mm prędkość przemieszczania się ścianki bocznej wynosi około 400 m/s.

Jak wykazały obliczenia, odpowiadająca tej prędkości wartość energii kinetycznej lineru jest wystarczająca do pobudzenia w sposób

3. Discussion of obtained results

The liner designed and performed in the frame of this work has proved to be a suitable stuff for preparing the new system for initiating detonation. Its usability has been confirmed by the measurement results of its side wall radial expansion velocity indicating that it moves relatively rapidly. In the moment when the liner has the diameter 15 mm the velocity of side wall reaches ca. 400 m/s.

According to calculations the value of liner kinetic energy corresponding to this velocity is sufficient to initiate by means

uderzeniowy większości klasycznych kruszących materiałów wybuchowych. Hipoteza ta została potwierdzona wynikami badań skuteczności działania finalnego układu wykorzystanego do pobudzenia detonacji w ładunkach wykonanych z TNT, MWP-10M oraz mieszaniny pentrytu z żywicą poliestrową zmieszanych w stosunku masowym 75/25. Jednocześnie wykazano, że całkowity czas działania układu, w którym pobudzonym za pomocą linera materiałem wybuchowym jest oktogen to około 9 ms.

Wyniki zawarte w tabeli 2 jasno pokazują, że nowy układ detonacji działa prawidłowo, jeśli wewnątrz linera znajduje się krystaliczny pentryt lub proch nitrocelulozowy, a pobudzeniu ulega pentryt w postaci sypkiej lub w postaci mieszaniny z żywicą poliestrową. Wynik pomiaru nr 6 z tabeli 2 pokazuje też, że wewnątrz linera nie zachodzi proces detonacji, gdyż bezpośrednio umieszczenie samego linera wewnątrz materiału wybuchowego takiego jak MWP-10M nie powoduje jego detonacji, a jedynie rozrzucenie. Negatywny wynik pomiaru nr 1 i 6 z tabeli 2 to efekt wysokiej średnicy krytycznej TNT.

4. Wnioski

Zaprojektowany, wykonany i zbadany układ inicjowania detonacji działa niezawodnie, jeśli wewnątrz jego linera znajduje się proch nitrocelulozowy lub krystaliczny pentryt. Jednocześnie w tulei zewnętrznej powinien znajdować się krystaliczny pentryt lub mieszanina pentrytu z żywicą poliestrową. Inne kruszące materiały wybuchowe również powinny działać prawidłowo, jeśli charakteryzują się dostatecznie małą średnicą krytyczną i wrażliwością na uderzenie mniejszą niż 20 J. Potwierdzenie tej hipotezy wymaga jednak wykonania dodatkowych badań.

Nowy układ inicjowania detonacji do pobudzenia sąsiadującego ładunku wybuchowego potrzebuje około 9 ms, co jest czasem stosunkowo długim. Nie zawsze jednak jest to szczególnie istotne. Czasami ważniejsze jest by w czasie wybuchu ładunku do otoczenia trafiało jak najmniej metali ciężkich i ich związków. Jest to palący problem podczas prowadzenia prac strzałowych w tunelach i zamkniętych pomieszczeniach. Zaprezent-

of an impact the most of conventional HE materials. This hypothesis has been confirmed by test results of functional effectiveness on final systems used to detonate charges made from TNT, MWP-10M and the mixture of pentryt with the polyester resin mixed with the mass ratio 75/25. At the same time it has been proved that total time of operation for the system that uses octogene as the explosive material to be initiated by the liner is ca. 9 ms.

The results included in the table 2 clearly indicate that the new detonating system operates properly if inside the liner is the crystalline pentryt or NC powder and pentryt in the powdered form or mixed with polyester resin is subjected to initiation. The result of No 6 in table 2 indicates that there is no detonation process inside the liner, as the direct placing of the liner itself inside the explosive material like MWP-10M does not cause any detonation but the scattering. The negative result No1 and 6 in table 2 is the effect of high critical diameter of TNT.

4. Conclusions

The system for initiating detonation was designed, built and tested and proved to operate reliably when inside its liner is the NC powder or crystalline pentryt. At the same time in the external sleeve has to be placed the crystalline pentryt or the mixture of the pentryt with the polyester resin. The other HE materials have to operate also properly if they are characterised by a sufficiently low critical diameter and their susceptibility against impact is less than 20 J. The confirmation of this hypothesis requires the additional tests to be performed.

The new detonation initiating system requires ca. 9 ms to initiate the adjacent explosive charge what is a relatively long time. But this factor is not essential in every case. Sometimes the more important is not to emit the heavy metals and their compounds to the environment at the explosion. It is important problem at carrying out firing works in tunnels and closed rooms. The presented system of

wany nowy układ inicjowania detonacji spełnia ten warunek w przeciwieństwie do większości praktycznie obecnie stosowanych układów inicjowania detonacji.

initiating detonation meets this requirement in contrary to the prevailing number of currently used systems that initiate detonation.

Literatura / Literature

- [1] Huynh M. H. V., Hiskey M. A., Meyer T. J., Wetzler M., Green primaries: Environmentally friendly energetic complexes, *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 103, 5409, Boston, 2006
- [2] Urbański T., *Chemistry and Technology of Explosives*, Pergamon Press, 4, 462, Warszawa, 1984
- [3] Talawar M. B., Sivabalan R., Mukundan T., Muthurajan H., Sikder A. K., Gandhe B. R., Subhananda Rao A., Environmentally compatible next generation green energetic materials (GEMs), *Journal of Hazardous Materials*, 161, 589, Philadelphia, 2009
- [4] Tucker T. J., Explosive Initiators, *Sandia Laboratories*, New Mexico 87115, 1972
- [5] M. Reyne, US Patent 3212439 - Blasting caps containing only secondary explosive, 1965
- [6] V. F. Lemley, et. al., US Patent 3978791–Secondary explosive detonator device, 1976