

**STUDIUL TEORETIC ȘI
EXPERIMENTAL AL
COMPOZIȚIEI TRASOARE GTR
PENTRU GLONȚUL TRASOR
CAL. 9X19 MM**

**drd. ing. Gabriel Lucian
Bogdan - S.C. Uzina Mecanica
Sadu S.A.**

**drd. ing. Mihail Manolescu -
Academia Tehnică Militară**

**THEORETICAL AND
EXPERIMENTAL STUDY OF THE
COMPOSITION FOR GTR
9X19MM CALIBER TRACER
BULLET**

**drd. eng. Gabriel Lucian
Bogdan - S.C. Uzina Mecanica
Sadu S.A.**

**drd. eng. Mihail Manolescu -
Academia Tehnică Militară**

REZUMAT: Scopul acestui studiu este de a analiza dependențele dintre proprietățile fizico-chimice și proprietățile termodinamice și cinematice ale amestecurilor pirotehnice utilizate la încărcarea trasoarelor sau apte a fi utilizate în astfel de dispozitive.

Se vor determina experimental caracteristicile amestecurilor pirotehnice, verificând cu această ocazie validitatea modelelor matematice propuse. Dintre aceste caracteristici, căldura de combustie, volumul specific și proporția produșilor de reacție solizi sunt cele mai importante.

Rezultatele analizelor teoretice și experimentale permit apoi aprecierea obiectivă a caracteristicilor amestecurilor pirotehnice și oferă instrumente eficiente de alegere pentru utilizarea în dispozitive pirotehnice trasoare.

CUVINTE CHEIE: *glonț trasor , compoziții pirotehnice trasoare*

1. INTRODUCERE

Rolul dispozitivelor pirotehnice trasoare este de a permite vizualizarea traiectoriei gloanțelor proiectilelor sau rachetelor pe care le echipază. Această funcțiune se realizează prin intermediul combustiei amestecurilor pirotehnice denumite generic trasoare.

Reacția de combustie a amestecului pirotehnic duce la apariția de produși de reacție, puternic încălziți și capabili să emită radiații în anumite zone ale spectrului electromagnetic.

Scopul acestui studiu este de a analiza dependențele dintre proprietățile

ABSTRACT: *The purpose of this study is to analyze the dependencies between the physico-chemical and thermodynamic and kinematic properties of the pyrotechnic mixtures used to load the tracers or capable of being used in such devices.*

It will determine experimentally the characteristics of pyrotechnic mixtures, checking the validity of the mathematical models proposed on this occasion. Of these characteristics, heat of combustion, specific volume and proportion of solid reaction products are the most important.

Theoretical analysis and experimental results then allows objective assessment of the characteristics of pyrotechnic mixtures and provides effective tools of choice for use in tracer pyrotechnic devices.

KEYWORDS: *tracer bullet, tracer pyrotechnic compositions.*

1. INTRODUCTION

The role of pyrotechnic devices is to allow visualization tracer bullets trajectory of projectiles or missiles that equip them. This operation is done through the combustion of pyrotechnic mixtures generally called tracers.

The pyrotechnic mixture combustion reaction leads to the reaction products, strong and able to emit heat in certain parts of the electromagnetic spectrum.

The purpose of this study is to analyze the dependencies between the physico-chemical and thermodynamic and kinematical properties of the pyrotechnic mixtures used to load the tracers or capable of being used in

fizico-chimice și proprietățile termodinamice și cinematice ale amestecurilor pirotehnice utilizate la încărcarea trasoarelor sau apte a fi utilizate în astfel de dispozitive.

Se va determina experimental caracteristicile amestecurilor pirotehnice, verificând cu această ocazie validitatea modelelor matematice propuse. Dintre aceste caracteristici, căldura de combustie, volumul specific și proporția produșilor de reacție solizi sunt cele mai importante.

Caracteristicile cinetice și în special viteza de combustie s-au evaluat prin confecționarea unor relee pirotehnice de lungimi prestabilite. Prin determinarea timpului de combustie s-a putut evalua viteza de combustie. Influența densității și a altor caracteristici de încărcare este deosebit de importantă pentru aprecierea modului de satisfacere a cerințelor trasoarelor încărcate cu amestecuri pirotehnice trasoare, întârziatoare și de aprindere.

