

Alegerea și utilizarea materialelor metalice

(Temă de casă)

**(Exemplu de alegere a materialelor metalice –
particularizare pentru *anvelopa unui tub termic
gravitațional de joasă temperatură*)**

Titular disciplină,

Dr. ing. Gheorghe BĂDĂRĂU

Capitolul 1

Introducere

Alegerea materialului metalic pentru o anumită aplicație se realizează în etapa proiectării tehnice a unui produs și ea este un proces continuu rezultatul alegerii putând evolua în funcție de constatările făcute în etapele de experimentare și de testare a prototipurilor.

Criteriile de alegere și utilizare a materialelor metalice sunt multiple: scop, solicitări în exploatare, posibilități tehnologice, mediu de lucru, caracterul producției, fiabilitate, estetică, disponibilitate pe piață și posibilități de aprovizionare, preț de cost.

CAPITOLUL 2

Descrierea produsului

2.1. Construcția și funcționarea tubului termic

Tuburile termice (heat pipe, Wärmerohre, тепловы́е, tubo di calore) [6] sunt un exemplu tipic de tehnologie avansată transferată cu rezeziune din domeniul aerospațial și electronic către sectoarele productive considerate clasice. Ele sunt și un exemplu convingător al vitezei cu care se asigură în prezent transformarea ideilor utile și necesare, în aplicații industriale eficiente, deoarece de la brevetul din 1942 al lui R.S. Gaugler, primul în care s-a utilizat capilaritatea pentru reintoarcerea condensului către zona de vaporizare și până în 1963 când G.M. Grover, din cadrul laboratoarelor din Los Alamos, construiește primele “heat pipes” cu apă și cu sodiu lichid, n-au trecut decât 21 de ani. Tuburile termice sunt de asemenea și o monstră tipică de cercetare care începe cu realizarea practică efectivă și continuă cu elaborarea teoriei (T.P.

Cotter în 1965), încălcând canonul teorie-practică, și ilustrând “foamea de aplicații moderne în una din cele mai vechi științe ale civilizației umane – termodinamica [2,5,6].

În general, funcționarea mașinilor, mecanismelor, aparatelor, desfășurarea proceselor tehnologice este condiționată de problema transportului căldurii. Uneori este necesar să se preia căldura de la corpuri care se încălzesc foarte puternic (lagăre, agregate metalurgice, circuite electronice mari) sau, din contra, este necesar să se furnizeze o cantitate mare de căldura la focarele cazanelor, aparatelor de încălzire, etc. În ambele cazuri apare problema transportului unui flux termic.

În decursul anilor în industrie au apărut mașini noi de puteri mari, s-au creat procese tehnologice noi care au necesitat fluxuri termice mari, în schimb, mijloacele pentru transportul acestor fluxuri termice au rămas cele de odinioară.

Materialele care au coeficientul cel mai ridicat de conductivitate termică sunt argintul și cuprul. Montarea de conductori termici din argint sau cupru ar duce uneori la volume mai mari chiar decât mașina ce ar trebui deservită. Acest impas a putut fi rezolvat prin utilizarea unor noi dispozitive, tuburile termice.

Din punct de vedere constructiv tubul termic este deosebit de simplu. El este format dintr-o incintă etanșă, denumită teacă, căptușită în interior cu un material ce formează o structura capilară, la care se adaugă un agent de lucru fluid, figura 1.

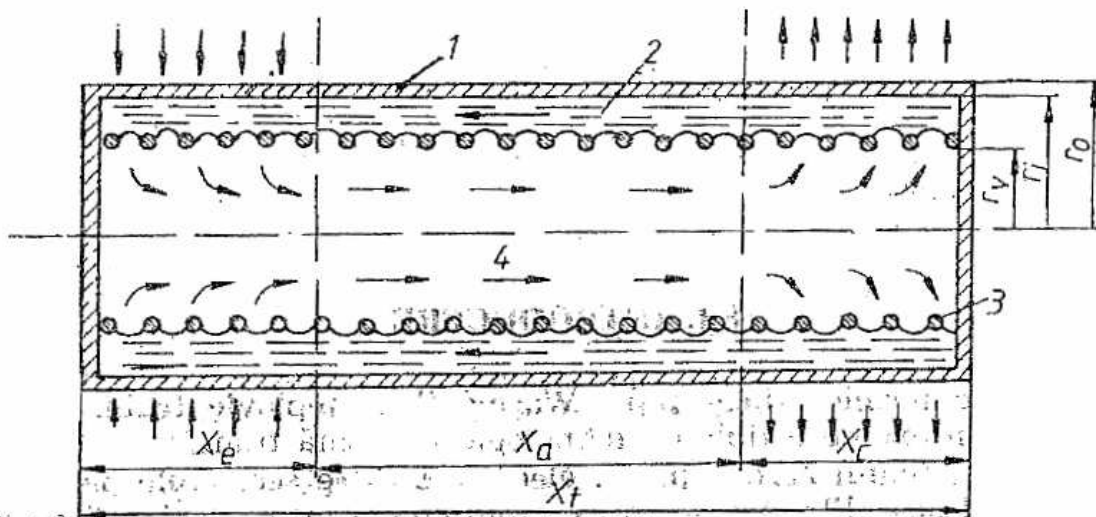


Fig 1. Schema constructiv funcțională a unui tub termic convențional:

X_c –lungimea vaporizorului, X_e –lungimea condensatorului, X_a –lungimea zonei adiabactice, X_t –lungimea totală a tubului termic; 1 – țeavă; 2 – agentul termic lichid; 3 – structura capilară; 4 –agentul termic vaporizant

Prin încălzirea unui capăt al tubului, fluidul de lucru se vaporizează preluând o cantitate de căldură egală cu căldura latentă de vaporizare. Vaporii fluidului de lucru se deplasează liber în tub ajungând la celălalt capăt, unde se condensează cedând căldura latentă de condensare mediului exterior. Condensul astfel format se întoarce prin intermediul structurii capilare în zona de vaporizare, iar ciclul se repetă și are loc atât timp cât se menține o diferență de temperatură între cele două capete ale tubului termic.

În afară de capilaritate, pentru readucerea fluidului de lucru în zona de vaporizare mai sunt utilizate și alte efecte, cum ar fi: forța gravitațională, forța centrifugă, câmpul electrodinamic, forța osmotică, etc.

Dispozitivul fără structură capilară, la care revenirea condensului se asigură prin forța gravitațională este cunoscută sub denumirea de termosifon sau tub termic gravitațional.

