

UNIVERSITATEA POLITEHNICĂ DIN BUCUREȘTI
FACULTATEA ȘTIINȚA ȘI INGINERIA MATERIALELOR



Autor: Ing. Guragata Constantin Mădălin

REZUMAT TEZĂ DE DOCTORAT

Conducător de doctorat: Prof. habil. dr. ing. Brândușa GHIBAN

București 2021

REZUMAT

STUDII ȘI CERCETĂRI EXPERIMENTALE PRIVIND DEFORMABILITATEA ȘI COMPORTAREA LA EROZIUNEA CAVITAȚIONALĂ A SUPERALIAJULUI TIP INCONEL 718

INTRODUCERE	6
CAPITOLUL 1	9
STADIUL ACTUAL AL DEZVOLTĂRII SUPER ALIAJELOR DE TIP INCONEL	
1.1 Stadiul actual al dezvoltării superaliajelor	9
1.2 Formarea fazelor în superaliaje	12
1.3 Dezvoltarea superaliajelor tip INCONEL	13
1.4 Proprietățile superaliajelor INCONEL	14
1.5 Aplicații ale superaliajelor INCONEL	15
1.6 Comportarea la cavitație a superaliajelor de INCONEL 718	16
1.7 Deformabilitatea superaliajelor INCONEL	22
CAPITOLUL 2	25
MATERIALUL ȘI METODICA DE CERCETARE	
2.1 Materialul de cercetare	25
2.2 Metode de determinare a comportării la deformabilitate a superaliajului INCONEL 718	27
2.3 Metode de determinare a comportării la cavitație a superaliajului INCONEL 718	32
CAPITOLUL 3	36
ANALIZA MICROSTRUCTURALĂ A EPRUVETELOR INCONEL 718 UTILIZATE ÎN CADRUL EXPERIMENTĂRIILOR PROPRII	
CAPITOLUL 4	73
COMPORTAREA LA DEFORMARE PLASTICĂ A SUPERALIAJULUI EXPERIMENTAL INCONEL 718	
4.1 Introducere	73
4.2 Rezultate experimentale și interpretarea lor	73
4.2.1 Analiza stereomacrostructurală a epruvetelor INCONEL 718 deformate la sonetă	75
4.2.2 Analiza SEM-EBSD	85
4.2.2.1 Analiza evoluției mărimii de grăunte	85
4.2.2.2 Analiza distribuției fazelor și a orientării cristalografice preferențiale	87

CAPITOLUL 5	110
COMPORTAREA LA CAVITAȚIE A SUPERALIAJULUI INCONEL 718 EXPERIMENTAL, COMPARATIV CU CEA A UNOR OȚELURI INOXIDABILE AUSTENITICE	
5.1 Comportarea superaliajului experimental INCONEL 718 la coroziunea cavitațională	110
5.1.1 Rezultate experimentale privind atacul cavitațional	110
5.1.2 Analiza macro și microstructurală a epruvetelor din INCONEL 718 solificate la cavitație după 165 ore	117
5.1.3 Analiza fractografică la microscopul electronic cu baleiaj a epruvetelor din INCONEL 718 solificate la cavitație	124
5.1.4 Compararea comportării la cavitație a INCONEL 718 cu oțelul etalon de referință OH12NDL	129
5.2 Comportarea la cavitație a oțelului inoxidabil austenitic X5CrNi18-10	132
5.2.1 Rezultatele experimentale privind atacul cavitațional	132
5.2.2 Analiza macro și microstructurală a epruvetelor din X5CrNi18-10 solificate la cavitație după 165 ore	136
5.2.3 Analiza fractografică la microscopul electronic cu baleiaj a epruvetelor din oțel inoxidabil austenitic X5CrNi18-10 solificate la cavitație	143
5.3 Evaluare a rezistenței la cavitație a superaliajului INCONEL 718, comparativ cu rezistența la cavitație a unor oțeluri inoxidabile	153
CAPITOLUL 6	156
CONCLUZII, CONTRIBUȚII ORIGINALE, DIRECȚII ȘI PRESPECTIVE ALE CERCETĂRILOR VIITOARE	
6.1 Concluzii	156
6.1.1 Concluzii finale desprinse din cercetările asupra investigațiilor structurale	156
6.1.2 Concluzii finale desprinse din cercetările privind determinarea deformabilității superaliajului INCONEL 718	157
6.1.3 Concluzii finale desprinse din cercetările privind determinarea comportării la cavitație a superaliajului INCONEL 718	160
6.2 Contribuții originale	163
6.3 Direcții și perspective ale cercetărilor viitoare	164
LISTA LUCRĂRILOR PUBLICATE	165
BIBLIOGRAFIE	166

MULȚUMIRI

În primul rând, doresc să îi mulțumesc conducătorului științific, doamnei Prof. univ.dr.ing. **Brândușa GHIBAN**, pentru îndrumarea, sprijinul și ajutorul acordate pe parcursul întregii perioade de cercetare, cât și finalizarea cu succes a întregii teze de doctorat. De asemenea, îi mulțumesc pentru buna dispoziție și sinceritatea cu care m-a călăuzit pe acest drum.

În al doilea rând, îi mulțumesc domnului **Vasile APOSTOL**, director S.C. ARVA METALS&STEELS S.R.L., pentru încrederea și susținerea permanentă materială și spirituală primită pe parcursul elaborării acestei teze.

Adresez, de asemenea, respectuoase mulțumiri domnului Prof.dr.ing. **Iare Bordeășu**, de la catedra de Mașini Hidraulice, Facultatea de Mecanică, din cadrul Universității Politehnica din Timișoara, pentru sprijinul necondiționat acordat în realizarea experimentarilor fenomenului de eroziune prin cavitație vibratorie în cadrul Laboratorului de Mașini Hidraulice și pentru ajutorul acordat în interpretarea analizelor structurale.

Îi mulțumesc sincer domnului conf.der.ing **Nicolae SERBAN**, pentru realizarea experimentărilor, precum și pentru împărtășirea cunostințelor sale în domeniul deformabilității materialelor metalice.

Mulțumesc colectivului Departamentului de Știința Materialelor Metalice, Metalurgie Fizică - UPB, domnilor profesori **Florin MICULESCU**, **Dan GHEORGHE**, **Mihai BRÂNZEI**, **Marian MICULESCU**, pentru buna colaborare și expertiza în investigarea materialelor metalice.

Distinșilor referenți le mulțumesc pentru bunăvoința de a fi acceptat această muncă și pentru aprecierile făcute tezei de doctorat.

Și, nu în ultimul rând, dragi mulțumiri părinților, pentru susținerea, încrederea și motivația oferite și, de asemenea, pentru timpul acordat.

INTRODUCERE

Dezvoltarea umanității s-a bazat întodeauna pe marile realizări privind materialele și performanțele acestora, fiecare etapă a acesteia fiind marcată de un salt făcut în domeniul materialelor, în general, al materialelor metalice, în special. Spectrul larg al proprietăților și utilizărilor materialelor metalice a determinat o permanentă dezvoltare a cercetărilor experimentale pentru descoperirea de noi performanțe, de noi aplicații ale materialelor metalice. În cadrul materialelor metalice, superaliajele sunt o permanentă atracție și astăzi datorită, pe de o parte a identificării de noi performanțe, și, pe de altă parte, a dezvoltării de noi metode de investigație a acestora.

Eroziunea cavitațională constituie un efect nociv cavitației, indiferent de locul în care acționează. Întrucât, ea se manifestă diferit de la un material la altul, în funcție de rezistența pe care acesta o opune atacurilor cavitaționale, una din preocupările oamenilor de știință, o constituie stabilirea cauzelor ce determină această rezistență.

Privind din prisma acestor aspecte, respectiv superaliaje și posibilități de explorare a proprietăților acestora, prezenta teză de doctorat se înscrie în preocupările actuale. Obiectivele generale ale tezei de doctorat constau în următoarele aspecte:

- Determinarea comportării la deformare plastică la cald, în condiții dinamice de laborator a superaliajului INCONEL 718 în vederea identificării mecanismelor acesteia, a caracterizării structurale a materialului și a determinării parametrilor optimi de procesare a superaliajului.
- Determinarea comportării la eroziunea cavitațională a superaliajului INCONEL 718, în condiții de laborator, atât în stare de livrare, cât și în diferite stări de sensibilizare în vederea identificării mecanismelor de propagare a fenomenului cavitațional, precum și de evidențierea comparativă a stării de rezistență a superaliajului INCONEL 718 cu starea de rezistență a oțelurilor inoxidabile austenitice, a căror comportare este bine definită în cercetările actuale.

