

Rezime:

Prikazan je i analiziran uticaj delovanja para acetona na mehaničke osobine i brzinu gorenja dvobaznih raketnih goriva u obliku barutnih cevčica. Mehanička ispitivanja vršena su jednoosnim zatezanjem i ispitivanjem na udar. Ispitivanja brzine gorenja obavljena su u manometarskoj bombi i u realnim motorima. Dobijeni rezultati ispitivanja pokazuju znatan uticaj para acetona na mehaničke osobine baruta bez većeg uticaja na brzinu gorenja.

Ključne reči: mehaničke osobine, brzina gorenja, dvobazno raketno gorivo.

IMPROVEMENT OF MECHANICAL PROPERTIES OF DOUBLE BASE PROPELLANTS FOR BUSTER MOTORS

Summary:

Acetone vapours influence on the double base propellant mechanical properties and the burning rate is shown and analysed. Mechanical investigations were done with uniaxial tensile and impact tests. Burning rate investigations were carried out in the manometric bomb and rocket motors. The obtained results of the investigations show a significant acetone vapours influence on mechanical properties without a significant influence on the burning rate.

Key words: mechanical properties, burning rate, double base propellant.

Uvod

Pogonska punjenja impulsnih motora obično se formiraju od aksijalno simetričnih barutnih cevčica, malih debljina zidova, čiji se snop pojedinačno pričvršćuje jednim krajem za držač cevčica pomoću nazubljenog klinića (slika 1), a drugi kraj je slobodan u smeru strujanja gasovitih produkata sagorevanja. Na ovaj način omogućena je paralelnost barutnih cevčica sa osom motora.

U toku leta rakete, a za vreme trajanja procesa sagorevanja, pogonsko punjenje izloženo je mehaničkim napreznjima pri pripaljivanju, usled aksijalnog ubrzanja rakete (inercijalne sile), rotacije oko uzdužne ose rakete (centrifugalne sile), usled razlike pritisaka u komori za sagorevanje raketnog motora (erozije pogonskog punjenja) i drugim.

Ukoliko u toku leta rakete dode do loma pogonskog punjenja, tada dolazi do nekontrolisane promene u količini nast-

lih gasovitih produkata sagorevanja. To ima za posledicu nekontrolisanu promenu u parametrima putanje rakete, a može izazvati i njeno razaranje. Otuda proističe važnost kvantitativnog poznavanja mehaničkih naprezanja kojima je izloženo pogonsko punjenje u konkretnom raketnom motoru, posebno radi izbora raketnog goriva odgovarajućih mehaničkih karakteristika [1, 2].

Barutne cevčice opterećene su na istezanje kao posledica aksijalnog ubrzanja. Napon na istezanje je najveći u korenu cevčice. Napon (σ) u trenutku vremena (t) u korenu cevčice proporcionalan je koeficijentu koncentracije napona (α), ubrzanju (a) u posmatranom trenutku vremena, dužini cevčice (l), u posmatranom trenutku vremena i gustini baruta (ρ) [3]:

$$\sigma = \alpha \cdot a \cdot \rho \cdot l$$

U ovom radu opisan je pokušaj poboljšanja mehaničkih osobina dva modela dvobaznih raketnih goriva (DRG), namenjena impulsnim raketnim motorima, uz manju promenu brzine gorenja. Osnovu za to predstavljalo je zapažanje da se pod dejstvom para organskih rastvarača bitno menjaju mehaničke osobine DRG. Sopstvenim ispitivanjem uočeno je da su promene mehaničkih osobina DRG najviše izražene posle delovanja para acetona, a njegov uticaj na barutne cevčice prikazan je u ovom radu [1, 2].

Kako formiranje pogonskog punjenja ne zahteva nikakav toplotni i mehanički tretman ovih cevčica, ostvareni efekti delovanja para acetona na njihove mehaničke osobine ostaju prisutni u krajnjem proizvodu, povećavajući sigurnost rada impulsnog raketnog motora.

