



Universitatea
Transilvania
din Braşov

ŞCOALA DOCTORALĂ INTERDISCIPLINARĂ

Facultatea Ştiinţa şi Ingineria Materialelor

Ing. Simona Corina MATEI

**Cercetări asupra sintezei, caracterizării şi utilizării unor
compozite cu matrice ceramică termorezistente**

**Research on the synthesis, characterization and use of
composite with thermosetting ceramic matrix**

composites

REZUMAT / ABSTRACT

Conducător ştiinţific

Prof.dr.ing. Aurel CRIŞAN

BRAŞOV, 2019



Universitatea
Transilvania
din Braşov

D-lui (D-nei).....

COMPONENȚA

Comisiei de doctorat

Numită prin ordinul Rectorului Universității Transilvania din Braşov

Nr. din

PREȘEDINTE:

Prof. Dr. Ing. Machedon Pisu Teodor

Universitatea Transilvania din Braşov

CONDUCĂTOR ȘTIINȚIFIC:

Prof. Dr. Ing. Crişan Aurel

Universitatea Transilvania din Braşov

REFERENȚI:

Prof. Dr. Ing. Predescu Cristian

Universitatea Politehnica Bucuresti

Prof. Dr. Ing. Marginean Ioan

Universitatea Politehnica Bucuresti

Prof. Dr. Ing. Varga Bela

Universitatea Transilvania din Braşov

Data, ora și locul susținerii publice a tezei de doctorat: data 19.09.2019, ora 11:00, sala W III 4.

Eventualele aprecieri sau observații asupra conținutului lucrării vă rugăm să le transmiteți în timp util, pe adresa simona.matei@unitbv.ro

Totodată vă invităm să luați parte la ședința publică de susținere a tezei de doctorat.

Vă mulțumim.



CUPRINS

	Pg. teză	Pg. rezumat
CAPITOLUL 1 MATERIALE COMPOZITE. STRUCTURĂ, PROPRIETĂȚI. PREZENTARE GENERALĂ	1	1
1.1. Noțiuni introductive.....	1	1
1.2. Structura compozitelor termorezistente.....	2	1
1.2.1. Structura compozitelor termoplastice.....	2	1
1.2.2. Structura compozitelor cu matrice ceramică rezistente la temperaturi ridicate.....	7	1
1.3. Proprietățile compozitelor termorezistente.....	11	-
1.3.1. Proprietăți mecanice.....	11	-
1.3.2. Refractaritatea.....	14	-
1.3.3. Proprietăți termice.....	15	-
1.3.4. Proprietăți electrice	15	-
1.3.5 Proprietăți chimice.....	16	-
1.3.6. Proprietăți tribologice.....	16	-
1.4. Aplicații ale unor compozite termorezistente.....	17	-
1.5. Compozite termorezistente pe bază de argile și bentonite.....	19	2
1.5.1. Noțiuni introductive.....	19	-
1.5.2. Compoziții chimice.....	20	-
1.5.3. Proprietățile argilelor și bentonitelor.....	24	2
1.6. Tipuri de compozite pe bază de argile și bentonite.....	30	-
1.6.1. Metode de obținere a compozitelor pe bază de argile și bentonite.....	30	2
1.6.2. Proprietățile și domeniile de utilizare ale compozitelor pe bază de argile și bentonite	31	5
1.7. Obiectivele cercetărilor.....	33	5
CAPITOLUL 2 MODUL DE REALIZARE AL CERCETĂRILOR EXPERIMENTALE.....	34	6
2.1. Programul cercetărilor experimentale.....	34	6
2.2. Materiale și aparatura utilizată.....	34	7
2.2.1. Pentru compozite termoplastice.....	34	7
2.2.2. Pentru compozitele termorezistente.....	39	7
CAPITOLUL 3 CERCETĂRI PRIVIND COMPOZITELE TERMOPLASTICE.....	45	8
3.1. Modul de realizare al compozitelor.....	45	8
3.2. Determinarea caracteristicilor fizice.....	47	9
3.3. Determinarea proprietăților mecanice.....	47	10
3.3.1. Rezistența la tracțiune.....	47	10
3.3.2. Rezistența la încovoiere.....	50	11
3.3.3. Rezistența la șoc (reziliența).....	53	13
3.4. Concluzii.....	54	-
CAPITOLUL 4 CERCETĂRI PRIVIND OBȚINEREA ȘI CARACTERIZAREA COMPOZITELOR TERMOREZISTENTE.....	55	15
4.1. Compozite termorezistente cu procent scăzut de particule ceramice.....	55	15
4.1.1. Analiza suprafeței prin microscopie optică.....	58	18



4.1.2. Analiza dilatometrică.....	59	19
4.1.3. Analiza termică	60	20
4.1.4. Proprietăți mecanice.....	69	24
4.2. Compozite termorezistente cu procent ridicat de particule ceramice.....	72	27
4.2.1. Analiza suprafeței prin microscopie optică și electronică.....	74	29
4.2.2. Analiza difractometrică.....	78	34
4.2.3. Analiza termică	79	35
4.2.4. Proprietăți mecanice.....	82	37
4.2.5. Porozitatea.....	84	39
4.3. Concluzii.....	86	-
CAPITOLUL 5 CONCLUZII FINALE. CONTRIBUȚII ORIGINALE. DIRECȚII VIITOARE DE CERCETARE. DISEMINAREA REZULTATELOR.....	88	40
Bibliografie selectivă.....	202	46
Scurt rezumat (română/engleză).....	211	50
CV.....	212	51



CONTENT

	Thesis page	Abstract page
CHAPTER 1 COMPOSITE MATERIALS. STRUCTURE, PROPERTIES. GENERAL PRESENTATION....	1	1
1.1. Introduction.....	1	1
1.2. Structure of thermoresistant composites.....	2	1
1.2.1. Structure of thermoplastic composites.....	2	1
1.2.2. Structure of ceramic matrix composites with high temperature resistance.....	7	1
1.3. Properties of thermoresistant composites.....	11	-
1.3.1. Mechanical properties.....	11	-
1.3.2. Refractoriness	14	-
1.3.3. Thermal properties.....	15	-
1.3.4. Electrical properties.....	15	-
1.3.5. Chemical properties.....	16	-
1.3.6. Tribological properties.....	16	-
1.4. Applications of thermoresistant composites.....	17	-
1.5. Thermoresistant composites with clays and bentonites matrix.....	19	2
1.5.1. Introduction.....	19	-
1.5.2. Chemical compositions.....	20	-
1.5.3. Properties of clays and bentonites.....	24	2
1.6. Types of composites with clay and bentonite matrix.....	30	-
1.6.1. Methods of making composites with clay and bentonite matrix.....	30	2
1.6.2. Properties and fields of use of composites with clay and bentonite matrix.....	31	5
1.7. Research objectives.....	33	5
CHAPTER 2 ELABORATION MODE OF EXPERIMENTAL RESEARCH.....	34	6
2.1. The experimental research program.....	34	6
2.2. Materials and equipment used.....	34	7
2.2.1. For thermoplastic composites.....	34	7
2.2.2. For thermoresistant composites.....	39	7
CHAPTER 3 RESEARCH ON THERMOPLASTIC COMPOSITES.....	45	8
3.1. Mode of elaboration composites	45	8
3.2. Determination of physical characteristics.....	47	9
3.3. Determination of mechanical properties.....	47	10
3.3.1. Tensile strength.....	47	10
3.3.2. Flexural strength.....	50	11
3.3.3. Shock resistance (resilience).....	53	13
3.4. Conclusions.....	54	-
CHAPTER 4 RESEARCH ON THE SYNTHESIS AND CHARACTERIZATION OF THERMORESISTANT COMPOSITES.....	55	15
4.1. Thermoresistant composites with low percentage of ceramic particles.....	55	15
4.1.1. Surface analysis by optical microscopy.....	58	18
4.1.2. Dilatometric analysis.....	59	19



4.1.3. Thermal analysis.....	60	20
4.1.4. Mechanical properties.....	69	24
4.2. Thermosetting composites with high percentage of ceramic particles.....	72	27
4.2.1. Surface analysis by optical and electronic microscopy.....	74	29
4.2.2. Diffractometric analysis.....	78	34
4.2.3. Thermal analysis.....	79	35
4.2.4. Mechanical properties.....	82	37
4.2.5. Porosity.....	84	39
4.3. Conclusions.....	86	-
CHAPTER 5 FINAL CONCLUSIONS. ORIGINAL CONTRIBUTIONS. FUTURE RESEARCH DIRECTIONS. DISSEMINATION OF RESULTS.....	88	40
Bibliography selection.....	202	46
Short abstract (Romania/English).....	211	50
CV.....	212	51

CAPITOLUL 1 Materiale compozite. Structură, proprietăți. Prezentare generală

1.1. Noțiuni introductive

Materialul compozit este format dintr-un material de bază, matricea în care se află dispersat materialul de ranforsare (particule sau fibre), urmărindu-se obținerea unor proprietăți îmbunătățite ca: rezistența la rupere, rezistența la uzare, densitatea, rezistența la temperaturi înalte, duritatea superficială, stabilitatea dimensională, capacitatea de amortizare a vibrațiilor [2,3,4,5,6].

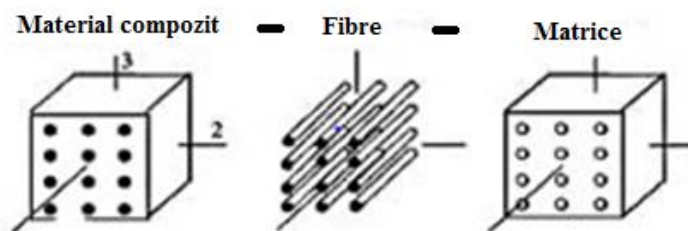


Fig.1.1 Structura materialului compozit [1]

Alegerea matricei se face în funcție de obiectivul pe care l-am stabilit și de posibilitatea de producere a compozitului. În tehnologiile actuale, se folosesc numeroase tipuri de matrice de natură organică, metalică, ceramică, din sticlă sau carbon [1].

