

Vsebina

Eksplozije - splošno
deflagracija
detonacija
prašne eksplozije

Eksplozije

Eksplozijo povzroči **HITRO** sproščanje plina z **VISOKIM TLAKOM** v okolico.

Posledice eksplozije so odvisne od:

- hitrosti sproščanja plinov v okolico
- tlaka zaradi sproščanja plinov
- količine sproščenih plinov
- temperature sproščenih plinov
- okoliščin, ki določajo smer sproščanja plinov
- mehanskih učinkov, ki so posledica sproščanja plinov

Posledice eksplozij

Ko v posodi tlak doseže vrednost trdnosti najšibkejšega elementa, ta popusti, plin se sprosti v okolico.

Posledice so odvisne od načina izpusta plina v okolico.

Če popusti manjši zaporni elementi, ti odletijo v okolico kot izstrelek.

Uhajanje plina v okolico je usmerjeno, hitrost izhajanja je odvisna od odprtine.

Če popustijo stene ali šivi posode so leteči deli večji.

Izpust plina je nenaden in silovit, spremlja ga širok udari val.

Eksplozije

Vzroki za visok tlak plina:

- plin v zaprti posodi se močno segreje
- pri kemijski reakciji nastane v zaprti posodi velika količina plinastih produktov, ki so pri visoki T pri zelo hitrih reakcijah tudi eksplozija na prostem (ni prostorske omejitve)

Glede na vzrok visokega tlaka ločimo:
fizikalne eksplozije
kemijske eksplozije

Fizikalna eksplozija - samo v zaprti posodi, kemijska tudi v neomejenem prostoru.

Kemijske eksplozije

Do kemijske eksplozije pride, če

potečejo hitre, eksotermne reakcije in nastanejo plinasti produkti:

- razpad (C_2H_2 , H_2O_2 , hidrazin N_2H_4 , $Pb(N_3)_2$)
- oksidacija - gorenje

ali pa se zaradi sproščene toplote prisotne snovi pretvorijo v pline, ki imajo pri visoki T visok P .

Eksplozije

Deflagracije

Reakcija oz. plamen se širi s hitrostjo, ki je nižja od hitrosti zvoka (pod 340m/s).

Detonacije

Reakcija oz. plamen se širi z nadzvočno hitrostjo.

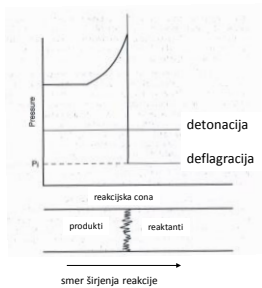
Eksplोजije

Pri **deflagraciji** narašča tlak po zaprtem prostoru enakomerno.

Pri **detonaciji** narašča tlak zelo neenakomerno, dvig tlaka je trenuten.

Deflagracije in detonacije v plinih, tekočinah in trdnih snoveh.

Tlak pri detonaciji in deflagraciji

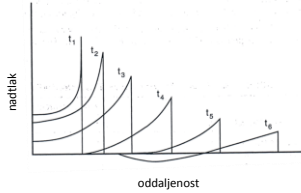


Eksplोजije

Tlak se pri eksploziji izenačuje s hitrostjo zvoka, energija pa se pri deflagraciji sprošča z nižjo hitrostjo in pri detonaciji z nadzvočno hitrostjo.

Pri detonaciji nastane udarni val, ki se širi iz izhodišča. Z oddaljenostjo od vira se zmanjšuje nadtlak in podaljšuje čas trajanja. Visok nadtlak blizu vira traja le nekaj μs - ms, v večji oddaljenosti pa čutimo le še vetrce.

Detonacija in udarni val



Deflagracija - najvišji tlak

Posledica vžiga gorljivega plina v zaprti posodi je lahko deflagracija. Najvišji tlak v posodi lahko ocenimo:

$$\frac{P_m}{P_0} = \frac{n_p T_{ap}}{n_0 T_0}$$

- P_m - najvišji tlak ob zaključku gorenja, če gori stehiometrična zmes
- P_0 - tlak pred vžigom
- T_{ap} - adiabatna temperatura plamena, če gori stehiometrična zmes (1600 - 2400 K)
- T_0 - začetna temperatura vnetljive zmesi
- n_p - množina plinov po gorenju
- n_0 - množina plinov pred gorenjem

