

Gorenje in dinamika požarov

16. predavanje

Vsebina

Gorenje trdnih snovi
 Gorenje s plamenom
 sintetični polimeri
 les

Žarjenje
 Tlenje

Gorenje trdnih snovi

Mehanizem gorenja trdne snovi je odvisen od sestave in lastnosti trdne snovi.

Gorenje lahko poteka

- direktno (heterogeno, brez plamena) ali
- s spremembo agregatnega stanja (gori plin, homogeno, s plamenom)

Temperatura vžiga trdnih snovi

	$T_{vžiga}$ [°C]	$T_{s.v}$ [°C]
volna	200	
papir	230	230
borov les	220-230	
bombaž	230-266	254
PMMA	280-300	450-462
PU -trda pena	310	416
PE	341	349
PS	345-360	488-496
PVC	391	454
poliamid	421	424

Gorenje trdne snovi po pretvorbi v plin

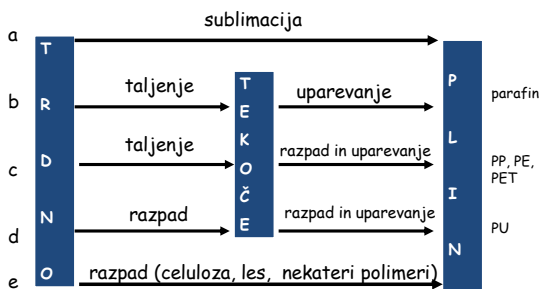
Po pretvorbi trdnega goriva v plin poteka gorenje s plamenom.

Več načinov za pretvorbo

trdno gorivo → plin

Lahko poteče PIROLIZA trdne snovi - termični razpad polimernih molekul pri višji temperaturi.

Nastanek plinov iz trdnega goriva



b - gorenje s taljenjem in uplinjanjem

Snovi z nizkim tališčem se pri segrevanju talijo, nato gorijo kot tekočine, na površini izhlapevajo (se uplinijo), pare pa gorijo v vzgonskem plamenu (vosek, parafin).

Pri taljenju nekaterih trdnih goriv, nastanejo tekočine z višjimi vrelišči, ki izhlapevajo na površini, hkrati pa v tekočini poteka piroliza.

e - gorenje s pirolizo in uplinjanjem

Plinasto gorivo, ki nastaja pri pirolizi trdnega goriva je zmes številnih snovi.

Zmes sestavljajo:

plini ali lahko hlapljive tekočine

enostavne molekule (vodik, ogljikov oksid, etilen),

težko hlapljive tekočine z veliko molekulsko maso,

ki izhlapevajo samo pri visoki temperaturi na površini trdne snovi, iz katere nastajajo.

Hitrost gorenja trdnih snovi

Toplota, ki je potrebna za potek pirolize, prehaja iz plamena tako kot pri gorenju tekočin. Hitrost gorenja je odvisna tudi od hitrosti uplinjanja.

Hitrost gorenja:

$$\dot{m} = \frac{\dot{Q}_p - \dot{Q}_z}{U_s}$$

U_s - hitrost uplinjanja

Gorenje trdne snovi

Toplota uplinjanja (U_g) je večja od izparilne toplote tekočin (U).

U_g vključuje
talilno in izparilno toploto ali
toploto za endotermni razpad (pirolizo) ali
toploto za (pirolizo) in talilno in izparilno toploto

Hitrost gorenja trdne snovi je zato ob enakih pogojih manjša od hitrosti gorenja tekočin.

Gorenje trdne snovi

Toplotne izgube (Q_{iz}) so lahko tako velike, da toplotni tok iz plamena na površino goriva (Q_{pi}) ne zadostuje za pokrivanje izgub in za uplinjanje (U_g).

Uplinjanje se zmanjša in plamen ugasne.

