UNIVERSITATEA NAȚIONALĂ DE ȘTIINȚĂ ȘI TEHNOLOGIE POLITEHNICĂ DIN BUCUREŞTI

FACULTATEA ȘTIINȚA ȘI INGINERIA MATERIALELOR

Autor: Ing. BUZATU ANDREEA DANIELA

REZUMAT - TEZĂ DE DOCTORAT

INFLUENȚA TRATAMENTELOR TERMICE ASUPRA COMPORTĂRII MECANICE ȘI LA CAVITAȚIE A UNUI ALIAJ DE ALUMINIU TIP 2017A

Conducători de doctorat:

Prof.habil.dr.ing. Brânduşa GHIBAN

Prof.dr.ing. Ilare BORDEAŞU

București 2026

Capitolul 1- Analiza critică a mecanismelor de durificare prin tratament de îmbătrânire în aliajele de aluminiu seria 2xxx, comparativ cu seriile 6xxx, 7xxx și 9xxx

Aliajele de aluminiu sunt utilizate în diverse sectoare industriale datorită combinației lor excelente de rezistență și ductilitate, raportului ridicat rezistență/greutate, rezistenței la coroziune, rezistenței la oboseală și tenacității mari la fractură, printre altele. Totuși, nu toate aliajele de aluminiu prezintă simultan acest set de proprietăți. Proprietățile dorite în condiții de exploatare sunt obținute prin mai mulți factori, precum compoziția chimică, metoda de fabricație, deformarea plastică și, mai ales, tratamentele termice, care permit o durificare pronunțată prin precipitare. Trebuie însă menționat că așa-numitele tratamente termice de „îmbătrânire" sunt aplicabile doar anumitor serii de aliaje de aluminiu, cum ar fi: 2xxx, 6xxx, 7xxx și 9xxx. Aliajele de aluminiu prezintă avantaje majore: un modul specific ridicat, o bună rezistență specifică, rezistență superioară la coroziune și o prelucrabilitate mai bună. Datorită acestei combinații superioare de proprietăți comparativ cu alte aliaje, ele sunt astăzi utilizate pe scară largă în numeroase industrii, precum cea aerospațială, auto, ingineria căilor ferate de mare viteză și altele. În ultimele decenii, aproape toate țările industrializate avansate au derulat proiecte pentru planificarea, ghidarea și sprijinirea cercetării și dezvoltării aliajelor de aluminiu [1–3].

Capitolul 2 - Comportarea la eroziunea cauzată de cavitație a materialelor metalice

2.1 Generalități

Producerea energiei, împreună cu protecția mediului, reprezintă în prezent cele mai urgente direcții de acțiune. Producerea energiei din surse regenerabile este în mod special recomandată. Hidrocentralele sunt cel mai răspândit tip de centrală electrică, contribuind cu 70% la producția totală de energie [159]. Cu toate acestea, hidrocentralele, în special turbinele hidraulice, se confruntă cu o serie de probleme, de exemplu degradarea palelor de turbină cauzată de procese de eroziune, respectiv eroziunea prin cavitație, eroziunea prin particule solide (slurry erosion) și combinații ale acestor două procese. Eroziunea prin particule solide este fenomenul de cavitație care afectează în principal turbinele, precum și alte dispozitive, cum ar fi elicele navelor. **Figura 2.1** prezintă o pală de turbină erodată. După cum se poate observa, deteriorarea cauzată de eroziunea prin cavitație prezintă un model caracteristic format din numeroase adâncituri de dimensiuni variate.

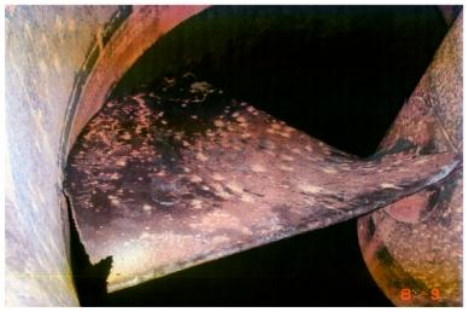


Figura 2.1 Pală de turbină deteriorată, cauzată deeroziunea prin cavitație [284]

2.2 Fenomene de cavitație și eroziune prin cavitație

Deoarece degradarea materialului depinde de tipul de solicitare la care este supus, este recomandabil să fie prezentate fenomenele de cavitație și eroziune prin cavitație.

Cavitația apare într-un lichid atunci când presiunea lichidului scade sub presiunea de vaporizare fără o schimbare a temperaturii lichidului (**figura 2.2**). Aceasta poate fi cauzată fie de curgerea rapidă a lichidului printr-un obstacol, fie de vibrația unui element într-un lichid cu frecvență ridicată.

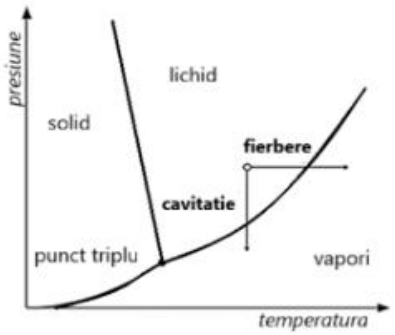


Figura 2.2 Schemă ce prezintă diferența dintre cavitație și fierbere

Figura 2.3 arată că presiunile critice sunt mai mici decât presiunea de vaporizare și depind de raza inițială a bulei. Deoarece presiunea critică variază în funcție de dimensiunea nucleului, este necesară cunoașterea distribuției dimensiunilor nucleelor din lichid, informație esențială în studiul scalării cavitației.

Trebuie menționat că formarea bulelor în lichid poate fi cauzată și de o creștere a temperaturii în condiții de presiune constantă. În acest caz, are loc fenomenul de fierbere, nu cel de cavitație. **Figura 2.2** prezintă schematic diferența dintre cele două fenomene.

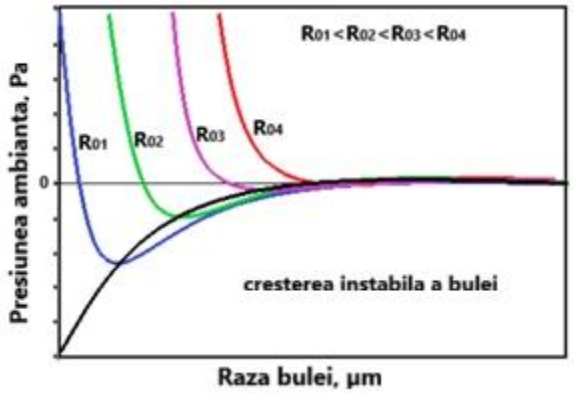


Figura 2.3 Corelația dintre scăderea presiunii și raza bulei

Capitolul 3 - Materiale, proceduri experimentale, succesiunea etapelor de cercetare parcurse

Probele din aliaj de aluminiu tip 2017A au fost prelevate din tablă din aliaj de aluminiu, de 30mm grosime, de la COLOR METALS S.R.L, având compoziția chimică indicată în **tabelul 3.1**. Compoziția chimică a materialului metalic a fost realizată prin analiză spectrală. Pentru investigațiile experimentale ale prezentei lucrări au fost utilizate epruvete în stare laminat, stare T451, respectiv călire de punere în solutie la 504°C mentinere 3-4 ore, cu răcire în apă, urmată de îmbătrânire naturală la temperatura camerei (20-25) °C timp de minim (5-6) zile.

Tabel 3.1 Compoziţia chimică a epruvetelor experimentale

Aliaj	Compoziţia chimică, %gr										
	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti	Zr	Pb	Al
Experimental	0.68	0.3	0,09	0.62	0,86	0.17	0,088	0.2	0.023	0.15	rest
EN AW-2017A	0.4	0.5	0,1	0.4-1,0	0,6-1,2	0,18-0,28	0,2	0.2	-	-	rest

Aspectele macroscopice al epruvetelor experimentale sunt redat în imaginea din **figura 3.1.**



Figura 3.1 Imagine privind aspectul macroscopic al epruvetelor experimentale din aliaj 2017A, cu diferite dimensiuni pentru efectuarea cercetărilor experimentale

Figura 3.4 redă succesiunea etapelor din programul experimental care permite îndeplinirea obiectivelor majore propuse inițial.

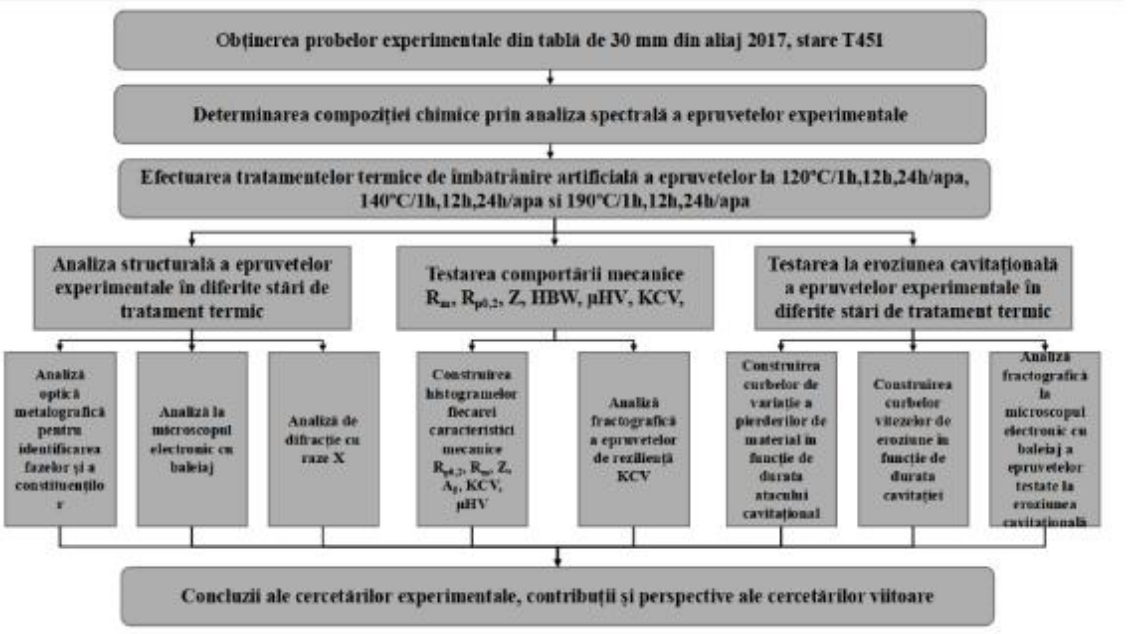
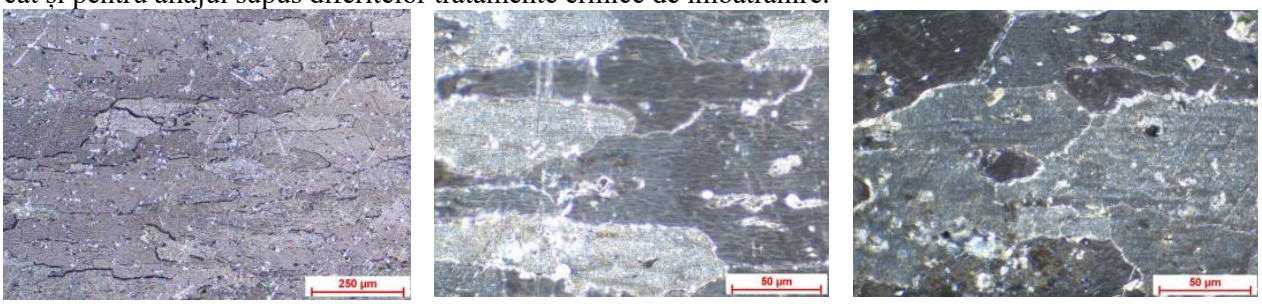


Figura 3.2 Succesiunea etapelor de cercetare parcurse în prezenta lucrare

Capitolul 4 - Caracterizarea microstructurală a aliajului experimental de aluminiu 2017A

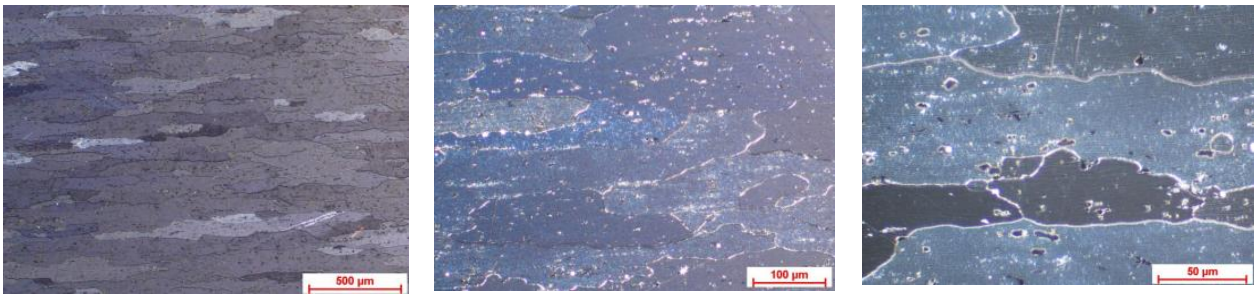
4.1 Analiza calitativă la microscopul metalografic

Caracterizarea completă a oricărui material metalic începe cu analiza structurii fazice și constituționale a respectivului material. Aşliajul de aluminiu tip 217A face parte din seria 2xxx a acestor clase de material, fiind constituit în principal din aluminiu și cupru, în prezenta diferitelor elemente de aliere, precum siliciu, fier, mangan, magneziu, în proporții scăzute de până la 1%. Principala fază a acestui aliaj este soluția solidă de cupru în aluminiu, iar faza durificatoare este Al_2Cu. Rezultatele analizei metalografice ptice cantitative și calitative sunt redate în **figura 4.1 – figura 4.10**, atât pentru aliajul netratat, în stare T451, cât și pentru aliajul supus diferitelor tratamente ermice de îmbătrânire.



