

# Korišćenje kiseonika u intenzifikaciji procesa sagorevanja u kupolnim pećima za mineralnu vunu

Nikola Pavlović, dipl. inž., "Tehnogas Beograd" – Inženjering, Banjički put 62, 11000 Beograd

*U radu su izloženi teorijski osnovi primene kiseonika u procesu sagorevanja i efekti primene kiseonika u kupolama i instalacija kiseonika za snabdevanje peći. Na osnovu ispitivanja rada kupolne peći za mineralnu vunu u fabrici "25. maj" u Surdulici, sumirani su rezultati dobijeni eksperimentom.*

## 1. Uvod

Kiseonik se u industrijskim pećima poslednjih 30 godina sve više primenjuje i javlja kao značajan faktor u tehnološkom procesu. Kiseonik omogućava čitav niz značajnih pozitivnih efekata odnosno omogućava da se proces sagorevanja učini ekonomičnijim. To je posebno značajno u vezi sa troškovima primarne energije koji su u stalnom porastu.

Osvajanjem industrijske proizvodnje tečnog kiseonika za potrebe tržišta pruža se široka mogućnost primene kiseonika u raznim industrijskim pećima (industrija gvožđa i čelika, industrija nemetala, industrija stakla, keramika, cementa i dr).

## 2. Teorijski osnovi primene kiseonika u procesu sagorevanja

Primena kiseonika za intenzifikaciju tehnoloških procesa, posebno onih koji se obavljaju u industrijskim pećima, proizilazi iz pozitivnih uticaja na osnovne energetske i tehnološke procese:

- sagorevanje i korišćenje toplote,
- prenos toplote i mase,
- hemijske-reakcione procese.

Svi ovi procesi bitno utiču na različite osobine sirovina u toku prerade i na kvalitet finalnih proizvoda.

Ovde će se posmatrati efekti primene kiseonika koji proizilaze iz uticaja na osnovne procese transformacije energije i mogućnosti njenog iskorišćavanja. Od procesa transformacije hemijske energije goriva u toplotnu energiju zavisi i odvijanje svih drugih procesa u radnom prostoru peći, a isto tako i količina goriva utrošena za dobijanje određene količine korisne energije. Uvođenjem tehničkog kiseonika u vazduh za sagorevanje, ili direktnim uduvavanjem u peć, povećava se sadržaj kiseonika u vazduhu, što neposredno utiče na smanjenje količine azota u produktima sagorevanja, a time i na smanjenje ukupne količine produkata.

Ukupna količina produkata pri potpunom sagorevanju data je izrazom:

$$V_{rw} = V_{N_2} + V_{CO_2} + V_{H_2O} + V_{SO_2} + (\lambda - 1) O_{2\min} \quad (1)$$

a količina azota u produktima je:

$$V_{N_2} = \frac{100-a}{a} \lambda O_{2\min} \quad (2)$$

gde su:

- $V_{CO_2}, V_{H_2O}, V_{SO_2}$  – količine pojedinih produkata sagorevanja koje zavise od vrste gasova i konstantne su za dato gorivo,
- $\lambda$  – višak vazduha koji zavisi od vrste goriva i tipa ložišta,
- $O_{2\min}$  – minimalna količina kiseonika koja zavisi od vrste goriva,
- $a$  – zapreminski udeo kiseonika u vazduhu za sagorevanje izražen u procentima.

Sagorevanje čvrstih goriva je u osnovi heterogeni proces, gde na ukupnu brzinu odvijanja procesa utiču: brzina hemijske reakcije, proces difuzije u čvrstoj fazi i difuzija u graničnom sloju gasa. Brzina reakcije sagorevanja ugljenika iz čvrstog goriva data je izrazom:

$$n_c = -m_x x k_{mef}(T) \times C_{O_2} \quad (3)$$

gde su:

- $m_c$  – količina ugljenika,
- $k_{mef}$  – efektivna brzina reakcije koja zavisi od temperature,
- $C_{O_2}$  – koncentracija kiseonika u gasnoj fazi.

Kao što se na osnovu izraza (3) vidi, brzina sagorevanja, a time i raspoloživa energija u jedinici vremena, neposredno zavise od temperature i koncentracije kiseonika, odnosno porastom temperature i koncentracije kiseonika proces se odvija brže.

Teorijska temperatura sagorevanja, bez predgrevanja vazduha, data je sledećim izrazom:

$$t_s = \frac{H_d - Q_d}{V_{rw} c_{pmo} t} \quad (4)$$

gde su:

- $H_d$  – toplotna moć goriva,
- $Q_d$  – toplota endotermnih reakcija,
- $c_{pmo} t$  – srednja specifična toplota produkata sagorevanja u intervalu temperatura 0-t.

Kako se u izrazu (4)  $V_{rw}$  nalazi u imeniocu, a prethodno je već rečeno da obogaćenje vazduha kiseonikom smanjuje količinu produkata sagorevanja, to neposredno utiče na porast temperature sagorevanja.