Če gori stehiometrična zmes je $n_0 \approx n_p$

$$\frac{P_m}{P_0} \approx 5,3 - 8$$

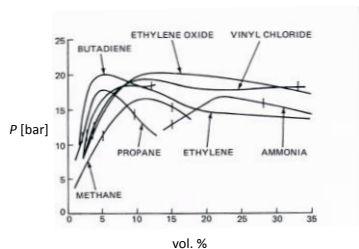
Deflagracija - porast tlaka

Porast tlaka v zaprtem prostoru je sorazmeren masi gorljive snovi:

$$\frac{P - P_0}{P_m - P_0} = \frac{m_g}{m_0}$$

- P_m - najvišji tlak ob zaključku gorenja
- P_0 - tlak pred vžigom
- P - tlak v času t
- m_g - masa goriva, ki zgore v času t
- m_0 - celotna masa goriva v posodi, če je v posodi stehiometrična zmes goriva in zraka

Detonacije - najvišji tlak



Moč eksplozije - merilo

P_m - najvišji tlak ob zaključku gorenja

dP/dt_{max} - hitrost naraščanja tlaka; je obratnosorazmerna prostornini posode.
Namesto dP/dt_{max} se navaja K_G oz za gorljive prahove K_{ST}

$$K_G = \left(\frac{dP}{dt} \right)_{max} \cdot V^{1/3}$$

plin/ pare	P_{max} [bar]	V_g [cm/s]	K_G [bar m/s]
butan	8,0	45	92
etan	7,8	47	106
etin	8,0	80	150
vodik	6,9	312	660
metan	7,05	40	64
pentan	7,65	46	104
propan	7,9	46	96

Prah - splošno

Prah sestavljajo trdni delci, **velikosti nad 1 mikron**.
Delci, ki so porazdeljeni v plinski fazi (npr. v zraku),
tvorijo suspenzije trdnih delcev v plinski fazi - oblak prahu.

Prašna eksplozije - delci manjši od 840 mikronov.

Gorenje prahu

Prah večine goriv lahko v zraku zelo hitro zgori.

Pogoji za gorenje prahu:

gorljiv prah lebdi v zraku ali je razpršen kot oblak v zraku,
 koncentracija prahu je nad SME in pod ZME ,
 vir vžiga z zadostno energijo,
 + omejen prostor - možnost eksplozij.

Gorenje je podobno gorenju vnetljive megle ali kapljic tekočine.

Gorenje prahu

Okrog prašnega delca nastane majhen difuzijski plamen, ki se širi na sosednje delce in potuje po zmesi.

Hitro sproščanje toplote in hitro segrevanje povzroči hitro naraščanje tlaka in hitro ekspanzijo vročih plinov, kar povzroči tlačne valove, ki potujejo pred fronto plamena (eksplozivni učinek).

Lastnosti prahu in njegova eksplozivnost

temperatura vžiga,

min. energije za vžig oblaka,

SME ,

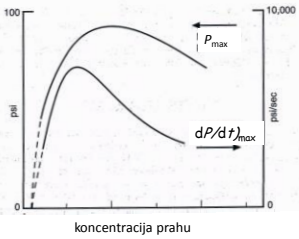
maks. eksplozijski tlak (P_{max})

maks. hitrosti naraščanja tlaka ($(dP/dt)_{max}$)

velikost delcev

vlažnost

Moč prašne eksplozije in koncentracija prahu



Gorenje prahu

SME gorljivega prahu [g/m³]:

- žveplo ≈ 3
- premog ≈ 30
- moka 30 - 60
- škrob ≈ 40
- sladkor 200
- aluminij ≈ 58
- les 30 - 60

