ISSN 1230-3801

Zeszyt 143 nr 3/2017, str. 85 - 105
Volume 143 No 3/2017, pp. 85-105

MATERIAŁY I ICH ZASTOSOWANIE DO KONTROLOWANEGO ROZHERMETYZOWANIA AMUNICJI MAŁOWRAŻLIWEJ W ŚWIETLE LITERATURY PATENTOWEJ

MATERIALS AND THEIR APPLICATIONS FOR CONTROLLED VENTILLATION OF INSENSITIVE MUNITIONS IN THE LIGHT OF PATENT LITERATURE

Maciej MISZCZAK, Sławomir GRYKA
Wojskowy Instytut Techniczny Uzbrojenia
Military Institute of Armament Technology

DOI 10.5604/01.3001.0010.6344

Streszczenie: W artykule dokonano przeglądu zagranicznej literatury patentowej w zakresie zastosowania niskotopliwych stopów metali oraz tworzyw sztucznych do kontrolowanego rozhermetyzowania (wentylacji) amunicji małowrażliwej - artyleryjskiej i rakietowej pod wpływem wysokiej temperatury otoczenia, występującej w niebezpiecznych sytuacjach awaryjnych, np. pożaru magazynów amunicji. Kontrolowane rozszczelnienie amunicji zapobiega powstaniu nadmiernego wzrostu ciśnienia produktów termicznego rozkładu materiałów wysokoenergetycznych wewnątrz amunicji, mogącego skutkować jej gwałtowną reakcją w postaci deflagracji i/lub wybuchu. Oprócz charakterystyk termicznych i mechanicznych ww. materiałów przedstawiono ich usytuowanie w amunicji. W wyniku poszukiwań patentowych wyselekcjonowano 24 opisy patentowe wynalazków z przedmiotowego zakresu, z datą pierwszeństwa od 1970 do 2013 roku [5-28]. Z opisów tych wynika, że niskotopliwe stopy metali i tworzywa sztuczne znajdują się zazwyczaj w połączeniach elementów amunicji, rzadziej poza nimi - w specjalnych kanałach przelotowych, łączących wnętrze amunicji z otoczeniem. Rezultaty poszukiwań patentowych powinny być szczególnie przydatne w projektowaniu i badaniu amunicji małowrażliwej, zwłaszcza w aspekcie jej reakcji na bodźce (zagrożenia) termiczne.

Słowa kluczowe: amunicja małowrażliwa, wentylacja, niskotopliwe stopy metali, tworzywa sztuczne, literatura patentowa

Abstract: The paper includes a review of foreign patent publications on application of plastics and low-fusible metal alloys for controlled depressurisation (venting) of artillery and missile munitions affected by high ambient temperatures occurring at emergency situations like e.g. a fire of ammunition store. Controlled pressure relief prevents the excessive pressure building up for high energetic thermal decomposition products inside the munitions what could end in a rapid reaction as deflagration or explosion. Apart of thermal and mechanical characteristics of the above mentioned materials their location in munitions is also shown. In effect of patent search, 24 patent descriptions of inventions on the subject matter were selected with priority dates within 1970 – 2013 years [5-28]. The descriptions indicate that low-fusible metal alloys and plastics are usually deployed into joints of munitions' components and in rare cases beyond them in special venting ducts connecting the inside of munitions with the open air. Effects of the above patent search may be especially helpful at designing and testing low-sensitive munitions particularly for aspects concerning their reaction against thermal stimuli (threats).

Keywords: insensitive munitions, venting, low-fusible metal alloys, plastics, patent publications

1. Wstęp

Badania reakcji i wrażliwości amunicji na działanie nadmiernie wysokiej temperatury otoczenia, spowodowanej np. pożarem w jej sąsiedztwie opisane są w dokumentach standaryzacyjnych NATO, takich jak Publikacja Sojusznicza AOP-39 [1] oraz Porozumienia Standaryzacyjne: STANAG 4240 [2], STANAG 4382 [3] i STANAG 4491 [4]. Badania te mają istotny wpływ na projektowanie tzw. *amunicji małowrażliwej* oznaczanej skrótem *IM* pochodzącym od nazwy ang. *Insensitive Munition(s)*. Jednym z najważniejszych rozwiązań materiałowo-konstrukcyjnych, mającym zapobiec gwałtownej (zazwyczaj wybuchowej) reakcji amunicji na ww. wysokotemperaturowe zagrożenia pochodzące z otoczenia, jest jej kontrolowane rozhermetyzowanie (wentylacja) z wykorzystaniem substancji o odpowiednio niskiej temperaturze topnienia (metale) albo temperaturze przejścia ze stanu lepkosprężystego w stan mięknienia (plastyczny). Pod wpływem temperatury otoczenia, wyższej niż przewidywana najwyższa temperatura eksploatacji amunicji, substancje te przechodzą ze stanu stałego odpowiednio w stan ciekły lub plastyczny, zanim nastąpi gwałtowny rozkład termiczny i/lub zapłon, a następnie deflagracja i/lub wybuch materiału wysokoenergetycznego znajdującego się w amunicji. Pod wpływem ciśnienia produktów początkowego, termicznego rozkładu ładunku materiału wysokoenergetycznego, ciekły stop lub tworzywo w stanie plastycznym zostaje usunięty poza amunicję, tym samym umożliwiając wylot produktów rozkładu termicznego przez otwór (kanał) wentylacyjny powstały po usunięciu ww. stopu lub tworzywa. W wyniku kontrolowanego rozhermetyzowania amunicji, ciśnienie produktów rozkładu materiału wysokoenergetycznego wewnątrz amunicji wyraźnie spada, opóźniając gwałtowną reakcję amunicji lub nawet zapobiegając takiej reakcji.

W pracy przeprowadzono przegląd rozwiązań technicznych w zakresie kontrolowanej wentylacji amunicji z udziałem niskotopliwych stopów metali oraz tworzyw sztucznych, ograniczając obszar poszukiwań patentowych do amunicji artyleryjskiej i rakietowej. Wyniki

1. Introduction

Tests on responses and senistivity of munitions due to the impact of high ambient temperature caused e.g. by a fire in their vicinity, is described in NATO standardisation documents such as Allied Ordnance Publication AOP-39 [1] and Standardisation Agreements: STANAG 4240 [2], STANAG 4382 [3] and STANAG 4491 [4]. These tests have an essential impact into the designing of so called *insensitive munitions (IM)*. A controlled process of their depressorisation, is one of the most important material-structural solutions preventing a violent (usually explosive) reaction of ammunition against the above mentioned external high temperature threats through the application of substances with low temperatures of fusing (metals) or transition from the viscous-elastic state into the soft state (plasticity). These substances exposed to temperatures which are higher than the highest accepted temperature of using the munitions, are converted respectively from the solid state into the liquid or plasticity states before a violent thermal decomposition begins and/or ignition and deflagration and/or an explosion of high energetic material inserted into the munitions take place. Under the pressure buildup of the products of initial thermal decomposition of high energetic material charge the liquid alloy or softened plastic is pushed outside the munitions body letting the products of thermal decomposition flow out through a venting channel (hole) left by the missing substance of the above alloy or plastic. In effect of controlled pressure relief the pressure of high energetic material decomposition products falls significantly what delays a violent reaction of munitions or even prevents such reaction.

The paper includes a review limited to artillery and rocket munitions for patent technical solutions concerning controlled munitions venting by using low-fusible metal alloys and plastics. The results of patent investigations have to be particular-

poszukiwań patentowych powinny być szczególnie przydatne w projektowaniu i badaniu amunicji małowrażliwej, zwłaszcza w aspekcie jej reakcji na bodźce (zagrożenia) termiczne.

2. Przegląd literatury patentowej

W wyniku dokonanego przeglądu literatury patentowej w ramach ww. przedmiotowego zakresu, wyselekcjonowano dwadzieścia cztery opisy patentowe [5-28] wynalazków, z datą pierwszeństwa od 1970 do 2013 roku. Rozwiązania omawianych wynalazków starano się pogrupować, biorąc pod uwagę przede wszystkim miejsce, w którym przewidziano rozhermetyzowanie amunicji.

A zatem, kolejne, omawiane grupy wynalazków dotyczą zastosowania niskotopliwych stopów metali i tworzyw sztucznych w miejscach usytuowanych w części przedniej amunicji (zapalnik głowicowy, głowica), środkowej (korpus pocisku artyleryjskiego, komora spalania pocisku rakietowego) oraz części tylnej (łuska mieszcząca ładunek miotający, zespół dyszowy pocisku rakietowego). Oddzielne grupy tematyczne tworzą publikacje patentowe obejmujące zastosowanie stopów niskotopliwych i tworzyw sztucznych do budowy pojemników (kontenerów) mieszczących amunicję lub jej elementy oraz publikacje wynalazków dotyczących zastosowania ww. materiałów w elementach nośnych amunicji, takich jak korpusy pocisków artyleryjskich czy komory spalania silników rakietowych.

2.1. Korki transportowe z uchem do pocisków artyleryjskich

Pierwszą grupę tematyczną tworzą opisy patentowe US 3665857 [5], US 3927791 [6] oraz US 7451703 [7], przedstawiające rozwiązania korków transportowych z uchem, wkręcanych w gniazdo pod uderzeniowy zapalnik pocisków artyleryjskich dużych kalibrów. Korki usytuowane są w części ostrołukowej (nosowej) pocisków artyleryjskich. Ucha umożliwiają transport pocisków z wykorzystaniem urządzeń dźwigowych. Korki zawierają substancje niskotopliwe, które nie mają kontaktu z korpusami pocisków (rys.1).

ly useful in designing and testing of insensitive munitions especially concerning their responses towards thermal expositions (threats).