Rezultatele analizelor teoretice și experimentale permit apoi aprecierea obiectivă a caracteristicilor amestecurilor pirotehnice și oferă instrumente eficiente de alegere pentru utilizarea în dispozitive pirotehnice trasoare.

2. STUDIUL TEORETIC ȘI EXPERIMENTAL AL COMPOZIȚIEI TRASOARE GTR PENTRU GLONȚUL TRASOR CAL. 9X19 MM

Compozițiile pirotehnice trasoare , nu conțin în masa lor nici un exploziv primar sau secundar , carburantul , oxidantul și liantul fiind substanțe de sine stătătoare , amestecate mecanic și sunt solide , cristalizate , în general higroscopice.

Compozițiile pirotehnice trasoare și de aprindere avute în vedere pentru realizarea studiului teoretic și experimental sunt prezentate în tabelul 1.

Tabelul 1. *Limitele proporțiilor masice ale componentelor amestecurilor trasor*

Denumirea componentului	Limita inferioară a proporției	Limita superioară a	Rolul componentului
-------------------------	--------------------------------	---------------------	---------------------

such devices.

It will determine experimentally the characteristics of pyrotechnic mixtures, checking the validity of the mathematical models proposed on this occasion. Of these characteristics, heat of combustion, specific volume and proportion of solid reaction products are the most important.

Kinetic characteristics and particularly the speed of combustion were measured by making predetermined length of pyrotechnic relay. By determining the time could evaluate the fuel combustion rate. Influence of density and other characteristics of loading are particularly important to assess how to meet the requirements pyrotechnic tracers loaded with tracers, and ignition retardation.

Theoretical analysis and experimental results then allows objective assessment of the characteristics of pyrotechnic mixtures and provides effective tools of choice for use in tracer pyrotechnic devices.

2. THEORETICAL AND EXPERIMENTAL STUDY OF THE COMPOSITION FOR GTR 9X19MM CALIBER TRACER BULLET

Pyrotechnic tracer compositions do not contain in their mass any primary or secondary explosives, the fuel, the oxidizer and the binder being the independently substances they are mechanically mixed and solid crystallized generally hygroscopic.

The ignition tracer and pyrotechnic compositions considered for the study theoretically and experimentally are shown in Table 1.

	masice	proportiei masice	
Azotatul de stronțiu	40	61,5	oxidant, adaos de colorare a flăcării
Carbonat de stronțiu	0	5	moderator, adaos de colorare a flăcării
Magneziu	15	52	carburant
Aluminiu-magneziu	6	15	carburant
Aluminiu	9	10	carburant
PVC	4	18	adaos de colorare a flăcării
Iditol	8	11	liant
Șelac	-	8	liant
Ulei de in polim.	-	12	liant

Table 1. *The limits of mass proportions of components of mixtures tracer:*

Component name	Lower limit of the mass proportion	The upper limit of the mass proportion	Component role
Strontium nitrate	40	61,5	oxidant, flame coloring added
Strontium Carbonate	0	5	moderator, flame coloring added
Magnesium	15	52	carburant
Aluminum-magnesium	6	15	carburant
Aluminum	9	10	carburant
PVC	4	18	flame coloring added
Iditol	8	11	binder
Shellac	-	8	binder
Polymerized linseed oil.	-	12	binder

Stabilirea unei compoziții chimice optime pentru gloanțele trasoare de infanterie presupune obținerea unui amestec, care încărcat în glonțul desemnat aplicației pirotehnice să ducă la îndeplinirea următoarelor criterii:

- de performanță: durata de trasaj, intensitatea luminoasă medie, puritate a culorii etc;
- de sensibilitate și reactivitate: aprinderea ușoară la acțiunea compoziției de aprindere (eventual intermediară), să nu se aprindă la stimuli proveniți dintr-o situație accidentală;
- de fabricație: fabricarea și încărcarea să se realizeze cu materii prime, utilaje și după procedee uzuale;
- de stabilitate: să permită păstrarea proprietăților fizice, chimice, de

Establishing an optimal chemical compositions for infantry tracer bullets involves obtaining a mixture, when loaded in the bullet designated to the pyrotechnic application, to lead to the following criteria:

- of performance: tracer life, average light intensity, color purity, etc;
- of sensitivity and reactivity: easy switching action ignition composition (possibly intermediate), not to ignite to stimulus coming from an accidental situation;
- of manufacturing: production and loading to be done with raw materials, machinery and processes as usual;
- stability: to allow maintenance of

performanță și de sensibilitate după o perioadă îndelungată de depozitare.

