

U V O D

Aparati za razmenu toplote nisu tehnički komplikovani. Broj pozicija sklopa aparata retko prelazi 30, pri čemu se pozicije najčešće rade od polufabrikata, kao što su cevi, ploče, limovi i sl. Tehnologija i oprema za izradu ovih aparata najčešće je jednostavna i jeftina, mada se u masovnoj proizvodnji pojedinih pozicija ili celih aparata pojavljuju specijalne mašine, kao na primer, u proizvodnji ploča pločastih razmenjivača toplote.

Oni nemaju nikakvih mehaničkih pogona niti okretnih delova, već se strujanje fluida u procesu ostvaruje standardnim pogonima izvan aparata, ili prirodnim putem na bazi razlika u gustinama. Primena ovih aparata, koje se nazivaju razmenjivači toplote, široko je rasprostranjena u raznim tehnološkim procesima.

Osnovni problem u primeni ovih aparata je složenost određivanja izlaza iz njih ili određivanje optimalne konstrukcije koja obezbeđuje zahtevani izlaz. Naime, vizuelni izgled, gabarit, pa čak i raspoloživi podaci o osnovnoj geometriji nisu dovoljni za saznanje o mogućnostima aparata. Površina razmene, koja se najčešće javlja kao parametar veličine aparata, nije dovoljan podatak za donošenje odluke o upotrebi aparata.

Teškoće koje nastaju u izboru ovih aparata posledica su složenih procesa razmene toplote. U postupku primene ovih aparata, pored poznavanja mehanizma razmene toplote, potrebno je poznavati i tehnološki proces koji se obavlja pomoću razmenjivača toplote, kao i konfiguraciju strujanja i geometrijske uticaje na dobijanje optimalne konstrukcije.

Savladvanje navedenih teškoća postiže se dizajnom, termičkim, strujnim i mehaničkim proračun razmenjivača toplote, kao i optimizacijom konstrukcije aparata na osnovu postavljenih kriterijuma.

Dizajniranje aparata za razmenu toplote

Različite konstrukcije razmenjivača toplote u tehnološkom procesu u kome su isti ulazni parametri, mogu imati isti odziv, odnosno postići iste izlazne parametre. Ta činjenica ukazuje da geometrija aparata ne može biti određena samo na osnovu ulaza i izlaza iz sistema.

Posledica navedene neodređenosti je pojava velikog broja različitih konstrukcija ovih aparata. Među njima postoji jedna grupa tzv. dobošasti razmenjivači toplote, koji imaju najširu primenu u svim procesima i koji su najviše istraženi, standardizovani i najjednostavniji za izradu.

Ovi razmenjivači imaju dva osnovna sklopa, cevni registar i doboš ili omotač u koji se registar postavlja. Prednost ovih razmenjivača je u korišćenju široko rasprostranjenih standardnih polufabrikata i jednostavan tehnološki postupak izrade, što omogućava malu razliku u ceni za velike i male proizvođačke serije ili unikatne proizvode. Razmena toplote kod ovih aparata obavlja se preko cevnog snopa sa jednog na drugi radni fluid.

Alternativa cevnoj površini razmene je razmenjivačka ploča, koja ima veću površinu razmene za istu jedinicu mase, ali je tehnologija izrade razmenjivačkih ploča složenija. Zahvaljujući visokoj tehnologiji, internoj standardizaciji i velikim serijama, cena razmenjivačkih ploča je znatno opala pa je konkurencija pločastih razmenjivača značajno porasla u mnogim oblastima primene. Prosečni padovi pritiska, odnosno troškovi energije u eksploataciji veći su kod pločastih razmenjivača toplote u odnosu na dobošaste razmenjivače istog ulaza i izlaza. Pri višim radnim pritiscima, dobošasti razmenjivači imaju izrazito veću pouzdanost. Međutim, pločasti razmenjivači imaju manje dužine i jednostavno se rasklapaju i čiste.

Utvrđivanje veze odziva i geometrije aparata zahteva pouzdane proračune. Dobrim dizajnom aparata mogu se ostvarivati veće snage razmene toplote i bez povećanja gabarita i težine aparata, odnosno cene razmenjivača toplote. Najosetljivije mesto u postupku proračuna je proces prelaza toplote konvekcijom od jednog fluida ka drugom preko kontaktne površine aparata, jer ne postoje univerzalni i opšteprihvaćeni postupci određivanja koeficijenta prelaza toplote za sve uslove. Nuseltov broj koji karakteriše ovaj fenomen zavisi od brzine strujanja, svojstava fluida i geometrije aparata. Eksperimentalni radovi u ovoj oblasti imaju dvostruki cilj: da što tačnije kvantitativno opišu proces i da otkriju uslove i konstrukcije pri kojima raste intenzitet procesa razmene. Empirijske jednačine prelaza toplote zavise od vrste strujanja i vrednosti Rejnoldsovog broja i nemaju univerzalni karakter.

