



## TECHNOLOGIA I WŁASNOŚCI KOMPOZYCJI WYBUCHOWYCH TYPU TGAF NA PODSTAWIE ROSYJSKICH WYNAŁAZKÓW

### *TECHNOLOGY AND PROPERTIES OF EXPLOSIVE TGAF COMPOSITIONS ON THE BASIS OF RUSSIAN INVENTIONS*

Maciej MISZCZAK, *miszczakm@witu.mil.pl*, ORCID: 0000-0003-2737-1517  
Wojskowy Instytut Techniczny Uzbrojenia, ul. Pr. St. Wyszyńskiego 7, 05-220 Zielonka  
*Military Institute of Armament Technology, 7 Wyszyńskiego St., 05-220 Zielonka, Poland*

DOI 10.5604/01.3001.0016.1163

**Streszczenie:** W artykule przedstawiono rezultaty poszukiwań i analiz rosyjskich opisów patentowych z zakresu technologii wytwarzania i formowania ładunków niskotopliwych kompozycji wybuchowych typu TGAF zawierających, trotyl, heksogen, proszek aluminiowy i flegmatyzator. Kompozycje tego typu, oznaczone jako TGAG-5, TGAF-5 i MS, stosowane są w Wojsku Polskim w wielkogabarytowej amunicji, przede wszystkim w bombach lotniczych, głębinowych, minach morskich, torpedach i głowicach pocisków rakietowych. W wyniku poszukiwań i analiz w przedmiotowym zakresie znaleziono pięć opisów patentowych [1-5] zawierających informacje na temat sposobów otrzymywania kompozycji typu TGAF, formowania z nich ładunków wybuchowych oraz własności fizykochemicznych, takich jak stałość chemiczna, ciepło wybuchu, zdolność do wykonywania pracy, kruszność (próba Trauzla, Hessa), wrażliwość na uderzenie, tarcie, temperatura początku rozkładu termicznego oraz temperatura wyfuknięcia. Powyższe informacje mają istotne znaczenie z punktu widzenia bezpieczeństwa produkcji, eksploatacji i utylizacji amunicji zawierającej kompozycje TGAF.

**Słowa kluczowe:** kompozycje wybuchowe TGAF, ładunki wybuchowe, technologia wytwarzania, własności fizykochemiczne, rosyjskie wynalazki

### 1. Wstęp

Wybuchowe, niskotopliwe kompozycje typu TGAF, tj. zawierające, trotyl, heksogen,

**Abstract:** There are presented results of search and analysis of Russian patents on manufacture technology and properties of low-fusible, high-explosive compositions type TGAF containing trotyl, hexogen, aluminum powder and phlegmatizing agent. Such type compositions marked as TGAG-5, TGAF-5 and MS are widely used in Polish Armed Forces in large-sized munitions like aerial bombs, depth charges, sea mines, torpedoes and warheads of missiles. As a results of above search and analysis, there are found five patent descriptions of Russian inventions [1-5] containing several data on the TGAF explosive compositions. These data included information pieces on manufacture technology of such explosives, and data on their physical and chemical properties like chemical stability, heat of explosion, ability to do work by explosion products (performance), brisance (Trauzl and Hess tests), sensitivity to mechanical stimuli, i.e. to impact and friction, temperature of the beginning of thermal decomposition and cook-off temperature. Above information and data are of critical importance as it concerns safety of such type munitions during their production, usage and disposal.

**Keywords:** TGAF explosive compositions, explosive charges, manufacture technology, physical and chemical properties, Russian patents

### 1. Introduction

High explosive, low-fusible compositions type TGAF, i.e. containing trotyl, hex-

gen, proszek aluminiowy i flegmatyzator są szeroko stosowane w Wojsku Polskim, w wielkogabarytowej amunicji, przede wszystkim w bombach lotniczych, głębinowych, minach morskich, torpedach, głowicach pocisków raketowych i oznaczane są jako TGAG-5, TGAF-5 oraz MS.

Interesujące informacje na temat technologii wytwarzania kompozycji wybuchowych typu TGAF, formowania z nich ładunków wybuchowych i ich własności fizykochemicznych ukazały się stosunkowo niedawno, bo w drugiej dekadzie XXI wieku w pięciu rosyjskich opisach patentowych [1-5], z których cztery [1-4] zostały zgłoszone jako tajne w Związku Radzieckim w latach 1966-1971, a następnie odtajnione. Informacje o zdjęciu klauzuli z tajności z tych czterech wynalazków podano w 2016 roku, w Oficjalnym Biuletynie Rosyjskiej Federalnej Służby ds. Własności Intelektualnej (ROSPATENT), zatytułowanym „Wynalazki i wzory użytkowe”. Jeden opis patentowy [5] został zgłoszony w trybie jawnym w Federacji Rosyjskiej w 2011 roku i opublikowany dwa lata później.

## 2. Wyniki poszukiwań i analiz patentowych

Znalezione wynalazki [1-5], zawierające informacje na temat kompozycji wybuchowych typu TGAF, omówiono kolejno według wzrastających numerów patentów, tj.: SU 1841117[1], SU 1841149[2], SU 1841215[3], SU 1841269[4] oraz RU 2482102[5].

Opis patentowy SU 1841117 [1] dotyczy sposobu otrzymywania kompozycji wybuchowych TGAG-5 i TGAF-5 w postaci proszków. W kompozycji wybuchowej TGAG-5 jako flegmatyzator zastosowano syntetyczny, bardzo toksyczny wosk chloronaftalenowy o nazwie handlowej „halowax” (ros. „гаło-

ogen, aluminum powder and phlegmatizing agent are widely used in Polish Armed Forces in large-sized munitions like aerial bombs, depth charges, sea mines, torpedoes and missile warheads. These compositions are marked as TGAG-5, TGAF-5 and MS.