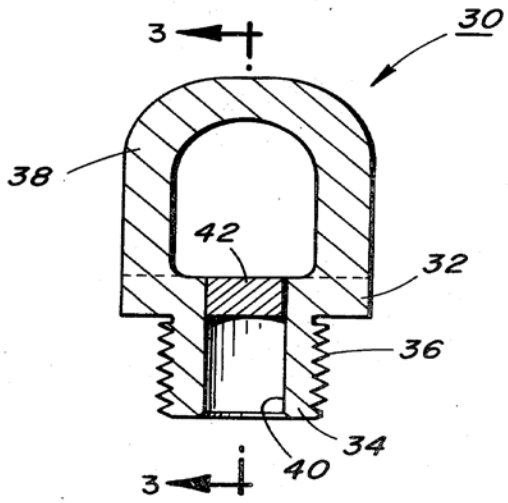
2. Review of Patent Publications

In effect of patent literature review on above mentioned subject matters twenty four patent descriptions [5-28] of inventions with the primary dates within 1970 – 2013 years were selected. The solutions included in the patents were categorised most of all according to a place where the munitions is depressurised.

Therefore the consecutive described groups of inventions concern the application of plastics and fusible metal alloys in places located in the frontal part of munitions (head fuse, warhead), middle part (artillery body, combustion chamber of a missile) and rear part (the case with projecting material, nozzle unit of missile). Independent categories of subjects are created by patent publications including the application of plastics and low-fusible alloys for building the casings (containers) containing the munitions or its components and the publications of inventions concerning the application of the above mentioned materials as the structural components of the munitions such as shells of artillery projectiles or combustion chambers of rocket motors.

2.1. Lifting Eyes Plugs for Artillery Projectiles

The first subject group consists of patent descriptions US 3665857 [5], US 3927791 [6] and US 7451703 [7] presenting solutions of transporting eye plugs screwed into the hole predicted for percussion fuses of large calibre artillery projectiles. The plugs are located in ogival part (nose) of artillery projectiles. The eyes are used for transporting the projectiles by cranes. The plugs include low-fusible substances which have no contact with the bodies of the projectiles (Fig.1).



Rys. 1. Przekrój osiowy korka transportowego 30 (według opisu patentowego US 3665857 [5]) z uchem 38 i gwintem 36, w widoku, w kierunku 3, posiadającego stop niskotopliwy 42 zamykający otwór przelotowy 40. Pozostałe oznaczenia przyjęte na rysunku: 32- kołnierz korka 30, 34- gwintowany odcinek korka 30

Fig. 1. Axial section of artillery lifting plug 30 according to patent publication US 3665857, *with U-shaped bar 38 and thread 36, in the view towards sectional plane 3-3. The lifting plug 30 possesses low-fusible alloy 42 closing port 40. The rest of reference numerals are as follows: 32- flange of plug 30, 34 – threaded section of the plug 30*

Według opisu patentowego US 3665857 [5] substancja niskotopliwa usytuowana jest w jednym (rys.1) lub dwóch kanałach przelotowych korka transportowego, pod jego uchem. Substancję niskotopliwą może stanowić trójskładnikowa mieszanina eutektyczna (stop) bizmutu, ołowiu i kadmu albo bizmutu, ołowiu i cyny. Stopy niskotopliwe powinny mieć temperaturę topnienia w zakresie od 85^{o}C do 101,7^{o}C. Korzystnie, stop eutektyczny stanowi 52,5% części wagowych bizmutu, 32% części wagowe ołowiu i 15,5% części wagowych cyny. Jego temperatura topnienia wynosi ok. 95^{o}C.

Według opisu patentowego US 3927791 [6] niskotopliwy stop metali usytuowany jest w pierścieniowym (obwodowym) rowku uszczelniającym, łączącym korek z wkładką zasłaniającą osiowy kanał przelotowy korka. Stop ten może mieć skład identyczny z jednym ze składów podanych w opisie patentowym US 3665857 [5]. W opisie patentowym US 3927791 [6] stwierdzono, że temperatura topnienia ww. eutektycznego stopu wynosi ok. 99^{o}C. A zatem, temperatury topnienia podane w opisie patentowym US 3665957 [5] oraz US

According to the patent description US 3665857 [5] the low-fusible substance is placed in one or two ductile channels (Fig.1) of transporting plug beneath its eye. Low-fusion substance may be made of three-base eutectic mixture (alloy) of bismuth, lead and cadmium or bismuth, lead and tin. The eutectic alloys have to have low fusion temperature within the range of 85.0^{o}C to 101.7^{o}C. A useful eutectic alloy contains 52.5% of bismuth, 32.0% of lead and 15.5% of tin (composition is expressed by weight %). It has melting temperature of ca. 95^{o}C.

According with patent description US 3927791 [6] a low-fusion metal alloy is placed in the annular (perimeter) sealing groove connecting the plug with a liner blocking the plug's axial through duct. The alloy may be of the same composition as one mentioned in patent description US 3665857 [5]. Patent description US 3927791 [6] says that fusion temperature of the above mentioned eutectic alloy is ca. 99^{o}C. Then temperatures of fusion given in patent descriptions US 3665957

3927791 [6] różnią się stosunkowo niewiele (o około 4°C). W opisie patentowym US 3927791 [6] zastrzegane są niskotopliwe stopy zawierające co najmniej 50% części wagowych bizmutu. Stwierdzono, że zawartość bizmutu w stopie powyżej 50% części wagowych jest korzystna, ponieważ powoduje, że w wyniku zestalania stop nieco rozszerza się, przez co lepiej uszczelnia miejsca, w których się znajduje. W opisie tym również stwierdza się, że zawartość bizmutu w stopie poniżej 50% jest niekorzystna, ponieważ taki stop kurczy się podczas zestalania, tym samym nie zapewniając odpowiedniego uszczelnienia.

W opisie patentowym US 7451703 [7] zastrzeżono korek transportowy zawierający uszczelkę wentylacyjną wykonaną z tworzywa sztucznego – jonomeru, nie podając przykładowych wartości jego temperatury mięknienia.

2.2. Głowicowe elementy amunicji

W grupie amerykańskich opisów patentowych US 4004516 [8], US 7025000 [9], US 8505458 [10], US 7353755 [11], US 7331292 [12] oraz opisie zgłoszenia wynalazku US 2012/0255456 [13] przedstawiono zastosowanie niskotopliwych metali, stopów oraz tworzyw sztucznych w przedniej (głowicowej) części amunicji.

W ramach opisu patentowego US 4004516 [8] przedstawiono rozwiązanie głowicy pocisku artyleryjskiego lub rakietowego, posiadającej zapalnik z ładunkiem pobudzającym (detonatorem) umieszczonym w miseczce ulegającej topnieniu w temperaturze niższej niż temperatura wybuchowej inicjacji ładunku pobudzacza. Miseczka może być wykonana z cyny lub tworzywa sztucznego. Głowica według wynalazku może mieć kanały przelotowe w gwincie łączącym ją z zapalnikiem. Kanały te stanowią przedłużenie komory rozprężnej między zapalnikiem a korpusem głowicy.

Opis patentowy US 7025000 [9] przedstawia system wentylacji amunicji na przykładzie naboju moździerzowego, zawierający kształtową wkładkę oddzielającą zapalnik z ładunkiem pobudzającym od zasadniczego ładunku kruszącego materiału wybuchowego (rys. 2).

[5] and US 3927791 [6] differ very slightly (by ca. 4°C). In patent description US 3927791 [6] the reservation is made for low-fusion alloys containing at least 50% of bismuth (in weight). It was stated that the contents of bismuth above 50% of weight percentage is beneficial as it makes the alloy expand at solidification and tighten the space it is applied to. Moreover the same description claims that the content of bismuth in the alloy below 50% is disadvantageous as such alloy contracts at solidification and the required sealing is not secured.

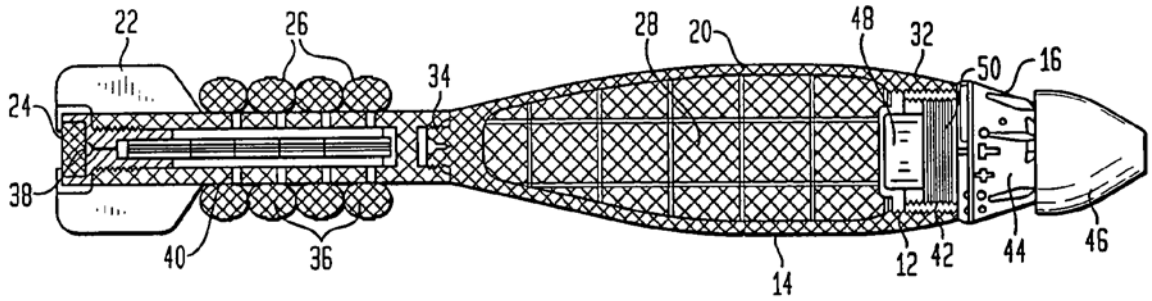
Patent description US 7451703 [7] makes the reservation for a transporting plug including a vent sealing made from the plastic – ionomer without giving its melting temperatures.

2.2. Warhead Components of Munitions

Some American patent descriptions US 4004516 [8], US 7025000 [9], US 8505458 [10], US 7353755 [11], US 7331292 [12] and description of inventive application US 2012/0255456 [13] present the application of low-fusible metals, alloys and plastics in the nasal (frontal) part of munitions.

In the frame of patent description US 4004516 [8] a solution is presented of a head of an artillery or rocket projectile equipped with a fuse with a detonating charge placed in a cap which melts at lower temperature than the initiation temperature of detonator's charge. The cap may be made of tin or plastic. According to the invention the head may have passing channels in the thread connecting it with the fuse. These channels create an extension of depressing chamber between the fuse and the body of the head.

Patent description US 7025000 [9] shows a munitions venting system on an example of mortar projectile which has a shaped lining piece separating the fuse with initiating charge from the main high explosive charge (Fig. 2).