Utjecaj radnih fluida na intenzitet razmene toplote uglavnom se odražava preko njihova četiri svojstva na srednjoj temperaturi ulaza i izlaza: specifičnog toplotnog kapaciteta, gustine, toplotne provodljivosti i viskoznosti. Za fluide koji imaju značajnu promenu navedenih svojstava od temperature, mora se izvršiti tzv. iterativni proračun, odnosno približavanje ka rešenju postupkom poređenja pretpostavljene i izračunate veličine.

Ova praktična proračunska teškoća obavljanja velikog broja ponavljajućih operacija otklanja se primenom računara (tabelarne ili integralne aplikacije). Međutim, ostaje problem softverskih grešaka, jer se primenom aplikacija posmatra samo rezultat, a greške postupka se ne vide i teže se otkrivaju.

Strujni i mehanički proračun aparata kojima se određuju potrebna pogonska energija i izdržljivost konstrukcije, mogu imati povratni uticaj na izabranu geometriju, ako se njihovi uticaji postave kao granični uslovi.

Metodologija proračuna razmenjivača toplote

Proračun razmenjivača toplote je složen postupak koji se sastoji iz više faza, međusobno povezanih, koje treba da dovedu do geometrije i tehničke dokumentacije za izradu. Proračun može imati sledeći redosled:

- a) projektni zadatak ili režim rada razmenjivača toplote,
- b) termički ili toplotni proračun razmenjivača toplote,
- c) hidraulički ili strujni proračun razmenjivača toplote,
- d) mehanički proračun ili proračun čvrstoće aparata,
- e) optimizacija ili proračun minimalnih troškova aparata.

a) Projektni zadatak ili režim rada razmenjivača toplote

Pod režimom rada razmenjivača toplote podrazumeva se skup zadatih uslova u kojim aparat treba da radi u eksploataciji. Pored toga, mogu se ustrojiti i granični kriterijumi, koji predstavljaju granice sistema u pogledu pogonske energije, gabarita ili tehnologije rada.

Osnovni režim rada razmenjivača toplote čine:

1) Definisani radni fluidi: naziv, sastav i termodinamičke veličine stanja u području radnih temperatura (specifični toplotni kapacitet, gustina, koeficijent toplotne provodljivosti i kinematska ili dinamička viskoznost).

2) Radne temperature primarnog i sekundarnog fluida na ulazu u razmenjivač toplote.

3) Maseni ili zapreminski protoci radnih fluida. Često se protoci radnih fluida zadaju preko toplotne snage aparata i izlaznih temperatura radnih fluida. Protoci se računaju $m = Q/(c \Delta t)$, odnosno $V = Q/(c \rho \Delta t)$,

gde je Δt promena temperature radnog fluida, a termodinamičke veličine stanja se uzimaju za srednju aritmetičku vrednost temperature radnog fluida na ulazu u aparat i izlazu i njega.

Potrebno je znati da li se zadata toplotna snaga i izlazne temperature odnose na čist ili zaprljan aparat. Ako se zadata toplotna snaga odnosi na čist aparat, tokom vremena toplotna snaga će opadati usled zaprljanja, a izlazne temperature će se promeniti. Ako se toplotna snaga odnosi na dozvoljeno zaprljan aparat, onda će aparat davati veću toplotnu snagu sve do stanja zaprljanja. Da bi se definisao potpuni režim rada, moraju se zadati i faktori koji određuju zaprljanje površina razmene toplote.

4) Radni, odnosno maksimalno dozvoljeni pritisci fluida.

Granični kriterijumi pri izradi i eksploataciji aparata mogu biti:

1) dozvoljeno zaprljanje površine razmene sa unutrašnje i spoljašnje strane cevi (što definiše period između dva čišćenja aparata);

2) promena temperatura radnih fluida u funkciji vremena ili spoljne temperature (klizanje ili kontrolni režim rada razmenjivača toplote);

3) zahtevani (iz tehnoloških razloga) raspored fluida u aparatu;

4) raspoloživi pad pritiska koji se može dopustiti u razmenjivaču toplote sa primarne i (ili) sekundarne strane;

5) gabariti konstrukcije, kao uslov smeštaja, što se pre svega odnosi na raspoloživu dužinu aparata;

6) zahtevani materijali cevnog registra i plašta razmenjivača toplote u zavisnosti od agresivnosti radnih medijuma i tehnologije čišćenja aparata.

Granični kriterijumi najčešće su suprotni zahtevima ekonomičnosti, jer utiču na poskupljenje proizvoda. Ako je režim rada razmenjivača definisan na prethodni način, onda se može uvesti pojam kontrolisanog područja rada razmenjivača toplote. To područje obuhvata opseg radni – kontrolni režim i čist – zaprljan aparat. Pri promeni bilo kojeg parametra režima rada razmenjivača izvan kontrolisanog područja neophodna je provera teričkog proračuna.

b) Termički ili toplotni proračun razmenjivača toplote

Termičkim proračunom potrebno je odrediti izlazne vrednosti, odnosno odziv sistema za poznati aparat ili geometriju aparata za poznati odziv sistema. Tako postoje dve vrste proračuna i to: rejting i dizajn problem.