Interesting information pieces on manufacture technology of type TGAF compositions, shaping of explosive charges with such compositions and their physicochemical properties, were published in five Russian patent descriptions [1-5] relatively not long ago, i.e. in the second decade of the XXI century. Four of these patent descriptions [1-4] had been applied as secret ones in Soviet Union in years 1966-1971, and later they were disclosed. Information on removing secrecy from them were announced in 2016 year in Official Bulletin of Russian Federation Service for Intellectual Property (ROSPATENT), entitled “Inventions and Utility Models”. One invention [5] was applied in Russian Federation due to open procedure in 2011 year and published two years later.

## 2. Results of Patent Search and Analyses

The found inventions [1-5] containing information on explosive compositions of TGAF type are successively discussed with increased number of obtained patents, i.e.: SU 1841117[1], SU 1841149[2], SU 1841215[3], SU 1841269[4] and RU 2482102 [5].

Patent description SU 1841117[1] deals with the way of obtainment of powdered explosive compositions TGAG-5 and TGAF-5. In the composition TGAG-5, very toxic synthetic naphthalene halide wax of commercial name “halowax” (in Russian “galowax”) was used as phlegmatizing agent. The weight con-

waks”), stanowiący ok. 5% masy kompozycji, zaś w kompozycji TGAF-5 zastosowano flegmatyzator inny niż „halowax”, np. cerezynę, również stanowiący 5% masy kompozycji.

Istota sposobu według wynalazku SU 1841117 [1] polega na tym, że do reaktora z płaszczem grzejnym, wyposażonym w termometr i mieszadło turbinowe mieszające z częstotliwością 200 obrotów na minutę, dozuje się proszek aluminiowy, flegmatyzator i wodę w stosunku wagowym fazy stałej do ciekłej (wodnej), wynoszącym 1:1, ogrzewa wodną zawiesinę do temperatury wyższej o 5-10 °C od temperatury topnienia flegmatyzatora, utrzymując ją przez 15-20 minut i schładza do temperatury 75 °C. Po schłodzeniu zawiesiny wodnej flegmatyzator pokrywa równomiernie cząstki aluminium. Następnie, do schłodzonej zawiesiny wodnej dodaje się kryształy heksogenu pokrytego substancją powierzchniowo czynną - proszkiem OP-10 stanowiącym 0,05% masy heksogenu i podgrzewa do temperatury topnienia flegmatyzatora, utrzymując ją przez 15-20 minut, po czym zawiesinę schładza do temperatury 35-40 °C, uzyskując trwałą przychepność heksogenu i flegmatyzatora do powierzchni cząstek proszku aluminiowego.

Do schłodzonej zawiesiny wlewa się roztwór trotylu w acetonie, rozcieńcza zawartość reaktora wodą w celu pełnego i szybkiego wykrystalizowania trotylu z roztworu, a następnie zawiesinę wynikową filtruje się na lejku próżniowym, otrzymując na filtrze produkt końcowy (TGAG-5 lub TGAF-5) w postaci proszku, który po osuszeniu ma następujący rozkład granulometryczny (tabela 1).

Roztwór macierzysty pozostały po odfiltrowaniu zawiesiny, zawierający co najmniej 20% acetonu, może być poddany oddestylowaniu, zaś aceton i woda zawrócone do instalacji procesu technologicznego.

Content of this phlegmatizing agent in TGAG-5 composition, was 5%. In composition TGAF-5 it was used different phlegmatizing agent, e.g. ceresin (wax) instead of the “halowax”. The content of this different phlegmatizing agent in the TGAF-5 composition was 5% weight of the composition.

The essence of the method according to invention SU 1841117[1] relies on feeding aluminum powder, phlegmatizing agent and water into the chemical reactor with heated water jacket and turbine stirrer with straight blades turning with the rate of 200 revolutions per minute, at keeping the mass ratio between solid and liquid (water) phases 1:1, and heating the water slurry within 15-20 minutes at the temperature higher by 5-10 °C than the melting point of the phlegmatizing agent to cool it next to 75 °C. After cooling the water slurry, the phlegmatizing agent evenly covers the surface of aluminum particles. Next, crystals of hexogen covered by superficial active substance, i.e. OP-10 powder being 0.05% of hexogen mass, are added into the cooled water slurry to be heated up to phlegmatizing agent melting temperature and kept there within 15-20 minutes, and finally cooled to 35-40 °C, when a permanent adhesion of hexogen and phlegmatizing agent to the surface of aluminum powder particles is received.

Trotyl acetone solution is poured into the cooled down slurry and the content of the reactor is diluted by water for complete and fast crystallization of trotyl from the solution, and next the resultant slurry is filtered onto the vacuum funnel to receive on the filter the final product (TGAG-5 or TGAF-5) as the powder which after drying has following particle-size distribution (Table 1).

Mother solution left after filtering the slurry, containing at least 20% of acetone, can be distilled, and acetone and water can be returned into the technological-processing installation.

Tabela 1. Rozkład granulometryczny proszku kompozycji TGAG-5 (TGAF-5)

Table 1. Particle-size distribution of powdered TGAG-5 (TGAF-5) composition

Wielkość cząstek proszku aluminiowego <i>Particle size of aluminum powder</i> [mm]	Minimalny udział danej frakcji cząstek w całkowitej masie produktu <i>Minimum part of given fraction of particles in the total mass of the product</i> [%]	Maksymalny udział danej frakcji cząstek w całkowitej masie produktu <i>Maximum part of given fraction of particles in the total mass of the product</i> [%]
0,650-1	28	35
0,5150-0,650	20	50
Poniżej / <i>below</i> 0,515	42	55

Otrzymana kompozycja wybuchowa (TGAG-5, TGAF-5) w postaci proszku nadaje się do tabletkowania i dalszego stosowania np. do formowania ładunków wybuchowych w korpusach amunicji za pomocą odlewania próżniowego, po częściowym napełnieniu korpusów amunicji kawałkami, np. tabletkami kompozycji wybuchowej. Gęstość tabletek kompozycji TGAG-5 lub TGAF-5, otrzymanych w automatycznej tabletkarce przy nacisku prasowania 1200 kG/cm<sup>2</sup> i 2000 kG/cm<sup>2</sup> mieści się w zakresie 1,702-1,708 g/cm<sup>3</sup>.

