
Mazuto lašelio anglies išdegimas ant karšto paviršiaus

Regina Kalpokaitė-Dičkuvienė

Lietuvos energetikos institutas,
Medžiagų tyrimų ir bandymų
laboratorija,
Breslaujos g. 3, LT-3035 Kaunas

Anupras Šlančiauskas

Lietuvos energetikos institutas,
Degimo procesų laboratorija,
Breslaujos g. 3, LT-3035 Kaunas

Mazuto lašelis, patekęs ant karšto keraminio paviršiaus, gali greičiau išgaruoti ir sudegti negu skriedamas kartu su karštomis kūryklos dujomis. Išmatuotas lašelio sudegimo laikas ant aliuminio oksido keramikos 400–800°C temperatūrų intervale, esant oro pūtimui ir be jo, esant platinos katalizatoriui ir be jo. Pagrindiniai rezultatai susieti su galutine lašelio išdegimo faze, kai dega likusioji anglis, surastos dvi išdegimo stadijos. Pirmiausiai išdega prilipusio lašelio centre susiformavęs anglies karkasas, kurio išdegimą galima teoretiškai suskaidyti pagal esamas empirines formules, tarus, kad skersmuo mažai keičiasi. Likusio žiedo pavidalo anglies skritulio išdegimą lemia deguonies difuzija link sienelės, kuri yra ribota ir išdegimas lėtas.

Raktažodžiai: mazutas, anglies degimas, difuzija, keraminis paviršius

1. ĮVADAS

Išpurkštas mazuto lašelis, patekęs į kūryklą, patiria keletą savo būklės stadijų: įkaitimą ir paviršiaus garavimą, virimą ir lakiųjų medžiagų intensyvų degimą, lėtą smalos skaidymąsi, anglies degimą. Visos degimo sudėtinės dalys aprašomos standartiniais dėsniniais, paremtais lašo materialinio ir šilumos kiekio balansu, kurie seka vienas po kito. Apibendrintas aprašymas išsamiai pateiktas knygoje [1] ir FLU-ENT programoje [2].

Sprendžiant bendresnius mazuto deginimo uždavinius aptinkami atvejai, kai lašelis atsitrenkia į sieną. Iki 800°C temperatūros lašelis, pasiekęs sienelės paviršių, sudrėkina ir išsilieja ant jo. Kylant temperatūrai lašelis pakimba virš verdančios plėvelės, kuri susidaro po juo. Lašelio degimo pradinės būklės artimos minėtoms anksčiau, tik šiuo atveju reikia įvertinti sienelės šilumą, kuri dalyvauja mainuose. Pagrindinis dėsninimų skirtumas yra savita sienelės pasienio sluoksnio įtaka anglies darinio ir smalų heterogeninei degimo reakcijai. Degant kurui lengvieji angliavandeniliai išgaruoja ir sudega 300–500°C temperatūroje, po to likusi smala skaidosi į sunkesnius angliavandenilius, kurių išsiskyrimas, pasiekus 800°C, nusistovi ir palaiapsniui ima mažėti. Nuodugniau susipažinti su anglies degimu nuo anglies masės paviršiaus galima pagal tyrimus, kurių apibendrinimas pateiktas darbe [3].

Realiai yra dvi skirtingos lašo degimo rūšys. Pirmą, kai kuro dalelės išgarinamos ir suodžiai dega vienu metu. Tai pasireiškia esant žemesnėms temperatūroms ir mažesniems lašeliams, tuomet aplink da-

lelę yra didesnės deguonies koncentracijos. Antra – šie procesai plėtojasi vienas po kito [6]. Kylant temperatūrai pirma vyksta homogeninis lakiųjų dalių degimas tam tikru atstumu nuo anglies dalelės. Jis stabdo tiesioginį deguonies patekimą prie jos, ir anglis nedega. Išsiskyrę ir degantys angliavandeniliai įkaitina paviršių su smalos ir anglies plėvele, kurioje vyksta pirolizė – skaidymasis be deguonies, dujofikacija. Pastarieji procesai sugeria šilumą ir yra aprašomi žinomomis pirolizės proceso prielaidomis bei produktų išeiga. Darbe [3] pažymima, kad su lakiosiomis dalimis išdega iki 30% kure esančios anglies.