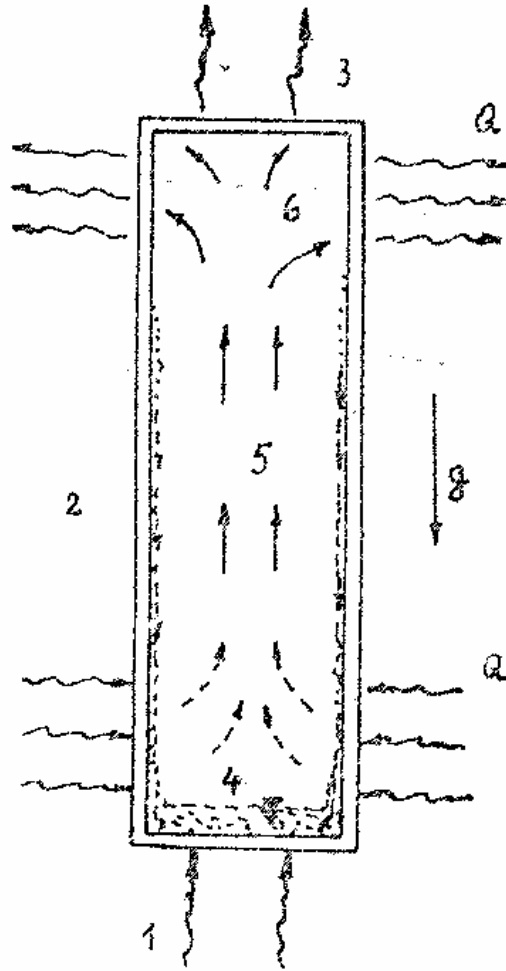


Fig. 2. Termosifon

- 1- aport de căldură; 2 – curgerea condensului; 3 – cedare de căldură;
 4 – vaporizare; 5 – vapori; 6 - condensare

Modul de funcționare prezentat al tubului termic, permite un transfer de căldură mult mai intens decât cel realizabil cu mijloace tradiționale iar în plus, se observă absența totală a părților în mișcare.

Capitolul 3

ALEGEREA MATERIALULUI PENTRU CONSTRUCȚIA ANVELOPELOR TUBURILOR TERMICE GRAVITAȚIONALE DE JOASĂ TEMPERATURĂ

Alegerea materialelor metalice este o etapă importantă în proiectarea funcțională a produselor, de ea depinzând în mare măsură calitatea (în special fiabilitatea) și prețul de cost al produselor [1].

Proiectarea sistemelor tehnice parțiale (produse) parcurge următoarele etape: pregătirea generală (stabilirea stadiului actual în domeniu), pregătirea teoretică (întocmirea de schițe, scheme constructive și calcule principale), schițarea proiectului (analiza soluțiilor existente, elaborarea de schițe și scheme constructive noi și a calculelor de bază), proiectarea tehnică (definitivarea schemei constructive a produsului și detaliilor), elaborarea prototipului de laborator (macheta), experimentarea și testarea, definitivarea proiectării și corectarea erorilor, fabricarea seriei zero, încercări uzinale, concluzii și recomandări [1].

Alegerea și stabilirea materialelor se face în etapa proiectării tehnice, acestea putând fi înlocuite în etapele de experimentare și testare a prototipului de laborator, în funcție de comportarea la solicitări.

Criteriile de alegere și utilizare a materialelor metalice sunt multiple: scop, solicitări în exploatare, posibilități tehnologice, mediu de lucru, caracterul producției, fiabilitate, estetică, existență și posibilități de aprovizionare, preț de cost [1].

Pentru a realiza alegerea materialului pentru construcția anvelopelor tuburilor termice gravitaționale de joasă temperatură se procedează ca și în

cazul general al alegerii unui material metalic pentru o utilizare dorită. Mai precis vor fi urmate un șir de etape prezentate în cele ce urmează.

3.1. Etapele realizării alegerii mărcii de material pentru anvelopa tubului termic

Etapele alegerii mărcii de material pentru anvelopa tubului termic sunt [1]:

- evaluarea cât mai exactă a condițiilor reale de lucru (rol funcțional, tipul, caracterul și valoarea solicitărilor mecanice, condițiile de temperatură și de mediu etc.);

- determinarea principalilor factori în baza cărora se va alege materialul metalic (ordinea de prioritate a criteriilor);

- stabilirea mărcilor de materiale metalice care satisfac factorii (criteriile) principali (se are în vedere ca acestea să nu prezinte proprietăți incompatibile sau nefavorabile care să le excludă folosirea de la început – calibilitate insuficientă, sudabilitate slabă, deformabilitate imposibilă, așchiabilitate redusă etc.);

- discernământul necesar selecționării unei alte mărci, care, în condițiile unei bune soluții tehnologice, posibil de aplicat, determină cel mai scăzut preț de cost în starea finală de exploatare a piesei în cauză.

3.1.1. Evaluarea condițiilor de lucru

Anvelopa tubului termic este piesa care conține componentele tubului, cea care vine în contact la exterior cu fluidele între care se dorește realizarea schimbului de căldură [2,11].

Având în vedere că materialul anvelopei este cel prin care se realizează în fapt trecerea fluxului termic, pentru ca schimbătorul de căldură să aibă un

randament ridicat, el trebuie să îndeplinească în primul rând condiția de maxim pentru coeficientul de conductibilitate termică.

În timpul funcționării, anvelopa tubului termic este în contact permanent la interior cu fluidul de lucru și cu vaporii acestuia, în cazul tubului termic gravitațional, sau în plus, și cu materialul fitilului în cazul tubului termic obișnuit, cel dotat cu structură capilară pentru întoarcerea în zona de evaporare a condensului fluidului de lucru.

Acestui fapt i se adaugă fenomenele care au loc în timpul schimbului de căldură propriuzis, evaporarea, în zona caldă (evaporator) și condensarea vaporilor fluidului de lucru în zona rece (condensator).

Aceste fenomene, care la prima vedere, sunt fenomene pur fizice, în practică, pot produce efecte de coroziune diverse, datorate fie impurităților dizolvate în fluidul de lucru, fie fenomenelor de cavitație (în situații speciale ale funcționării tubului termic – aproape de limita sonică sau de cea de fierbere).

Păstrarea intactă (în stare curată) pe o perioadă cât mai mare de timp a suprafețelor de schimb de căldură este esențială pentru păstrarea în timp a caracteristicilor de funcționare a tuburilor termice. Din acest motiv, rezistența la coroziune pe parte internă a anvelopei tubului termic este indiscutabil încă un factor decisiv în atingerea performanțelor necesare piesei pentru care dorim alegerea materialului.

Mai mult, prezența reacțiilor chimice la interiorul tubului termic, în afara faptului că ar modifica forma suprafețelor de schimb de căldură ar modifica și proprietățile de transfer termic. Anume, produșii de reacție depuși pe suprafața de schimb de căldură ar aduce modificări ale coeficientului de transfer termic, anume o scădere a acestuia, știut fiind faptul că un metal conduce mai bine căldura decât sărurile sau bazele sale (produșii de reacție ar constitui rezistențe termice suplimentare în calea fluxului termic).

