

ISTRAŽIVANJE UTICAJA NEKIH PARAMETARA NA OSETLJIVOST EKSPLOZIVNIH MATERIJA NA TOPLOTNI IMPULS

UDC: 662.1/4 : 620.181.4

Rezime:

Ispitivana je osetljivost nekoliko vrsta eksplozivnih materija na toplotni impuls merenjem vremena zadržke u zavisnosti od temperature. Na osnovu eksperimentalnih rezultata određene su vrednosti energije aktivacije i predeksponencijalni faktori u jednačini Semjonova. Istraživan je i uticaj mase ispitivanog uzorka, granulacije i veličine kristala eksploziva na osetljivost na toplotni impuls. Pokazano je da ovi parametri imaju značajan uticaj na osetljivost eksplozivnih materija, pa je neophodno standardizovati postupak pripreme uzoraka za ispitivanje, kako bi rezultati bili međusobno uporedivi.

Ključne reči: eksplozivne materije, toplotni impuls, energija aktivacije, masa uzorka, granulacija uzorka, veličina kristala uzorka.

INVESTIGATION OF THE EFFECTS OF SOME PARAMETERS ON EXPLOSIVES SENSITIVITY TO HEAT IMPULSE

Summary:

Sensitivity of several types of explosives to heat impulse has been examined by measuring the delay time as a function of temperature. The values of activation energy and the pre-exponential factors in the Semionov equation have been determined on the basis of the experimental results. The effects of the examined sample mass, granulation and crystal size on the sensitivity to heat impulse have been also investigated. These parameters are shown to have a significant effect on the sensitivity of explosives. Therefore, it is necessary to standardize the procedure of test sample preparation in order to get comparable results.

Key words: explosives, heat impulse, activation energy, sample mass, sample granulation, sample crystal size.

Uvod

Proces eksplozivnog, odnosno spon-
tanog hemijskog razlaganja eksplozivnih
materije, može se inicirati dejstvom ne-
kog spoljnog impulsa, čija veličina i ob-
lik zavise od vrste i sastava eksplozivne
materije, kao i uslova u kojima se vrši
inicijacija.

Osetljivost eksplozivnih materija na
različite početne impulse jedan je od najva-
žnijih kriterijuma za proizvodnju, čuvanje,
transport, manipulaciju i primenu ubojnih
sredstava u kojima su one laborisane.

Sa praktičnog stanovišta, eksploziv-
ne materije moraju zadovoljiti dva kon-
tradiktorna zahteva: s jedne strane, uz
pridržavanje odgovarajućih propisa, one

moraju da budu bezbedne pri čuvanju, transportu i manipulaciji, dok, s druge strane, moraju da budu dovoljno osetljive da reaguju na odgovarajući spoljni impuls kada se to od njih očekuje.

U odnosu na osetljivost eksplozivnih materija na spoljno dejstvo određuje se i veličina početnog ili inicijalnog impulsa, koji je, pri određenim uslovima, potreban za pobuđivanje eksplozivnih procesa. Ne postoje apsolutni pokazatelji osetljivosti eksplozivnih materija na osnovu kojih se pouzdano može proceniti minimalan impuls potreban za inicijaciju. To je posledica složenosti fenomena inicijacije. Osetljivost ne zavisi samo od hemijske strukture eksplozivnih materija nego i od velikog broja faktora fizičke prirode, od kojih se neki odnose na fizičko stanje eksplozivnih materija, a drugi na uslove u kojima se odvija proces inicijacije. Podaci o osetljivosti eksplozivnih materija predstavljaju samo statističke parametre na osnovu kojih se može utvrditi kolika je verovatnoća da u određenim uslovima može doći do inicijacije. Ako se spoljni uslovi ili fizičko stanje eksplozivnih materija promene, za istu jačinu impulsa verovatnoća inicijacije može se mnogostruko izmeniti.

Količina energije neophodna za iniciranje procesa eksplozivnog razlaganja za istu eksplozivnu materiju menja se u širokim granicama, što, pre svega, zavisi od oblika početnog impulsa i načina prenosa energije na eksplozivnu materiju.