Kiekviena degimo reakcija (lakiųjų angliavandenilių ar anglies paviršiuje vykstantis degimas) visų pirmiausia įvertinama kinetiniu reakcijos modeliu, Arrheniaus dėsnio atitikmeniu

$$r = k_{0,N} \cdot \exp\left(-\frac{E}{R \cdot T_w}\right), \quad (1)$$

$$k_{0,N} = k_0 \cdot N \cdot f(C_{O_2}, C_{CO_2}, \dots). \quad (2)$$

Dydis k yra reakcijos dažnio rodiklis, o E – aktyvacijos energija. Lygtis (2) parodo papildomus efektus nuo reakcijos židinių skaičiaus N ir jų aktyvumo paviršiuje. Gradientai papildomai veikia reagentų koncentracijų kaitą. Darbe [3] pabrėžiama, kad esant anglies paviršiaus temperatūrai žemiau kaip 900°C anglies sudegimą sąlygoja oksidacijos reakcijų kinetika. Čia neturi įtakos srauto greitis, o priklausomybė nuo temperatūros augimo yra staigi.

Kai reakcijos kinetika yra sparti, produktų išeiga ima riboti deguonies difuzijos galimybės. Tai ypač

svarbu heterogeninėse reakcijose nuo paviršiaus. Darbe [4] pateikiama, kaip nustatyti dalelės sudegimui ateinantį deguonies kiekį naudojant šilumos ir masės mainų analogiją. Kadangi šiame darbe naudojama FUENT programa, tai, analizuodami savo matavimų rezultatus, deguonies difuziją skaičiuosime pagal programos siūlomas formules.

Nors pagrindiniai dėsningumai yra aiškūs, bet mazuto lašelio išdegimo ant sienelės apskaičiuoti negalima, nes šiam atvejui nėra konkrečių formulų. Pastarosios surandamos turint tiesioginio išdegimo matavimus.

2. MATAVIMŲ METODIKA

Mazuto lašo degimo procesui tirti buvo sumontuotas standas (1 pav.). Elektrodais tekanti elektros srovė kaitino silicio oksido plokštelę, ant kurios buvo dedamas iš aliuminio oksido pagamintas tiglis arba plonas kvarco stiklo lapelis. Vidinis tiglio skersmuo lygus 13 mm. Mazutas buvo lašinamas pro 0,6 mm skersmens adatą. Nusistovėjus mazuto iš adatos ištekėjimui, krenta vienodo dydžio lašai. Vienas iš jų ir buvo nukreipiamas ant įkaitinto keraminio paviršiaus. Viso eksperimento metu palaikyta pastovi mazuto temperatūra – vidutiniškai 76°C. Kaitinamo paviršiaus temperatūrai nustatyti naudota chromelio-aliumelio lydinio termopora, prijungta prie skaitmeninio voltmetro V7-40. Degimo proceso degimo pradžios ir pabaigos laikas fiksuotas chronometru. Priverstinės konvekcijos bandymui buitiniu ventiliatoriumi imituotas aptekantis oro srautas, kurio greitis buvo išmatuotas „Testo“ termoanemometru. Degimo procesas buvo filmuojamas vaizdo kamera CCD, kurios fotoelemento matrica yra 632 x 512 dydžio. Analizė atlikta naudojant vaizdo magnetofono „Sony“ SLV-X712 sulėtintą režimą (25 fragmentai per sekundę). Eksperimentų metu matuota: kaitinamo paviršiaus temperatūra, mazuto temperatūra, mazuto garavimo ir visiško sudegimo laikai, srauto greitis virš kaitinamo paviršiaus. Tyrimai atlikti tokia tvarka: 1) matuojama, per kurį laiką visiškai sudega ma-