În vederea îndeplinirii obiectivelor propuse au fost efectuate investigațiile structurale pe epruvete de INCONEL 718, preluate de la Carpenter Technology Corporation. Pentru determinarea comportării la deformabilitate cercetările experimentale au fost efectuate la un ciocan cu cădere liberă (sonetă) din dotarea „Laboratorul de forjare, turnatorie și extrudare” al Facultății de Știința și Ingineria Materialelor din cadrul Universității Politehnica din București. Înălțimea de cădere folosită a fost $H = 0,5$ m și masa $m = 71$ kg; folosind trei probe pentru fiecare temperatură de testare în intervalul $800 \div 1200^\circ\text{C}$, determinările făcându-se din 50 în 50°C . Încălzirea probelor pentru deformarea plastică a fost efectuată într-un cuptor cu tije de încălzire forțată, situate în imediata apropiere a aparatului de testare. Probele din aceleași sarja de turnare au fost tăiate prin electroeroziune, având diametrul inițial $d_0 = 10$ mm și înălțimea $h_0 = 15$ mm. Principalele date care au fost luate în considerare în determinările experimentale au fost: greutatea ciocanului superior $G = 695,8$ N ($m = 71$ kg); înălțimea căderii ciocanului $H = 0,5$ m; coeficientul de frecare $\mu = 0,3$ (cald, fără lubrifiant); randamentul ciocanului cu cădere liberă a fost determinat prin metoda Heim, a fost de aproximativ $\eta = 0,7$ (70%). Pentru aceste investigații, epruvetele au fost studiate cantitativ și calitativ la microscopul optic metalografic, în diferite stări, a fost efectuată analiza de difracții cu raze X și au fost determinate valorile de microduritate μHV_{200} . Utilizând tehnica EBDS au fost determinate caracteristicile structurale ale epruvetelor solicitate la deformabilitate în condiții de cădere liberă a sonetei.

Pentru determinarea comportării la cavitație a superaliajului INCONEL 718 au fost efectuate testate în laboratorul de cavitație din cadrul Universității Politehnica din Timișoara. Procedura de testare și prelucrare a rezultatelor a fost în strictă concordanță cu prevederile

normelor ASTM G32-2010, respectând și cutuma laboratorului privind durata totală de testare de 165 minute, divizată în 12 perioade intermediare (câte una de 5 și 10 minute și 10 de câte 15 minute fiecare). Evaluarea comportării și rezistenței la eroziunea prin cavitația vibratoare a fost realizată prin trasare curbilor adâncimilor medii cumulate $MDE(t)$ și a curbilor vitezelor medii de pătrundere a eroziunii $MDER(t)$, iar ulterior epruvetele solicitate la cavitație a fost evaluate structural, cantitativ și calitativ prin analiză stereomicrostructurală, analiză la microscopul optic metalografic și analiză la microscopul electronic cu baleiaj. Pentru a putea determina intensitatea fenomenului de eroziune cavitațională a superaliajului INCONEL 718, au fost efectuate teste comparative pe un oțel inoxidabil austenitic tip X5CrNi18-10, aflat în diferite stări de sensibilizare, ca de altfel și a superaliajul experimental, totul fiind comparat cu rezistența la eroziunea cavitațională a oțelului etalon OH12NDL, oțel inoxidabil folosit la fabricarea paletelor de turbină Kaplan de la Hidrocentrala Porțile de fier I, apreciat ca fiind cu bună rezistență la eroziunea produsă de cavitația vibratoare generată de aparatul cu cristale piezoceramice.

Teza cuprinde 5 capitole, după cum urmează:

Capitolul 1 cuprinde generalități despre dezvoltarea superaliajelor pe bază de nichel, în general, a superaliajului INCONEL 718, în particular, cercetări documentare privind comportarea la deformare plastică investigate pe plan mondial și cercetări documentare privind comportarea la eroziunea cavitațională a diferitelor superaliaje de nichel.

Capitolul 2 prezintă materialul și metoda de cercetări, fiind prezentat la finalul acestuia programul, cercetările experimentale proprii efectuate de autor.

Capitolul 3 cuprinde analiza structurală a epruvetelor INCONEL 718 utilizate în cadrul experimentărilor proprii. În cadrul experimentărilor au fost analizate structural atât epruvetele care au fost solicitate la deformare plastică la cald prin cădere liberă a sonetei de la diferite înălțimi, la diferite temperaturi, cât și epruvetele care au fost solicitate la cavitație, în diferitele stări structurale de sensibilizare. În cadrul acestor analize structurale au fost efectuate analize de difracție cu raze X, analize la microscopul optic metalografic, precum și determinarea valorilor de microduritate la un microdurimetru. De asemenea au fost efectuate măsurători ale mărimii de grăunte, fiind realizate diferite corelații structurale.

În capitolul 4 sunt prezentate cercetările experimentale privind determinarea comportării la deformare plastică a superaliajului experimental INCONEL 718. După efectuarea testelor de laborator, au fost realizate multiple analize structurale, comparative care să permită formularea unor recomandări privind parametrii optimi pentru deformarea plastică a acestui superaliaj. Astfel suprafețele de rupere au fost investigate la stereomicroscop, au fost construite curbele privind rezistența la deformare plastică funcție de temperatura de încălzire, lucrul mecanic specific funcție de temperatura de încălzire a superaliajului și variația gradului de deformare admisibil funcție de temperatura de încălzire. Asupra acestor epruvete a fost realizată o amplă analiză la microscopul electronic cu baleiaj cu ajutorul electronilor secundari retroîmprăștiați (SEM-EBSD), determinându-se mărimea de grăunte, distribuția fazelor și a orientării cristalografice preferențiale (texturii), determinarea dezorientării grăunților / subgrăunților. În finalul capitolului au fost

realizate corelații structurale privind variația distribuției fazelor (γ , γ' , γ'' și M_xC_y) funcție de temperatura de deformare la epruvetele de INCONEL 718, după testele de deformabilitate.

Capitolul 5 prezintă comportarea la cavitație a superaliajului INCONEL 718 experimental, comparativ cu cea a unor oțeluri inoxidabile austenitice. După construirea curbelor de variație a vitezei de pătrundere a eroziunii MDER (t) și a adâncimii medii de eroziune (în diferite stări structurale, respective: stare de livrare și stări de sensibilizare la 830°C / 5, 10 și 20 ore) funcție de durata de expunere, datele au fost comparate cu rezultatele analizelor structurale la stereomicroscop, microscopul optic și microscopul electronic cu baleiaj. Aceleași investigații au fost efectuate și pe un oțel inoxidabil austenitic X5CrNi18-10 și comparate cu oțelul etalon OH12NDL. În finalul capitolului este realizată o evaluare a rezistenței la cavitație a superaliajului INCONEL 718, comparativ cu rezistența la cavitație a unor oțeluri inoxidabile, construindu-se două histograme comparative, respectiv a ”rezistenței la cavitația vibratoare a superaliajului INCONEL718 în diferite stări structurale față de cea a oțelului etalon OH12NDL și cea a oțelului inoxidabil austenitic X5CrNi18-10, în diferite stări de sensibilizare”, precum și a ”valorilor adâncimilor maxime de cavitație ale superaliajului INCONEL718 în diferite stări structurale față de cele corespunzătoare oțelului inoxidabil austenitic X5CrNi18-10, în diferite stări de sensibilizare”.

În capitolul 6 sunt sintetizate concluziile finale, contribuțiile autorului față de subiectul abordat, precum și propunerea unor direcții de cercetare ulterioare. Partea de contribuții originale începe cu prezentarea strategiei de cercetare, indicându-se obiectivele propuse.

Rezultatele originale au fost parțial valorificate prin publicații în reviste ISI, precum și prin prezentări la conferințe naționale și internaționale.

CAPITOLUL 1

STADIUL ACTUAL AL DEZVOLTĂRII SUPERALIAJELOR DE TIP INCONEL

Materialele metalice rezistente la temperaturi ridicate, denumite în mod obișnuit superaliaje, sunt dezvoltate pentru a face față provocărilor cerințelor eficiente de energie, dar, în același timp, minimizarea emisiilor de gaze cu efect de seră. Conform[1, 2], materialele rezistente la temperatură ridicată trebuie să posede simultan următoarele caracteristici;

- I. „capacitatea de a rezista la o sarcină la temperatură de funcționare aproape de punctul său de topire”.
- II. „O rezistență substanțială la degradarea mecanică pe o perioadă lungă de timp”.
- III. „T oleranța la mediile de operare severe”.