In Figura 1. este redată construcția glontului trasor 9mm Parabellum.

physical, chemical, and sensitivity performance after a long period of storage;

In Figure 1 is shown th tracer bullet construction of 9mm Parabellum

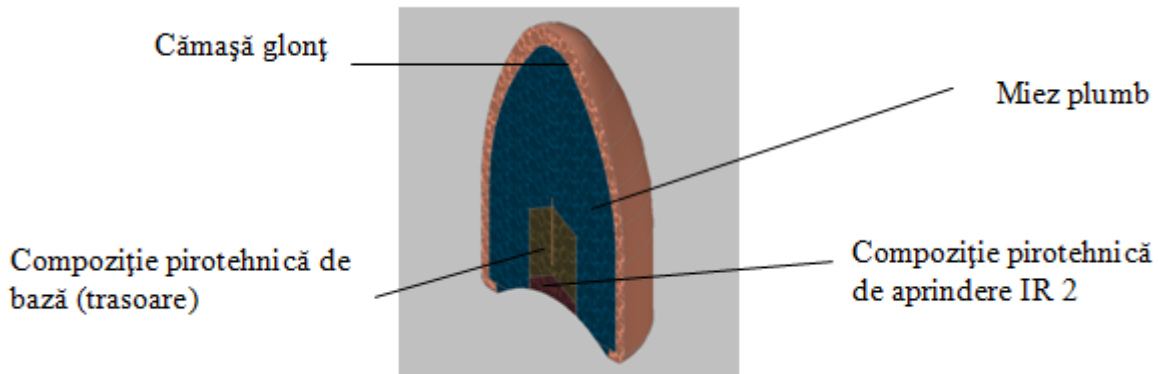


Fig. 1. Glont trasor 9mm

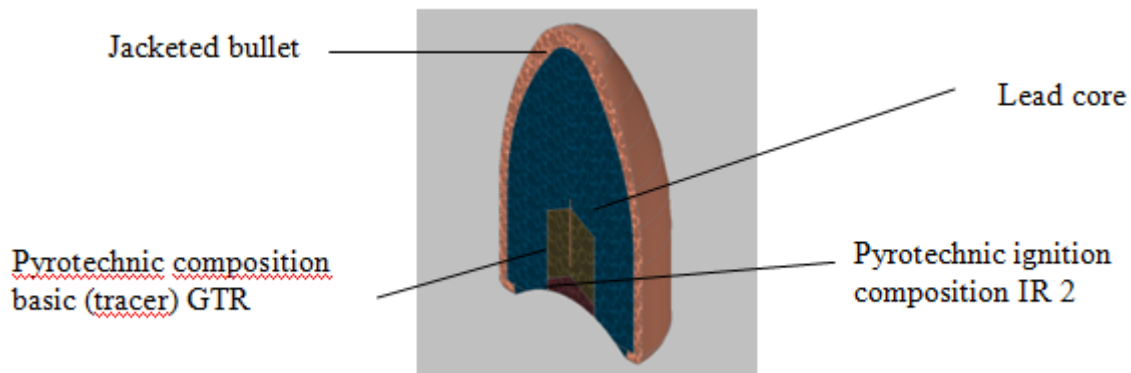


Fig. 1. Tracer bullet 9mm

2.1. Determinarea masei glonțului trasor

Dimensiunile pastilei de compoziții pirotehnice sunt: $\Phi 3 \times 6$ mm.

Din masa glonțului normal (cu miez de plumb) , se scade masa pastilei de plumb ($\Phi 3 \times 6$ mm) și se adaugă masa pastilei de compoziție trasoare și de aprindere.