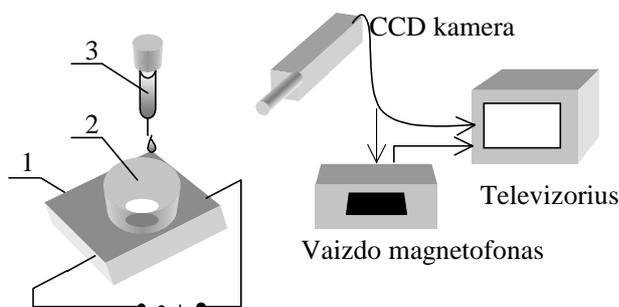
zuto lašas pasirinktame temperatūrų intervale; 2) tas pats bandymas atliekamas esant priverstiniam oro srauto greičiui, lygiam 1,4 m/s; 3) pirmieji du bandymai pakartojami su paviršiumi, padengtu platinos sluoksniu; 4) pasirinktame temperatūrų intervale buvo matuojamas mazuto išgarinimo, o po to anglies visiško sudegimo laikas bei tų bandinių masės.

Kiekviename taške buvo atliekami ne mažiau kaip šeši temperatūros, mazuto visiško sudegimo laiko, anglies masės, lakiųjų dalių išgaravimo ir anglies išdegimo laiko matavimai. Apaskaičiuotos vidutinės reikšmės buvo naudojamos išdegimo laiko priklausomybei nuo temperatūros ir mazuto masės išdegimo priklausomybei nuo laiko sudaryti. Mazuto lašo masę nustatėme svėrimo būdu. Vienodo dydžio lašus, užlašintus ant žinomo svorio popieriaus lapelių, pasvėrėme VLAO – 100 g – 1 svarstyklėmis. Atlikę 20 matavimų, apskaičiavome vidutinę mazuto lašo masę, pvz., kuri buvo lygi 3,42 mg. Kadangi svarbiausias matavimo tikslas buvo surasti anglies darinio ant paviršiaus išdegimą, buvo atliekamas tarpinis masės svėrimas. Tam tikslui buvo pradėtas naudoti kvarco stiklo lapelis vietoje tigelio. Išgaravus lakiosioms dalims, bandinys su likusia nesudegusia anglimi buvo staiga ataušinamas ir pasveriamas.

Viso lašelio surastas sudegimo laikas, lašeliui nukritus ant skirtingų temperatūrų paviršiaus, buvo naudojamas kaip ribinė viso proceso sąlyga. Šiuo atveju lašelio masė buvo nustatoma su 5% paklaida, o sudegimo laikas su 2% paklaida. Naudojant tarpinį anglies darinio svėrimą, laiko matavimo paklaida buvo iki 3%, o masės pasvėrimo – iki 30%. Tokia didoka paklaida buvo lauktina ir nesumenkino mokslinio rezultato, nes, matavimus palyginus su teoriniais skaičiavimais, sprendimai buvo daromi su paklaida.

3. TYRIMO REZULTATAI IR JŲ APTARIMAS

Nagrinėjamas mazuto lašelio, nukritusio ant sienelės, degimas, kai lašelis dar spėja sudrėkinti paviršių ir išsiskleisti ant jo. Tai vyksta, kai paviršiaus temperatūra – 800°C. Lašelio gyvavimo pabaiga gali būti skirtinga. Esant žemoms temperatūroms lašas pasklinda dviejų skersmenų plote ir verda storame sluoksnyje. Iš anglies darinio susidaro erdvinis per visą plotą karkasas. Kylant temperatūrai garavimo procesas spartėja. Kadangi paviršiaus plėvelės jėgos traukia skystį į rutuliuką, todėl tik centre iš yrančios smalos ir besikoksuojančios anglies susiformuoja karkasas, o šonuose lieka plona plėvelė. Vaizdžiai kalbant formuojasi savotiška „skrybėlė“. Įdomiausia, kad, toliau oksiduojantis, karkasas centre išdega pirmiausia, o skritulio pavidalo žiedas dega labai lėtai, laikų skirtumas 1:20 (2 pav.). Kadangi karkasas turi erdvinę struktūrą, deguonies ir CO₂ difuzija dides-



1 pav. Eksperimentinis standas. 1 – SiC plokštelė, 2 – keraminis bandinukas, 3 – adata su mazutu

