

POVEĆANJE ENERGETSKE EFIKASNOSTI POSTROJENJA ZA PROIZVODNJU SILIKATNE OPEKE KORIŠĆENJEM FIZIČKE TOPLOTE KONDENZATA

Prof. dr Vladan Karamarković, Mašinski fakultet Kraljevo

Marašević Miljan, dipl. ing. istraživač saradnik, Mašinski fakultet Kraljevo

Karamarković Rade, dipl. ing. asistent pripravnik, Mašinski fakultet Kraljevo

Rezime rada

U radu je definisan postupak za korišćenje fizičke toplote otpadnog kondenzata koji nastaje u procesu proizvodnje kalcijum silikatne opeke. Rezultati toplotnog i materijalnog bilansa bazirani na eksperimentima pokazuju da se korišćenjem otpadne toplote kondenzata za predgrevanje napojne kotlovske vode i rad reaktora energetska efikasnost postrojenja povećava za ~ 15.4%. Istovremeno, amortizacioni period postrojenja za racionalizaciju je vremenski kraći od 8 meseci.

Ključne reči: silikatna opeka, racionalizacija, autoklav, količina toplote.

1. Uvod

Proizvodnja kalcijum silikatnih opeka se sastoji iz više faza. U poslednjoj fazi procesa nastaje termičko tretiranje sirovih oblikovanih proizvoda. Proces se obavlja u autoklavima, održavanjem kalcijum silikatnih opeka na temperaturi od 180 – 200 °C u vremenskom periodu od 4 – 6 h, pri čemu se za direktno zagrevanje radnog prostora autoklava koristi suvozasićena vodena para apsolutnog pritiska od 1.2 – 1.6 MPa.

Vreme potrebno da pritisak u autoklavu dostigne tehnološki definisan pritisak je od 35 –54 min., a radni ciklus autoklava je 8 h.

Kao sirovina za proizvodnju kalcijum silikatnih opeka koriste se:

- silikatne komponente,
- kalcijom oksid odnosno kalcijum hidroksid i
- voda.

S obzirom da je SiO_2 iz silikatne sirovine jedinjenje koje ulazi u reakciju sa CaO , mineralni sastav očvrslih kalcijum silikatnih opeka zavisi od sadržaja hemijski aktivnog SiO_2 .

Po završenom procesu vodena para se iz radnog autoklava prepušta u drugi opekome napunjeni autoklav. Zaostala vodena para iz radnog autoklava se posle prvog prepuštanja ispušta u okolinu.

Kondenzat koji nastaje hlađenjem suvozasićene vodene pare u periodu postizanja definisanih tehnoloških parametara i u periodu održavanja konstantnog pritiska se izliva u okolinu.

U cilju sagledavanja mogućnosti za korišćenje fizičke toplote kondenzata odnosno povećanju stepena korisnosti postrojenja, u radu je definisan postupak za određivanje i način korišćenja otpadne toplote kondenzata.

2. Određivanje fizičke toplote otpadnog kondenzata

Za analitičko određivanje količine toplote sadržane u otpadnom kondenzatu koji nastaje pri proizvodnji kalcijum silikatne opeke u autoklavu koriste se jednačine toplotnog i materijalnog bilansa. Maseni protok kondenzata čine:

- kondenzat nastao prepuštanjem vodene pare iz radnog autoklava u drugi, opekome napunjen autoklav koji se nalazi na pritisku i temperaturi okoline:

$$m_{k.pr} = m_{p16} - 2 \cdot m_{p5}$$

- nastali kondenzat pri povišenju pritiska vodene pare u autoklavu od 0.5 do 1.6 MPa:

$$m_{k.pu} = m_p - m_{up}$$

- kondenzat koji nastaje u periodu održavanja radnog pritiska u autoklavu (p = 1.6 MPa):

$$m_{k.od.} = \frac{Q_g}{h''}$$

Pri određivanju toplotnog gubitka usled spoljašnjeg rashlađivanja autoklava u periodu održavanja radnog pritiska (Q_g) korišćen je model dvoslojne segmentne ekranske površine (sl. 1.). Nepoznate temperature ekranskih površina (sl. 1.) određene su pretpostavljajući da se toplota između ekranskih površina razmenjuje kondukcijom i zračenjem odnosno zračenjem i konvekcijom između spoljašnje površine ekrana i okolnog vazduha. Iz izraza za toplotni fluks određuju se temperature ekrana odnosno traženi toplotni gubitak usled spoljašnjeg rashlađivanja:

$$\dot{Q} = \frac{2 \cdot \pi \cdot \lambda_1 \cdot L}{\ln d_2/d_1} \cdot (T_1 - T_2) + \varepsilon_{red1} \cdot C_c \cdot \left[\left(\frac{T_1}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_2}{100} \right)^4 \right] \cdot A_1$$

$$\dot{Q} = \frac{2 \cdot \pi \cdot \lambda_2 \cdot L}{\ln d_3/d_2} \cdot (T_2 - T_3) + \varepsilon_{red2} \cdot C_c \cdot \left[\left(\frac{T_2}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_3}{100} \right)^4 \right] \cdot A_2$$

$$\dot{Q} = \alpha_o \cdot A_3 \cdot (T_3 - T_o) + \varepsilon_{red3} \cdot C_c \cdot \left[\left(\frac{T_3}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_o}{100} \right)^4 \right] \cdot A_3$$

Srednja specifična entalpija kondenzata određuje se izrazom:

$$h_{sr} = \frac{m_{k,pr.} \cdot h_{k,pr.} + m_{k,pu.} \cdot h_{k,pu.} + m_{k,od.} \cdot h_{k,od.}}{m_{k,pr.} + m_{k,pu.} + m_{k,od.}} = 707.33 \left[\frac{kJ}{kg} \right]$$

3. Način korišćenja otpadnog kondenzata

Postrojenje za korišćenje otpadnog kondenzata koji nastaje pri proizvodnji kalcijum silikatne opeke predstavljeno je na sl. 2. Na osnovu raspoložive količine toplote sadržane u fizičkoj toploti čistog kondenzata i poznatih toplotnih kapaciteta aparata, odabrano je tehničko rešenje koje omogućava korišćenje ukupne raspoložive količine toplote za predgrevanje hemijski pripremljene napojne kotlovske vode i indirektno zagrevanje reaktora.

Čist kondenzat iz autoklava promenljivog pritiska (sl. 2.) se postojećim cevovodom upušta u otparivač u kome je minimalni manometarski pritisak 0.15 MPa. Preko dva zvonasta odvajača kondenzata kondenzat iz otparivača se uvodi u razmenjivač toplote voda-voda koji omogućava predgrevanje napojne kotlovske vode u periodu povećanja pritiska u autoklavu za $\Delta t_1 = 61\text{ }^{\circ}\text{C}$. Kondenzat iz razmenjivača toplote temperature $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ se odvodi u postojeći sabirnik kondenzata.

Vodena para iz otparivača se preko regulatora pritiska koji omogućava održavanje definisanog manometarskog pritiska u otparivaču i termostatski regulacionog ventila upušta u razmenjivač toplote para-voda uslovljavajući naknadno zagrevanje napojne kotlovske vode za $27\text{ }^{\circ}\text{C}$. Posle pothlađivanja, stvoreni kondenzat se odvodi u sabirnik.

Višak vodene pare iz otparivača (sl. 2.) manometarskog pritiska 0.2 MPa se koristi za indirektno zagrevanje reaktora.

Razmatrana su i alternativna, ekonomski jeftinija rešenja, sa održavanjem višeg pritiska u otparivaču ali nisu prihvaćena zbog:

- neophodnosti rekonstrukcije odnosno zamene termičkih odvajača kondenzata na autoklavima,
- diskontinualnog izliva kondenzata u periodu maksimalnog protoka napojne kotlovske vode,
- problema pražnjenja autoklava pri prestanku rada kotla.

U okviru predloženog tehničkog rešenja, koristi se i otpadni kondenzat iz otparivača za kontinuirano odsoljavanje kotla. Otpadni kondenzat se uvodi u razmenjivač toplote voda-voda uslovljavajući pri maksimalnom protoku napojne kotlovske vode povećanje temperature za 4 °C.

4. Efekti korišćenja otpadne toplote kondenzata

Rezultati materijalnog i toplotnog bilansa i pozitivni efekti povećanja energetske efikasnosti postrojenja za proizvodnju kalcijum silikatnih opeka korišćenjem otpadne toplote kondenzata predstavljeni su u tabeli 3.