Densitatea plumbului $\rho_p = 11,3 \text{ g/cm}^3$;

Masa pastilei de plumb , cu dimensiunile $\Phi 3 \times 6$ mm , este :

$$m_p = \rho_p \cdot \pi \cdot (0,3^2 \cdot 0,6) / 4 = 0,48 \text{ grame}$$

Densitatea de presare a pastilei de compoziție pirotehnică este : $\rho_{cp} = 2,563 \text{ g/cm}^3$

Masa pastilei de compoziție pirotehnică cu

2.1. Determination of the mass of the tracer bullet

The dimensions of pyrotechnic compositions pill are: $\Phi 3 \times 6$ mm

From the normal weight bullet (lead core), subtract the mass of lead pill ($\Phi 3 \times 6$ mm) and is added the pill mass composition and ignition tracer

Density lead $\rho_p = 11,3 \text{ g/cm}^3$;

The mass of the lead pill with the $\Phi 3 \times 6$ mm size is:

$$m_p = \rho_p \cdot \pi \cdot (0,3^2 \cdot 0,6) / 4 = 0,48 \text{ gram}$$

Pressing density of the pyrotechnic composition pill is: $\rho_{cp} = 2,563 \text{ g/cm}^3$

The mass of the pyrotechnic composition

dimensiunile $\Phi 3 \times 6 \text{ mm}$, este :

$$m_t = \rho_{cp} \cdot \pi \cdot (0,3^2 \cdot 0,6) / 4 = 0,11 \text{ grame}$$

Deci masa glonțului trasor este :

$$m_0 = 7,45 - m_p + m_t = 7,08 \text{ grame.}$$

2.2. Determinarea timpului de ardere a compoziției trasoare

- Caracteristici geometrice
pastilă: $\Phi 3 \times 6 \text{ mm}$;

- Densitatea de presare:
 $\rho_p = 2,563 \text{ g/cm}^3$;

- Viteza liniară:
 $V_l = 20 \div 30 \text{ mm/s}$.

Viteza de ardere se calculează cu formula:

$$V_{ardere} = 0,244 \cdot V_l \cdot \rho_p$$

$$V_{ardere} = 0,244 \cdot 2,5 \cdot 2,563 = 1,563 \text{ g/s} \cdot \text{cm}^2$$

Timpul de ardere reprezintă timpul în care glonțul trasor este aprins pe traiectorie.

$$t_{at} = \frac{m_{cp}}{V_{ardere} \cdot S_p} = 0,9836 \text{ s} \quad (2.1)$$

O particularitate , pentru muniția cu glonț trasor , este că masa proiectilului trasor variază de-a lungul traiectoriei datorită faptului că substanța trasoare arde . Dependența de timp este dată de formula :

$$m(t) = \begin{cases} [m_0 \cdot (1 - \alpha \cdot t)] & \text{dacă } t < t_{at} \\ m_0 - m_t & \text{dacă } t \geq t_{at} \end{cases} \quad (2.2)$$

unde ; m_0 = masa inițială a glonțului trasor (= 7,08 grame) ;

m_t = masa inițială a compoziției trasoare (= 0,11 grame) ;

t_{at} = timpul de ardere a substanței trasoare (= 0,9836 s) ;

pill with $\Phi 3 \times 6 \text{ mm}$ size is:

$$m_t = \rho_{cp} \cdot \pi \cdot (0,3^2 \cdot 0,6) / 4 = 0,11 \text{ gramS}$$

So, the mass of the tracer bullet is:

$$m_0 = 7,45 - m_p + m_t = 7,08 \text{ gram.}$$

2.2. Determination of the composition of the burning time of tracer

- geometrical characteristics of the pill: $\Phi 3 \times 6 \text{ mm}$;

- pressing density:
 $\rho_p = 2,563 \text{ g/cm}^3$;

- linear speed: $V_l = 20 \div 30 \text{ mm/s}$.

The burning rate is calculated:

$$V_{ardere} = 0,244 \cdot V_l \cdot \rho_p$$

$$V_{ardere} = 0,244 \cdot 2,5 \cdot 2,563 = 1,563 \text{ g/s} \cdot \text{cm}^2$$

Burning time is the time the tracer bullet lit the the trajectory.

A feature, for ammunition tracer bullet, is that the mass of the tracer projectile trajectory varies along because the tracer substance burns. Time dependence is given by: formula :

where; m_0 = initial mass of tracer bullet(= 7,08 gram) ;

m_t = initial mass of tracer composition (= 0,11 gram);

t_{at} = ignition time of tracer substance (= 0,9836 s);

α = coeficientul de pierdere de masă , calculat cu formula :

α = mass loss rate, by formula:

$$\alpha = \frac{m_t}{m_0 \cdot t_{at}} \quad (2.3.)$$

2.3. Studiul teoretic al compoziției trasoare GTR pentru glonțul trasor cal. 9x19 mm

Compoziția pirotehnică analizată în continuare este compoziția care a fost fabricată pentru încărcarea glonțului trasor cal. 9x19 mm. Compoziția pirotehnică analizată în continuare este compoziția care a si fost fabricată experimental.

