

KIETŪJŲ MEDŽIAGŲ MASINIO IR LINIJINIO IŠDEGIMO GREIČIŲ NUSTATYMAS

Darbo tikslas

Nustatyti masinį ir linijinį medienos išdegimo greičius.

Teorinė dalis

Kilus gaisrui dažniausiai dega kietosios medžiagos, nes jos plačiausiai naudojamos buityje. Kietųjų medžiagų cheminė sudėtis yra įvairi. Daugelis kietųjų medžiagų priskiriamos organinių junginių klasei.

Kietųjų medžiagų degimas panašus į skysčių degimą tik su joms būdingais degimo ypatumais. Tai homogeninis – difuzinis degiosios medžiagos pavertimas degimo produktais, kurie intensyviai išskiria šilumą ir šviesą. Kietųjų medžiagų degimo ypatumai priklauso nuo agregatinio medžiagos būvio ir struktūros skirtumų. Kaitinami skysčiai garuoja, o kietosios medžiagos kinta skirtingai. Vienos kietosios medžiagos kaitinamos lydosi. Lydymosi metu kai kurios medžiagos neskykla (parafinas, stearinas ir kt.), o kitos – suskykla (natūralus ar dirbtinis kaučiukas ir kt.). Kitos kietosios medžiagos pereina į dujinę būseną aplenkdamos skystą būseną. Vykstant šiam procesui gali susidaryti nelakios liekanos (medienos, durpių ir kt. medžiagų degimas) ir arba nesusidaryti (urotropino, naftaleno ir kt. medžiagų degimas). Todėl kietosioms medžiagoms degant, šilumos srautas, kuris patenka iš liepsnos zonos, sunaudojamas jų lydymui ir skilimui. Kietųjų medžiagų šilumokaita ir masių kaita tarp liepsnos zonos ir kietosios fazės išreiškiama lygtimi:

$$q_0 = m [c (T_{lyd} - T_0) + Q_{lyd} + c' (T_{vir} - T_{lyd}) + Q_g + Q_{sk} + Q_{kl}], \quad (7.1)$$

čia q_0 – šilumos srauto, kuris patenka nuo liepsnos fakelo į kietosios medžiagos paviršių, intensyvumas, kW/m²;

m – masinis išdegimo greitis, g/(m² s);

c, c' – atitinkamai kietos fazės ir lydalo šiluminės talpos, kJ/(kg K);

Q_{lyd}, Q_g, Q_{sk} – atitinkamai lydymosi, garavimo ir skilimo šilumos, kJ/kg;

Q_{kl} – šiluma, kuri reikalinga kietos liekanos įkaitinimui, kJ/kg;

T_{vir}, T_{lyd} – atitinkamai medžiagos virimo ir lydymosi temperatūros, K;

T_0 – pradinė medžiagos temperatūra, K.

Kietosios medžiagos, priklausomai nuo jų struktūros ir kitimo jas kaitinant, gali degti homogeniniu-heterogeniniu režimu ir tik heterogeniniu.

Terminis kietųjų medžiagų skilimas turi didelę įtaką degimo proceso parametrams. Daugelis tyrimų rodo, kad kietųjų medžiagų terminio skilimo dėsningumai priklauso ne tik nuo degiosios medžiagos rūšies, bet ir nuo pirolizės temperatūros, nuo jos pasikeitimo greičio, nuo pirolizuojamo pavyzdžio matmenų, formos ir kt.

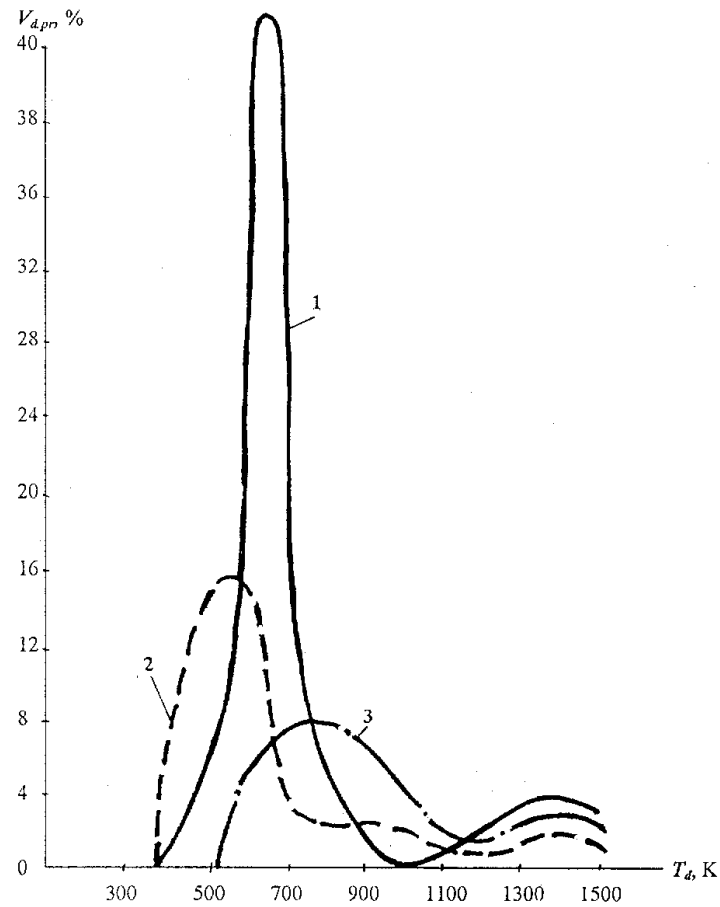
7.1 pav. pateikta kai kurių kietųjų medžiagų pirolizės metu išsiskyrusių lakiųjų produktų išeigos priklausomybė nuo temperatūros.