Chiar dacă eventualele reacții chimice nu ar fi extinse, producerea gazelor necondensabile în reacții (de obicei hidrogen) duce și ea la diminuarea performanțelor schimbătorului de căldură “prin blocarea cu o pernă de gaz” a unei părți a condensatorului. Gazele necondensabile sunt purtate de curentul de vapori în zona de condensare, unde, se acumulează scurtând în fapt lungimea condensatorului, diminuând valoarea ariei suprafeței de schimb de căldură.

Rezistența la coroziune trebuie asigurată în mod evident și la exteriorul tubului termic, la contactul cu fluidele între care se realizează schimbul de căldură.

Anvelopa tubului termic trebuie să fie etanșă pentru a putea păstra condițiile cerute în timpul construcției și funcționării tubului termic.

Astfel, în faza de construcție a tuburilor termice este prevăzută, de cele mai multe ori, o operație de vidare a anvelopei în scopul scoaterii gazelor necondensabile și a altor impurități volatile ce s-ar putea găsi ca urme din fazele anterioare ale prelucrării (degresare, spălare). Pentru a putea realiza eficient această operație este necesară o îmbinare etanșă de calitate corespunzătoare, vidul dorit putând ajunge, în cazul unor aplicații pretențioase până la 10^{-6} Torr, în mod obișnuit între 10^{-2} Torr și 10^{-4} Torr [2].

După umplerea cu fluid de lucru, etanșarea trebuie de asemeni asigurată pentru a nu pierde vaporii sub presiune în timpul lucrului și astfel a pierde din performanțele și eficiența în funcționare a schimbătorului de căldură.

Rezistența materialului piesei este următorul factor care trebuie discutat. Deși solicitările în timpul funcționării normale nu sunt deosebit de mari, presiunea atingând în mod obișnuit valori mai mici de 2 atm pentru tuburile termice de temperatură joasă, funcționările accidentale (fără răcire), nu au voie să permită explozia anvelopei tubului termic din cauza supraîncălzirii fluidului de lucru. Mai mult, în timpul montajului și al transportului, având în vedere grosimea mică a peretelui tubului termic (calculată să reziste la explozie),

materialul trebuie să reziste corespunzător la solicitări datorate mânăuirii defectuoase.

Rezistența mecanică trebuie să fie suficient de mare pentru a permite și curățirea părții exterioare în timpul întreținerii, fără riscul deformării la o acțiune de curățire mai energetică.

De asemeni, o masă redusă a piesei este de dorit, ușurând manevrabilitatea și poziționarea în cadrul instalației.

3.1.2. Determinarea principalilor factori în baza cărora se va alege materialul metalic – criterii de alegere

Având în vedere solicitările la care trebuie să facă față materialul anvelopei tubului termic, criteriile pentru alegerea materialelor se vor supune următoarei ordini de prioritate:

- conductibilitate termică ridicată – asigură o rezistență termică minimă a peretelui schimbătorului de caldura, implicit un randament bun în timpul funcționării;

- rezistență la coroziune – asigură păstrarea condițiilor de lucru favorabile un timp suficient de îndelungat, altfel spus, păstrarea integrității suprafeței de schimb de caldura (rezistență termică constantă pe durata funcționării), limitarea apariției de gaze necondensabile în interiorul tubului ca urmare a unor reacții chimice sau procese fizice etc.;

- sudabilitate ridicată, sau altă metodă de asamblare și asigurare a etanșității – asigură posibilitatea realizării incintei etanșe necesare, la nivelul de calitate cerut (vid înaintat și presiune);

- rezistență mecanică corespunzătoare – asigură păstrarea integrității formei și dimensiunilor piesei în timpul funcționării normale, a manipulării, transportului, montajului, reparării etc.;

- masă specifică redusă – asigură o manevrabilitate corespunzătoare în timpul montajului, întreținerii și reparării precum și economii la capitolul de investiții - construcții montaj;

- alte criterii de natură economică (prețul materialului, prețul prelucrării, disponibilitatea, prețul întreținerii, etc.).

Conform literaturii de specialitate, pentru anvelopa tubului termic, având în vedere cele mai importante solicitări, așa cum rezultă ele din descrierea funcționării și din tehnologia de fabricare a lor, cele mai importante criterii de alegere, după cel al conductibilității termice ridicate sunt: criterii de alegere a materialelor metalice pentru industria chimică, criterii de alegere a materialelor pentru recipiente sub presiune, alegerea materialelor metalice pe baza criteriului solicitărilor mecanice. În afară de aceste criterii care asigură funcționarea elementului constructiv cerut, în alegerea materialelor se ține cont și de criteriile de tip economic în toată complexitatea lor (prețul materialului, prețul prelucrării, disponibilitate etc.).

Pentru aplicarea corectă a acestor criterii este necesară o caracterizare cât mai exactă și completă a „materialelor candidate” pentru utilizarea dorită.

I) Criterii de alegere a materialelor metalice pentru industria chimică [1]

Caracteristica comună a materialelor metalice folosite în industriile chimică, alimentară și medicală este, în principal, rezistența mare la coroziune în agenți atmosferici, chimici, anorganici, organici și microorganisme.

Marea diversitate a instalațiilor, aparaturii și echipamentului din aceste domenii, largă gamă de solicitări mecanice la temperaturi înalte, la temperaturi joase, în condiții de presiune înaltă sau vid înaintat și medii agresive, medii de eroziune și de cavitație impun materiale metalice specifice domeniului sau utilizate și în alte domenii, cu proprietăți deosebite, alegerea lor fiind o problemă complexă.

Materialele metalice utilizate în practica industrială în domeniul chimiei sunt întotdeauna susceptibile atacului corosiv. Cele mai multe metale și aliaje metalice au tendința de a se combina cu elemente din mediul înconjurător sau din mediul de lucru, îndeosebi cu apa și oxigenul, formând compuși chimici de multe ori asemănători sau chiar identici cu cei din minereuri.

În general, coroziunea este o reacție între suprafața unui metal în contact cu un electrolit sau gaz. În tubul termic, materialul metalic al tecii vine permanent în contact cu fluidul de lucru (electrolit), din acest motiv coroziunea întâlnită frecvent este de natura electrochimică, bazată pe formarea de elemente galvanice locale și pe reacții anodice, care sunt reacții de oxidare și care transpun metalul în stare ionică distrugându-l.

Tendința unui metal de a-și elibera electronii printr-o reacție anodică (de exemplu pentru un metal bivalent $M_e \rightarrow M_e^{2+} + 2e$) se numește potențial de electrod și poate avea valori pozitive sau negative.

Coroziunea întâlnită frecvent la materialele metalice, folosite în instalațiile și echipamentele din industria chimică se poate prezenta în formele descrise în continuare:

a) Coroziunea generală de suprafață - are loc când suprafața metalului este corodată uniform, neuniform sau chiar în pete de către soluțiile acide sau oxidante. În acest caz, pe suprafața materialului metalic se formează o peliculă de culoare închisă formată din produși ai coeziunii (săruri bazice, carbonați, etc.).

Frecvent pelicula formată este pasivă față de agentul chimic și astfel materialul metalic devine anticorosiv prin pasivizare.

