

ARGUMENT

PROCESUL DE VAPORIZARE

Vaporizarea apei în cazan este strâns legată în fluxul de căldură care trece prin perețele țevilor vaporizatoare. Acesta este determinat de diferența de temperatură între perețele țevii și apa care circulă în interiorul ei, precum și de rezistența față de schimbul termic global prin perete. Coeficientul de convecție termică, de la perețele interior al țevilor de apă de fierbere, este unul din factori. Se depinde de modul de vaporizare. Acestea pot fi caracterizate grafic ca în figura 2 pentru un tub încălzit prin care curge agentul termic.

Fiecare punct al graficului reprezintă un anumit regim de funcționare al tubului. În abscisă este trecută diferența de temperatură, $t_p - t_j$ între perete și agentul termic.

La diferența de temperatură, cărora le corespunde un flux termic. La diferența de temperatură cărora le corespund fluxurile termice, de pe porțiunea A-B a curbei reprezentativ aparatului de căldură este prea mic pentru a se realiza vaporizarea apei.

Fluxurile termice reprezentate prin punctele de pe porțiunea B-S produc un fenomen de fierbere locală.

Pe pereții tubului se formează bule de vapori, care se condensează.

Fluxurile termice corespunzătoare porțiunii S-C sunt suficient de mari pentru a produce bule de vapori, respectiv vaporizarea în întreaga masă a apei.

Vaporizarea descrisă numită globular este caracterizată printr-un coeficient de transfer termic foarte ridicat. Din acest motiv diferența de temperatură între perete și fluid este mică. Când fluidul termic este mai mare, bulele de vapori de pe perețele tubului formează o particulă de abur coeficient de transfer termic scăzut. Pentru porțiunea C-D fiecare are un caracter de tranziție. Punctul C se numește punctul de deviere de la vaporizarea globală, iar punctul D, în care fierberea devine net. Temperatura peretelui tubului crește foarte repede. Între punctele D-E vaporizarea peliculară este nestabilă, iar pentru punctele situate după E este stabilă. Se subliniază faptul că în figura 2 se corectează natura fierberii în funcție de mărimea fluidului termic.

Se observă că la vaporizarea peliculară, temperatura peretelui țevii este ridicată și astfel materialul este puternic solicitat.

Este posibil ca la creșterea fluxului termic peste linia de calcul, solicitarea să crească până la o valoare care să determine fisurarea țevii.

Fisurarea în zona C D E nestabilă este de asemenea periculoasă prin variația oscilatorie a solicitării care are ca efect determinarea stratului protector de magneziu de pe suprafața interioară a țevii. Cazanele de abur la care circulă numai o parte din apa de-a lungul suprafeței de încălzire se transformă în apă, iar restul în abur, iar restul de recirculat, se numește cazane cu circulație multiplă. Dacă întreaga cantitate se transformă în abur, atunci cazanul se numește cu circulație unică sau cu străbatere forțată.

La cazanele cu circulație multiplă se realizează prin concepție o vaporizare globulară. La cazanele cu străbatere forțată se produce în ultima parte a vaporizatorului, vaporizarea de natură peliculară.

Circulația apei

Debitul de abur în suprafețele de vaporizare ale cazanului este înlocuit în permanență cu un debit egal de apă. Circulația apei prin elementul suprafeței de încălzire a apei este naturală sau forțată. Circulația naturală este produsă de diferența de cantitate între fluidele cuprinse în două ramuri de circulație, iar circulația forțată este produsă în ajutorul unei pompe.

Debitul de apă G , care circulă prin elementele suprafeței de vaporizare se compune din debitul introdus în cazan și de debitul de apă recirculat.

Raportul între debitul de apă G , și debitul de apă D , produse se numește multiplu de circulație, n :

$$N = G : D$$

Multiplu de circulație are valori de 10-40 în cazanele de circulație naturală de 4-12 în cazanele cu străbateră forțată și 1 în cazanele cu străbateră forțată. În figura 3 este prezentată schema simplificată a circulației apei într-un cazan de abur cu circulație naturală. Circuitul se compune dintr-un tambur cazan superior 1 și un tambur sau colector inferior 3, legate între ele prin țevile de urcare 4 și de coborâre 2.