Rejting problem je proračun odziva razmenjivača toplote poznate geometrije. U ovom slučaju poznate su sve veličine na ulazu u aparat i geometrija aparata, a određuje se izlaz iz aparata. Proračun je jednozna-

čan, odnosno za poznati ulaz odziv sistema ima samo jednu vrednost. Ovim postupkom za poznat aparat određuje se nivo izlaza u odnosu na ulaz. Rejting problem se može nazvati i kontrolnim proračunom aparata.

Dizajn problem može se nazvati i oblikovanje aparata, mada on podrazumeva pored konstrukcije aparata i mehanizam strujanja fluida u aparatu. Poznate su sve veličine na ulazu u aparat i izlazu iz njega, a potrebno je odrediti geometriju aparata, površinu razmene i konfiguraciju strujanja.

Ovaj proračun nije jednoznačan, odnosno postoji više kombinacija geometrijskih veličina sa istim odzivom sistema. Koja će geometrija biti usvojena, zavisi od graničnih kriterijuma i tehno-ekonomske analize, odnosno optimizacije.

Termički proračun se mora izvoditi postupkom iteracija zbog toga što se veličine stanja radnih fluida uzimaju za srednju vrednost ulazno-izlaznih temperatura, a izlazne temperature nisu poznate. Iterativni postupak se sprovodi tako što se veličine stanja uzimaju u prvoj iteraciji za ulazne temperature radnih fluida. Posle određivanja izlaznih temperatura u drugoj iteraciji se veličine stanja uzimaju za srednje aritmetičke vrednosti ulaznih i izlaznih temperatura iz prve iteracije. Broj iteracija je određen tolerancijom razlike izlaznih temperatura radnih fluida dve uzastopne iteracije.

c) Hidraulički ili strujni proračun razmenjivača toplote

Hidraulički proračun razmenjivača toplote podrazumeva proračun pada pritiska na strani primarnog i sekundarnog fluida. Pad pritiska se računa za razmenjivač toplote definisane geometrije. Osnovne veličine koje utiču na vrednost pada pritiska su konfiguracija i brzina strujanja. Ako je zadat maksimalni dozvoljeni pad pritiska u razmenjivaču, kao granični kriterijum, onda se vrši korekcija toplotnog proračuna tako što se smanjuju brzina strujanja ili broj prolaza, ukoliko izračunati pad pritiska ima veću vrednost od zadanog. Ovakav postupak u termičkom i strujnom proračunu, s obzirom na potreban broj iteracija, veoma je dug. Međutim, upotrebom računara proračun se obavlja veoma brzo.

d) Mehanički proračun ili proračun čvrstoće aparata

Ovaj proračun se obavlja tokom termičkog proračuna i na kraju kada je konačno usvojena geometrija razmenjivača. Proračun predviđa određivanje debljine upotrebljenih limova, danaca i cevi, kao i zavarenih spojeva u smislu bezbednosti od deformacija i havarije usled dejstva unutrašnjih pritisaka. Postupak proračuna je najčešće propisan standardima i podleže kontroli od strane nadležne inspekcije ako je, za

date uslove, razmenjivač toplote posuda pod pritiskom. Po završetku mehaničkog proračuna rade se grafička dokumentacija, sklopni crtež aparata i potrebni radionički detalji za izradu razmenjivača toplote. Ako je aparat sud pod pritiskom, u skladu sa propisima potrebno je pripremiti odgovarajuću zbirku isprava uz proizvod.

e) Optimizacija ili minimalna cena razmenjivača toplote

Utvrđivanje konačne geometrije razmenjivača toplote zahteva optimiziranje konstrukcije i strujne konfiguracije u smislu tehnologije izrade, domena primene i cene aparata.

Optimizacijom se postiže konkurentna cena, uz zadovoljavanje svih parametara tehnologije rada. Ukoliko nema ograničavajućih uslova, uvek, sa stanovišta niže cene aparata, treba birati razmenjivač toplote manjeg prečnika a veće dužine. Što se tiče cevnog registra, najpovoljniji su prečnici cevi 10 – 20 mm. Navedena preporuka je bazirana na osnovu tehnološko-tehničkih parametara. Naime, cena obrade raste sa brojem otvora u cevnoj ploči i njenim prečnikom. Mali prečnici cevi su podložni zapušavanju i teško se čiste, dok kod velikih prečnika cevi raste jedinična težina cevi po jedinici površine, a takođe raste i minimalni prečnik savijanja, što povećava bazni presek aparata.