Condiția de bază pentru pasivizare este ca pelicula formată să nu prezinte pori sau fisuri, ea trebuie să fie subțire, compactă și aderentă pentru a izola agentul chimic de metal. Peliculele pasivizate cresc în grosime după o lege parabolică, iar cele poroase cresc liniar.

Oțelurile inoxidabile se corodează uniform în acid clorhidric, neuniform în atmosfera și în pete în apa. Acest tip de coroziune se evaluează prin pierderi de greutate pe unitatea de suprafață și timp.

b) Coroziunea punctiformă (ciupituri – pitting) se produce când agentul chimic atacă suprafața în puncte, fenomenul progresaază în timp formând orificii adânci și chiar producând perforarea metalului. Acest gen de coroziune se întâlnește la oțelurile anticorosive în contact cu soluții care conțin ioni de clor, brom etc. Se evaluează dificil, prin numărul de puncte pe unitatea de suprafață sau prin adâncimea lor.

c) Coroziunea intercristalină are loc când atacul se produce pe limitele grăunților cristalini, deteriorând structura până la dezagregarea metalului.

Limitele dintre grăunți se comportă anodic față de materialul din masa grăuntelui. Nu se poate evalua și nici prevedea, fiind foarte periculoasă. Se întâlnește frecvent la oțelurile inoxidabile autenitice aliate cu crom-nichel fără a fi stabilizate cu titan sau niobiu.

Tipurile de coroziune descrise sunt prezentate în figura 8.

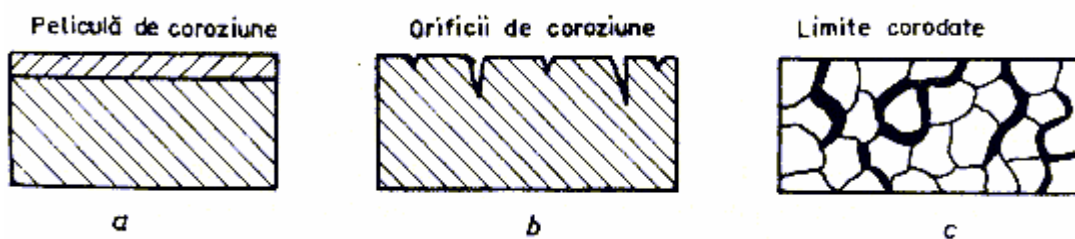


Fig. 8. Tipuri de coroziune

a- uniformă; b- punctiformă; c- intercristalină

d) Coroziunea selectivă sau internă se produce în cazurile în care un metal sau un constituent dintr-un aliaj este atacat și distrus. Frecvent se întâlnește descompunerea soluțiilor solide, separarea și atacarea doar a unui component din aliaj (dezincarea alamelor).

Tipurile de coroziune a, b, c și d sunt de natură electrochimică, având la bază formarea unor elemente galvanice locale la contactul dintre două metale cu potențial de electrod diferit, în prezența unui electrolit.

e) Coroziunea fisurantă sau fisurarea corosivă sub tensiune este cauzată de prezența în metal a unor tensiuni statice remanente inferioare limitei de curgere a metalului. Deoarece zonele tensionate devin anodice, această coroziune se produce și în medii mai puțin agresive.

Metalele pure sunt imune la acest fenomen. Fisurile produse sunt intergranulare în aliajele cu faze precipitate pe limita grăunților și intragranulare în aliajele monofazice, în funcție de valoarea tensiunilor și natura mediului corosiv.

f) Oboseala prin coroziune se produce sub acțiunea unor eforturi dinamice (alternante sau ciclice) sau prin acțiunea prin șoc a mediilor corosive.

Tensiunile ciclice implicate în fenomenul de oboseală produc ruperea peliculelor de pasivizare (protectoare) de pe suprafața materialelor metalice, provocând coroziunea pitting, care contribuie la dezvoltarea fisurilor de oboseală. Suplimentar, efectele de concentrare a tensiunilor accentuează caracterul anodic al metalului în zona fisurii, accelerând coroziunea. Ca rezultat al acestor interdependențe, fenomenele de oboseală sub coroziune nu mai sunt descrise de o curbă Wöhler asimptotică la limita de oboseală, ci de o curbă continuu descendentă. Rezultă ca sub coroziune, solicitările mecanice ciclice, oricât de mici, pot produce ruperea de oboseală, dacă numărul de cicluri este suficient de mare. În acest caz, rezistența la oboseală nu poate fi definită.

La alegerea și utilizarea corectă a materialelor metalice pentru instalații și echipamente pentru industria chimică trebuie avut în vedere modul de acțiune a mediului de lucru asupra materialelor și efectelor acestuia (stabilirea tipului de coroziune) știut fiind că fenomenele de coroziune afectează în primul rând proprietățile mecanice [1,3].

În general, materialele metalice folosite în aceste domenii ale industriei chimice sunt materiale rezistente la coroziune, din categoria oțelurilor inoxidabile, refractare, alamelor obișnuite și speciale (alpaca), nichel, plumb, monel, aliaje de titan, aliaje de aluminiu etc.

Rar, în zone de lucru cu reactivitate chimică deosebită, se folosesc metale nobile sau cu stabilitate chimică deosebită: aur, platină, tantal, wolfram.

În alegerea materialelor metalice folosite în industria chimică trebuie avut în vedere faptul că un anumit material metalic poate prezenta rezistență bună la coroziune în forma geometrică simplă, dar își poate pierde această calitate prin prelucrări sau prin încorporarea lui într-un anumit produs.

Deci, la proiectarea echipamentelor și construcțiilor metalice din aceste domenii trebuie să se țină seama de interdependența material metalic-prelucrare-produs, pentru a se evita elementele galvanice de compoziție, de distorsine elastică sau de concentrație.

În mod curent, în industria chimică, în funcție de destinația produsului și de condițiile de lucru, se prevăd măsuri de protecție anticorosivă prin zincare, cromare, nichelare, metalizare, acoperiri cu straturi de email (borosilicati de Ca, K, Na, Co, Ni, Ti), ceramice (oxizi, silicați), lacuri, vopsele, materiale plastice, bitum etc. Frecvent, se folosesc protecții catodice sau inhibitori de coroziune.

Particularizând pentru tuburile termice, deoarece funcționarea lor la parametrii proiectați este dependentă într-o măsură deosebit de mare de rezistența la coroziune, materialele folosite trebuie să corespundă maximal la acest tip de criterii.

II) Criterii de alegere a materialelor metalice pentru aparate și recipiente sub presiune [1]

La proiectarea acestor produse, în general, calculele de dimensionare au la bază caracteristicile de materiale determinate prin încercarea la tracțiune la temperatura mediului ambiant și la temperaturi înalte, precum și prin încercarea

de reziliența la temperatura ambianta și sub zero grade celsius, tinându-se seama de prescripțiile tehnice C4 din colecția ISCIR.