Pentru generalizare se propune ca atât prin țevile de urcare cât și prin cele de coborâre trece un flux termic. Țevile de urcare primesc un flux q_u iar cele de coborâre de un flux q_c , $q_u > q_c$ în construcțiile moderne $q_c = 0$.

În țevile de urcare densitatea amestecului apă-vapori, apă- q_u este mai mică decât densitatea apei din țevile de coborâre P_c datorită acestei diferențe de densitate se creează o circulație caracteristică prin mărimea $\Delta p = H[\rho_c - \rho_u] \times g$, numită presiunea de circulație a conturului, H fiind înălțimea conturului, iar G fiind accelerația gravitației.

Aplicând ecuația continuității se obține relația:

$$S_u \times W_u \times P_u = S_e \times P_c$$

În care:

S – secțiunea de trecere m²

W – viteza fluidului n m/s

P – densitatea fluidului în Kg/m³

U – indice afectat ramurii urcătoare

C – indice ramurii coborâtoare

Pe baza acestei relații poate fi dezvoltat calculul vitezelor în țevile urcătoare și în țevile coborâtoare. Viteza bulelor de abur este mai mare decât viteza apei. Diferența între cele două viteze se numește viteză relativă, calculul circulației se efectuează ținând seama de faptul că amestecul din țevi este neomogen, fiecare fluid având o viteză proprie și o secțiune proprie. Diferența totală de presiune ΔP_{st} și scăderea de presiune ΔP_p care i-a naștere din circulație:

$$\Delta P = \Delta P_{st} \pm \Delta P_t$$

Semnul + corespunde țevilor urcătoare, iar semnul – țevilor coborâtoare. Se trasează diagramele care reprezintă separat pentru țevile urcătoare și separarea pentru țevile coborâtoare, diferența de presiune Δj la capetele țevilor în funcție de debitul de apă G ca în figura 4. Aceste diafragme sunt valabile pentru un anumit debit de abur Δ la capătul țevilor.

Vaporizatoare și transformatoare de abur

Vaporizatoarele sunt aparate utilizate pentru fierberea unor soluții lichid-solid, fie pentru concentrarea lor, sau chiar depunerea și eventual, cristalizarea componentei solide, fie pentru obținerea lichidului pur.

În principiu, vaporizatorul este un schimbător de căldură, cel mai adesea de suprafață, în care căldura cedată de agentul primar este utilizată pentru încălzirea și fierberea soluției – agentul secundar.

Transformatoarele de abur sunt aparate folosite pentru producerea de abur secundar, la alți parametri decât cei ai aburului disponibil. Constructiv și funcțional sunt asemănătoare vaporizatoarelor, motiv pentru care nu vor fi tratate separat.

Ca **agent primar** se folosește, în majoritatea cazurilor, aburul, datorită proprietăților termice superioare. Atunci când sunt necesare temperaturi ridicate, se pot folosi gaze de ardere sau ulei fierbinte.

Agentul secundar este o soluție lichidă care conține componenta care trebuie separată. În industria chimică, componenta ce interesează este o substanță solidă sau lichidă, dizolvată într-un solvent oarecare, în particular, apa; atunci când recuperarea solventului nu interesează sau nu este economică, vaporii acestuia sunt evacuați în atmosferă. În instalațiile mari, debitul de vaporii de solvent este mare și evacuarea lui în atmosferă ar duce la pierderi considerabile de căldură; în această situație, ce mai mare parte din căldură conținută de vaporii secundari (sau, cel puțin, căldura latentă) este recuperată, ei fiind folosiți ca agent primar pentru o a doua treaptă de vaporizare sau pentru preîncălzirea soluției. În centralele termoelectrice, instalațiile de vaporizare sunt folosite pentru distilarea termică a apei de adaos din circuitul apă-abur, în acest caz, vaporii de apă rezultați la ieșirea vaporizatorului sunt condensați și introduși în circuitul termic, iar soluția, cu concentrație mare de săruri, este evacuată la canal.

Clasificarea instalațiilor de vaporizare

Funcție de caracteristicile constructive și funcționale, vaporizatoarele și transformatoarele de abur se pot clasifica în mai multe moduri.