W opisie patentowym SU 1841149 [2] przedstawiono podstawowe parametry informujące o energii wybuchu kompozycji MS i zdolności do wykonywania pracy przez jej produkty detonacji, porównując je z analogicznymi właściwościami trotylu (tabela 2).

Obtained powdered explosive composition (TGAG-5, TGAF-5) can be pelletized for further shaping of explosive charges in the munitions bodies by vacuum cast followed by partial feeding of the munitions bodies with lumps of the explosive composition for example in the form of pellets of such composition. The density of TGAG-5 or TGAF-5 pellets obtained by pressing force 1200 kG/cm<sup>2</sup> or 2000 kG/cm<sup>2</sup> in the automated pelleting machine, is in the range 1,702-1,708 g/cm<sup>3</sup>.

The patent description SU 1841149[2] presented several explosive and energetic parameters of MS composition. These MS composition parameters were compared with analogical parameters of trotyl in Table 2.

Tabela 2. Zestawienie własności wybuchowych i energetycznych trotylu oraz kompozycji MS

Table 2. Comparison of explosive and energetic properties of trotyl with MS composition

Materiał wybuchowy <i>Explosive</i>	Ciepło wybuchu <i>Heat of explosion</i> [kcal/kg]	Kruszność wg próby Trauzla <i>Brisance due to Trauzl test</i> [cm <sup>3</sup> ]	Gęstość <i>Density</i> [g/cm <sup>3</sup> ]	Prędkość detonacji <i>Detonation velocity</i> [m/s]	Kruszność wg próby Hessa <i>Brisance due to Hess test</i> [mm]
Trotyl	1000	285	1,61	7000	16
MS	1370	500	1,68	7600	19

Tabela 2 – cd. / Table 2 – continued

Materiał wybuchowy <i>Explosive</i>	Gęstość ładunku wybuchowego o masie 50 g <i>Density of explosive charge of mass 50 g</i> [g/cm <sup>3</sup> ]	Maksymalne ugięcie przegrody ze stali 30HGSA o grubości 3 mm, usytuowanej pod wodą w odległości 300 mm od ładunku wybuchowego <i>Maximum deflection of diaphragm made from 30HGSA steel of width 3 mm situated under water in the distance of 300 mm from the explosive charge</i> [mm]
Trotyl	1,55	41,5
MS	1,67	47,0

Z tabeli 2 wynika, że kompozycja MS ma wyraźnie wyższe parametry wybuchowe i energetyczne niż trotyl, co spowodowane jest obecnością w jej składzie heksogenu i proszku aluminiowego.

Z tabeli 2 cd. wynika, że ładunek wybuchowy kompozycji MS ma o ok. 13% wyższy parametr wybuchowy, mierzony maksymalnym ugięciem przegrody pod wodą, niż ładunek trotylowy.

From Table 2 it can be concluded that MS composition has got distinctly higher explosive and energetic parameters than trotyl due to presence of hexogen and aluminum powder.

Continuation of Table 2 shows that MS composition explosive charge has got ca. 13% higher explosive performance, measured by deflection of an underwater diaphragm, than the trotyl charge.

Tabela 3. Parametry fizykochemiczne kompozycji wybuchowej MS

Charakterystyka parametru	Wartość parametru
Stołość chemiczna wg metody manometrycznej; ogrzewanie próbki kompozycji wybuchowej w temp. 100 °C przez 24 h, przy początkowym ciśnieniu wynoszącym 30 mm słupa Hg, wynik- wzrost ciśnienia w mm słupa Hg po ww. ogrzewaniu	10 mm Hg
Wrażliwość na uderzenie wg standardowej próby (masa ciężaru 10 kg; wysokość spadku ciężaru - 25 cm), % liczby wybuchów	16-28%
Wrażliwość na tarcie za pomocą wahadłowego aparatu tarcowego K-44-3, % liczby wybuchów; przyłożony nacisk, kG/cm <sup>2</sup> : 5000 6000	0% 56%
Temperatura początku termicznego rozkładu w ciągu 30 minut, °C	200 °C
Temperatura wyfuknięcia po 1 minucie kontaktu kompozycji MS z gorącą powierzchnią, °C	200 °C

Table 3. Physicochemical parameters composition of explosive MS

Characteristic of parameter	Parameter value
Chemical stability according to the manometric test; Heating explosive composition sample at 100°C for 24 h, under initial pressure 30 mm Hg; result – increase of the pressure in mm of Hg column after the sample heating under above conditions	10 mm
Impact sensitivity due to standard fall hammer test (mass of falling weight – 10 kg, falling distance – 25 cm); result- percentage of number of explosions from total number of trials	16-28%
Friction sensitivity determined by pendulum friction apparatus K-44-3; result – percentage of number of explosions from total number of trials at given pressure exerted onto the tested sample exerted pressure, kG/cm <sup>2</sup> : 5000 6000	0% 56%
Temperature of the beginning of thermal decomposition during 30 minutes, °C	200 °C
Cook-off temperature after 1 minute contact of test sample with hot plate, °C	200 °C

Ponadto, w opisie patentowym SU 1841149 [2] przedstawiono właściwości fizykochemiczne kompozycji MS istotne z punktu widzenia bezpieczeństwa jej eksploatacji (tab 3).