În situația tuburilor termice se adaugă condițiile de păstrare a etanșeității și în condiții de depresiune, deoarece procesul tehnologic de fabricație presupune vidarea anvelopei tubului.

Conform literaturii de specialitate [1] pentru recipientele utilizate la temperaturi cuprinse între -50 și $+400^{\circ}\text{C}$, tensiunea admisibilă de calcul se alege ca fiind cea mai mică din valorile:

- $2/3$ din limita de curgere tehnică la temperatura de lucru;
- $5/12$ din rezistența de rupere la tracțiune la temperatura ambiantă.

Criteriul de alegere a materialelor metalice pentru astfel de produse este cel al rezistenței determinate prin încercări de scurta durată. Alegerea va fi orientată spre oțeluri cu rezistență la curgere superioară (700 N/mm^2) care determină și un consum mai redus de metal. La caracteristici de rezistență egale, se preferă oțeluri cu grad mai mic de aliere, care prezintă pe lângă un preț de cost mai mic și o sudabilitate superioară [1].

În unele utilizări, oțelurile carbon și slab aliate satisfac condițiile de rezistență impuse de temperatură și presiunea de lucru, dar nu fac față proceselor de coroziune sub tensiune, coroziune generală și eroziune. În aceste cazuri, se utilizează produse din oțeluri obișnuite placate cu oțeluri speciale.

Recipientele solicitate la oboseală datorită variațiilor de temperatură sau presiune, nu pun probleme deosebite din punctul de vedere al materialului. Prevenirea ruperilor prin oboseală se face corelându-se soluțiile constructive și tehnologice cu specificul solicitării.

Alegerea materialelor metalice pentru aparate și recipiente folosite la temperaturi joase, de sub 50°C , cum este cazul tuburilor termice de temperatură joasă, se face după criteriul evitării ruperii fragile.

În funcție de temperatura de lucru, se aleg oțeluri aliate cu circa $3,5\% \text{Ni}$ pentru temperaturi de până la -100°C și cu $8...14\% \text{Ni}$ pentru temperaturi mai

scăzute. Aceste oțeluri au temperaturi de tranziție ductil-fragil foarte joase. În proiectarea acestor recipiente, criteriile de alegere a materialelor care să evite ruperea fragilă se determină cu ajutorul diagramei de analiza a ruperii (Pellini) dată în figura 9.

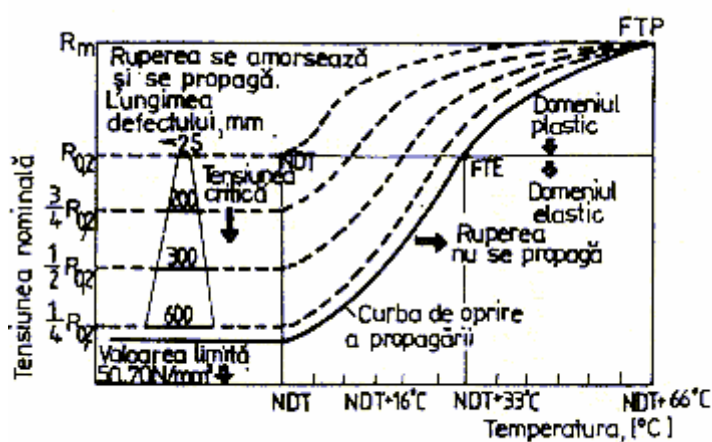


Fig.9. Diagrama de analiză a ruperii

Metoda consideră că temperatura de tranziție a unui element de construcție sudată încărcat la o tensiune egală cu limita de curgere și în care există un defect străpuns, lung de 25 mm, este temperatura de ductilitate nulă (T_{NDT}) a materialului de bază, determinată prin încercarea de reziliență a unei epruvete încărcată cu sudură.

La această temperatură, creșterea lungimii defectului până la 600 mm determină scaderea progresivă a tensiunii nominale de amorsare a ruperii până la valoarea limită de $50...70 \text{ N/mm}^2$, sub care ruperea fragilă nu mai este posibilă. La temperaturi de peste T_{NDT} , tensiunile de amorsare a ruperii formează o familie de curbe care tind la limită, pentru lungimi mari de defect, către curba de oprire a propagării ruperii fragile.

Când proiectarea elementului de construcție se face la T_{NDT} , se evită amorsarea ruperii fragile în condițiile: $\sigma \leq R_{p0.2}$, lungimea defectului, mai mică de 25 mm, și temperatura de lucru, superioară lui T_{NDT} .

Proiectarea la temperatura $T_{\text{NDT}} + 16^{\circ}\text{C}$ evită amorsarea și propagarea ruperii fragile la tensiuni $\sigma \leq 0,5 \cdot R_{p0,2}$.

Proiectarea la temperatura $T_{\text{NDT}} + 33^{\circ}\text{C}$ realizează același lucru, dar la tensiuni $\sigma \leq R_{p0,2}$, iar proiectarea la $T_{\text{NDT}} + 66^{\circ}\text{C}$ se aplică la $\sigma > R_{p0,2}$ și asigură comportarea ductilă în orice condiții de exploatare.

III) Alegerea materialelor metalice pe baza criteriului solicitărilor mecanice [1]

Proprietățile mecanice impuse unui element constructiv în general se determină în funcție de solicitarea mecanică de bază la care este supus în exploatare: statică (de înconvoiere, torsiune, întindere, complexă); variabilă (oboseală); dinamică(șoc, uzare etc.).

Valoarea minimă a proprietăților mecanice se determină prin calcul de proiectare, uneori, pentru producția de serie mare și pentru piese cu rol funcțional deosebit de important, prin încercări simulate sau efectuate pe piesa respectivă.

Pentru elementele constructive supuse la solicitări monoaxiale, criteriul de bază în alegerea materialelor metalice îl reprezintă una din caracteristicile determinate prin încercarea la tracțiune. Astfel, dacă piesa nu trebuie să admită deformații remanente, se ia în considerare limita elastică.

Pentru piesele la care se admit mici deformații remanente, se va lua în considerare limita de curgere, iar pentru componentele care ies din funcțiune prin rupere, se consideră rezistența la rupere ca fiind criteriul de bază al alegerii materialelor metalice.

Dacă solicitările din exploatare au caracter dinamic (de șoc), materialul va trebui să posede tenacitate suficientă, adică gătuire, alungire și reziliență mari.

În toate cazurile de mai sus se ține seama și de posibilitatea apariției suprasolicitărilor temporare sau întâmplătoare în exploatare prin adoptarea unui coeficient de siguranță.