După presiunea din camera de vaporizare există vaporizatoare cu suprapresiune (presiunea este mai mare decât cea atmosferică), atmosferice și cu depresiune (presiunea este sensibil mică decât cea atmosferică). Cele mai utilizate sunt vaporizatoarele cu suprapresiune sau atmosferice; vaporizatoarele cu depresiune, deși utilizează mai bine căldura agentului primar și au un consum termic mai mic, se folosesc numai atunci când soluția se degradează la temperaturi ridicate, deoarece necesită instalații complicate pentru crearea și menținerea depresiunii.

După regimul de funcționare deosebim aparate cu acțiune continuă și aparate cu acțiune alternativă. Vaporizatoarele cu acțiune continuă sunt alimentate neîntrerupt cu soluție diluată, iar evacuarea soluției concentrate și a vaporilor secundari se face, de asemenea, în mod continuu. Vaporizatoarele cu acțiune alternativă sunt încărcate, la începutul intervalului de funcționare, cu soluție diluată, după care nu se mai introduce soluție, ci doar se evacuează continuu vaporii secundari; descărcarea soluției concentrate se face la sfârșitul intervalului de funcționare, când s-a stins concentrația dorită. Vaporizatoarele cu acțiune intermitentă se folosesc numai pentru concentrarea unor cantități mici de soluție sau atunci când vâscozitatea soluției concentrate este ridicată, nepermițând evacuarea ei prin pompare; de asemenea, se mai folosesc atunci când din celelalte situații este recomandată folosirea vaporizatoarelor cu acțiune continuă, ele fiind superioare din punct de vedere termic.

După natura agentului de încălzire există vaporizatoare încălzite cu abur (variantele ce mai răspândite), cu gaze de ardere, cu ulei sau apă fierbinte.

După modul de circulație a soluției în interiorul aparatului, există vaporizatoarele cu circulație naturală (datorită diferenței de greutate specifică între soluția rece și cea în fierbere) și cu circulație forțată (circulația este accelerată cu ajutorul unei pompe).

În cazul prelucrării unor debite mari de soluție, pentru o mai bună utilizare a căldurii agentului primar și, corespunzător, pentru reducerea debitului acestuia, se folosesc instalații de vaporizare în mai multe trepte, obținute prin cuplarea mai multor vaporizatoare. După modul de deplasare relativă a vaporilor încălzitori și a soluției, instalațiile de vaporizare în mai multe trepte pot fi: cu legare serie în echicurent (figura 1.41.a), contracurent (b) și mixt (c), sau cu legare în paralel (d).

Desen

Instalațiile de vaporizare cu legare serie în echicurente se caracterizează printr-un consum de căldură mai mic decât celelalte variante, datorită faptului că soluția părăsește instalația cu o temperatură coborâtă (presiunea de vaporizare se micșorează treptat, spre ultima treaptă); acest avantaj constituie, însă, un inconvenient atunci când soluția concentrată își mărește vâscozitatea cu scăderea temperaturii. Din acest motiv, pentru substanțe cu vâscozitate cu scăderea temperaturii. Din acest motiv, pentru substanțe cu vâscozitate ridicată se folosește legarea serie contracurent sau mixtă, iar pentru realizarea circulației soluției între trepte se prevăd pompe de circulație.

Instalația de vaporizare cu legare în paralel se utilizează pentru soluții care pot cristaliza și când nu este necesară o concentrare prea pronunțată.

Tipuri constructive de vaporizare

În ce privește construcția vaporizatoarelor, se întâlnește un număr mare de variante, determinate de destinație, compoziția și caracteristicile soluției, regimul de funcționare. Se poate face o distincție între aparatele cu funcționare continuă și cele cu funcționare intermitentă.

Vaporizatoare cu acțiune alternativă

Aceste aparate sunt, în general, de două tipuri: cu încălzire în manta (figura 1.42) și cu serpentine de încălzire (figura 1.43).