2.3. Theoretical study of the tracer composition GTR for tracer bullet 9x19 mm caliber

Pyrotechnic composition further analysed is the composition that was made for the 9x19 mm caliber tracer bullet load. This pyrotechnic composition is the composition which was experimentally produced.

Tabel 2. Compoziția pirotehnică trasoare GTR

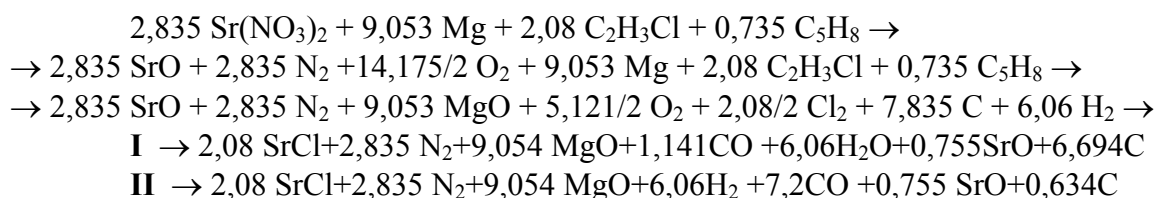
Caracteristica Compoziția chimică	p [%]	M [g/mol]	n [mol/kg]	H _f [kcal/mol]	ρ [g/cm ³]
Sr(NO ₃) ₂	60	211,63	2,835	233,8	2,986
Mg	22	24,3	9,053	0	1,74
(C ₂ H ₃ Cl) _n	13	62,55	2,887	23	1,4
(C ₅ H ₈) _n	5	68	0,735	26,6	0,93

Tabel 2. Tracer pyrotechnic composition GTR

Characteristic Chemical composition	p [%]	M [g/mol]	n [mol/kg]	H _f [kcal/mol]	ρ [g/cm ³]
Sr(NO ₃) ₂	60	211,63	2,835	233,8	2,986
Mg	22	24,3	9,053	0	1,74
(C ₂ H ₃ Cl) _n	13	62,55	2,887	23	1,4
(C ₅ H ₈) _n	5	68	0,735	26,6	0,93

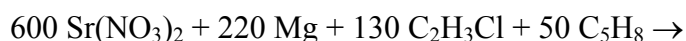
Ecuatia reacției de combustie scrisă sub formă molară (pentru 1000 g de reactanți)

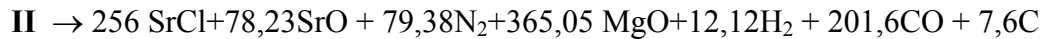
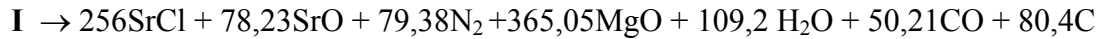
Combustion reaction equation written in the mole form (for 1000 g reactant)



Ecuatia reacției de combustie scrisă sub formă masică (pentru 1000 g de reactanți)

Combustion reaction equation written in the mass form (for 1000 g reactant)





Căldura de combustie

Combustion heat

Entalpia de formare a amestecului

Enthalpy of formation of the mixture:

$$H_{f\text{am}} = 2,835 \cdot 233,8 + 9,053 \cdot 0 + 2,08 \cdot 23 + 0,735 \cdot 26,6 = 730,2 \text{ kcal/kg}$$

Entalpia de formare a produșilor
de reacție

Enthalpy of formation of reaction
products:

I $H_{f\text{prod}} = 2,08 \cdot 197,87 + 0,755 \cdot 141,5 + 9,054 \cdot 143,8 + 6,06 \cdot 68,3 + 1,141 \cdot 26,4 = 2262,6$
kcal/kg

II $H_{f\text{prod}} = 2,08 \cdot 197,87 + 0,755 \cdot 141,5 + 9,054 \cdot 143,8 + 7,2 \cdot 26,4 = 2010,45$ kcal/kg

