

INFLUENȚA UMIDITĂȚII ASUPRA STABILITĂȚII ARDERII ÎN FOCARELE CAZANELOR DE ABUR

M. BICĂ*, M. NAGI**

*Universitatea din Craiova, **Universitatea Politehnica Timișoara

Abstract. The paper presents some issues regarding the effect of humidity on the flame stability in the steam generator burners. The conclusion of our research is that some mineral substances contained in low quality solid fuels act as catalysts in the ignition start up and even contribute to the flame supporting. Also, the activation energy of the fuel combustion is important for the ignition temperature. So a low value of the activation energy determines a lower ignition temperature. The ignition of the fuel dust blown in the steam generator burners depends on the coal qualities it comes from, but also on the thermal conditions around the particle. The content of the volatile substances is essential in the ignition of the fuel particle of low quality solid fuel. To know the composition of the volatile substances is an important issue in order to determine the heat released before the ignition of the carbon residue, which is achieved by a surface intensive gasification. This phenomenon was proved by the research of the authors of the present paper.

1. INTRODUCERE

Cecetările proprii [1] și analiza lucrărilor din literatura de specialitate [2], [3] au condus la concluzia că masa minerală constituie suportul catalitic de formare a materiilor volatile. Cărbunii care au în structura lor materii minerale necombustibile au un conținut mare de materii volatile. Este necunoscută proporția de materii minerale cu rol catalizator în formarea volatilelor.

Din lucrările [2] și [3] se concluzionează că oxizii de fier joacă un rol important la formarea volatilelor la temperaturi scăzute, sub 350 °C. Aceste simple constatări sugerează canalizarea cercetărilor către metoda de reducere a umidității insuflăte cu praful în focar, care, din punct de vedere tehnic este mai ușor de realizat.

2. TEMPERATURA DE APRINDERE

Temperatura de aprindere este dependentă de condițiile termice din focar, precum și de energia de activare E a arderii combustibilului.

Momentul aprinderii este determinat de transferul de căldură particulă-incintă. În regimuri nominale de funcționare ale focarelor, când aprinderea gazului este sigură, conduce la concluzia că transferul de căldură incintă-particulă este mai intens decât în cazul sarcinilor parțiale, când aprinderea nu este sigură, fiind necesară susținerea flăcării cu combustibil de aport.

Sistemul de ecuații diferențiale care descriu aprinderea conform [1], este:

$$\begin{aligned} \frac{A}{T_g} d_0 e^{\frac{E}{RT_p}} + B_0 d_0 T_p^4 + c d_0 T_{per}^4 + C(\lambda_0 + kT_g)(T_g - T_p) &\geq (M + N)T_p^4 + d_0^2 \frac{dT_p}{d\tau} + \\ &+ \left\{ (2aT_p + b) [c_w (383,15 - T_p) + l_v] - (aT_p^2 + bT_p + c) c_w \right\} \frac{W_i^h}{100} \cdot \frac{d_0^2}{c_p} \cdot \frac{dT_p}{d\tau} + \\ &+ \left(c_c^{a_{nh}} \frac{100 - W_i^h}{100} + \frac{W_i^h}{100} c_w \right) \cdot \frac{d_0^2}{c_p} \cdot \frac{dT_p}{d\tau} \\ \frac{A}{T_g} d_0 \frac{E}{RT_p^2} e^{\frac{E}{RT_p}} \cdot \frac{dT_p}{d\tau} - \frac{A}{T_g^2} e^{\frac{E}{RT_p}} \cdot \frac{dT_p}{d\tau} + Ck(T_g - T_p) \frac{dT_g}{d\tau} + C(\lambda_0 + kT_g) \left(\frac{dT_g}{d\tau} - \frac{dT_p}{d\tau} \right) &\geq \\ 4(M + N) \cdot T_p^3 \cdot \frac{dT_p}{d\tau} + d_0^2 \cdot \frac{d}{d\tau} \left(\frac{dT_p}{d\tau} \right) + \left\{ 2a \frac{dT_p}{d\tau} [c_w (383,15 - T_p) + l_v] - (2aT_p + b) \cdot \frac{dT_p}{d\tau} - (2aT_p + b) \cdot c_w \cdot \frac{dT_p}{d\tau} \right\} & \\ \frac{W_i^h}{100} \cdot \frac{d_0^2}{c_p} \cdot \frac{dT_p}{d\tau} + \left\{ (2aT_p + b) \cdot [c_w (383,15 - T_p) + l_v] - (aT_p^2 + bT_p + c) c_w \right\} \cdot \frac{W_i^h}{100} \cdot \frac{d_0^2}{c_p} \cdot \frac{d}{d\tau} \left(\frac{dT_p}{d\tau} \right) + & \\ + K_1 \cdot \frac{d_0^2}{c_p} \cdot \frac{d}{d\tau} \left(\frac{dT_p}{d\tau} \right) & \end{aligned} \quad (1)$$