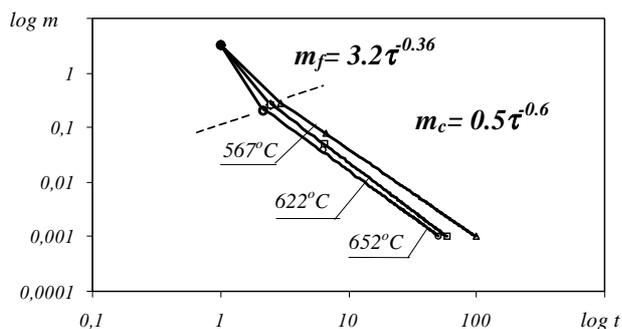
nė, toje vietoje pakyla temperatūra. Pakraščiuose koksas, glaudžiai prilipęs prie sienelės, vangiai deguonies pasiekiamas, jo temperatūra artima sienelės temperatūrai. Tokia lašelio išdegimo pabaiga privalo būti teoriškai įvertinta konkrečiais mainų koeficientais. Siūlome karkaso išdegimą sutapatinti su ore sklindančios dalelės išdegimu, kai ji esti karkaso būklėje, ir modeliuoti esant pastoviam skersmeniui, bet kintančiam sunkiui. Skirtumas tik tai, kad dujų difuzija vyksta iš vienos rutulio pusės. Skritulio pakraščių kokso išdegimą sąlygoja deguonies ir CO_2 difuzija, temperatūra ir aplinkos srauto greitis. Šiam procesui galima pritaikyti masės mainų analogiją su šilumos mainais, nes pastarieji tiksliau ištirti, skaičiavimams atlikti yra konkrečios formulės.

Savo matavimus palyginsime su skaičiavimais pagal anksčiau siūlytus dėsningumus. Paminėtina, kad matavimų objektas buvo paryškintas atitinkamai su galimybe atlikti teorinį modeliavimą, o reikiamiems parametrams surasti – sugriežtintas matavimų tikslumas.

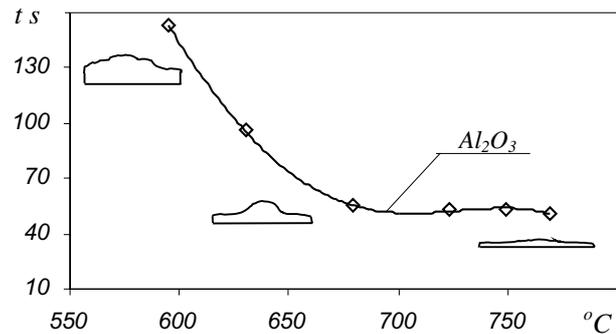
3.1. Lašelio išdegimo eiga

Pirmiausia lašelio ant paviršiaus išdegimo eiga buvo stebima vaizdo įrašais. Žinomo svorio lašelius deginome esant įvairioms keraminio paviršiaus temperatūroms, kitoje sekoje pritaikėme oro pūtimą ir katalitinį platinos paviršių.

Esant žemoms temperatūroms mazuto lašelis išsiskleidžia storoku sluoksniu ir lėtai „burbuliudamas“ sudega. Esant vidutinėms temperatūroms užverda staigiai, sutraukdamas masę į centrą, kur anglies bei smulų darinys suformuoja erdvinį karkasą. Pastarasis išdega pirmiausia. Aukštesnėje temperatūroje lašelis išsiskleidžia, momentaliai išgaruoja lakiosios dalys ir lieka suskilinėjęs anglies sluoksniu su smalomis. 3 pav. parodyta bendra lašelio išdegimo trukmė, esant įvairioms keraminio paviršiaus temperatūroms. Pagal masės pokytį kreivė artima logaritminei funkcijai: pradžioje, žemų temperatūrų intervale masės mainai neintensyvūs, augant temperatūroms jie spartėja ir pasiekia maksimumą ties 500°C .



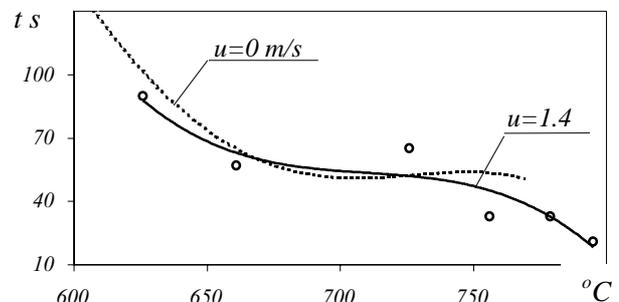
2 pav. Mazuto masės kitimas priklausomai nuo laiko