### 3. Instalacija kiseonika za snabdevanje kupolnih peći

Sistem za snabdevanje kiseonikom kupolnih peći obuhvata sledeće:

#### A. Izbor snabdevanja

Snabdevanje kiseonikom kupolne peći vrši se iz postojećih sistema kiseonika, ili iz stanica kiseonika specijalno predviđenih za te svrhe. Najčešći oblik snabdevanja je iz gasifikacione stanice tečnog kiseonika. Ova stanica obuhvata opremu koja služi za skladištenje i isparavanje tečnog kiseonika. Za smeštaj gasifikacione stanice tečnog kiseonika, nisu potrebne posebne prostorije – ona se postavlja na otvorenom prostoru. Lokacija gasifikacione stanice tečnog kiseonika treba da bude takva da obezbeđuje lak pristup cisterni za punjenje skladišnih rezervoara i da zadovolji propise o rastojanjima od drugih objekata i mesta potrošnje. Stanica se sastoji iz temelja, stabilnog rezervoara sa pripadajućom opremom i hladnog isparivača. Sva oprema je na temelju veličine cca 40 m<sup>2</sup>.

Pri radu gasifikacione stanice tečnog kiseonika nije potreban opslužilac, već samo povremena kontrola i praćenje nivoa tečne faze u rezervoaru, radi blagovremenog obaveštenja distributera kad treba da se napuni rezervoar.

Hladni isparivač – nema dodatne energije. Stanica održava radni pri-tisak automatski.

#### B. Magistralni (dovodni) cevovod kiseonika

Vodi se podzemno, ili nadzemno, u zavisnosti od situacije terena.

#### C. Instalacija za uvođenje kiseonika u peći

Instalacija se sastoji iz sigurnosno-regulaciono-merne opreme za ubacivanje kiseonika u peći.

Postoji nekoliko osnovnih metoda:

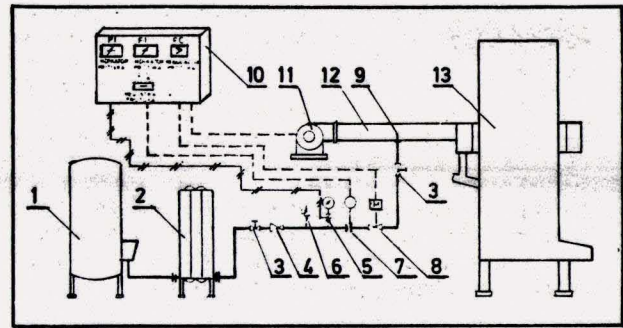
- 1) uvođenje kiseonika u vazdušni vod iza duvaljke (ventilatora); obogaćivanje struje vazduha kiseonikom;
- 2) uduvavanje kiseonika neposredno u samu peć, kroz posebne mlaznice smeštene u duvnicama kupolke; mlaznice se snabdevaju kiseonikom iz posebnog kolektora;
- 3) uduvavanje kiseonika kroz posebne mlaznice ispod duvnice, a iznad nivoa šljake uz pomoć keramičkog koplja, metalnog vodom hlađenog koplja i posebne duvnice smeštene u podu peći.

### 4. Efekti primene kiseonika kod kupolnih peći

Iskustva u primeni kiseonika u livnicama sivog liva, koja mogu da budu značajna i za topljenje mineralne vune, mogu se rezimirati na sledeći način:

- a) upotrebom kiseonika, kupolka se može pretvoriti u fleksibilan agregat, sa mogućnošću lakog regulisanja kapaciteta i temperature tečnog materijala;
- b) smanjenja utroška goriva, pri čemu se mogu dobiti uobičajene, pa čak i nešto više temperature istopljenog materijala. Smanjenje utroška goriva je 15–50%.
- c) upotrebom kiseonika stvaraju se mogućnosti iskorišćenja nisko kvalitetnih sorti koksa kao i efikasne zamene jednog dela koksa drugim vrstama goriva.
- d) primenom kiseonika omogućava se uvođenje regulacije procesa topljenja u kupolki.

Za primenu kiseonika u pećima za mineralnu vunu ima malo podataka. Gross [1] daje sledeće podatke o uticaju obogaćanja kiseonikom na rad kupolne peći ložene koksom: pri pro-



Slika 1. Šema instalacije kiseonika za uvođenje u vazdušni vod kupolne peći; 1 – rezervoar za tečni kiseonik; 2 – isparivač; 3 – zaporni ventil; 4 – reducir-ventil; 5 – manometar; 6 – sigurnosni ventil; 7 – merna blenda; 8 – elektromotorni regulacioni ventil; 9 – sklop za uvođenje kiseonika; 10 – kontrolni orman; 11 – duvaljka (ventilator); 12 – vazdušni vod; 13 – kupolna peć

toku kiseonika od 300 m<sup>3</sup>/h i sadržaju kiseonika u vazduhu od 26%, ušteda u gorivu je 10%, a porast kapaciteta peći je 30%.

