

ZNAČAJKE I DJELOVANJE EKSPLOZIVA

Eksplozivi su kemijski spojevi ili smjese koje pod djelovanjem vanjskog impulsa (mehanički, toplinski ili njihova kombinacija) u obliku topline, udara, trenja i sl. mogu izazvati ekstremno brzu kemijsku reakciju (eksploziju), praćenu oslobađanjem velike količine topline i nastajanjem zagrijanih plinovitih produkata pod tlakom mnogo većim od tlaka okoline.

Zbog te razlike u tlaku plinovi se brzo šire, pri čemu se dio energije pretvara u rad, što rezultira rušenjem i razaranjem. Učinci mogu biti jako veliki zbog trenutačnosti reakcije. Kod gotovo svih eksploziva, eksplozija je zapravo vrlo brza ili trenutačna oksidacija, a samo manji broj eksploziva (bakreni acetilid, azidi) raspada se izravno na sastavne dijelove. Neke vrste eksploziva, kao acetilidi, ne razvijaju plinove nego tlak prilikom eksplozije nastaje od finih, čvrstih čestica ugljika. Eksplozivnost kemijskih spojeva uzrokuju nestabilne atomske skupine u njihovim molekulama, kao što su O-O u peroksidima i ozonidima, O-Cl u kloratima i perkloratima, NO₂ u dušikovim spojevima i nitratima, N≡N u azidima i diazo-spojevima, N≡C u fulminatima, C≡C u acetilenima i acetilidima.

Kod eksploziva se događa kemijska eksplozija gdje se kemijsko razlaganje eksploziva događa ili:

- **gorenjem** (za razlaganje služi kisik iz eksploziva) ili
- **deflagacijom** (mala brzina razlaganja eksploziva od sloja do sloja prenošenjem topline) ili
- **detonacijom** (razlaganje eksploziva od sloja do sloja vrlo brzim udarnim valom).

Gotovo sve eksplozive obilježava brzina detonacije (brzina širenja detonacijskog vala kroz eksploziv, odnosno brzina širenja eksplozije kroz eksploziv; u *m/sec*), a zatim brizantnost (razorna snaga koja se utvrđuje kao tlak detonacije), snaga (radna sposobnost eksploziva), prijenos detonacije (razmak prijenosa detonacije s patrone na patronu; u *cm*), kao i energija eksploziva, obujam plinova, specifični tlak, temperatura eksplozije, gustoća eksploziva, bilanca kisika, osjetljivost (na udar, trenje, iniciranje, toplinsko djelovanje itd.) te otpornost na vodu, na mraz i sl.

Detonacijski raspad ili deflagacijsko izgarenje eksploziva rezultira oslobađanjem plinovitih produkata visoke temperature i tlaka. Utrošeni rad koji je nastao eksplozijom određene količine eksploziva ovisi o obujmu plinova koji su rezultat reakcije deflagacije ili detonacije, temperaturi i toplini na kojoj se razvijaju plinovi. Prikazat ćemo to jednadžbom:

$$W = p \Delta V = f(T)$$

W je rad, **p** je tlak, ΔV je povećanje obujma pri reakciji (za tekuće i krute detonacijske eksplozive praktički jednako obujmu razvijenih plinova), **T** je apsolutna temperatura. Temperatura **T** je to viša (a prema tome i rad **W** to veći), što je veća toplina razvijanja pri reakciji određene količine eksploziva i što je manja masa (i toplinski kapacitet) produkata te reakcije. Na toj se spoznaji temelji ocjenjivanje radne sposobnosti eksploziva.

Toplina eksplozije je toplina koja se razvija kada jedinica mase eksploziva potpuno reagira prema jednadžbi izgaranja ili raspada, uz pretpostavku da se eksploziv prije reakcije i produkti poslije reakcije nalaze pod standardnim uvjetima. Izražava se u kilodžulima po kilogramu (kJ/kg). Kao mjera ukupne energije koja postaje raspoloživa za eksploziju, najvažnija je fizikalno-kemijska značajka u svih eksploziva. Osim topline eksplozije, ostale važnije značajke eksploziva su: brzina eksplozije, gustoća i snaga eksploziva, osjetljivost na udar, količina kisika i dr.

Mehanizam izgaranja progresivnih i brizantnih eksploziva je različit. U progresivnim eksplozivima sporo rasprostiranje zbiva se mehanizmom deflagracije, a gotovo trenutno rasprostiranje brizantnih eksploziva mehanizmom detonacije.