Hitrost gorenja trdnih snovi

\dot{Q} odvisno od razmerja $\Delta H/U_g$

trdno gorivo	$\Delta H/U_g$
hrastov les	3,0
trda PU pena	5,1 - 8,4
mehka PU pena	6 - 20
PVC	6,7
PMMA	15,5
PS	20 - 30
tekoče gorivo	$\Delta H/U$
metanol (l)	16,5
stiren (l)	63,3
heptan (l)	92,8

Temperatura površine

Površina goreče tekočine se lahko segreje le do temperature vrelišča,

površina trdne snovi se lahko segreje do višje temperature, med segrevanjem trdne snovi poteka piroliza.

Temperatura površine goreče trdne snovi je navadno nad 350°C , zato so tudi izgube toplote s površine (Q_{iz}) večje.

Temperatura površine



Površina goreče tekočine je vedno orientirana horizontalno, pri trdni snovi pa je več možnosti.

npr. navpična površina trdne snovi

Vroči plini tečejo ob površini navzgor in segrevanju površine s sevanjem toplote se pridruži še segrevanje s konvekcijo.

Gorenje sintetičnih polimerov

Sintetični polimeri - sestavljeni iz monomerov, ker je struktura enakomerna, je tudi gorenje enakomerno.

Posebnosti pri gorenju

- nekateri polimeri pri segrevanju pooglenijo (npr. PVC), (sloj oglja na površini je toplotni izolator)
- nekateri polimeri se med gorenjem talijo, gorijo monomeri (polistiren, PMMA, polioksimetilen)

Gorenje sintetičnih polimerov

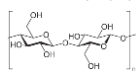
Hitrost (preskus 0,31 x 0,31 m) in učinkovitost gorenja.

snov	\dot{m}'' [g/m ² s]	χ
polistiren	14,1 ± 0,8	0,61
polipropilen	8,4 ± 0,6	0,75
PMMA	10,0 ± 0,78	0,87
poliuretanska pena	8,2 ± 1,8	
polioksimetilen	6,4 ± 0,5	0,76

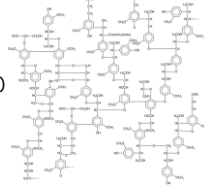
Gorenje lesa

Les je nehomogen material, sestavljen iz naravnih polimerov:

celuloze (C₆H₁₀O₅)_n (40 - 45%)



lignina
(20 - 35%)
(C_{2,6}H₃O)_n



amorfne hemiceluloze (20 - 40%)

smol, mineralnih snovi (≈ 1%) in vlage.

Les vsebuje

≈ 50% ogljika, 43% kisika, 6% vodika, 1% dušika in mineralnih snovi.

Gorenje lesa

Termična obstojnost polimerov v lesu je različna.

Hlapni produkti pirolize nastanejo pri temperaturah

hemiceluloza 200 do 260°C

celuloza 240 do 350°C

lignin 280 do 500°C

Piroliza je ENDOTERMNA reakcija, poteka brez O₂.

Gorenje lesa

Produkti pirolize so:

gorljivi plini (vodik, ogljikov oksid, metan, etilen...) in
gorljive pare (metanol, ocetna kislina, aceton, smole)
inertni plini (ogljikov dioksid, dušik...)
trdni ostanek (ogljik in pepel).

Gorenje lesa

Mnoge lastnosti lesa se spreminjajo s smerjo -
vzdolžno ali prečno na vlakna (npr. natezna trdnost).

Toplotna prevodnost lesa je vzporedno z vlakni 2x
večja kot pravokotno na vlakna.

Razlika v prepustnosti plinov \cong 1000 x.

Pare, ki nastajajo pod površino, veliko lažje stečejo vzdolžno
kot pravokotno na površino.

Dokaz - curek par in plamen na koncu gorečega lesa ali ob grči.

Gorenje lesa

Les se obarva in začne ogleneti pri temperaturi od
200 do 250°C. Tako učinkuje tudi dolgotrajno
segrevanje lesa na temperaturo nad 120°C.

Fizikalna struktura lesa se začne hitro spreminjati pri
temperaturi nad 300°C.