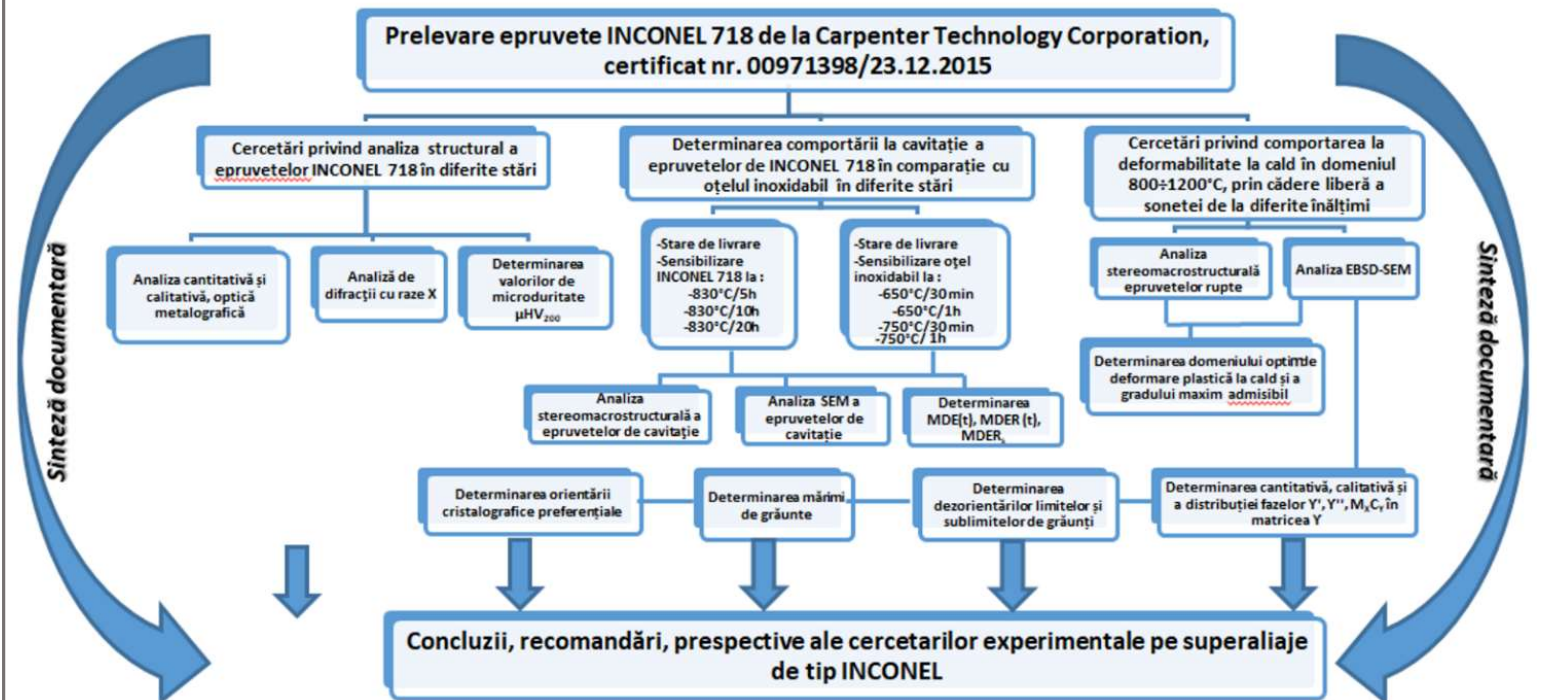
INCONEL este o marcă comercială înregistrată a Special Metals Corporation pentru o familie de superaliaje austenitice pe bază de nichel-crom[30]. Aliajele de INCONEL sunt materiale rezistente la oxidare și coroziune, potrivite pentru utilizare în medii extreme supuse

presiunii și căldurii. Când este încălzit, INCONEL-ul formează un strat de oxid pasiv gros, stabil, care protejează suprafața de atacuri ulterioare. INCONEL-ul își păstrează rezistența pe o gamă largă de temperaturi, potrivită pentru aplicații la temperaturi ridicate, unde aluminiu și oțel ar ceda. Rezistența la temperatură înaltă a aliajelor de INCONEL este dezvoltată prin durificarea soluției solide sau durificare prin precipitare, în funcție de aliaj[31]. Aliajele de INCONEL sunt utilizate de obicei în aplicații la temperaturi ridicate

CAPITOLUL 2

MATERIALUL SI METODICA DE CERCETARE

Materialul de cercetare este produs de către Carpenter Technology Corporation la data de 23.12.2015, cu certificat de inspecție 3.1 EN 10024, numărul de certificat 00971398. Materialul a fost elaborat în cuptor cu inducție în mediu controlat de vid, cu șarja 603205 Programul experimental este întocmit astfel încât să conducă la îndeplinirea obiectivelor propuse inițial. Cele două obiective propuse inițial, respectiv determinarea domeniului optim de deformabilitate a superaliajului INCONEL 718 și determinarea comportării la cavitație a acestui superaliaj au fost precedate de investigațiile structurale efectuate pe epruvetele de INCONEL 718, preluate de la Carpenter Technology Corporation. Pentru aceste investigații, epruvetele au fost studiate cantitativ și calitativ la microscopul optic metalografic, în diferite stări, a fost efectuată analiza de difracții cu raze X și au fost determinate valorile de microduritate μHV_{200}



CAPITOLUL 3

ANALIZA MICROSTRUCTURALĂ A EPRUVETELOR INCONEL 718 UTILIZATE ÎN CADRUL EXPERIMENTĂRILOR PROPRII

Analiza structurală a materialelor investigate este de maximă importanță în evaluarea comportării în exploatare a acestora. În cadrul experimentărilor din această lucrare au fost analizate structural atât epruvetele care au fost solícitate la deformare plastică la cald prin cădere liberă a sonetei de la diferite înălțimi, la diferite temperaturi, cat și epruvetele care au fost solícitate la cavitație, în diferitele stări structurale de sensibilizare. În cadrul acestor analize structurale au fost efectuate analize de difracție cu raze X, analize la microscopul optic metalografic, precum și determinarea valorilor de microduritate la un microdurimetru.

Aspectele microstructurale ale epruvetelor solícitate la la deformare plastică la cald prin cădere liberă a sonetei de la diferite înălțimi, la diferite temperaturi în ambele secțiuni de prelevare a epruvetelor (longitudinală/ transversală).

CAPITOLUL 4

COMPORTAREA LA DEFORMARE PLASTICĂ A SUPERALIAJULUI EXPERIMENTAL INCONEL 71

Comportarea la deformare plastică realizată în condiții de laborator a fost pusă în evidență prin efectuarea experimentărilor la soneta din dotarea laboratorului de Procesare a Materialelor prin Deformare Plastică, din facultatea SIM-UPB, iar identificarea cantitativă și calitativă a fazelor prezente în fiecare stare a fost realizată prin analiza SEM-EBSD.

Pe baza rezultatele obținute au fost realizate grafice ale variației rezistenței la deformare - temperatură sau specifică lucru mecanic - temperatura. Toate datele au fost obținute luând în considerare ca întoarcere ciocanului după cădere liberă $\eta = 0,7$ (70%) (metoda Heim), corespunzând înălțimii de cădere de aproximativ $H = 0,5$ m. De asemenea, trebuie menționat că, în cazul de față, coeficientul de frecare al materialului la deformare și instrumente de lucru exterioare a fost considerat ca $\mu = 0,30$ (deformarea plastică caldă fără lubrifiere). Greutatea ciocanului care a căzut a fost $G = 695,80$ N corespunzând unei mase de $m = 71$ kg.

Rezultatele experimentale în tabelul 4.2 au fost prelucrate pentru reprezentarea graficelor de rezistență la deformare funcție de temperatură (figura 4.12) și de lucru mecanic specific funcție de temperatura de încălzire pentru superaliajul INCONEL 718 experimental (figura 4.13).

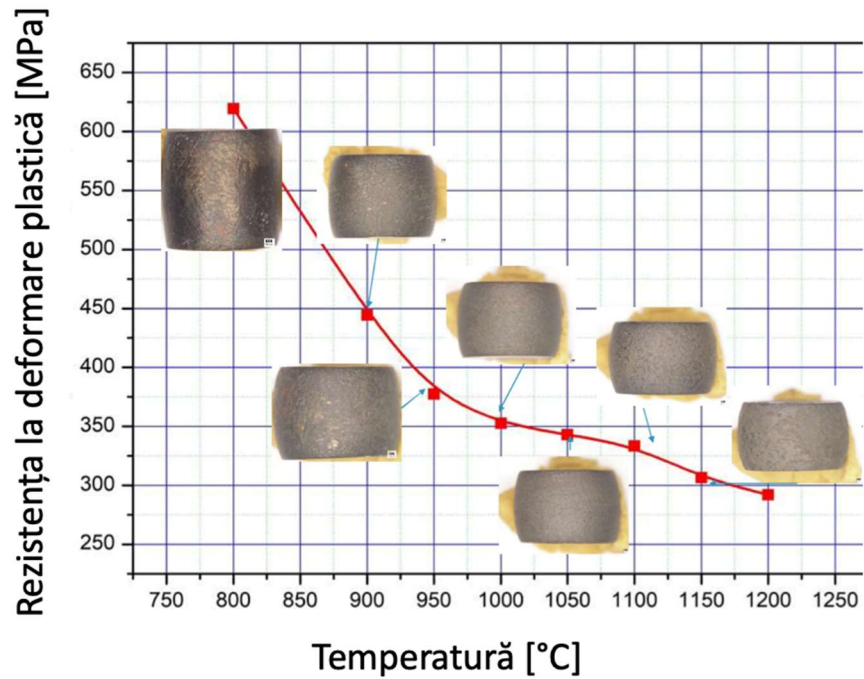


Figura 4.12 - Rezistența la deformare din plastică funcție de temperatura de încălzire a superaliajului experimental INCONEL 718[151]