Rezultati eksperimentalnih ispitivanja

Hemijski sastavi, fizičko-hemijske i energetske osobine opitnih modela DRG, za dve kombinacije katalizatora brzine sagorevanja, (K1 i K2) [1], prikazani su u tabeli 1.

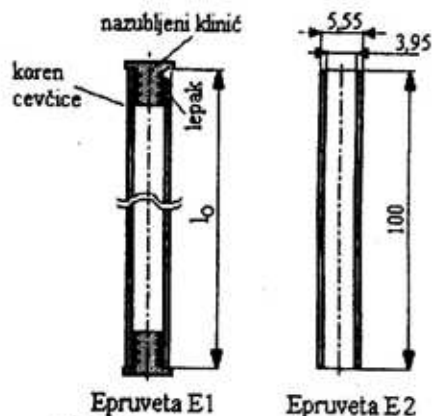
Tabela 1
Fizičko-hemijske i energetske osobine opitnih modela DRG

Sastav i osobine	Oznaka opitnog modela	
	DRG1	DRG2
Nitroceluloza (mas. %)	55,65	50,46
Azot u NC (mas. %)	12,67	12,61
Nitroglicerol (mas. %)	37,50	38,53
Centralit I (mas. %)	2,80	2,04
Vazelin (mas. %)	0,30	–
K1 (mas. %)	3,75	–
K2 (mas. %)	–	8,97
Gustina (g/cm ³)	1,644	1,672
Toplotni potencijal (J/g)	4597,6	4462,8
Hemijska stabilnost:		
Grejanje na 100°C (dana, h)	6d.18h	4d.18h
Bergman-Junk na 120°C (cm ³ NO/5 g)	3,11	6,60
Hanzen-test na 110°C (pH)	3,41	3,20
Metilviolet test na 120°C (min)	60	55

Ispitivanja mehaničkih karakteristika izrađenih DRG jednoosnim istezanjem vršena su na po 7 epruveta na kidačici tipa ZWICK 1464, pri brzini hoda hvataljki 100 mm/min, na temperaturama ispitivanja –30, 20 i 50°C.

Oblik i dimenzije korišćenih epruveta prikazani su na slici 1.

S obzirom na oblik epruvete E1, nisu izračunavane zatezna čvrstoća i relativno izduženje, već su korišćene vrednosti izmerene sile (F) i izduženja (Δl). Kako je u svim slučajevima, navedenim u ovom radu, maksimalna vrednost sile istovremeno i prekidna sila, to su prekidna sila i odgovarajuća prekidna deformacija označavani sa F_z i Δl_z .



Sl. 1 – Epruvete za mehanička ispitivanja

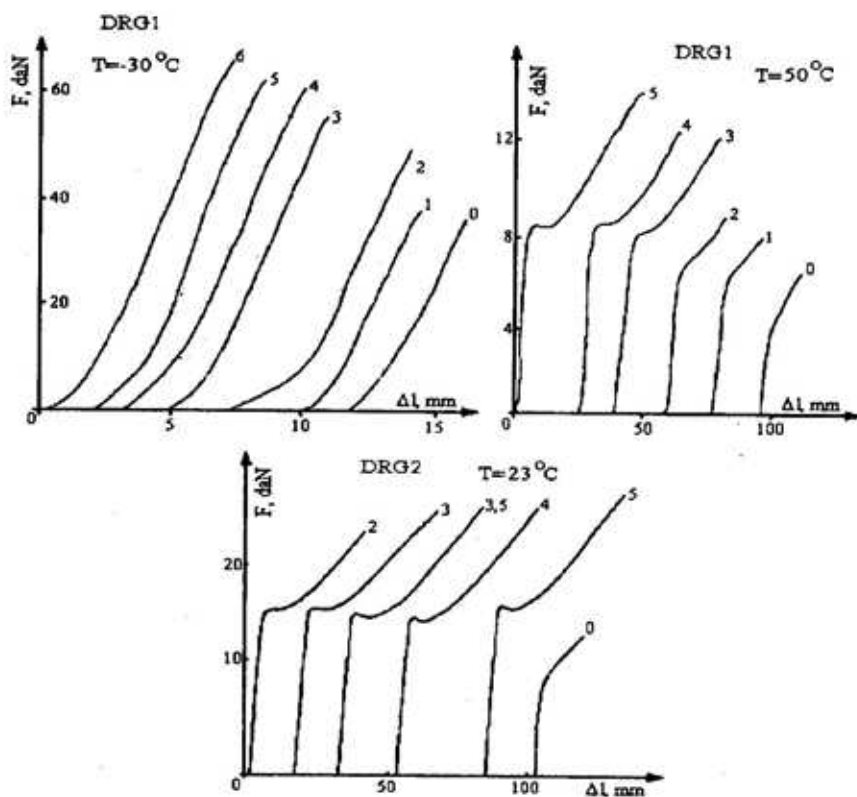
Ispitivanje na udar vršeno je na Šarpijevom klatnu na po pet epruveta tipa E2 (slika 1) na -30°C , pri čemu je izra-