Rys. 2. Częściowy przekrój osiowy naboju moździerzowego (według opisu patentowego US 7025000 [9]) zawierającego kształtową wkładkę 12 z gwintem, wykonaną z jonomeru, oddzielającą zapalnik głowicowy 16 z ładunkiem pobudzającym 48 od zasadniczego wybuchowego ładunku kruszącego 28. Pozostałe oznaczenia: 14 – korpus pocisku, 32 – gwintowane gniazdo, 46 - część nosowa pocisku, 50 – gwintowana część korpusu zapalnika 16, 44 – stożkowa część korpusu zapalnika 16, 42 - gwintowana podstawa metalowa zapalnika 16, 20 - pierścień uszczelniający, 34 – występ gwintowany, łączący korpus 14 pocisku z stabilizatorem z brzechwami 22, 26, 35 – dodatkowe ładunki miotające, 40 – otwory przelotowe w stabilizatorze, 24 – zapłonnik, 38 – spłonka uderzeniowa

Fig. 2. Cutaway view of mortar cartridge (due to patent publication US 7025000 [9]) *including shaped threaded ionomer adapter 12). The adapter 12 separates impact fuse 16 with booster explosive charge 14 from main high explosive charge 28. The rest reference numerals are as follows: 14 – projectile body, 32 – threaded well, 46 – nose part of the projectile, 50 – threaded section of the fuse body, 44 – tapered part of the fuse body, 42 – threaded metal base of the fuse 16, 20 – obturating ring, 34 – threaded boss connecting projectile body 14 with fin stabilizer 22, 26, 35 – augmenting increment propelling charges, 40 – tail ports, 24 – igniter, 38 – percussion primer*

Wkładka wykonana jest z jonomeru o temperaturze mięknienia, mieszczącej się w zakresie od 93,3°C do 96,7°C. Wkładka ma zewnętrzne połączenie gwintowe z korpusem pocisku oraz wewnętrzne połączenie gwintowe z obudową ładunku pobudzającego. Temperatura zapłonu ładunku zasadniczego i pobudzającego powinna być wyraźnie wyższa od temperatury mięknienia wkładki. W ramach przykładu realizacji wynalazku zasadniczy ładunek wybuchowy wykonany jest z odlewanego materiału wybuchowego COMPOSITION B lub PAX-21 odpowiednio o temperaturze zapłonu wynoszącej 193,3°C oraz 157°C, a ładunek pobudzający wykonany jest z prasowanego materiału wybuchowego COMPOSITION A5 lub PBXN-5. Według jednego z zastrzeżeń patentowych, temperatura topnienia lub mięknienia materiału powinna stanowić co najwyżej 60% temperatury zapłonu zasadniczego ładunku wybuchowego. Zakładając temperaturę mięknienia materiału, wynoszącą 97°C i porównując ją z temperaturą zapłonu ww. materiałów wybuchowych, stwierdza się, iż stanowi ona

The adapter is made of ionomer plastic having the softening temperature from 93.3°C to 96.7°C. The adapter has an external threaded joint with the body of the projectile and the internal threaded joint with the casing of the detonating charge. The ignition temperatures of the main and initiating charges have to be well higher than adapter softening temperature. In an exemplary implementation of the invention the main explosive charge is made from the cast explosive COMPOSITION B or PAX-21 having the ignition temperatures respectively at 193.3°C and 157.0°C whereas the booster charge is made from pressed explosive COMPOSITION A5 or PBXN-5. According to one of patent claims the temperature of fusion or softening has to be below 60% of ignition temperature for the main explosive charge. Assuming that the material softening temperature is 97°C and relating it to the ignition temperature of the above mentioned explosives, it may be stated that it is on the level of ca. 50% of

ok. 50% temperatury zapłonu materiału wybuchowego COMPOSITION B oraz ok. 60% temperatury materiału wybuchowego PBXN-5.

W opisie patentowym US 8505458 [10] zaprezentowano tulejowy, kształtowy łącznik termoplastyczny z gwintem zewnętrznym, łączący zapalnik głowicowy pocisku artyleryjskiego lub rakietowego z korpusem pocisku. Stwierdzono, że łącznik ten może być wykonany na bazie tworzyw sztucznych, takich jak poliwęglany, kompozyty poliwęglanów ze szkłem, nylon lub politetrafluoroetylen. W przykładzie realizacji wynalazku zwrócono m. in. uwagę na dobór materiałów korpusu i łącznika. Materiały te powinny mieć zbliżony termiczny współczynnik rozszerzalności liniowej. Na przykład takimi materiałami są: aluminium (materiał korpusu) oraz kompozyt poliwęglanu ze szkłem spełniającym rolę wypełniacza (materiał łącznika).

W opisie patentowym wynalazku US 7353755 [11] zastrzeżono zastosowanie otworów wentylacyjnych w korpusie głowicowego zapalnika pocisku, uszczelnionych tworzywem silikonowym, sąsiadujących z wybuchowym ładunkiem pobudzającym. W opisie tym stwierdza się, że substancją uszczelniającą może być również niskotopliwy stop eutektyczny metali.

W opisie patentowym wynalazku US 7331 292 [12] zastrzeżono w przedniej i tylnej części głowicy 70 mm pocisku rakietowego odłamkowo-burzącego (rys. 3) oraz w tylnej części głowicy 70 mm pocisku kasetowego tulejki wykonane z termoplastycznego tworzywa sztucznego, takiego jak tetrafluoroetylen, nylon, korzystnie nylon 6/6, poliwęglan opcjonalnie z wypełniaczem szklanym, korzystnie stanowiącym 30-40% masy tulejki. Temperatura mięknienia tulejki wynosiła ok. 176,7^{o}C, a jej odporność na ciśnienie w tej temperaturze wynosiła ok. 34,5 MPa.

W zgłoszeniu wynalazku US 2012/0255456 [13] opisano korek wkuty w specjalny, profilowany otwór przelotowy wykonany w korpusie głowicy pocisku artyleryjskiego lub rakietowego (rys. 4).

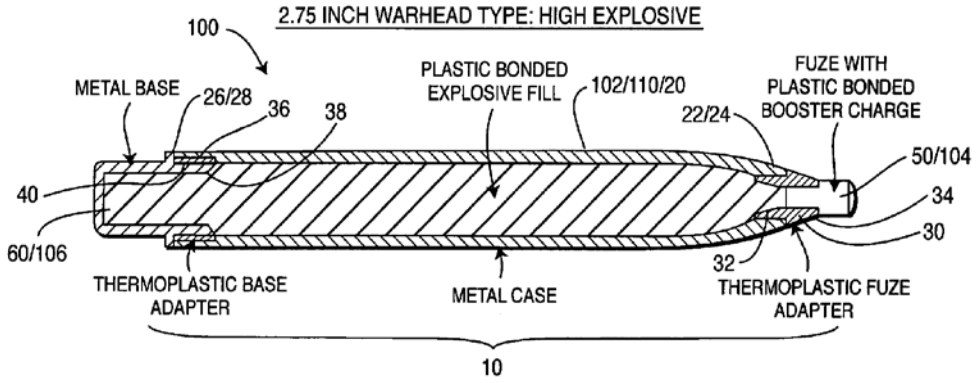
COMPOSITION B and of ca. 60% of PBXN-5 explosives ignition temperatures.

In patent description US 8505458 [10] is presented a thermoplastic liner with the external thread joining the head fuse of the munitions with the body of projectile. It was stated that this connector may be fabricated on the basis of plastics such as polycarbonates, polycarbonate composites with the glass, nylon or poly-tetra-fluorine-ethylene. An implementation of the invention stresses the importance of matching the materials of the body and connector. Thermal coefficient of linear expansion of those materials has to be similar. Such materials are for instance aluminium (material of the body) and polycarbonate composite with the glass as the filling material (material of the connector).

Patent description of invention US 7353755 [11] claims the application of venting holes adjacent to explosive initiating charge and sealed by the silicone. The holes are made in the body of nasal projectile fuse. This patent description states that a eutectic metal alloy may be also used as the sealing compound.

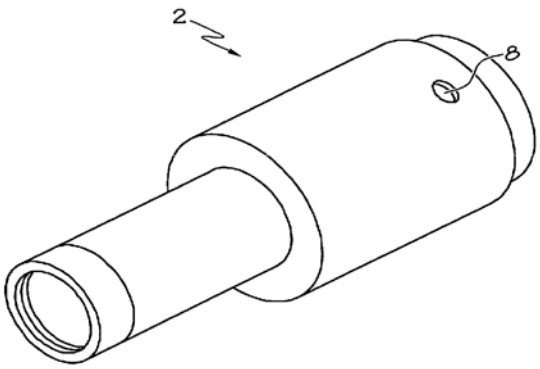
The patent description of invention US 7331 292 [12] claims the bushings placed in the front and rear part of the warhead of 70 mm HE-fragmentation missile (Fig. 3) and in the rear part of the subammunition (cargo) warhead of 70 mm missile which are made from thermoplastic compound such as tetra-fluorine-ethylene, nylon, preferably nylon 6/6, polycarbonate with glass filling which takes preferably 30-40% of the sleeve mass. The sleeve softening temperature was ca. 176.7^{o}C and its resistance against the pressure at this temperature was ca. 34.5 MPa.

Application of the invention US 2012/0255456 [13] describes a plug swaged into a specially profiled through hole made in the body of munitions warhead (Fig. 4).



Rys. 3. Częściowy przekrój osiowy 70 mm (2,75 calowej) głowicy odłamkowo-burzącej 100 (według opisu patentowego US 7331292 [12]) zawierającej przednią 30 i tylną 40 wkładkę wykonane z tworzywa termoplastycznego, tworzące system wentylacyjny 10. Pozostałe oznaczenia: 32, 34 – odpowiednio pierwsza i druga powierzchnia współpracująca wkładki 30 łączącej metalowy korpus głowicy 102/110/20 (zaelaborowany zasadniczym ładunkiem wybuchowym) z zapalnikiem 50/104 z pobudzaczem. (Ładunek zasadniczy i pobudzacza wykonany jest z materiału wybuchowego plastycznego (PBX)), 36,38 – odpowiednio pierwsza i druga powierzchnia współpracująca wkładki 40 łączącej część denną głowicy 100 z jej korpusem.

Fig. 3. Cutaway view of 70 mm (2.25 inch) high explosive warhead (100) (due to the patent publication US 7331292 [12]) including forward 30 and backward 40 thermoplastic adapter forming venting system 10.The rest reference numerals are as follows: 32, 34 – first and second mating surface of the adapter 30 connecting fuse with metal case 102/110/20 of the warhead 100 (the metal case is filled with plastic bonded explosive (PBX) charge), 36,38 – first and second mating surface of the adapter 40 connecting metal base of the warhead 100 with its metal case.