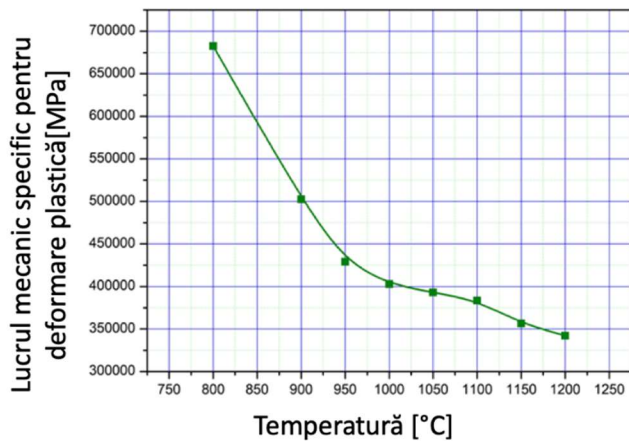


Figura 4.13 – Lucrul mecanic specific funcție de temperatura de încălzire a superaliajului experimental INCONEL 718 după testele de deformabilitate[151]

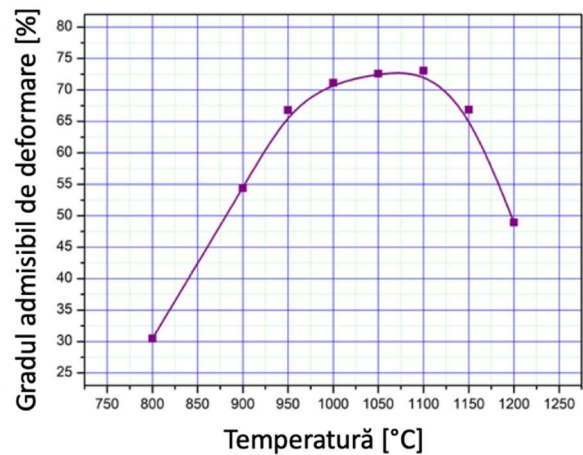


Figura 4.14 – Variația gradul de deformare admisibil funcție de temperatura de încălzire a superaliajului experimental INCONEL 718 după testele de deformabilitate [152]

CAPITOLUL 5

COMPORTAREA LA CAVITAȚIE A SUPERALIAJULUI INCONEL 718

EXPERIMENTAL, COMPARATIV CU CEA A UNOR OȚELURI INOXIDABILE AUSTENITICE

În histogramele de mai jos sunt prezentate valorile obținute în urma testelor experimentale pentru adâncimea medie de eroziune și viteza medie de pătrundere a eroziunii, precum și curbele de aproximare/mediere a acestor valori $MDE(t)$, respective $MDER(t)$, ce caracterizează comportarea stratului suprefeței la atacul cavitației.

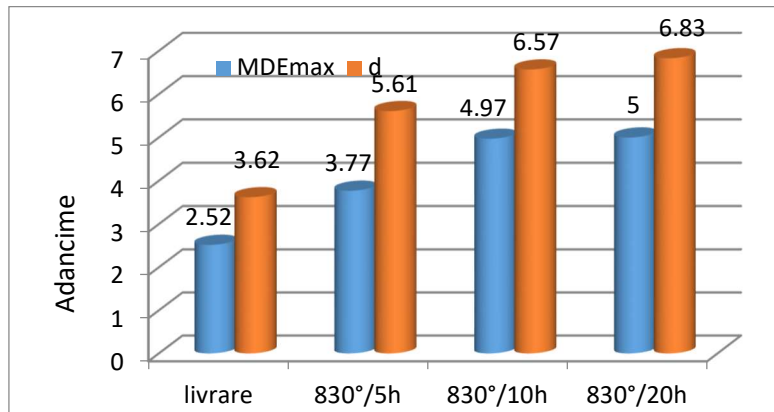


Fig. 5.15. Histograma valorilor de adâncime a eroziunii cavitaționale la epruvetele INCONEL 718, în diferite stări structurale

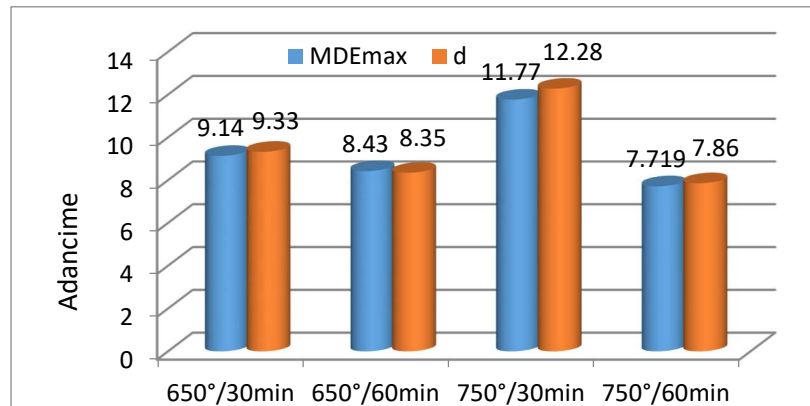


Fig. 5.38- Histograma valorilor de adâncime a eroziunii cavitaționale la epruvetele din oțel inoxidabil austenitic X5CrNi18-10, în diferite stări structurale

CAPITOLUL 6.

CONCLUZII, CONTRIBUȚII ORIGINALE, DIRECȚII ȘI PERSPECTIVE ALE CERCETĂRILOR VIITOARE

6.1 CONCLUZII

Cercetările efectuate în cadrul prezentei teze de doctorat au condus la obținerea unor rezultate care au permis atingerea obiectivelor propuse initial, respectiv:

Determinarea comportării la deformare plastică la cald, în condiții dinamice de laborator a superaliajului INCONEL 718 în vederea identificării mecanismelor acesteia, a caracterizării structurale a materialului și a determinării parametrilor optimi de procesare a superaliajului,

Determinarea comportării la eroziunea cavitațională a superaliajului INCONEL 718, în condiții de laborator, atât în stare de livrare, cât și în diferite stări de sensibilizare în vederea identificării mecanismelor de propagare a fenomenului cavitațional, precum și de evidențierea comparativă a stării de rezistență a superaliajului INCONEL 718 cu starea de rezistență a oțelurilor inoxidabile austenitice, a căror comportare este bine definită în cercetările actuale.

6.1.1 Concluzii finale desprinse din cercetările asupra investigațiilor structurale

Analiza structurală a materialelor investigate este de maximă importanță în evaluarea comportării în exploatare a acestora. În cadrul experimentărilor din această lucrare au fost analizate structural atât epruvetele care au fost solicitate la deformare plastică la cald prin cădere liberă a sonetei de la diferite înălțimi, la diferite temperaturi, cât și epruvetele care au fost solicitate la cavitație, în diferitele stări structurale de sensibilizare. În cadrul acestor analize structurale au fost efectuate analize la microscopul optic metalografic, analize de difracție cu raze X, precum și determinarea valorilor de microduritate la un microdurimetru.

- Aspectele microstructurale ale epruvetelor solicitate la deformare plastică la cald prin cădere liberă a sonetei de la diferite înălțimi, la diferite temperaturi au evidențiat identificarea fazelor specifice ale materialului precum și evoluția proporției acestora cu temperatura și condițiile de deformare plastică severă. Astfel la temperatura de 800°C materialul prezintă o structură austenitică, cu grăunți relativ uniformi, maclați, colorați diferit, datorită orientării lor diferite cristalografice, cu aspect vălurit al imaginii, datorat unei stări de puternică deformare a materialului. La 950°C se remarcă prezența fenomenului de recristalizare dinamică, cu grăunți foarte fini, cu orientare cristalografică în direcția de comprimare severă a materialului (în secțiune longitudinală) și cu o orientare mai puțin orientată (în secțiune transversală). La putere de mărire mare se evidențiază particule de NbC, cu precipitare intragranulară în matricea materialului metalic. La temperatura de 1000°C, recristalizarea dinamică este aproape în întreg materialul, cu orientarea în direcția comprimării a noilor grăunți recristalizați (secțiune longitudinală) și fără orientare cristalografică a grăunților (în secțiune transversal). Particulele de NbC și γ''

sunt fin dispersate în matricea deformată și recristalizată a materialului. La temperatura de 1100°C, fenomenul de recristalizare se menține, de asemenea în întreg materialul, fără orientare cristalografică a grăunților (fie în secțiune longitudinală, fie în secțiune transversală). La 1200°C începe fenomenul de creștere a grăunților, alături de grăunții recristalizați, fini. Astfel, grăunții cu dimensiuni mari se orientează în direcția de comprimare severă, de data aceasta în ambele secțiuni e prelevare a probelor. Aceleași precipitate intragranulare se pun în evidență la puteri de mărire mari.