Tabela 3. Materijalni i toplotni bilans postrojenja za korišćenje otpadne toplote kondenzata

Maseni protok napojne vode	kg/h	3334	3500	4000
Maseni protok kondenzata	kg/h	2924	3090	3590
Maseni protok čistog kondenzata	kg/h	2322.00	2453.82	2850.88
Srednja specifična entalpija kondenzata	kJ/kg	707.33	707.33	707.33
Raspoloživa količina toplote kondenzata	kJ	1253253.06	1324402.17	1538706.73
Maseni protok pare (p = 0.2MPa)	kg/h	156.61	165.50	192.29
Maseni protok vode (p = 0.2 MPa)	kg/h	2165.39	2288.32	2658.60
Količina toplote sadržana u vodenoj pari	kJ	118.55	125.28	145.55
Količina toplote sadržana u vodi	kJ	337.68	356.85	414.59
Količina toplote za grejanje napojne kotlovske vode	kJ	348.90	366.28	418.60
Priraštaj temperature u razmenjivaču 1	°C	8.95	8.52	7.46
Priraštaj temperature u razmenjivaču 2	°C	58.45	58.84	59.82
Priraštaj temperature u razmenjivaču 3	°C	25.88	26.05	26.48

Potrošnja goriva	kg/h	260.84	273.82	312.94
Ušteda goriva	kg/h	36.46	38.28	43.75
Ušteda goriva za 1 mesec	kg/mesec	19253.09	20211.70	23099.08

Rezultati predstavljeni u tabeli 3. pokazuju da se korišćenjem fizičke toplote otpadnog kondenzata za predgrevanje napojne kotlovske vode i rad reaktora za proizvodnju kalcijum silikatne opeke, smanjuje potrošnja goriva po jedinici proizvoda za $\sim 14\%$. Istovremeno, smanjuje se i potrošnja hemijskih jedinjenja koja se koriste za pripremu napojne kotlovske vode.

5. Zaključak

Rezultati izloženi u predhodnim tačkama pokazuju da se korišćenjem otpadne toplote kondenzata, otpadnog kondenzata otparivača za kontinualno odsoljavanje kotla i naknadno korišćenje otpadnog kondenzata u mešalicama sirovine, energetska efikasnost postrojenja za proizvodnju kalcijum silikatne opeke povećava za 15.4% .

Tehnoekonomska analiza predloženog tehničkog rešenja (sl. 2), pokazuje da je amortizacioni period otplate uložениh sredstava u rekonstrukciju postrojenja 7.4 meseca. Istovremeno, sve komponente neophodne za realizaciju predloženog tehničkog rešenja se mogu proizvesti u našoj zemlji.

6. Spisak korišćenih oznaka

$m_{k,pr.}$ [kg] - masa kondenzata nastalog prepuštanjem,

$m_{k,pu.}$ [kg] - masa kondenzata nastalog u procesu punjenja autoklava,

$m_{k,od.}$ [kg] - masa kondenzata nastalog održavanjem autoklava na radnom pritisku,

$h_{k,pr.}$ [kJ/kg] - specifična entalpija kondenzata nastalog prepuštanjem,

$h_{k,pu.}$ [kJ/kg] - specifična entalpija kondenzata nastalog u procesu punjenja autoklava,

$h_{k,od.}$ [kJ/kg] - specifična entalpija kondenzata nastalog održavanjem autoklava na radnom pritisku

ε - koeficijent emisije ekranske površine i

C_c [W/m²K⁴] - konstanta zračenja apsolutno crnog tela.

7.Literatura

- [1] BRZAKOVIĆ, P.: Priručnik za proizvodnju i primenu građevskih materijala nemetaličnog porekla, ORION ART, Beograd, 2000.
- [2] KARAMARKOVIĆ, V., GAŠIĆ, M.: *Primena rekuperativnih i regenerativnih razmenjivača korišćenje fizičke toplote gasovitih produkata*, Zbornik radova, Mašinski fakultet Kraljevo, 1995.
- [3] VASILJEVIĆ, B., KOZIĆ, Đ., BEKAVAC, V.: *Priručnik za termodinamiku*, Mašinski fakultet, Beograd, 1995.