Rys. 4. Widok perspektywiczny korpusu (2) amunicji małowrażliwej z otworem wentylacyjnym (8) przeznaczonym do wkucia korka wykonanego ze stopu niskotopliwego metali (według zgłoszenia patentowego US 2012/0255456 [13]

Fig. 4. A perspective view of insensitive ammunition casing (2) *with venting hole (8) dedicated for swaged plug made from low-fusible metal alloy (according to the patent application US 2012/0255456) [13]*

Korek wykonano ze stopu niskotopliwego, korzystnie o temperaturze topnienia (115 – 155)^{o}C, mogącego zawierać bizmut, cynę, cynk, ołów, srebro, antymon, ind, miedź, gal, kadm oraz dowolną mieszaninę ww. metali. Jako korzystny, zaproponowano stop skła-dający się z 57% części wagowych bizmutu, 42% części wagowych cyny oraz 1% część wagową srebra, którego obecność przyczynia się do poprawy kowalności i ciągliwości korka. Odpowiednia kowalność i ciągliwość korka powoduje, że korek nie pęka podczas wkuwania w otwór korpusu pocisku.

The plug is made of a low-fusible alloy preferably having melting temperatures of (115 – 155)^{o}C which may include bismuth, tin, zinc, lead, silver, antimony, indium, copper, gallium, cadmium and any mixture of the above metals. An alloy containing 57% of bismuth, 42% of tin and 1% of silver (weight percentage). Presence of silver improves the forging and drawing efficiency of the plug. An appropriate forging and ductility characteristics are needed to prevent cracking of the plug at swaging into the munitions body hole.

2.3. Komory spalania silników rakietowych

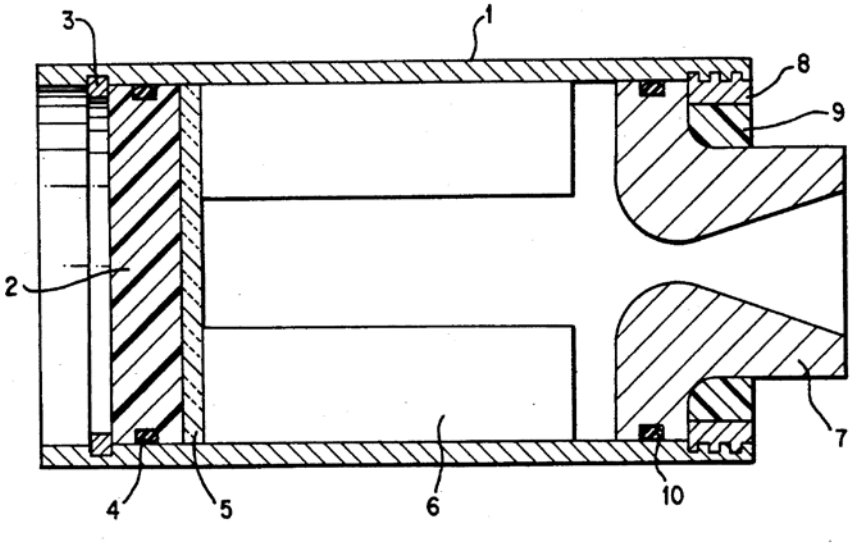
Kolejna grupa opisów patentowych US H1144 [14], US 5 311820 [15], US 5398498 [16], US 6338242 [17] i US 2014/0284913 [18] dotyczy zastosowania niskotopliwych stopów metali i tworzyw sztucznych do rozhermetyzowania połączeń między komorą spalania silnika rakietowego a głowicą pocisku rakietowego albo między komorą spalania a jej zespołem dyszowym.

W opisie patentowym USH1144 [14] przedstawiono zastosowanie w pocisku rakietowym na stałe heterogeniczne paliwo rakietowe niskotopliwych pierścieni uszczelniających, łączących część głowicową i dyszową z komorą spalania silnika rakietowego (rys. 5).

2.3 Rocket Motor Combustion Chambers

The next group of patent descriptions US H1144 [14], US 5 311820 [15], US 5398498 [16], US 6338242 [17] and US 2014/0284913 [18] concerns the application of low-fusible metal alloys and plastics for pressure relief in connections between the rocket motor combustion chamber and rocket warhead or between combustion chamber and its nozzle unit.

Patent description USH1144 [14] presents the application of low-fusible sealing rings connecting the warhead and nozzle parts of rocket projectile with the combustion chamber of rocket motor operating on heterogeneous solid rocket propellant (Fig. 5).



Rys. 5. Przekrój osiowy silnika rakietowego na paliwo stałe (według publikacji patentowej US H1144). Oznaczenia przyjęte na rysunku: 1- korpus komory spalania, 2- przednie dno komory spalania (1), 3 – pierścień niskotopliwy, 4 – gumowa uszczelka, 5 – przegroda termoizolacyjna, 6- rurowy ładunek stałego paliwa rakietowego, 7 – zespół dyszowy, 8 – pierścień niskotopliwy, 9 –gumowa uszczelka

Fig. 5. Axial section of rocket motor inserted with solid propellant (due to patent publication US H1144). *Reference numerals: 1 – body of combustion chamber, 2 – forward end-closure, 3 – fusible metal alloy retaining ring, 4 – rubber sealing, 5 – thermoplastic insulation, 6 - solid propellant tube charge, 7- nozzle assembly, 8 - fusible metal alloy retaining ring, 9 – rubber sealing*

Pierścienie uszczelniające wykonano ze stopu eutektycznego bizmut/cyna o temperaturze topnienia ok. 138,3°C. Ładunek stałego heterogenicznego paliwa rakietowego miał temperaturę zapłonu z zakresu (190,6 – 301,7)°C, korzystnie z zakresu (232,3 – 260) °C. Z powyższego wynika, że temperatura top-

The sealing rings are made of bismuth/tin eutectic alloy with melting temperature ca. 138.3°C. The charge of heterogeneous solid rocket propellant has ignition temperature in the range (190.6 – 301.7)°C, preferably within (232.3 – 260.0)°C. The above indicates that the

nienia substancji niskotopliwej, powinna być mniejsza co najmniej o ok. 50°C od temperatury zapłonu paliwa rakietowego. Najkorzystniej, gdy temperatura zapłonu materiału wysokoenergetycznego jest wyższa o co najmniej 100°C od temperatury topnienia materiału niskotopliwego. W przypadku stałych paliw rakietowych dwubazowych, których temperatura zapłonu (przy szybkości ogrzewania 5°C/min) według STANAG-u 4491 [4] wynosi ok. 167°C powyższy warunek jest trudniejszy do spełnienia niż w przypadku heterogenicznych paliw rakietowych, których temperatura zapłonu wynosi zazwyczaj wyraźnie powyżej 200°C. Na przykład, temperatura zapłonu najbardziej popularnego heterogenicznego paliwa rakietowego, tj. na bazie nadchloranu amonu i polibutadienu zakończonego grupami hydroksylowymi (HTPB – ang. Hydroxy-Terminated Poly-Butadiene) według STANAG-u 4491 [4] wynosi ok. 271°C (przy szybkości ogrzewania 5°C/min).

Opis patentowy US 5311820 [15] przedstawia materiał uszczelniający połączenia między komorą spalania silnika rakietowego a zespołem dyszowym. Według niniejszego opisu patentowego [15] materiał uszczelniający może stanowić tworzywo sztuczne, wosk oraz stopy metali, przy czym stopy te, korzystnie powinny zawierać jako składniki podstawowe cynę, ołów, bizmut i kadm, charakteryzując się temperaturą topnienia z zakresu (65,5 – 165,5)°C. Dolna granica tego temperaturowego zakresu eksploatacyjnego jest zbyt niska, np. w strefie klimatu umiarkowanego i gorącego, ponieważ temperatura otoczenia, w której może być eksploatowana amunicja w tych strefach klimatycznych może osiągać temperaturę ok. 71°C i wyższą. W przykładzie realizacji wynalazku proponuje się stosowanie jako substancji niskotopliwej stopu składającego się z 22% części wagowych cyny, 50% części wagowych bizmutu i 28% części wagowych ołowiu. Temperatura topnienia niniejszego stopu mieści się w zakresie (96,1 – 110)°C, czyniąc go przydatnym do stosowania w warunkach eksploatacji amunicji, w ramach których górna granica temperatury nie przekracza 71°C. Biorąc pod uwagę, że tempe-

melting temperature of a low-fusible substance has to be lower at least by ca. 50°C than the ignition temperature of rocket propellant. The best situation is when the ignition temperature of high energetic material is higher at least by 100°C than the melting temperature of low-fusible material. In the case of double-base solid rocket propellants for which the temperature of ignition (at heating rate 5°C/min) according to STANAG-u 4491 [4] is ca. 167°C it is more difficult to meet the above condition than in the case of heterogeneous rocket propellants with typical temperatures of ignition well above 200°C. For instance the temperature of ignition of the most popular heterogeneous rocket propellant i.e. on the base of ammonium perchlorate and Hydroxy-Terminated Poly-Butadiene (HTPB) according to STANAG-u 4491 [4] is ca. 271°C (at heating rate 5°C/min).

Patent description US 5311820 [15] presents sealing material for connection between rocket motor combustion chamber and nozzle unit. According to the patent description [15] the sealing material may be made from the plastic, wax and metal alloys which preferably have to contain as basic components tin, lead, bismuth and cadmium and they have to be characterised by the melting temperature of (65.5 – 165.5)°C. The lower limit of this temperature range is too low as e.g. for the zones of moderate and hot climate where the munitions may be used the ambient temperature may reach ca. 71°C and higher. An example of invention implementation proposes the use as a low-fusible compound containing 22% of tin, 50% of bismuth and 28% of lead (weight percentages). Melting temperature of the considered alloy is within (96.1 – 110.0)°C what makes it suitable for service conditions where the upper limit of temperature is not higher than 71°C. Taking into account that the ignition temperature of double-base solid rocket propellants that is equal to 167°C according to STANAG-u 4491 [4] and is

ratura zapłonu stałych paliw rakietowych dwubazowych, wynosząca według STANAG-u 4491 [4] ok. 167^{o}C jest co najmniej kilkadziesiąt stopni niższa niż temperatura zapłonu heterogenicznych paliw rakietowych, wydaje się, iż ww. stop byłby przydatny nie tylko do kontrolowanej wentylacji silników rakietowych elaborowanych heterogenicznym paliwem rakietowym, lecz również mógłby być przydatny do kontrolowanej wentylacji silników rakietowych na stałe, dwubazowe paliwo rakietowe.