- Analiza microstructurală a epruvetelor INCONEL 718 în diferite stări de sensibilizare la 830°C, cu durate de menținere de 5ore / 10 ore / 20 ore față de aspectul epruvetelor în stare de livrare nu a evidențiat modificări vizibile la microscop. Toate epruvetele au aspect specific de grăunți maculați de austenită, uniformi, colorați diferit, funcție de diferitele orientări cristalografice ale acestora. La puteri de mărire mari sunt evidențiate carburi M_xC_y (fie fine, globulare negre, fie portocalii, geometrice de NbC), cu precipitare intragranulară.
- Analiza de difracții cu raze X. cu aspectele difractogramelor la diferite temperaturi ar fi trebuit să pună în evidență pe lângă matricea austenitică (γ , Ni-Cr-Fe) ale căror maxime de intensitate sunt specificate la unghiurile de difracție corespunzătoare și fazele γ' , γ'' , M_xC_y . Acest lucru nu a putut fi reușit datorită, pe de o parte a faptului că proporția fiecărei faze este foarte mică, suma lor fiind sub 5÷10%, sau pe de altă parte, a tubului anticatodei de Cu și nu de Mo, care probabil ar fi permis decelarea acestor faze.
- Determinarea valorilor de microdurate μHV_{200} a permis observarea unei corelații între temperatura la care se face deformarea plastică la cald și acestea. Astfel, se remarcă faptul că prin creșterea temperaturii de deformare plastică la cald în domeniul 900°÷1200°C microduratea μHV_{200} scade, posibilele mecanisme de influență fiind pe de o parte fenomenul de recristalizare, cu intensitate maximă la 1050°C (deci minim de microdurate) și, pe de altă parte, precipitării fazei γ'' , care facilitează deformarea plastică la cald. Aplicarea diferitelor tratamente termice de sensibilizare la 830°C a epruvetelor de INCONEL 718 a evidențiat faptul că mărirea duratei de sensibilizare de la 5, la 10ore și la 20 ore poate diminua cu circa 20% valorile de microdurate.

6.1.2 Concluzii finale desprinse din cercetările privind determinarea deformabilității superaliajului INCONEL 718

Comportarea la deformare plastică realizată în condiții de laborator a fost pusă în evidență prin efectuarea experimentărilor la soneta din dotarea laboratorului de Procesare a Materialelor prin Deformare Plastică, din facultatea SIM-UPB, iar identificarea cantitativă și calitativă a fazelor prezente în fiecare stare a fost realizată prin analiza SEM-EBSD. După efectuarea unor cercetări preliminare privind distanțele de cădere liberă în funcție de temperatura de încercare, au fost selectate epruvetele care nu au prezentat fisuri, la care au fost calculate valorile rezistențelor de deformare, precum și valorile gradelor maxim admisibile de deformare plastic la cald.

- Analiza macrostructurală a suprafețelor de rupere a epruvetelor din INCONEL 718 supuse la deformare plastică prin cadere liberă a sonetei de la diferite înălțimi, a evidențiat următoarele aspecte:
 - Propagarea frontului de rupere apare la toate epruvetele pe un plan înclinat la 45°, în conformitate cu legea lui Schmid,
 - Aspectele suprafețelor de rupere în secțiune perpendiculară pe direcția de comprimare arată un comportament ductil, cu goluri uniform distribuite în suprafață, cu o colorație specifică funcție de direcția cristalografică a planelelor de rupere de culoare albastru-violet (la epruvetele de la temperatura 950°C și, la temperatura 1000°C). Ruperea are un caracter ductil, cu propagare transgranulară.
 - Aspectul epruvetelor după încălzire și testare la sonetă este oxidat, în comparație cu aspectul strălucitor al epruvetelor inițiale. Se remarcă, de asemenea, o culoare maro cu diferite colorații (datorate alierii specifice aliajului)
- După analizarea graficelor de variație a celor doi parametri $\Delta\sigma_c$ și A față de temperatura de încălzire, se poate observa că odată cu creșterea temperaturii, rezistența la deformarea plastică a superaliajului INCONEL 718 scade în intervalul de temperatura investigat. În mod similar, lucrul mecanic specific realizat la deformarea plastică scade considerabil odată cu creșterea temperaturii. Cu alte cuvinte, datele obținute au arătat că atât randamentul rezistenței, cât și lucrul mecanic specific deformării scad odată cu creșterea temperaturii, ca o curbă a cărei pantă variază la odată cu temperatura experimentală. Atât rezistența la deformare, cât și lucrul mecanic specific de deformare la cald scad aproximativ până la 950°C, au un aspect de rulment în intervalul de 950°C ÷ 1050° C, decât să înceapă să scadă lent; acest comportament se datorează probabil compuşilor intergranulari care încep să se topească la temperaturi scăzute. Comparativ cu alte aliaje sau clase de superaliaje sau din alte sisteme, se poate considera că superaliajul Inconel 718 are o gamă de deformabilitate localizată destul de ridicată, având un comportament de rupere cu caracter ductil și aspect strălucitor transcristalin. Se pot concluziona astfel următoarele:
 - Domeniul optim de temperatură pentru deformarea plastică la cald a superaliajului Inconel 718, strict din punct de vedere al rezistenței la deformare, se situează în intervalul 950° ÷ 1050° C, deoarece valorile de rezistența la deformare a materialului și lucrul mecanic specific de deformare sunt optime;
 - Atât rezistența la deformare, cât și lucrul mecanic specific de deformare la cald scad aproximativ până la 950°C, au un aspect linear în intervalul de 950°C ÷ 1050° C, și încep să scadă lent; acest comportament se datorează probabil compuşilor intergranulari care încep să se topească la temperaturi scăzute;
 - Gradul de formare admis este foarte ridicat în intervalul de 1050 °÷ 1100 ° C, în jur de 70% -75%, având o creștere abruptă până la temperatura de 950°C;

- În comparație cu alte aliaje sau clase de superaliaje sau din alte sisteme, se poate considera că superaliajul Inconel 718 are o gamă de deformabilitate localizată destul de ridicată, având un comportament de rupere cu caracter ductil și aspect strălucitor transcristalin.
- Analiza la microscopul electronic cu baleiaj cu ajutorul electronilor secundari retroîmprăștiați (SEM-EBSD) a epruvetelor din INCONEL 718 solicitate la comprimare prin testele de deformabilitate în condiții de laborator a condus la obținerea unor rezultate care confirmă observațiile stereomacrostructurale, la determinarea valorilor distribuțiilor ale fazelor identificate, respectiv γ , γ' , γ'' și M_xC_y , precum și la determinarea valorilor mărimii de grăunte medii, pentru ambele direcții de prelevare, longitudinală și transversală. Astfel se pot concluziona următoarele:
- Analiza aspectelor structurale referitoare la mărimea de grăunte a arătat modul în care se comportă materialul în condiții de compresiune la diferite temperaturi. La 800°C, după cădere liberă a sonetei de la 0,8m, atât pe direcție longitudinală, cât și pe direcție transversal, grăunții sunt puternic deformați, turtiți, lățiți și alungiți, având o distribuție destul de neuniformă, cu valori medii ale mărimii de grăunte de la 7÷8 μ m, până la 60 μ m. La această temperatură se observă cele mai mari valori ale mărimii medii de grăunte, respectiv 37,6 μ m/ secțiune longitudinală și 52,3 μ m/ secțiune transversală. La 900°C, după cădere liberă a sonetei de la 1,2m, începe fenomenul de recristalizare dinamică, prin formarea unei noi generații de grăunți foarte fini (respectiv 2÷5 μ m în ambele secțiuni), alături de grăunți mari (de 30-50 μ m) puternic deformați plastic, alungiți, sau turtiți, la care se pot întâlni și grăunți de dimensiuni foarte mari, peste 65 μ m. La această temperatură se observă valori ale mărimii medii de grăunte mai mici decât la 800°C, respectiv 22,2 μ m/ secțiune longitudinală și 46,7 μ m/ secțiune transversală. La temperatura de 950°C, după cădere liberă a sonetei de la 1,4m, fenomenul de recristalizare dinamică devine dominant, peste 80% din grăunți fiind practic recristalizați, lucru observat în ambele secțiuni. La această temperatură se observă valori ale mărimii medii de grăunte foarte mici, mai mici decât la 900°C, respectiv 6,58 μ m/ secțiune longitudinală și 8,8 μ m/ secțiune transversală. La temperatura de 1000°C, după cădere liberă a sonetei de la 1,65m, fenomenul de recristalizare dinamică are loc în întreg volumul epruvetei, lucru observat în ambele secțiuni, observându-se valori ale mărimii medii de grăunte mici, respectiv 9,85 μ m/ secțiune longitudinală și 9,35 μ m/ secțiune transversală. La temperatura de 1050°C, după cădere liberă a sonetei de la 1,66m, tot volumul de material prezintă recristalizare dinamică, lucru observat în ambele secțiuni cu valori ale mărimii medii de grăunte foarte mici, respectiv 8,72 μ m/ secțiune longitudinală și 9,11 μ m/ secțiune transversală. La temperatura de 1200°C, după cădere liberă a sonetei de la 0,55m, începe fenomenul de creștere a grăunților, fenomen observat atât în secțiune

longitudinală (cu grăunți mari alungiți), cât și în secțiune transversală (cu grăunți lățiți mari). La această temperatură se observă valori ale mărimii medii de grăunte mai mari, respectiv $16,86\mu\text{m}$ în secțiune longitudinală și $17,43\mu\text{m}$ în secțiune transversală. Incidența grăunților mari crește, observându-se grăunți până la $30\mu\text{m}$ (în secțiune longitudinală) și circa $28\mu\text{m}$ (în secțiune transversală).

