

5. DELOVANJE EKSPLOZIJE

Mehanički rad eksplozije vrši se na račun potencijalne hemijske energije koju poseduje EM. Taj potencijal prelazi u toplotnu energiju, a zatim u mehanički rad, pri čemu dolazi do određenih gubitaka.

Hemijski gubici se javljaju zbog sekundarnih hemijskih reakcija i usled pojave radijalnog razbacivanja nereagovane EM pri eksploziji. Ovi gubici mogu iznositi nekoliko desetina procenata od ukupnog potencijala EM.

Toplotni gubici mogu biti:

- termodinamički, koji obuhvataju ostatak energije koja se nalazi u produktima eksplozije usled toga što se njihovo adijabatsko širenje ne obavlja do apsolutne nule; to su tzv. idealno toplotni gubici,
- gubici toplote usled zagrevanja okoline.

Ukupni toplotni gubici mogu biti i do 10 %.

Gubici mehaničkog rada potiču od činjenice da je širenje gasovitih produkata eksplozije ograničeno pritiskom okoline i takav rad se naziva stvarnim radom eksplozije. Koristan oblik rada (zbog čega je eksplozija i izvršena) može često iznositi svega nekoliko procenata od ukupnog potencijala EM.

Razlikuju se dva osnovna oblika spoljnog rada eksplozije: brizantno i rušeće dejstvo.

Brizantnim dejstvom naziva se kidanje, probijanje i drobljenje pri eksploziji sredine koja je u neposrednom dodiru sa punjenjem EM. Ovo dejstvo je rezultat udara produkata eksplozije koji se nalaze pod vrlo visokim pritiskom i javlja se samo u neposrednoj blizini eksplozivnog punjenja (na rastojanjima koja ne prelaze 2÷2.5 prečnika eksplozivnog punjenja).

Rušeće (fugasno) dejstvo predstavlja oblik rada eksplozije koji se manifestuje razbijanjem i odbacivanjem sredine u kojoj se javlja eksplozija. Rušeće dejstvo je uslovljeno širenjem produkata eksplozije, odnosno detonacije, do relativno niskih pritisaka i prolaskom udarnog talasa kroz okolnu sredinu.

Iza granične zone rušućeg dejstva leži znatno veća oblast u kojoj se prostiru relativno slabi udarni talasi. Konačno, iza ove oblasti udarnih talasa leži oblast zvučnih talasa.

Oštre granice između brizantnog i rušućeg delovanja nema.

5.1 Teorijska ocena brizantnog dejstva

Dejstvo eksplozije na bilo koju sredinu određuje se količinom kretanja saopštenog česticama sredine kao rezultat udara produkata eksplozije, odnosno detonacije. Ova

količina kretanja jednaka je impulsu sile pritiska. Specifični impuls produkata detonacije određuje se po jednačini:

$$i = \int_0^{\tau} p dt \quad (5.1)$$

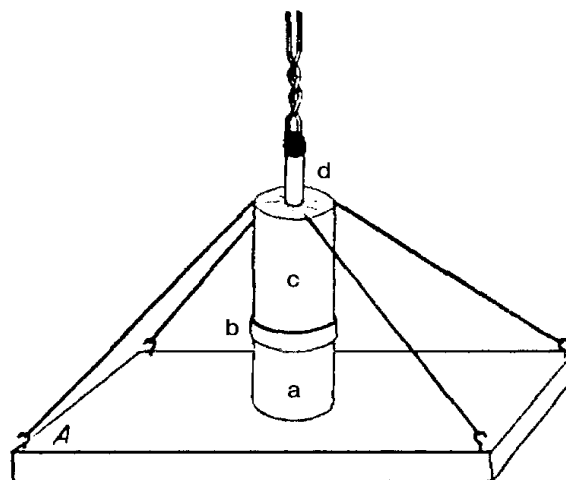
U vremenu τ pritisak se menja od pritiska p_p do pritiska p_k , gde je p_p -početni pritisak produkata detonacije, a p_k -krajnji pritisak pri kome se završava dejstvo produkata detonacije na sredinu. Brizantno dejstvo je ograničeno na tzv. čeonu deo punog impulsa, tj. na rad produkata detonacije koji je ograničen padom pritiska u uskom intervalu od pritiska detonacije p_d do nekog dovoljno visokog krajnjeg pritiska p_k (p_k ne zavisi od vrste eksploziva, već od osobina okolne sredine za željeno brizantno dejstvo). Može se smatrati da je ovaj "čeon" deo impulsa približno proporcionalan početnom pritisku, pa se ovaj pritisak može uzeti kao kriterijum brizantnog dejstva. Prethodno smo izveli izraz za početni pritisak detonacije (izraz 4.22):

$$p_d = p_p = \frac{1}{4} \rho_e D^2 \quad (5.2)$$

Ovaj izraz ukazuje da se brizantno dejstvo povećava sa povećanjem gustine EM i njenom detonacionom brzinom. Eksperimentalni rezultati potvrđuju ovakav zaključak.