Z tabeli 3 wynika, że kompozycja MS jest trwała (stała) chemicznie oraz stosunkowo mało wrażliwa na uderzenie i tarcie, a także jest odporna termicznie.

Przedmiotem wynalazku, według opisu patentowego SU 1841215 [3], jest odlewana kompozycja wybuchowa WTGA-5, zawierająca zamiast bardzo toksycznego „halowaxu” ok. 5% części wagowych wielkocząsteczkowego flegmatyzatora, spełniającego dodatkowo rolę lepiszcza, o nazwie handlowej „winilit” WA-20, będącego żywicą winylową występującą w postaci proszku.

Celem ww. wynalazku było otrzymanie mieszaniny wybuchowej o analogicznym składzie jak kompozycja TGAG-5, jeśli chodzi o zawartość trotylu, heksogenu i proszku aluminiowego i jednocześnie o lepszej technologiczności i własnościach mechanicznych niż kompozycja TGAG-5.

„Winilit” w postaci proszku charakteryzuje

In addition, the patent description SU 1841149 [2] presents physicochemical properties of MS explosive composition important for its safe use (Table 3).

It can be concluded from Table 3 that MS composition has chemical stability and thermal resistance, and relatively low sensitivity to impact and friction.

The subject of patent description SU 1841215 [3] is a cast explosive composition WTGA-5 containing ca. 5% weight parts of a high-molecular phlegmatizing agent, playing also the role of a binder, with commercial name “vinilit” WA-20, i.e. the powdered vinyl resin, (instead of very toxic “halowax”).

The goal of above invention was to get an explosive mixture of analogical composition as TGAG-5 regarding the content of TNT, RDX and Al powder, and at the same time with better technological and mechanical properties than TGAG-5 composition.

Powdered “vinilit” has got a very high flow rate facilitating its feeding. The aluminum powder ASD-1 was used instead of

się wysoką sypkością, ułatwiającą jego dozowanie. Ponadto, aby zapobiec rozwarstwianiu kompozycji wybuchowej, według opisu wynalazku, zamiast aluminiowego proszku PA-4 zastosowano proszek aluminiowy ASD-1.

Zastrzegana kompozycja wybuchowa WTGA-5 miała następujący skład, wyrażony wagowym udziałem procentowym jej składników:

- (55±5)% trotylu;
- (24±3)% heksogenu;
- (16±2)% proszku aluminiowego ASD-1;
- (5±1)% „winilitu” WA-20.

Wadą technologiczną płynnej kompozycji WTGA-5 była jej dosyć wysoka lepkość wynosząca 400-500 cP, znacznie wyższa niż lepkość kompozycji TGAG-5 mieszcząca się w zakresie 100-150 cP. Mimo wysokiej lepkości kompozycja WTGA-5 nadawała się do odlewania ładunków wybuchowych metodą próżniową. Dozowanie składników kompozycji WTGA-5 mogło być realizowane na zmechanizowanej linii technologicznej pracującej w trybie ciągłym, w mieszalniku pneumatycznym. Podczas odlewania metodą próżniową korpus amunicji zawierał fazę stałą kompozycji WTGA-5 w postaci kawałków, tj. łusek/płytek formowanych na tacach.

Ze względu na analogiczny udział trotylu, heksogenu, proszku aluminium i flegmatyzatora, własności eksploatacyjne kompozycji WTGA-5 były zbliżone do własności eksploatacyjnych kompozycji TGAG-5 (tabela 4). Dzięki zastąpieniu „halowaxu” „winilitem” wytrzymałość kompozycji WTGA-5 na ściskanie zwiększyła się ok. 2,3 razy w porównaniu z wytrzymałością na ściskanie kompozycji TGAG-5 (ostatnia pozycja w tabeli 4).

Przedmiotem wynalazku według opisu patentowego SU 1841269 [4] był materiał wybuchowy typu TGAF, oznaczony jako TGFA-30, odlewany metodą próżniową, o zwiększonej kruszności i zwiększonym efekcie burzącym w porównaniu z kompozycją MS.

PA-4 aluminum powder to prevent stratification of explosive composition.

According to the invention, the claimed WTGA-5 explosive composition was composed (weight percentage) of:

- (55±5)% trotyl,
- (24±3)% hexogen,
- (16±2)% aluminum powder ASD-1,
- (5±1)% „vinilit” WA-20.

A technological disadvantage of liquid WTGA-5 composition is its relatively high viscosity of 400-500 cP which is much higher than TGAG-5 composition viscosity of 100-150 cP. In spite of high viscosity, WTGA-5 composition was successfully used for vacuum casting of high explosive charges. Despite of high viscosity, feeding of ingredients of WTGA-5 composition could have been realized in mechanized technological line operating in continuous mode, using a pneumatic mixer. During vacuum casting the body of ammunition contained solid phase of WTGA-5 composition in the form of lumps, i.e. scales/plates shaped on the trays.

Due to analogical content of trotyl, hexogen, aluminum powder and phlegmatizing agent the performance of WTGA-5 composition was similar to TGAG-5 composition (Table 4). Replacement of “halowax” by “vinilit” resulted in 2.3 time higher compression strength of WTGA-5 composition than TGAG-5 (see last position in Table 4).

The subject of invention due to the patent description SU 1841269[4] was the vacuum cast TGAF explosive marked as TGFA-30, of higher brisance and demolition performance than the MS explosive composition.