Minimalna energija vžiga

	Lower flammability limit (L _f) ^a			$\frac{L}{C_w}$	Upper flammability limit (U _f) ^a			$\frac{U}{C_w}$	S _f ^b (m/s)	Minimum ignition energy ^a (mJ)	Minimum quenching distance ^a (mm)
	% Vol	g/m ³	kJ/m ³		% Vol	g/m ³	g/m ³				
Hydrogen	4.0 ^c	3.6	435	0.13	75	67	2.5	3.2	0.01	0.5	
Carbon monoxide	12.5	157	1901	0.42	74	932	2.5	0.43	—	—	
Methane	5.0	36	1906	0.53	15	126	1.6	0.37	0.26	2.0	
Ethane	3.0	41	1952	0.53	12.4	190	2.2	0.44	0.24	1.8	
Propane	2.1	42	1951	0.52	9.5	210	2.4	0.42	0.25	1.8	
n-Butane	1.8	48	2200	0.58	8.4	240	2.7	0.42	0.26	1.8	
n-Pentane	1.4	46	2090	0.55	7.8	270	3.1	0.42	0.22	1.8	
n-Hexane	1.2	47	2124	0.56	7.4	310	3.4	0.42	0.23	1.8	
n-Heptane	1.05	47	2116	0.56	6.7	320	3.6	0.42	0.24	1.8	
n-Octane	0.95	49	2199	0.58	—	—	—	—	—	—	
n-Nonane	0.85	49	2194	0.58	—	—	—	—	—	—	
n-Decane	0.75	48	2145	0.56	5.6	360	4.2	0.40	—	—	
Ethene	2.7	35	1654	0.41	36	700	5.5	>0.69	0.12	11.2	
Propene	2.4	46	2110	0.54	11	210	2.5	0.48	0.28	—	
Butene-1	1.7	44	1998	0.50	9.7	270	2.9	0.48	—	—	
Acetylene	2.5	29	1410	—	(100)	—	—	1.7	0.02	—	
Methanol	6.7	103	2141	0.55	36	810	2.9	0.52	0.14	1.5	
Ethanol	3.3	70	1948	0.50	19	480	2.9	—	—	—	
n-Propanol	2.2	60	1874	0.49	14	420	3.2	0.38	—	—	
Acetone	2.6	70	2035	0.52	13	390	2.6	0.50	1.1	—	
Methyl ethyl ketone	1.9	62	1974	0.52	10	350	2.7	—	—	—	
Diethyl ketone	1.6	63	2121	0.55	—	—	—	—	—	—	
Benzene	1.3	47	1910	0.48	7.9	300	2.9	0.45	0.22	1.8	

^a Data from Zabotakis (1965). Mass concentration values are approximate and refer to 0°C (L(g/m³) = 0.45 M_wL (vol %)).
^b Data from various sources including Kanury (1975) and Lees (1980). There is uncertainty with some of these data (Lees, 1980; Harris, 1983).
^c See p. 111.

Gorljiv prah in nevarnost eksplozije

prah	maksimalni eksplozijski tlak / bar	maksimalna hitrost naraščanja tlaka / bar s ⁻¹	K_{ST} / bar m s ⁻¹
koruza	7,80	414	
koruzni škrob	7,31	517	202
pšenični škrob	6,89	448	
sladkorni prah	7,51	345	138
lesna moka	7,80	379	
Al	8,75	>1500	415
Mg	8,00	1034	508
Ti	4,28	413	
Al-Mg	5,93	690	

Kategorizacija glede na K_{ST}

K_{ST} [bar m/s]	razred	primeri
< 200	ST-1	premog, PE, PP, PVC, sladkor, sojina moka, S, Zn,
201 - 300	ST-2	koruzni škrob, PMMA,
> 300	ST-3	Al, Mg,

Kategorizacija eksplozivnih prahov

ameriška kategorizacija -
primerjava s premogovim prahom (Pittsburgh)

Eksplozivne prahove razdelimo v kategorije

šibkih
srednjih
močnih in
zelo močnih eksplozivov

Indeks eksplozivnosti - IE

$$IE = OV \times PE$$

OV - občutljivostjo na vžig

PE - moč eksplozije

OV - odvisna od
temperature vžiga,
min. energije za vžig oblaka (E_{\min}) in
min. eksplozivne koncentracije (SME)

PE - odvisna od
maks. eksplozijskega tlaka (P_{\max}) in
maks. hitrosti naraščanja tlaka ($(dP/dt)_{\max}$)

OV - občutljivostjo na vžig, PE - moč eksplozije

$$OV_{pi} = \frac{T_{vžigpp} \cdot E_{\min pp} \cdot SME_{pp}}{T_{vžigpi} \cdot E_{\min pi} \cdot SME_{pi}}$$

$$PE_{pi} = \frac{P_{\max pi} \cdot \left(\frac{dP}{dT}\right)_{\max pi}}{P_{\max pp} \cdot \left(\frac{dP}{dT}\right)_{\max pp}}$$

pi - gorljiv prah
pp - premogov prah

Indeks eksplozivnosti - IE

tip eksplozije	OV	PE	IE
šibka	<0.2	<0.5	<0.1
srednja	0.2 - 1.0	0.5 - 1.0	0.1 - 1.0
močna	1.0 - 5.0	1.0 - 2.0	1.0 - 10
zelo močna	>5.0	>2.0	>10