čunavan potreban rad za lom epruvete. Svi rezultati ispitivanja prikazani su kao srednje vrednosti.

Modeli barutnih cevčica izrađivani su kao jednokanalne, aksijalno simetrične barutne cevčice, a oblikovane su ekstruzijom prethodno pripremljenih barutnih masa kroz odgovarajući alat.

Radi istraživanja efekata delovanja para acetona izvršena su ispitivanja mehaničkih karakteristika opitnih modela DRG1 i DRG2, kako netretiranih, tako i tretiranih, parama acetona u intervalu od 1 do 6 sati.

Proverom gustine i toplotnog potencijala barutnih cevčica, izloženih dejstvu



Sl. 2 – Dijagrami sila – deformacija

para rastvarača, ustanovljeno je da nema promena ni u gustini ni u toplotnom potencijalu [4] u odnosu na netretirane DRG. Od barutnih cevčica uradene su epruvete tipa E1 (dužine 138 mm za DRG1, a 157 mm za DRG2) i ispitane mehaničke karakteristike koje su prikazane u tabeli 2.

Tabela 2
Mehaničke osobine barutnih cevčica

Oznaka DRG	τ (h)	F_z (daN)	Δl_z (mm)	T (°C)
DRG1	0	14,7	12,5	23
	1	19,0	16,1	
	3	25,3	35,9	
	6	34,2	49,1	
	0	6,1	17,0	50
	1	8,6	20,5	
	3	13,3	39,2	
	6	20,0	65,3	
	0	36,0	3,6	-30
	1	39,3	-	
	3	64,6	7,4	
	6	74,9	5,5	
DRG2	0	15,8	26,6	23
	1	17,9	31,4	
	2	24,1	45,6	
	3	25,9	53,6	
	3,5	25,0	47,8	
	4	23,7	47,8	
	5	24,6	48,3	

Karakteristični oblici dijagrama sila – deformacija prikazani su na slici 2. Oznake krivih odgovaraju vremenu izlaganja parama acetona.

Rezultati ispitivanja baruta zatezanjem (za DRG1) prikazani su na slici 3.

Sa slika 2 i 3 i iz tabele 2 uočava se da sa porastom vremena delovanja para acetona dolazi do porasta i sile i izduženja, što je posledica naknadne želatinizacije nitroceluloze [1, 2]. Pored toga, izvršena su i ispitivanja udarne žilavosti na -30°C na opitnom modelu DRG1 na

epruvetama tipa E2, a dobijeni rezultati ispitivanja prikazani su u tabeli 3.

