



UNIUNEA EUROPEANĂ



GUVERNUL ROMÂNIEI
MINISTERUL MUNCII, FAMILIEI ȘI
PROTECȚIEI SOCIALE
AMFOSDRU



Fondul Social European
POS DRU 2007-2013



Instrumente Structurale
2007-2013



MINISTERUL
EDUCAȚIEI
CERCETĂRII
TINERETULUI
ȘI SPORTULUI
OIPOSDRU



Universitatea
"POLITEHNICA"
din Timișoara

**Titlul proiectului „Prin burse doctorale spre cercetarea de nivel european”
Contract POSDRU/88/1.5/S/50783; ID 50783**

Ing. Relu-Costel CIUBOTARIU

REZUMAT

Straturi de acoperire pulverizate termic în vederea creșterii rezistenței la eroziunea cavitațională

Conducător științific

Prof. univ. dr. ing. Viorel-Aurel ȘERBAN

**UNIVERSITATEA “POLITEHNICA” DIN TIMIȘOARA
FACULTATEA DE MECANICĂ**

2013



UNIUNEA EUROPEANĂ



GUVERNUL ROMÂNIEI
MINISTERUL MUNCII, FAMILIEI ȘI
PROTECȚIEI SOCIALE
AMPOSDRU



Fondul Social European
POS DRU 2007-2013



Instrumente Structurale
2007-2013



MINISTERUL
EDUCAȚIEI
CERCETĂRII
TINERETULUI
ȘI SPORTULUI

OIPOSDRU



Universitatea
"POLITEHNICA"
din Timișoara

Acknowledgment

"This work was partially supported by the strategic grant POSDRU 2009 project ID 50783 of the Ministry of Labor, Family and Social Protection, Romania, co-financed by the European Social Fund – Investing in People".

UNIVERSITATEA "POLITEHNICA" DIN TIMIȘOARA
FACULTATEA DE MECANIC

Straturi de acoperire pulverizate
termic în vederea creșterii rezistenței
la eroziunea cavitațională

TEZĂ DE DOCTORAT
- REZUMAT -
(EXTRAS)

Conducător științific:

Prof. univ. dr. ing. Viorel-Aurel Șerban

Doctorand:

Ing. Relu-Costel Ciubotariu

Teza de doctorat intitulat „Straturi de acoperire pulverizate termic în vederea creșterii rezistenței la eroziunea cavitațională”, abordează o problemă tehnică apărută în Hidrocentrala Porțile de Fier I în legătură cu procesele de eroziune cavitațională. CHE Porțile de Fier I, situată pe fluviul Dunărea, a fost pusă în funcțiune între anii 1970 și 1972, cu cinci grupuri hidro de 190 MVA, echipate cu turbine Kaplan, pe fiecare dintre cele două părți, cea sârbă și cea română.

Scopul: În această hidrocentrală, datorită caracteristicilor tehnice și condițiilor de funcționare, fenomenul de cavitație este deosebit de intens. În mod obișnuit, reparațiile se efectuează la fața locului, în hidrocentrală. Ele presupun îndepărtarea, prin polizare, a materialului afectat de cavitație, urmată de depunerea unui strat rezistent la cavitație. De regulă, acest strat se obține prin sudură, iar materialele de umplere utilizate sunt, în principal, din oțel martensitic, de același tip cu cel din care este confecționată componenta reparată și un oțel austenitic durificabil prin deformare plastică la rece, de tip UTP 730.

În timp ce, în cazul sudurii oțelurilor martensitice după reparație apar adesea probleme legate de tensiunile interne remanente, formate în timpul operației de depunere și care conduc ulterior la distrugerii prin coroziune fisurantă sub sarcină, obținerea straturilor sudate din electrozi de umplere de tip UTP 730 ridică dificultăți datorită sudabilității necorespunzătoare a acestui oțel, îndeosebi în situațiile în care sunt necesare a fi realizate straturi de grosimi peste 10 mm. Astfel de fenomene reduc semnificativ durata de funcționare a agregatelor între două revizii consecutive și cresc, prin aceasta, costurile de exploatare.