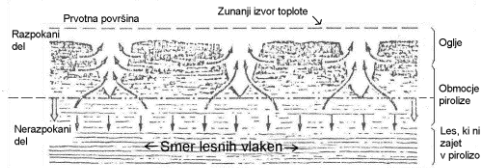
Vžig lesa glede na vrsto lesa

V 40 min. ne pride do vžiga lesa, če je pri temperaturi

157°C borov, hrastov, macesnov les
 180°C smrekov les

$T [^{\circ}C]$ čas do vžiga lesa s plamenom v min.
 180 14 (bor) - 31 (macesen)
 225 7 - 17
 300 1,6 - 3,5
 400 0,3 - 0,5

Gorenje lesa



Gorenje brez plamena

Direktno gorenje trdnih snovi - žarjenje

Trdne snovi,
ki med segrevanjem **NE** izhlapevajo oz. razpadejo
pri določeni T poteče oksidacija
opazimo žarjenje

kovine - Fe, Al, Ti

nekovine - ogljik



Gorenje z žarenjem

Gorenje z žarenjem lahko poteka, če izguba toplote v okolico ni večja od nastale toplote pri gorenju. Če so izgube toplote prevelike, gorenje preneha in gorivo se ohladi.

Gorenje z žarenjem

Gorenje z žarenjem lahko poteka pri zelo nizki koncentraciji kisika (samo nekaj %).

Če do žareče površine dovajamo svež zrak, je oksidacija intenzivnejša, sproščanje toplote hitrejše in temperatura žareče površine višja.

Tlenje

je površinska oksidacija ogljika.

Tlenje = gorenje brez plamena.

To je eksotermen proces;

sproščena toplota omogoča termični razpad bližnjih plasti gorljivega materiala; tako nastajajo vedno nove plasti ogljika.

Tlenje je počasen proces (~1 mm/min), ki poteka pri nižji temperaturi kot gorenje s plamenom.

Tlenje

Tlenje se lahko začne

ko je plamen pogašen

ali zaradi

delovanja goreče cigarete
samostojnega segrevanja snovi (eksotermne reakcije)
stika s tlečim materialom
nesimetričnega segrevanja (prah na vroči površini...)
vroče točke v gmoti materiala (posledica električne okvare)

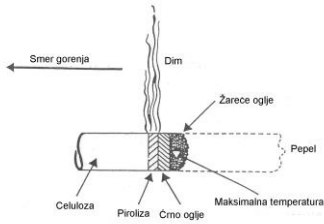
Samostojno tlenje

Pogoji za pojav tlenja:

- hitrost nastajanja gorljivih hlapov in T prenizki za gorenje s plamenom
- porozna snov, ki pri pirolizi tvori oglje.

Primeri: celuloza, papir, žaganje, lesna moka, iverne plošče, pene iz lateksa in plastičnih snovi (PU).

Samostojno tlenje



Samostojno tlenje

Tri območja:

- območje pirolize
zaradi segrevanja snovi se začne piroliza, produkti pirolize pa odtekajo nezgoreli.
- območje pooglenitve, temperatura narašča, oglje zažari. eksotermna oksidacija oglja; piroliza ne poteka.
- območje poroznih ostankov oglja in/ali pepela, ne žari več in se ohlaja.

Samostojno tlenje

Pooglenitev večine organskih snovi pri temperaturi 280 do 300°C.

V pooglenelem območju, kjer poteka gorenje oglja (brez plamena - površinska oksidacija), so temperature najvišje.

Temperatura tlenja celuloznih snovi v mirnem zraku je 600 do 700°C.

Toplota se prevaja v "svežo" celulozo, začne se piroliza.

Prehod iz tlenja v gorenje s plamenom

Gorenje s plamenom na površini trdne snovi je možno le, če nastane dovolj gorljivih hlapnih produktov pirolize.

Več O_2 - višja T_{max} - več produktov pirolize
