

REZUMATUL TEZEI DE DOCTORAT

În contextul dezvoltării industriale și a creșterii nivelului de civilizație și confort a populației, devine tot mai atractivă valorificarea resurselor neconvenționale de energie, prin arderea diferitelor tipuri de deșeuri.

Incinerarea deșeurilor se poate realiza fie în instalații speciale, al căror scop principal îl reprezintă distrugerea termică a deșeurilor, cazul incinerării deșeurilor speciale, fie în instalații de co-incinerare, al căror scop principal este generarea de energie, cazul co-incinerării biomasă-cărbune.

Problematica tezei de doctorat se înscrie în contextul optimizării materialelor și procedeele de sudare utilizate la realizarea instalațiilor de incinerare a deșeurilor speciale, respectiv arderea biomasă-cărbune.

În cadrul tezei de doctorat, a fost analizată comportarea diferitelor materiale metalice, respectiv îmbinări sudate din diferite materiale, utilizate la realizarea unor repere din instalațiile de ardere ale incineratoarelor de deșeuri. S-a urmărit comportarea acestor materiale și îmbinări sudate din punct de vedere al rezistenței la coroziune la temperaturi ridicate în intervalul 900-1200 °C și la acțiunea chimică a gazelor de ardere.

Teza este structurată pe 6 capitole cuprinzând un număr de 180 pagini, cu 171 figuri și 34 tabele. Lucrarea este completată cu 9 anexe extinse pe 27 pagini, referitoare la rezultatele încercărilor realizate în cadrul tezei.

Capitolul 1 al tezei numit “Incineratoare industriale” prezintă date referitoare la compoziția chimică elementară a deșeurilor, respectiv la emisiile de gaze rezultate în urma incinerării atât a deșeurilor speciale cât și a amestecurilor de biomasă-cărbune.

În continuarea capitolului se prezintă două tipuri de instalații de incinerare: instalații de incinerare a deșeurilor speciale, respectiv instalații de co-incinerare biomasă-cărbune. Pentru fiecare tip de incinerator se prezintă componența, procesul tehnologic de ardere a deșeurilor și principalele caracteristici tehnice. Aceste incineratoare sunt cele în care s-a realizat expunerea probelor sudate la gazele rezultate în urma arderii: deșeurilor speciale într-un incinerator de tip TERMOREFRACT 001, respectiv amestecului biomasă-cărbune într-o stație pilot din Laboratorul Multifuncțional de Mașini Termice și Energii Neconvenționale din Facultatea de Mecanică.

Referitor la materialele metalice recomandate în fabricarea incineratoarelor, teza prezintă date despre oțelurile inoxidabile austenitice și aliajele refractare pe bază de nichel și

cobalt. Aceste materiale sunt analizate din punct de vedere al compoziției chimice, al proprietăților mecanice și a rezistenței la coroziune la temperaturi înalte. În partea finală a acestui capitol sunt sintetizate particularitățile procedeele de sudare indicate la îmbinarea acestor material, respectiv procedeele de sudare în mediu de gaz inert WIG și MIG.

Capitolul 2 intitulat “Coroziunea îmbinărilor sudate” prezintă mecanismul coroziunii din punct de vedere fizico-chimic, punând accent pe coroziunea chimică sub aspectul acțiunii gazelor uscate asupra materialelor. De asemenea sunt sintetizate date referitoare la formele de coroziune specifice materialelor expuse la medii corozive predominant oxidante. În corelație cu mediul coroziv lucrarea descrie particularitățile fenomenelor de oxidare, sulfurare, carburare și nitrurare produse la temperaturi înalte. Partea finală a acestui capitol indică principalele metode directe și indirecte de evidențiere a coroziunii.

“Cercetările experimentale” detaliate în *Capitolul 3*, cuprind datele referitoare la execuția probelor sudate și testarea lor în diferite medii corozive.