Prin lucrarea de față, autorul încearcă să propună o soluție alternativă de acoperire cu straturi protectoare a zonelor supuse eroziunii cavitaționale de pe suprafața componentelor hidroagregatelor, prin utilizarea unor materiale rezistente la cavitație depuse prin pulverizare termică urmate sau nu de aplicarea unui tratament post-pulverizare.

Principalul obiectiv constă în găsirea unei soluții adecvate de acoperire protectoare, rezistentă la cavitație și alte tipuri de solicitări, ce pot apărea în hidroagregate (uzare abrazivă, coroziune), prin analiza comparativă a mai multor tipuri de acoperiri, depuse prin pulverizare termică precum și a celor depuse ciora ulterior li s-a aplicat tratamente de retopire.

Activitățile întreprinse pentru realizarea acestui obiectiv constau din:

- Studiu bibliografic asupra metodelor folosite în prezent în vederea creșterii rezistenței materialelor la uzură cavitațională și uzare prin abraziune;
- Depunerea printr-un procedeu de pulverizare termică de straturi recomandate a avea o bună comportare la eroziune cavitațională;
- Tratamente de retopire pentru îmbunătățirea performanțelor straturilor depuse;
- Caracterizarea structurală, mecanică, la uzare și eroziune a straturilor depuse precum și a celor depuse și retopite ulterior în vederea optimizării parametrilor de depunere și retopire;
- Stabilirea unei metodologii de obținere a unor straturi performante rezistente la eroziune cavitațională depuse pe suprafețele componentelor.

În baza punctelor importante ce trebuiesc atinse pe tot parcursul acestei cercetări științifice, teza a fost structurată pe 7 capitole și anume: capitolul 1 reprezintă partea de introducere care conține motivația și scopul lucrării; capitolul 2 prezintă în prima parte aspecte teoretice cu privire la uzare, iar în a doua parte se face referire la eroziunea materialelor metalice pentru a înțelege mecanismul de degradare a suprafeței acestora în urma imploziei bulelor cavitaționale; capitolul 3 sintetizează tendințele actuale ale cercetării în domeniul prevenirii și limitării eroziunii cavitaționale; capitolul 4 face referire la procedeele de pulverizare termică și consolidare a straturilor de protecție, incluzând proprietățile materialelor și caracteristicile straturilor depuse, avantajele și dezavantajele, iar în final, tratamente aplicate post pulverizare; capitolul 5 descrie programul experimental referitor la materialele utilizate, a procedeelelor de obținere a straturilor, a metodelor de investigație și optimizarea parametrilor de retopire cu laser pe stratul din aliaj pe bază de cobalt; capitolul 6 este dedicat caracterizării straturilor depuse cât și celor depuse și ulterior retopite, sunt reflectate rezultatele, respectiv discuțiile obținute în urma determinărilor; capitolul 7 punctează concluziile generale și contribuțiile originale ale acestei lucrări. În continuare sunt sintetizate aspectele principale din teza.

Teza se încheie cu Bibliografie, Lista lucrărilor **științifice publicate**, Două lucrări **științifice** reprezentative și CV-ul autorului.

Teza se întinde pe 147 pagini și conține: 115 figuri (inclusiv poze), 21 tabele, 206 referințe bibliografice și 7 anexe.

Capitolul 3

Metode de prevenire și protecție actuale

Pentru diminuarea efectelor cavitației se utilizează unele metode de protecție începând cu cele tehnologice, folosirea materialelor inoxidabile cu un conținut ridicat de nichel și crom (o eluri martensitice și austenitice) sau realizarea unor straturi de protecție prin diferite tehnici de pulverizare, până la cele fizice, care folosesc curentul electric, câmpul magnetic sau insuflarea aerului. Pentru condiții severe de cavitație, reproiectarea componentelor pentru a îmbunătăți caracteristicile de curgere a lichidului poate fi necesară. Printre tehnicile utilizate în prevenirea eroziunii cavitaționale pe zonele afectate, în mai toate domeniile, se enumeră: acoperirea cu rășini epoxidice, remanierea prin sudură și reproiectarea anumitor componente.

Remanierea prin sudură a suprafețelor erodate cavitațional

Remanierea prin sudură este procedeul cel mai des utilizat, întrucât pare să conducă la acoperirea cea mai durabilă și de obicei aceasta se face la fața locului, însă principalele probleme cu care se confruntă tehnologii sunt cele legate de apariția tensiunilor interne, modificările structurale suferite de materialul de adaos și cel de bază în timpul procesului de sudură.