5.2 Eksperimentalno određivanje brizantnosti

Eksperimentalno određivanje brizantnosti eksploziva vrši se na sledeći način: 50 g eksplozivne materije koja se ispituje smešta se u cilindričnu kartonsku čauru unutrašnjeg prečnika 40 mm i prekriva kartonskim kružićem. U centru kružića nalazi se otvor za postavljanje detonatorske kapsle. Specijalnom matricom eksplozivno punjenje se presuje do gustine 1 g/cm^3 . Na ovaj način pripremljena patrona sa uzorkom EM postavlja se na čelični disk prečnika 41.5 mm i debljine 10 mm, koji se opet postavlja na cilindar od čistog olova prečnika 40 mm i visine 60 mm. Sve ovo se postavlja na masivnu čeličnu ploču (slika 5.1) i pričvršćuje, a zatim se inicira eksplozija najčešće električnim putem.



Slika 5.1. Određivanje brizantnosti deformacijom olovnih cilindara

Pri eksploziji olovni cilindar se sabija i dobija oblik pečurke. Razlika u visini cilindra pre i posle eksplozije je mera brizantnosti. U tabeli 5.1 date su vrednosti brizantnosti za neke eksplozivne materije.

Tabela 5.1

EKSPLOZIVNA MATERIJA	Razlika u visini cilindra [mm]
Heksogen (25 g)	18
Pentrit (25 g)	16
Tetrit	20 ÷ 22
Trotil	16 ÷ 17
Ksilil	12 ÷ 13

U tabeli 5.1 brizantnost za heksogen i pentrit je određena za masu eksploziva od 25 g, jer se pri masi eksploziva od 50 g olovni cilindar razbijao na delove. Umesto olovnog cilindra može se upotrebiti i cilindar od drugog metala (npr. aluminijuma).

Izložena metoda ne daje apsolutne vrednosti brizantnosti, već služi za uporednu ocenu, što ne umanjuje njenu praktičnu vrednost.

5.3 Rušeće dejstvo

Rušeće dejstvo je teorijska veličina proporcionalna potencijalnoj energiji eksplozivne materije. Kod proračuna potencijalne energije moraju se izvršiti sledeća uprošćenja: smatra se da se eksplozija odvija u prostoru okruženom oblogom čija zapremina može da raste beskonačno i da je obloga apsolutno toplotno neprovdoljiva, što procesu eksplozije daje karakter adijabatskog širenja. U takvim uslovima može se koristiti sledeća jednažina:

$$Q_v = A + Q'$$

gde je Q_v -toplota eksplozije, A -rad izvršen širenjem gasova do vremena t , Q' -toplota eksplozija koja nije utrošena na rad širenjem gasova do vremena t .

Ako se produkti eksplozije rašire do atmosferskog pritiska i do temperature $+15^\circ\text{C}$, onda se gornja jednačina može napisati u sledećem obliku:

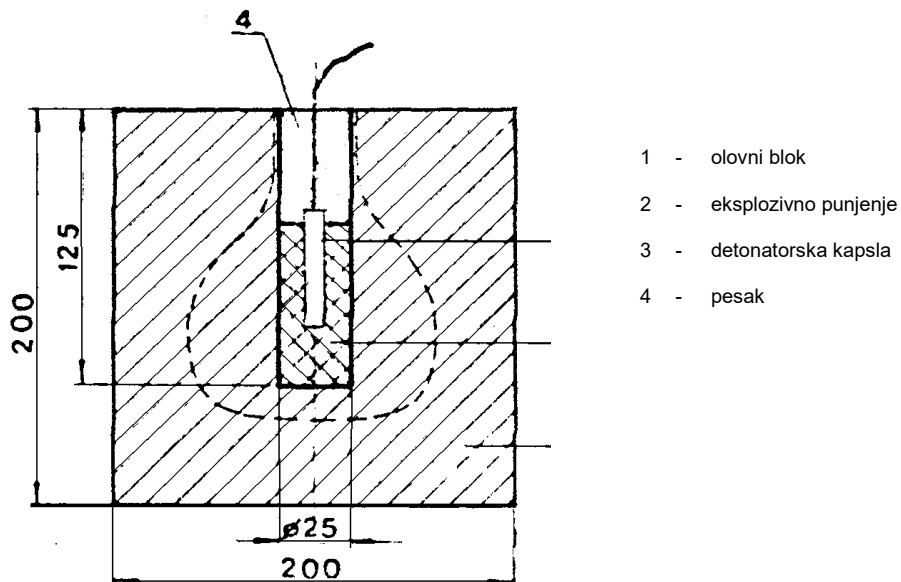
$$A = Q_v$$

Tada je izvršen maksimalni mogući rad produkata eksplozije 1 kg eksploziva. Razume se da je koristan rad eksplozije znatno manji od potencijalne energije EM.

5.4 Eksperimentalno određivanje radne sposobnosti EM

Za eksperimentalno ispitivanje radne sposobnosti eksploziva danas se koriste uglavnom dve metode: Trauzlov test i balističko klatno.