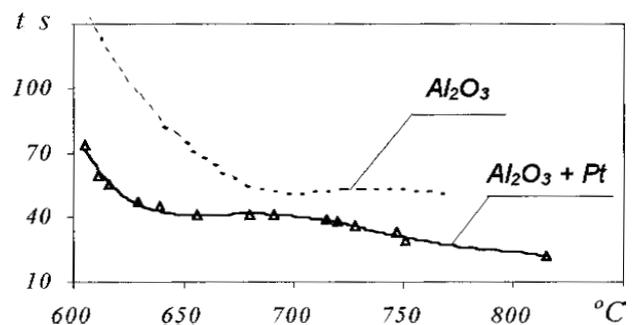
3 pav. Mazuto visiško sudegimo ant keraminio paviršiaus priklausomybė nuo laiko, kai oro srauto greitis $u = 0$ m/s

Čia lašelis verda ir išsiskiria daug lakiųjų frakcijų. Toliau seka ramesnis smulų skaidymasis ir karkaso degimas, paviršinė anglis dega lėčiausiai. Paveiksle pateiktus duomenis vėliau naudojome degimo suskirstymui į dvi dalis, t. y. lakiųjų dalių ir anglies darinio išdegimo laiką. Pažymėtina, kad visiškas išdegimas užtrunka gana ilgą laiką, skaičiuojamą sekundėmis.

Šiame darbe stebėjome aplinkos oro greičio įtaką visiškam lašelio sudegimui. Esant srauto greičiui $1,4$ m/s, lašelių degimo trukmė sumažėja 20% . Tai rodo, kad žemų temperatūrų intervale dujų difuzijos pagerinimas spartina lengvųjų mazuto frakcijų išskaidymą ir nunešimą nuo paviršiaus (4 pav.). Esant vidutinėms temperatūroms greičio teigiamo poveikio nepastebima, nes konvekcija atšaldo rutuliuko formos anglies darinį.



4 pav. Mazuto sudegimo greitis, esant skirtingam aptakančio oro srauto greičiui: $u = 0$ m/s ir $u = 1,4$ m/s



5 pav. Platinos dangos įtaka mazuto sudegimui stacionariomis sąlygomis

5 pav. pavaizduota katalitinio platinos paviršiaus įtaka mazuto degimui. Ji yra didelė ir gautais rezultatais galima remtis analizuojant reakcijos spartą įvairiomis ribinėmis sąlygomis.

3.2. Anglies degimas

Smala su karboidais ir karbenais ant sienelės sudaro plėvelę ir tolimesnį degimo vyksmą galima traktuoti kaip anglies heterogeninę reakciją. Anglies paviršiaus degimas vyksta šių reakcijų pagrindu:



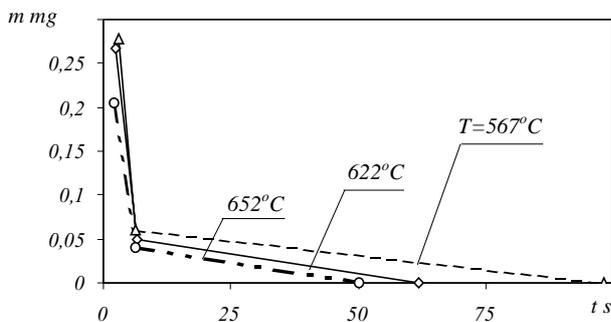
Pagal pirmą reakciją anglis nuo paviršiaus $C(s)$ reaguoja su deguonimi. Anglies monoksidas CO esti susitelkęs prie pat paviršiaus ir dalinai šio paviršiaus adsorbuotas. Kaip minėta anksčiau, anglies degimą tyrėme siaurame temperatūrų intervale. 6 paveiksle pasikartoja 2 pav. duomenys, tik čia išskyrėme vienos anglies, be lakiųjų junginių, degimą. Remdamiesi gautais rezultatais, galime teigti, kad apytikris anglies išdegimo greitis yra $1,86 \cdot 10^{-4}$, $3,01 \cdot 10^{-4}$ ir $2,74 \cdot 10^{-4}$ kg/m^2s esant atitinkamai 567, 622 ir 652°C temperatūroms.