Căldura de combustie

Combustion heat

I $Q_p = 2262,6 - 730,2 = 1532,6$ kcal/kg

II $Q_p = 2010,45 - 730,2 = 1280,2$ kcal/kg

Densitatea teoretică maximă de încărcare

Maximum loading theoretical density

$$\rho^{\text{TMD}} = \frac{1}{\sum \frac{p_i}{\rho_i}} = \frac{1}{\frac{0.6}{2.986} + \frac{0.22}{1.74} + \frac{0.13}{1.4} + \frac{0.05}{0.93}} = 2.1097 \text{ g/cm}^3$$

Volumul specific

Specific volume:

$$V_{0\text{sp}} = \sum n_i \cdot 22.418 \quad [\text{l/kg}]$$

I $V_{\text{osp}} = 224,98$ l/kg (apa sub formă de vapori) (water vapor); $V_{\text{osp}} = 89,1$ l/kg (apa sub formă lichidă) (water in liquid form)..

II $V_{\text{osp}} = 360,8$ l/kg

2.4. Studiul experimental al compoziției trasoare GTR pentru glonțul trasor cal. 9x19 mm

Compoziția pirotehnică GTR pentru 9x19mm a fost realizată experimental conform schemei tehnologice din Figura 2.

2.4. Experimental study of the tracer composition GTR for 9x19 mm caliber tracer bullet

GTR for 9x19mm pyrotechnic composition was performed according to experimental technology scheme in Figure 2.