În cazul în care piesa în mișcare sau statică este supusă la solicitări variabile de oboseală în timp (cazul cel mai frecvent întâlnit), criteriul de bază în alegerea materialelor metalice este rezistența la oboseală, care are întotdeauna valori mai mici decât rezistența la rupere. La proiectarea componentelor astfel solicitate, se iau în considerare și alți factori care intervin: forma geometrică, natura mediului, temperatura, etc. Pentru piesele de mare importanță, determinarea rezistenței la oboseală se face direct pe acestea, în condiții simulate sau reale de exploatare. Dacă aceste încercări dau rezultate necorespunzătoare, nu se trece la schimbarea mărcii de material, ci se analizează mai întâi posibilitățile de eliminare a concentratorilor de eforturi prin îmbunătățirea formei piesei, calității suprafețelor, eliminarea defectelor de structură etc.

S-a constatat că oțelurile slab aliate de îmbunătățire au aproximativ aceeași rezistență la oboseală pentru aceeași duritate (25...35 HRC), indiferent de compoziția chimică: abia după durități mai mari de 35HRC, rezistența la oboseală a oțelurilor aliate cu crom, molibden, crom-molibden, crom-nichel-molibden, mangan-siliciu depinde și de compoziția chimică. Incluziunile nemetalice cu cât sunt mai mari și cu cât se află mai spre suprafața pieselor sunt mai defavorabile, micșorând rezistența la oboseală. Astfel, pentru un oțel aliat (0,4%C;0,7%Mn; 0,25%Si;0,8%Cr;1,8%Ni și 0,2%Mo), creșterea dimensiunilor incluziunilor de la zero la 0,060 mm micșorează de zece ori numărul de cicluri până la rupere .

Avându-se în vedere că rezistența la oboseală crește cu micșorarea adâncimii de pătrundere a călirii și că în suprafețele durificate prin călire superficială, tratamente termochimice sau ecruisare mecanică, există tensiuni de compresiune favorabile rezistenței la oboseală, se va opta pentru aplicarea acestor tehnologii unui material dat, decât să se recurgă la schimbarea lui cu altul mai aliat, deci mai scump.

Cercetările au evidențiat că rezistența la oboseală crește cu creșterea cantității de martensită obținută prin călire.

Constituenții care reduc rezistența la oboseală sunt ferita din oțelurile cu pete moi (călite incomplet sau decarburate superficial) și austenita reziduală când depășește 8...10%.

Când organele de mașini sunt solicitate predominant dinamic cu viteză mare sau la temperaturi scăzute și când starea tensională volumetrică, rigidă poate provoca ruperea fragilă, criteriul de bază al alegerii materialelor metalice adecvate este cel al rezilienței la temperatura ambiantă și în special la temperatura de exploatare.

Important în acest caz este temperatura de tranziție ductil-fragil. Este posibil ca un oțel cu reziliența inferioară la temperatura ambiantă (B) să se comporte mai bine (să aibă temperatura de tranziție de la ductil la fragil mai scăzută) decât un oțel (A) care la temperatura ambiantă are reziliența superioară.

Reziliența la temperatura ambiantă este un criteriu de alegere a materialelor metalice doar pentru organele de mașini solicitate mecanic cu viteza mare și nu la temperaturi scăzute. Conținutul mic de carbon în oțeluri, normalizarea și în special îmbunătățirea coboară temperatura de tranziție ductil-fragil. De asemenea, se va lua în considerare fragilitatea accentuată de revenire a oțelurilor aliate cu mangan, mangan-siliciu, crom, crom-siliciu, crom-vanadiu, crom-nichel, crom-mangan-siliciu, recomandându-se oțelurile aliate cu molibden (Cr-Mo, Cr-Ni-Mo) puțin sensibile la fragilitatea de revenire.

În cazul anvelopei tubului termic solicitările mecanice sunt statice, de încovoiere sub greutate proprie, combinate cu solicitări de întindere radială corespunzătoare recipientelor sub presiune.

În timpul manipulării și întreținerii materialul trebuie totuși să prezinte proprietăți care să asigure integritatea piesei în condiții dinamice (mici șocuri).

3.1.3. Stabilirea materialelor metalice care satisfac criteriile

Deoarece primul criteriu în ordinea de prioritate stabilită este conductibilitatea termică ridicată, va trebui să selectăm în această etapă cele mai bune materiale din acest punct de vedere.

Din datele disponibile în literatură se constată că metalele au cel mai mare coeficient al conductibilității termice. În ordine descrescătoare a coeficientului de conductibilitate termică pe primul loc se situează Ag, urmat de Cu, Al, alame, oțeluri carbon și aliate și așa mai departe, din listă fiind excluse deja metalele nobile și cele prea puțin disponibile.

Un tabel cu cele mai importante proprietăți ale materialelor alese este prezentat mai jos.

În fapt, și argintul este prea scump și prea puțin disponibil pentru aplicații de acest tip așa că lista trebuie redusă din nou, considerată deci fără Ag.

Înainte de aplicarea celui de-al doilea criteriu, rezistența la coroziune, reamintim condițiile la care este supusă piesa din acest punct de vedere.

Fiind un tub termic gravitațional de joasă temperatură ($5\text{ }^{\circ}\text{C} - 90\text{ }^{\circ}\text{C}$) fluidul de lucru este apa, iar la exterior se presupune apă caldă sau aer cald cu vapori prezenți în mod obișnuit în atmosferă și apă rece sau aer rece cu vapori prezenți în mod obișnuit în atmosferă.

Din punct de vedere al rezistenței la coroziune ordinea materialelor rămase în listă este următoarea - ordine descrescătoare: cuprul (+ 0,34 potențial de electrod) – conform literaturii recomandat ca fiind foarte rezistent la coroziune; oțelul inoxidabil (- 0,2 potențial de electrod mediu) – conform literaturii având stabilitatea chimică medie; Al – (-1,28 potențial de electrod) rezistent la coroziune, mai puțin în soluții alcaline (se acoperă cu o peliculă continuă și aderentă de oxid de aluminiu care împiedică oxidarea în acizi); alamele au rezistență la coroziune bună în atmosferă uscată dar nu și în mediu

umed; oțelurile carbon (- 0,43 potențial de electrod)– au stabilitate chimică medie conform recomandărilor din literatura de specialitate [3,7].

Deoarece tuburile termice au durată de amortizare de aproximativ 9 – 12 luni, și o durată medie de funcționare de 5-6 ani, rezistența la coroziune a oțelurilor carbon considerăm că nu este suficient de ridicată. Alamele de asemeni nu pot fi utilizate din cauza corodării în mediu umed.

Dacă aplicăm criteriul sudabilității sau echivalentul acestuia (realizarea unei asamblări etanșe) atunci putem ordona materialele rămase după cum urmează. Cel mai ușor asamblabil este cuprul. Procesul tehnologic poate fi de lipire tare sau brazare, sau combinat prin asamblare filetată etanșată cu aliaj de lipit. Etanșeitatea asigurată este foarte bună.

Pentru sudarea aluminiului tehnologia utilizată este ceva mai pretențioasă, necesitând protecția cordonului de metal topit cu gaz inert (de obicei argon).

Sudarea oțelului inoxidabil este posibilă cu anumite precauții (preîncălzirea pieselor componente și atmosferă protectoare de gaz inert).