Un tratament termic al componentelor la fața locului, cu scopul de a reduce tensiunile interne, este dificil de realizat. După reparațiile prin sudură fără tratament termic ulterior, componentele sunt expuse din nou condițiilor de funcționare. Cel mai des utilizat material de acoperire în vederea protecției împotriva cavitației este o elul inoxidabil austenitic durificabil prin deformare plastică la cald, depus prin sudură in situ. Practica a demonstrat însă că, în cele mai multe cazuri acesta prezintă în straturile interioare o structură necorespunzătoare,

neomogen chimic, alc tuit din gr un i de austenit , înconjura i de carburi complexe de crom, susceptibil la coroziune intercrystalin .

Drept urmare, sub ac iunea solicit rilor alternante, o elul cedeaz în zonele cu rezisten sc zut , respectiv pe limitele de gr unte.

Reproiectarea anumitor componente

Prin retehnologizare, sunt prev zute nervuri anticavita ionale. În acest fel, eroziunea cavita ional de pe periferia paletelor rotorului se transfer pe nervur , iar lucr rile de repara ii se pot efectua de sub rotor, de pe platform .

Expertizele realizate de Centrul de Cercet ri în Hidraulic Automatiz ri i Procese Termice (CCHAPT)*, în cazul distrugerilor ap rute la nervurile anticavita ionale ale paletelor de rotor ale hidroagregatelor de la Por ile de Fier I, au condus la concluzia c repara iile prin sudur a zonelor erodate cavita ional cu o el inoxidabil de tip UTP 730 implic dificult i, datorate modului în care se realizeaz opera iile de sudur în hidrocentral . Stratul din o el inoxidabil, depus prin sudur pe nervura anticavita ional , a prezentat un comportament neobi nit pentru acest tip de material, deoarece din punct de vedere al evolu iei fenomenului de cavita ie i a eroziunii cavita ionale este inexplicabil existen a unor cratere adânci la grani a dintre materialul neerodat cavita ional i cel erodat cavita ional. O cauz posibil este aceea c în procesul de depunere a stratului pe muchiile anticavita ionale au precipitat carburi printre gr un ii de austenit , care au determinat aceast comportare.

Capitolul 5

Program experimental

Pe un substrat din o el inoxidabil martensitic au fost depuse prin pulverizare termic , utilizând metoda HVOF (High Velocity Oxygen Fuel), trei tipuri de pulberi metalice. Straturile astfel realizate au fost retopite cu flac r oxiacetilenic , respectiv cu laser. Sintetic, programul experimental este prezentat în tabelul 5.1.

În plus, în cazul stratului de tip Stellite 6 s-a procedat la optimizarea parametrilor de retopire cu laser, determinându-se experimental puterea de pulsa ie a laserului, care conduce la retopirea complet a stratului depus i asigurat , totodat , microalierea cu materialul de baz la interfa a strat/substrat.

O elul de tip 1.4313, folosit la fabricarea paletii turbinei este utilizat ca material de baz pentru acoperirile depuse prin metoda HVOF.

Pentru ob inerea straturilor s-au utilizat trei tipuri de pulberi, dup cum urmeaz :

- un aliaj pe baz de cobalt cu denumirea comercial Stellite 6;
- dou tipuri de aliaje autofluxante pe baz de nichel (M776.91, respectiv M777.91).

* Centru de cercetare din cadrul Universit ii "Eftimie-Murgu" Re i a, certificat ISO 9001 i ISO 14001

Tabel 5.1 Reprezentare sintetică a programului experimental

Nr. crt.	Tip material	Metodă de obținere strat	Investigații
1.	Material de bază (oțel inoxidabil martensitic)	Turnare	- Evaluarea microstructurii cu ajutorul microscopului optic, microscopului electronic cu baleiaj, al microsondei electronice, difractometrului cu raze X; - Determinarea microdurității; - Evaluarea rezistenței la uzare prin alunecare; - Determinarea rezistenței la eroziune cavitațională.
2.	Pulbere din aliaj pe bază de Co (Stellite 6)	HVOF HVOF + Retopire cu laser	
3.	Pulbere din aliaj pe bază de Ni (M776.91)	HVOF HVOF + Retopire cu flacără	
4.	Pulbere din aliaj pe bază de Ni (M777.91)	HVOF HVOF + Retopire cu flacără	