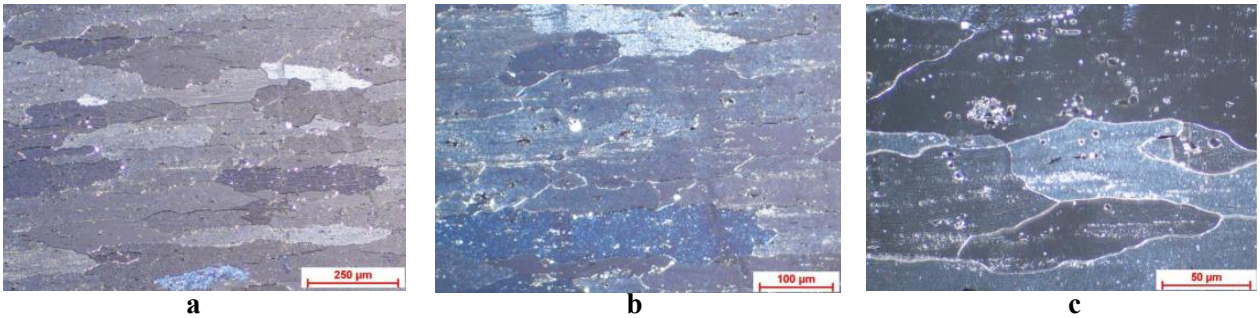
a **b** **c**

Figura 4.1 Aspectul microstructural al aliajului 2017A, stare T451, fără tratament termic de îmbătrânire, la diferite puteri de mărire ale microscopului: a- x100; b- x500; c- x1000



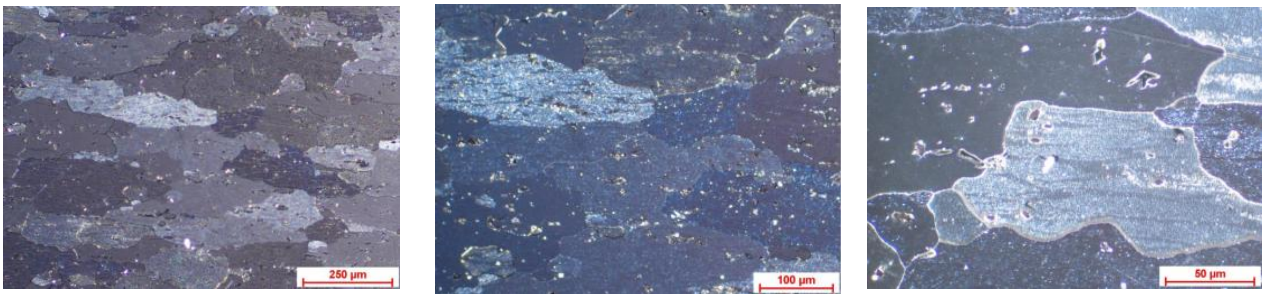
a **b** **c**

Figura 4.2 Aspectul microstructural al aliajului 2017A, stare T451 + tratament termic de îmbătrânire la 120°C/1h, la diferite puteri de mărire ale microscopului: x100; b- 200; c- x500



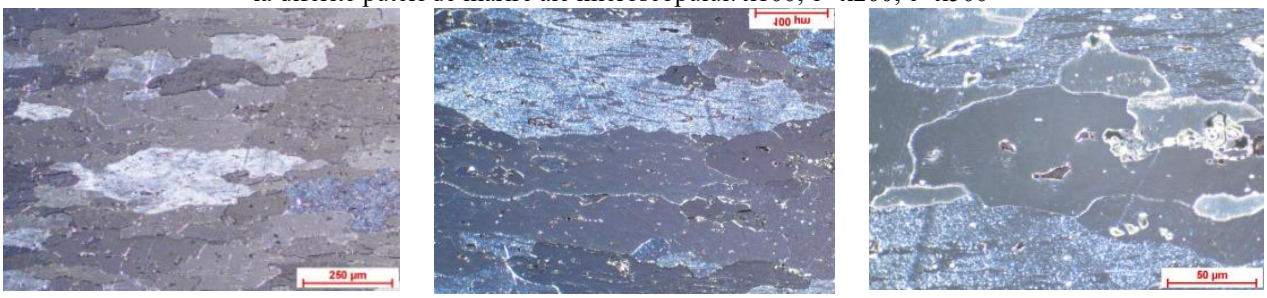
a **b** **c**

Figura 4.3 Aspectul microstructural al aliajului 2017A, stare T451 + tratament termic de îmbătrânire la 120°C/12h, la diferite puteri de mărire ale microscopului: x100; b- x200; c- x500



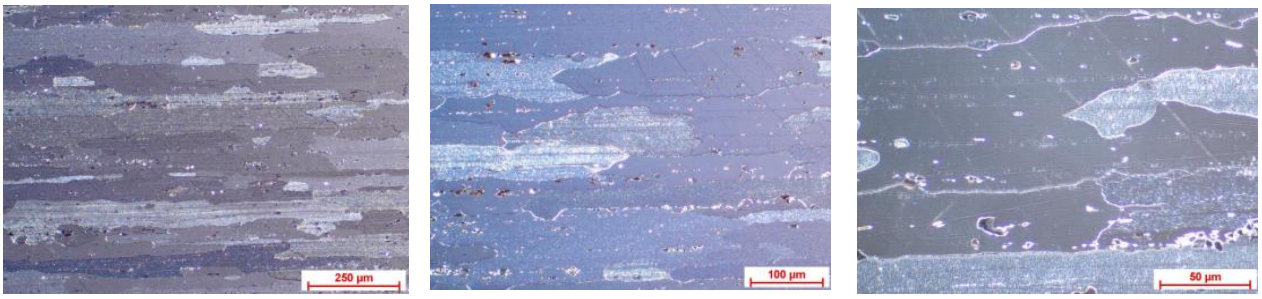
a **b** **c**

Figura 4.4 Aspectul microstructural al aliajului 2017A, stare T451 + tratament termic de îmbătrânire la 120°C/24h, la diferite puteri de mărire ale microscopului: x100; b- x200; c- x500



a **b** **c**

Figura 4.5 Aspectul microstructural al aliajului 2017A, stare T451 + tratament termic de îmbătrânire la 140°C/1h, la diferite puteri de mărire ale microscopului: x100; b- x200; c- x500



a **b** **c**

Figura 4.6 Aspectul microstructural al aliajului 2017A, stare T451 + tratament termic de îmbătrânire la 140°C/12h, la diferite puteri de mărire a microscopului: a- x100; b- x200; c- x500

4.2 Determinarea mărimii de grăunte a aliajului 2017A, în diferite stări structurale

Mărimea de grăunte reprezintă un parametru important în caracterizarea structurală a unui material metalic, oferind posibilitatea evaluarii complete a acestuia. Metoda prin care a fost determinată mărimea de grăunte a fost prin analiza metalografică cantitativă conform ASTM E3, ASTM E 407, PO-043, PO-042, PO-044, folosind reactiv Barker, la o examinare la x100. Rezultatele privind determinarea mărimii de grăunte a epruvetelor experimentale după aplicarea diferitelor tratamente termice de îmbătrânire este redată în **figura 4.11 - figura 4.20** și sintetizate în **tabelul 4.1**.

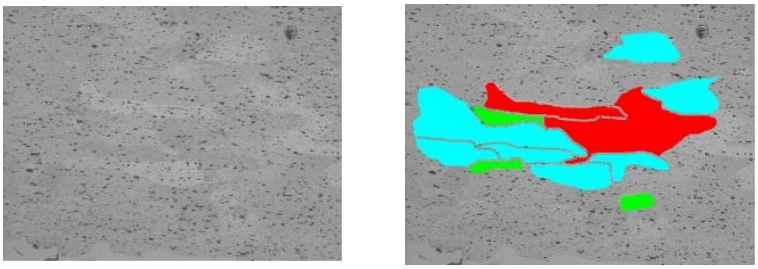
Se cuvin menționate următoarele concluzii privind analiza valorilor de mărime de grăunte:

- Mărimea medie de grăunte cu cea mai mare valoare se înregistrează la epruveta martor, netratata termic, cu o granulație medie de 193 µm, încadrându-se în clasa 4, conform ASTM E112.

- La epruvetele tratate termic la 120°C, mărimea de grăunte se încadrează în clasa 5,5 onform ASTM E112, cu mențiunea că valoarea scade pe măsura creșterii duratei de menținere, respectiv de la 173 µm (la 1h), la 115 µm (la 12h), ajungând la 120 µm (la 24h).
- La epruvetele tratate termic la 140°C, cu diferite durate de menținere se înregistrează valori ale mărimii de grăunte se înregistrează valori cuprinse în intervalul 93-124 µm, cu aceeași mentiune că valoarea scade pe măsura creșterii duratei de menținere, încadrându-se în clasa 5,5 conform ASTM E112.
- La epruvetele tratate termic la 190°C, cu diferite durate de menținere se înregistrează cele mai mici valori ale mărimii de grăunte cuprinse în intervalul 92-121 µm, încadrându-se în clasa 5,5-6, conform ASTM E112.
- Histograma din **figura 4.21** redă reprezentarea sintetică a rezultatelor privind determinarea mărimii de grăunte, permițând compararea acestora.

Tabel 4.1 Determinarea mărimii de grăunte a aliajului experimental de alumniu 2017A

Stare (poanson)	Mărime de grăunte				
	Minimă, µm	Maximă, µm	Medie, µm	Dev. Std, µm	Clasa ASTM E112
T451, martor (UM)	1,045	530	193	115	4
T451+ 120°C/1h	2,111	765	173	131	5,5
4T51+ 120°C/12h	4,379	552	115	107	5,5
T451+ 120°C/24h	1,045	584	120	118	5,5
T451+ 140°C/1h	1,058	349	124	70	5,5
T451+ 140°C/12h	2,091	660	115	116	5,5
T451+ 140°C/24h	0,548	362	93	66	6
T451+ 190°C/1h	1,045	456	121	106	5,5
T451+ 190°C/12h	1,043	259	97	62	6
T451+ 190°C/24h	1,045	641	92	93	6



a b

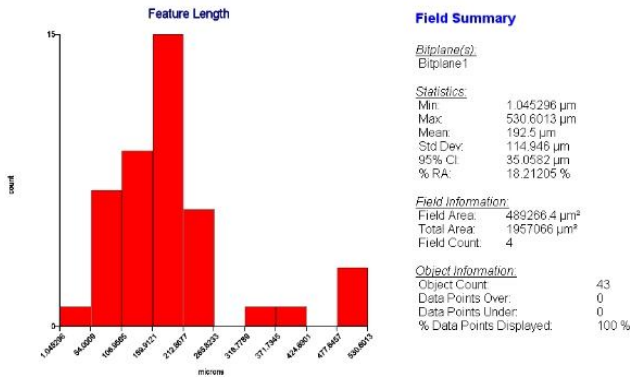


Figura 4.7 Determinarea mărimii de grăunte a aliajului 2017A, stare 451, proba martor: a- imagine captată, b- imagine analizată, c- analiza statistică