În funcție de configurație, materialele de ranforsare se împart în două categorii: fibre și particule. Acestea, la rândul lor, se clasifică după mărime, după raportul lungime/diametru și după compoziția chimică în secțiune transversală.

Materialele compozite cu matrice ceramică sunt utilizate pentru aplicații în industria constructoare de mașini, industria aerospațială, industria de apărare și produse speciale etc.

1.2. Structura compozitelor termorezistente

Compozitele cu matrici ceramice sau alte materiale care într-o anumită plajă de temperaturi nu comportă modificări structurale sunt considerate termorezistente în plaja respectivă de temperaturi [1,3]. Ceramicele au această caracteristică după sinterizare până la temperaturi de peste 1200 °C. De asemenea materialele plastice (polimerii) pot fi stabile termic până la aproximativ 200 °C și pot fi considerate termorezistente la temperaturi joase.

1.2.1. Structura compozitelor termoplastice

Aceste compozite au matrici realizate din polimeri care pot fi armate cu o mare diversitate de materiale granulare, fibre, țesături, etc. Matricea pentru realizarea compozitelor termoplastice este de natura organică.

Ca materiale de umplutură pot fi utilizate fibrele de sticlă, fibrele de kevlar sau aramida, fibrele de carbon, fibrele de azbest, fibrele de silice, fibrele de cuarț, fibrele de bor, fibrele de grafit sau particule cum ar fi pulberile ceramice [2-4,7,11,12,36-38].

1.2.2. Structura compozitelor cu matrice ceramică rezistente la temperaturi ridicate

Ca și matrice ceramică se utilizează oxizi, carburi, nitruri, boruri, însă cele mai utilizate sunt: alumina (Al_2O_3), oxid de zirconiu (ZrO_2), carbura de siliciu (SiC), nitrura de siliciu (Si_3N_4), carbura de titan (TiC),

carbura de bor (B_4C) sau amestecuri ale acestor componente și compuși complecși ($Al_2O_3 \cdot Y_2O_3$, $3Al_2O_3 \cdot SiO_2$, $Al_2O_3 \cdot MgO$) [1,3,4,11,12,60].

În afară de fibrele ceramice se folosesc și fibre de bor, carbon, aliaje, rășini, sticlă etc.

1.5. Compozite termorezistente cu bentonite și argile

1.5.3. Proprietățile argilelor și bentonitelor

Argilele prezintă plasticitate ridicată, compresibilitate mare, capacitate mare de umflare, impermeabilitate și stabilitate dimensională [79].

Prezența montmorillonitului în bentonită oferă caracteristici favorabile cum ar fi: capacitate mare de retenție a apei, conductivitate hidraulică scăzută, rezistență termică ridicată [80-82], capacitatea de umflare [83-85,121], intercalare și schimb de ioni [121].

Proprietățile argilelor și bentonitelor sunt foarte diverse în funcție de bazinele de colectare și condițiile de caracterizare a lor, așa cum sunt redate în tabelele 1.17 și 1.18.

1.6.1. Metode de obținere a compozitelor pe bază de argile și bentonite

Metodele de producere a compozitelor cu matrici din argilă și bentonită depind în mare măsură de natura materialelor de ranforsare.

În cazul utilizării unor materiale de ranforsare pulverulente sau sub formă de fibre scurte o schemă generală a procesului tehnologic este prezentată în figura 1.11. Față de această schemă generală, procedeele pot avea o serie de particularizări pentru etapele specifice de pregătire a materialelor sau de pregătire a amestecului compozit.

O serie de cercetători [62,67, 79, 134-136] pregătesc în mod special argilele și bentonitele pentru stabilizarea și anume: amestecare cu apă, maturare, uscare, măcinare și cernere.

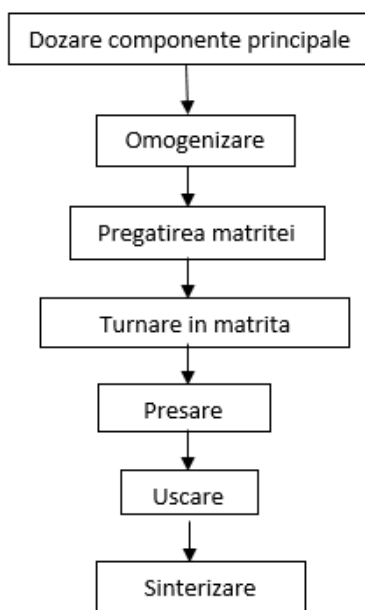


Fig. 1.11 Schema procesului de obținere a materialelor compozite



Tabel 1.17 Proprietățile de bază ale unor amestecuri de argile și bentonite [61,62,79,107]

Proprietăți	Amestecuri (% bentonită : % caolin) [79]					Bentonite [107]				Bentonite și argile [61]			Argile și bentonite [62]				
	(100:0)	(25:75)	(15:85)	(2:98)	(0:100)	B1	B2	B3	B4	Bent.	Argilă (caolin)	Bent. Bangkok	Caolin Turcia	Caolin Degirmenlik	Caolin Akdeniz	Bent. Tuzla	Bent. Turcia
Nisip fin, [%]						2.35	3.79	1.39	1.53	0	0	0	12.0	13.0	11.0	10.0	1.0
Praf, [%]	25	66	78	79	80	35.33	27.48	20.18	14.71	31	52	39	58.0	52.0	45.5	48.0	23.5
Argilă, [%]	75	34	22	21	20	62.32	68.73	78.43	83.75	69	48	61	30.0	35.0	43.5	42.0	75.5
Greutatea specifică	2.76	2.65	2.65	2.64	2.62	2.76	2.76	2.77	2.77	2.65	2.63	2.66	2.65	2.74	2.75	2.78	2.60
Limita de curgere, [%]	367	104	69	35	27	175	296	393	597	46	211	80	28.2	37.0	49.6	52.9	98.0
Limita de plasticitate, [%]	39	21	27	24	26	27	46	50	51	24	36	29	21.1	25.0	27.7	27.7	40.0
Indicele de plasticitate, [%]	328	83	42	11	1					22	175	51	7.1	12.0	21.9	25.2	58.0
Limita de contracție, [%]						12	14	18	23				22.4	17.1	15.7	15.2	22.5
Aria suprafeței specifice, [m ² /g]						402	376	495	445								
Capacitatea de schimb de cationi, [meq/100 g]						38.8	55.2	71.7	108.8				5.30	8.91	28.70	32.61	57.13



Activitatea	4.37	2.44	1.91	0.55	0.05								0.24	0.34	0.50	0.60	0.77	
$\gamma_d^{(max)}$ [kN/m ³]	–	15.4	16.0	16.5	–													
OMC [%]	–	20.4	19.6	16.9	–													
Viteza de umflare liberă										0.7	3.9	12						
Na ⁺						13.9	33.4	34.8	92.1									
Ca ²⁺						15.2	11.7	29.4	13.7									
K ⁺						1.4	4.8	1.3	0.2									
Mg ²⁺						8.3	5.3	6.2	2.8									
Mont- morillonit, [%]						39	42	55	61									

Tabel 1.18 Proprietățile de bază ale unor amestecuri de argile și bentonite [71,102]

Proprietăți	Argilă naturală [71]	Argilă Ara [102]	Argilă Igbara Odo [102]	Argilă Ikere [102]	Argilă Clay [102]	Argilă Clay [102]
Limita de curgere, [%]	40,1	43.79	41.06	37.05	29.28	48.40
Limita de plasticitate, [%]	22	34.47	32.63	22.50	27.90	35.37
Indicele de plasticitate, [%]	18,1	9.32	8.43	14.55	1.38	13.03
Limita de contracție, [%]	10,6	5.00	2.14	3.57	1.43	3.57
Cd max [t/m ³]	1,76					
Umflarea liberă, [%]	120					
Apa, [%]	12					
Culoarea	Maro	Maro	Roșie	Roșie	Maro	

1.6.2 Proprietățile și domeniile de utilizare ale compozitelor pe bază de argile și bentonite

Pentru a depăși unele probleme legate de retenția scăzută de apă la temperaturi ridicate și stabilitatea termică scăzută, numeroși autori au utilizat argilele și bentonitele [121-128] ca filtre alternative la ceramica neconductive pentru a minimiza pierderea conductivității de protoni. Incluziunea acestor filtre în matricea polimerului determină îmbunătățirea diverselor proprietăți ale membranei, cum ar fi conductivitatea protonului și stabilitatea termică la temperaturi înalte [138, 129-132].

Mineralele argiloase au fost aplicate pe scară largă în agricultură, în inginerie industrială și în descoperirea, recuperarea și rafinarea petrolului [118]. Mai nou, materiale ceramice pe bază de argilă au fost utilizate în diferite părți ale lumii ca mijloc de purificare și stocare a apei în punctele de utilizare. Aplicarea filtrului ceramic nu este doar o tehnică nouă și modernă, ci reduce costurile și utilizarea substanțelor chimice / coagulante în tratarea apei [100]. Din aceleași materiale ceramice pe bază de argilă și rumeguș au mai fost făcute studii anterioare pentru diferite scopuri de izolare a deșeurilor [101].

Bentonitele sunt folosite în numeroase aplicații ingineresti: ca materiale tampon și de umplere în depozite de deșeurii nucleare [107-109], ca materiale de linie în depozitele de deșeurii municipale [107, 110-112] și ca materiale de captușire în tuneluri [107,113].

Duroway și colaboratorii [162] au studiat compozitele pe baza de bentonită, nisip și magnezită ranforsate cu particule de Fe în vederea utilizării materialelor pentru fabricația plăcuțelor de frână pentru aeronave și automobile. Proprietățile fizice și mecanice obținute: densitatea ($2,97 \text{ g/cm}^3$), porozitatea (1,24%), contracția liniară (1,39%), energia de impact (43,07 J) și rezistența la compresiune ($114,17 \text{ MN/m}^2$) recomandă aceste materiale în procesele de fabricație a plăcuțelor de frână.