Probele sudate s-au efectuat în laboratorul de „Sudare în mediu de gaze protectoare,, din cadrul catedrei SMS de la Facultatea de Mecanică din Universitatea POLITEHNICA Timișoara. Echipamentele de sudare utilizate au fost: instalația de sudare MAGIC WAVE 300 pentru procedeul WIG, respectiv instalația LUC 500-ARISTO pentru procedeul MIG.

Pentru realizarea probelor sudate, s-au utilizat table din oțelul inoxidabil austenitic de tip X5CrNi18-10, de grosime 4 mm și aliaje refractare de tip Inconel 601/N06601, cu grosime de 3 și 4 mm, respectiv Inconel 625/N06625, cu grosime de 4 mm.

Materialele de adaos folosite la realizarea probelor sudate au fost:

- sârma de sudare de tip LNT/LNM 304LSi, pentru sudarea oțelurilor inoxidabile austenitice prin procedeul MIG;
- vergele de tip LNT 316L, pentru sudarea oțelurilor inoxidabile austenitice prin procedeul WIG;
- vergele de tip LNT/LNM NiCro 70/19 pentru sudarea aliajelor refractare prin procedeul WIG;
- gazul de protecție inert de tip I1, pentru sudarea tuturor tipurilor de materiale.

La realizarea probelor sudate s-au folosit diferite tehnologii de sudare conform WPS-urilor indicate în teză. Un set de probe sudate din aliaje de nichel a fost supus tratamentului termic de recoacere de punere în soluție.

Testarea/expunerea probelor sudate la diferite medii corozive s-a realizat astfel:

- probe sudate din oțel inoxidabil austenitic au fost poziționate în focarul cu

ardere în strat fluidizat a amestecului biomasă-cărbune din stația pilot de la UPT, timp de 100 zile;

- probe sudate din oțel inoxidabil austenitic și din aliaje refractare de tip Inconel au fost depuse la ieșirea gazelor de ardere din camera de post combustie, într-un incinerator de deșeuri speciale de tip TERMOREFRACT 001, timp de 36 zile.

În această perioadă s-au efectuat, în regim stabilizat de funcționare a instalațiilor măsurători legate de regimul de temperaturi și de compoziția gazelor de ardere, măsurători prezentate detaliat în lucrare.

În *Capitolul 4* intitulat “Calitatea îmbinărilor sudate supuse coroziunii” sunt prezentate încercările distructive și speciale pentru testarea îmbinărilor sudate ce au fost expuse în diverse medii corozive.

Epruvetele prelevate din probe sudate înainte de expunerea în mediul coroziv, respectiv după expunere în mediu coroziv, au fost supuse unui program complex de încercări:

- încercări mecanice: încercarea la tracțiune, încercarea la îndoire cu rădăcina întinsă și comprimată, încercarea durtății;
- analiza metalografică;
- încercarea la coroziune intercristalină.

Rezultatele încercării la tracțiune evidențiază corectitudinea regimurilor de sudare folosite, ruperea epruvetelor realizându-se în metalul de bază la valori apropiate ale rezistenței mecanice pentru cele două seturi de probe: probe neexpuse, respectiv probe expuse mediului coroziv.

Observații asemănătoare pot fi făcute și prin prismă încercării la îndoire, unghiul de îndoire la majoritatea epruvetelor fiind de 180°C, fără a fi observate fisuri pe suprafețele întinse. Se poate concluziona că mediul coroziv afectează nesemnificativ caracteristicile mecanice ale probelor sudate analizate.

Pentru determinarea durtății în diverse zone ale îmbinării sudate, s-a folosit metoda Vickers cu sarcina de 2 N. Modul de amplasare a amprentelor a fost: o direcție la suprafața exterioară a epruvetei, respectiv la nivelul axei centrale a epruvetei, cea de a doua direcție.

În lucrare sunt date valorile durtății determinate și reprezentarea grafică a acestora în zonele îmbinării sudate pentru epruvete expuse, respectiv neexpuse la diferite medii corozive.