- Evoluția cantitativă a proporției fazelor din materialul solicitat termomecanic în domeniul de temperaturi $800^{\circ}\div 1200^{\circ}\text{C}$ a arătat faptul că cea mai mare cantitate de *austenită* γ , respectiv $93,1\%$ / secțiune longitudinală și 94% / secțiune transversal, în timp ce la 900°C se observă cea mai mică cantitate de austenită. La celelalte temperaturi, cantitatea de austenită este cuprinsă între $83,23\%\div 86\%$, în secțiunea longitudinală și $85,9\div 88\%$ în secțiunea transversal. *Faza* γ' (constituită din Ni_3Al și Ni_3Ti) începe să precipite în cantitate mare, la 900°C (în proporție de $7,25\%$ / secțiune transversală și $8,98\%$ / în secțiune longitudinală), pentru ca apoi să se stabilizeze la valori mai scăzute, cuprinse între $5,007\%\div 5,62\%$ / secțiune transversală și $5,73\%\div 6,39$ / secțiune longitudinală la temperaturi cuprinse între $950^{\circ}\div 1200^{\circ}\text{C}$. La temperatura de 800°C faza γ' este la cea mai mică valoare, respectiv $2,402\%$ / secțiune transversală și $2,73\%$ / secțiune longitudinală. Evoluția cantitativă a *fazei* γ'' (Ni_3Nb) arată o tendință similară cu cea a fazei γ' . Astfel la 800°C în matrice se află doar mici cantități, respective $1,073\%$ / secțiune longitudinală și $1,17\%$ / secțiune transversală, pentru ca în domeniul de temperaturi $900^{\circ}\div 1200^{\circ}\text{C}$ această fază să aibă o cantitate aproape dublă, respectiv $3,23\%\div 4,32\%$ / secțiune transversală și $4,46\div 4,48\%$ / secțiune longitudinală. Comportarea carburilor M_xC_y în domeniul studiat arată faptul că acestea sunt în proporție mica (circa 2%), cu excepția temperaturii de 900°C , la care se înregistrează cele mai multe carburi precipitate la limita de grăunte, respectiv $12,34\%$ / secțiune longitudinală și $5,4\%$ / secțiune transversală.
- Orientarea cristalografică a materialului în timpul comprimării, cu ajutorul figurilor de poli, la temperaturi ridicate a permis evidențierea modului de comportare a materialului. Astfel fenomenul de recristalizare dinamică, care are loc în domeniul $900^{\circ}\div 1050^{\circ}\text{C}$ slăbește în intensitate textura materialului (valorile maximelor fiind în domeniul $10\div 33$ / secțiune longitudinală și $5,2\div 34$ / secțiune transversală), în comparație cu valorile de la temperatură ridicată, 1200°C (la care se ajunge la o valoare maximă de 50 / secțiune longitudinală).
- Orientarea preferențială (textura) evidențiată prin imaginile de poli iversați în domeniul de temperaturi $900^{\circ}\div 1050^{\circ}\text{C}$ în care în material are loc recristalizarea dinamică, este reflectată de valorile ale maximelor de intensitate, respectiv $3700\text{-}8900$ / secțiune longitudinală și $2200\text{-}5600$ / secțiune transversală, intermediare

valorilor de la 800°C (16000/longitudinal și 7900/ transversal) și celor mai mici valori de la 1200° (respectiv 1800/ longitudinal și 2400/ transversal).

- Analiza gradului de dezorientare a grăunților/ subgrăunților din materialul solicitat la comprimare la temperaturi ridicate a reflectat fidel natura acestuia. Astfel, la temperatură joasă (800°C) sau la temperatură ridicată (1200°C) există clar structuri mixte de grăunți / subgrăunți. La 800°C caracterul mixt al gradului de dezorientare este dat de fenomenul de puternică comprimare în afara domeniului optim de deformare plastică, existând chiar un model trimodal, atât subgrăunții la unghiuri mici 8-10°, cât și cei la unghiuri intermediare, circa 30°, coexistă cu limitele de grăunți la unghiuri mari, circa 50°. La 1200°C, însă, la temperatură foarte ridicată la care începe fenomenul de creștere a grăunților după recristalizarea dinamică, subgrăunții cu orientare de 15° coexistă aproape în egală măsură cu grăunții cu orientare de 45-50°, existând un caracter bimodal al distribuției gradului de dezorientare al grăunților. La toate celelalte temperaturi, datorită fenomenului de recristalizare dinamică cantitatea de sublimite la unghiuri mici scade datorită rearanjării și migrației limitelor.

6.1.3 Concluzii finale desprinse din cercetările privind determinarea comportării la cavitație a superaliajului INCONEL 718

Rezultatele experimentale privind comportarea la cavitație [determinată prin construirea curbelor MDE (t), MDER(t)] a superaliajului experimental INCONEL 718 în diferite stări structurale a fost redată comparativ, fie cantitativ sub formă grafică, fie calitativ și cantitativ după analiza structurală fractografică la stereomicroscop, microscopul optic și microscopul electronic cu baleiaj. Au fost formulate următoarele concluzii:

- Analiza curbelor MDE (t), MDER(t) a arătat următoarele aspecte:
 - curbele de aproximare MDE(t) au variații exponențiale, cu tendințe de liniarizare, începând de la durate diferite, funcție de starea structurală a suprafeței și valorile durității. Astfel, s-a observat creșterea duratei de la care curba MDE(t) devine liniară pe măsura creșterii duratei de menținere la sensibilizare, de la 10 ore la 20 ore;
 - curbele MDER(t) de aproximare a valorilor experimentale înregistrate pentru vitezele de pătrundere a eroziunii, au prezentat evoluții identice, cu atingerea unui maxim, $MDER_{max}$ și scădere asimptotică spre valoarea de stabilizare, $MDER_s$. Diferențele între valorile maxime și cele de stabilizare fiind foarte mici. Modul acesta de evoluție este specific materialelor cu rezistență mare la eroziunea cavitației, caracterizate prin plasticitate ridicată, proprietăți mecanice (în special rezistență mecanică la rupere, limita de curgere și duritate) cu valori mari, bine corelate, care asigură reziliență sporită stratului suprafeței, fără a-l transforma într-unul fragil;

- pe intervalul 0-45 minute s-au observat dispersii mari ale valorilor experimentale, ale vitezelor MDER, față de curbele de aproximare. Din experiența Laboratorului de cavitație al Universității Politehnica Timișoara, aceste dispersii mari și aleatori sunt determinate de asperitățile, praful abraziv rămas după operația de finisare a suprafeței și de expulzarea unor părți mari de grăunți prin unirea fisurilor produse prin șocurile de impact cu microjeturile și undele de șoc;
 - valorile maxime ale vitezelor obținute experimental $MDER_{max/exp}$ sunt egale cu cele înregistrate de curba de aproximare $MDER_{max\text{și}}$, pentru probele realizate din INCONEL 718 tratat termic, indiferent de durata de menținere. Cauza este data de legătura dintre structura și duritatea materialului în stratul cavitat;
 - dispersia valorilor experimentale față de curba de aproximarea MDER(t), după 45-60 minute, este una aproape simetrică, specifică suprafețelor al căror strat atacat se durifică pe parcursul cavitației, sub impactul repetat cu microjeturile și undele de șoc generate prin mecanismul hidrodinamic al imploziei bulelor;
 - Valorile experimentale, ale parametrului MDER, din primele 45 minute, sunt cauzate de structura morfologica a materialului în stare livrată, dar și de faptul că duritatea nu este constant în aria suprafeței expuse;
 - pe măsura creșterii duratei de atac al cavitației (vezi imaginile din tabelul 5.1) aria distrusă crește;
- Analiza macroscopică a suprafețelor după cavitație a condus la concluziile:
- suprafețele afectate de cavitație după 165 ore de imersie sunt aproximativ similare, cuprinse într-un interval restrâns, respectiv 86,77% - 88,96%, neexistând o corelație între durata de menținere la 830°C și suprafața atacului cavitațional;
 - la proba martor se remarcă existența a două suprafețe distincte de atac cavitațional, suprafața generală, de circa 87,49% și o suprafața centrală, mai definită ca atac, de circa 70%. De asemenea, atacul generează rizuri intersectate la diferite unghiuri, semn al unui atac destul de turbulent;
 - la epruvetele cu cea mai mică durată de menținere la 830°C, respectiv 5ore, atacul cavitațional generează rizuri paralele pe domenii extinse cu trei orientări diferențiate: zona atacului se extinde pe circa 86,77% din suprafața epruvetei;
 - la epruvetele tratate la 830°C/10 ore se remarcă, de asemenea, ca la epruveta în stare de livrare, existența a două zone de atac, respectiv zona generală de circa 88,96% și zona centrală, de circa 68,85%. Totodată se remarcă dispunerea frontului de propagare a atacului la diferite unghiuri;
 - la epruvetele tratate la 830°C/ 20 ore se observă că zona atacului cavitațional este de circa 87,92%, identificându-se zona centrală mai puțin supusă atacului cavitațional;