Iš 7.1 pav. matyti, kad medienos, durpių ir akmens anglies pirolizė vyksta analogiškai, tik didžiausias išsiskyrusių lakiųjų produktų kiekis bus esant skirtingoms temperatūroms. Akmens anglį sudaro termiškai atsparesni komponentai negu medieną, todėl jų skilimas vyksta ne taip intensyviai ir esant aukštesnėms temperatūroms.

Pirolizės procesas daugiausia priklauso nuo to, ar pavyzdys liečiasi su skilimo produktais, ar jie pasišalina iš reakcijos zonos.

Išnagrinėsime medienos degimo procesą, kuris susideda iš keleto stadijų:

- 1 – drėgnos medienos džiovinimas;
- 2 – sausos medienos įkaitinimas;
- 3 – dujųfikacija;
- 4 – anglies liekanų įkaitinimas.



7.1 pav. Pirolizės metu išsiskyrusių lakiųjų produktų išeigos priklausomybė nuo temperatūros

1 – mediena; 2 – durpės; 3 – akmens anglis

Džiovinimo procese iš medienos porų yra pašalinama drėgmė. Šis procesas vyksta 120-150 °C temperatūroje. Viršutiniams medienos

sluoksniams įkaitus iki 130-150 °C temperatūros, prasideda lėtas jos skilimas. Išsiskiria lakieji produktai, kurių sudėtyje yra nedegūs komponentai (CO_2 ir H_2O). Pasiekus 180-250 °C temperatūrą, medienos cheminiai ryšiai suyra. Susidaro paprastesni cheminiai komponentai: rūgštys, dervos, alkoholiai. Tuo pačiu metu vyksta ir napatvarių tarpinių kompleksų susidarymas. Esant šiai

temperatūrai, prasideda lakiųjų produktų išsiskyrimas (pirolizė), kurių sudėtyje daugiausia yra nedegiosios dujos ir garai.

Medienos pirolizės metu išsiskyrusių dujų kiekio ir sudėties priklausomybė nuo temperatūros pateikta 7.1 lentelėje.

7.1 lentelė. Medienos pirolizės metu išsiskyrusių dujų kiekio ir sudėties priklausomybė nuo temperatūros

Galutinė temperatūra, °C	Medienos dujų tūris, m ³ /100 kg	Dujų sudėtis, tūrio %				
		CO ₂	CO	CH ₄	C ₂ H ₅	H ₂
200	0,4	75,00	25,00	-	-	-
300	5,6	56,07	40,17	3,76	-	-
400	9,5	49,36	34,00	14,31	0,86	1,47
500	12,8	43,20	29,37	21,72	3,68	2,34
600	14,3	40,98	27,20	23,42	5,74	2,66
700	16,0	38,56	25,19	24,94	8,5	2,81

260-300 °C temperatūroje lakiųjų ir degių medžiagų išeiga yra pakankama, kad susidarytų dujų ir oro mišinys, kuris nuo uždegimo šaltinio galėtų užsiliepsnoti ir degti. Medienos užsiliepsnojimo temperatūra priklauso nuo jos susmulkinimo ir rūšies. Pagrindinė medienos (pušies) užsiliepsnojimo temperatūra yra 255 °C, o pušies pjuvenų-230 °C.

7.2 lentelėje pateiktos artimos temperatūrų reikšmės, kurios būdingos degant medienai.