În urma încercării la coroziune intercristalină s-a observat că mediul coroziv rezultat din arderea amestecului biomasă-cărbune nu afectează rezistența la coroziune intercristalină a îmbinării sudate din oțel inoxidabil, comparativ cu mediul coroziv rezultat din arderea

deșeurilor speciale mediu ce afectează semnificativ rezistența la coroziune a îmbinărilor sudate.

Rezistența la coroziune a îmbinarilor sudate din aliaje de nichel în prezența mediului coroziv rezultat din incinerarea deșeurilor speciale prin prisma încercărilor de coroziune incrustală, este superioară rezistenței la coroziune a oțelurilor inoxidabile.

Analiza metalografică a epruvetelor testate în mediul coroziv rezultat din co-incinerarea biomsei cu carbune, s-a efectuat comparativ, pe epruvete din oțel inoxidabil austenitic ce nu au fost supuse mediului coroziv, respectiv pe epruvete supuse mediului coroziv.

Mediul coroziv, rezultat în urma arderii amestecului biomasă-cărbune, este mai puțin agresiv din punct de vedere chimic pentru oțelul inoxidabil, fapt evidențiat de rezultatele analizei microscopice. Atât la nivelul zonei de influență termică cât și la nivelul metalului sudurii pe suprafața exterioară s-au observat ușoare urme de coroziune, explicabile dat fiind perioada îndelungată de expunere în mediu coroziv.

La controlul vizual al probelor sudate expuse mediului coroziv rezultat din arderea deșeurilor speciale, s-au observat fenomene de coroziune accentuate extreme în cazul probelor din oțeluri inoxidabile, mai puțin intense în cazul probelor sudate din aliaj Inconel 601, și nesemnificative la probele sudate din Inconel 625.

Analiza metalografică a epruvetelor testate în mediul coroziv rezultat din incinerarea deșeurilor speciale s-a efectuat pe 2 seturi de epruvete. Un set de epruvete, considerat ca set de epruvete de referință, a fost constituit din epruvete fără tratament și cu tratament termic, care nu au fost supuse mediului coroziv. Cel de al doilea set a cuprins epruvete din aceleași probe sudate, fără și respectiv cu tratament termic, dar care au fost supuse mediului coroziv rezultat din incinerarea deșeurilor speciale.

Analiza macroscopică a probelor sudate din oțel inoxidabil, expuse mediului coroziv rezultat din arderea deșeurilor speciale a evidențiat procese de coroziune extinse pe întreaga suprafață exterioară a probelor, pe adâncimi de până la 0,8 mm, observandu-se o intensitate mai mare în zona ZIT-ului îmbinării. La probele sudate din aliaje refractare de tip Inconel 601 expuse la celeași condiții de testare procesul de coroziune a fost mai puțin extins de până la 0,2 mm. La aliajul Inconel 625, procesul de coroziune a fost nesemnificativ atât la nivelul metalului de bază cât și la nivelul îmbinării sudate.

Examinarea microscopică a probelor sudate ce nu au fost supuse tratamentului termic au evidențiat corectitudinii procesului de sudare aplicat.

Tratamentul termic aplicat, nu a modificat esențial tipul și mărimea constituenților structurali, fiind observate separări de faze secundare la limita grăunților în cazul probelor executate din aliaj Inconel 601.

Procese de coroziune intense în cazul probelor sudate din oțel inoxidabil, expuse mediului coroziv rezultat din arderea deșeurilor speciale, manifestate în toate zonele îmbinărilor sudate, au fost puse în evidență de analiza microscopică.

Aliajele de nichel prezintă o rezistență la coroziune mai bună, în mediul coroziv rezultat din incinerarea deșeurilor speciale. Deși condițiile de mediu coroziv au fost identice, probele sudate de grosimi diferite s-au comportat diferit. Probele cu grosimea de 3 mm, au prezentat rezistență la coroziune mai bună comparativ cu cele de 4 mm, fapt evidențiat la nivelul metalului de bază.

Procesul de coroziune este redus ca intensitate, manifestat doar pe suprafața în contact cu mediul coroziv, în cazul probelor sudate din Inconel 601 și nesemnificativ în cazul probelor sudate din Inconel 625.