Cheminė kinetika, t. y. terminis reagentų aktyvumas, yra silpna esant žemoms temperatūroms. Jis lemia produktų išeigą, todėl reikia apskaičiuoti anksčiau minėtų (3) ir (4) reakcijų greitį. Šis greitis suvokiamas kaip koncentracijos pasikeitimas laike:

$$v = \frac{1}{S_{CO}} \frac{dC_{CO}}{dt} \text{ kg}/m^2s; \quad (5)$$

čia S_{CO} – stochiometrijos koeficientas. Reakcijos greitis toks pat ir pagal kitos komponentės kitimą

$$v = \frac{1}{S_{O_2}} \frac{dC_{O_2}}{dt}.$$



6 pav. Paviršinės anglies išdegimas, esant skirtingoms temperatūroms

Naudojantis Arrhenijaus dėsningumu (1) ir konkrečiomis k reikšmėmis, reakcijos greitį galima tiksliai apskaičiuoti pagal šią formulę:

$$v = k C_{Cs}^{Scs} C_{O_2}^{So_2}. \quad (6)$$

Reakcijos eilę išreiškia laipsnių rodikliai. Paprastoms homogeninėms reakcijoms šie laipsnio rodikliai sutampa su stochiometriniais koeficientais. Kai produktas gaunamas iš kelių lygiagrečių reakcijų arba kai reakcijos vyksta nuosekliai viena po kitos su tarpiniais produktais, arba kai tarpininkauja katalizatoriai, reakcijos eilę išreiškiantys laipsnio rodikliai ima skirtis nuo stochiometrijos koeficientų. Darbe [3] nurodoma, kad akmens anglies plėvelės degime reakcijos eilę išreiškiantis laipsnio rodiklis deguoniui artimas 1, kai formuojasi CO_2 , ir daugiau kaip 0,5 – kai CO .

Kai reakcijos kinetika yra sparti, produktų išeigą ima riboti deguonies difuzijos galimybės. Tai ypač svarbu heterogeninėse reakcijose nuo paviršiaus, nes deguonis ateina iš vienos pusės. Reakcijos kinetika ir deguonies difuzija ima tarpusavyje konkuruoti, todėl produktų išeigą nusako mažiausiai produktų duodantis reiškinys.

Kiek anglies išdeginama, pagal reakcijos greičio formules (1), (6) buvo apskaičiuota naudojant FLUENT programą. Buvo skaičiuota esant nusistovėjusiam laminariniam tekėjimui kanale, kai vidutinis oro greitis lygus 0,2 m/s. Anglies paviršius pasirinktas trumpas, 20 mm ilgio. Reakcijoms (3), (4) Arrhenijaus dėsnio pastoviosios buvo imamos iš chemijos žinyno. O laipsnio rodikliai reakcijos eilei nusakyti, atlikus bandomuosius skaičiavimus, buvo pasirinkti 0,4 ir 1 pirmojoje reakcijoje bei 1 ir 0,25 – antrojoje reakcijoje. Programa apskaičiavo, kad anglies išdegimo greitis apytikriai lygus $5 \cdot 10^{-5}$ kg/m^2s . Ši reikšmė 6 kartus mažesnė už išmatuotą.

Toliau matavimus lyginome su galimybe išdegti anglį, remiantis deguonies difuzijos formulėmis. Anglies darinio dalelei sudeginti pagal heterogeninę reakciją, FLUENT naudoja iš literatūros [5] paimtą šią formulę:

$$dC_C / dt = -4\pi R \frac{D_{O_2} C_{O_2}}{S_{O_2}} \frac{\rho_\infty T_W}{T_W + T_\infty}; \quad (7)$$

čia R – prilipusio lašelio skritulio spindulys. Pateiktoji formulė tinka, kai reakcijos greitis didelis ir jai vyksti trukdo deguonies tiekimas. Ši formulė tinka atvejui „sumaišyta – sudegė“. Pagal šią formulę buvo suskaičiuotas anglies išdegimas matavimo atveju, kai deguonis tiekiamas iš vienos pusės. Gautoji reikšmė yra artima eksperimentiniams matavimams.