U uslovima brzog zagrevanja eksplozivnih materija, koje se ostvaruje pri visokim temperaturama, iniciranje procesa eksplozivnog razlaganja može se postići mnogo manjom količinom energije

nego u uslovima sporog zagrevanja koje se ostvaruje pri nižim temperaturama. Do analogne pojave dolazi i pri mehaničkom spoljnom dejstvu na eksplozivne materije. Pri sporom sabijanju nekih eksplozivnih materija relativno male osetljivosti, do inicijacije neće doći čak ni pri visokim pritiscima i relativno velikoj količini utrošene energije. S druge strane, u uslovima brzog sabijanja, koje ima karakter udara, inicijacija procesa eksplozivnog razlaganja može se izazvati sa mnogo manjim količinama energije.

Za inicijaciju eksplozivnog razlaganja nije presudna količina energije, već koncentracija energije u vremenu i prostoru, jer se na taj način mnogo brže dostiže energetska barijera za otpočinjanje procesa razlaganja na nivou molekula eksplozivne materije.

Proces eksplozivnog razlaganja može se inicirati različitim početnim impulsima, kao što su:

- toplotni (zagrevanje, plamen, iskra, usijano telo i dr.),
- mehanički (udar, trenje, smicanje, rezanje, prostrel zrna, potres pri opaljenju i dr.),
- eksplozivni (energija eksplozije inicijalne ili druge brizantne eksplozivne materije),
- dejstvo ultrazvuka, lasera, elektrona, jona, rendgenskih zraka i nuklearnih čestica.

Za iniciranje inicijalnih eksplozivnih materija u praksi se uglavnom primenjuju mehanički (udar i trenje) i toplotni (plamen, iskra, usijana žica) početni impuls. Pobuđivanje detonacije brizantnih eksploziva postiže se udarnim talasom inicijalnih eksplozivnih materija, dok se

pripaljivanje potisnih eksplozivnih materija vrši toplotnim impulsom u obliku plamena.

Osetljivost eksplozivnih materija na toplotni impuls

Toplotni impuls može delovati na eksplozivne materije u obliku homogenog i lokalnog zagrevanja.

Homogeno (lagano) zagrevanje odvija se po čitavoj masi eksplozivne materije, izvorom toplote bez plamena, do neke kritične temperature (temperature samopaljenja). Dalji razvoj procesa eksplozivnog razlaganja odvija se po zakonu toplotne eksplozije, po kojem dolazi do samozapaljenja eksplozivne materije usled narušene ravnoteže između oslobađanja toplote i njene razmene sa okolinom. Inicirani proces sagorevanja dalje može preći u detonaciju, zavisno od vrste eksplozivne materije i uslova u kojima je izvršeno iniciranje. Kod inicijalnih eksplozivnih materija proces, po pravilu, prelazi u detonaciju.

Lokalno zagrevanje (plamen, varnica, sijana žica) primenjuje se za pripalu baruta i raketnih goriva pri opaljenju projektila, kao i za pobuđivanje detonacije u detonatorima. U tom slučaju uspostavlja se značajan gradijent temperature, pri čemu je karakteristična pojava lokalne zone razlaganja koja se kroz eksplozivnu materiju širi samorasprostrućim mehanizmom.

Kao mera osetljivosti eksplozivnih materija na toplotni impuls obično služi temperatura paljenja, odnosno vreme zadržke (period indukcije).