În ecuațiile (1) o serie de termeni au valoare constantă, după cum urmează:

$$A = 6 \cdot 10^3 \cdot \frac{100 - W_i^h}{100 - W_i^h} (Q_i^h + 23W_i^h) - 23W_i^h \cdot \frac{1}{100} \left(\frac{32}{12} c^h + 8H^h + S^h - O^h \right) c_{p,O_2} \cdot T_0 \cdot k_0 \frac{1}{c_p \cdot \rho};$$

$$B = \varepsilon_{fl} \cdot \sigma_0 \frac{6}{c_p \cdot \rho}; \quad C = \sigma_0 (1 - \varepsilon_{fl}) \varepsilon_p \frac{6}{c_p \cdot \rho};$$

$$M = \frac{6}{C_p \rho} \sigma_0 \varepsilon_p; \quad N = \frac{6}{C_p \rho} \sigma_0 \varepsilon_{pp} (1 - \varepsilon_{fl}). \quad (2)$$

Semnificația fizică a notațiilor din ecuațiile (1) este următoarea:

T_p este temperatura particulei de combustibil, K; T_g – temperatura mediului gazos ce înconjoară particula, K; c_{p,O_2} – concentrația de oxigen pe suprafața particulei de combustibil, kJ/m^3_N ; k_0 – factorul preexponențial, m/s; E – energia de activare, kJ/kmol ; σ_0 – constanta de radiație a corpului negru, $\text{W}/(\text{m}^2\text{K}^4)$; ε_{fl} – factorul de emisie al flăcării; T_{fl} – temperatura medie a flăcării; ε_{pp} – factorul de emisie echivalent pereți focar-particulă de combustibil, considerând mediul dintre ele diaterman; d_0 – diametrul particulei, m; c_p – capacitatea calorică specifică medie a particulei de combustibil solid pe intervalul de temperatură cuprins între temperatura de insuflare în focar și temperatura de aprindere, J/kg ; ρ – densitatea prafului de combustibil, kg/m^3 ; τ – timpul, s; l_v – căldura latentă de vaporizare conținută în particulă, J/kg ; c_w – capacitatea calorică masică specifică a apei pe intervalul de temperatură cuprins între temperatura de insuflare în focar și temperatura de vaporizare a apei din particulă, $\text{J}/(\text{kgK})$; a, b, c – coeficienți de proporționalitate; k_1 – constantă influențată de umiditate, $\text{J}/(\text{kgK})$.

Rezolvarea sistemului de ecuații (1) se face numeric cu ajutorul unui program realizat de autori, utilizând algoritmul Kutta-Merson, care determină perechea de temperaturi (T_p, T_g) la timpul τ_1 , care realizează condițiile de aprindere, adică:

- fluxul de căldură primit de particulă să fie mai mare decât cel cedat;
- viteza de creștere a fluxului de căldură primit de particulă să fie mai mare decât viteza cu care particula cedează căldură.

Variația temperaturii de aprindere în funcție de umiditate, W_t^i și diametrul particulei, d_0 , conform celor prezentate mai înainte este redată în fig. 1.

Din fig. 1 se desprind următoarele observații:

- la îndepărtarea umidității, condițiile de aprindere se îmbunătățesc;
- la diametre de sub $70 \mu\text{m}$ se obține un optim între căldura primită prin radiație de la flacără și cea cedată prin conducție și convecție gazelor înconjurătoare;
- la diametre d_0 peste $100 \mu\text{m}$ se intensifică transferul de căldură particulă – faza gazoasă, căldura consumată pentru pregătirea termică a particulei crește, pentru eliberarea umidității și degajarea volatilelor se consumă mai multă căldură;
- creșterea temperaturii de aprindere cu diametrul d_0 este determinată și de înrăutățirea fenomenului de difuzie a oxigenului pe suprafața particulei.

3. UMIDITATEA PÂNĂ LA CARE APRINDEREA REZIDUULUI CARBONOS ESTE SIGURĂ

Continuarea arderii rezidului carbonos depinde de condițiile termice create în focar, de căldura locală dezvoltată în jurul particulei.