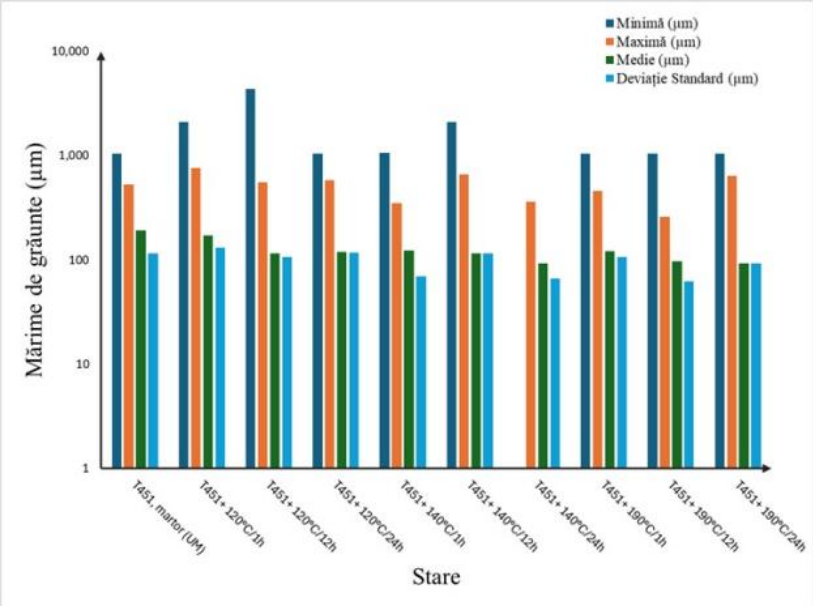


Figura 4.8 Aspectul histogramei referitoare la valorile mărimii de grăunte pentru aliajul experimental 2017A în diferite stări de tratament termic

4.3 Analiza prin difracții cu raze X

Analiza de difracții cu raze X vine să completeze informațiile despre natura fazică a epruvetelor experimentale din aliaj de aluminiu tip 7075, fie turnat, fie laminat 451 după aplicarea diferitelor tratamente termice de îmbătrânire. Rezultatele analizei de difracții cu raze X sunt redate în **figura 4.22.**

Analiza difractometrică pentru identificarea fazelor din aliajul experimental aflat în stare 451 și supus ulterior diferitelor tratamente de îmbatrânire este redată în **figura 4.22**.

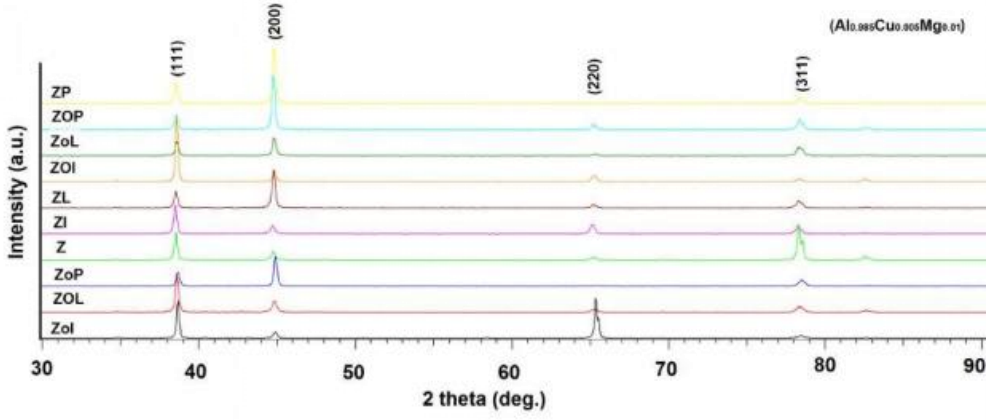
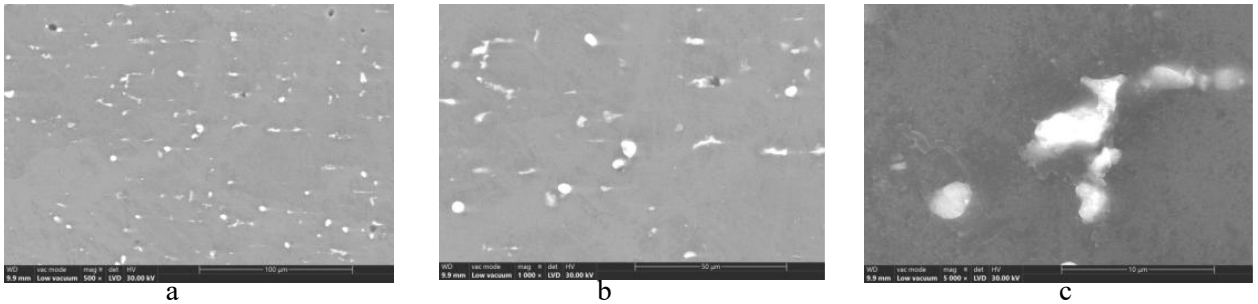


Figura 4.9 Aspectul difractogramelor aliajului experimental 2017A în diferitestări de tratament termic de îmbătrânire

4.4 Analiza la microscopul electronic cu baleiaj

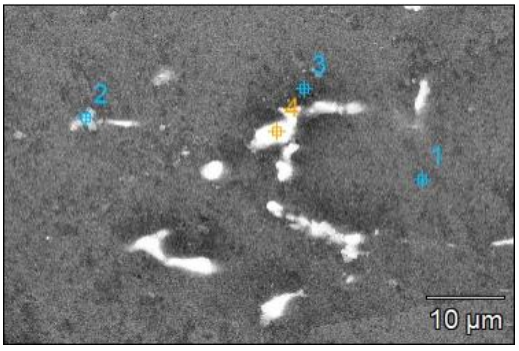
Analiza la microscopul elentronic cu baleja oferă cele mai complete informații cantitative și calitative privind caracterizarea structurală a unui material metalic.

Imaginile care surprind rezultatele de la microscopul electronic cu baleiaj sunt reprezentate în **figura 4.23 - figura 4.30.**



a b c

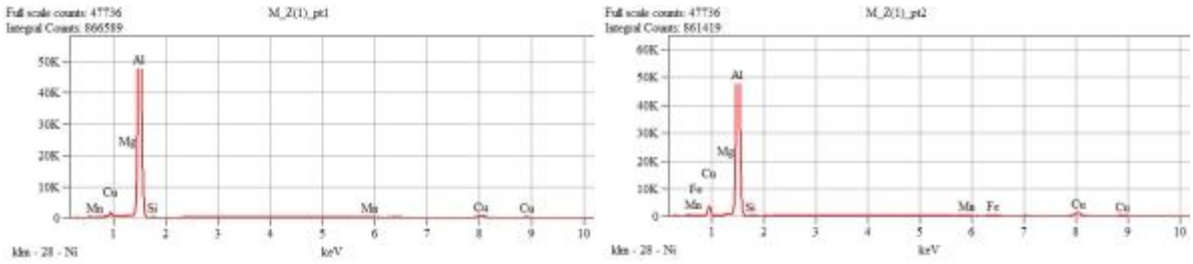
Figura 4.10 Aspectul structural la SEM a aliajului experimental de aluminiu 2017A, stare 451, atac acid fluorhidric 5%, la diferite puteri de mărire ale microscopului: a-x500; b- x1000; c-x2000



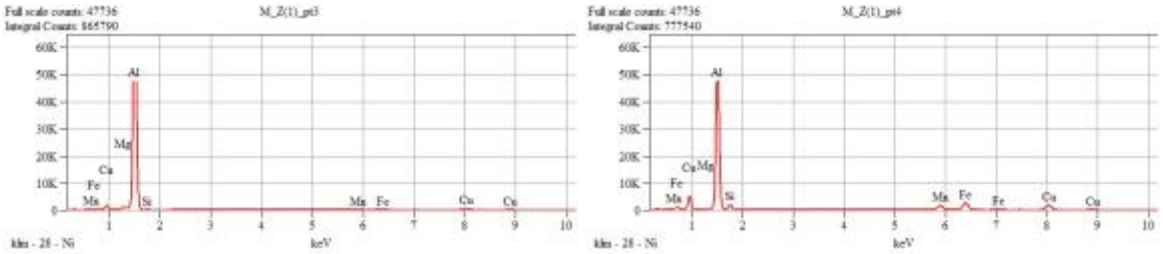
a

ZONA	*Microcompoziția locală, %gr.*					
	Mg	*Al*	*Si*	*Mn*	*Fe*	*Cu*
1	0.53	94.77	0.01	0.39		4.29
2	0.59	89.82	0.32	0.86	0.85	7.56
3	0.52	93.47	0.05	0.77	0.58	4.60
4	0.27	69.90	6.44	4.93	8.82	9.64

b

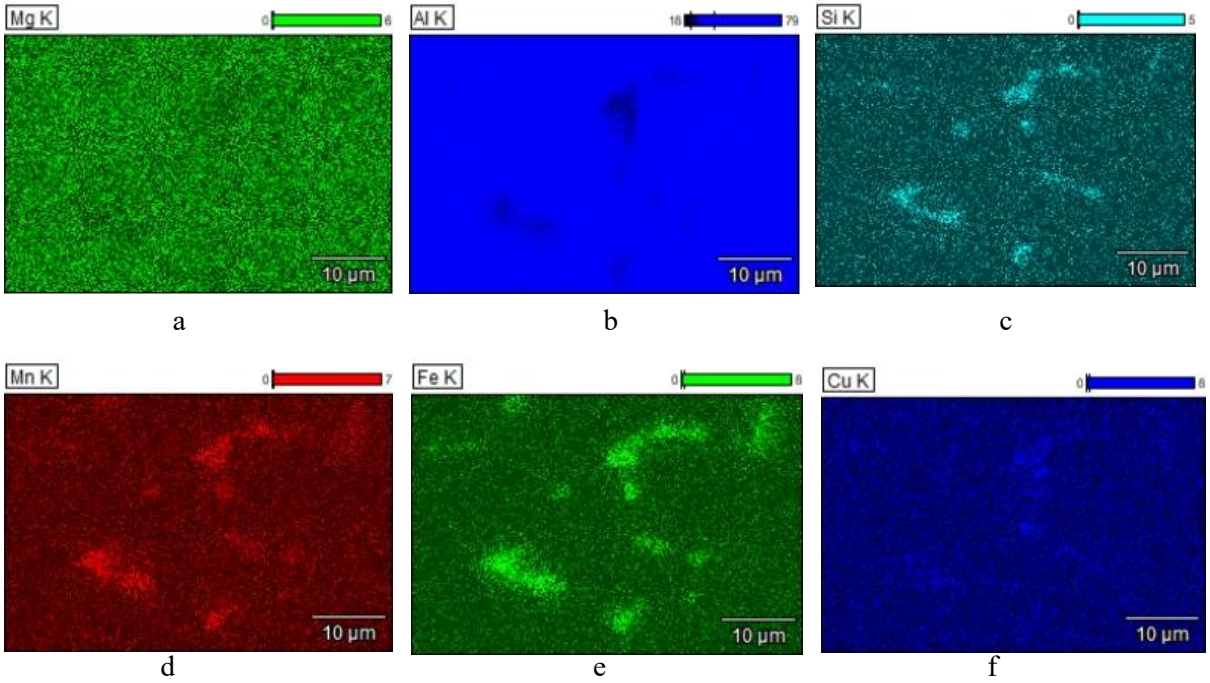


c d



e f

Figura 4.11 Analiza cantitativă și calitativă la SEM a aliajului aliajului experimental de aluminiu 2017A, stare 451, atac acid fluorhidric 5%: a- aspect structural, cu indentificarea punctelor de investigat; b-microcompoziția locală a punctelor investigate; c,d,e,f- EDAX ale punctelor investigate



a b c

d e f

Figura 4.12 Distribuția elementelor de aliere în aliajul 2017A, stare T451, prin anliza SEM: a- magneziului; b- distribuția aluminiului; c- distribuția siliciului; d- distribuția manganului; e- distribuția fierului; f- distribuția cuprului

Analiza SEM a epruvetelor din aliaj 2017A, stare T451 este redată în **figura 4.23**, **figura 4.24** și **figura 4.25**. Astfel aspectul structural la diferite puteri de mărire al aliajului netratat, **figura 4.23**, îndică o soluție solidă și preciitate fine de Al_2Cu. Dimensiunea maximă a acestor precipitate poate ajunge la 3-5 µm (**figura 4.23 c**). Analiza cantitativă și calitativă a aliajului 2017A netratat, stare T451, **figura 4.24** indică prezența pricipitatelor de Al_2Cu, dar și a celor complexe de $(Al,Fe,Mn)_xCu$, în conformitate cu valorile indicate **în figura 4.24 b** ale microcompoziției chimice locale. Distribuția elementelor de aliere în aliajul 2017A, stare T451 prezentată în **figura 2.25** confirmă natura precipitatelor bogate în Cu, Fe, Mn, Si.