Za eksplozivne materije veza između vremena zadržke i temperature palje-

nja se izražava pomoću zavisnosti koju je prvi dao Semjonov [1], i koja glasi:

$$\tau = Ce^{\frac{E}{RT}} \quad (1)$$

gde je:

τ – vreme zadržke (s),

E – energija aktivacije procesa eksplozivnog razlaganja eksplozivne materije (J/mol),

R – univerzalna gasna konstanta (8,314 J/molK),

C – konstanta koja zavisi od sastava eksplozivne materije,

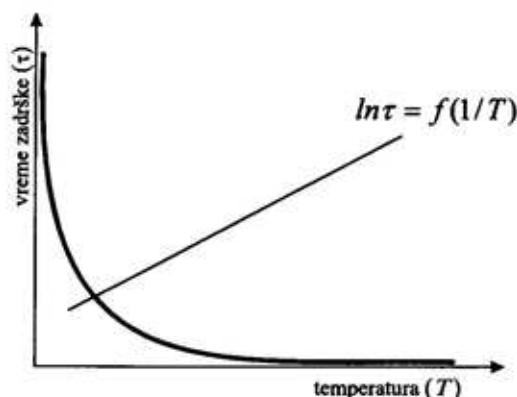
T – temperatura paljenja eksplozivne materije (K).

Na osnovu izraza Semjonova očigledno je da se sa smanjenjem energije aktivacije i povećanjem temperature zagrevanja vreme zadržke eksponencijalno smanjuje (slika 1).

Zavisnost (1) pogodno je predstaviti u linearnom obliku:

$$\ln \tau = \ln C + \frac{E}{RT} \quad (2)$$

Izraz (2) pokazuje da između logaritma vremena zadržke i recipročne tem-



Sl. 1 – Zavisnost vremena zadržke od temperature

perature postoji linearna zavisnost koja omogućuje određivanje energije aktivacije eksplozivnih materija.

Osetljivost eksplozivnih materija može varirati u širokim granicama, zavisno od uticaja različitih parametara. Osnovni parametri koji utiču na osetljivost su: temperatura, toplotni kapacitet i toplotna provodljivost, isparljivost, agregatno stanje, struktura, gustina, veličina i oblik kristala, prisustvo primesa i dr. Njihov uticaj ispoljava se na osetljivost u različitom stepenu, zavisno od karaktera početnog impulsa koji se primenjuje za iniciranje eksplozivne materije.

Opis eksperimenta

Za ispitivanje osetljivosti na toplotni impuls odabrano je sedam različitih eksplozivnih materija, od kojih je jedna barut (pogonska EM), a šest su čisti brižantni eksplozivi ili njihove smeše. Sastav ispitivanih eksplozivnih materija prikazan je u tabeli 1.

Ispitivanje osetljivosti EM na toplotni impuls obavlja se na standardnom uređaju marke „Jullius Peters“, a temperatura paljenja prema standardu JUS H.D.8.004 [2]. Priprema uzoraka obuhvatala je njihovo usitnjavanje i sušenje, a za ispitivanje su odmeravane konstantne mase uzorka od po 0,200 g. Svako merenje obavlja se sa po šest ponavljanja pri istim uslovima.

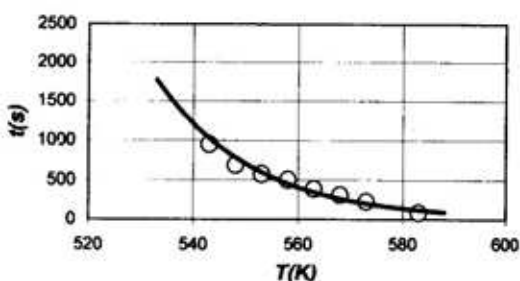
Pri određivanju vremena zadržke pre početka merenja uređaji su temperirani na zadatoj temperaturi u trajanju od 60 minuta. Vreme do paljenja registrovano je štopericom na osnovu zvučnog ili vizuelnog efekta pri paljenju.

Određivanje temperature paljenja obavljano je pri brzini grejanja od 10°C/min.