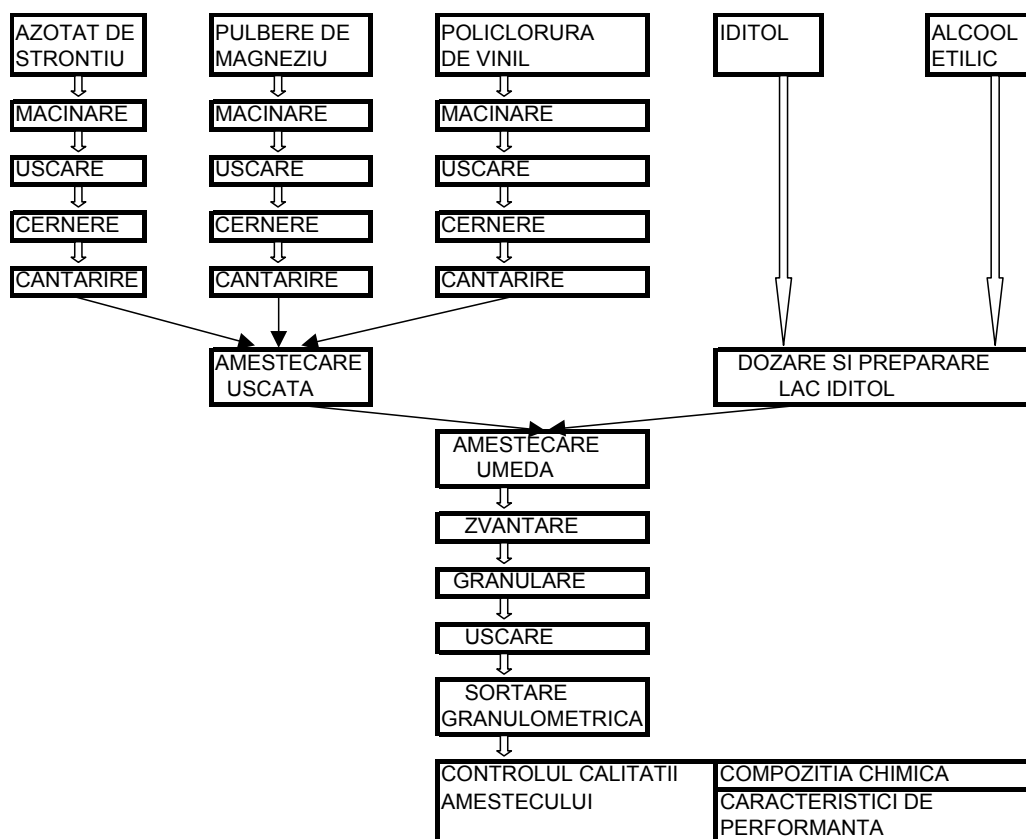


Fig. 2. Schema tehnologica de realizare experimentală a compoziției GTR

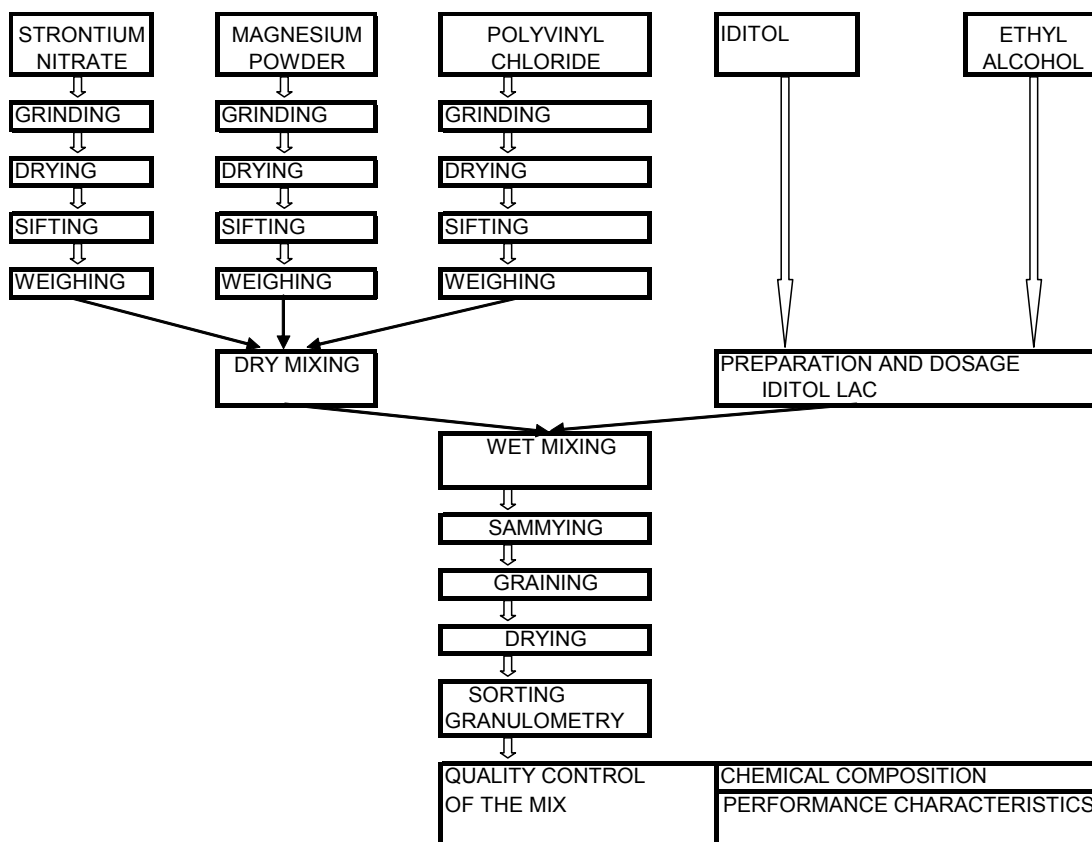


Fig. 2. Experimental technology scheme of GTR composition

Imaginea compoziției trasoare GTR fabricată experimental este prezentată în Figura 3.

The GTR tracer composition photo experimentally made Figure 3.



Fig.3. Compoziție trasoare GTR

Fig. 3. GTR tracer composition

Studiul experimental al caracteristicilor amestecului GTR a continuat cu determinarea experimentală a căldurii de combustie și volumul specific. Determinările s-au efectuat prin trageri în calorimetrul izoterm, respectiv în gazometrul Dr. Schmith, rezultatele fiind prezentate în Tabelul 3.

Experimental study of mixing characteristics GTR continued with experimental determination of heat of combustion and specific volume. Measurements were made by firing in the isothermal calorimeter, namely Dr. Schmith gas meter, the results are presented in Table 3.