Capitolul 5 - Determinarea caracteristicilor mecanice și fractografice ale epruvelor de rezilienţă ale aliajului 2017A, în diferite stări de tratament termic de îmbătrânire

5.1 Determinarea caracteristicilor mecanice ale aliajului experimental 2017A în diferite stări de tratament termic de îmbătrânire

Comportarea mecanică este foarte importantă în obținerea unor performanțe ale materialului mecatalic în exploatare, astfel încât determinarea principalelor caracteristici mecamnice devine un factor important în carcterizarea completă a unui material. Aplicarea diferitelor tratamente termice aliajelor de aluminiu poate determina modificarea dractică a caracteristicilor mecanice și în consecință poate imbunatătți performantele în exploatare. În urma aplicării tratamentelor termice de îmbătrânire artificială aliajuui de aluiniu 2017A au fost obținute următoarele valori ale caracteristicilor mecanice, indicate sintetic în **tabelul 5.1** Prelucrarea statistică a valorilor caravteristicilor mecanice a fost realizată prin construirea histogramelor, grupate de tipuri de caracteristici mecanice, așa cum este indicat în **figura 5.1 - figura 5.3.**

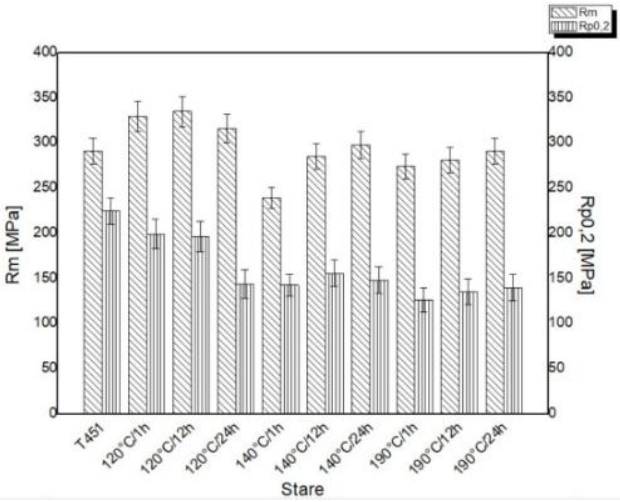


Figura 5.1 Aspectul histogramelor privind rezistența la rupere și limita de curgere a aliajului 2017A, ale probei martor și ale epruvetelor tratate termic prin îmbătrânire la 120°C, 140°C și 190°C

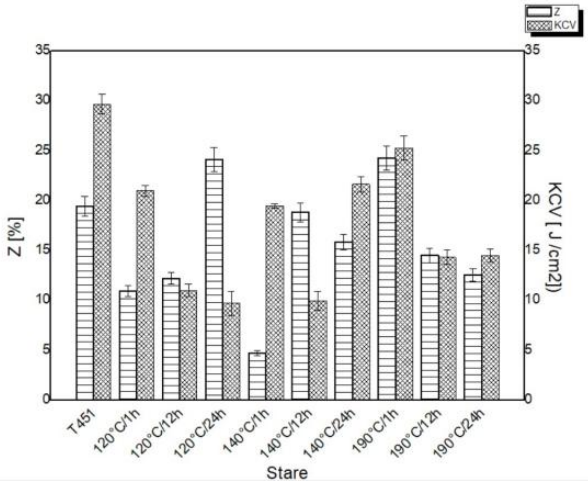


Figura 5.2 Aspectul histogramelor privind gâtuirea și rezilienţa aliajului 2017A, ale probei martor și ale epruvetelor tratate termic prin îmbătrânire la 120°C, 140°C și 190°C

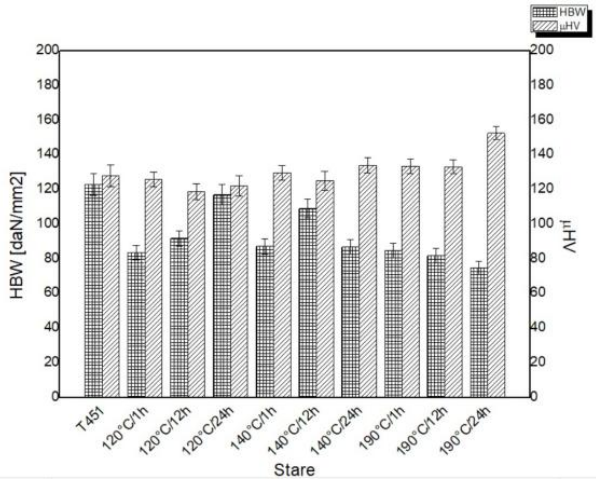
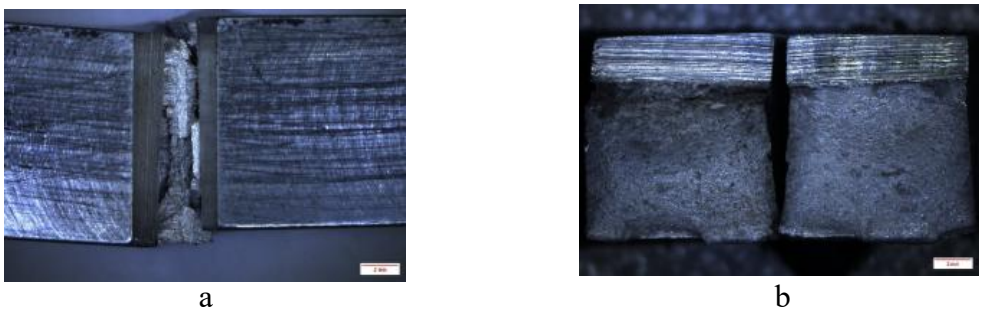


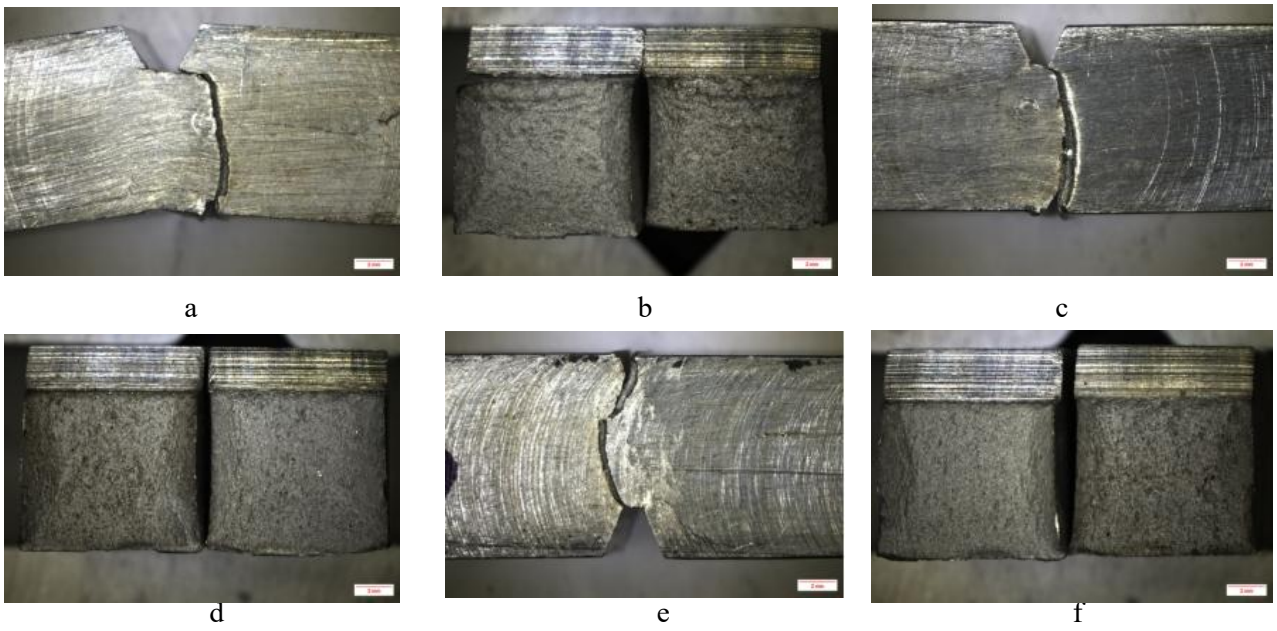
Figura 5.3 Aspectul histogramelor privind duritatea HBW și microduritatea HV ale aliajului 2017A, ale probei martor și ale epruvetelor tratate termic prin îmbătrânire la 120°C, 140°C și 190°C

5.2 Analiza stereomacrostructurală a epruvetelor de reziliențe ale epruvetelor din 2017A în doferite stări structurale de tratament termic de îmbătrânire



a b

Figura 5.4 Aspectul fractografic al suprafețelor de rupere ale epruvetelor de reziieanță pentru aliajul 2017, stare T451 (proba martor, Z): a- secțiune longitudinală; b- secțiune transversal



a b c

d e f

Figura 5.5 Aspectul fractografic al suprafețelor de rupere ale epruvetelor de reziieanță pentru aliajul 2017, stare T451 + imbătrânit artificial la 120°C, diferite durate de menținere: (a,b) - 1oră; (c,d)- 12 ore; (e,f) - 24 ore; și diferite secțiuni: (a, c, e) - longitudinală; (b,d,f) – transversal

O analiză fractografică a suprafețelor de rupere ale eruvetelor de reziliență Charpy KCV a fost realizată la un stereomicroscop, la scara macroscopică, ca element de noutate al acestei lucrări.

Rezultatele analizei fractografice ale suprafețelor de rupere la impact pe epruvete de reziliență Charpy KCV sunt redate în **figura 5.4. - figura 5.7**. Se remarcă faptul ca ruperea este cu caracter dinamic, cu aspect fibros, iar modul de propagare al frontului de rupere este diferit, fucție de tratamentul de îmbătrânire aplicat.

Capitolul 6 - Comportarea la cavitatie a aliajului de aluminiu tip 2017A după aplicarea tratamentelor termice de îmbătrânire în comparație cu starea de livrare T451

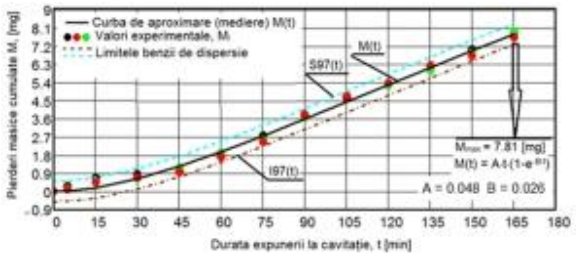
În acest capitol s-a analizat comportarea la eroziunea cavitațională realizată pe epruvetele în stare de livrare, respectiv T451 și pe epruvetele tratate termic prin îmbătrânire artificială la 120ºC, 140ºC și 190ºC, considerând atât diagramele specifice de comportare și rezistență la cavitație cu formele de evoluție ale curbelor de aproximare (mediere) și valorile parametrilor recomandați de normele internaționale specifice ASTM G32-2016, cât și descrierea morfologiei suprafețelor suprafețelor erodate.

6.1 Comportarea la eroziunea cavitațională a aliajului experimental în stare de livrare și cu tratament termic de îmbătrânire la 120^{0}C

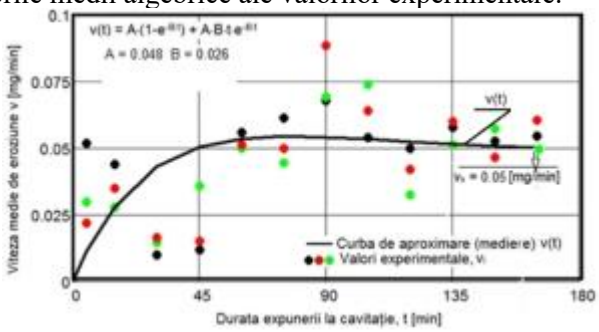
6.1.2 Diagrame și parametrii specifici comportării și rezistenței la eroziunea cavitației

Pentru fiecare stare (martor-semifabricat fără tratament termic de îmbătrânire artificială și probe cu tratatmente termice de îmbătrânire artificială la diverse regimuri de temperaturi și durate de menținere), conform cerințelor standard de exigență, au fost testate minim trei epruvete.