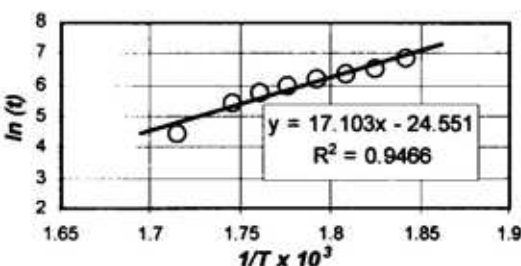
Rezultati i diskusija

Određivanje vremena indukcije ispitivanih EM obavljeno je na nekoliko temperatura sa po šest ponavljanja. Na osnovu dobijenih vremena računato je srednje vreme zadržke na datoj temperaturi. Rezultati eksperimentalnog određivanja vremena zadržke ispitivanih EM na različitim temperaturama prikazani su na tabeli 2, a na slici 2 grafička zavisnost vremena zadržke od temperature za TNT. Kao što se vidi, ta zavisnost je u skladu sa jednačinom Semjonova (1), što je potvrđeno i za ostale ispitivane eksplozivne materije.

Na osnovu logaritamske zavisnosti $\ln t - 1/T$ (slika 3) određene su energije



Sl. 2 – Zavisnost vremena zadržke od temperature za TNT



Sl. 3 – Zavisnost logaritma vremena zadržke od recipročne vrednosti temperature za TNT

Eksplozivna materija	Sastav
Barut	sferični jednobazni barut sa 1% DFA
Trotil (TNT)	čist
Heksogen (RDX)	čist
Pentrit (PETN)	čist
Okto	HMX 96%, TNT 6%, vosak 1%
Okto (flegmatizovani)	HMX 96%, flegmatizatora 4%
Heksoto	RDX 93%, TNT 6%, vosak 1%

Rezultati merenja vremena zadržke u zavisnosti od temperature

Tabela 2

Barut		Pentrit		RDX		Heksoto		HMX		Okto		TNT	
T(K)	τ (s)	T(K)	τ (s)	T(K)	τ (s)	T(K)	τ (s)	T(K)	τ (s)	T(K)	τ (s)	T(K)	τ (s)
443	743	433	783	463	2723	473	1314	523	1034	533	188	543	949
453	202,3	443	432	473	965	483	723	528	593	543	134	548	686
463	141,3	453	245	483	343	493	299	533	372	548	125	553	573
468	120	463	168	488	211	503	143	538	240	553	115	558	503
473	91,6	473	118	493	154	513	72	543	151	558	105	563	390
478	81,6	483	88	498	101	518	51	548	94	563	97	568	313
483	67,6	493	50	503	61			553	62	568	83,5	573	229
488	55									573	63	583	87
493	35									578	54		
										583	43		

Vrednosti parametara u jednačini Semjonova za ispitivane EM

Tabela 3

Vrsta EM	Energija aktivacije (KJ/mol) [3,4]	Energija aktivacije, dobijena proračunom (KJ/mol)	Predeksponencijalni faktor
Barut	100,4	90,9	$9 \cdot 10^{-10}$
Trotil (TNT)	143,9	148,1	$2,054 \cdot 10^{-11}$
Heksogen (RDX)	197,1	188,4	$8,003 \cdot 10^{-18}$
Heksoto		151,5	$3,583 \cdot 10^{-14}$
Okto (flegmatizovani)	221	224,4	$4,356 \cdot 10^{-20}$
Okto		71,2	$2,37 \cdot 10^{-5}$
Pentrit (PETN)	176	156,3	$5,07 \cdot 10^{-7}$

aktivacije ispitivanih EM, kao i predeksponencijalni faktori u jednačini Semjonova (tabela 3).

Vrednosti energija aktivacija ispitivanih eksplozivnih materija, dobijene na ovaj način, u dobroj su korelaciji sa vrednostima iz literature koje su dobijene drugim metodama [3].

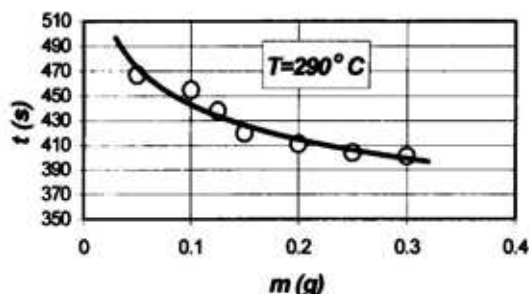
Dobijeni rezultati pokazuju da se dodatkom trotila heksogenu smanjuje njegova osetljivost na toplotni impuls, što se objašnjava činjenicom da TNT ima

višu temperaturu paljenja (300°C) od heksogena (260°C).