Opis patentowy US 5398498 [16] przedstawia spiralny element łączący w postaci co najmniej jednego zwoju, usytuowany między gwintami głowicy bojowej a korpusem komory spalania pocisku rakietowego na paliwo stałe, wykonany z niskotopliwego metalowego stopu eutektycznego składającego się z 66,5% części wagowych cyny, 31% części wagowych kadmu i 2,5% części wagowych cynku. Stop ten charakteryzuje się temperaturą topnienia wynoszącą 151,7^{o}C, czyli znacznie niższą niż temperatura zapłonu heterogenicznego paliwa rakietowego i stosunkowo niewiele niższą niż temperatura zapłonu homogenicznego – dwubazowego paliwa rakietowego. W warunkach eksploatacji, tj. np. w zakresie temperatur od -40^{o}C do ok. 70^{o}C, ww. element spiralny, korzystnie o przekroju poprzecznym sześciokąta, charakteryzuje się dużą sprężystością i odpornością na odkształcenia.

Opis patentowy US 6338242 [17] dotyczy m. in. termoplastycznego łącznika kształtowego, łączącego głowicę bojową 70 mm pocisku rakietowego MK 66 z silnikiem rakietowym. Łącznik połączony jest z głowicą bojową za pomocą własnego gwintu wewnętrznego wchodzącego w rowki gwintu zewnętrznego głowicy, zaś z silnikiem rakietowym połączony jest poprzez docisk własnego, cylindrycznego wpustu do bocznej powierzchni silnika. Korzystnie, łącznik wykonany jest z kompozytu poliwęglanu z wypełniaczem w postaci szkła stanowiącego (20–50)% masy łącznika, korzystnie stanowiącego (30-40)% masy łącznika. Kompozyt łącznika ma temperaturę przejścia w stan plastyczny w zakresie (65,6 – 175,7)^{o}C , korzystnie w zakresie (107,2–165,5)^{o}C, najko-

at least a few dozen degrees lower than the ignition temperature of heterogeneous rocket propellants, it seems that the above mentioned alloy would be suitable not only for controlled ventilation of rocket motors filled with heterogeneous rocket propellant but it would be also suitable for controlled ventilation of rocket motors inserted with solid double-base propellant.

Patent description US 5398498 [16] describes a spiral joining component in the form of at least one coil placed between the threads of the warhead and the body of rocket motor combustion chamber inserted with solid propellant. This spiral joining component is made of a low-fusible alloy containing 66.5% of tin, 31.0% of cadmium and 2.5% of zinc (weight percentages). The alloy is characterised by melting temperature of 151.7^{o}C what is much lower than the ignition temperature for the heterogeneous rocket propellant and relatively slightly lower than the ignition temperature of homogeneous double-base rocket propellant. In the service conditions, i.e. for instance for temperatures from -40^{o}C to ca. 70^{o}C the above spiral adapter preferably having the hexagonal cross-section, is characterised by high elasticity and resistance against deformations.

Patent description US 6338242 [17] concerns amongst others a thermoplastic adapter connecting the warhead of 70 mm rocket projectile MK 66 with rocket motor. The adapter is connected with the warhead by own female thread working with the grooves of the warhead male thread and it is connected with the rocket motor through the tightening of its own cylindrical recessed track to the motor's side surface. Preferably the adapter is made from polycarbonate composite with the glass filler which makes (20–50)% of adapter's weight, preferably (30-40)% of adapter's weight. The adapter's composite has the temperatures for transition into state of plasticity in the range (65.6 – 175.7)^{o}C, preferably in the range (107.2 –

rzystniej w zakresie (121–148,8)°C. Dolna granica temperatury eksploatacji, wynosząca 65,5°C jest zbyt niska z tych samych podanych powyżej przyczyn.

W publikacji zgłoszeniowej wynalazku US 2014/0284913 [18] przedstawiono rowkowe połączenie, opcjonalnie gwintowe, takich elementów amunicji jak głowicy bojowej z układem napędowym pocisku rakietowego, zawierające uszczelniający materiał wstrzykiwany przez otwory przelotowe korpusu elementu amunicji do systemu rowków, tworzących sieć równoległych kanałów obwodowych (kołowych) przeciętych, korzystnie pod kątem prostym z prostoliniowymi kanałami, tj. równoległymi do osi wzdłużnej amunicji. Zaleca się, aby temperatura topnienia (metale) albo przejścia w stan plastyczny (tworzywa sztuczne) materiału mieściła się w zakresie (193 – 232)°C. W ramach przykładu realizacji wynalazku stwierdzono, że odpowiednią substancją jest żywica polietylenowa o wysokiej gęstości (HDPE – High Density Poly-Ethylene) wstrzykiwana pod ciśnieniem (60 – 103) MPa. Następnie, zaprezentowano właściwości termofizyczne, w tym mechaniczne (wytrzymałościowe) żywicy HDPE. Poza żywicą HDPE zarekomendowano inne kompozycje, takie jak tworzywa sztuczne wzmocnione włóknami bazaltowymi lub wypełniaczami np. sadzą, gliną, talkiem, węglanem wapnia, miką, krzemem, krzemionką. W jednym z zastrzeżeń patentowych stwierdzono, że odpowiednią substancją, tj. o wysokich parametrach mechanicznych (wytrzymałościowych) w warunkach eksploatacji amunicji, zaś znacznie obniżonych w zakresie temperatur wyższych niż temperatura eksploatacji amunicji, jest polimer o wysokiej gęstości, wzmocniony włóknami szklanymi.

2.4. Łuski artyleryjskie

Grupa wynalazków dotyczących zastosowania stopów niskotopliwych oraz tworzyw sztucznych w łuskach mieszczących ładunki miotające i zapłonniki, przedstawiona jest w opisach patentowych lub zgłoszeniach patentowych wynalazków US 2010/0122640 [19], US 8550004 [20], US 2005/0235861 [21], US 8925463 [22].

165.5)°C or more preferably - in the range (121.0-148.8)°C. The lower limit of service temperatures equal to 65.5°C is too low because of the reasons mentioned earlier.

The publication of invention application US 2014/0284913 [18] shows a grooved joint, optionally threaded, for such components of munitions as the warhead with the rocket projectile propelling system containing the sealing material that is injected through the holes made in the body of a munitions component into a system of grooves arranged in a net of perimeter parallel channels crossed preferably under the right angle by axial channels. It is recommended that the melting temperature (metals) or temperature of transition into the state of plasticity (plastics) of the material was within the range (193 – 232)°C. For an exemplary implementation of the invention it was acknowledged that a suitable compound is made of High Density Poly-Ethylene (HDPE) resin injected under the pressure of (60 – 103) MPa. Next the thermo-physical and mechanical properties (including strength) of HDPE resin were presented. Besides the HDPE resin other compositions were also recommended such as plastics strengthened by basalt fibres or filled with soot, clay, talc, calcium carbonate, mica, silicon and silica. One of the patent claims maintains that a high density polymer strengthened by fibreglass is a suitable compound, i.e. it possesses high mechanical characteristics (strength) under conditions of munitions service which become significantly reduced at the higher temperatures.

2.4. Artillery Cases

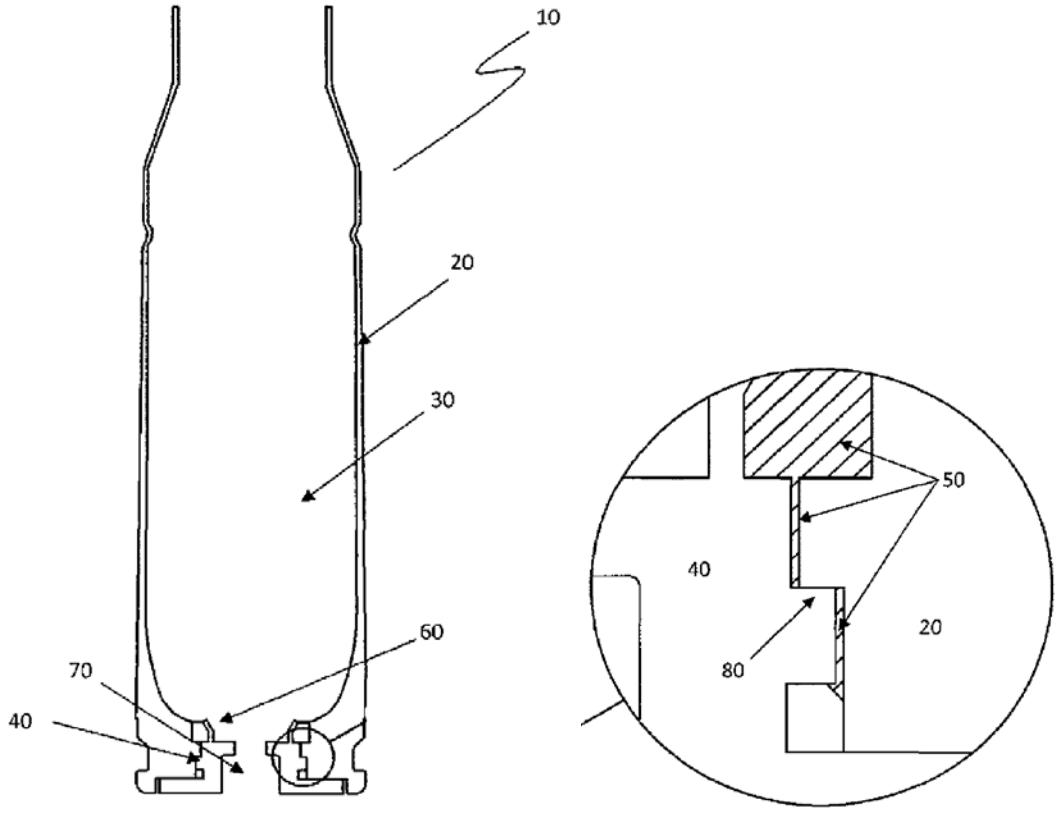
The group of inventions concerning the application of low-fusible alloys and plastics in the cases containing the propelling charges and igniters, is presented in patent descriptions and applications, i.e. US 2010/0122640 [19], US 8550004 [20], US 2005/0235861 [21], US 8925463 [22].