Vrste gorljivih prahov

kovinski prahovi (Mg, Al, Ti, Zr, kovinski hidridi, Fe, Mn, Zn, cd, Cr, W, Pb)

organski prahovi

sintetični polimeri (PP, PE, PMMA, PVC, PS)

naravne snovi (les, usnje, premog, pluta, šota, S)

hrana (čaj, moka, sladkor, kava, žita, riž, škrob, soja, kakav)

zdravila

Primerjava eksplozij prahov in plinov

reakcijske hitrosti in hitrosti naraščanja tlaka
nižja pri prahovih,

maksimalen tlak
višji pri prahovih

količina sproščene energije
večja pri popolnem izgorevanju prahu

začetek prašnih eksplozij
je počasnejši, trajajo pa dlje kot eksplozije plinov
razvoj je počasnejši, ker poteka gorenje prahu na površini,
difuzija kisika proti površini, je pri prahovih počasnejša.

Dim - definicija

Gross in sodelavci (1967) - dim je plinasti produkt
gorenja organskih goriv, ki vsebuje majhne trdne in
tekoče delce.

Omejitve definicije: organska goriva???

Dim je produkt nepopolnega zgorevanja.

Dim - definicija

Dim je disperzija trdnih in tekočih delcev v nosilnem plinu, ki ga sestavljajo plinasti produkti gorenja in zrak.

Tekoči delci so katranu podobne kapljice, ki jih sestavljajo produkti pirolize, delno oksidirani produkti in voda.

Trdne delce sestavljajo saje in pepel.

V pepelu so večinoma anorganske snovi in malo ogljikovodikov.

Dim - velikost delcev

Primarni sferični trdni in tekoči delci se združujejo v sprimke, ki imajo večinoma premer od 0,6 do 1,1 μm .

Minimalna velikost vidnih delcev v dimu: $D = 0,05 \mu\text{m}$.

Vidljivost najbolj poslabšajo delci, ki imajo $D = 1 \mu\text{m}$

Dim - varnost

V požarih je več kot $\frac{1}{2}$ smrtnih žrtev zaradi dima.

Dim se širi veliko hitreje od plamenov in toplote.

Vpliv dima na varnost v objektu:

- Toksičnost
- Evakuacija - vidljivost

10. predavanje

Nastanek saj

Od količine saj, ki med gorenjem nastanejo, je odvisna vidljivost, ki je obratnosorazmerna z D_m

$$D_m = \alpha \gamma_s$$

D_m	optična masna gostota	[m ² /g]
α	optična gostota delcev aerosola (ni konstantno $\alpha = f(\gamma_s)$)	[m ² /g]
γ_s	1,9 m ² /g – gorenje brez plamena; 3,3 m ² /g gorenje s plamenom)	
	dobitek saj	

Vprašanja

Razložite razlike pri poteku gorenja plinov, tekočin in trdnih snovi (vžig, hitrost uparovanja, hitrost gorenja, učinkovitost zgorevanja..).
Po katerih mehanizmih se trdno gorivo lahko pretvori v gorljive pline?
Razložite potek gorenja sintetičnih polimerov. Katere posebnosti so značilne za gorenje sintetičnih polimerov?
Razložite gorenje lesa.
Razložite samostojno tlenje? Kdaj se pojavi? kateri pogoji morajo biti izpolnjeni? Pod katerimi pogoji tlenje izbruhne v gorenje s plamenom?
Kako se razlikujeta tlenje in žarjenje?
Kako se razlikuje tlenje od gorenja (pogoji – prisotnost kisika, hitrost gorenja, temperatura, ...)

Vprašanja

Kaj je eksplozija, razložite pogoje za nastanek eksplozije.
Primerjajte deflagracijo in detonacijo.
Kako izračunamo najvišji tlak in porast tlaka v zaprti posodi pri deflagraciji?
Naštejte merila za moč eksplozije.
Kateri pogoji morajo biti izpolnjeni za gorenje oz. eksplozijo gorljivega prahu?
Naštejte nekaj gorljivih prahov.
Kako je določen indeks eksplozivnosti?
Primerjajte eksplozije vnetljivih plinov in gorljivih prahov (trajanje, hitrost naraščanja tlaka, maksimalni tlak).
Kakšno nevarnost predstavlja za ljudi v požaru dim?