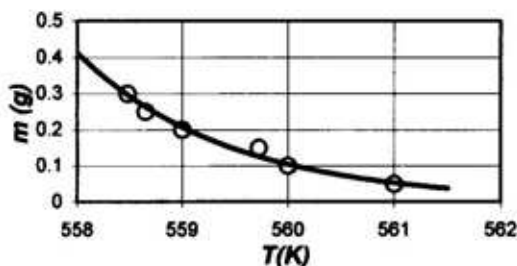
Takode, dodatkom flegmatizatora heksogenu i oktogenu smanjuje se njihova osetljivost na toplotni impuls, analogno smanjenju osetljivosti na mehanički impuls.

Ispitivanje uticaja mase uzorka

Uticaj mase uzorka na osetljivost na toplotni impuls ispitivan je na uzorku TNT-a granulacije od 1,25 mm. Eksperiment je



Sl. 4 – Uticaj mase uzorka na vreme zadržke za TNT



Sl. 5 – Uticaj mase uzorka na temperaturu paljenja TNT-a

vršen na temperaturi od 290°C, a rezultati ispitivanja prikazani su grafički na slici 4.

Očigledno, sa povećanjem mase ispitivanog uzorka osetljivost na toplotni impuls eksponencijalno raste, što je u skladu sa teorijom toplotne eksplozije [5]. Što je masa uzorka veća, stvaraju se povoljniji uslovi za akumuliranje toplote koja se oslobađa usled egzotermnih autokatalitičkih procesa i, samim tim, brže dostizanje temperature paljenja.

Analogni rezultati dobijeni su i ispitivanjem uticaja mase na temperaturu paljenja TNT-a (slika 5). Sa smanjenjem mase uzorka temperatura paljenja raste.

Na osnovu ovih rezultata može se predvideti da ispod određene kritične mase uzorka ne bi došlo do paljenja eksplozivne materije, jer bi pre toga došlo do njene potpune termičke destrukcije.

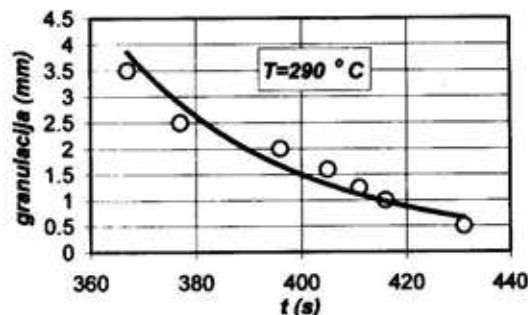
Slična pojava desila bi se ako bi se uzorak zagrevao veoma sporo. Tada bi se veći deo eksplozivne materije razložio u oblasti nižih temperatura, pa bi pri višim temperaturama količina eksplozivne materije bila suviše mala da bi došlo do paljenja.

Ispitivanje uticaja granulacije uzorka

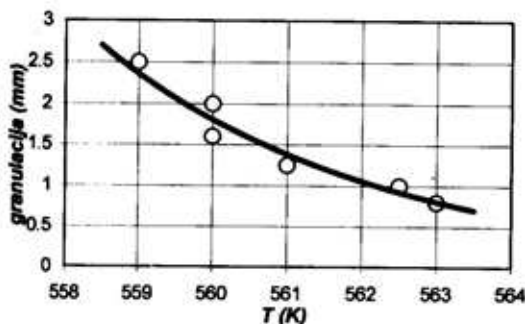
Različite granulacije dobijene su prosejavanjem kroz sita različitih veličina otvora, a ispitivanje je obavljeno, kao i u prethodnom slučaju, na temperaturi od 290°C. Rezultati merenja prikazani su na slici 6.