Cunoscând structura volatilor, puterea calorică a acestora se determină prin calcul direct în funcție de puterea calorică a componentelor. Pentru determinarea umidității W_t^i cu care poate fi introdus praful în focar, pentru ca aprinderea rezidului carbonos să fie sigură se scrie ecuația de bilanț termic în jurul particulei, cu următoarele observații:

- temperatura de aprindere a particulei se determină prin rezolvarea numerică a sistemului de ecuații (1);
- pentru degajarea volatilor se consumă o parte din căldura acumulată în particulă, Q_{dv} , $[\text{kJ/kg}]$;
- prin aprinderea și arderea materiilor volatile se creează în jurul particulei condițiile realizării unui transfer de căldură care să favorizeze aprinderea rezidului carbonos;
- căldura preluată de rezidul carbonos provine de la arderea volatilor, din radiația flăcării și a pereților focarului, din căldura degajată datorită reacțiilor interne.

Calculul se efectuează pentru 1kg de praf cu umiditatea W_t^i .

Ecuația de bilanț are expresia:

$$(t_{ac} - t_{av})c_p m_g + (t_{ac} - t_{av})c_{ec} m_c + Q_{dv} =$$

$$= Q_{in} V^{i1} + \left\{ \frac{6\sigma_0}{d_0 \rho} [e_p (T_{fl}^4 - T_p^4) + \right.$$

$$\left. + \varepsilon_{pp} (1 - \varepsilon_{fl}) (T_{per}^4 - T_p^4)] + Q_{ri} \right\} \Delta\tau - Q_{as} \quad (3)$$

La calculul Q_{ri} se ține seama de faptul că umiditatea din combustibil este complet eliminată.

Semnificația notațiilor din relația (3), este următoarea:

t_{ac} este temperatura de aprindere a rezidului carbonos $[\text{°C}]$ și se determină experimental prin metoda

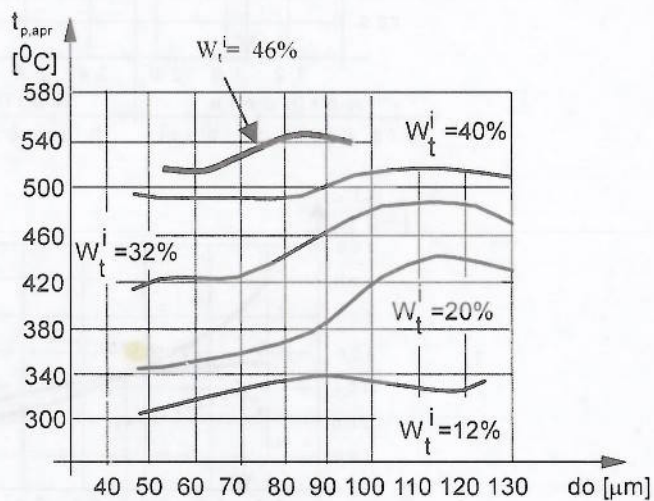


Fig. 1. Variația temperaturii de aprindere funcție de diametrul particulei și umiditate.