Pulverizarea termică

Pe eșantioanele din oțel inoxidabil de tip 1.4313 (material substrat), au fost depuse prin pulverizare termică (metoda HVOF) acoperiri de diferite grosimi, utilizând pulberile prezentate anterior. Pentru ca straturile pulverizate să prezinte o bună aderență la substrat, suprafața acestuia a fost pregătită înainte prin sablare. Tratamente aplicate straturilor depuse

Pentru acoperirile formate din aliaj autofluxant pe bază de nichel s-a efectuat un tratament termic de retopire cu flacără oxiacetilenică. Microstructura straturilor din aliaj pe bază de cobalt (Stellite 6) a fost rafinată prin aplicarea unui tratament termic de retopire cu laser în mediu de gaz inert. Optimizarea parametrilor de retopire cu laser a straturilor din aliaj pe bază de cobalt

În primele patru treceri s-au utilizat diferite combinații ale vitezei de deplasare, spotului de lucru și duratei pulsației, efectuându-se astfel calibrarea inițială a modului de lucru. În continuare, în vederea stabilirii valorii optime a puterii de pulsație, s-au efectuat un număr de zece treceri. Determinarea parametrilor de retopire optimi a avut în vedere necesitatea corelării puterii de pulsație cu adâncimea de pătrundere, astfel încât fasciculul laser să conducă la retopirea completă a stratului depus și a interfeței strat/substrat. Prin urmare, pentru toate trecerile, poziția focală a opticii fasciculului a fost măsurată la 5 mm cu plus față de suprafața expusă (defocalizat).

Capitolul 6

Caracterizarea microstructurală a straturilor

Microstructura stratului de tip Stellite 6, obținut prin pulverizare termică prin metoda HVOF (High Velocity Oxygen Fuel), este neomogenă, fiind alcătuită dintr-un amestec lamelar de particule topite și semitopite, o anumită cantitate de oxizi, rezultată în urma oxidării particulelor de pulbere în flacără și porozități.

Analiza EDX, efectuat pe forma iunile de culoare gri închis demonstrează că acestea sunt de tipul oxizi de crom și siliciu. În ceea ce privește analiza fazelor, efectuat prin difracție cu raze X, pe lângă faza de cobalt cu un conținut de 56%, respectiv cea de crom cu 24%, se observă prezența unei faze intermetalice de tip $\text{Co}_{0.9}\text{W}_{0.1}$, în proporție de 20%.

Procesul optimizat de retopire cu laser în mediu de gaz inert a reușit să rafineze structura stratului din aliaj pe bază de cobalt. Acoperirea retopită prezintă un grad ridicat de omogenitate și puritate, porii au fost eliminați complet, iar la interfața strat/substrat, acoperirea prezintă o structură curată, fără microfisuri sau incluziuni. Rezultatele analizei de fază prin difracția razelor X, realizată după aplicarea tratamentului de retopire cu laser, arată o reducere cu peste 50% atât a fazei de cobalt, cât și a fazei de crom, în comparație cu stratul pulverizat termic. Totodată, retopirea a condus la o creștere a cantității de compus intermetalic de tip $\text{Co}_{0.9}\text{W}_{0.1}$ de la 20% (strat pulverizat) la 67% (strat retopit) și la apariția unei noi faze, alcătuită din aceleași elemente, dar cu fracții atomice diferite (Co_3W).

Ambele straturi pulverizate termic prin metoda HVOF din aliaje autofluxante pe bază de nichel (de tip NiCrBSi), având compoziții chimice diferite (denumiri comerciale: M776.91 și respectiv M777.91), au prezentat o grosime de aproximativ 1 mm. Totodată, ambele tipuri de acoperiri au prezentat un grad ridicat de porozitate și o slabă aderență la materialul de bază. De asemenea, pe interfața strat/substrat s-au pus în evidență o mulțime de oxizi și impurități. În urma cuantificării fazelor, a rezultat că stratul M776.91 are un conținut în fazele de tip Ni, Ni_3B și Fe ușor superior față de acoperirea M777.91. Se poate observa totodată că faza de tip CrB din stratul M777.91 este inexistentă în acoperirea M776.91, fiind dat conținutul mai mic în elementele Cr și B din pulberea utilizată pentru aceasta.