1.7. Obiectivele cercetărilor :

Așa cum s-a prezentat anterior, în literatura de specialitate apar tot mai multe date despre materiale, deci și despre compozite cu proprietăți de utilizare în condiții diverse, altele decât cele ale mediului ambiant. În acest context obiectivul principal al cercetărilor tezei de față este **obținerea din materiale relativ ieftine, prin tehnici de procedură ușor accesibile a unor compozite cu proprietăți de utilizare atractive într-o gamă de temperaturi foarte largă de la temperatura mediului ambiant până la temperaturi de 1250°C**. Pentru realizarea acestui obiectiv principal s-au stabilit o serie de obiective secundare:

- Analiza critică și alegerea unor materiale corespunzătoare pentru matricile și adaosurile de ranforsare ale compozitelor. S-a urmărit în special utilizarea unor materiale de largă răspândire, ușor accesibile, la costuri scăzute;
 - Studiul caracteristicilor materialelor alese și a comportamentului lor în timpul pregătirii și caracterizării compozitelor ;
 - Stabilirea unor tehnici accesibile de producere a compozitelor, care să nu implice operații și instalații de complexitate și costuri ridicate;
 - Sinteza de compozite urmărind rigorile enunțate anterior;
 - Caracterizarea compozitelor obținute prin proceduri adecvate din punct de vedere științific;
 - Stabilirea unor domenii de utilizare pentru compozitele obținute în funcție de caracteristicile lor.
- Pentru stabilirea unui program de cercetări care să asigure îndeplinirea acestor obiective s-au stabilit două grupe de compozite care urmează să fie cercetate:
- Compozite termoplastice, cu matrici pe bază de rășini, utilizabile în domeniul temperaturilor joase, mai mici de 200°C;
 - Compozite cu matrici ceramice utilizabile la temperaturi cuprinse între cele ale mediului ambiant și până la 1250°C.

CAPITOLUL 2. Modul de realizare a cercetărilor experimentale

2.1. Programul cercetărilor experimentale

Pentru realizarea obiectivelor propuse în cadrul tezei s-a elaborat un program al cercetărilor experimentale, redat în figura 2.1.

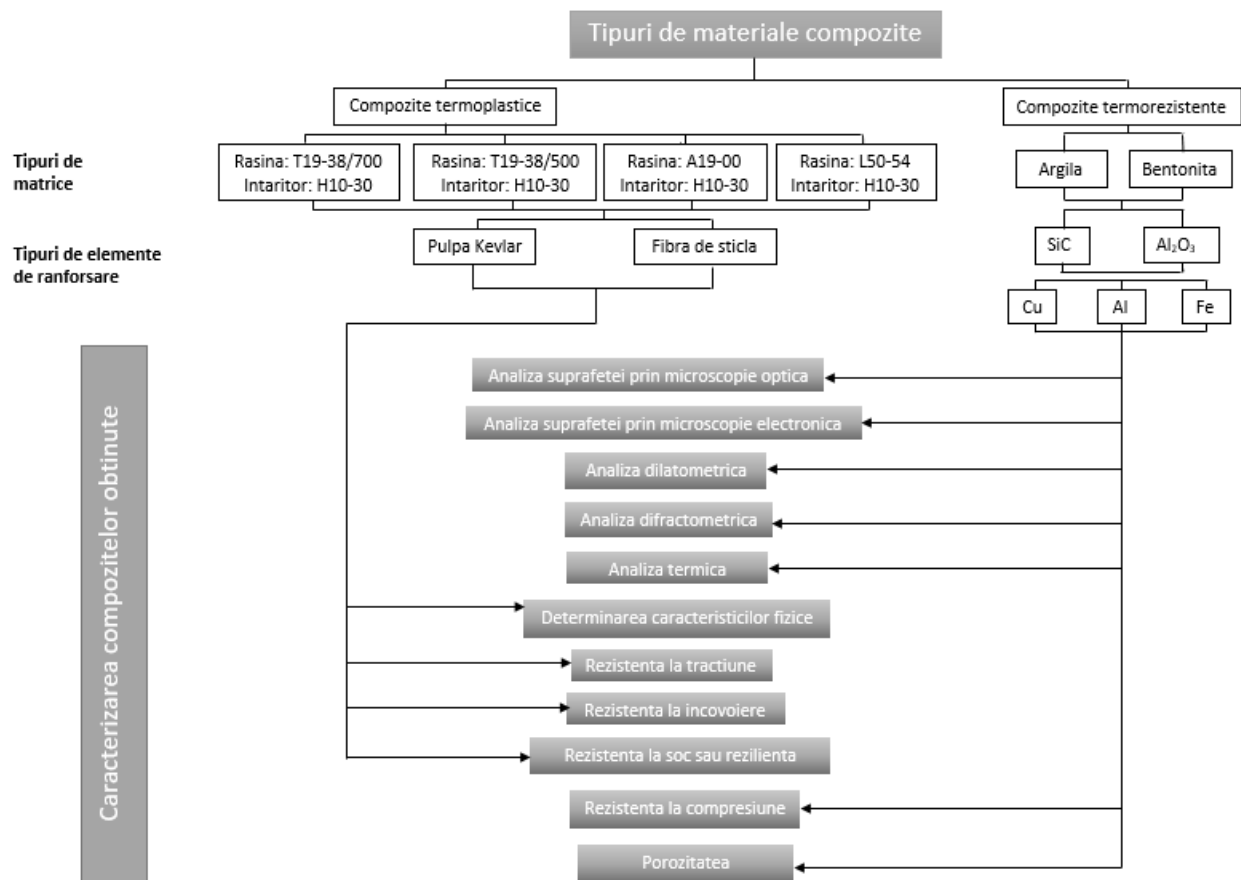


Fig.2.1 Programul cercetărilor experimentale

În cadrul acestor cercetări s-au elaborat două grupe de compozite și anume: compozite termoplastice și compozite termorezistente. Pentru fiecare grupă s-au realizat mai multe tipuri de compozite cu diferite tipuri de matrici și elemente de ranforsare, prezentate detaliat în capitolele 3 și 4.

Pentru grupa compozitelor termoplastice, ca și matrice s-au utilizat 4 tipuri de rășini respectiv 2 tipuri de întăritori. Pentru ranforsare s-au utilizat pulpa de kevlar respectiv fibra de sticlă.

Pentru compozitele termorezistente, matricea s-a realizat din argilă, respectiv bentonită. Pentru ranforsare s-au utilizat pulberi ceramice (SiC, Al₂O₃) și metalice (Cu, Al, Fe).

Pentru caracterizarea compozitelor realizate s-au confectionat probe adecvate procedurilor specifice de lucru, pe care s-au determinat o serie de caracteristici: proprietăți fizice (greutate, volum, densitate, etc.), proprietăți mecanice (rezistența la tracțiune, rezistența la încovoiere, rezistența la compresiune, etc.), aspecte de suprafață (microscopie optică și electronică), compoziții chimice (spectrometrie SEM EDX), difracție cu raze X, analize termice (dilatometrie și analize TG-DTA) și determinarea porozității.

2.2. Materiale și aparatură utilizată

2.2.1. Pentru compozite termoplastice

- **Rezistența la tracțiune** s-a realizat conform STAS SR EN ISO 527-1 pe mașina de încercări universală (Universal Testing Machine) [168].
- **Rezistența la încovoiere** s-a determinat conform STAS SR EN ISO 14125 pe mașina de încercări modelul WDW-150S [168].
- **Rezistența la șoc sau reziliența** s-a determinat pe un ciocan pendul Charpy care se află în cadrul facultății de Știința și Ingineria Materialelor, departamentul de Știința Materialelor.

2.2.2. Pentru compozitele termorezistente

Aparatura utilizată la caracterizarea suprafeței prin microscopie optică și electronică:

Caracterizarea suprafeței compozitelor cu procent scăzut de particule ceramice s-a realizat cu ajutorul sistemului de analiză structurală OmniMet prevăzut cu un microscop metalografic inversat compact de tip Nikon Eclipse MA100 [168]. Cu ajutorul acestui microscop se pot caracteriza calitativ și cantitativ structura materialelor metalice și nemetalice și se pot efectua determinări specifice pentru dimensiunea grăunților, caracterizarea formei lor, forma, dimensiunea și cantitatea incluziunilor.

Cu ajutorul microscopului digital 3D de tip HIROX RH-2000 (figura 2.16) s-a analizat suprafața compozitelor cu procent ridicat de particule ceramice.

Prin microscopia electronică s-a studiat atât aspectul structurii în anumite zone cât și compoziția chimică pentru zonele respective. Micrografiile s-au obținut cu ajutorul echipamentului SEM, Hitachi, S3400N, tip II și analiza elementară cantitativă a probelor a fost efectuată utilizând EDX (model NSS, 200000 counts/sec), cu o sensibilitate de până la câteva procente atomice.

Aparatura utilizată la analiza dilatometrică:

Analiza dilatometrică a fost realizată cu dilatometrul orizontal L75PT/1400°C [168]. Acesta permite studierea transformărilor de fază în stare solidă pentru probe cu grosimi cuprinse între 0,1-5 mm, cu diametrul de maxim 6 mm, într-un interval de temperatură cuprins între 20°C și 1.400°C, la o rezoluție de 0,125 nm/digit. Software-ul din dotare permite trasarea curbelor de variație dimensională cu temperatura și prelucrarea acestora pentru obținerea de informații referitoare la mecanismul și cinetica transformărilor de fază.

Aparatura utilizată la analiza difractometrică:

Analiza difractometrică s-a realizat pentru a pune în evidență compușii care apar în suprafața compozitelor obținute (pentru anumite zone) cu difractometrul de raze x de tip D8 Advance Bruker.