Tabela 4. Własności fizykochemiczne kompozycji WTGA-5 i TGAG-5

<b>Charakterystyka – parametr fizykochemiczny</b>	<b>WTGA-5</b>	<b>TGAG-5</b>
Stołość chemiczna wg metody manometrycznej; ogrzewanie próbki komp. wybuch. w temp. 110 °C, w próżni przez 24 h; wynik - ciśnienie nad próbką po jej ogrzewaniu, podane w mm słupa Hg	próżnia	próżnia
Wrażliwość na uderzenie wg standardowej próby (masa ciężaru -10 kg; wysokość spadu ciężaru - 25 cm), wynik -% liczby wybuchów	28-32%	24-30%
Wrażliwość na tarcie za pomocą wahadłowego aparatu tarcio- wego K-44-3, wynik - % liczby wybuchów; przyłożony nacisk, kG/cm <sup>2</sup> : 5000 6000 7000	8% 52% 96%	12% 52% 96%
Kruszność według próby Hessa, mm	12,5-13 mm	17-18 mm
Prędkość detonacji; m/s dla danej gęstości ładunku wybuchowego z kompozycji; g/cm <sup>3</sup>	6900-7010 1,72-173	6870-6920 1,75-1,76
Temperatura początku termicznego rozkładu; °C w ciągu danego czasu; minuty	205-207 °C 36-43 min.	214-217 °C 45-47 min.
Temperatura wyfuknięcia; °C po 1 minucie kontaktu kompozycji wybuchowej z gorącą powierzchnią o danej temperaturze; °C	222 °C	228 °C
Wytrzymałość na ściskanie; kG/cm <sup>2</sup>	495	215

Table 4. Physicochemical properties of WTGA-5 and TGAG-5 compositions

<b>Characteristics - physicochemical parameters</b>	<b>WTGA-5</b>	<b>TGAG-5</b>
Chemical stability according to the manometric test; Heating explosive composition sample at 110 °C for 24 h, under initial pressure 30 mm Hg; result – increase of the pressure in mm of Hg column after the sample heating under above conditions	vacuum	vacuum
Impact sensitivity due to standard fall hammer test (mas of falling weight – 10 kg, falling distance – 25 cm); result- percentage of number of explosions from total number of trials	28-32%	24-30%
Friction sensitivity determined by pendulum friction apparatus K-44-3; result – percentage of number of explosions from total number of trials at given pressure exerted onto the tested sample exerted pressure, kG/cm <sup>2</sup> : 5000 6000 7000	8% 52% 96%	12% 52% 96%
Brisance due to Hess test, mm	12,5-13 mm	17-18 mm
Detonation velocity; m/s for given density of charge of explosive composition; g/cm <sup>3</sup>	6900-7010 1,72-173	6870-6920 1,75-1,76



Temperature of the beginning of thermal decomposition; °C during given period; minutes	205-207 °C 36-43	214-217 °C 45-47
Cook-off temperature after 1 minute contact of test sample with hot plate; °C	222 °C	228 °C
Compression strength; kG/cm <sup>2</sup>	495	215

W części opisu patentowego dotyczącego stanu techniki stwierdzono, że do elaboracji wielkogabarytowej amunicji stosuje się m.in. kompozycje wybuchowe MS i TGAG-5, które zawierają maksymalnie ok. 17% cz. wag. proszku aluminium oraz do 57-60% cz. wag. heksogenu. Ponadto, w tej części opisu patentowego stwierdzono, iż wiele badań doświadczalnych wskazuje na celowość większego udziału proszku aluminiowego w kompozycji wybuchowej amunicji morskiej, zwłaszcza podwodnej, który stanowiłby 25-30% masy kompozycji.

W związku z powyższym, opracowano i zbadano kompozycje wybuchowe X<sub>1</sub>, X<sub>2</sub>, X<sub>3</sub> i TGFA-30, tj. o zwiększonej zawartości proszku aluminium i mniejszej zawartości heksogenu, w porównaniu z kompozycją MS (tab. 5).

In the part of the patent description dealing with the state of technology, it was stated that for elaboration (filling) of large sized munitions, there were used among others explosive compositions MS and TGAG-5 which contained up to ca. 17% weight parts of aluminum powder, and to 57-60% weight parts of hexogen. Moreover, it was stated in this part of patent description that many experimental tests suggested to use higher content, i.e. up to 25-30% weight parts, of aluminum powder in the compositions used in sea munitions, especially in underwater ones.

Concerning the above, explosive compositions X<sub>1</sub>, X<sub>2</sub>, X<sub>3</sub> and TGFA-30 of higher content of aluminum powder and less content of hexogen in comparison with MS composition were designed and tested (Table 5).

Tabela 5. Składy kompozycji wybuchowych MS, X<sub>1</sub>, X<sub>2</sub>, X<sub>3</sub> oraz TGFA-30 (podane w % częściach wagowych)  
 Table 5. MS, X<sub>1</sub>, X<sub>2</sub>, X<sub>3</sub> and TGFA-30 compositions (contents of ingredients are given in weight %)

Składnik / composition	MS	X <sub>1</sub> <sup>1</sup>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	TGFA-30
trotyl	19	27	23	23	15
heksogen / hexogen	57,6	32	45	32	56
aluminium / aluminum	17	36	27	40	25
Flegmatyzator / phlegmatizer	6,4	5	5	5	4

<sup>1</sup> Skład kompozycji wybuchowej X<sub>1</sub> jest analogiczny do amerykańskiej kompozycji wybuchowej H-6.  
 Composition of explosive X<sub>1</sub> is analogical as American explosive H-6.

Elaboracja amunicji wielkogabarytowej kompozycją wybuchową TGFA-30 według wynalazku SU 1841269 [4] polegała na tym, że do korpusów amunicji częściowo napełnionych tabletkami flegmatyzowanego heksogenu (np. A-IX-1) z 30% cz. wag. proszku

Filling of large-size munitions with TGFA-30 explosive composition due to invention SU 1841269 [4] was based on partial filling the ammunition bodies with pellets of phlegmatized hexogen (e.g. A-IX-1) with 30% weight parts of aluminum powder, con-

aluminiowego, stanowiących (59-65)% cz. wag. ładunku TGFA-30, wlewano w warunkach próżniowych fazę ciekłą w postaci kompozycji TGAF-5 z 40% cz. wagowymi heksogenu, stanowiącą (41-35)% części wagowej TGFA-30.