Retopirea cu flacără oxiacetilenică a condus la finalizarea structurii straturilor de tip M776.91 și M777.91 și la o reducere considerabilă a gradului de porozitate internă. Corespunzător, rafinarea și compactarea structurii stratului a determinat la reducerea grosimii acestuia, cu 20% în cazul acoperirii de tip M776.91, respectiv cu 7% în cazul M777.91. Totodată, retopirea a condus la realizarea unei aderențe perfecte a straturilor la substrat și obținerea unor interfețe curate, fără impurități.

Determinarea constituției fazice pentru cele două tipuri de straturi din aliaj autofluxant, după tratamentul de retopire cu flacără oxiacetilenică în structura ambelor acoperiri, prezintă aceleași tipuri de faze, dar în proporții diferite, datorate compozițiilor chimice diferite ale celor două materiale.

În ambele cazuri, retopirea determină apariția unei noi faze intermetalice (γ – CrNi_3) în matricea de tip δ -Ni, care este fin dispersată în aceasta. Stratul de tip M777.91, prezintă după retopire o cantitate mai ridicată de boruri dure și fragile (Ni_3B , respectiv CrB).

Msurătorii de microduritate

Se pot trage următoarele concluzii:

- duritatea acoperirilor realizate din Stellite 6 și cele două amestecuri autofluxante pe bază de nichel, atât după depunere prin pulverizare termică, cât și după retopire, este superioară durității materialului de bază (oțel inoxidabil martensitic de tip 1.4313);

- în timp ce retopirea acoperirilor de tip Stellite 6 și M776.91 a condus la scăderea durității acestora, determinat de uniformizarea și omogenizarea

structurii, în cazul stratului de tip M777.91, acest fenomen a fost compensat complet prin creșterea proporției de boruri în urma retopirii, această creștere determinând chiar și o ușoară creștere a durității stratului tratat.

Determinarea coeficienților de frecare

Pentru toate probele realizate s-au determinat coeficienții de frecare cu ajutorul unui aparat de tip pin-on-disc, prin măsurarea deflecției brațului elastic. Corpul static folosit a fost o bilă din WC-Co cu dimensiunea de 6 mm.

Valorile medii ale coeficienților de frecare pentru cele trei tipuri de acoperiri, după retopire, au valori apropiate de coeficientul de frecare al materialului de bază (oțelul inoxidabil). Pe de altă parte, se remarcă faptul că, în timp ce în cazul Stellitelui retopirea conduce la creșterea coeficientului de frecare, în cazul celor două acoperiri din materiale autofluxante retopirea determină reducerea coeficientului de frecare. Această reducere este mai importantă în cazul aliajului M776.91 (26%), decât în cazul M777.91 (5%), unde se manifestă reacțiunea nefavorabilă a desprinderilor masive de material fragil (borurile de Cr și Ni).

Evaluarea ratei la uzare prin alunecare

Concluziile încercării se pot formula după cum urmează :

- în cazul acoperirilor de tip Stellite 6 și M776.91, retopirea efectuată în vederea rafinării și omogenizării structurii, reducerii porozității și creșterii aderenței la materialul suport conduce, inevitabil, la reducerea accentuată a rezistenței la uzare, efect așteptat, datorită reducerii corespunzătoare a durității stratului retopit. Trebuie însă remarcat faptul că fenomenul este mult mai accentuat în cazul Stellitelui, deși diferențele în ceea ce privește duritatea nu sunt atât de importante ($HV_{0,3}$ după retopire are valoarea de 332 la Stellite 6 și 387 la M776.91);

- în cazul aliajului autofluxant de tip M777.91, creșterea durității după retopire ($HV_{0,3} = 643$) conduce implicit la îmbunătățirea rezistenței la uzare, acoperirea retopită având o rezistență la uzarea abrazivă aproximativ egală cu cea a materialului de bază turnat (oțelul inoxidabil martensitic);

- determinările nu au permis punerea în evidență a vreunei corespondențe între valorile coeficienților de frecare și rata de uzare, toate acoperirile retopite și materialul suport prezentând valori apropiate ale coeficienților de frecare, dar rate de uzare diferite.

