Strojniški vestnik - Journal of Mechanical Engineering 57(2011)12, SI 188

Prejeto: 15.03.2011
Sprejeto: 28.07.2011

Simulacija membranskega reaktorja za konverzijo CO z vodno paro za kombinirano plinsko-parno elektrarno z uplinjevalnikom in zajemom CO_2

Andrej Lotrič[1,*] – Mihael Sekavčnik[1] – Christian Kunze[2] – Hartmut Spliethoff[2]

[1]Univerza v Ljubljani, Fakulteta za strojništvo, Slovenija
[2]Tehnična univerza München, Fakulteta za strojništvo, Nemčija

Obravnavan je model membranskega reaktorja za konverzijo CO z vodno paro (WGSMR – Water-Gas Shift Membrane Reactor) v kombinirani plinsko-parni elektrarni z uplinjevalnikom (IGCC – Integrated Gasification Combined Cycle) in zajemom CO_2. Z uporabo uplinjanja premoga je prikazana tehnologija pridobivanja sinteznega plina za pogon plinsko-parnih postrojenj. Namen integracije membranskega reaktorja v IGCC postrojenje je pridobivanje H_2 iz sinteznega plina z uporabo WGS reakcije. Sintezni plin v večini sestavljajo CO, H_2, H_2O in CO_2, z WGS reakcijo pa lahko CO pretvorimo v H_2 in CO_2. Proces konverzije CO poteka tako, da sintezni plin vstopa v reaktor na zaporno stran membrane, ki prepušča samo H_2. V sinteznem plinu vsebovan H_2 in H_2, ki nastaja pri konverziji, prehaja na prepustno stran membrane, kjer ga iz reaktorja potiska odnašalni plin (navadno N_2). Tehnologija pridobivanja H_2 iz sinteznega plina z membranskim reaktorjem ima v primerjavi s klasičnim WGS reaktorjem več prednosti, kot so višja temperatura in tlak procesa, boljša konverzija CO, spontano ločevanje H_2 znotraj samega reaktorja in manjši investicijski stroški reaktorja, ker združuje več funkcij v eni sami enoti. Kinetiko kemičnih reakcij v reaktorju, pri procesu konverzije CO v H_2 in v CO_2, smo popisali z uporabo »Bradfordovega« mehanizma. Ta mehanizem predpostavlja, da WGS reakcija poteka preko štirih elementarnih reakcij. Najpočasnejša od teh reakcij določa hitrost, s katero poteka celotna reakcija. Na osnovi eksperimentalnih podatkov, pridobljenih iz literature, in začetnih ter robnih pogojev smo model reaktorja popisali v programskem jeziku Mathematica. Tako smo izračunali konverzijo CO in prepustnost vodika skozi membrano. Skupaj z začetnimi in robnimi pogoji sta ta parametra tvorila osnovo za izdelavo modela membranskega reaktorja v programskem okolju Aspen Plus. Ta model je izdelan tako, da bo lahko kot element integriran v simulacijo celotnega IGCC sistema. Izračuni so pokazali, da bi bila membrana s prepustnostjo vsaj $k' = 3 \cdot 10^{-4}$ mol m^{-2} s^{-1} $Pa^{-0,5}$ zadostna, ker bi bil proces konverzije CO omejen s hitrostjo reakcije in ne s prepustnostjo H_2 skozi membrano. Ugotovljeno je, da bi membrana s prepustnostjo slabšo za en red dosegla le 50 % konverzijo CO, ker bi bil proces omejen s prepustnostjo skozi membrano. Na podlagi izbranih robnih pogojev model membranskega reaktorja napove, da je možno doseči 89,1 % konverzijo CO. S povečanjem dolžine reaktorja za 75% in povečanjem pretoka odnašalnega plina, ter s tem zmanjšanje molskega deleža H_2 na prepustni strani membrane na $x_{H2} = 0,45$, je lahko dosežena 92,3% konverzija CO. Z ekonomskega stališča povečanje konverzije CO ne bi opravičevalo tako velikega reaktorja. Analiza spreminjanja absolutnega tlaka na prepustni strani membrane je pokazala, da je kompromis med konverzijo CO in rabo energije za kompresijo zmesi H_2/N_2, pred vstopom v gorilnik plinske turbine, potrebno še podrobneje raziskati. Specifična raba energije nakazuje, da bi bilo smiselno povečati absolutni tlak na prepustni strani membrane na 2 bar, kar pa bi imelo posledice na druge parametre v sistemu. To možnost je potrebno podrobneje raziskati, da se preuči vpliv na celoten sistem. V izdelanem modelu se plin na zaporni strani membrane vodi na katalitični zgorevalnik, kjer se CO, H_2S in H_2, ki ni uspel preiti skozi membrano, zgorijo in ustvarijo toploto, ki se lahko uporabi v drugih procesih. Po zgorevanju dimni plini od žveplenih spojin vsebujejo samo še SO_2, ki se lahko odstrani s konvencionalnimi tehnologijami razžveplevanja. WGSMR je tehnološko izvedljiv vendar je še mnogo vprašanj, ki jih je potrebno razrešiti. Membrana mora obdržati svoje strukturne lastnosti in prepustnost pri izbranih obratovalnih pogojih. Če pri teh pogojih ne bo prenesla kislega okolja, bo potrebno čiščenje sinteznega plina. Zagotovljeno mora biti ustrezno hlajanje reaktorja, da se prepreči pregrevanje reaktorja in da se zagotovi izotermno obratovanje reaktorja.

©2011 Strojniški vestnik. Vse pravice pridržane.

Ključne besede: uplinjanje premoga, kombinirana plinsko-parna elektrarna z uplinjevalnikom, reakcija vodnega plina, membranski reaktor, Aspen Plus, zajem CO_2

*Naslov avtorja za dopisovanje: Univerza v Ljubljani, Fakulteta za strojništvo, Laboratorij za termoenergetiko, Aškerčeva 6, 1000 Ljubljana, Slovenija, andrej.lotric@gmail.com