Zastrzegana kompozycja TGFA-30 miała następujący skład: (15±3)% trotylu; (56±3)% heksogenu; (25±3)% proszku aluminiowego, w tym 7% cz. wag. proszku ASD-1 oraz 18% cz. wag. pyłu aluminiowego PP-PP-3; (4±1)% cerezyny lub stearyny lub substancji o rosyjskiej nazwie „oksizin”<sup>1</sup>.

stituting (59-65)% weight parts of charge TGFA-30, and on pouring at vacuum conditions the liquid phase consisting of TGAF-5 composition with 40% weight parts of hexogen, and constituting (41-35)% of weight parts of TGFA-30.

The claimed TGFA-30 composition was as follows (weight percentage): 15±3% trotyl, (56±3)% hexogen, 25±3% aluminum powder including 7% weight parts of ASD-1 powder, 18% weight parts of PP-PP-3 aluminum powder, and 4±1% of ceresin, or stearin, or the substance with Russian name „oksizin”<sup>2</sup>.

Tabela 6. Charakterystyki wybuchowe kompozycji MS, X<sub>1</sub>, X<sub>2</sub> oraz X<sub>3</sub> oraz TGFA-30

Table 6. Explosive parameters –characteristics of MS, X<sub>1</sub>, X<sub>2</sub> and X<sub>3</sub> and TGFA-30 compositions

Kompozycja wybuchowa <i>Explosive composition</i>	Prędkość detonacji (dla danej gęstości MW podanej w g/cm <sup>3</sup> ) <i>Detonation velocity (for density of explosive sample; g/cm<sup>3</sup>)</i> [m/s]	Kruszność wg próby Trauzla <i>Brisance due to Trauzl test</i> [cm <sup>3</sup> ]	Ciepło wybuchu <i>Heat of explosion</i> [kcal/kg]	Objętość gazowych produktów wybuchu <i>Volume of gaseous products of explosion</i> [l/kg]
MS	7600 (1,68)	500	1378	710
X <sub>1</sub>	7350 (1,82)	355	1635	495
X <sub>2</sub>	7350 (1,75)	418	1449	630
X <sub>3</sub>	7820 (1,80)	314	1653	495
TGFA-30	7800 (1,79)	537	1725	620

Badania parametrów wybuchowych kompozycji MS, X<sub>1</sub>, X<sub>2</sub>, X<sub>3</sub> oraz TGFA-30 przeprowadzono na próbkach, każda o masie 200 g (tabela 6). Pod względem działania burzącego wyrażonego zdolnością do wykonania pracy przez produkty detonacji (próba Trauzla), prędkością detonacji i ciepłem wybuchu, kompozycja TGFA-30 jest wyraźnie silniejsza niż kompozycje MS, X<sub>1</sub>, X<sub>2</sub> oraz X<sub>3</sub> (tabela 6).

Explosive parameters of MS, X<sub>1</sub>, X<sub>2</sub>, X<sub>3</sub> and TGFA-30 compositions were tested using samples, each of 200 g mass (Table 6). Taking into consideration demolition efficiency expressed by abilities to do the work by detonation products (Trauzl test), detonation velocity and heat of explosion, the TGFA-30 composition is distinctly stronger than compositions MS, X<sub>1</sub>, X<sub>2</sub> and X<sub>3</sub> (Table 6).

<sup>1</sup> „Oksizin” jest produktem utleniania cerezyny; liczba kwasowa „oksizin”- to 14-20 mg KOH/g; liczba zmydlania 36-60 mg KOH/g; liczba estrowa 16-40 mg KOH/g, a temperatura kroplenia 88-97 °C.

<sup>2</sup> „Oksizin” is product of ceresine oxidation; acid number of “oksizin” is 14-20mg KOH/g; saponification number is 36-60mg KOH/g; ester number is (16-40)mg KOH/g, and dropwise temp. 88-97 °C.

Ponadto kompozycja TGFA-30 charakteryzuje się dobrą technologicznością w zakresie wytwarzania ładunków wybuchowych, umożliwiającą szybkie formowanie ładunków na zautomatyzowanych, zdalnie sterowanych liniach technologicznych.

Przedmiotem wynalazku według opisu patentowego RU 2482102 [5] był sposób otrzymywania odlewanych ładunków materiałów wybuchowych w korpusach amunicji, poprzez dozowanie kolejnych płynnych porcji kompozycji wybuchowej np. TGAG-5, układających się w korpusie amunicji warstwami, przy czym każda kolejna warstwa stopionej kompozycji wprowadzana była w korpus amunicji po obniżeniu temperatury poprzedniej warstwy do temperatury zakończenia objętościowych zmian kompozycji. W przypadku kompozycji TGAG-5 temperatura ta wynosiła ok. 65 °C. Sposób wg wynalazku umożliwia otrzymanie ładunków wybuchowych bez jam skurczowych (usadowych).

Aby określić temperaturę końca zmian objętościowych, próbkę kompozycji wybuchowej zanurzano w roboczej cieczy, zmieniając temperaturę układu: kompozycja wybuchowa – ciecz, mierząc jednocześnie objętość próbki w danej temperaturze. Zmiany objętościowe próbki określano na podstawie zmian siły hydrostatycznej (siły wyporu) działającej na nią w wyniku zanurzenia w cieczy roboczej. Masa próbki kompozycji TGAG-5 wynosiła 50 g, zmiany siły wyporu mierzono za pomocą wagi z podziałką ważenia wynoszącą 0,01 g. Dla kompozycji TGAG-5 stwierdzono, że zasadnicza zmiana objętości jej próbki zachodzi w zakresie temp. 65-70 °C, czyli w temperaturze niższej o kilkanaście stopni od temperatury topnienia trotylu (80,2 °C).