Aparatura utilizată la analiza termică:

Analiza termică diferențială s-a efectuat utilizând aparatul NETZSCH STA 449 F3 JUPITER de tip TG/DTA cu o viteză de încălzire de 10 °C/ min, de la temperatura ambiantă până la 900 °C într-o atmosferă de azot, cu debit de curgere de 20 ml/min. într-un creuzet de alumină.

Aparatura utilizată pentru determinarea proprietăților mecanice (rezistența la compresiune):

Rezistența la compresiune s-a realizat utilizând mașina de încercări universală, model WDW-150S. Epruvetele pentru testarea la compresiune sunt cele din figura 4.32.

CAPITOLUL 3. Cercetări privind compozitele termoplastice

Răşina epoxidică este un polimer termorigid frecvent utilizat ca matrice. Matricea polimerică trebuie să reziste la sarcini mecanice şi tribologice ridicate şi atunci este întărită cu materiale de ranforsare. Ca materiale de ranforsare pot fi utilizate fibre de sticlă, carbon şi aramidă sau particule, cum ar fi pulberi ceramice [36-38].

Pulpa de kevlar este un tip de fibră discontinuă scurtă, foarte fibrilată şi dură, care asigură îmbunătăţirea rezistenţei la uzură şi la frecare [39-41]. Aceasta poate fi folosită ca aditiv specializat pentru îmbunătăţirea performanţei, ajutând la asigurarea unei armări excelente şi a unui control al vâscozităţii în condiţii de tensiune la forfecare [42-44].

3.1. Modul de realizare al compozitelor

Pentru matrice s-au utilizat patru tipuri de răşină epoxidică respectiv întăritorii acestora. Epilox T 19-38/700, epilox T 19-38/500 şi epilox A 19-00 sunt amestecuri de răşini - bisfenol A - (epiclorhidrină) şi răşina epoxi (greutate moleculară numerică medie ≤ 700). Materialele de ranforsare utilizate sunt pulpa de kevlar (tip 1F1417, greutatea medie $1,02 \text{ g/cm}^3$, umiditatea 8%, fabricată de DuPONT) şi fibra de sticlă (maxim 5 mm lungime) şi sunt prezentate în figura 2.2.

Pentru prepararea fiecărui tip de compozit răşina de bază s-a dozat într-un recipient corespunzător şi peste ea s-a adăugat proporţia corespunzătoare de întăritor (vezi combinaţiile din tabelul 3.3).

După o amestecare de aproximativ 5 minute pentru omogenizarea celor două componente s-a introdus materialul de ranforsare, pulpa de kevlar sau fibra de sticlă, după caz şi s-a continuat amestecarea până la omogenizarea corespunzătoare a compozitului astfel preparat.

Compozitele obţinute au fost supuse unui studiu pentru determinarea proprietăţilor fizice reale (densitate, proporţii componente) şi a proprietăţilor mecanice (rezistenţe specifice, modulul de elasticitate, alungire, etc.).

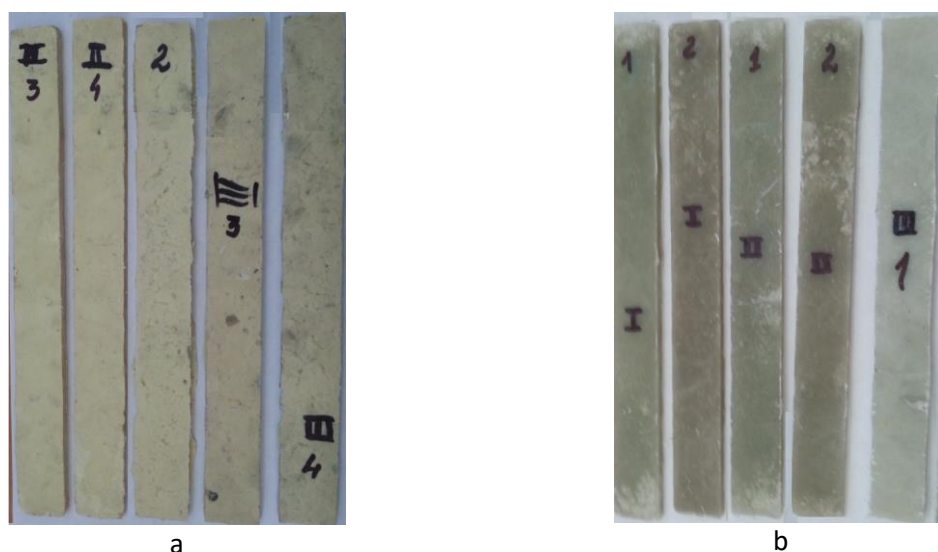


Fig.3.1 Compozite cu matrice de răşină epoxidică: a) ranforsat cu pulpă kevlar; b) ranforsat cu fibră de sticlă tocată

Tabel 3.3. Compozite cu matrici de răşină epoxidică ranforsate cu pulpă de kevlar şi fibră de sticlă [165]

Nr. crt	Tip compozit	Componente							Timpul de întărire, [h]
		Matrice				Compozit			
		Răşină		Întăritor		% matrice	Ranforsant		
		Tip răşină	Volum, [cm ³]	Tip întăritor	Volum, [cm ³]		Tip ranforsant	% ranforsant	
1.	C1	T19-38/700	100	H10-30	60	80	Pulpa kevlar	20	6
2.	C2	T19-38/700		H10-30			Fibra sticla		
3.	C3	T19-38/500		H 10-30			Pulpa kevlar		
4.	C4	T19-38/500		H 10-30			Fibra sticla		
5.	C5	A 19-00		H 10-30			Pulpa kevlar		
6.	C6	A 19-00		H 10-30			Fibra sticla		
7.	C7	L 50-54	100	H 10-25	70		Pulpa kevlar		8
8.	C8	L 50-54		H 10-25			Fibra sticla		

3.2. Determinarea caracteristicilor fizice

Programul de lucru pentru determinarea caracteristicilor fizice este prezentat în capitolul 2, paragraful 2.2.1. Utilizând valorile caracteristicilor fizice ale răşinilor şi întăritorilor utilizaţi, prezentate în tabelele 3.1 şi 3.2 s-au calculat densităţile matricilor pentru fiecare tip de compozit cu ajutorul relaţiei 2.1. Valorile obţinute sunt prezentate în tabelul 3.4. După realizarea compozitelor prin adăugarea în matrice a materialelor de ranforsare conform datelor din tabelul 3.3 şi întărirea amestecurilor s-au efectuat determinări ale volumului şi masei probelor obţinute (vezi datele din tabelul 3.4). Cu ajutorul acestor valori utilizând relaţia 2.2 s-au calculat densităţile compozitelor.

Tabel 3.4. Proprietăţile fizice calculate ale compozitelor cu matrice de răşină epoxidică ranforsată cu pulpă de kevlar sau fibră de sticlă tocată [165]

Nr. probă	Tip compozit	Densitate matrice, [g/cm ³]	Caracteristici fizice compozit		
			Masă, [g]	Volum, [cm ³]	Densitate, [g/cm ³]
1.1	C1	1,06	1,24	1,33	0,93
1.2			1,46	1,35	1,08
1.3			1,29	1,25	1,03
1.4			1,34	1,31	1,02
2.1	C2		1,42	1	1,42
3.1	C3	1,06	2,22	2	1,11
3.2			1,34	1,33	1,01
3.3			1,54	1,75	0,88
3.4			1,26	1,33	0,95
4.1	C4		1,59	1,25	1,27
5.1	C5	1,07	1,52	1,42	1,07
5.2			1,4	1,38	1,014
5.3			1,69	1,67	1,011
5.4			2,25	1,88	1,2
6.1	C6		1,6	1,25	1,28
6.2			1,52	1	1,52

3.3. Determinarea proprietăților mecanice

3.3.1. Rezistența la tracțiune

Rezistența la tracțiune s-a realizat pe mașina de încercări universală, model WDW-150S (figurile 2.6.a și 2.6.b). Epruvetele de compozit cu dimensiunile 250x25x5 mm au fost solicitate la tracțiune în lungul axei lor până la rupere (figura 3.2 a și b).



Fig.3.2 Epruvete după încercarea la tracțiune:

- a) Material compozit cu matrice de rășină epoxidică ranforsat cu fibră de sticlă tocată
- b) Material compozit cu matrice de rășină epoxidică ranforsat cu pulpă de kevlar

Din diagramele încercărilor la tracțiune (anexa 1) s-au extras o serie de date reprezentative pentru încercare, care au fost ulterior prelucrate tabel 3.6 și figurile 3.3 a și b.

Tabel 3.6. Rezultatele încercărilor la tracțiune pentru epruvetele realizate [165]

Nr. Probă	Tip compozit	Rezistența la rupere la tracțiune, [MPa]	Alungirea, [%]	Modulul Young la tracțiune, [GPa]
1.1	C1	22	0,8	1
1.2		41	1,3	2
1.3		35	1,4	2
	Media	32,67	1,17	1,67
2.1	C2	107	3,1	2
2.2*		47	1,7	3
2.3		82	1,7	2
	Media	94,5	2,4	2
3.1	C3	12	1,3	2
3.2		23	0,9	1
	Media	17,5	1,1	1,5
4.1	C4	46	2	2
4.2		74	1,8	2
	Media	60	1,9	2
5.1*	C5	10	0,6	2
5.2		38	1,3	2
5.3		43	1,5	2
5.4		30	0,1	2
	Media	37	0,96	2
6.1	C6	102	2,6	2
6.2*		34	1,3	3
7.1	C7	2	17,8	-
8.1	C8	9	4,4	-
8.2		17	2,5	1
	Media	13	3,45	1

*rezultatul nu a fost luat în considerare la calculul mediei

Între compozitele realizate au fost cazuri cu un comportament total diferit de cel mediu pentru tipul respectiv de compozite. Valorile proprietăţilor lor n-au fost luate în consideraţie la calculul mediilor utilizate pentru interpretări. Explicaţiile acestor situaţii s-au făcut în fiecare caz în parte.