7.2 lentelė. Artimos temperatūrų reikšmės, kurios būdingos degant medienai

Būdinga temperatūra	Skaitmeninė temperatūros reikšmė, °C
Pirolizės pradžios temperatūra	220
Pliūpsnio temperatūra	250 ÷ 280
Didžiausia pirolizės greičio temperatūra	330 ÷ 360
Amorfizacijos temperatūra	380
Anglėjimo temperatūra	500 ÷ 600

Paviršiaus temperatūra	650 ÷ 700
Degimo temperatūra	1150 ÷ 1200

Kietųjų medžiagų degimą apibūdina pagrindiniai parametrai: masinis ir linijinis išdegimo greičiai, liepsnos plitimo greitis. Šie parametrai leidžia spręsti apie degimo vyksmą nurodytomis sąlygomis, taip pat jie naudojami medžiagų gaisro pavojingumui įvertinti. Tačiau gauti išdegimo greičiai vienai ir tai pačiai medžiagai gali skirtis, nes jų reikšmės priklauso nuo išorinių degimo sąlygų.

Masinis išdegimo greitis yra dydis, kuris parodo, kokia degiosios medžiagos masė išdegė nuo paviršiaus vieneto per laiko vienetą.

Linijinis išdegimo greitis nusako medžiagos sluoksnio išdegimo gylį per laiko vienetą. Tai ypač svarbus parametras, nustatant konstrukcijų atsparumą ugniai.

Kai kurių kietųjų medžiagų masiniai išdegimo greičiai pateikti 7.3 lentelėje.

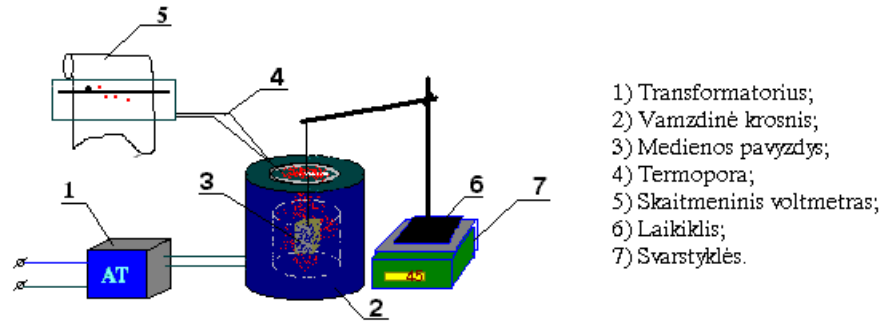
7.3 lentelė. Kai kurių kietųjų medžiagų masiniai išdegimo greičiai

Medžiaga	Masinis išdegimo greitis, kg/(m ² min)
Popierius	0,48
Mediena (pastatų konstrukcijos, baldai)	0,84
Gumos gaminiai	0,67
Tekstolitas	0,4
Medvilnė	0,24

Masinis išdegimo greitis nėra degiosios medžiagos konstanta ir gaisro sąlygomis gali keistis. Linijinis ir masinis išdegimo greičiai priklauso nuo tų pačių veiksnių, kaip ir liepsnos plitimo kietųjų medžiagų paviršiumi greitis (medžiagos prigimtis, drėgmė, jos storis, temperatūra ir kt.). Šių veiksnių įtaka kietųjų medžiagų degimui apžvelgta 6 laboratorinio darbo teorinėje dalyje.

Darbo eiga

Eksperimentas atliekamas naudojant įrangą, kurios schema pateikta 7.2 pav.



7.2 pav. Masinio ir linijinio išdegimo greičio nustatymo įranga:

1 – transformatorius; 2 – vamzdinė kaitinimo krosnis; 3 – medienos pavyzdys;
4 – termopora; 5 – skaitmeninis voltmetras; 6 – stovas; 7 – elektroninės svarstyklės

1 užduotis. Apskaičiuokite medienos pavyzdžio paviršiaus plotą.

2 užduotis. Medienos pavyzdį pasverkite.

3 užduotis. Eksperimentą atlikite naudodami įrangą, kurios schema pateikta 7.2 pav.

Darbo atlikimo tvarka

Medienos pavyzdį pakabinti ant stovo. Stovą pastatyti ant svarstyklių lėkštės taip, kad medienos pavyzdys laisvai patektų į krosnį.

Įjungti mufelinę krosnį. Įkaitinti iki 200 °C temperatūros. Pradėti fiksuoti masės pokytį 30 sekundžių intervalu. Medienos pavyzdžio masei sumažėjus

apie 75%, pavyzdį iš krosnies ištraukti, užgesinti vandeniu. Pasverti. Nuvalyti prie vinies anglį, išmatuoti išdegimo gylį.