Trauzlov test je jedna od najrasprostranjenijih metoda za određivanje radne sposobnosti EM. Metoda se sastoji u izazivanju detonacije 10 g EM u olovnom bloku-valjku dimenzija $\Phi 200 \times 200$ mm sa centralnom šupljinom ($\Phi 25 \times 125$ mm, slika 5.2)



Slika 5.2. Olovni blok za Trauzlov test pre i nakon eksplozije (isprekidana linija)

Usled eksplozije u valjku dolazi do proširenja šupljine, što je ustvari i kriterijum za ocenu radne sposobnosti eksploziva. Kod različitih eksploziva i proširenje u olovnom bloku je različito tj. eksplozivi veće radne sposobnosti daće veće proširenje, kao što se vidi u tabeli 5.2, u kojoj su prikazani rezultati opita za neke vrste eksploziva.

Tabela 5.2

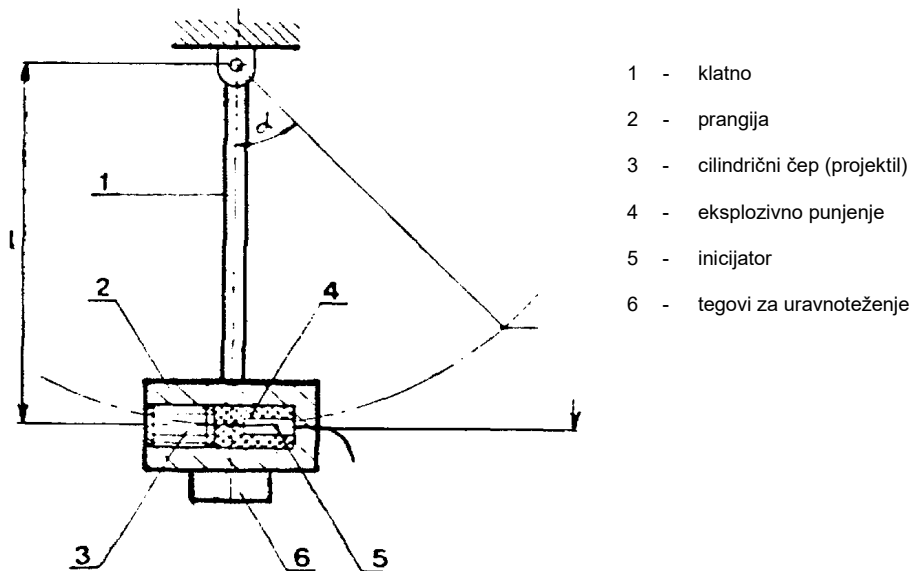
EKSPLOZIVNA MATERIJ	Proširenje u olovnom bloku [cm ³ /10g]
Nitroceluloza (13.3% N ₂)	420
Nitroglicerol	550
TNT	305
Heksogen	475
Tetrit	375
Živin fulminat	130
Olovoazid	110
Amonijumnitrat	200
Amatol 60/40	390
Dinamit	400

Osnovni nedostaci ove metode su:

- radna sposobnost se ne izražava u jedinicama rada već u jedinicama zapremine, a to su uslovne jedinice,
- nema stroge proporcionalnosti između stvarne radne sposobnosti EM i širenja kanala olovnog bloka
- teško se osiguravaju iste karakteristike olovnog bloka i njegova cena je visoka.

Zbog navedenih nedostataka ova metoda je kasnije modifikovana tako da se umesto iste količine EM uzima različita količina EM, sve dok se ne dobije isto proširenje u bloku. To je tzv. francuska modifikacija Trauzalovog testa.

Balističko klatno je minijaturno oruđe (prangija) obešeno kao klatno (slika 5.3), iz kojeg se, pri detonaciji uvek iste količine EM (obično 10 g), izbacuje projektil određene mase. Pri tome se klatno otkloni za ugao α u odnosu na vertikalnu osu. To znači da se jedan deo rada eksplozije manifestuje u vidu kinetičke energije projektila, dok se drugi upotrebi za dizanje klatna.



Slika 5.3. Balističko klatno

Kriterijum za ocenu radne sposobnosti eksploziva definisan je odnosom između rada utrošenog za podizanje klatna na određenu visinu pri ispitivanju testiranog eksploziva i odgovarajućeg rada pri ispitivanju etalon eksploziva. Rad utrošen na podizanje klatna jednak je proizvodu njene mase i visine na koju se podigne njegovo težište tj.:

$$Mh = MI(1 - \cos \alpha) \quad (5.3)$$

gde je:

- M - masa klatna sa prangijom
- h - visina na koju se podigne težište klatna za vreme ispitivanja
- l - visina klatna
- α - ugao otklona klatna pri ispitivanju eksploziva

Prema tome, relativna snaga ispitivanog eksploziva je:

$$K = \frac{1 - \cos \alpha}{1 - \cos \alpha_0} \cdot 100 \quad [\%] \quad (5.4)$$

gde je:

K - relativna radna sposobnost ispitivanog eksploziva izražena u % snage etalon eksploziva,

α_0 - ugao otklona klatna pri ispitivanju etalon eksploziva.