Pentru edificare asupra digramelor care servesc analizei comportamentului și rezistenței structurii suprafeței la solicitările undelor de șoc și ale microjeturilor cavitaționale, doar pentru starea martor, sunt folosite rezultatele obținute pe cele trei probe testate, prezentate în diagramele din **figura 6.1**. Pentru restul stărilor (**figura 6.2 - figura 6.4**) sunt folosite doar valorile medii algebrice ale valorilor experimentale.

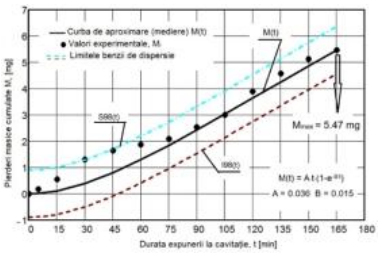


a) Variația pierderilor de masă cu durata cavitației: abaterea medie standard σ = 0.257, eroare de aproximare ±3%

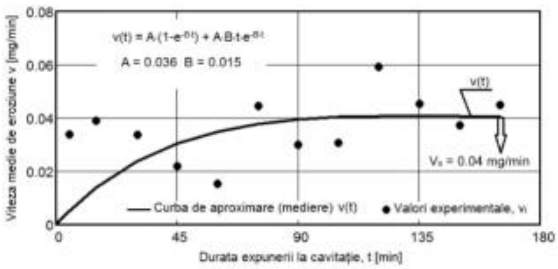


b) Variația vitezei de eroziune cu durata cavitației

Figura 6.1 Diagrame specifice comportării la eroziunea cavitațională a aliajului în stare de livrare, starea T451 (proba martor)

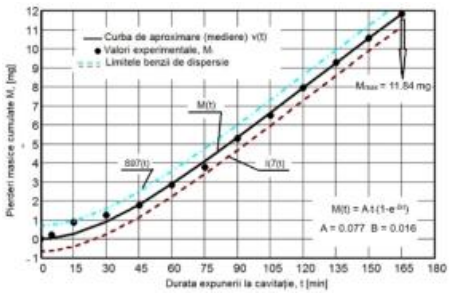


a) Variația pierderilor de masă cu durata cavitației: σ = 0.445 (eroare de aproximare ± 2%)

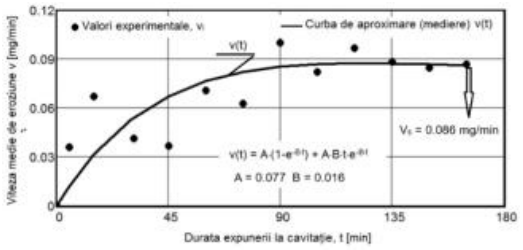


b) Variația vitezei de eroziune cu durata cavitației

Figura 6.2 Diagrame specifice comportării la eroziunea cavitațională a aliajului cu tratament termice de îmbătrânire la 120ºC/1h, stare T451-120/1h

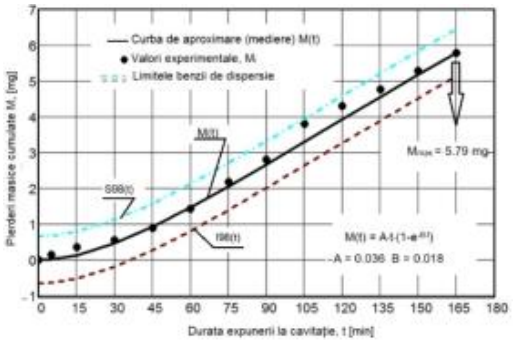


a) Variația pierderilor de masă cu durata cavitației abaterea medie standard σ = 0.224 (eroare de aproximare ± 3%)

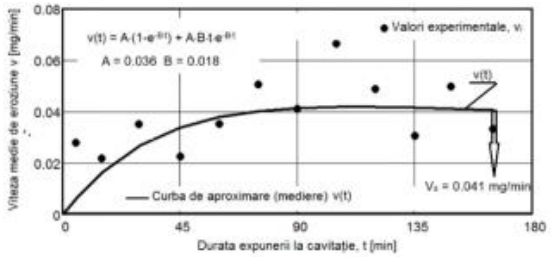


b) Variația vitezei de eroziune cu durata cavitației

Figura 6.3 Diagramele specifice comportării la eroziunea cavitațională a aliajului cu tratament termice de îmbătrânire la 120°C/12h, stare T451-120/12



a) Variația pierderilor de masă cu durata cavitației: abaterea medie standard σ = 0.219 (eroare de aproximare ± 2%)



b) Variația vitezei de eroziune cu durata cavitației

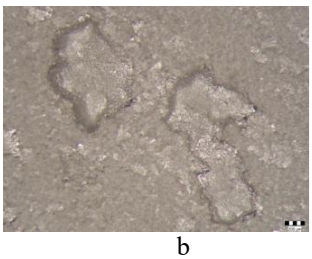
Figura 6.4 Diagramele specifice comportării la eroziunea cavitațională a aliajului cu tratament termice de îmbătrânire la 120°C/24h, stare T451-120/24h

6.1.2 Morfologia degradării structurale-provocate de eroziunea cavitațională a aliajului experimental în stare de livrare T451 și după tratament termic de îmbătrânire de 120ºC și diferite durate de menținere

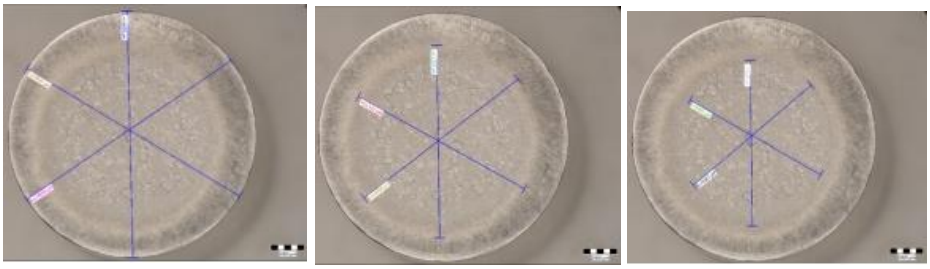
Rezultatele analizei cantitative ale măsurătorilor diametrelor suprafețelor atacate cavitațional ale epruvetelor martor și tratate termic prin îmbătrânire la 120ºC, cu diferite durate de menținere, de la stereomicroscop sunt redate în **figura 6.6 - figura 6.9**



a



b



c d e

Figura 6.5 Aspecte stereomacrostructurale ale suprafețelor testate la eroziunea prin cavitație a aliajului experimental de aluminiu 2017A, stare de livrare, în secțiune transversală: a- x8; b- x56; c- măsurarea diametrelor exterioare; b- măsurarea diametrelor intermediare; c- măsurarea diametrelor interioare

6.4. Evaluarea comportării la cavitație a aliajului de aluminiu 2017A în diferite stări de tratamente termic de îmbătrânire comparative cu starea netratată termic

Prin histograma din **figura 6.24** se arată diferențele de rezistență la solicitările hidrodinamice ale cavitației vibratoare, pe care le-au avut cele 7 stări cercetate, în care este simplificată notația, doar prin temperatură și durata de menținere.

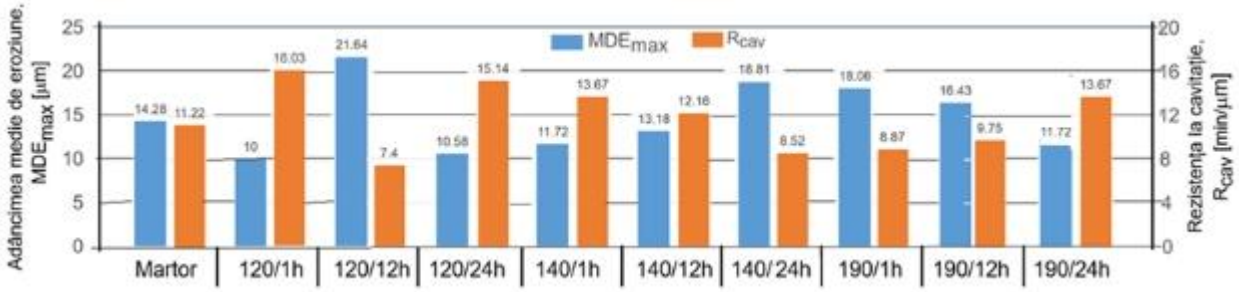


Figura 6.6 Histograma comparării rezistenței la cavitatie a aliajului experimental 2017A în stare de livrare cu cea a rezistenței după aplicarea diferitelor tratamente termice de îmbătrânire

Capitolul 7- Analiza comparativa a stării de rezistenţă la eroziunea cavitaţională a aliajului 2017A faţă de aliajele de aluminiu tip 5083, tip 6082 şi tip 7075

Studiul de față se dorește a fi o analiză critică privind două aspecte specifice întâlnita la aliajele de aluminiu, în general, la aliajele de aluminiu durificabile prin precipitare, în special:

Identificarea posibilităților de îmbunătățire a caracteristicilor mecanice ale aliajelor de aluminiu durificabile prin precipitare prin aplicarea diferitelor tratamente termice de îmbătrânire artificială;

Identificarea legăturii posibile între caracteristicile mecanice și comportarea la eroziunea cavitațională a aliajelor de aluminiu, în general, la aliajele de aluminiu durificabile prin precipitare, în special.

Aliajul de aluminiu tip 5083 face parte din seria 5xxx, având ca principal element de aliere Mg, fiind considerat un aliaj nedurificabil prin tratament termic. În lucrarea sa, Istrate D. [278] a realizat o combinaţie de tratamente termice, respectiv 350ºC/100min + 180ºC/ (1h, 12h, 24h), 450ºC/100min +140ºC (1h, 12h, 24h) şi 450ºC/100min +180ºC (1h, 12h, 24h). Analiza datelor din **figura 7.1** arată că cea mai bună rezistenţă la cavitaţie o au probele în stare turnat supuse la tratamentul combinat 350ºC/100min + 180ºC / (1h, 12h, 24h), cu rezistenţa la cavitație de 9,9 min/µm, de peste 3 ori decât rezistenţa probei martor, iar cea mai mică rezistenţă la cavitaţie o au probele netratate termice. Combinaţia de tratamente termice 450ºC/100min +140ºC (1h, 12h, 24h) şi 450ºC/100min +180ºC (1h, 12h, 24h) nu produce o îmbunătăţire

considerabilă a rezistenţei la cavitaţie. Adâncimile medii de pătrundere calculate a eroziunii cavitaţionale (**figura 7.2**) sunt de circa 40 µm la proba martor şi la probele tratate la 350ºC/100min + 180ºC / (1h, 12h, 24h), în timp ce adâncimile medii de pătrundere ale combinaţiei de tratamente termice 450ºC/100min +140ºC (1h, 12h, 24h) şi 450ºC/100min +180ºC (1h, 12h, 24h) sunt de circa 30-52µm.