Având în vedere cele prezentate se distinge ca material preferabil cuprul, deși nici celelalte două nu pot fi excluse.

Rezistența mecanică necesară este asigurată de toate cele trei materiale metalice rămase, valoarea absolută a acesteia nefiind mare.

În această fază a alegerii materialelor apelăm la recomandările literaturii de specialitate, recomandări specifice pentru același tip de piesă (tuburi termice). Astfel [2,11] recomandă utilizarea cuprului cu fluid de lucru apă și de asemeni, oțelul inoxidabil cu fluid de lucru apă.

Aluminiul, nu este compatibil cu apa, în construcția tuburilor termice, în funcționare fiind posibilă generarea de hidrogen ca gaz necondensabil fapt ce exclude acest material. O soluție ar putea fi alegerea unui alt fluid de lucru care să fie compatibil cu aluminiul și să aibă temperatura de saturație corespunzătoare aplicației pe care dorim să o proiectăm.

În concluzie din acest punct mai departe, decizia în ce privește alegerea materialului se va face apelând la criteriile economice. Cea mai bună alegere va fi dată în urma unor calcule de specialitate.

În calcul vor fi luate în considerare elemente ca: eficiență termică necesară, dimensiuni de gabarit și masă a schimbătorului, durată de amortizare/durată de funcționare; preț de cost al investiției; eficiență economică etc.

Fără a face calculele economice consider că cea mai bună alegere pentru materialul tecii este cuprul deoarece asigură dimensiunile de gabarit cele mai mici, eficiența termică a schimbătorului maximă iar pierderea din cauza masei specifice mai mari nu este majoră.

	Conductibilitate termică	Rezistența la coroziune	Sudabilitate sau de	Masa specifică	Rezistența mecanică	Preț de cost/ disponibilitate
Ag	La temperatura ambiantă cea mai mare conductibilitate termică dintre toate metalele	Foarte rezistent chimic în aer uscat și umed	Ușor sudabil	Este un metal greu	Puțin rezistent mecanic $R_m = 130 \cdot 140$ N/mm^2	foarte ridicat/ nedisponibil
Cu	0,95 $Kcal/cm \cdot s \cdot ^\circ C$	Foarte rezistent la coroziune	Posibilități destul de bune de sudabilitate	8,93 g/dm^3 metal greu	Are o rezistență mecanică foarte bună	1395 \$/tonă
Al	0,52 $Kcal/cm \cdot s \cdot ^\circ C$	Rezistent la coroziune, mai puțin în soluțiile alcaline	Sudabil cu arc în gaz inert	Metal ușor 2,70 g/dm^3	320-400 N/mm^2	1250 \$/tonă
Oțeluri carbon	0,16 $Kcal/cm \cdot s \cdot ^\circ C$	-0,43 rezistență medie	Greu sudabil prin topire	7,85 g/dm^3	Medii	Mic
Oțel inoxidabil	0,16 $Kcal/cm \cdot s \cdot ^\circ C$	-0,1 stabilitate chimică medie	Greu sudabil	7,85 g/dm^3	500-700 N/mm^2	Mediu
Alama	0,45 $Kcal/cm \cdot s \cdot ^\circ C$	Rezistență la coroziune dar nu și în umiditate	Sudabilitate bună	8,2 g/dm^3 Relativ grele	180-220 N/mm^2 Rezistență mecanică redusă	975\$/tonă
Plumb și aliaje	0,20 $Kcal/cm \cdot s \cdot ^\circ C$	Foarte rezistent la coroziune în aer, uscat, apă, acizi sulfurici	Ușor de lipit	11,34 g/dm^3 Un metal foarte greu	Rezistență mecanică foarte scăzută	Relativ mare

Capitolul 4

METODĂ DE EVALUARE A ALEGERII MATERIALELOR METALICE

În alegerea materialelor, experiența joacă un rol important și pentru tinerii ingineri un instrument pentru evaluarea și alegerea unui material poate fi valoroasă.

Câteodată, în alegerea materialelor metalice apare situația în care două sau trei variante de materiale nu sunt ușor de departajat, având în vedere criteriile de alegere stabilite, iar experiența inginerului este cea care va decide. Pentru tinerii ingineri și pentru începători, problema alegerii materialelor în aceste condiții, poate fi una dificilă.

Alegerea materialelor printr-o metodă nesubiectivă poate fi foarte atragătoare. Pe de altă parte pentru un expert în materiale o astfel de metodă poate fi chiar mai mult decât atât poate fi un argument în susținerea unei judecăți.

4.1. Principiile metodei de evaluare a alegerii materialelor metalice

Pentru că modalitatea de judecată în alegerea materialelor metalice, de la o variantă la alta, adesea rămâne ascunsă, și în acest fel, greu de discutat în consiliile tehnice, o metodă de abordare transparentă în acest domeniu este foarte valoroasă.

Chiar mai mult, în situația în care este cazul să discutăm alegerea corectă sau incorectă a materialului pentru un scop dat, un instrument de judecată imparțială ar fi de dorit. În următoarele, vor fi pe scurt prezentate principiile acestei metode, o metoda de calcul care se dorește cât mai puțin subiectivă.

Ideea conceperii acestui calcul, pornește de la o matrice, de evaluare rapidă a impactului asupra mediului [14].

Noua metodă, numită de autor M.E.A.M.M [16] (metodă de evaluare a alegerii materialelor metalice) se bazează pe o definiție standard a unor criterii de evaluare prin care valorile cuantitative pot fi deduse pentru fiecare dintre aceste criterii.

Valorile alegerii materialelor sunt evaluate printr-o raportare a anumitor criterii la un material și acordând pentru fiecare în parte o notă. Vom folosi această cale pentru a ne asigura de performanțele proprietăților discutate.

Criteriile importante în alegerea materialelor pot fi grupate în două categorii:

A- Criterii care pot schimba individual rezultatul

B- Criterii care nu pot schimba individual obținerea rezultatului

Valorile asociate pentru fiecare grup de criterii pot fi determinate folosind o formulă simplă.

Evaluarea sistemului este constituită după cum urmează:

- notele pentru grupa A sunt obținute înmulțind valorile pentru fiecare criteriu

$$(a_1) \times (a_2) = a^T$$

$(a_1) \dots (a_i)$ – sunt notele date pentru criteriile individuale din grupa A

Folosirea înmulțirii pentru criteriile din grupa A, este importantă deoarece asigură exprimarea importanței fiecărei note, în timp ce simpla adăugare ar exprima rezultate identice, pentru diferite condiții.

- notele pentru grupa B sunt adunate, dând o singură sumă:

$$(b_1) + (b_2) + (b_3) = b^T$$

$(b_1) \dots (b_i)$ – sunt notele date pentru criteriile individuale din grupa B

Aceasta dă siguranța că fiecare notă nu poate influența rezultatul general; de asemenea, importanța însumării valorilor din grupa B, este văzută ca un întreg.