Sa povećavanjem granulacije eksponencijalno raste i osetljivost na toplotni impuls, što je u korelaciji sa rezultatima uticaja mase. I ovde se pojava može objasniti činjenicom da je kod većih granulacija uzorka razmena toplote sa okolinom sporija (manji odnos između površine i zapremine uzorka), pa se brže dostiže temperatura paljenja.

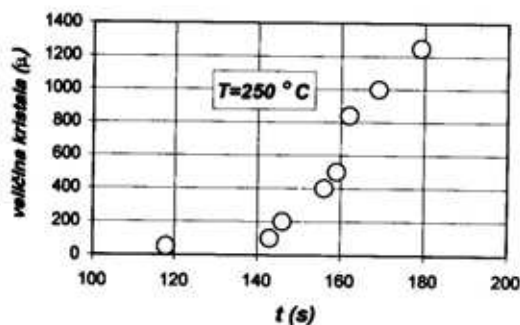
Ispitivanjem uticaja granulacije na temperaturu paljenja TNT-a dobijeni su analogni rezultati – sa povećavanjem granulacije snižava se temperatura paljenja (slika 7).



Sl. 6 – Rezultati merenja uticaja granulacije uzorka TNT na vreme zadržke



Sl. 7 – Uticaj granulacije na temperaturu paljenja kod TNT-a



Sl. 8 – Uticaj veličine kristala na vreme zadržke kod oktogena

Ispitivanje uticaja veličine kristala

Na kraju, na primeru kristalnog oktogena ispitan je i uticaj veličine kristala na vreme zadržke. Ispitivanje je obavljeno na temperaturi od 250°C, a veličine kristala varirane su u granicama od 100 do 1250 μm . Dobijeni rezultati prikazani su grafički na slici 8.

Može se primetiti da se sa povećanjem veličine kristala smanjuje osetljivost oktogena na toplotni impuls, što nije u skladu sa prethodnim rezultatima, a i činjenicom da su, po pravilu, krupniji kristali osetljiviji od sitnijih. Međutim, slična pojava uočena je i kod nekih dru-

gih eksploziva, kao na primer, kod pikrinske kiseline [6]. To je, najverovatnije, posledica promene vrednosti kinetičkih parametara procesa termičke dekompozicije za različite veličine kristala, što bi trebalo posebno istražiti.

Da bi se dobili rezultati ispitivanja koji se međusobno mogu upoređivati, određivanje osetljivosti eksplozivnih materija na toplotni impuls, kao i temperature paljenja, mora se provoditi u strogo određenim, standardnim uslovima, što podrazumeva i standardizaciju pripreme uzorka za ispitivanje.

Zaključak

Fenomen osetljivosti eksplozivnih materija na toplotni impuls predstavlja veoma složen problem, koji do sada nije u potpunosti istražen. Rezultati istraživanja pokazuju da masa, granulacija, kao i veličina kristala ispitivanog uzorka znatno utiču na vreme zadržke i temperaturu paljenja eksplozivnih materija. Neophodno je odgovarajućim standardom precizno propisati način pripreme uzoraka za ispitivanje osetljivosti eksplozivnih materija, kako bi rezultati bili jednoznačni i međusobno uporedivi.

Literatura:

- [1] Baum, F. A.; Orlenko, L. P.; Stanjuković, K. P.; Čeljšev, V. P.; Šešter, B. I.: Fizika vzriva, Nauka, Moskva, 1975.
- [2] JUS H.D8.004, Određivanje temperature paljenja, Jugoslovenski zavod za standardizaciju, Beograd, 1972.
- [3] Hristovski, M.: Eksplozivne materije, NIU Vojska, Beograd, 1994.
- [4] Čolaković, M.: Probability Estimation for the Self-Ignition of the Gun Powder, Prop. Expl. Pyrot., 17. (1992).
- [5] Merzhanov, A. G.; Abramov, V. G.: Thermal explosion of explosives and propellants. A review, Prop. Expl., 6, 1981.
- [6] Andrejev, K. K.; Beljajev, A.F.: Teorija vzrivotatih veščestv, Oborongiz, Moskva, 1960.