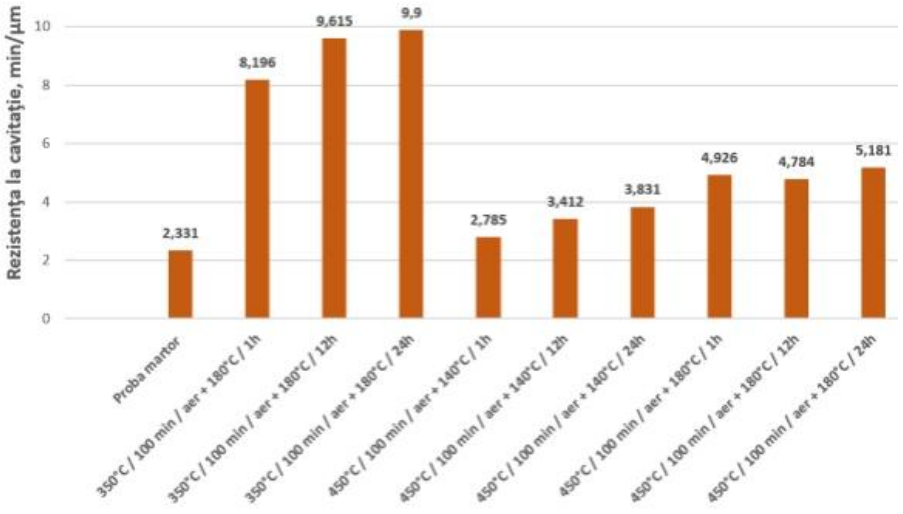


Figura 7.1 Histograma comparării rezistențelor la cavitație ale aliajului 5083, turnat și diferite stări structurale (după [278])

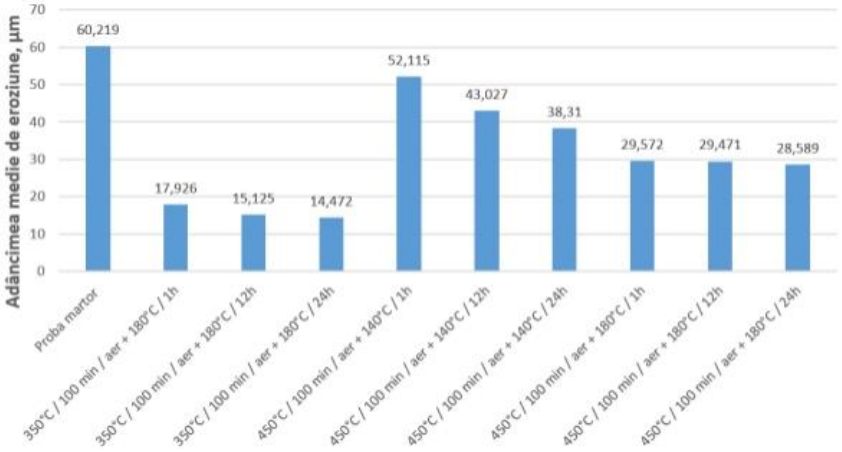


Figura 7.2 Histograma comparării adâncimilor de eroziune ale aliajului 5083, turnat și diferite stări structurale (după [278])

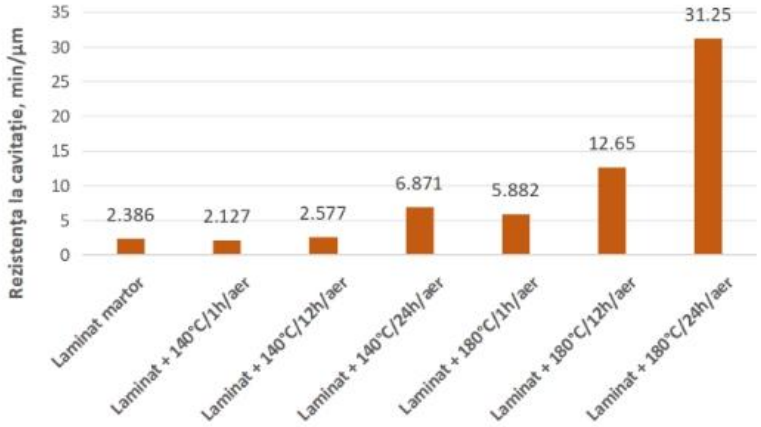


Figura 7.3 Histograma comparării rezistențelor la cavitație ale aliajului 5083, laminat și diferite stări structurale (după [278])

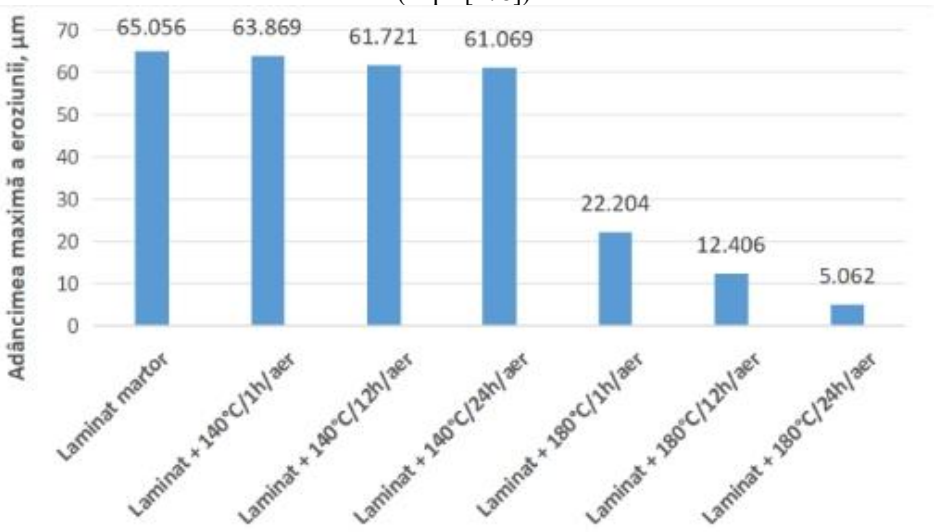


Figura 7.4 Histograma comparării adâncimilor de eroziune ale aliajului 5083, laminat și diferite stări structurale (după [278])

În cazul probelor din aliaj 5083 în stare laminat se remarcă faptul că aplicarea diferitelor tratamente termice are un efect semnificativ asupra rezistenței la cavitație, cea mai mare rezistență la cavitație având-o probele supuse tratamentului termice de 180°C/24h, de peste 12 ori mai mare față de proba netratată termic (**figura 7.3**). De asemenea și aplicarea unor tratamente termice la 180°C /1h, 12h pot duce la o îmbunătățire considerabilă a rezistenței la cavitație, respectiv 6-12min/µm, față de 2,4min/µm (**figura 7.3**). În ceea ce privește adâncimile de pătrundere calculate ale eroziunii cavitaționale sunt de circa 5-22 µm la probele tratate la 180°C /1h, 12h, 24h, față de cea a probei netratate termic, respectiv 65 µm (**figura 7.4**).

Aliajul de aluminiu tip 6082, stare T651 face parte din seria 6xxx, având ca principale elemente de aliere Mg și Si, fazele durificatoare fiind Mg_2 și α- AlFeSi. În lucrarea sa, Demian [279] a efectuat tratamente termic de îmbătrânire la 140°C, 160°C și 190°C, la fiecare temperatură cu durate de menținere 1h, 12h și 24h. Prin histogramele din **figura 7.5** și **figura 7.6** se arată diferențele de rezistență la solicitările hidrodinamice ale cavitației vibratoare, pe care le-au avut cele 11 stări cercetate, în care simbolizarea (notarea) este simplificată: prin temperatură și durata de menținere, repectiv prin WIG pentru regimul de retopire.

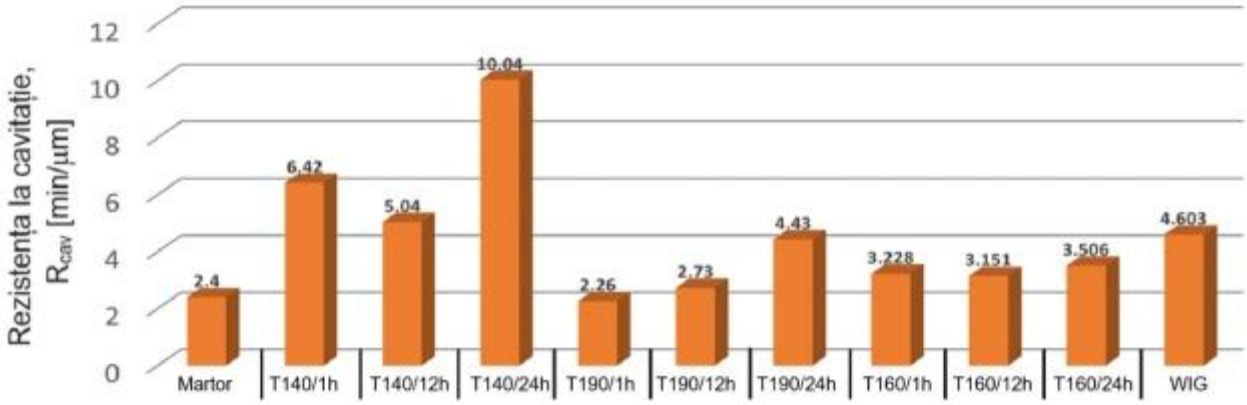


Figura 7.5 Histograma comparării rezistențelor la cavitație ale aliajului 6082, în diferite stări structurale [279]

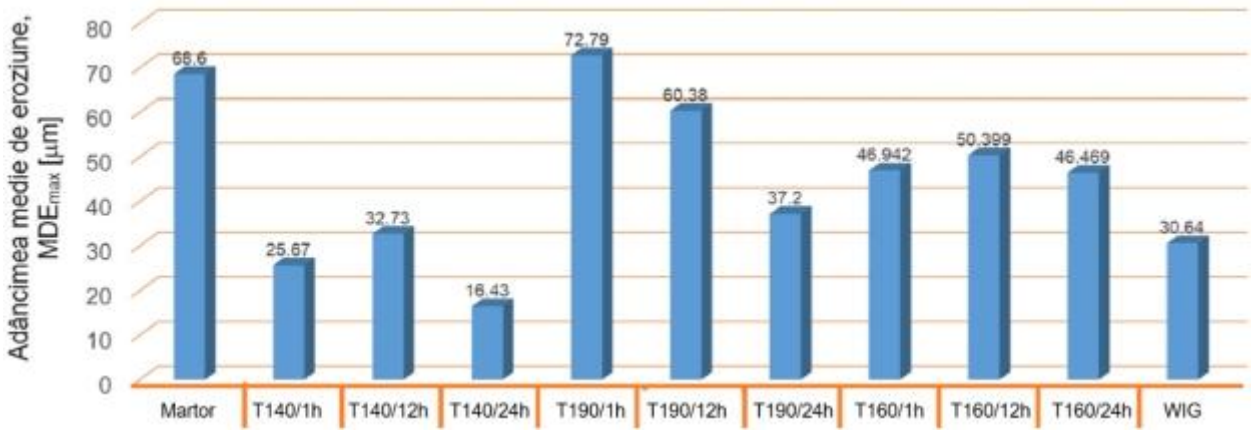


Figura 7.6 Histograma comparării adâncimilor de eroziune ale aliajului 6082, în diferite stări structurale [279]

Analiza datelor din **figura 7.5** arată că cea mai mare rezistență la cavitație este conferită prin tratament de îmbătrânire la 140°C/ 24 ore, respectiv rezistența la cavitație putând crește de aproape 5 ori. Creșteri ale rezistenței la cavitație se obține şi după aplicarea altor tratamente de îmbătrânire, fie la 160ºC sau la 190ºC, dar nu în aşa proporție ca după 140ºC.

Analiza datelor privind dependența adâncimii medii de eroziune de rezistența structurii la eroziunea prin cavitație, prezentă în **figura 7.6** arată cu cât rezistența la cavitație este mai mare cu atât aria eroziunii produse în suprafața atacată, respectiv dimensiunile cavernelor sunt mai mici. Datele sunt corelate, astfel încât cele mai mici adâncimi sunt la 140°C/ 24 ore, iar cele mai mari adâncimi sunt la 190C°/1h.

Analiza comparativă privind rezistența a eroziunea cavitațională a aliajului 2017A față de cea a aliajelor 5083, 6082 şi 7075 a permis realizarea histogramlor din **figura 7.11** şi **figura 7.12**.