- indiferent de starea de tratament termic aplicat la 830°C, sau stare de livrare, la toate epruvetele se observă la analiza macrostructurală la puteri de mărire de 56 ori aspectul cavitațiilor similar, cu cavitații extinse relativ uniform în câmpul de observație. Nu se poate aprecia o diferențiere nici în dimensiunea cavitațiilor, nici asupra numărului acestora.
- Analiza la microscopul optic metalografic a putut evidenția valoarea reală a adâncimii maxime de pătrundere a atacului cavitațional, observată prin măsurare directă. În ceea ce privește aspectul în secțiune transversală a cavitațiilor observate pe epruvetele din INCONEL 718, în diferite stări structurale, se remarcă faptul că în toate situațiile cavitațiile sunt fine, cu aspect dantelat, cu diferite adâncimi, care au putut fi corelate cu durata tratamentului termic de îmbătrânire la 830°C:
- Aplicarea tratamentului de îmbătrânire efectuat la 830°C duce la creșterea adâncimii maxime a cavitației produsă după testare 165 ore, cea mai mare adâncime înregistrându-se la epruvetele cu îmbătrânire la 830°C/20 ore, respectiv 6,5μm;
 - Creșterea duratei de menținere la 830°C poate determina creșterea adâncimii maxime a cavitației, creștere însă destul de ne semnificativă, respectiv de la 5,1 μm până la 6,5 μm, față de adâncimea maximă a cavitației probei martor, de 4,5 μm;
 - În general valorile adâncimilor maxime de pătrundere a cavitației sunt deosebit de mici, fiind situate în intervalul 4,5 ÷ 6,5 μm, în comparație cu ale altor clase de materiale metalice,
 - Analiza evoluției valorilor adâncimilor medii de eroziune calculate MDE_{max} , exprimate în μm în comparație cu valorile măsurate la microscop ale adâncimii atacului cavitațional a arătat faptul că valorile au același mod de evoluție, existând o oarecare diferențiere. Diferența constă în faptul că la microscop au fost măsurate cele mai mari valori pe întreaga secțiune analizată, în timp ce valorile calculate sunt valori medii, generate de un modul de calcul.
- Analiza fractografică la microscopul electronic cu baleiaj a epruvetelor din superaliajul INCONEL 718, în diferite stări structurale solicitate la cavitație după 165 ore de imersie a evidențiat modul de erodare a suprafețelor a permis formularea următoarelor aspecte:
- La putere de mărire mici la SEM, adică la observarea macrostructurală suprafețele sunt acoperite cu rizuri paralele fine, indiferent de starea superaliajului. Se observă totuși, la proba în stare de livrare o dispunere a rizurilor la diferite unghiuri, față de celelalte probe. Pe de altă parte, se constată că pe măsura creșterii duratei de menținere la 830°C, se observă o ușoară intensificare a atacului cavitațional, în limite rezonabile;
 - La puteri de mărire mai mari la SEM, adică la observarea microstructurală atacul cavitațional apare similar în toate stările superaliajului, în sensul formării unor mici platouri de curgere, cu cavitații geometrice fine. Pe măsura creșterii

duratei de menținere la 830°C se constată o creștere numerică a cavitațiilor, care tind să se dispună intergranular (așa cum se remarcă la 830°C/20 ore);

- Se poate aprecia că la cea mai mare durată de menținere la 830°C, respectiv 20ore, cavitațiile sunt cel mai bine formate, cu aspect intergranular și dimensiunea medie de $3\div 10\mu\text{m}$.
- Concluzii privind comportarea la cavitație a oțelului inoxidabil X5CrNi18-10
 - În cazul tratamentului termic de sensibilizare, rezistența la cavitație a oțelului X5CrNi18-10 depinde de parametrii tehnologici ai tratamentului, care influențează duritatea și structura.
 - Compararea cu oțelul etalon OH12NDL arată că, prin tratamentul termic volumic de sensibilizare, rezistența la cavitație a oțelului X5CrNi18-10, crește substanțial, indiferent de stare, motiv pentru care acest tratament, conform datelor din Laboratorul de cavitație al universității Politehnica Timișoara, este recomandat pieselor ce lucrează în condiții de cavitație dezvoltată.
 - Din comparația cu tratamentul termic volumic de călire, datorită rezistenței la cavitație, inferioare, dobândite prin tratamentul termic de sensibilizare, se recomandă ca pentru piesele puternic solificate la cavitație, cum sunt cele care lucrează în regim de supercavitație (cazul elicelor vedetelor marine militare) să se folosească tratamentele termice volumice de călire pentru punere în soluție.

6.2 CONTRIBUȚII ORIGINALE

- Realizarea unei analize structurale complete și complexe a epruvetelor experimentale de INCONEL 718 în diferite stări, care a permis evaluarea fenomenului de recristalizare dinamică și a domeniului de temperaturi la care acesta este prezent în superaliajul analizat, precum și evaluarea stării de rezistență cavitațională;
- Realizarea unei cercetări experimentale proprii de laborator privind determinarea comportării la deformare plastică la cald în condiții severe, prin încercări la sonetă prin cădere liberă de la diferite înălțimi și la diferite temperaturi, fapt care a permis evidențierea unei interdependențe dintre mărimii de grăunte a epruvetelor solificate dinamic prin cădere liberă a sonetei de la $h=0,5\text{m}$, la diferite temperaturi asupra rezistenței la deformare, determinată și calculată în cadrul experimentărilor de laborator.
- Evaluarea într-o manieră originală a stării suprafețelor epruvetelor experimentale de deformabilitate prin analize simultane la stereomicroscop și la microscopul electronic cu baleiaj;
- Realizarea unei analize complexe originale la microscopul electronic cu baleiaj cu ajutorul electronilor secundari retroîmprăștiați (SEM-EBSD) a epruvetelor din INCONEL 718 solificate la comprimare prin testele de deformabilitate în condiții de laborator care a permis obținerea unor rezultate care confirmă observațiile stereomacrostructurale, la determinarea valorile distribuțiilor ale fazelor identificate, respectiv γ , γ' , γ'' și M_xC_y ,

precum și la determinarea valorilor mărimii de grăunte medii, pentru ambele direcții de prelevare, longitudinală și transversal;