Desene

Vaporizatoarele cu încălzire în manta au camera de vaporizare 1, cu pereți dubli; în interiorul ei, la partea inferioară, se află soluția ce se vaporizează, încărcată pe la partea superioară. Vaporii secundari sunt evacuați în mod continuu prin racordul 4, iar soluția concentrată se evacuează prin ștuțul 7, la sfârșitul intervalului de vaporizare, când s-a ajuns la concentrația dorită. Agentul încălzitor circulă prin spațiul 2, dintre pereții dubli; el intră prin racordul 5a, se răcește și condensează în zona 2 și este evacuat prin racordul 5b. Prin conducta 6 se evacuează gazele necondensabile conținute de aburul încălzitor, iar 3 este o fereastră de vizitare. Aceste aparate se folosesc pentru concentrarea unor soluții agresive sau care formează depuneri cristaline. Au dezavantajul unui coeficient global de schimb de căldură redus, productivității mici și consumul ridicat de metal; de asemenea, pe măsură ce o parte din soluție se vaporizează, nivelul acesteia scade și o parte din suprafața de încălzire rămâne nefolosită.

Vaporizatorul cu serpentine de încălzire, deși are o construcție mai complicată, prezintă avantajul că se poate realiza încălzirea numai în zona unde se află soluția ce trebuie vaporizată. Aburul încălzit este distribuit, în derivație, la serpentinele 8; pe măsură ce nivelul soluției coboară, se întrerupe alimentarea cu abur a serpentinelor care nu mai sunt imersate. Se folosesc pentru soluții corozive, dar care nu precipită, curățirea serpentinelor fiind dificilă.

Vaporizatoare cu acțiune continuă

Vaporizatoarele cu acțiune continuă pot fi aparate orizontale sau verticale. În figura 1.44 este reprezentată o secțiune schematică printr-un vaporizator orizontal.

Desen

Agentul încălzitor circulă prin interiorul țevilor în formă de „U”1, unde se răcește și condensează. Țevile încălzitoare sunt scufundate în masa soluției2. Deasupra soluției se creează spațiul 3 pentru vaporii secundari, care trec, apoi prin separatorul de picături 4, după care sunt evacuați. Soluția concentrată este evacuată prin racordul 5.

Acest tip de aparat are avantajul unei înălțimi mici a coloanei de lichid, motiv pentru care diferența de temperatură necesară învingerii presiunii hidrostatice este foarte mică. Este indicat pentru soluțiile care spumează intens prin fierbere, deoarece suprafața liberă a lichidului este mult mai mare ca la alte aparate (mai ales la cele verticale). Deoarece viteza de circulație a soluției prin interiorul vaporizatorului este mică, se constată o creștere a tendinței de formare a depunerilor pe țevile încălzitoare; în consecință, acest tip nu este recomandabil a se utiliza pentru soluții care formează depuneri cristaline, fiind dificilă curățirea țevilor.

Un alt tip de vaporizator orizontal îl constituie cel cu cameră separată de încălzire (figura 1.45), utilizat pentru soluții care cristalizează. Camera de încălzire 2, este separată de corpul vaporizatorului. Soluția circulă prin interiorul țevilor în „U”, iar agentul încălzitor prin spațiul dintre țevi și

Desen

mantaua camerei de încălzire. În spațiul 1 se produce separarea vaporilor secundari din soluție; soluția concentrată este evacuată pe la partea inferioară, după ce trece printr-un separator de cristale. Datorită poziției orizontale a țevilor încălzitoare este posibilă apariția unor „dopuri” de vaporii secundari, care înrăutățesc circulația soluției; îmbunătățirea circulației se poate realiza printr-o ușoară înclinare a camerei de încălzire, ceea ce, însă, complică montajul.

În figura 1.46 sunt prezentate două tipuri de vaporizatoare verticale, unul cu tub central de circulație (a) și altul cu tub exterior de circulație (b). La aceste aparate circulația soluției, în interior, se face pe seama diferenței de

greutate specificată între lichidul relativ rece din tubul de circulație și amestecul lichid-vapori din țevile fierbătoare. Circulația este multiplă, multiplu de circulație fiind de ordinul $20 + 30$. Soluția coboară prin tubul de circulație 2, plasat fie pe axul camerei de încălzire A (varianta a), fie în exteriorul acesteia (varianta b), după care urcă prin țevile fierbătoare 1 și ajunge în camera de separare B. Vaporii secundari trec printr-un filtru de picături 3, după care sunt evacuați. Aburul încălzitor circulă prin spațiul dintre