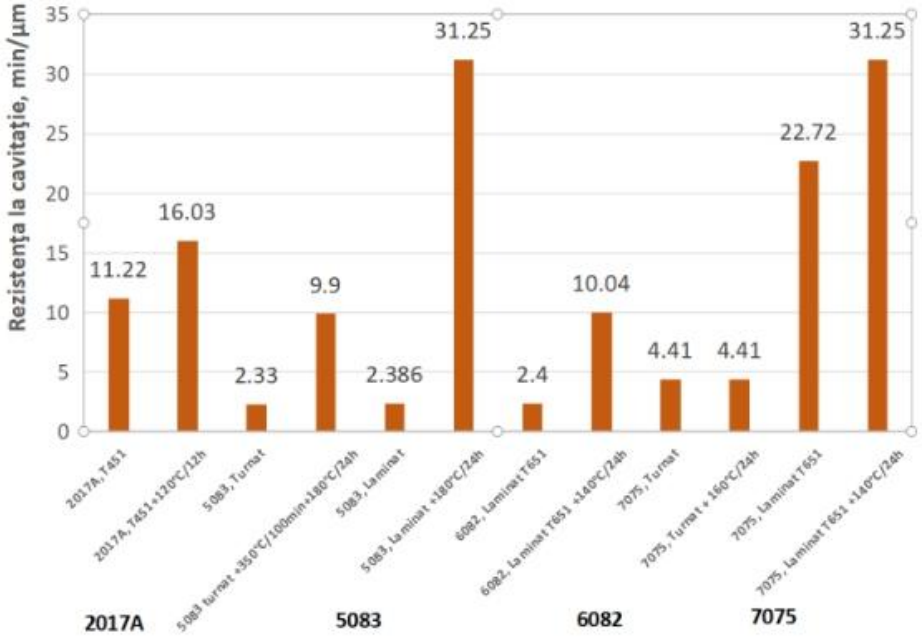


Figura 7.7 Histograma comparării rezistențelor la cavitație ale aliajului 2017A, față de aliajele 5083, 6082 și 7075, probe martor și tratate termic

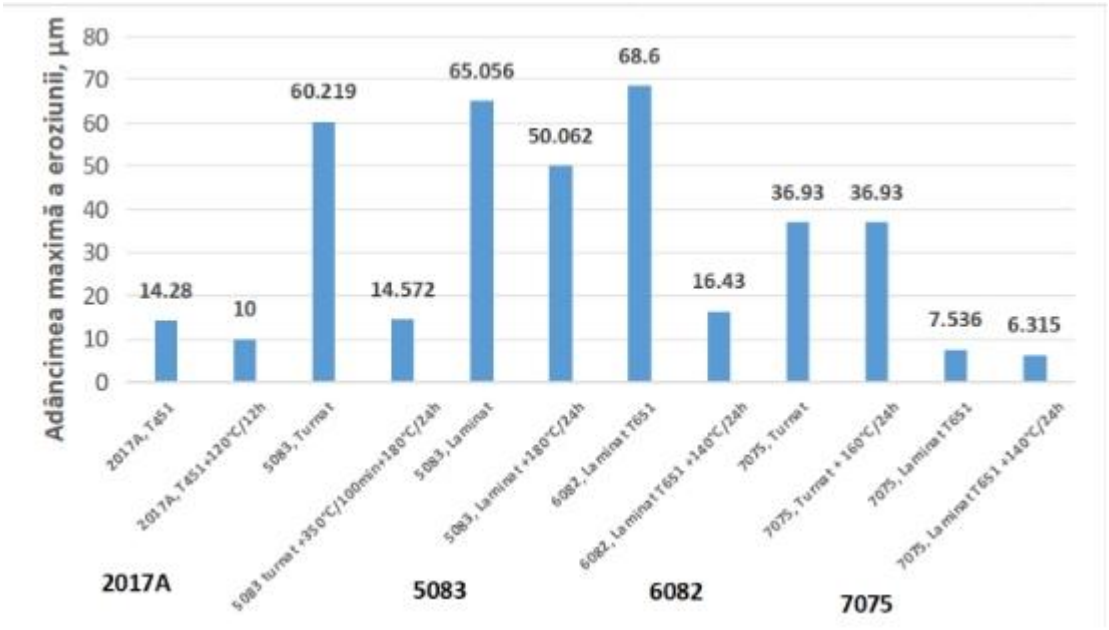


Figura 7.8 Histograma comparării adâncimilor de eroziune ale aliajului 2017A, față de aliajele 5083, 6082 și 7075, probe martor și tratate termic

Capitolul 8 - Concluzii, contribuții originale. Perpective ale cercetărilor viitoare

Pentru realizarea unei lucrări originale în domeniul aliajelor de aluminiu din seria 2xxx au fost stabilite următoarele obiective principale:

- Întocmirea unei cercetări documentare bazate pe o bogată bibliografie privind fenomenele de durificare prin precipitare întâlnite în cadrul seriei de aliaje de aluminiu 2xxx, compatariv cu alte serii de aliaje de aluminiu durificabile prin precipitare;
- Întocmirea unei sinteze documentare privind fenomele de cavitație, comparând vitezele de eroziune ale diferitelor materiale testate cu diverse dispozitive, confirmându-se corelația cu duritatea materialului;
- Alegerea unor epruvete din seria 2017A stare T451, din producția curentă existentă pe piața românească asupra cărora s-au aplicat diferite tratamente termice de îmbătrânire artificială (ale căror parametrii de temperatură și durată de menținere să reflecte posibilitățile de durificare prin precipitare în cadrul aliajului);
- Determinarea comportării structurale, mecanice și de comportare la eroziunea cavitațională a aliajului 2017A supus diferitelor tratamente termice de îmbătrânire artificială;
- Realizarea unei corelații structură- comportare mecanică- comportare la eroziunea cavitațională a aliajului 2017A supus diferitelor tratamente termice de îmbătrânire artificială.

8.1 Concluzii ale cercetărilor documentare și experimentale proprii

8.1.1 Concluzii ale cercetărilor documentare

Cercetările documenare au fost orientate în două mari directii:

- Analiza critică a fenomenelor de precipitare prin îmbătrânire a aliajelor de alulimiu din seria 2XXX. Aliajele de aluminiu sunt utilizate în diverse sectoare industriale datorită combinației lor excelente de rezistență și ductilitate, raportului ridicat rezistență/greutate, rezistenței la coroziune, rezistenței la oboseală și tenacității mari la rupere, printre altele. Totuși, nu toate aliajele de aluminiu prezintă

simultan acest set de proprietăți. Proprietățile dorite în condiții de exploatare sunt obținute prin mai mulți factori, precum compoziția chimică, metoda de fabricație, deformarea plastică și, mai ales, tratamentele termice, care permit o întărire pronunțată prin precipitare. Trebuie însă menționat că așa-numitele tratamente termice de „îmbătrânire" sunt aplicabile doar anumitor serii de aliaje de aluminiu, cum ar fi: 2xxx, 6xxx, 7xxx și 9xxx. Când se aplică tratamentul de durificare prin precipitare, particulele precipitate trebuie să fie coerente și coplanare cu matricea. Pe de altă parte, pentru a obține durificarea prin precipitare la temperaturi ridicate în aliajele de aluminiu, fazele durificatoare (precipitatele) trebuie să fie termodinamic stabile și să reziste fenomenului de coalescență la temperatura de interes. Durificarea prin precipitare se realizează prin secvențe de precipitare, care sunt foarte complexe și includ mai multe faze metastabile. De asemenea, se poate afirma că modul în care aceste faze germinează în prezența fazei precedente este complex. Începutul fiecărei secvențe implică prezența regiunilor GP și GPB. Prima este comună aproape tuturor secvențelor de precipitare. Zona GPB apare doar în anumite secvențe și, în unele dintre ele, conduce la formarea zonei GPB2. Încă există controverse între cercetători cu privire la stoechiometria și condițiile necesare pentru formarea zonelor GPB și GPB2. În ciuda numeroaselor lucrări de cercetare, fenomenul de precipitare al anumitor aliaje de aluminiu rămâne insuficient înțeles, iar același lucru se întâmplă și în cazul multor faze precipitate care nu sunt încă bine definite.

- Înțelegerea fenomenelor de cavitație: fenomenele de cavitație și eroziune prin cavitație afectează mașinile hidraulice, crescând costurile de întreținere ale acestora. Sunt prezentate atât aceste fenomene, cât și metodele de prevenire a deteriorării materialelor. Tensiunea de compresiune din stratul de suprafață, generată de implozia bulelor de cavitație, depinde de agresivitatea cavitației, care la rândul ei depinde de dispozitivul de testare și de condițiile de testare, influențând totodată și viteza de eroziune. Comparând vitezele de eroziune ale diferitelor materiale testate cu diverse dispozitive, s-a confirmat corelația cu duritatea materialului. Totuși, nu s-a obținut o singură corelație simplă, ci mai multe. Acest lucru indică faptul că, pe lângă duritate, rezistența la eroziunea prin cavitație este influențată și de alte proprietăți, precum ductilitatea, rezistența la oboseală și tenacitatea la rupere.

8.1.2 Concluzii ale cercetărilor experimentale proprii

Cercetările experimentale proprii au fost orientate în trei mari directii: analiza structurală, caracterizarea comportării mecanice, respectiv caracterizarea comportării la eroziunea cavitațională a aliajului 2017A în diferite stări de tratamnet termic de îmbătrînire.

- Analiza structurală a evidențiat o structură alcătuită din soluție solidă α, cu grăunți alungiți și precipitate de tip Al_2Cu, întra și întergranulare, fin și uniform distribuite în matrice. Deosebirile structurilor de îmbătrânire constau fie prin modificarea dimensiunii particulelor de precipitare, fie prin modul lor de distribuire în soluția solidă α. Astfel precipitatele se aglomerează și cresc până la 5μm (la 120°C/1oră/apă), dimensiunea lor ajungând până la 5-6 μm (la 120°C/1oră/apă); la aplicarea unui tratament de îmbătrânire la 140°C se remarcă o ușoară creștere a granulației și precipitate care cresc pe măsura creșterii duratei de menținere, ajungând la 10-12μm (140°C/24h/apă); la aplicarea tratamentului de îmbătrânire la 190° precipitarea particulelor de Al_2Cu este mai abundentă, ajungând la circa 8-10μm (190°C/24h/apă). Prin aplicarea tratamentelor termice de îmbătrânire aliajului 2017A, stare T451 are lo finisarea granulației, respective de la un grăunte mediu de 193μm se ajunge la 92μm (după 190°C/24h/apă).
- Prin aplicarea tratamentelor termice de îmbătrânire se constată că prin aplicarea tratamentelor termice de îmbătrânire la 120°C, 140°C sau 190°C cu diferite durate de menținere (1h, 12h sau 24h) are loc creșterea valorilor rezistenței la rupere, a gâtuirii și a microdurității. Astfel, se remarcă o creștere cu circa 15% a rezistenței la rupere față de epruveta netratată (la 120°C/12h/apă) și o creștere cu circa 26% a gătuirii (la 120°C/24h/apă). De asemenea, fazele durificatoare produc o creștere a microdurității cu circa 19% (la 190°C/24h/apă).

- Prin aplicarea tratamentelor termice de îmbătrânire aliajului 2017A se constată o creștere sensibilă a rezistenței la cavitație. Analiza comportării la eroziunea prin cavitație arată că cea mai mare rezistență este cea conferită de structura probei după aplicarea îmbătrânirii la 120°C/1h/apă de circa 18min/m, iar cea mai slabă este cea a după aplicarea îmbătrânirii la probei 120°C/12h/apă, respectiv 7,4min/m, față de cea a epruvetei netratate de circa 11,22min/m. Pe de altă parte se obține creșterea rezistenței la cavitație și la alte tratamente de îmbătrânire, de 15,15min/m la 120°C/24h/apă, respectiv de 12,16 la 140°C/12h/apă, sau 13,67 min/m la 190°C/24h/apă. Dispersia valorilor experimentale față de curbele de mediere M(t) și v(t), precum și diferențele dintre ele, la diverse durate ale atacului cavitației, arată efectul tratamentului termic, prin proprietățile mecanice și microstructura rezultate, asupra comportării suprafeței la solicitările cavitației. Valorile abaterii medii standard și a erorii de aproximare (maxim 3 %) arată că, pe durata programului de testare a celor trei probe, parametrii funcționali ai aparatului (amplitudine și frecvență vibrații, temperatura apei distilate și puterea generatorului electronic de ultrasunete), care determină intensitatea erozivă a cavitației, au fost foarte bine controlați datorită cu softului din calculator prin care s-a condus programul experimental. Valorile experimentale sunt efectul dimensiunii grăunților și ai compușilor intermetalici fragili, expulzați în perioadele intermediare de atac. Evoluțiile exponențiale pe prima parte, cu tendința de liniarizare pe a doua parte cavitației, a curbelor mediere a rezultatelor M(t) și de creștere spre o valoare de maxim a curbelor v(t), cu scădere spre valoarea de stabilizare vs, reconfirmă mecanismul mecanic de durificare și cel de amortizare al aerului și apei pătrunse în caverne. Cu creșterea duratei atacului, suprafața se durifică, în general, după 90 minute de cavitație. Structura suprafeței erodate în cele 165 minute de testare este una cu caverne de diverse forme geometrice și dimensiuni, caracteristică unui burete spongios. Evaluarea rezistențelor la solicitările erozive ale cavitației, pe baza valorilor parametrilor MDEmax și Rcav arată dependența rezistenței de efectul cumulat al proprietăților mecanice (Rm, Rp0.2 și HB, A5 și KCU). Imaginile macro și microscopice arată efectul compușilor intermetalici fragili și al proprietăților mecanice (unele care ajută rezistența la cavitație și altele care scad rezistența la cavitație), prin cavernele de diverse dimensiuni create prin smulgeri din materialul de bază și prin expulzări ale compușilor intermetalici. Formele cavernelor de la microcratere la craverne, cu diverse forme și dimensiuni, sunt determinate de dimensiunile și formele geometrice ale compușilor intermetalici și ale grăunților metalului de bază. Folosirea imaginilor fotografice și de microstructură, în analize efectuate pe baza datelor oferite de diagramele specifice și valorile parametrilor rezistenței la cavitație (Mmax sau vs), oferă o foarte bună înțelegere a mecanismului eroziunii prin cavitație, respectiv a legăturii dintre microstructură și proprietățile mecanice.
- Ca o concluzie generală, aliajul 2017A cu sau fără tratamente de îmbunătățire are o rezistență la cavitație intermediară aliajelor de aluminiu analizate, respectiv 7075, 6082 și 5083 și, prin urmare, o adâncime de pătrundere calculată intermediară aliajelor considerate. De asemenea, se poate aprecia că valorile rezistențelor la cavitație ale acestor aliaje de aluminiu sunt foarte mici în comparație cu cele ale altor clase de materiale metalice (oțeluri inoxidabile, superaliaje INCONEL), făcând parte din categoria materialelor metalice nerezistente la eroziunea cavitațională.