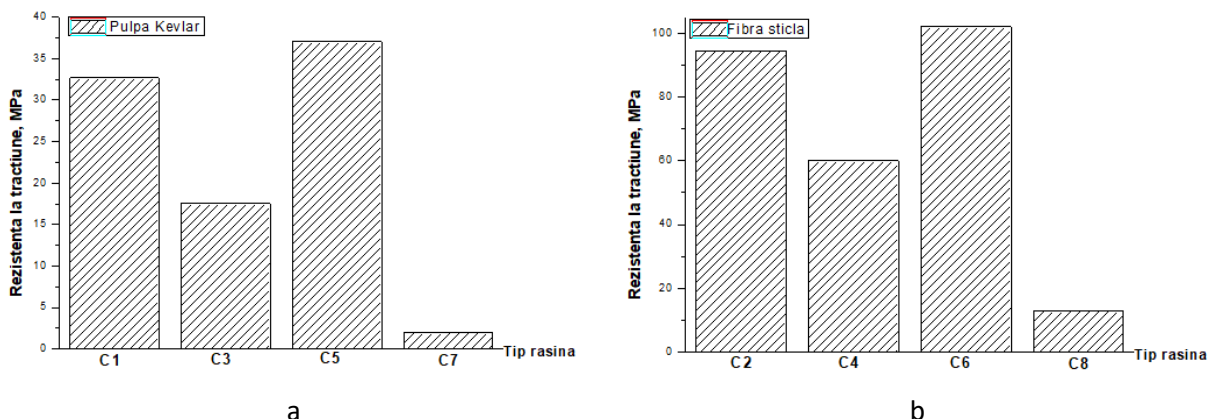


Fig.3.3 Variaţia rezistenţei la tracţiune în funcţie de tipul materialului compozit ranforsat cu:
a.pulpă kevlar; b.fibră de sticlă

În figura 3.3.a) se observă că, compozitul C5 (răşină A19-00+întăritor H10-30 şi pulpă de kevlar) prezintă o valoare ridicată a rezistenţei la tracţiune faţa de celelalte tipuri de compozite. Compozitul C7 (răşină L50-54+ întăritor H10-25 şi pulpă de kevlar) prezintă o valoare scăzută a rezistenţei la tracţiune. Pentru compozitele ranforsate cu pulpă de Kevlar se observă o creştere a rezistenţei la tracţiune în următoarea ordine: C7 < C3 < C1 < C5.

În figura 3.3b) se observă că, compozitul C6 (răşină A19-00+ întăritor H10-30 şi fibră de sticlă) are o rezistenţă la tracţiune mai ridicată decât celelalte compozite. Cea mai mică valoare a rezistenţei la tracţiune o prezintă compozitul C8 (răşină L50-54+ întăritor H10-25 şi fibră de sticlă). În figura 3.3.b) se observă o creştere la tracţiune în această ordine: C8 < C4 < C2 < C6.

3.3.2. Rezistenţa la încovoiere

Rezistenţa la încovoiere s-a realizat conform STAS SR EN ISO 14125. Maşina de încercări utilizată este modelul WDW-150S (figurile 2.6.a şi 2.6.b). Epruvetele utilizate pentru încercările la încovoiere au fost tăiate după dimensiunile 80x10x5 mm, prelevate din epruvete de dimensiunile initiale.

Din diagramele obţinute din încercările la încovoiere (Anexa 2) s-au extras o serie de date reprezentative pentru încercare, care au fost ulterior prelucrate tabelul 3.7. şi figurile 3.6 a şi b.

Tabel 3.7. Rezultatele încercărilor la încovoiere pentru epruvetele realizate [165]

Nr. probă	Tip compozit	Rezistența la încovoiere, [MPa]	Energia, [J]	Modulul Young la încovoiere, [GPa]
1.1	C1	68	1,200	3,0
1.2*		56	0	9,0
1.3		57	1,177	2,5
1.4		63	1,177	2,5
	Media	63	1,185	2,66
2.1	C2	235	11,456	11,5
3.1	C3	38	1,141	1,5
3.2		69	0,075	3,0
3.3		59	0,092	3,0
3.4		56	1,313	2,5
	Media	56	0,655	2,5
4.1	C4	101	13,642	2,5
4.2		101	7,202	5,0
	Media	101	10,422	3,75
5.1	C5	62	0,032	3,5
5.2*		67	0	4,0
5.3		73	0,048	4,5
5.4		60	1,092	3,5
	Media	65	0,391	3,875
6.1	C6	325	0,178	13,5
6.2		102	2,024	3,5
	Media	214	1,101	8,25
7.1	C7	-	0,447	-
8.1	C8	31	2,189	-
8.2		11	1,830	0,5
	Media	21	2,001	0,5

*rezultatul nu a fost luat în considerare la calculul mediei

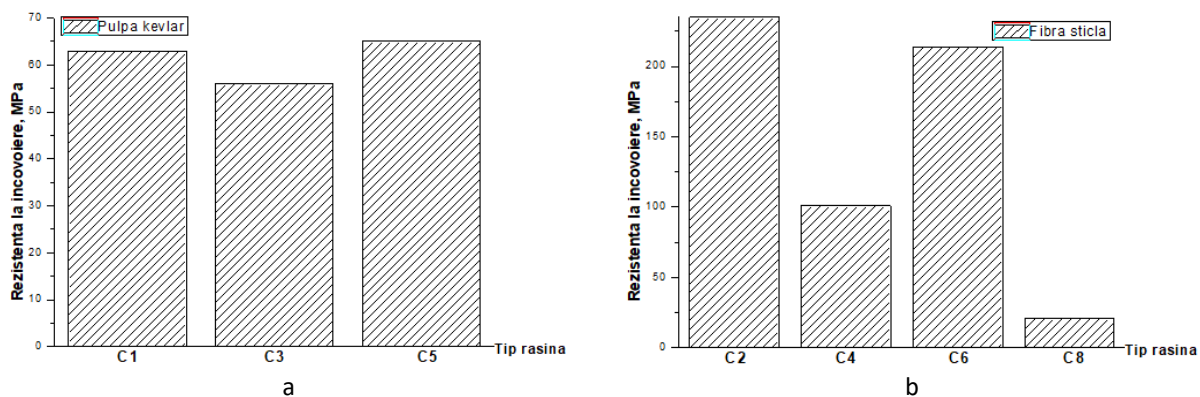


Fig.3.6 Variația rezistenței la încovoiere în funcție de tipul rășinii pentru compozitul ranforsat cu: a) pulpă kevlar; b) fibră de sticlă

În figura 3.6 a) se observă că cea mai mare rezistență la încovoiere o are compozitul C5 (rășină A19-00+întăritor H10-30 și pulpă de kevlar) în timp ce compozitul C3 (rășină T19-38/500+întăritor H10-30 și pulpă de kevlar) prezintă cea mai mică rezistență la încovoiere. În cazul compozitelor ranforsate cu fibră de sticlă (figura 3.6 b), compozitul C2 (rășină T19-38/700+întăritor H10-30 și fibră de sticlă) posedă cea mai mare rezistență la încovoiere în timp ce compozitul C8 (rășină L50-54+întăritor H10-25 și fibră de sticlă) prezintă cea mai mică rezistență la încovoiere.

3.3.3. Rezistența la șoc (reziliența)

Rezistența la șoc sau reziliența s-a realizat conform STAS SR EN ISO 13586 pe ciocan Charpy de tip pendul (figura 2.8). Epruvetele utilizate pentru încercările la reziliență, redate în figura 3.9, au fost tăiate la dimensiunile de 55x10x5 mm din probele prezentate în figura 3.1. Reziliența celor două tipuri de materiale compozite a fost calculată cu relația:

$$K = \frac{U}{A} \quad (3.1)$$

unde U reprezintă energia consumată și A este aria secțiunii.



Fig.3.9 Epruvetele utilizate pentru rezistența la șoc

Rezultatele încercărilor la reziliență sunt prezentate în tabelul 3.8. și figurile 3.10 a și b.

Tabel 3.8. Rezultatele încercărilor la reziliență pentru epruvetele realizate [165]

Nr. probă	Tip compozit	Energia consumată, [J/cm ²]	Reziliența, [J]
1.1	C1	0,06	10,88
1.2		0,066	11,14
1.3		0,065	11,79
1.4		0,06	11,05
	Media	0,063	11,22
2.1	C2	0,58	116,72
3.1	C3	0,08	11,63
3.2		0,0775	14,28
3.3		0,075	13,36
3.4		0,066	14,23
	Media	0,075	13,38
4.1	C4	0,6	112,37
5.1	C5	0,06	9,44
5.2		0,056	10,54
5.3		0,076	12,93
5.4		0,09	12,47
	Media	0,071	11,35
6.1	C6	0,45	69,78
6.2		0,35	55,55
	Media	0,4	62,67

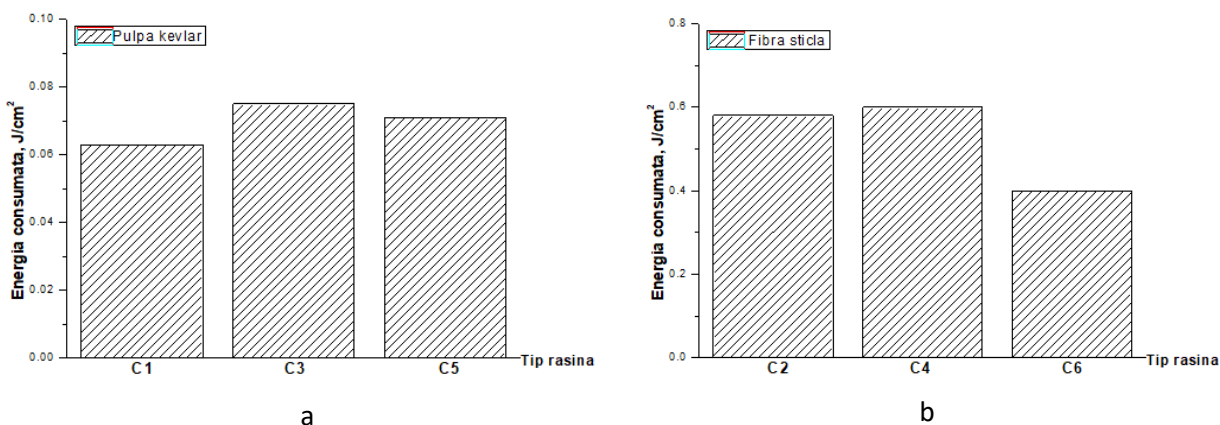


Fig.3.10 Variația energiei consumate la reziliență în funcție de tipul rășinii pentru compozitul ranforsat cu: a)pulpă kevlar; b)fibră de sticlă

În figura 3.10 a), cea mai mare valoare a energiei consumate la reziliență o are compozitul C3 (rășină T19-38/500+întăritor H10-30 și pulpă de kevlar). Se observă o creștere a energiei consumate în această ordine: C1 > C5 > C3.