### 5. Ispitivanje rada kupolne peći za mineralnu vunu primenom kiseonika u fabrici "25. maj" u Surdulici

#### 5.1. Opis instalacije

Kupolna peć za mineralnu vunu u fabrici "25. maj" u Surdulici ima nominalni kapacitet od 3,5 t/h istopljene mase. To je peć bez vatrostalne obloge, hlađena vodom u zatvorenom sistemu hlađenja. Peć ima kontinualno izlivanje istopljene mase, puni se sa vrha, a otvor za punjenje se zatvara pomoću klapne sa tegom.

Šema instalacije kiseonika za uvođenje u peć je na slici 1.

Obogaćenje vazduha za sagorevanje izvedeno je preko tuš-gevi smeštene u kanal za vazduh iza merne blende i regulacione klapne za vazduh.

#### 5.2. Obim ispitivanja

Obim ispitivanja obuhvatio je pet vremenskih intervala u kontinualnom radu peći i to: prvi interval bez upotrebe kiseonika, drugi interval sa obogaćenjem od 1% kiseonika, treći interval sa obogaćenjem od 2% kiseonika i četvrti interval sa obogaćenjem od 4% kiseonika. Svaki interval je obuhvatio 16 časova neprekidnog snimanja svih mernih veličina.

Ispitivanje je izvršilo preduzeće "Tehnogas-Beograd", u saradnji sa Mašinskim fakultetom u Beogradu.

U cilju ispitivanja, snimane su merne veličine (uložak, koks, vazduh, kiseonik, mineralna vuna, izlazni gasovi, voda i hlađenje) nepotrebne za izradu toplotnogi materijalnog bilansa peći.

#### 5.3. Rezultati ispitivanja

- a) **Kapacitet peći:** Efektivni kapacitet peći u referentnom režimu bio je: (a) sa 130 kg koksa u ulošku prosečno 2 770 kg/h, (b) sa 120 kg u ulošku 3 090 kg/h. Pri radu sa 90 kg koksa, pri obogaćenju od 2,2 do 2,7% kapacitet peći je prosečno iznosio 3 590 kg/h. Ove vrednosti daju prosečno povećanje kapaciteta za 16,2% u odnosu na (b), a 29,6% u odnosu na (a).
- b) **Temperatura mase.** Temperatura mase je jedan od osnovnih parametara koji je korišćen za procene mogućnosti povećanja kapaciteta ili smanjivanja količina koksa.

Zahtev tehnološkog procesa je da se ova temperatura održava u približno konstantnim granicama. Izmerene vrednosti kretale su se u granicama od 1 350 do 1 386 °C\* (temperatura mlaza ispred valjaka centrifuge) za referentni režim (1 350 za količinu koksa od 120 kg u ulošku) i 1 352 do 1 372 °C za sadržaj kiseonika u vazduhu 23,2 do 23,7%.

Kako je cilj bio da se temperatura održi približno konstantnom i nije bilo moguće povećati količinu vazduha, u toku ispitivanja se nije određivala zavisnost temperature istopljenog materijala od količine kiseonika.

- c) Ušteda koksa. Količina koksa u ulošku prvo je smanjena u referentnom režimu od 130 na 120 kg i to posle utvrđivanja izuzetno visoke vrednosti sadržaja CO, a niske vrednosti sadržaja CO<sub>2</sub> u dimnim gasovima. Zbog poremećaja u radu peći nije bilo moguće intervenisati povećanjem količine vazduha za sagorevanje. Dalje smanjivanje koksa u ulošku vršeno je postupno uz održavanje konstantne temperature istopljene mase. Na taj način postignuto je smanjenje koksa na 90 kg u ulošku, pri radu sa 23,2 do 23,7% kiseonika u vazduhu. Ovo predstavlja uštedu od 30,8% u odnosu na početno stanje, a 25% u odnosu na potrošnju koksa od 120 kg (referentni režim posle intervencije).

1\* Temperatura mlaza ispred valjaka centrifuge.

- d) Ostali efekti. Kvalitet vlakna za vreme ispitivanja je bio dobar. Postizane su dovoljno visoke temperature koje omogućavaju dobro formiranje vlakna. Ono što se nepovoljno odražavalo na kvalitet su česti zastoji i kvarovi na centrifugi. Intervencije od 20 min do 2 h produžavale su merenja u jednom režimu, stvarale diskontinuitet u praćenju rada peći, a time uticale i na kvalitet ispitivanja.

U toku rada sa kiseonikom nisu uočeni negativni uticaji obogaćenja vazduha kiseonikom na rad peći, ni sa obogaćenjem od 2%, niti u kratkotrajnom periodu rada sa obogaćenjem od 4%.

## Literatura

- [1] GLOSS, G., Forjahn, D.: *Sauerstoff in Schachtöfen-neue Ergebnisse bei der Produktion von Warmedammstoffen*, Gas Aktuel, Febr. 1984,
- [2] Grupa autora: *Ispitivanje rada kupolne peći za proizvodnju mineralne vune uz obogaćenje struje vazduha kiseonikom u fabrici "25. maj" u Surdulici*, Mašinski fakultet, Beograd, maj 1989.
- [3] JANKES, G., Pavlović, N.: *Efekti primene kiseonika u kupolnim pećima*, "Tehnogas Beograd", Mašinski fakultet, FOB, decembar 1988.