Gauti rezultatai buvo patikrinti panaudojus ir kitą deguonies difuzijos skaičiavimo metodiką – analogiją tarp šilumos ir masės mainų. Yra įrodyta, kad esant tam pačiam Reynoldso skaičiui Re ir tapatioms geometrinėms ribinėms sąlygoms, surastas Nusselto skaičius Nu bus lygus Sherwoodo skaičiui Sh . Norint pasinaudoti šia metodika, verta arčiau susipažinti su mainų koeficientų sąvokomis, siekiant jas bendriau išreikšti tiek masės, tiek šilumos mainams. Suprasime, kiek jos skirsis nuo įprastinių, aptinkamų vadovėliuose.

Furje ir Ficko dėsnius turėtume traktuoti taip, kaip pateikiama (8), (9). Čia mainų koeficientai a ir D turi bendrą difuzijos koeficiento sąvoką su dimensija m^2/s . Šilumos mainų specialistui įprastas šilumos laidumo koeficientas tampa šilumos difuzijos koeficientu, žinomu kaip temperatūros plitimo koeficientu.

$$\text{Šilumos difuzijos dėsnis: } q = -a \cdot \frac{\rho \cdot c_p \cdot dT}{dy}. \quad (8)$$

$$\text{Masės difuzijos dėsnis: } m_A = -D \cdot \frac{dC_A}{dy}. \quad (9)$$

Konvekcijos atveju, vykstant mainams nuo sienelės į srautą, dar labiau tenka nutolti nuo įprastinio šilumos atidavimo koeficiento ir pereiti prie šilumos plitimo nuo sienelės link srauto greičio, matuojamo m/s .

Konvektyvinių šilumos mainų dėsnis:

$$q = -\alpha \cdot \rho \cdot c_p \cdot (T_w - T_f). \quad (10)$$

Konvektyvinių masės mainų dėsnis:

$$m_{O_2} = K_{O_2} \cdot (C_{O_2W} - C_{O_2\infty}). \quad (11)$$

Dabar α ir k_c yra vienokios fizikinės kategorijos su dimensija m/s . Įprastinis šilumos atidavimo koeficientas tampa sudėtinu $\alpha = \alpha \cdot \rho \cdot c$.

Pasinaudodami visu tuo, kas pateikta, galime surasti masės mainų dydį pagal šilumos mainus.

$$Nu = Sh, \quad (12)$$

$$Nu = \frac{\alpha \cdot L}{\lambda} = \frac{\alpha \cdot \rho \cdot c \cdot L}{a}, \quad (13)$$

$$Sh = \frac{K_c \cdot L}{D}. \quad (14)$$

Pavyzdžiui, laminariniam tekėjimui vamzdyje, esant nusistovėjusiems tekėjimui ir šilumos mainams, kai vamzdžio sienelės temperatūra yra pastovi, $Nu = 3,66$.

Analogiškai masės mainams vamzdyje su pastovios koncentracijos sienelės medžiaga $Sh = 3,66$ ir deguonies mainų greitis bus $K_{O_2} = 3,66 \cdot 2,1 \cdot 10^{-5} / 5 \cdot 10^{-3} = 1,5 \cdot 10^{-2} m/s$. Deguonies masės srautas apskaičiuojamas pagal pateiktą (11) lygtį žinant, kad masinė deguonies koncentracija ore $C_{O_2,oo}$ yra 23% nuo oro svorio, o ant sienelės $C_{O_2,w} = 0$. Pažymėtina, kad šilumos srautus ir temperatūras galima išmatuoti tiksliai, todėl žinyuose yra formulės beveik visiems stacionarių mainų atvejams, t. y. visokiausioms geometrinėms formoms ir visiems greičiams.

Iš lašo ant paviršiaus pasilikusi anglis, apipučiama oro, atitiks atvejį, kai vystosi temperatūros sluoksnis, o tuo atveju mainų greitis 2–3 kartus didesnis negu nusistovėjusiems mainams. Šitai skaičiuojant buvo surastas deguonies srautas link sienelės, pagal kurį susidaręs CO_2 ir pagaliau anglies išdegimas $dm_c/dt = 10^{-4} kg/m^2 s$. Gautoji reikšmė yra 2 kartus mažesnė už išmatuotą.