- Realizarea unui studiu complex privind comportarea la eroziunea cavitațională a superaliajului INCONEL 718 și aprecierea intensității fenomenului de eroziune cavitațională a acestuia cu a unui oțel inoxidabil austenitic tip X5CrNi18-10, aflat în diferite stări de sensibilizare, ca de altfel și a superaliajul experimental, totul fiind comparat cu rezistența la eroziunea cavitațională a oțelului etalon OH12NDL, oțel inoxidabil folosit la fabricarea paletelor de turbină Kaplan de la Hidrocentrala Porțile de fier I, apreciat ca fiind cu bună rezistență la eroziunea produsă de cavitația vibratoare generată de aparatul cu cristale piezoceramice. Studiul a permis formularea unor observații și contribuții originale:
 - Indiferent de starea de tratament termic, atât superaliajul INCONEL 718, cât și oțelul inoxidabil austenitic X5CrNi18-10 au rezistențe la cavitație net superioare oțelului inoxidabil etalon OH12NDL (creșteri de la circa 5 până la 12 ori, respectiv 500% până la 1200%);
 - Comparativ cu rezistența cea mai scăzută a superaliajului INCONEL 718, tratat la 830°C/ 20 ore:
 - prin tratamentul termic de sensibilizare la 650° /30 minute menținere rezistența la cavitație a oțelului inoxidabil austenitic X5CrNi18-10 scade cu circa 59 %;
 - prin tratamentul termic de sensibilizare la 650° /60 minute menținere rezistența la cavitație a oțelului inoxidabil austenitic X5CrNi18-10 scade cu circa 56 %;
 - prin tratamentul termic de sensibilizare la 750° /30 minute menținere rezistența la cavitație a oțelului inoxidabil austenitic X5CrNi18-10 scade cu circa 121,6 %;
 - prin tratamentul termic de sensibilizare la 750° /60 minute menținere rezistența la cavitație a oțelului inoxidabil austenitic X5CrNi18-10 scade cu circa 36 %;
 - Superaliajul INCONEL 718 prezintă în toate stările structurale cele mai bune rezistențe la cavitație, atât față de oțelul etalon OH12NDL, cât și față de oțelul inoxidabil X5CrNi18-10. Cea mai bună rezistență la cavitație o are superaliajul în stare de livrare, cu rezistența la cavitație de peste 1200% față de oțelul etalon, și respectiv 125% față de oțelul X5CrNi18-10, în stare de livrare; de asemenea, în fiecare dintre stările de sensibilizare superaliajul INCONEL 718 prezintă rezistențe la cavitație cuprinse între 700% și 600% față de oțelul etalon, și respectiv 233% și 165% față de rezistența la cavitație a oțelului X5 CrNi18-10 în stare sensibilizată.
- Prezentarea inovativă comparativă a adâncimilor atacului cavitațional, MDE_{max} (calculate) față de valorile absolute δ (măsurate direct prin microscopie optică) sub forma unei histograme.

6.3 DIRECȚII ȘI PERSPECTIVE ALE CERCETĂRILOR VIITOARE

- În timpul cercetării din cadrul tezei de doctorat au fost identificate unele aspecte, noi sau actuale, care pot fi luate în considerare sau îmbunătățite.
- Superaliajele tip INCONEL constituie în continuare surse ale unor viitoare cercetări experimentale privind explorarea performanțelor lor în domeniul eroziunii cavitaționale, fie pe aceeași marcă, INCONEL 718, dar în alte stări structurale de sensibilizare decât cele utilizate în cadrul prezentelor experimentări, fie pe alte clase de superaliaje de tip INCONEL.
- Totodată se poate promova tehnica SEM-EBSD și pe alte clase structurale de materiale metalice puternic solicitate la deformare plastică severă, în vederea identificării definiții mecanismelor de deformare plastică.
- Se poate propune, de asemenea, utilizarea tehnicilor specifice stereomicroscopiei în evaluarea stării suprafețelor fie de deformare plasită, sau a stării suprafețelor solicitate la eroziunea-cavitațională.

LISTA LUCRĂRILOR PUBLICATE

1. GHIBAN B., Sohaciu M.G., Bordeasu I., Guragata C.M, Salcian L.C.- *HEAT TREATMENT AND CAVITATION BEHAVIOUR OF THE INCONEL 718 IN DIFFERENT HEAT TREATMENTS*. PROCEEDINGS OF RESEARCHFORA INTERNATIONAL CONFERENCE, Sydney, Australia, , 2020 (ISBN 978-93-89732-41-2, www.worldresearch.org): p. 4-9.
2. Ghiban, B; **Guragata, C. M**; Serban, N.; Raiciu, A. D.; Balkan, I.- HOT WORKING BEHAVIOUR OF INCONEL 718 SUPERALLOY , UNIVERSITY POLITEHNICA OF BUCHAREST SCIENTIFIC BULLETIN SERIES B-CHEMISTRY AND MATERIALS SCIENCE, Volume: 81, Issue: 4, Pages: 209-216, Published: 2019
3. Ghiban, B., **Guragata, C.M.**, Serban, N.- Particularities of forming behavior for INCONEL 718 superalloy, IOP Conference Series: Materials Science and Engineering Volume 572, Issue 1, 2 August 2019, Article number 0120332019 International Conference on Innovative Research, ICIR EUROINVENT 2019; Palace of Culture Iasi; Romania; 16 May 2019 through 17 May 2019; Code 150123
4. Ghiban, B.; Elefterie, C. F.; **Guragata, C.**; Bran, D.- Requirements of Inconel 718 Alloy or Aeronautical Applications , 7TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON STRUCTURAL ANALYSIS OF ADVANCED MATERIALS (ICSAAM 2017), Edited by: Jiga, G, Book Series: AIP Conference Proceedings, Volume: 1932, Article Number: 030016, DOI: 10.1063/1.5024166, Published: 2018, Proceedings Paper

5. Elefterie, C. F.; **Guragata, C**; Bran, D; Ghiban, B.- Aeronautical requirements for Inconel 718 alloy, INTERNATIONAL CONFERENCE ON INNOVATIVE RESEARCH - ICIR EUROINVENT 2017, Edited by: Sandu, AV; Abdullah, MMA; Vizureanu, P; Ghazali, CMR; Sandu, I, Book Series: IOP Conference Series-Materials Science and Engineering, Volume: 209, Article Number: 012060, DOI: 10.1088/1757-899X/209/1/012060, Published: 2017, Proceedings Paper

BIBLIOGRAFIE SELECTIVA

1. Reed, R.C., *The Superalloys: Fundamentals and Applications*. Cambridge: Cambridge University Press, 2008
3. Antoniac I., Laptoiu D., Blajan A.I., Cotrut C. -Instrumental si dispozitive chirurgicale, Editura Printech, Bucuresti, 2011, ISBN 978-606-521-665-5.
63. Bordeășu I., *Eroziunea cavitațională asupra materialelor utilizate în construcția mașinilor hidraulice și elicelor navale. Efecte de scară*. Teză de doctorat, Timișoara, 1997.
64. Bordeășu I., P.M.O., Patrascoiu C-tin, Bălăsoiu V., „*An Analytical Model for the Cavitation Erosion Characteristic Curves*”. Transaction of Mechanics, Timisoara, 2004. **49(63)**: p. 253-258.
65. Bordeășu I., *Eroziunea cavitațională a materialelor*. Editura Politehnica, Timișoara, 2006.
66. Bordeășu I., P.M.O., Patrascoiu C-tin, Bălăsoiu V., „*An Analytical Model for the Cavitation Erosion Characteristic Curves*”. Transaction of Mechanics, Timisoara, 2004. **49(63)**: p. 253-258.
125. Bordeasu, I., et al., *Chemical and mechanical aspects of the cavitation phenomena*. Revista De Chimie, 2007. **58(12)**: p. 1300-1304.
126. Bordeasu, I., et al., *THE DAMAGE OF AUSTENITE - FERRITE STAINLESS STEELS BY CAVITATION EROSION*. Annals of Daaam For 2008 & Proceedings of the 19th International Daaam Symposium, 2008: p. 147-148.
127. Ghiban, B., et al., *SOME ASPECTS OF CAVITATION DAMAGES IN AUSTENITIC STAINLESS STEELS*. Annals of Daaam For 2008 & Proceedings of the 19th International Daaam Symposium, 2008: p. 541-542.
128. Ghiban, B., et al., *THE CALCULUS OF THE THERMODYNAMIC ACTIVITY OF CARBON IN SILICON ALLOYED AUSTENITIC STAINLESS STEELS*. Annals of Daaam For 2008 & Proceedings of the 19th International Daaam Symposium, 2008: p. 543-544.
129. Bordeășu I., G.B., Popovicu M. O., Bălășoiu V., Birău N., Karabenciov A., „*The damage of austenite-ferrite steels by cavitation erosion*”. Annals of DAAAM for 2008 Proceedings of The 19th International DAAAM Symposium “Intelligent Manufacturing & Automation: Focus on New Generation of Intelligent Systems and Solutions”, 2008: p. 0147-0148.
130. Balasoiu, V., et al., *UPON CAVITATION EFFECTS IN HYDRAULIC DRIVING DEVICES*. Metalurgia International, 2009. **14**: p. 48-51.
131. Bordeasu, I., et al., *CONTRIBUTIONS UPON THE CAVITATION EROSION OF TWO CAST IRONS USED IN MANUFACTURING CONTROL VALVES*. Metalurgia International, 2009. **14(11)**: p. 5-7.
132. Bordeășu I., P.M.O., Sălciuanu L.C., Ghera C., Micu L.M., Bădărău R., Iosif A., Pirvulescu L.D., Podoleanu C.E., „*A new concept for stainless steels ranking upon the resistance to cavitation erosion*”. International Conference on Applied Science, 2017. **163**.
133. Ghiban, B., et al., *STRUCTURAL FEATURES OF CAVITATION DAMAGES IN SOME STAINLESS STEELS*. Annals of Daaam For 2009 & Proceedings of the 20th International Daaam Symposium, 2009. **20**: p. 1561-1562.
134. Ghiban, N., et al., *Evaluation of Mechanical Properties by Stereo-and Scanning Electron Microscopy of Some Heat Curing Dental Resins*. Materiale Plastice, 2010. **47(2)**: p. 240-243.