W zgłoszeniu patentowym US 2010/0122640 [19], w ramach przykładu realizacji wynalazku, zastosowano termoplastyczne tworzywo sztuczne usytuowane w podłużnych szczelinach wykonanych w bocznej ścianie łuski naboju przeciwpancernego. Temperatura przejścia w stan plastyczny tworzywa wynosiła ok. 90°C. A zatem jest wyraźnie niższa od temperatury zapłonu ładunku miotającego (prochu bezdymnego) wynoszącej według STANAG-u 4491 [4] ok. 150 – 170°C. W zgłoszeniu tym stwierdzono, że początkowe (progowe) ciśnienie produktów termicznego rozkładu (spalania) ładunku miotającego, które powinno przy przejściu w stan plastyczny ww. materiału spowodować jego usunięcie (wydmuchnięcie) z podłużnego otworu wentylacyjnego łuski wynosi ok. 1 MPa w temperaturze ok. 90°C. Z niniejszego zgłoszenia patentowego [19] wynika, że wymagania dotyczące doboru zakresu temperatury przejścia w stan plastyczny tworzyw sztucznych stosowanych do wentylacji łusek mieszczących ładunki miotające (prochy bezdymne), są bardziej rygorystyczne w porównaniu do wymagań stawianych materiałom odpowiedzialnym za wentylację amunicji w obszarze głowicowym amunicji, obejmującym zasadnicze i pobudzające ładunki wybuchowe oraz w obszarze komór spalania silników rakietowych, zaelaborowanych stałymi heterogenicznymi paliwami rakietowymi.

Opis patentowy US 8550004 [20] podaje niskotopliwe stopy metali uszczelniających nitowe połączenie między zapłonnikiem a profilowanym dnem łuski nabojów np. o kalibrze 105 mm (rys.6). Temperatura topnienia stopów mieści się w zakresie (104,4–122,8)°C. W warunkach normalnej eksploatacji amunicji, tj. w temperaturze do 71°C, nitowe połączenie wytrzymuje ciśnienie produktów spalania ładunku miotającego, mieszczące się w zakresie (49,7 – 62,1) MPa, natomiast, w warunkach nadmiernie wysokiej tempertury otoczenia, pod wpływem znacznie mniejszego ciśnienia produktów rozkładu ładunku miotającego, zapłonnik zostaje oddzielony (odrzucony) od łuski, zapobiegając tym samym dalszemu wzrostowi ciśnienia produktów spalania we wnęce łuski.

Patent application US 2010/0122640 [19] describes a thermoplastics placed in longitudinal slots made in the side wall of the case for antitank cartridge as an example of implementation for the invention. Temperature of transition into the state of plasticity for the plastic was ca. 90°C. Therefore it is much lower than the ignition temperature of the propelling charge (smokeless powder) which is equal according to STANAG 4491 [4] ca. 150 – 170°C. It was stated in this patent application that the initial (threshold) pressure of propelling charge thermal decomposition (combustion) products which should remove (blow out) the material after its transition into the state of plasticity from the longitudinal venting hole of the case, was ca. 1 MPa at temperature ca. 90°C. This presented patent application [19] shows that the requirements for matching the range of temperatures for transition of plastics into the state of plasticity for plastics used to vent the cases containing the propelling charges (smokeless powders) are stricter than requirements for materials used to vent the parts of munitions in the vicinity of warheads including the main explosive and booster (explosive) charges and in the area near the combustion chambers of rocket motors containing the heterogeneous solid rocket propellants.

Patent description US 8550004 [20] presents low-fusible alloys of metals sealing the riveted joints between the igniter and profiled base of cartridge case used for instance in calibre 105 mm (Fig.6). The melting temperature of the alloys is within (104.4–122.8)°C. In conditions of normal use for the munitions i.e. up to 71°C the riveted joint withstands the pressure of combustion products of the propelling charge having the values within (49.7 – 62.1) MPa, whereas in conditions of excessive ambient temperatures the igniter becomes separated (rejected) from the case under much lower pressure of decomposition products of the propelling charge what prevents the further pressure building up for combustion products inside the case.



Rys. 6. Przekrój osiowy stalowej łuski 10 naboju oraz powiększony fragment połączenia nitowego między dnem łuski 10 a obudową stalową 40 otaczającą zapłonnik (niewidoczny), zawierającego niskotopliwy stop 50 (według opisu patentowego US 8550004). Pozostałe oznaczenia: 20 – korpus łuski, 30 – komora łuski, 60 – wydłużony występ utrzymujący górną część stopu 50, 70 – otwór w dnie łuski 10 na zapłonnik, 80 – występ obudowy 40, dopasowany do wnęki dna łuski 10

Fig. 6. Axial section of steel case 10 of artillery shell and enlarged fragment of riveted venting joint between bottom of the case 10 and steel plug body 40 surrounding the igniter absent in the this Figure (due to the Patent US 8550004). *The joint comprises low-fusible alloy 50. The rest reference numerals are as follows: 20 – case body, 30 - case chamber, 60 – elongated extending member keeping the top part of the low-fusible alloy, 70 – hole in the bottom of the case for insertion of the igniter, 80 – extending member of the steel plug body 40 matched with the recess of the of the case 10 bottom*

Zastrzegane stopy niskotopliwe, zastosowane do uszczelnienia połączenia nitowego mają następujące składy:

- 52% części wagowe indu, 48% części wagowych cyny (temp. topnienia stopu ok. 117,8°C),
- 52,2% części wagowych indu, 46% części wagowych cyny i 1,8% części wagowych cynku (temp. topnienia stopu ok. 107,8°C);
- 74% części wagowych indu oraz 26% części wagowych kadmu (temp. topnienia stopu ok. 122,8°C),
- 50% części wagowych bizmutu, 28% części wagowych ołowiu oraz 22% części wago-

The claimed low-fusion alloys used for riveted joints have following compositions:

- 52% of indium and 48% of tin (weight percentages) (alloy melting temperature ca. 117.8°C),
- 52.2% of indium, 46% of tin and 1.8% of zinc (weight percentages) (alloy melting temperature ca. 107.8°C),
- 74% of indium and 26% of cadmium (weight percentages) (alloy melting temperature ca. 122.8°C),
- 50% of bismuth, 28% of lead and

wych cyny (temp. topnienia stopu wynosi ok. 108,8^{o}C).

W zgłoszeniu opisu patentowego US 2005/0235861 [21] oraz opisie patentowym US 8925463 [22] przedstawiono zastosowanie niskotopliwego stopu w wentylacyjnych wnękach dna łuski nabojów średniokalibrowych, zawierającego np. (30-40)% części wagowych bizmutu i (60-70)% części wagowych cyny. Temperatura topnienia stopu mieściła się w zakresie (140-175)^{o}C. Według opisu patentowego US 8925463 [22] stop niskotopliwy może znajdować się w bocznej ściance łuski naboju albo w dnie łuski.

2.5. Elementy nośne amunicji

Grupę publikacji patentowych obejmującą wynalazki dotyczące układów materiałowych zawierających materiały niskotopliwe i termoplastyczne stosowane w konstrukcjach elementów amunicji, takich jak korpusy pocisków artyleryjskich czy komory spalania silników rakietowych, tworzą opisy patentowe US 4838166 [23] i US 5763027 [24] .

W opisie patentowym US 4838166 [23] zaprezentowano wielowarstwowy układ materiałowy korpusu obudowy, mieszczącej ładunek materiału wybuchowego, zawierający warstwy substancji niskotopliwych i termoplastycznych. Im bardziej warstwa była oddalona od materiału wybuchowego, tym niższa była jej temperatura topnienia. Na przykład w ramach wielowarstwowego układu materiałowego, do ładunku wybuchowego przylegała warstwa z polietylenu, zaś kolejne warstwy w kierunku zewnętrznej otoczki aluminiowej (nośnej) z otworami przelotowymi, tworzyła warstwa tektury, ołowiu i wosku. Niniejszy układ materiałowy odporny był na przebicie odłamkami, zaś w przypadku zagrożenia nadmiernym wzrostem temperatury otoczenia, np. w wyniku pożaru, niskotopliwe i termoplastyczne materiały odparowywały i ulatniały się (wosk) albo były wypychane przez otwory przelotowe aluminiowej otoczki.

Opis patentowy US 5763027 [24] dotyczy zastosowania pasm włókien sztucznych małoodpornych termicznie naprzemiennie ułożonych z włóknami sztucznymi wysokotemperaturowymi. Pasma włókien nasycone

22% of tin (weight percentages) (alloy melting temperature ca. 108.8^{o}C).

The application of patent description US 2005/0235861 [21] and patent description US 8925463 [22] present the deployment of the low-fusion alloy in case base venting recesses of medium calibre cartridges containing e.g. (30-40)% of bismuth and (60-70)% of tin (weight percentages). Melting temperature of the alloy was (140-175)^{o}C. According to patent description US 8925463 [22] the low-fusion alloy may be applied for the wall of cartridge case or its base.

2.5. Munitions Structural Members

Structural, bearing members of munitions used in construction of artillery projectiles or rocket motor combustion chambers, containing low-fusible or plastic components, are described by a group of patents for inventions presented in US 4838166 [23] and US 5763027 [24].