W ramach opisu patentowego RU 2482102 [5] zaprezentowano następujący przykład realizacji sposobu według wynalazku. Do korpusu głowicy rakiety o średnicy

In addition, TGFA-30 composition had got good technological processing during manufacture of explosive charges, which made possible their fast forming (shaping) in fully automated technological lines with distant control.

The subject of the invention according to the patent description RU 2482102 [5] was a method for obtainment of cast explosive charges in the bodies of munitions through successive laying the melted portions of explosive composition e.g. TGAG-5 in layers, and each next liquid layer of melted composition was added into the munition body after temperature of earlier added layer decreased so that volume changes of explosive composition were ended. For TGAG-5 composition this temperature was ca. 65 °C. The method due to the above invention made possible to obtain cast explosive charges without any shrink holes.

To determine the temperature of end of volume changes, the explosive composition sample was immersed into a working liquid changing the temperature of the tested phase system, i.e. explosive composition sample and the working liquid, and measuring simultaneously the volume of the sample at given temperature. The volume changes of the sample were determined on the basis of changes of the hydrostatic force (hydrostatic lift) acting on it in effect of immersing in the working liquid. The mass of TGAG-5 composition sample was 50 g and changes of hydrostatic lift were measured by scales with weighting division of 0.01 g. It was established for TGAG-5 composition that principal volume changes of its sample occurred within 65-70 °C, i.e. in the temperatures lower by a dozen or so Celsius degrees than the trotyl melting point (80.2 °C).

In the frame of the above patent description RU 2482102 [5], a following way of the method application was presented. Explosive

300 mm i wysokości 600 mm wlewano porcjami kompozycje wybuchową TGAG-5, dozując do korpusu głowicy płynne (stopione) warstwy kompozycji, każda o wysokości 100 mm. Dla takiej warstwy obliczono czas konieczny do jej ostygnięcia od temp. 82 °C do temp. 65 °C, który wynosił nieco ponad 20 minut. A zatem, przed waniem kolejnej warstwy kompozycji TGAG-5 do korpusu głowicy należało utrzymywać zastyganie poprzedniej warstwy kompozycji nieco ponad 20 minut. Po waniu ostatniej warstwy kompozycji TGAG-5, na korpus głowicy rakiety nakładano pokrywę z płaszczem grzejnym i przepuszczano medium grzejne - destylowaną wodę o temp. 88-90 °C przez 4 h, w celu utrzymania górnej warstwy kompozycji w stanie płynnym. Jednocześnie dolne warstwy ulegały zestaleniu bez dalszych zmian objętościowych. Następnie odcinano dopływ gorącej wody i zdejmowano pokrywę. Powierzchnię górną (swobodną) odlanego ładunku wybuchowego zalewano stopionym trotylem otrzymując, tzw. „korek trotylowy” stanowiący uszczelnienie ładunku.

### 3. Podsumowanie i wnioski

W wyniku poszukiwań i analiz opisów patentowych powyższych wynalazków ustalono następujące składy kompozycji wybuchowych TGAG-5 (TGAF-5) i MS, które zestawiono w tabeli 7.

TGAG-5 composition was poured in melted portions, each layer of 100 mm thickness, into the missile warhead body of diameter 300 mm and height 600 mm. It was calculated for such layer that time needed for its cooling from 82 °C to 65 °C was just above 20 minutes. Therefore, the previous layer of the composition had to be cooled a little longer than 20 minutes before the successive layer of TGAG-5 composition was poured into the body of the warhead. After pouring the last TGAG-5 composition layer, a cover with heating jacket was mounted onto the top of the missile warhead body with heating medium, the distilled water of temperature 88-90 °C, circulating for 4 hours in order to keep the upper (last fed) TGAG-5 composition layer in liquid state. At the same time, the lower layers solidified without further volumetric changes. Next, the flow of the heating medium was cut off and the cover was taken away. The upper (free) surface of the cast explosive charge was covered by melted trotyl to receive the so called “trotyl plug” as a sealing of the charge.

### 3. Summary and Conclusions

As a result of search and analyses of found patent descriptions, the following TGAG-5/TGAF-5 and MS compositions were identified and compared in Table 7.

Tabela 7. Zestawienie składów kompozycji TGAG-5/TGAF-5 i MS (podane w % częściach wagowych)

Table 7. TGAG-5/TGAF-5 and MS compositions (given in % weight parts)

Składnik / <i>Ingredient</i>	TGAG-5/TGAF-5	MS
trotyl	(55±5)%	19%
heksogen / <i>hexogen</i>	(24±3)%	57,6%
proszek Al. / <i>aluminium powder</i>	(16±2)%	17%
flegmatyzator / <i>phlegmatizer</i>	(5±1)%	6,4%

Ponadto, zebrano i przedstawiono wiele parametrów fizykochemicznych tych kompozycji, zwłaszcza eksploatacyjnych, w tym energetycznych i wybuchowych oraz istotnych dla bezpieczeństwa eksploatacji.