Desen

țevi și mantaua de încălzire. Varianta cu tub de circulație exterior asigură o mai bună circulație interioară, deoarece tubul este neîncălzit și se mărește astfel diferența de greutate specifică. Dacă soluția are o vâscozitate ridicată, recircularea ei în interiorul aparatului este dificilă; pentru a se realiza o bună circulație internă, se prevede o pompă de circulație, montată pe tubul de circulație 2, înaintea intrării în zona de încălzire. Mărirea vitezei de circulație conduce și la îmbunătățirea coeficientului global de transfer al căldurii, reducându-se, corespunzător, mărirea suprafeței de încălzire. Pe de altă parte, însă mărirea vitezei se face cu un consum suplimentar de energie pentru pompare; ca urmare, alegerea tipului de circulație – naturală sau forțată – se face în urma unui calcul tehnico-economic.

În cazul soluțiilor care nu cristalizează și care nu sunt sensibile la temperaturi înalte, este recomandabilă folosirea vaporizatoarelor peliculare (figura 1.47). În aceste aparate, circulația soluției este simplă (parcurge o singură dată țevile fierbătoare). Soluția diluată este introdusă pe la partea inferioară a camerei de încălzire și umple țevile fierbătoare numai $1/4 + 1/5$ din înălțimea lor. Fierberea este intensă și vaporii formați antrenează particule lichide care se distribuie într-o peliculă subțire pe pereții tuburilor. Circulația ascendentă a peliculei are loc cu viteză mare. Până la 20 m/s, ceea ce are efecte pozitive asupra coeficientului de transmisie a căldurii prin convecție, comparativ cu celelalte aparate cu tub de circulație.

Pentru a se obține efectul termic maxim, țevile trebuie să aibă o lungime de $6 + 8$ m, fapt ce constituie un dezavantaj la montare și reparații; de asemenea, necesită un spațiu, pe verticală, corespunzător acestei înălțimi.

Desen

NORME DE PROTECȚIE A MUNCII ȘI PAZA CONTRA INCENDIILOR LA LUCRĂRILE DE REPARAȚII PENTRU CAZANELE DE ABUR

Lucrările de reparații se efectuează numai pe baza autorizației de lucru sau procesul verbal dat de secția de exploatare, după luarea tuturor măsurilor de blindare a circuitelor și întreruperea legăturilor de alimentare a instalației cu curent electric.

Echipa de lucru este instruită la plecarea din atelier și la fața locului asupra măsurilor de izolare a instalației zonei de lucru; interdicțiile impuse eventualelor restricții P.S.I. Se face instrucția privind :

- accesul în cazan este permis numai după răcirea acestuia;
- tot personalul va purta echipamentul de protecție de lucru;
- este obligatoriu purtarea căștii de protecție;
- la lucrările care se execută în tambur, lucrătorului aflat în interiorul acestuia va fi supravegheat în permanență;
- iluminarea se face numai cu lămpi electrice portative de 12V;
- este interzisă folosirea sculelor, utilajelor, dispozitivelor și mecanismelor necorespunzătoare sau defecte. Acestea vor trebui ca să aibă verificarea la zi;
- în timpul probelor de presiune este interzisă staționarea persoanelor în jurul cazanului sau blocarea supapelor de siguranță;
- legarea sarcinilor se face numai de personalul personalizat. Cablurile pentru legarea sarcinilor trebuie să fie corespunzătoare pentru sarcinile care o ridică;
- atât în timpul lucrării cât și la terminarea acesteia se va păstra o perfectă ordine și curățenie.

BIBLIOGRAFIE

1. Iliescu V. – „Manualul mecanicului cu cazanul de abur”
Editura EDP – București 1963
2. Gheorghiu Ștefan – „Cazane de abur”
Editura Tehnică – București 1966
3. Popa I. – „Reparația cazanelor”
Editura Tehnică – București 1982
4. Panoiu A. Nicolae – „Cazane de abur”
Editura Tehnică – București 1982
5. PE 914/89 – „Norme de protecție a muncii”
București 1990
6. Teodor Popa, Virgil Musătescu, Liliana Marinus – „Instalații termoelectrice”
Editura Didactică și Pedagogică – București 1988
7. Voinea Eugen – „Instalații termice din centralele electrice”
Editura Didactică și Pedagogică – București 1982