8.2 Contribuții cercetărilor experimentale proprii

- Întocmirea unei cercetări documentare bazate pe o bogată bibliografie privind fenomenele de durificare prin precipitare întâlnite în cadrul seriei de aliaje de aluminiu 2xxx, compatariv cu alte serii de aliaje de aluminiu durificabile prin precipitare;
- Întocmirea unei sinteze documentare privind fenomele de cavitație, comparând vitezele de eroziune ale diferitelor materiale testate cu diverse dispozitive, confirmându-se corelația cu duritatea materialului;
- Gândirea unei succesiuni ale etapelor de cercetare experimentală care permite realizarea obiectivelor propuse în prezenta lucrare, respectiv realizarea unor tratamente termice de

îmbătrânire la 120°C (cu menținеri de 1h, 12h, 24h, rîcire în apă), 140°C (cu menținеri de 1h, 12h, 24h, rîcire în apă) și 190°C (cu menținеri de 1h, 12h, 24h, rîcire în apă), precum și utilizarea unor metode corespunzătoare de caracterizare structurală- mecanică - și de rezistență la eroziunea cavitațională;

- Întocmirea unei analize structurale complexe, care prin metode complementare de microsopie optica, microscopie electronică cu balejai, XRD să permită aprecierea structurilor rezultate în urma aplicării tratamentelor termice de îmbătrânire artificială aliajul de aluminiu 2017A;
- Întocmirea unei caracterizări ale comportării mecanice complete a structurilor din aliaj 2017A după aplicarea diferitelor tratamente termice de îmbătrânire artificială, prin construirea histogramelor comparative pe tip de caracteristică mecanică;
- Evaluarea suprafețelor de rupere ale epruvetelor de rezilieanță Charpy KCV prin analiză stereomacrostructurală, cu posibilitatea identificării mecanismelor de rupere la impact;
- Intocmirea unui program complet de caracterizare a comportării la eroziunea cavitațională prin construirea graficelor de variație a adâncimii de pătrundere a cavitației, precum și a vitezelor de eroziune, lucru care a permis o analiză comparativă a parametrilor care definesc cavitația funcție de tratamentul de îmbătrânire aplicat aliajului 2017A, stare T451.
- Realizarea unei analize critice privind rezistența la eroziunea cavitațională a aliajului 2017 A, cu sau fără tratamente termice de îmbunătățire comparativ cu cea a altor maărci de aliaje de aluminiu, respectiv 2083, 6082, sau 7075, aflate în diferite stări de tratamente termice, turnat sau laminat, fapt care a permis o ierarhizare a stării de rezistență la eroziunea cavitațională în cadrul aliajelor de aluminiu. Astfel rezistențele la cavitație sunt: $Rcav_{(7075)} > Rcav_{(5083)} > \mathbf{Rcav_{(2017A)}} > Rcav_{(6082)}$, iar adâncimile de pătrundere a eroziunii prin cavitatie, calculate sunt: $\delta_{(5083)} > \delta_{(6082)} > \boldsymbol{\delta_{(2017A)}} > \delta_{(7075)}$.

8.3 Perspective ale cercetărilor viitoare

Aliajele de aluminiu continuă să suscite un interes pentru viitor prin ansamplu caracteristicilor mecanice și structurale posibil de obținut prin aplicarea diferitelor tratamente termice de îmbătrânire artificială. Se pot propune diferite teme de abordat pentru viitor:

- Aplicarea unor tratamente termice de durificare prin precipitare aflate în alte domenii de temperaturi și durate de menținere decât cele abordate în prezenta lucrare, cu posibilitatea de creștere mai insemnată a caracteristicilor mecanice, precum și a rezistenței la eroziunea cavitațională;
- Dezvoltarea metodelor de caracterizare structurală a epruvetelor testate la eroziunea cavitațională prin utilizarea mai frecventa a analizei stereomacrostructurale atât calitative, cat mai ales cantitative și identificarea corelației dintre adâncimea maximă de pătrundere a cavitației calculate și a adâncimii de pătrundere instantanee rezultată prin analiza mai multor serii de suprafete analizate în secțiune transversală;
- Extinderea metodei de caracterizare stereomacrostructurale a suprafețelor testate la eroziunea cavitațională si pe alte clase structurale de materiale metalice în vederea completării bazei de date în domeniul fenomenului de cavitație.

Lista lucrărilor publicate

Articole ISI web of knowledge

1. Istrate, D.; Sbarcea, B.G.; Demian, A.M.; **Buzatu, A.D**.; Salcianu, L.; Bordeasu, I.; Micu, L.M.; Ghera, C.; Florea, B.; Ghiban, B. Correlation between mechanical properties, structural characteristics and cavitation resistance of cast aluminum alloy type 5083. *Crystals*, Vol. 12, Issue 11, Article 1538, 2022. DOI: 10.3390/cryst121111538.
2. Ghera, C.; Odagiu, O.P.; Nagy, V.; Micu, L.M.; Luca, A.N.; Bordeasu, I.; Demian, M.A.; **Buzatu, A.D**.; Ghiban, B. Influence of ageing time on cavitation resistance of 6082 aluminum alloy. *UPB*

Scientific Bulletin, Series B: Chemistry and Materials Science, Vol. 84, Issue 4, pp. 225–237, 2022 (indexed 2023).

3. Odagiu, P.O.; Salcianu, C.L.; Ghera, C.; **Buzatu, A.D**.; Micu, L.M.; Luca, A.N.; Bordeasu, I.; Ghiban, B. Heat treatment parameters influence on the cavitation resistance of an aluminum alloy. *UPB Scientific Bulletin, Series B: Chemistry and Materials Science*, Vol. 85, Issue 3, pp. 239–252, 2023.
4. Bordeasu, I.; Ghiban, B.; Ghera, C.; Salcianu, C.L.; Micu, L.M.; Stroita, D.C.; Demian, M.A.; **Buzatu, A.D**. The effect of hardening obtained after TIG remelting on the resistance of the 7075 alloy structure to cavitation erosion. *UPB Scientific Bulletin, Series B: Chemistry and Materials Science*, Vol. 87, Issue 1, 2025. ISSN 1454-2331.
5. Bordeasu, I.; Ghiban, B.; Constantin, T.A.; Parmanche, R.; **Buzatu, A.D**.; Micu, L.M.; Bordeasu, D.; Demian, M.A. New results regarding the influence of artificial aging heat treatment at 140°C on the cavitation resistance of the 2017A aluminum alloy structure. *UPB Scientific Bulletin, Series B: Chemistry and Materials Science*, Vol. 87, Issue 3, pp. 295–308, 2025. ISSN 1454-2331.
6. **Buzatu, A.D.**; Bordeasu, D.; Bordeasu, I.; Ditoiu, I.D.; Ciurel, C.A.; Pasca, M.A.; Enaru, L.N.; Ghiban, B. Comparative Analysis of the State of Resistance to Cavitation Erosion of Alloy 2017A Compared to Aluminum Alloys Type 5083, Type 6082 and Type 7075. *Hidraulica – Magazine of Hydraulics, Pneumatics, Tribology, Ecology, Sensories, Mechatronics*, No. 1, pp. 57-69, 2026. ISSN 1453 – 7303.
7. **Buzatu, A.D.**; Ditoiu, I.D.; Enaru, L.N.; Ghiban, B. The influence of aging heat treatments on the structural and mechanical characteristics of aluminum alloy 2017A. *UPB Scientific Bulletin, Series B: Chemistry and Materials Science* Vol. 88, Issue 2, pp. 241–258, 2026. ISSN 1454-2331.

Articole cotate BDI

1. Istrate, D.; Lazar (Natra), C.; Odagiu, O.P.; Demian, A.M.; **Buzatu, A.D.**; Ghiban, B. Influence of homogenization and aging parameters applied to mechanical and structural characteristics of alloy 5083. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, Vol. 1262, 2022, Article 012021. DOI: 10.1088/1757-899X/1262/1/012021.
2. Lazar (Natra), C.; Istrate, D.; Odagiu, O.P.; Demian, A.M.; **Buzatu, A.D**.; Ghiban, B. Evaluation of mechanical characteristics of 3003 aluminum alloy plated sheets. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, Vol. 1262, 2022, Article 012021. DOI: 10.1088/1757-899X/1262/1/012021.
3. Bordeasu, I.; Luca, A.N.; Lazar, I.; Lazar, D.; Baradau, R.; Ghiban, B.; **Buzatu, A.D**.; Demian, A.M.; Odagiu, O.P.; Micu, L.M. Modification of cavitation erosion resistance of aluminum alloy 7075 by maintaining artificial aging heat treatment at 180°C. Hidraulica – Magazine of Hydraulics, Pneumatics, Tribology, Ecology, Sensories, Mechatronics, No. 4, pp. 33–41, 2022. ISSN 1453-7303.

Lucrări prezentate în cadrul unor conferințe naționale cu participare international

1. Istrate, D.; Lazar (Natra), C.; Odagiu, O.P.; Demian, A.M.; **Buzatu, A.D**.; Ghiban, B. Influence of homogenization and aging parameters applied to mechanical and structural characteristics of alloy 5083. ACME – Materials and Surface Engineering Conference, Iași, România, 9 iunie 2022, Paper code: 2-015.
2. Lazar (Natra), C.; Istrate, D.; Odagiu, O.P.; Demian, A.M.; **Buzatu, A.D**.; Ghiban, B. Evaluation of mechanical characteristics of 3003 aluminum alloy plated sheets. ACME – Materials and Surface Engineering Conference, Iași, România, 9 iunie 2022, Paper code: 2-016.
3. Istrate, D.; Demian, A.M.; **Buzatu, A.D**.; Odagiu, O.P.; Ghiban, B. The influence of heat treatments on the mechanical and structural characteristics of plastically deformed type 5083 aluminum alloys. 9th International Conference on Materials Science and Technologies – RoMAT 2022, 24–25 noiembrie 2022, București, România.

4. **Buzatu, A.D.;** Istrate, D.; Demian, A.M.; Odagiu, O.P.; Ghiban, B. Heat treatments influence on the mechanical behavior and structural characteristics of aluminum alloys type 2017. 9th International Conference on Materials Science and Technologies – RoMAT 2022, 24–25 noiembrie 2022, București, România.
5. Odagiu, O.P.; Istrate, D.; Demian, A.M.; **Buzatu, A.D.;** Ghiban, B. The influence of thermal treatments on the mechanical and structural characteristics of aluminum alloys type 6082. 9th International Conference on Materials Science and Technologies – RoMAT 2022, 24–25 noiembrie 2022, București, România.
6. Demian, A.M.; **Buzatu, A.D**.; Odagiu, O.P.; Istrate, D.; Ghiban, B. Heat treatments influence on the mechanical and structural characteristics of 7075 aluminum alloys. 9th International Conference on Materials Science and Technologies – RoMAT 2022, 24–25 noiembrie 2022, București, România.
7. Demian A.M., Dițoiu I. D., **Buzatu A. D.**, B. Ghiban B. Mathematical modeling of distortions in a 6061 aluminum alloy plate during the quenching process, 10th International Conference on Materials Science and Technologies –RoMAT 2024 November 24-25, 2024, Bucharest, Romania, poster P.10.1.
8. Dițoiu I.D., Demian A. M., **Buzatu A. D.**, B. Ghiban B. The influence of permanent deformation on the mechanical properties of aluminum alloy type 7075 10th International Conference on Materials Science and Technologies –RoMAT 2024 November 24-25, 2024, Bucharest, Romania, poster P.10.2.