Determinarea rezistenței la cavitație (metoda directă)

Este remarcat faptul că la testarea directă folosind metoda ultrasonică, dintre cele patru materiale încercate, aliajul pe bază de Co (Stellite 6) are cea mai mare rezistență la eroziunea cavitațională, fiind urmat îndeaproape de aliajul autofluxant de tip M777.91.

Astfel, în cazul probei din Stellite 6 s-a înregistrat cea mai mică valoare a pierderilor masice cumulate (4,46 mg), la o adâncime medie a eroziunii de 2,7 μm . Comparativ cu oțelul inoxidabil, folosit ca substrat, aliajul pe bază de Co a prezentat o viteză de stabilizare a eroziunii de aproximativ 17 ori mai sczută.

Rezistența bună la cavitație a prezentat și aliajul autofluxant de tip M777.91, pierderile masice cumulate fiind de 15,17 mg, adâncimea medie a eroziunii de 11,10 μm , iar viteza de stabilizare a eroziunii de aproximativ două ori mai sczută decât cea a materialului de bază.

Determinarea rezistenței la cavitație (metoda indirectă)

În urma încercărilor se constată că aliajele pe bază de Co, atât în stare pulverizată, cât și după retopire, prezintă cea mai bună rezistență la eroziune

cavita ional indirect . Astfel, pierderea masic este de 3,06 mg, respectiv 16,1 mg pe o perioad de 600 minute. Viteza de stabilizare a eroziunii pentru aceste aliaje pe baz de Co ($V_s = 0,26 \times 10^{-2}$ mm³/min pe suprafața pulverizată, $V_s = 0,04 \times 10^{-2}$ pe suprafața retopită) este scăzută în comparație cu cea a materialului de baz ($V_s = 0,62 \times 10^{-2}$ mm³/min). Rezisten a bun la cavita ie se reflect i în valorile reduse ale adâncimii medii de p trundere a eroziunii (MDE= 9,77 μ m în suprafața pulverizat i MDE= 1,86 μ m în suprafața retopită).

În ceea ce prive te aliajele autofluxante pe baz de Ni, aliajul de tip M777.91, de i are o vitez de stabilizare a eroziunii mai mic ($V_s = 0,48 \times 10^{-2}$ mm³/min) decât cea a materialului de baz ($V_s = 0,62 \times 10^{-2}$ mm³/min), prezint în timp o rezisten la atacul cavita ional mai slab decât acesta. Astfel, în timp ce materialul de baz are o pierdere masic cumulat (G) de 17,18 mg pe o adâncime medie de p trundere a eroziunii (MDE) de 11,1 μ m, valorile înregistrate pentru aliajul de tip M777.91 sunt u or superioare (G=19,9 mg i MDE= 14,56 μ m).

Comparând aliajele autofluxante între ele, se constat c aliajul de tip M777.91 are atât pierderea masic cumulat (G=19,9 mg) cât i adâncimea medie de p trundere a eroziunii (MDE= 14,56 μ m) de aproximativ dou ori mai bune decât cele ale aliajului de tip M776.91 (G=40,4 mg i MDE= 27,73 μ m). De asemenea, valoarea vitezei de stabilizare a eroziunii este mai redus în cazul aliajului de tip M777.91 ($V_s = 0,48 \times 10^{-3}$ mm³/min), în comparație cu cea a aliajului de tip M776.91 ($V_s = 0,92 \times 10^{-3}$ mm³/min).

Concluzii generale

Cercet rile efectuate pe epruvete acoperite cu diferite tipuri de straturi protectoare (un aliaj pe baz de Co i dou aliaje autofluxante pe baz de Ni), depuse prin pulverizare termic , ulterior retopite cu laser (aliajul pe baz de cobalt), respectiv flac r oxiacetilenic (aliajele autofluxante), au condus la urm toarele concluzii:

- Sinteza documentar prezint aspecte și tendințe actuale, cu o descriere elaborat a metodelor folosite în vederea cre terii rezisten ei materialelor la eroziune cavita ional . Sunt prezentate în am nunt, atât caracteristicile straturilor pulverizate termic i cele ale straturilor rezultate post pulverizare, cât i avantajele sau dezavantajele acestora.
- Acoperirile realizate din Stellite 6, ob inute prin pulverizare termic i retopite, prezint cea mai bun rezisten la cavita ie, a a cum au ar tat încerc rile efectuate în vederea determinarii rezisten ei la cavita ie, atât prin metoda direct , cât i prin metoda indirect . Adâncimea medie de p trundere (MDE), în urma încerc rilor prin metoda indirect pentru Stellite 6 pulverizat a fost 9,77 μ m , iar pentru Stellite 6 retopit, MDE= 1,86 μ m. În ceea ce prive te metoda direct , MDE are valoarea 2,7 μ m;
- Straturile ob inute din materiale atofluxante asigur , în general, o rezisten la cavita ie mai redus decât Stellite 6 i o elul inoxidabil martensitic. M776.91 prezint valori ale MDE= 25,21 μ m (metoda direct) i MDE=27,73 μ m (metoda indirect). M777.91 are MDE= 11,1 μ m (metoda direct), respectiv MDE=14,56 μ m (metoda indirect). Oțelul inoxidabil martensitic încercat prin metoda directă are valori ale MDE= 23,27 μ m, iar prin metoda indirect rezultatul este MDE= 11,1 μ m);

- În cazul în care se impune îns ca materialul să prezinte simultan și o bună rezistență la uzare abrazivă, respectiv în situația unor condiții de lucru, care presupun medii apoase cu un conținut ridicat de nisip, sunt de preferat materialele autofluxante (M776.91 sau M777.91), în deosebi marca M777.91;
- Evaluarea ratelor de uzură obținute în urma testului "pin-on-disc" pentru suprafețele pulverizate termic, ne arată că suprafața de tip M776.91 ($10,5 \text{ mm}^3/\text{Nm} \times 10^{-3}$) este cea mai rezistentă în comparație cu celelalte suprafețe în aceleași condiții de testare. După aplicarea tratamentului de retopire aplicat pe suprafețele pulverizate, ratele de uzură prezintă un avantaj al stratului M777.91 ($17 \text{ mm}^3/\text{Nm} \times 10^{-3}$) urmat de stratul M776.91 ($25,8 \text{ mm}^3/\text{Nm} \times 10^{-3}$);
- Pentru că se impune simultan funcționarea componentelor hidroturbinei în condițiile unor solicitări la impact repetat, comparând stratul de tip Stellite 6 cu stratul de tip M777.91, din punct de vedere al rezistenței atât la eroziune cavitațională cât și la uzura prin alunecare. Materialul care are o tenacitate mai bună pare a fi aliajul pe bază de nichel de tip M777.91;
- Dacă, în plus, mediul de lucru este și coroziv, aceste materiale autofluxante sunt indubitabil de preferat, ele fiind dezvoltate în principal pentru a asigura rezistența la coroziune;
- Prelucrarea statistică a datelor obținute la teste de eroziune cavitațională prin cele două metode (direct /indirect), atestă că în general distribuția punctelor experimentale față de curbele de aproximație este uniformă pentru adâncimea medie de penetrare.

Contribuții personale și elemente de noutate

În cadrul prezentei lucrări, consider că am avut următoarele contribuții personale:

- Am propus utilizarea de straturi protectoare realizate din Stellite 6 și materiale autofluxante de tip M776.91 și M777.91 în vederea creșterii duratei de viață a componentelor hidraulice, realizând o amplă analiză comparativă a proprietăților acestor straturi;
- Am realizat optimizarea tratamentului de retopire cu laser a acoperirilor realizate din Stellite 6, punând în evidență influența diferitelor parametri de lucru;
- S-au pus în evidență limitele privind aplicabilitatea metodei directe de determinare a rezistenței la cavitație;
- Am realizat prelucrarea statistică a datelor obținute la teste de eroziune cavitațională prin cele două metode (direct /indirect), în vederea validării rezultatelor experimentale;
- Prin determinările efectuate, s-a evidențiat faptul că în funcție de agresivitatea mediului fluid, se poate opta pentru un anumit strat;
- Cercetările efectuate au conturat posibilitatea aplicării unei soluții tehnice de depunere a unor straturi rezistente pentru protecția zonelor supuse eroziunii cavitaționale de pe suprafața componentelor hidroagregatelor CHE Porțile de Fier 1 sau a remedierii celor deja erodate cavitațional.