Patent description US 4838166 [23] presents a multilayer material composition of the body which is the casing containing the charge of explosive material, including the layers of low-fusible and thermoplastic compounds. The melting temperature of particular layer decreases with increase of its distance to explosive material. In an exemplary multilayer system, a polyethylene layer adheres directly to the explosive charge and the next layers towards the external aluminium cover with through holes (structural) were made of cardboard, lead and wax. The system was resistant against penetration by fragments and in the cases of threats - by excessive growth of ambient temperature caused e.g. by a fire,, the low-fusible and thermoplastic materials started to evaporate and they escaped (wax) or were pushed out through the holes of aluminium cover.

Patent description US 5763027 [24] concerns the application of strips of plastic fibres with low thermal resistance which interlay with fibres of high thermal resistance. The strips of fibres were saturated by the resin to create a netted

żywicą tworzyły siatkowy kompozyt tkaninowy. Niniejszy kompozyt zastosowano do budowy komór spalania silników rakietowych na stałe, heterogeniczne paliwo rakietowe (charakteryzujące się temperaturą zapłonu wyraźnie wyższą niż 200°C). Wraz ze wzrostem temperatury włókna małoodporne termicznie miękły (przechodziły w stan plastyczny) i/lub ulegały degradacji (termicznemu rozkładowi). W temperaturze 200°C, w siatce tkaninowej utworzonej przez włókna termoodporne, w miejscu gdzie znajdowały się włókna małoodporne termicznie powstały otwory wentylacyjne, przez które przedostawały się do otoczenia produkty spalania paliwa rakietowego. Układ materiałowy tracił wytrzymałość mechaniczną, osiągając w temperaturze 200°C maksymalnie 80%, korzystnie 60% i najkorzystniej 30% wytrzymałości, występującej w normalnej temperaturze otoczenia. Włókna małoodporne termicznie mogą być wykonane z konopi, juty, lnu, bawełny, jedwabiu, nylonu, polimerów octanowych, akrylonitrylowych, fluorowęglowych, poliestrowych, polietylenowych, polipropylenowych, celulozowych, uretanowych i poliolefinowych, zaś wysokotemperaturowe – z węgla, grafitu, aramidu, szkła, węglika krzemu, boru i tlenku glinu.

2.6. Pojemniki do przechowywania amunicji

Grupę wynalazków dotyczących pojemników (kontenerów) do przechowywania amunicji, zawierających stopy niskotopliwe albo tworzywa termoplastyczne, obejmują opisy i zgłoszenia patentowe US 6038979 [25], US 5611424 [26], US 2013/0248383 [27] i US 2013/0291754 [28].

W opisie patentowym US 6038979 [25] zastrzeżony jest cylindryczny pojemnik do przechowywania głowicy bojowej, zbudowany z warstw włókien węglowych związanych żywicą o temperaturze mięknienia wynoszącej ok. 121°C. W temperaturze tej wytrzymałość pojemnika na rozerwanie wynosiła ok. 20,7 MPa. W czasie kontrolowanej wentylacji pojemnika zagrożenie odłamkami w wyniku jego ewentualnego rozerwania praktycznie nie istniało.

Opis patentowy US 5611424 [26] przed-

fabric composite. The composite was used to build the rocket motor combustion chambers inserted with heterogeneous solid rocket propellant (having the ignition temperature well above 200°C). With the increase of temperature the fibres with low thermal resistance have softened (passed into the state of plasticity) and /or suffered degradation (thermal decomposition). At temperature of 200°C in the fabric network created by thermally resistant fibres the venting holes appeared in the places occupied by the low thermally resistant fibres relieving the rocket motor combustion products into the atmosphere. The material composition had been losing the mechanical resistance reaching at 200°C maximally 80%, preferably 60% and more preferably 30% of the strength existing in normal ambient temperature. The fibres with low thermal resistance may be made of hemp, jute, flax, cotton, silk, nylon, octane, acrylo-nitryl, fluorine-carbon, polyester, polyethylene, polypropylene, cellulose, urethane and polyolefin polymers, whereas the ones with high temperature resistance can be made of carbon, graphite, aramide, glass, boron carbide and aluminium oxide.

2.6. Containers for Storing Munitions

Patent applications and descriptions US 6038979 [25], US 5611424 [26], US 2013/0248383 [27] and US 2013/0291754 [28] present munitions storing containers using low-fusible alloys or plastics.

Patent description US 6038979 [25] includes the claim concerning a warhead storing cylindrical container that is made from the layers of carbon fibres bonded by a resin with temperature of softening equal to ca. 121°C. The strength of the container against breaking in this temperature was ca. 20.7 MPa. During a controlled process of the container venting no threat was observed by its fragments due to its optional disruption.

Patent description US 5611424 [26] presents a metallic container for storing at least one completed (assembled) part of

stawia metalowy kontener do przechowywania co najmniej jednego skompletowanego elementu amunicji, np. ładunku miotającego do 155 mm pocisku haubicznego. Z jednego końca kontener zamykany jest pokrywą z kołnierzem, uszczelnioną syntetycznym materiałem, korzystnie kompozytem na bazie jonomeru, o temperaturze topnienia w zakresie (87,8 – 132)^{o}C, korzystnie – w zakresie (121,1 - 132)^{o}C. Na przykład kompozyt ten może zawierać 56,75% części wagowych jonomeru, 40% części wagowych włókna szklanego i 3,25 % części wagowych sadzy.

Opis zgłoszenia wynalazku US 2013/0248383 [27] dotyczy zamknięcia metalowego pojemnika do przechowywania amunicji np. granatów. Zamknięcie tworzy pokrywa połączona z pojemnikiem za pomocą kleju epoksydowego lub niskotopliwego stopu metali, korzystnie eutektycznego lub lutowniczego. Substancje te znajdują się w stanie stałym w temperaturowym zakresie eksploatacji amunicji, wynoszącym od -51^{o}C do 71^{o}C.

Opis zgłoszenia wynalazku US 2013/0291754 [28] obejmuje zamknięcia pojemników do przechowywania amunicji, zawierające stopy niskotopliwe tworzące np. uszczelnienie gwintowego połączenia zamknięcia z pojemnikiem. Zastrzeżenia patentowe niniejszego wynalazku obejmują następujące składy niskotopliwych stopów eutektycznych:

- 52% części wagowe indu, 48% części wagowych cyny (temp. topnienia stopu ok. 117,8^{o}C); identyczny skład podany jest opisie patentowym US 8550004 [20];
- 50 % części wagowych indu i 50 % części wagowych cyny;
- 74% części wagowych indu oraz 26 % części wagowych kadmu (temperatura topnienia stopu ok. 122,8^{o}C); identyczny skład podany jest opisie patentowym US 8550004 [20];
- 58% części wagowych bizmutu, 42% części wagowych ołowiu;
- 58% części wagowych bizmutu, 42% części wagowych cyny (temp. topnienia stopu ok. 137,8^{o}C);
- 57% części wagowych bizmutu, 42% części wagowe cyny i 1% część wagowa srebra; identyczny skład podany jest opisie zgłoszenia patentowego US 2012/0255456 [13];

munitions e.g. the propelling charge for 155 mm howitzer projectile. The container is closed from one end by a cover with a flange which is sealed by a plastic, preferably by a composite on the basis of ionomer with the melting temperature (87.8 – 132.0)^{o}C, preferably (121.1 – 132.0)^{o}C. This composite may include for instance 56.75% of ionomer, 40.0% of fibreglass and 3.25% of soot (weight percentages).

Description of patent application US 2013/0248383 [27] refers to the closure of metal container for storing the munitions e.g. the grenades. The closure is made of a cover connected with the container by epoxy glue or by a low-fusible metal alloy, preferably by eutectic or the solder alloy. These substances are in solid state at the temperatures the munitions is used i.e. from -51^{o}C to 71^{o}C.

Description of invention application US 2013/0291754 [28] includes the closures for containers storing the munitions which contain low-fusible alloys creating eg. tightening of the threaded joint of the closure and container. Patent claims of the invention include the following compositions of low-fusible, eutectic alloys:

- 52% of indium and 48% of tin (weight percentage) (alloy melting temperature is ca. 117.8^{o}C); identical composition is given in the patent description US 8550004 [20];
- 50 % indium and 50 % of tin (weight percentage);
- 74% of indium and 26% of cadmium (weight percentage), (alloy melting temperature is ca. 122.8^{o}C); identical composition is given in patent description US 8550004 [20];
- 58% of bismuth and 42% of lead (weight percentage);
- 58% of bismuth and 42% of tin (weight percentage), (alloy melting temperature is ca. 137.8^{o}C);
- 57% of bismuth, 42% of tin and 1% of silver (weight percentage); identical composition is given in the patent description US 2012/0255456 [13];

– 51,2% części wagowych cyny, 30,6% części wagowych ołowiu i 18,2% części wagowych kadmu.

3. Podsumowanie i wnioski

Przegląd literatury patentowej w przedmiotowym zakresie wykazał, że podstawowymi dwiema grupami materiałów stosowanych do kontrolowanego rozhermetyzowania (wentylacji) amunicji pod wpływem nadmiernie wysokiej temperatury otoczenia, nieprzewidywanej w warunkach normalnej eksploatacji amunicji, są stopy metali zawierające w swym składzie bizmut, ołów, cynę, cynk, ind, kadm, antymon oraz bardzo szeroka gama tworzyw sztucznych, głównie termoplastycznych.

Bardzo istotny jest dobór odpowiedniego materiału umożliwiającego wentylację amunicji oraz ładunku materiału wysokoenergetycznego (wybuchowego) w niej zaelaborowanego. Aby dokonać odpowiednio doboru tych materiałów konieczna jest znajomość temperatury zapłonu lub początku gwałtownego rozkładu termicznego materiału wysokoenergetycznego oraz temperatury topnienia (metale) i/lub mięknienia (tworzywa sztuczne). Temperatura ww. przejść fazowych metali i tworzyw sztucznych powinna być wyraźnie niższa, korzystnie o co najmniej kilkadziesiąt stopni Celsjusza od temperatury zapłonu materiału wysokoenergetycznego. W tym miejscu warto zwrócić uwagę na sposób i warunki, w jakich mierzona jest temperatura zapłonu (początku termicznego rozkładu) materiału wysokoenergetycznego, ponieważ temperatura ta może różnić się nawet o kilkadziesiąt stopni, np. w zależności od tego, w jakich warunkach, zwłaszcza z jaką szybkością ogrzewany jest materiał wysokoenergetyczny [4].