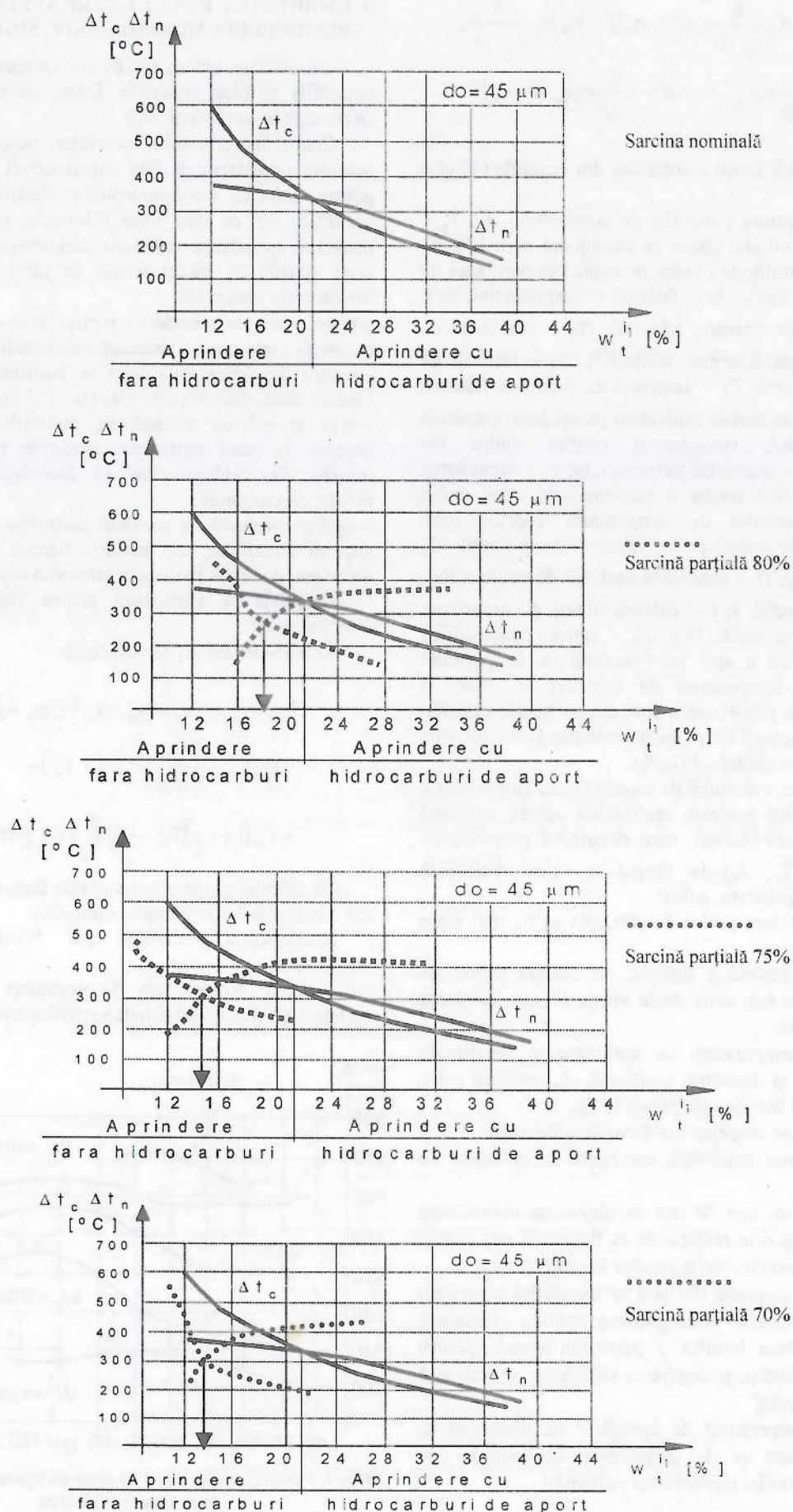


Fig. 2. Aprinderea rezidului carbonos funcție de umiditatea prafului introdus în focar.

derivatografică; t_{av} – temperatura de aprindere a volatilelor, se determină analitic sau experimental; m_g – masa specifică de gaz din flacăra din jurul particulei, ca urmare a arderii volatilelor provenite de la particulă prin descompunere termică; rezultă din calculul arderii materiilor volatile a căror compoziție a fost determinată experimental prin metoda cromatografierii; calculele se efectuează cu relațiile binecunoscute de la arderea combustibililor gazoși; c_p – capacitatea calorică masică specifică medie a amestecului de gaze din flacăra, kJ/(kgK), calculată cu relațiile cunoscute de la amestecurile de gaze; c_{ac} – capacitatea calorică masică specifică medie a rezidului carbonos, kJ/(kgK); Δt – timpul în care particula ajunge la temperatura de aprindere a rezidului carbonos; m_c – masa rezidului carbonos dintr-un kg de praf, se calculează cu relația

$$m_c = \frac{100 - (W_t^{r1} + V^{r1})}{100} \text{ [kg/kg]} \quad (4)$$

sau determinată experimental prin metoda derivatografică; Q_{iv}^{mc} – puterea calorifică a volatilelor raportată la masa combustibilă, kJ/kg; V^{mc} – cantitatea de materii volatile rezultate la încălzirea prafului introdus în focar, determinată prin metoda derivatografică, kg/kg; Q_{as} – căldura preluată de aerul secundar, kg/kg,

$$Q_{as} = m_{as} c_{p,as} (t_{ac} - t_{av}) \quad (5)$$

unde: m_{as} este masa de aer secundar introdusă în focar, $c_{p,as}$ – capacitatea calorică masică specifică medie, kJ/(kgK),

t_{av} – temperatura cu care se introduce în focar aerul secundar, °C;