În cazul compozitelor ranforsate cu fibră de sticlă, compozitul C4 prezintă cea mai mare valoare a energiei consumate la reziliență (figura 3.10.b).

CAPITOLUL 4. Cercetări privind obținerea și caracterizarea compozitelor termorezistente

În cadrul cercetărilor de față s-au studiat două categorii de compozite termorezistente, în funcție de conținutul de particule ceramice adăugate ca material de ranforsare:

- Compozite termorezistente cu procent scăzut de particule ceramice
- Compozite termorezistente cu procent ridicat de particule ceramice

4.1. Compozite termorezistente cu procent scăzut de particule ceramice

Pentru matrice s-au utilizat două tipuri de materiale: argila și bentonita. Ca și elemente de ranforsare s-au utilizat pulberi de Al_2O_3 (granulație 50 μm) și SiC (granulație 63÷80 μm) și adaosuri de pulberi metalice de Cu (granulație 15÷20 μm), Al (granulație <65 μm) și Fe (granulație <100 μm). Proporțiile componentelor utilizate pentru realizarea probelor sunt redată în tabelele 4.3, 4.4, 4.5 și 4.6.

În primul rând s-au realizat compozite numai pe bază de materiale ceramice pentru matrice și componentele de ranforsare (tabelul 4.3). Peste aceste amestecuri s-a adăugat o cantitate necesară de apă, rezultând în final o pastă. Această pastă a fost lasată la maturat 10 zile, apoi cu ajutorul matriței metalice au fost realizate probe pe mașina de încercări universală. La uscare, la temperatura mediului ambiant, pe unele probe au apărut fisuri și deformații. În timpul sinterizării contracțiile (în cazul argilei – figura 4.4) și dilatările (în cazul bentonitei figura 4.5), au dus la deteriorarea mecanică a probelor. Asemenea probe sunt redată în figura 4.53-4.55. Pentru eliminarea acestor neajunsuri confecționarea compozitelor din aceste materiale s-a realizat prin amestecare în stare uscată. Pulberile metalice de Cu (tabelul 4.4), Al (tabelul 4.5) și Fe (tabelul 4.6) s-au adăugat la amestecul de materiale ceramice pregătit anterior. La sinterizare încălzirea până la temperatura de menținere s-a realizat cu viteze de 8°C/min. pentru compozitele pe bază de argilă și 10°C/min. pentru compozitele pe bază de bentonită. Temperaturile și duratele de menținere sunt precizate pentru fiecare tip de probe în tabelul 4.1. Răcirea după menținere s-a realizat în toate cazurile cu cuptorul.

Tabel 4.3. Compozite cu matrici de argilă și bentonită ranforsate cu SiC și Al_2O_3 [147-148]

Nr. probă	Componente				Presiunea de compactare, [KN]	Regimul de sinterizare,	
	Argilă		SiC			Temperatura, [°C]	Durata menținere, [min.]
	Compoziția						
	%	Masa, [g]	%	Masa, [g]			
1.1.1.	94,4	17	5,6	1	15	1000	60
1.1.2.	88,9	16	11,1	2			
1.1.3.	83,3	15	16,7	3			
	Argilă		Al_2O_3		17		
1.2.1.	94,4	17	5,6	1			
1.2.2.	88,9	16	11,1	2			
1.2.3.	83,3	15	16,7	3			
	Bentonită		SiC		15	1250	
2.1.1.	94,4	17	5,6	1			
2.1.2.	88,9	16	11,1	2			
2.1.3.	83,3	15	16,7	3			
	Bentonită		Al_2O_3		19		
2.2.1.	94,4	17	5,6	1			
2.2.2.	88,9	16	11,1	2			
2.2.3.	83,3	15	16,7	3			



Tabel 4.4. Compozite cu matrici de argilă și bentonită ranforsate cu SiC, Al₂O₃ și Cu [147-148]

Nr. probă	Componente						Presiunea de compactare, [KN]	Regimul de sinterizare,	
	Argilă		SiC		Cu			Temperatura, [°C]	Durata menținere, [min.]
	Compoziția								
	[%]	Masa, [g]	[%]	Masa, [g]	[%]	Masa, [g]			
1.1.1.Cu	85	17	5	1	10	2	20	1000	60
1.1.2.Cu	80	16	10	2	10	2	20		
1.1.3.Cu	75	15	15	3	10	2	17		
	Argilă		Al ₂ O ₃						
1.2.1.Cu	85	17	5	1	10	2	20		
1.2.2.Cu	80	16	10	2	10	2	17		
1.2.3.Cu	75	15	15	3	10	2	20		
	Bentonită		SiC						
2.1.1.Cu	85	17	5	1	10	2	17		
2.1.2.Cu	80	16	10	2	10	2			
2.1.3.Cu	75	15	15	3	10	2			
	Bentonită		Al ₂ O ₃						
2.2.1.Cu	85	17	5	1	10	2	15	1250	
2.2.2.Cu	80	16	10	2	10	2	16		
2.2.3.Cu	75	15	15	3	10	2	16		

Tabel 4.5. Compozite cu matrici de argilă și bentonită ranforsate cu SiC, Al₂O₃ și Al [147-148]

Nr. proba	Componente						Presiunea de compactare, [KN]	Regimul de sinterizare,		
	Argilă		SiC		Al			Temperatura, [°C]	Durata menținere, [min]	
	Compoziția									
	[%]	Masa, [g]	[%]	Masa, [g]	[%]	Masa, [g]				
1.1.1.Al	85	17	5	1	10	2	20	1000	60	
1.1.2.Al	80	16	10	2	10	2	20			
1.1.3.Al	75	15	15	3	10	2	20			
	Argilă		Al ₂ O ₃							
1.2.1.Al	85	17	5	1	10	2	20			
1.2.2.Al	80	16	10	2	10	2	20			
1.2.3.Al	75	15	15	3	10	2	20			
	Bentonită		SiC							
2.1.1.Al	85	17	5	1	10	2	16			1250
2.1.2.Al	80	16	10	2	10	2	17			
2.1.3.Al	75	15	15	3	10	2	17			
	Bentonită		Al ₂ O ₃							
2.2.1.Al	85	17	5	1	10	2	14			
2.2.2.Al	80	16	10	2	10	2	17			
2.2.3.Al	75	15	15	3	10	2	16			

Tabel 4.6. Compozite cu matrici de argilă și bentonită ranforsate cu SiC, Al₂O₃ și Fe [147-148]

Nr. probă	Componente						Presiunea de compactare, [KN]	Regimul de sinterizare,	
	Argilă		SiC		Fe			Temperatura, [°C]	Durata menținere, [min.]
	Compoziția								
	[%]	Masa, [g]	[%]	Masa, [g]	[%]	Masa, [g]			
1.1.1.Fe	85	17	5	1	10	2	20	1000	60
1.1.2.Fe	80	16	10	2	10	2			
1.1.3.Fe	75	15	15	3	10	2			
	Argilă		Al ₂ O ₃				20		
1.2.1.Fe	85	17	5	1	10	2			
1.2.2.Fe	80	16	10	2	10	2			
1.2.3.Fe	75	15	15	3	10	2	17		
	Bentonită		SiC						
2.1.1.Fe	85	17	5	1	10	2			
2.1.2.Fe	80	16	10	2	10	2	1250		
2.1.3.Fe	75	15	15	3	10	2			
	Bentonită		Al ₂ O ₃						
2.2.1.Fe	85	17	5	1	10	2	15		
2.2.2.Fe	80	16	10	2	10	2	18		
2.2.3.Fe	75	15	15	3	10	2	18		

Pentru realizarea compozitelor, materialele dozate cantitativ conform tabelelor 4.3-4.6 s-au introdus într-un recipient, în care s-au amestecat în stare uscată pentru omogenizare. După o amestecare de aproximativ 10 minute, materialul astfel preparat a fost introdus într-o matriță metalică în care a fost presat pentru compactare în probe cilindrice la mașina de încercări. Pentru extracția ușoară a probelor din matriță, aceasta a fost pulverizată la fiecare operație cu un spray antiaderent. Pentru fiecare probă în parte s-au ridicat diagramele de compactare prin presare. Acestea sunt redată în Anexa 3.

În acest mod s-au realizat epruvete cu diametrul cuprins între 15-16 mm și înălțimea cuprinsă între 11-15 mm. Epruvetele astfel obținute (figura 4.1.a și 4.1.b) au fost sinterizate într-un cuptor Nabertherm pentru temperaturi înalte la temperaturile precizate în tablele 4.3, 4.4, 4.5 și 4.6.