W ramach połączeń stosowanych w amunicji, materiały umożliwiające wentylację amunicji często występują między zapalnikiem a korpusem pocisku artyleryjskiego lub rakietowego, między głowicą bojową a korpusem pocisku artyleryjskiego lub rakietowego, między głowicą bojową a komorą spalania pocisku rakietowego, komorą spalania pocisku rakietowego a jej zespołem

– 51.2% of tin, 30.6% of lead and 18.2% of cadmium (weight percentage).

3. Summary and Conclusions

Search of patent publications concerning the subject matter has shown that there are two basic groups of materials used for controlled depressurisation (venting) of munitions enforced by excessive ambient temperature which is beyond typical conditions of munitions' service and one of them includes the alloys of metals containing in their compositions the bismuth, lead, tin, zinc, indium, cadmium and antimony, and the second one includes a wide selection of plastics, mainly thermoplastics.

A suitable matching of material providing the ventilation of munitions and the charge of high energetic material (explosive) inserted in it, is an essential question. The knowledge on temperature of ignition or the beginning of rapid thermal decomposition for high energetic material and the temperature for melting (metals) or softening (plastics) is needed to make a suitable selection of these materials. The temperature of the above mentioned phase transitions for metals and plastics has to be distinctly lower, preferably at least a few dozen Celsius degrees than the ignition temperature of high energetic material. It is a good moment to mention the ways and conditions applied for the measurement of the ignition temperature (beginning of thermal decomposition) as this temperature may vary even by a few dozen degrees e.g. depending on the conditions of measurement and especially on the heating rate applied for the high energetic material [4].

There are some typically used joints exploiting the materials for munitions ventilation such as between the fuse and the body of artillery projectile or missile, between the warhead and the combustion chamber of a missile, between the combustion chamber of the missile and its

dyszowym, a także między zapłonnikiem i łuską naboju artyleryjskiego. Poza ww. połączeniami, materiały niskotopliwe mogą występować w specjalnych kanałach, otworach przelotowych wykonanych w głowicach, korpusach pocisków artyleryjskich lub rakietowych, komorach spalania pocisków rakietowych, korpusach zapalników oraz w łuskach artyleryjskich.

Badania światowej literatury patentowej w ww. zakresie powinny być szczególnie przydatne podczas realizacji prac dotyczących projektowania, konstruowania i badania amunicji małowrażliwej, zwłaszcza w kontekście zastosowanych materiałów wysokoenergetycznych, materiałów konstrukcji nośnych oraz substancji umożliwiających kontrolowaną wentylację amunicji w sytuacjach awaryjnych, w których czynnikiem zagrażającym niekontrolowanym wybuchem jest temperatura przekraczająca górną, graniczną temperaturę eksploatacji amunicji.

nozzle unit and also between the igniter and the artillery cartridge case. Besides of the above mentioned joints, the low-fusion materials may be applied in special channels, through holes made in the warheads, bodies of artillery projectiles or missiles, combustion chambers of missiles, bodies of fuses and artillery cases.

The studies of world patent publications concerning the above matters may be especially useful for works on the designing, developing and testing of insensitive munitions, especially in the context of used high energetic (explosive) materials, materials for structural, bearing members and substances allowing for the controlled ventilation of the munitions in emergency situations when the temperature exceeding the high limit of using/servicing the munitions threatens a risk of their uncontrolled explosion.

Literatura / *Literature*

[1] NATO Allied Ordnance Publication No 39 (AOP-39)- Guidance on the Assessment and Development of Insensitive Munitions (IM); Ed.3 (2010) str. L-4, L-12

[2] NATO Standardization Agreement No 4240 (STANAG 4240) – Liquid Fuel/external Fire Munition Test Procedures; Ed.2 (2003)

[3] NATO Standardization Agreement No 4382 (STANAG 4382) – Slow Heating – Munitions Test Procedures; Ed.2 (2003)

[4] NATO Standardization Agreement No 4491 (STANAG 4491) – Explosives, Thermal Sensitiveness and Explosiveness Tests; Ed.1 (2002) str. B-2;

[5] Radnich S. I., Davelman S., Symonds P. S., Taylor W. H., Opis patentowy US 3665857, *Base Ejecting Ordnance Projectile,* 1972 (zgłoszony z datą pierwszeństwa w USA w 1970r.);

[6] Hershberger W. D., Opis patentowy US 3927791, *Fusible Plug,* 1975 (zgłoszony z datą pierwszeństwa w USA w 1974r.);

[7] Dabiri S., Opis patentowy US 7451703, *Vented Lifting Plug for Munition,* 2008 (zgłoszony z datą pierwszeństwa w USA w 2005r.);

[8] Johnson C. T., McCubbin M. J., Zulkoski T. R., Opis patentowy US 4004516, *Fuze,* 1977 (zgłoszony z datą pierwszeństwa w USA w 1975r.);

[9] Wong R. S., Rand H. T., Ranu J., Oakley Ch. W., Ivankoe M. E., Opis patentowy US 7025000, *Mechanism for Reducing the Vulnerability of High Explosive Loaded Munitions to Unplanned Thermal Stimuli,* 2006 (zgłoszony z datą pierwszeństwa w USA w 2003r.);

[10] Cannon T. C., Opis patentowy US 8505458, *Venting Cap System,* 2013 (zgłoszony

z datą pierwszeństwa w USA w 2012r.);

[11] Aumasson R., Dion D., Jayet S., Opis patentowy US 7353755, *Deconfinement Device for the Casing of a Piece of Ammunition*, 2008 (zgłoszony z datą pierwszeństwa we Francji w 2004r.);

[12] Kim S. S., Hawley E., Johnson J., Nolder M., Luense J., US 7331292, *Venting System for Explosive Warheads*, 2008 (zgłoszony z datą pierwszeństwa w USA w 2004r.);

[13] Fink K., Smith D. A., Borchard C. F., Fehr D. J., Hanson S. V., Shireman M. J., Stanek R. J., Koshuba J. S., US 2012/0255456, *Insensitive Munitions Swaged Vent Plug*, 2012 (zgłoszony z datą pierwszeństwa w USA w 2009r.);

[14] Cherry Ch. C., Wiechering R. E., Opis patentowy US H1144, *Solid Propellant Rocket Motor with Fusible end Closure Holder*, 1993 (zgłoszony z datą pierwszeństwa w USA w 1990r.);

[15] Ellingsen W., Opis patentowy US 5311820, *Method and Apparatus for Providing an Insensitive Munition*, 1994 (zgłoszony z datą pierwszeństwa w USA w 1991r.);

[16] Mort R. W., Goble J. E., Opis patentowy US 5398498, *Joint Construction Between Components of Military Projectile and Releasable by Melting of Fusible Eutectic Helical Member*, 1995 (zgłoszony z datą pierwszeństwa w USA w 1994r.);

[17] Kim S. S., Luense J. R., Opis patentowy US 6338242, *Vented MK 66 Rocket Motor Tube with Thermoplastic Warhead Adapter*, 2002 (zgłoszony z datą pierwszeństwa w USA w 2000r.);

[18] Diehl M. D., Schneck E. M., Bogan G. N., Opis zgłoszenia patentowego US 2014/0284913, *Pressure Vessel with Safety Features*, 2014 (zgłoszony z datą pierwszeństwa w USA w 2013r.);

[19] Ljungwald N., Tuikkanen P., Opis zgłoszenia patentowego US 2010/0122640, *Internal Pressure Relieving Device for Anti-armour Ammunition*, 2010 (zgłoszony z datą pierwszeństwa w Szwecji w 2007r.);

[20] Woo T., Moy L., Elmarsi B., Morales Ch., Cohen A. N., Prillman D. L., Opis patentowy US 8550004, *Riveted Cartridge Venting*, 2013 (zgłoszony z datą pierwszeństwa w USA w 2012r.);

[21] Haeselich D., Zgłoszenie opisu patentowego US 2005/0235861, *Cartridge Munition, Particularly One of Medium Caliber*, 2005 (zgłoszony z datą pierwszeństwa w Niemczech w 2004r.);

[22] Sullivan K. M., Martinez M. E., Bruno N. H., Desmarais B., Opis patentowy US 8925463, *Pressure Relief System for Gun Fired Cannon Cartridges*, 2015 (zgłoszony z datą pierwszeństwa w USA w 2012r.);

[23] Spies H., Weigel U., Opis patentowy US 4838166, *Casing for the protection of explosive charges*, 1989 (zgłoszony z datą pierwszeństwa w Niemczech w 1986r.);

[24] Enders M. L., Robinson T. T., Opis patentowy US 5763027, *Insensitive Munitions Composite Pressure Vessels*, 1998 (zgłoszony z datą pierwszeństwa w USA w 1994r.);

[25] Watson F. W., Hannock W., Lam R., Evans G., Opis patentowy US 6038979, *Insensitive Warhead Casings*, 2000 (zgłoszony z datą pierwszeństwa w USA w 1997r.);

[26] Sniezek F., Ivankoe E. M., Ruffini S., Opis patentowy US 5611424, *Container Fuse for Enhanced Survivability*, 1997 (zgłoszony z datą pierwszeństwa w USA w 1996r.);

[27] Kotevski S., Garner A., Sapp H. N., Gonsalves V., Evangelisti M., Campagnuolo C., Kotefski N., Sicoli S., Opis zgłoszenia patentowego US 2013/0248383, *Ammunition Can with Safety Valve,* 2013 (zgłoszony z datą pierwszeństwa w USA w 2012r.);

[28] Kotefski S., Reda E. R., Kotevski N., Opis zgłoszenia patentowego US 2013/0291754, *Pressure Discharge Valve,* 2013 (zgłoszony z datą pierwszeństwa w USA w 2013r.).