Q_{do} – se determină ținând seama de recomandările din lucrarea [4], denumită *entalpie de carbonizare* și care este echivalentă cu căldura utilizată pentru a încălzi o substanță inertă, cu capacitate calorică comparabilă cu a cărbunelui, până la temperatura de aprindere a rezidului carbonos.

$$Q_{do} = \left(c_c^{a_n \cdot h} \frac{100 - W_t^{r1}}{100} + c_w \frac{W_t^{r1}}{100} \right) \cdot (t_{ac} - t_c) \quad (6)$$

unde: $c_c^{a_n \cdot h}$ este căldura specifică a combustibilului anhidru kJ/(kg·k), t_c – temperatura la care se introduce combustibilul în focar, °C, W_t^{r1} – umiditatea cu care este introdus combustibilul în focar, %.

Din ecuația (3) se determină diferența de temperatură $\Delta t_c = (t_{ac} - t_{av})_c$ care se realizează datorită transferului de căldură din jurul particulei.

Se determină diferența de temperatură ce trebuie realizată de rezidul carbonos de la t_{av} la t_{ac} pentru a se aprinde, $\Delta t_n = (t_{ac} - t_{av})_n$.

Variația Δt_n și Δt_c este prezentată în diagramele din fig. 2, pentru diferite sarcini ale cazanului.

Punctul de intersecție al celor două curbe reprezintă punctul care separă aprinderea fără hidrocarburi de aport și aprinderea cu hidrocarburi de aport.

4. CONCLUZII

Prin îndepărtarea umidității din praful de combustibil solid inferior se creează condițiile de continuare a arderii rezidului carbonos. Este un lucru cunoscut că vaporii de apă insuflați în focar, preiau, evident, o importantă cantitate de căldură pentru a-și ridica temperatura.

Prin îndepărtarea acestora, căldura degajată prin arderea volatilelor este utilizată la încălzirea rezidului carbonos creindu-se condițiile necesare aprinderii acestuia.

BIBLIOGRAFIE

- [1] Bică, M., *Reducerea sau înlocuirea hidrocarburilor la pornire sau pentru susținerea flăcării la arderea combustibililor solizi inferiori în cazanele de abur*. Teză de doctorat, Universitatea „Politehnica” București, 1982.
- [2] Nenitescu, C.D., *Chimia generală*, E.D.P., București, 1982.
- [3] Niac, G., *Corelații între proprietățile cărbunilor*, Revista Mine, Petrol și Gaze, vol. 28, nr.6, 1987.
- [4] Horvat, F., *Mathematisches Modell der Verbrennung mit der Entgasung von Brunkohlenpartikeln*, VEIKI Berichte, Budapest, 1978.

Viktor M. BRODIANSKII

TERMODINAMICA CLASICĂ LA ÎNCEPUTUL SECOLULUI XXI

80 pag., Editura AGIR, București, 2002

Lucrarea supusă atenției unui cerc larg de cititori a fost elaborată de o personalitate marcantă din domeniul ingineriei termice mondiale. Materialul care constituie obiectul lucrării este grupat în trei capitole. În primul capitol intitulat *TEORIA* sunt prezentate particularitățile termodinamicii clasice ca știință, precum și cele trei perioade de dezvoltare ale acesteia. Sunt evidențiate succint cele mai importante etape istorice pe care le-a parcurs termodinamica clasică având ca origină lucrarea lui Sadi Carnot, apărută în anul 1824. În cel de-al doilea capitol este abordată problematica *APARATULUI EXPLICATIV AL SECȚIUNII EXERGETICE A TERMODINAMICII*. Se fac precizări interesante privind noțiunea de sistem termodinamic și mediul lui exterior. Sunt tratate problemele legate de definirea coeficienților termodinamici de calitate (eficiență) care permit clarificarea riguroasă a semnificației acestora pe plan energetic. Se fac referiri bibliografice detaliate privind evoluția semnificației acestor coeficienți de-a lungul timpului și erorile care s-au manifestat în interpretarea lor. În ultimul capitol, al treilea, autorul face o incursiune deosebit de interesantă în domeniul *APLICAȚIILOR TERMODINAMICII CLASICE ÎN PROBLEMELE TEHNICII, BIOLOGIEI ȘI ECONOMIEI*. Redactată la un nivel științific deosebit, lucrarea reprezintă un model de gândire al unei personalități științifice care îmbină analiza istorică cu cea tehnică și filozofică a unei discipline care se dezvoltă vertiginos și anume *TERMODINAMICA*.

Prof. V. Radenco