Insumarea notelor din grupa B este apoi înmulțită cu valoarea rezultată din grupa A obținând în acest fel un rezultat final (ES).

$$(a^T) \times (b^T) = ES \quad \text{unde:}$$

a^T – rezultatul înmulțirii tuturor notelor din grupa A

b^T – rezultatul înmulțirii tuturor notelor din grupa B

ES – rezultatul proprietăților analizate

Motivarea fiecărei proprietăți este făcută conform criteriilor și aranjarea nivelelor arătată în tabelul următor.

Tabel 4.1.- Criteriile și stabilirea nivelelor

Criteriu	Scara	Descrierea
A ₁ Importanța proprietăților pentru funcționare	4	Indispensabil în funcționare
	3	Foarte important în funcționare
	2	Important pentru funcționare
	1	Puțin important în funcționare
	0	Nu influențează funcționarea
A ₂ Procesare posibilă a materialului în timpul traseului tehnologic	4	Înaltă tehnologicitate pentru toate operatiile din traseul tehnologic
	3	Tehnologicitate bună pentru cea mai mare parte dintre operatiile din traseul tehnologic
	2	Tehnologie medie pentru cea mai mare parte dintre operatiile din traseul tehnologic
	1	Tehnologie joasă pentru câteva din procedurile necesare
	0	Greu de executat în condiții de eficiență pentru cel puțin o operație din traseul tehnologic
B ₁ Complexitatea utilajului de prelucrare	1	Mare
	2	Medie
	3	Obișnuită
B ₂ Complexitatea tratamentului termic necesar	1	Complex
	2	Mediu
	3	Obișnuit
B ₃ Cost de prelucrare	1	Mare
	2	Mediu
	3	Mic

4.2. Definirea componentelor, construcția matricii, evaluarea propriuzisă [17]

A defini componentele evaluării înseamnă a selecta proprietățile care ar putea influența obținerea, traseul și operațiile tehnologice necesare cât și recuperarea materialelor în cele mai bune condiții economice.

Componentele pot fi incluse în clase ca de exemplu:

- proprietăți ale materialelor metalice (P.M.M) (fizice, chimice, mecanice, tehnologice);
- componente economice și proprietăți operaționale (E.O.P);
- componente de natură ecologică (E.C.P)

Pentru evaluarea fiecărei variante de material, mai întâi trebuie să construim o matrice, prin care să arătăm criteriile în raport cu fiecare component. În fiecare celulă nota este scrisă pentru fiecare criteriu individual.

Cu formulele date, calculăm scorul final ES. Rezultatele obținute vor fi comparate urmărind tabelul de categorii arătat mai jos [17].

După ce au fost clasificate pe categorii, rezultatele pot fi reprezentate grafic sau evaluarea se poate realiza direct numeric.

Tabelul 4.2 [17]

Scorul obținut	Categoria	Descrierea categoriei
135 - 144	+ D	Cea mai bună alegere
118- 134	+ C	Alegerea excelentă
101- 117	+ B	Foarte bună alegere
84- 100	+ A	Alegere bună
67- 83	N	Funcționare fără probleme
50-66	- A	Nu se recomandă
33- 49	- B	Alegere proastă
17- 32	- C	Alegere foarte proastă
0 – 16	- D	Cea mai proastă alegere

Tabelul 4.3. – Propunere de matrice de evaluare a alegerii materialelor metalice (M.E.A.M.M) [17].

Component	ES	Categorii	A ₁	A ₂	B ₁	B ₂	B ₃
Material 1 (nume) P.M.M.							
Conductibilitate termică							
Rezistența la coroziune							
Sudabilitate sau posibilitate de asamblare							
Rezistență mecanică							
Masa specifică							
Preț de cost							

4.3. Aplicarea metodei

Pașii care trebuie urmați în aplicarea metodei M.E.A.M.M. sunt:

- stabilirea criteriilor și pașilor de evaluare
- definirea componentelor și gruparea lor pe clase
- evaluarea rezultatelor
- aranjarea rezultatelor pe categorii
- stabilirea categoriilor pentru fiecare clasă de component

Construirea matricei este unul dintre cei mai importanți pași în această metodă, deoarece alegerea componentelor poate fi destul de dificilă. După aceasta, evaluarea cu note și calcule nu este greu de realizat.

Această metodă asigură același raționament pentru fiecare variantă de material și pentru că mare parte dintre componente pot fi măsurate, categorisirea lor este foarte ușoară și obiectivă, chiar dacă nu există departajări esențiale.

Nu în ultimul rând, cel mai important avantaj al acestei metode este transparența notelor, deci, a rațiunii fiecărui component sau a fiecărui criteriu de evaluare.

Metoda este eficientă deoarece este mult mai ușor să compari numere, într-o manieră obiectivă, decât să evaluezi opinii sau recomandări. În această fază inițială, testele preliminare , făcute cu această metodă dau rezultate bune, în comparație cu cele obținute prin metoda clasică [17].

Matricea de evaluare a alegerii materialului pentru anvelopa tubului termic este data mai jos, semnificatia elementelor regasindu-se in tabelele de mai sus.

Component	ES	Categorii	A₁	A₂	B₁	B₂	B₃
Cu							
Conductibilitate termică	108		4	3	3	3	3
Rezistența la coroziune	60		4	3	2	2	1
Sudabilitate sau posibilitate de asamblare	108		3	4	3	3	3
Masa specifica	54		3	2	3	3	3
Al							
Conductibilitate termică	108		4	3	3	3	3
Rezistența la coroziune	60		4	3	1	2	1
Sudabilitate sau posibilitate de asamblare	36		3	3	1	2	1
Masa specifică	108		3	4	3	3	3
10NiCr10							
Conductibilitate termică	72		4	2	3	3	3
Rezistența la coroziune	128		4	4	3	2	3
Sudabilitate sau posibilitate de asamblare	30		3	2	1	2	2
Masa specifică	81		3	3	3	3	3

Analizând valorile obținute de către materialele candidate la criteriile alese putem trage concluzia că alegerea cuprului este cea mai bună soluție, având plusuri față de oțelul inoxidabil 10NiCr10, la capitolele conductibilitatea termică și sudabilitate, și minusuri la capitolul rezistență la coroziune și masă specifică rezultat dat și de metoda clasică.

Bibliografie selectivă

1. Alexandru, I., s.a., Alegerea și utilizarea materialelor metalice, EDP, București, 1997, ISBN 973-30-5549-2
2. Bădărău, Gh., s.a., Proprietățile materialelor metalice, ed. „Gh. Asachi” Iași, 2003, ISBN 973-621-018-9
3. Badarau, Gh., Badarau, V., Ionita, I., Stefan, M., Diagnosis method and evaluation of the metallic materials choice, Buletinul I.P.I. Fasc. 1, Tom LI(LV), Sectia Stiinta si Ingineria Materialelor, Iasi, 2005, pp. 83-88, ISSN 1453-1690