Tabelul 3. Determinarea căldurii de combustie în calorimetru izoterm și a volumului specific în gazometrul tip Dr. Schmith

Tipul compoziției pirotehnice	GTR	
Compoziția chimică	Azotat de stronțiu	60 %
	Pulbere de magneziu	22 %
	Policlorură de vinil	13 %
	Cauciuc butadien stiren	5 %
Masa probei	2,034 g	
Rezistența filamentului	6,9 Ω	
Efect termic de aprindere	10,7 cal.	
Temperatura inițială	2,150 °C	
Temperatura finală	3,990 °C	
Creșterea de temperatură	1,84 °C	
Echivalentul caloric al aparatului	1364,393 cal/g °C	
Căldura de combustie	1228,99 cal/g	
Presiunea inițială	745 mm Hg	
Presiunea finală	573 mm Hg	
Variația de presiune	172 mm Hg	
Volumul specific	323,85 l/kg	

Table 3. Determination of heat of combustion in isothermal calorimeter and of the specific volume in the gas meter type Dr. Schmith

Pyrotechnic composition type	GTR	
Chemical composition	Strontium nitrate	60 %
	Magnesium powder	22 %
	Polyvinyl chloride	13 %
	Styrene butadiene rubber	5 %
Sample mass	2,034 g	
Filament resistance	6,9 Ω	
Thermal effect of ignition	10,7 cal.	
Initial temperature	2,150 °C	
Final temperature	3,990 °C	
Growth of temperature	1,84 °C	
Caloric equivalent of device	1364,393 cal/g °C	
Combustion heat	1228,99 cal/g	
Initial pressure	745 mm Hg	
Final pressure	573 mm Hg	
Pressure variation	172 mm Hg	
Specific volume	323,85 l/kg	

3.CONCLUZII

Comparația dintre valorile teoretice (obținute pentru varianta **II a ecuației de combustie**) și valorile experimentale, este prezentată în continuare.

3.CONCLUSIONS

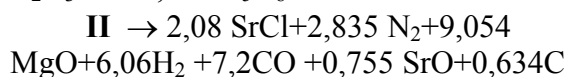
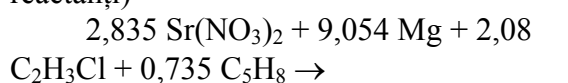
Comparison of the theoretical values (obtained for the second option of the equation of combustion) and experimental values is shown below:

	TEORETIC	EXPERIMENTAL	Comparația
Căldura de combustie [kcal/kg]	1280,2	1228,99	- 0,041 %
Volumul specific [l/kg]	360,8	323,85	-0,11 %

	Theoretic	Experimental	Comparison
Combustion heat [kcal/kg]	1280,2	1228,99	- 0,041 %
Specific volume [l/kg]	360,8	323,85	-0,11 %

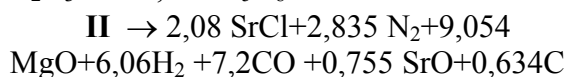
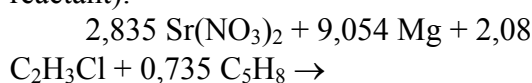
În consecință, varianta II a ecuației de combustie este cea mai exactă și se poate afirma că este mai probabilă apariția următorilor produși de reacție:

A Ecuația reacției de combustie scrisă sub formă molară (pentru 1000 g de reactanți)

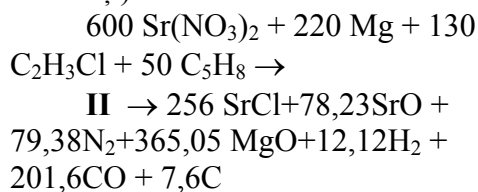


Thus, the second option of the equation of combustion is the most accurate and can say that it is more likely to appear the following reaction products:

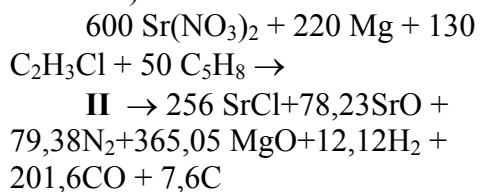
A. Combustion reaction equation written in the mole form (for 1000 g reactant):



B Ecuția reacției de combustie scrisă sub formă masică (pentru 1000 g de reactanți)



B. Combustion reaction equation written in the mass form (for 1000 g reactantS):



4. BIBLIOGRAFIE

1. *Bodin Constantin*, Explozivi, Date termochimice, Academia Militară, București, 1974, pag 41.
2. *Trușcă Teodor*, Pirotehnie și explozivi, Editura Tehnică, București, 1974.

4. BIBLIOGRAPHY

1. *Bodin Constantin*, Explozivi, Date termochimice, Academia Militară, București, 1974, pag. 41.
2. *Trușcă Teodor*, Pirotehnie și explozivi, Editura Tehnică, București, 1974.