Deflagracija je ubrzano izgaranje plamenom (pali eksplozivnu smjesu ispred sebe - podzvučno). Kada se eksploziv na jednom mjestu zapali inicijacijom, stvara se plamena fronta koja napreduje tako da se susjedni slojevi zagrijavaju plamenom i u njih difundiraju aktivne molekule koje daju poticaj reakciji. Brzina rasprostiranja reakcije (napredovanje plamene fronte) jednaka je po redu veličine brzini prijenosa topline vođenjem i prijenosa mase difuzijom, te kao i one ovisi o vanjskim čimbenicima (tlak, temperatura i dr.).

Detonacija nastaje tako da s mjesta inicijacije prolazi udarni val tlaka kroz masu eksplozivne tvari. Čelo tog vala tvori valni brijeg koji putujući nadzvučnom brzinom poput jakog udara djeluje

na sloj ispred vala i time u njemu povisuje temperaturu na više tisuća stupnjeva. U svezi s tim nastaje kemijska reakcija detonacijskog raspada sloja eksploziva, čijim se produktima i razvijenom reakcijskom toplinom tlak povisuje na ekstremne vrijednosti (reda veličine 10^5 bara), te time omogućuje dalje širenje brijega udarnog vala.

Za razliku od deflagracije u kojoj se plinoviti produkti izgaranja kreću u smjeru protivnom smjeru napredovanja plamene fronte, kod detonacije se plinoviti produkti reakcije kreću u istom smjeru kao i detonacijski val, pa tako mogu biti njihovi nositelji.

Razlika između rasprostiranja reakcije kroz eksplozivnu tvar deflagracijom i detonacijom može se usporediti s razlikom između širenja mirisa i širenja zvuka kroz mirni zrak. U oba slučaja širenje koje predstavlja difuziju ili ovisi o njoj neusporedivo je sporije od širenja koje predstavlja val tlaka ili ovisi o njemu. Brzina širenja plamene fronte deflagracije reda je veličine 10^{-4} 10^1 m/s, a širina zone reakcije se mjeri u milimetrima. Brzina širenja detonacije koja jako ovisi o temperaturi i tlaku reda je veličine 10^3 m/s, a širina zone reakcije po pravilu ne prelazi 10^{-4} mm.

Brzina detonacijskog vala (detonacijska brzina) za danu eksplozivnu tvar ne ovisi o vanjskim čimbenicima, ali ovisi o gustoći punjenja, jakosti inicijalnog paljenja eksplozivne tvari i kritičnom promjeru eksplozivnog punjenja. Ako je promjer punjenja veći od te vrijednosti, brzina detonacije ne ovisi o njemu (idealna detonacijska brzina). Razlika između deflagracije i detonacije nije uvjetovana kemizmom reakcije ili njezinim mehanizmom. Ista reakcija eksplozije može se zbivati bilo kao deflagracija bilo kao detonacija, a pod pogodnim uvjetima deflagracija može prijeći naglo u detonaciju, ali i obrnuto (pod nepovoljnim uvjetima).

Toplinski učinci reakcija eksplozije (topline eksplozije) znatno su manji nego, na primjer, topline izgaranja industrijskih goriva (trotil 3980 kJ/kg – antracit 33600 kJ/kg), ali se reakcijom eksplozije energija razvija u tako kratkom vremenskom razmaku (detonacija unutar 10^{-7} ...

10^{-5} s) da je postignuta snaga to veća što je veća brzina reakcije. Razmak vremena unutar kojeg se dogodi detonacija nije identičan s razmakom vremena unutar kojeg eksplozija izazvana detonacijom uzrokuje razoran rad. Brzina detonacije ne može poslužiti kao osnova za izračun učinka eksplozije kao cjeline, ali intenzitet deformacije i drobljenja postignutih eksplozijom u neposrednoj blizini eksploziva (brizantno

djelovanje eksploziva) uglavnom ovisi o koncentraciji energije na čelu detonacijskog vala.

LITERATURA

Ester, Z.: *Miniranje (skripta)*, Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Zagreb, 2001.

Šmer Pavelić, Đ.: *Gorenje i sredstva za gašenje*, Mi Star, Zagreb, 2000.

*Đurđica Pavelić, dipl. ing. kem. tehn.
MUP, Sektor za inspekcijske poslove, Zagreb*