Dupa sinterizare epruvetele obținute au fost supuse următoarelor tipuri de caracterizări: studiul suprafeței prin microscopie optică, analize termice diferențiale, determinarea proprietăților mecanice și porozității.

4.1.1. Analiza suprafeței prin microscopie optică

Aspectul suprafețelor probelor după sinterizare este prezentat în figurile 4.2-4.3. Atât în cazul matricei de argilă (figurile 4.2.a - 4.2.d) cât și în cazul matricei de bentonită (figurile 4.3.a – 4.3.c) după sinterizare se constată obținerea unei mase de bază monolitice în care se disting particulele introduse pentru ranforsare.

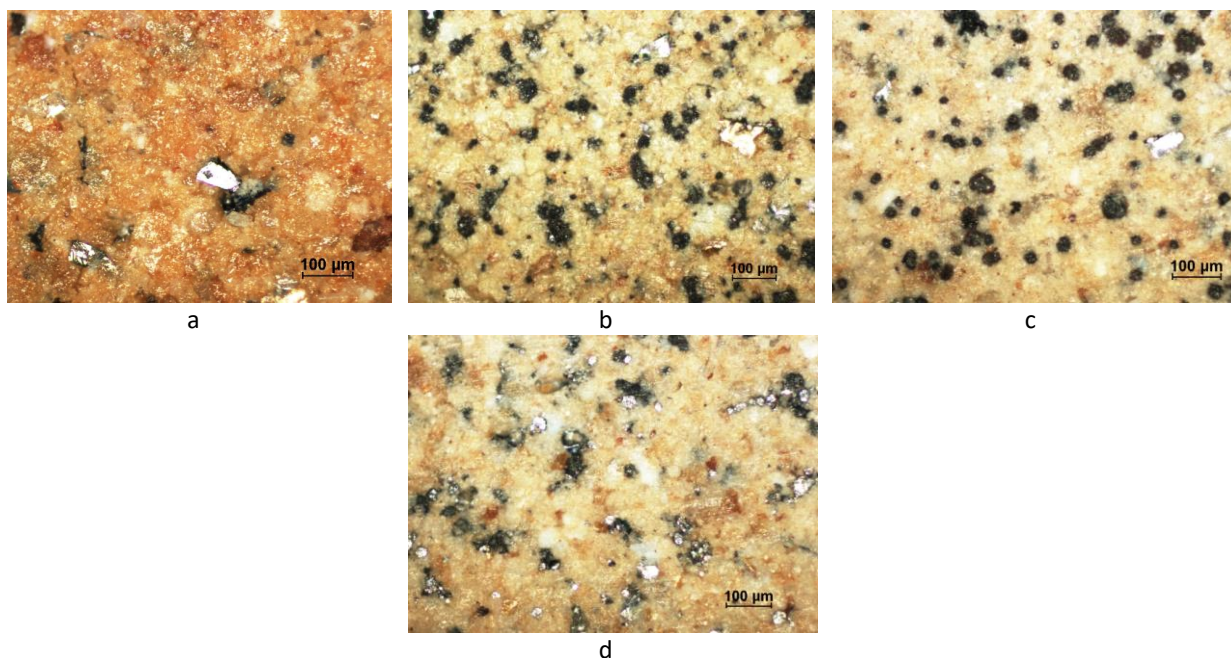


Fig.4.2 Aspectul suprafeței pentru compozitul cu matrice de argilă ranforsat cu: a) particule de SiC; b) particule de SiC și Cu; c) particule de SiC și Al; d) particule de SiC și Fe [148].

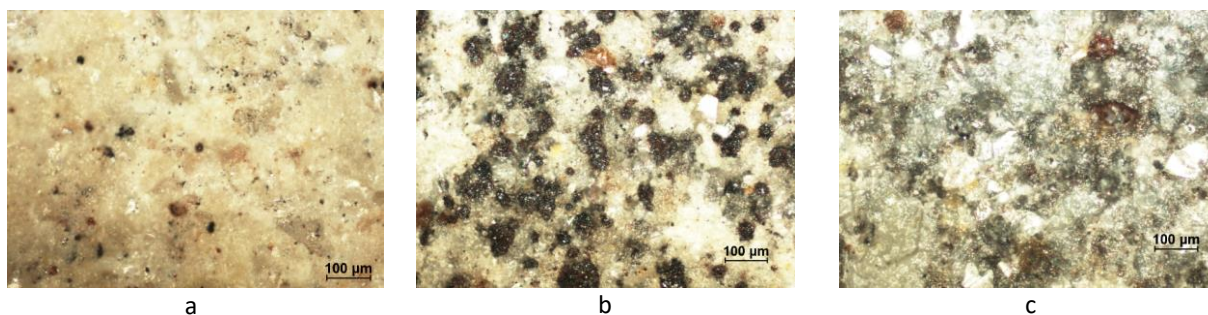


Fig.4.3 Aspectul suprafeței pentru compozitul cu matrice de bentonită ranforsat cu particule de: a) Al_2O_3 ; b) Al_2O_3 și Fe; c) Al_2O_3 și Al.

4.1.2. Analiza dilatometrică

Pentru stabilirea procedurii de realizare a compozitelor s-a realizat o analiză prin dilatometrie a materialului pentru matrice astfel încât să poată fi evitate procedurile care nu asigură integritatea probelor realizate în final. În figurile 4.4 și 4.5 sunt redată curbele dilatometrice pentru argilă, respectiv bentonită. Se observă variații importante ale coeficientului de dilatare liniară în zona temperaturilor la care se produc și transformări importante în material puse în evidență de analiza termică diferențială:

-între 200-300°C;

-între 500-600°C.

În ansamblu se remarcă o variație liniară importantă care se produce înainte de 600°C după care materialul este relativ stabil dimensional. Acest comportament indică faptul că nu este recomandabilă utilizarea unor compoziții care să determine desfășurarea unor procese (reacții chimice, transformări de fază) ale componentelor utilizate la încălzirea pentru sinterizare cu variații mari de volum în acest interval termic. Spre exemplu la adăugarea unui procent de pulberi de Fe mai mare de 9% oxidarea acestora poate duce la creșteri în volum asociate cu tensiuni interne și fisurări.

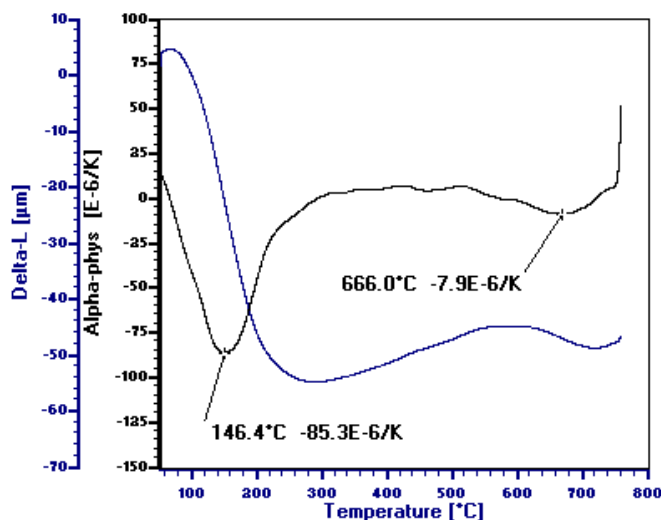


Fig. 4.4 Curba de dilatare termică și variația coeficientului fizic de dilatare pentru argilă

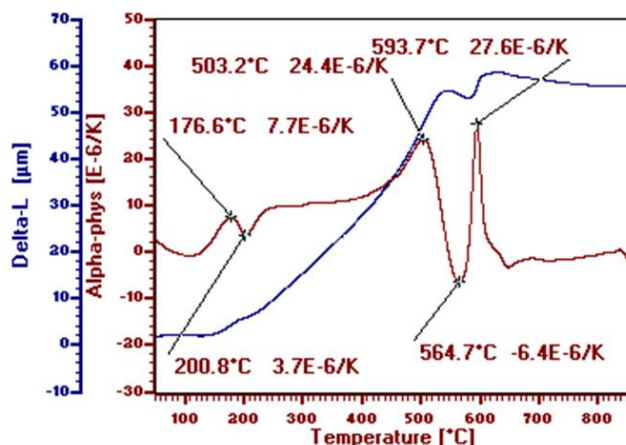


Fig. 4.5 Curba de dilatare termică și variația coeficientului fizic de dilatare pentru bentonită

În curba de dilatare termică pentru argilă (figura 4.4) se observă contracția la uscare, produsă de variația de volum la evaporarea apei, care are loc până la temperatura de 280°C [98]. Aceasta se realizează în mai multe etape și anume:

- Într-o primă etapă, până la temperatura de 110°C, se elimină apa peliculară sau apa liberă care are ca efect contracția la uscare. La umezire, argila redevine plastică, deci pierderea apei până la această temperatură constituie o transformare reversibilă;
- Între 110÷280°C are loc evaporarea apei de higroscopicitate;
- La $\approx 560^\circ\text{C}$ are loc evaporarea apei legate chimic (de cristalizare) și proprietatea argilei de a da amestecuri plastice; aceasta fiind o transformare ireversibilă până la 750°C.

Spre deosebire de argilă, în cazul bentonitei se observă o dilatare până la temperatura de 520°C (figura 4.5). Aceasta în prezența apei formează un gel dens, care împiedică pătrunderea ulterioară a umidității [98].

4.1.3. Analiza termică

Din compozitele realizate s-au selectat un număr de probe considerate a fi suficient de edificatoare pe care s-au efectuat analize termice astfel încât să se obțină informațiile necesare explicării efectului materialelor pentru matrici și de ranforsare asupra comportamentului și proprietăților compozitelor. Diagramele de analiză termică realizate sunt prezentate în Anexa 5.

Din graficele obținute prin analiză termică s-au evidențiat temperaturile la care se produc transformări importante din punct de vedere al efectelor termice respectiv al variațiilor de masă pentru materialele analizate.