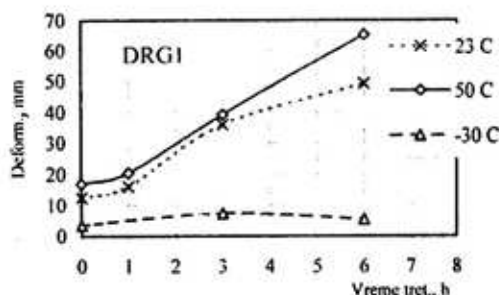
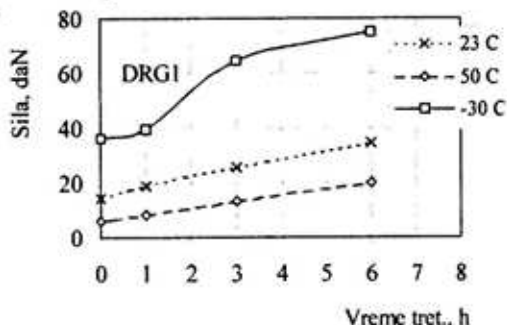
Tabela 3
Rezultati ispitivanja udarne žilavosti

Opitni model	Izvršeni rad (J)						
	Vreme tretiranja (h)						
	0	1	2	3	4	5	6
DRG1	0,187	0,207	0,196	0,356	0,392	0,534	0,685

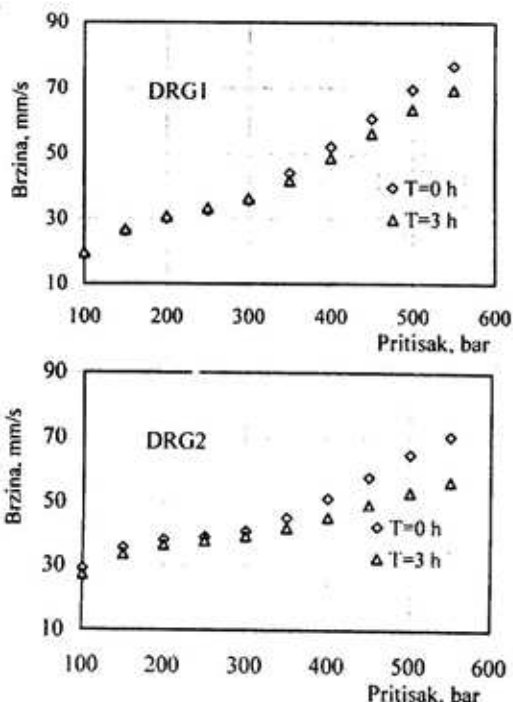
Iz prikazanih rezultata uočava se porast vrednosti udarne žilavosti sa porastom vremena delovanja para acetona.

Da bi se proverio uticaj delovanja para acetona na brzinu gorenja barutnih cevčica, izvršena su i ispitivanja brzine gorenja u manometarskoj bombi [5], za opitne modele DRG1 i DRG2, čiji su rezultati prikazani na slici 4.

Na opitnom modelu DRG1 izvršena su ispitivanja brzine gorenja u realnim motorima, [6], na 20°C i 50°C, a dobijeni rezultati prikazani su na slici 5.



Sl. 3 – Dijagrami sila (deformacija) – vreme tretiranja



Sl. 4 – Dijagrami brzina gorenja – pritisak na 20°C

Analiza rezultata prikazanih u tabeli 2 i na slikama 2 i 3 ukazuje na veliki porast maksimalne sile (ona je istovremeno i prekidna sila), a takođe i maksimalnog izduženja (to je istovremeno i prekidno izduženje) u funkciji vremena tretiranja u parama acetona.

Rezultati ispitivanja udarne žilavosti (tabela 3), ukazuju na veliki porast udarne žilavosti u funkciji vremena tretiranja.

Rezultati ispitivanja brzine gorenja u manometarskoj bombi (slika 4), ukazuju na smanjenje brzine gorenja kod ispitivanih tretiranih baruta.