Bandymą pakartoti esant kitoms dviem krosnies temperatūroms.

Bandymų duomenis užrašyti į 7.4 lentelę.

žymys

T_0 – krosnies temperatūra, K;

T_1 – temperatūra, K;

P_0 – Pa;

W – lininė oro drėgmė, %.

Lentelė

I bandymas		II bandymas	
Laikas τ , s	Masės pokytis, Δm , kg	Laikas τ , s	Masės pokytis, Δm , kg

4 užduotis. Apskaičiuoti vidutinį medienos išdegimo greitį u_m per $(\tau_i - \tau_0)$ laiko tarpą pagal formulę:

$$u_n = \frac{\Delta m}{S(\tau_i - \tau_0)} \left[e^{-k\tau_0} - e^{-k\tau_i} \right], \quad (7.2)$$

čia u_m – masinis išdegimo greitis, kg/(m²·s);

S – pavyzdžio paviršiaus plotas, m²;

Δm – masės pokytis, nutraukus degimą, kg;

k – degimo reakcijos greičio konstanta, kurios vidutinė reikšmė apskaičiuojama pagal formulę:

$$k = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n 2,303 \cdot \lg \left(\frac{\Delta m}{\Delta m - \Delta m_i} \right) \cdot \frac{1}{\tau_i}, \quad (7.3)$$

čia n – masės pokyčio degimo metu fiksavimo taškų skaičius;
 Δm_i – masės pokytis nuo degimo pradžios iki laiko momento τ_i .

5 užduotis. Apskaičiuokite linijinį išdegimo greitį.

Linijinis išdegimo greitis apskaičiuojamas pagal formulę:

$$u_l = \frac{h}{\tau - \tau_o}, \quad (7.4)$$

čia u_l – linijinis išdegimo greitis, m/s;
 h – pavyzdžio išdegimo gylis, m.
 τ – išdegimo laikas, s.

6 užduotis. Nubraižykite pavyzdžio masės pokyčio Δm (kg) priklausomybę nuo išdegimo laiko τ (s). Abscisių ašyje pažymėkite laiką τ , o ordinačių – $\lg \Delta m$.

7 užduotis. Nubraižykite masinio išdegimo greičio priklausomybę nuo temperatūros.

Skaičiavimo pavyzdys

Medienos pavyzdys:

- matmenys-(4x4x10)·10⁻²m;
- svoris-60,21·10⁻³kg.

Krosnies temperatūra-573 K; oro temperatūra-291 K; slėgis-1,006·10⁻⁵ Pa; santykinė oro drėgmė-87%.

Bandymų rezultatai pateikti 7.5 lentelėje.

7.5 lentelė

Laikas τ , s	Masės pokytis Δm , g
74	5
127	10
180	15
253	20
331	25
443	30

Medienos pavyzdžio masės pokytis nutraukus degimą yra $\Delta m = 30$ g. Vidutinė reakcijos greičio konstantos reikšmė apskaičiuojama pagal (7.3) formulę:

$$k = \frac{2,305}{5} \left[\frac{1}{74} \cdot \lg \frac{30}{30-5} + \frac{1}{127} \cdot \lg \frac{30}{30-10} + \frac{1}{180} \cdot \lg \frac{30}{30-15} + \frac{1}{253} \cdot \lg \frac{30}{30-20} + \frac{1}{331} \cdot \lg \frac{30}{30-25} \right] = 3,86 \cdot 10^{-3} 1/s.$$

Vidutinis masinis išdegimo greitis apskaičiuojamas pagal (7.2) formulę:

$$u_n = \frac{30 \cdot 10^{-3}}{192 \cdot 10^{-4} (443 - 0)} \cdot \left(e^{-3,86 \cdot 10^{-3} \cdot 0} - e^{-3,86 \cdot 10^{-3} \cdot 443} \right) = 2,89 \cdot 10^{-3} \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}).$$

Savikontrolės klausimai

1. Kokie kietųjų medžiagų degimo ypatumai?
2. Kokie procesai vyksta iki kietųjų medžiagų užsiliepsnojimo?
3. Kaip vyksta medienos terminis skilimas? Nuo ko priklauso pirolizės greitis? Kokios degiosios dujos susidaro skylant medienai?

4. Paaiškinkite, kodėl medienos degimą galima priskirti heterogeniniam degimui?
5. Ką vadiname masiniu išdegimo greičiu?
6. Ką vadiname linijiniu išdegimo greičiu?
7. Kokie veiksniai turi įtakos masiniam išdegimo greičiui?
8. Kokie veiksniai turi įtakos linijiniam išdegimo greičiui?