4. IŠVADOS

1. Ant keraminio 500–800°C temperatūros paviršiaus mazuto lašelis intensyviai garuoja, dega, kol susidaro lėtai degantis anglies darinys. Darbe buvo išmatuota anglies darinio sudegimo trukmė, kuri užima apie 0,8 viso lašelio degimo laiko. Šių matavimų duomenys įgalino patikrinti teorines prielaidas heterogeninei anglies degimo ant paviršiaus reakcijai skaičiuoti.

2. Ant paviršiaus esančiai angliai sudeginti, esant žemoms temperatūroms, tikslingiausia taikyti kinetinių reakcijos vyksmo modelį drauge su deguonies difuziją limituojančia sąlyga, pasirenkant, kuri iš jų lėtesnė. Esant aukštesnėms temperatūroms lemia mažą deguonies difuziją.

3. Anglies darinio ant sienelės išdegimas buvo išmatuotas natūralios konvekcijos sąlygomis ir esant oro greičiui. Pastaruoju atveju pagreitėja išdegimas, ir tai rodo deguonies difuzijos gerinimą. Ant paviršiaus su platina 30% paspartėja reakcija dėl katalizuojančio poveikio.

4. Darbe parodoma, kaip, pagal šilumos ir masės mainų analogiją, surasti deguonies difuziją, remiantis tiksliais šilumos mainų priklausomybėmis.

Gauta
2001 10 17

Literatūra

1. Fossil Fuel Combustion: a source book/ Edited by W. Bartok and A. F. Sarofim, 1991.
2. FLUENT 5, User's guide. Fluent icorporated, 1998. Vol. 2.
3. Svoboda K., Hartman M., Cermak J. Combustion mechanisms – solid phase, Polutants from Cumbustion, Kluver Academic Publishers, 2000. P. 35–50.

4. Stenseng M. Pyrolysis and Combustion of Biomass. Ph. D.-thesis. Technical university of Denmark, 2000.
5. Baum M. M., Street P. J. Predicting the Combustion Behavior of Coal Particles // Combust. Sci. Tech. 1971. Vol. 3(5). P. 231–243.
6. Saastomoinen J. K., Aho M. J., Linna V. L. Simultaneous pyrolysis and char combustion, Fuel, 72. P. 599.

Regina Kalpokaitė-Dičkuvienė, Anupras Šlančiauskas

COMBUSTION OF CARBON IN BLACK LIQUID OIL DROPLET ON HOT SURFACE

S u m m a r y

Droplet burnout was investigated on a hot ceramic surface with temperatures 400–800°C. The effect of air velocity and the catalytic influence of platinum surface was included. The object of investigation was carbon burnout in the last phase of droplet burning. Inside a wall-attached droplet there is a spatial carcass of carbon, and it burns out at once. This event must be theoretically calculated as a droplet carbon carcass in gaseous ambient. The rest part of carbon in the form of a thin layer burns slowly under the oxygen diffusion effect and must be calculated as oxygen transfer to the wall according to an analogy between heat and mass transfer.

Key words: heavy oil, combustion, diffusion, ceramics

**Регина Калпокайте-Дичкувене,
Анупрас Шланчяускас**

ГОРЕНИЕ САЖИ КАПЛИ МАЗУТА НА ГОРЯЧЕЙ ПОВЕРХНОСТИ

Р е з ю м е

Капля мазута, попавшая на горячую поверхность, может быстрее испариться и сгореть, чем летя вместе с газом в топке. Измерено время сгорания капли на керамической поверхности при температурах от 400°C до 800°C. Испытания проведены в условиях стационарного и движущегося потоков, было использовано керамическое покрытие – катализатор. Особое внимание уделялось последней фазе горения капли мазута, когда образуются две фазы выгорания. Первым выгорает сформировавшийся каркас сажи, горение которой можно теоретически рассчитать по имеющимся эмпирическим формулам приняв, что выгорает углерод пыли, диаметр которой изменяется. Оставшийся углерод горит намного дольше из-за медленной диффузии кислорода в сторону стенки. По имеющейся аналогии переноса массы и тепла можно провести расчёты диффузии кислорода.

Ключевые слова: мазут, горение, диффузия, керамика