Z tabeli 7 wynika, że suma udziału trotylu i heksogenu w kompozycji wybuchowej TGAG-5(TGAF-5) oraz MS stanowi zazwyczaj ok. 80% jej masy. Udział wagowy proszku aluminiowego mieści się w granicach (14-18)%, zaś flegmatyzator stanowi ok. (4-6)% masy danej kompozycji. Podstawowe parametry fizykochemiczne ww. kompozycji wybuchowych TGAG-5 (TGAF-5) i MS, w kontekście bezpieczeństwa eksploatacji amunicji zawierającej te kompozycje, to:

- stałość chemiczna mierzona za pomocą metody manometrycznej w warunkach zbliżonych do próżni;
- wrażliwość na uderzenie mierzona za pomocą kafara (młota) wolno spadowego;
- wrażliwość na tarcie mierzona za pomocą wahadłowego aparatu tarcowego;
- temperatura początku rozkładu termicznego;
- temperatura wyfuknięcia.

Podstawowe parametry energetyczne (wybuchowe) kompozycji TGAG-5 (TGAF-5) i MS informujące o „sile wybuchu” ładunków z nich wykonanych, to:

- zdolność do wykonania pracy przez produkty detonacji, mierzona za pomocą próby Trauzla i Hessa;
- prędkość detonacji;
- ciepło wybuchu.

Podstawowa metoda otrzymywania ładunków wybuchowych z kompozycji wybuchowych typu TGAF polega na częściowym napełnianiu korpusów amunicji kawałkami kompozycji wybuchowej, stanowiącymi fazę stałą, a następnie zalewaniu korpusów do pełna płynną kompozycją wybuchową w warunkach zbliżonych do próżni.

Na uwagę zasługuje sposób otrzymywa-

Moreover, several physicochemical characteristics, especially operational performances including energetic and explosive ones, and essential for the safety of usage of these compositions were collected and presented.

Table 7 shows that the sum of trotyl and hexogen content, in the explosive compositions TGAG-5(TGAF-5) and MS, is usually ca. 80% of composition's mass, the weight content of the aluminum powder is in the range (14-18)%, and the phlegmatizer content is ca. (4-6)% of composition's mass. There are following basic physicochemical parameters of TGAG-5(TGAF-5) and MS explosive compositions regarding the safe use of munitions containing these compositions:

- chemical stability measured by means of the manometric method under conditions close to the vacuum ones;
- impact sensitivity measured by free falling (drop) hammer;
- friction sensitivity measured by pendulum friction apparatus;
- temperature of the beginning of thermal decomposition;
- cook-off temperature.

There are following principal energetic (explosive) parameters of TGAG-5(TGAF-5) and MS compositions relating to “power of explosion” of charges made from them:

- ability to do the work by detonation products measured by Trauzl and Hess tests;
- detonation velocity;
- heat of explosion.

The principal method for manufacture of explosive charges from TGAF compositions relies on a partial filling of the munitions bodies (molds) with lumps of the explosive composition constituting the solid phase, and next on complete filling of munitions bodies by the liquid explosive composition under conditions close to the vacuum ones.

nia odlewanych ładunków typu TGAF zaprezentowany w opisie patentowym RU 2482102 [5], polegający na stopniowym dozowaniu do korpusu amunicji kolejnych warstw płynnej kompozycji wybuchowej oraz na zastosowaniu ogrzewanej pokrywy, nakładanej na korpus amunicji po wleaniu ostatniej warstwy kompozycji i ogrzewaniu jej górnej warstwy do chwili, gdy dolne warstwy ulegną zestaleniu bez dalszych zmian objętościowych.

Omawiane opisy patentowe stanowią cenne, stosunkowo nowe i mało znane, oficjalne źródło informacji, rozszerzające wiedzę (stan techniki) w zakresie technologii ładunków wybuchowych, własności fizykochemicznych oraz metod badania kompozycji wybuchowych typu TGAF. Wiedza ta powinna przyczynić się do podniesienia poziomu bezpieczeństwa podczas produkcji, eksploatacji, badań i w końcu - utylizacji amunicji zawierającej tego typu kompozycje.

It is worth to note the way of obtainment of cast TGAF charges presented in the patent description RU 2482102 [5] based on a gradual feeding of successive layers of the liquid explosive composition into the munition body and application of a heating cover mounted on the top of the munition body which is heated with hot water after the dosage of the upper layer of the composition is completed, and until the lower layers are solidified without any further changes of volume.

The discussed patent descriptions seem to be a valuable and relatively new, and not well known, official source of information, widening knowledge on technology of explosive charges, physicochemical properties, and on testing methods for TGAF explosive compositions. This knowledge should increase the safety level during production, usage, tests and finally during the disposal of munitions containing compositions of such type.

## Literatura / Literature

- [1] Silina D.P., Kozhinova L.F., Tsopova T. P., *Method producing powdered multicomponent compositions of TGAF-5 and TGAG-5*; Patent SU 1841117 (applied 06.04.1966, published 20.04.2016 in RO SPATENT Bulletin No.11).
- [2] Rabotinskij N.I., Tregubov B.A., Ramazanova R.F., Kazarinova I.S., Lando B.I., *Explosive*; Patent SU 1841149 (applied 16.11.1967, published 20.07.2016 in RO SPATENT Bulletin No.20).
- [3] Silin V.S., Tregubov B.A., Ramazanova R.F., Borisova L.I., Dmitriev V.I., Perezhogin Yu..I., *Explosive for charging by casting high-explosive ammunition*; Patent SU 1841215 (applied 18.07.1969, published 20.10.2016 in RO SPATENT Bulletin No.29).
- [4] Bojtsov V.I., Gorokhovtsev A.G., Tregubov B.A., Silin V.S., Spiridonov A.P., Bakaraev I.P., *Explosive composition TGFA-30*; Patent SU 1841269 (applied 29.12.1971, published 27.12.2016 in RO SPATENT Bulletin No.36).
- [5] Zharkov A.S., Dochilov N.E., Petrov E.A., Sokolova T.V., Kazakov A.A., *Method of making moulded explosive charges*; Patent RU 2482102 (applied 07.04.2011, published 20.05.2013 in RO SPATENT Bulletin No.14).