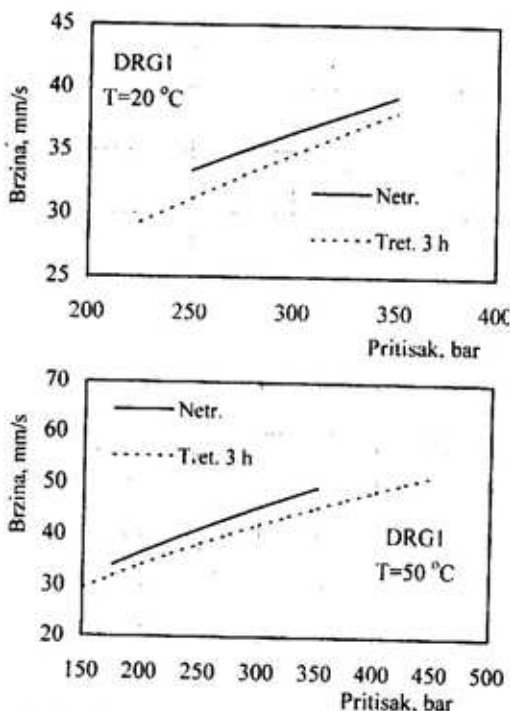
Analiza rezultata ispitivanja brzine gorenja u realnim motorima (slika 5) ukazuje na smanjenje brzine gorenja kod ispitivanog tretiranog baruta. Pri ispitivanju brzine gorenja (kod netretiranih barutnih cevčica) uočeno je izletanje iz mo-

tora delimično sagorelih barutnih cevčica. Ova pojava nije uočena kod tretiranih barutnih cevčica. Sa slike 5 uočava se da na 50°C tretirane barutne cevčice imaju manji eksponent u zakonu brzine gorenja ($v=2,23 P^{0,515}$) u odnosu na netretirane cevčice ($v=2,08 P^{0,541}$).

Ukoliko se želi da se kod postojećeg raketnog goriva ostvare bolje mehaničke osobine barutnih cevčica to će se postići povećanjem radnog pritiska ili zadržavanjem postojećeg uz duže vreme sagorevanja.

Pri izboru novog raketnog goriva potrebno je odabrati gorivo sa većom brzinom gorenja, kako bi se nakon tretiranja parama acetona dobila zahtevana brzina gorenja.

Smanjenje eksponenta u zakonu brzine gorenja (za ispitivani sastav DRG1 na 50°C) povoljno je sa stanovišta pouzdanosti raketnog motora.



Sl. 5 – Dijagrami brzina gorenja – pritisak na 20°C i 50°C

Zaključak

Ispitan je uticaj para acetona na pogonskim punjenjima u obliku barutnih cevčica. Ova ispitivanja su jasno pokazala veoma značajan uticaj para acetona na mehaničke karakteristike opitnih modela DRG, tj. da sa porastom vremena tretiranja baruta dolazi do porasta zatezne čvrstoće, izduženja i udarne žilavosti. Tako, na primer, prekidna sila je (na 23°C) povećana za oko 2,3 puta, a izduženje za oko 4 puta u odnosu na netretirane cevčice (tabela 2).

Povećana zatezna čvrstoća tretiranog baruta doprinosi boljem iskorišćenju goriva tokom sagorevanja u motoru, jer nema izletanja delimično sagorelih barutnih cevčica.

Na osnovu eksperimentalnih rezultata može se zaključiti da dolazi do manjih promena u brzini gorenja kao i da su brzine gorenja kod ispitivanih tretiranih DRG manje od netretiranih.

Literatura:

- [1] Tot, L.: Istraživanje uticaja delovanja para organskih rastvarača na mehaničke osobine dvobaznih raketnih baruta, magistarski rad, TMF Beograd, 1989.
- [2] Tot, L.: Ispitivanja uticaja para acetona na mehaničke osobine dvobaznih raketnih goriva, Vojnotehnički glasnik 3/2002, 280-287.
- [3] Savković, M.: XIII Simpozijum o eksplozivnim materijama, Vitez, 1980. str. 201-207.
- [4] Tot, L.; Dučić, R.; Uzelac, M.: Dvobazna raketna goriva tretirana parama rastvarača IV, TI-943, 1988.
- [5] Filipović, M.: Određivanje linearne brzine sagorevanja i regresionih koeficijenata u zakonu brzine sagorevanja baruta korišćenjem manometarske bombe, Naučnotehnički pregled, 33, 1983, 2, 47-57.
- [6] Tot, L.; Dučić, R.; Uzelac M.: Dvobazna raketna goriva tretirana parama rastvarača III, TI-873, 1987.