“Condiții de exploatare pentru minimalizarea procesului de coroziune” expuse în *Capitolul 5*, prezintă modele matematice obținute prin utilizarea programului statistic MINITAB. Datele de intrare utilizate au fost valorile caracteristicilor mecanice: duritate, rezistență la rupere, alungirea la rupere și rezultatele analizei microstructurale, iar factorii de control s-au referit la condițiile ce definesc mediul coroziv: temperatură, timp de menținere, concentrația gazelor de ardere CO_2 , CO , SO_2 .

Rezultatele analizei microstructurale s-au coantificat cu cifre de la 1-5. Pentru mărimile analizate, s-au utilizat valorile obținute în urma măsurărilor pe probele sudate în diverse faze ale cercetării: probe sudate netratate termic, probe sudate tratate termic, probe sudate supuse gazelor de ardere rezultate din arderea amestecului biomasă-cărbune, respectiv probe sudate supuse gazelor de ardere din incinerarea deșeurilor speciale. Prin experimentele realizate s-a evidențiat care dintre variabilele controlate/factorii de control, influențează răspunsul procesului.

“Concluziile și contribuțiile personale” rezultate în urma cercetărilor efectuate în cadrul tezei sunt prezentate în *Capitolul 6*. Se pot evidenția următoarele concluzii:

- materialul recomandat la realizarea componentelor instalațiilor de incinerare biomasă-cărbune este oțelul inoxidabil austenitic de tip 18/10, precum marca X5CrNi18-10, utilizată în cercetările experimentale;
- la îmbinarea reperelor componentelor din incineratoarele de biomasă-cărbune se recomandă procedeul de sudare în mediu de gaz protector cu electrod nefuzibil, WIG;

- mediul coroziv rezultat din arderea deșeurilor periculoase este mai agresiv chimic comparativ cu mediul gazos rezultat din arderea amestecului biomasă-cărbune;
- mediul coroziv rezultat din arderea deșeurilor speciale produce fenomene de coroziune intense în toate zonele îmbinărilor sudate;
- oțelurile inoxidabile austenitice nu sunt indicate la realizarea componentelor din instalația de incinerare a deșeurilor speciale;
- nivelul proceselor de coroziune semnalate la probele sudate din aliaj Inconel 601 sunt nesemnificative comparativ cu ponderea fenomenelor de coroziune identificate la probele din oțel inoxidabil, supuse la condiții identice de testare, în incineratorul de deșeuri speciale;
- dintre aliajele de nichel, recomandat pentru realizarea componentelor incineratoarelor de deșeuri speciale, este aliajul Inconel 625;
- pentru realizarea componentelor instalației de incinerare a deșeurilor periculoase din aliaj Inconel 625, procedeul de sudare adecvat este procedeul de sudare în mediu de gaz protector cu electrod nefuzibil, WIG;

Principale contribuții personale relevante rezultate în urma cercetărilor efectuate sunt:

- identificarea în urma consultării bibliografiei în domeniu a tipurilor de deșeuri, a compoziției chimice elementare și a caracteristicilor de ardere specifice diverselor tipuri de deșeuri;
- evidențierea importanței materialului utilizat la realizarea componentelor incineratoarelor;
- selectarea materialelor și procedeelor de sudare adecvate realizării reperelor din componența diferitelor tipuri de incineratoare;
- realizarea programului de cercetări experimentale referitor la îmbinările sudate pe materialele selectate cu procedeele de sudare selectate;
- selectarea condițiilor de expunere a probelor sudate în diferite medii corozive, perioade de timp variabile;
- realizarea programului experimental complex de verificare a calității îmbinărilor realizate, înainte și după expunerea în mediu coroziv;
- realizarea modelelor matematice utilizând programul MINITAB;
- abordarea interdisciplinară a cercetării, prin realizarea de cercetări specifice domeniului mecanic, chimic și al prelucrării informaționale a datelor.

Ing. Maria SALAI