În figurile 4.6 și 4.7 sunt redată diagramele de analiză termică pentru materialele utilizate ca matrice în compozite, argilă (figura 4.6) respectiv bentonită (figura 4.7). În aceste figuri se observă existența unor transformări specifice:

- Între 80-200°C are loc dehidratarea materialului folosit pentru matrice, însoțită de un efect termic endoterm și o variație de masă corespunzătoare. Punctul extrem al acestei transformări este notat în continuare cu Peak 1 [99-101];
-

- Între 550-700°C se produce pierderea apei legate chimic însoțită de transformarea caolinitului în metacaolinit conform următoarei reacții [101-102]:



Punctul extrem al acestei transformări a fost notat în continuare cu Peak 2. SiO_2 și Al_2O_3 devin active din punct de vedere chimic. Această transformare se menține până la 700-800°C și este ireversibilă;

- Între 750-900°C masa de argilă (care după pierderea totală a apei se transformă într-o masă poroasă și sfărâmicioasă) capătă și rezistență. Aceasta se datorează reacției care are loc între cei doi oxizi activi în jurul temperaturii de 850-900°C în cazul argilei și 900-1000°C, în cazul bentonitei, când se recombina, conform reacției:



Se formează un nou compus numit mullit ($\text{Al}_6\text{Si}_2\text{O}_{13}$), care este însoțit de o nouă micșorare de volum (contractia la ardere) și rămâne liberă o importantă cantitate de SiO_2 ;

Din analiza comparativă a diagramelor din figurile 4.6 și 4.7 se observă că, în cazul bentonitei apa legată mecanic se elimină la o temperatură mai joasă decât în cazul argilei și necesită un consum de energie mult mai scazut. Spre deosebire de bentonită, argila are o putere de absorbție a apei mult mai ridicată. Din acest motiv pentru procesarea materialelor la realizarea probelor, în cazul argilei sunt necesare cantități mai ridicate de apă. Acest lucru este confirmat de variațiile de masă care au o valoare mult mai mare la argilă decât la bentonită.

Se observă că pentru ambele materiale la răcire nu mai apar aceleași transformări ca la încălzire (transformările respective sunt ireversibile). Masa probelor rămâne aproape constantă și energia lor variază foarte puțin la scăderea temperaturii.

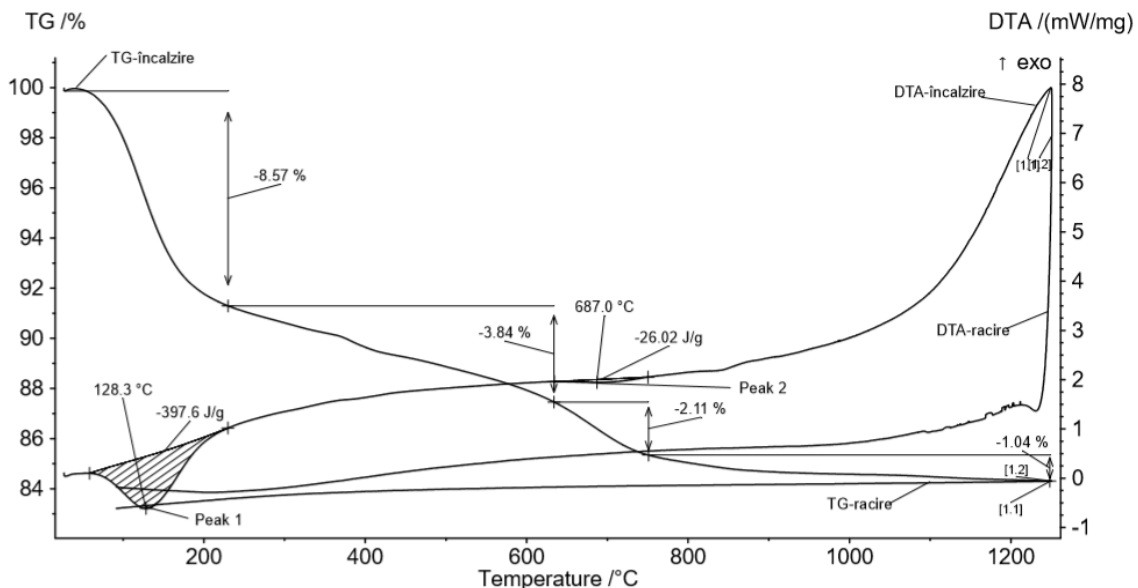


Fig. 4.6 Graficul TG-DTA la încălzire și răcire pentru argilă pastă (12% apă) [148]

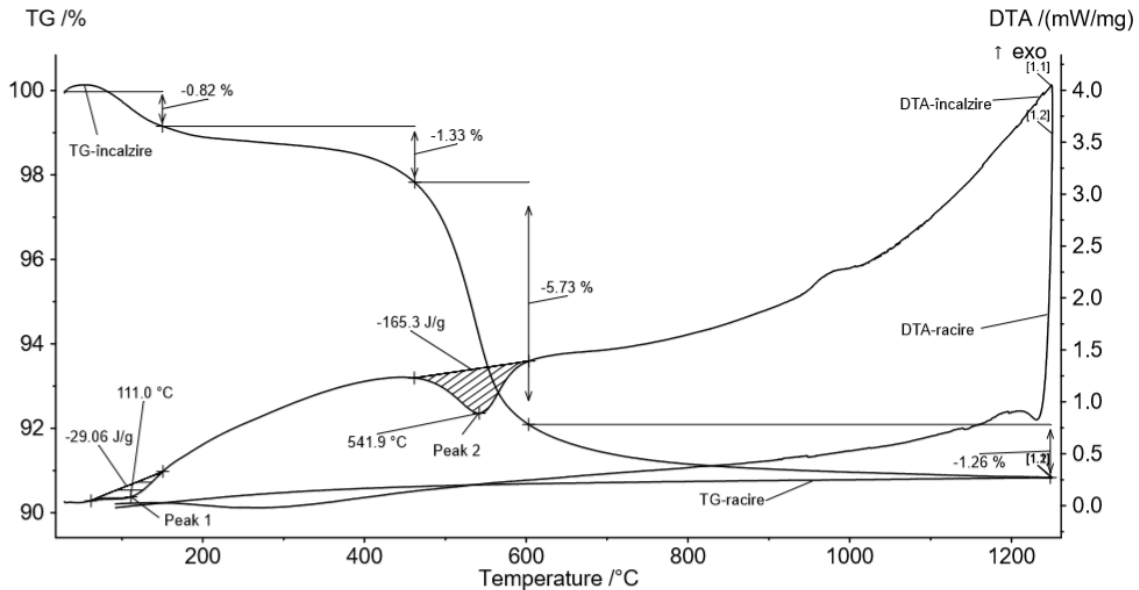


Fig.4.7 Graficul TG-DTA la încălzire și răcire pentru bentonită pastă (12% apă) [148]

În figurile 4.8-4.12 sunt prezentate aspectul curbelor de analiză termică pentru compozitele realizate.

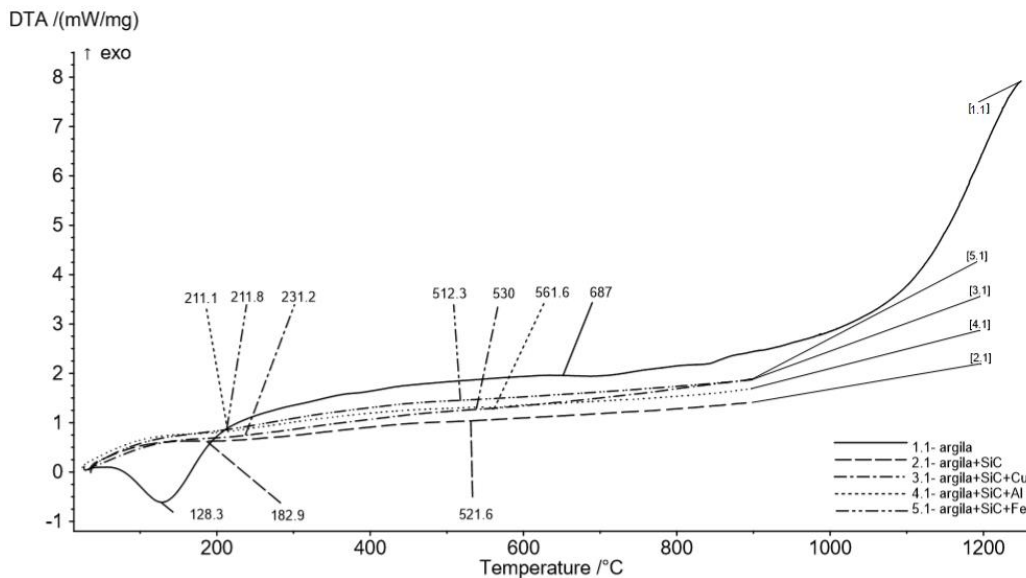


Fig.4.8 Aspectul curbelor pentru compozitele cu matrice pe bază de argilă cu adaosuri de particule de SiC(5%), Cu, Fe și Al

Prin adăugarea de pulberi ceramice de SiC nu se modifică natura transformărilor din compozit (figura 4.8). Din punct de vedere cantitativ, se observă diferențe la Peak 1 între curba de analiză termică a argilei și curbele celorlalte materiale introduse pentru ranforsare (SiC, Cu, Al și Fe). Pentru argilă este necesară o valoare a consumului de energie mult mai mare decât în cazul compozitelor obținute după introducerea particulelor ceramice și metalice. La fel ca și în cazul pulberilor ceramice, particulele metalice de Al nu

determină modificări în natura transformărilor la sinterizare. La adăugarea particulelor metalice de Cu și Fe Peak 1 rămâne endoterm în timp ce Peak 2 trece la efect exoterm. Pentru Peak 1, pentru argilă îi corespunde un efect endoterm mult mai puternic decât în celelalte cazuri.

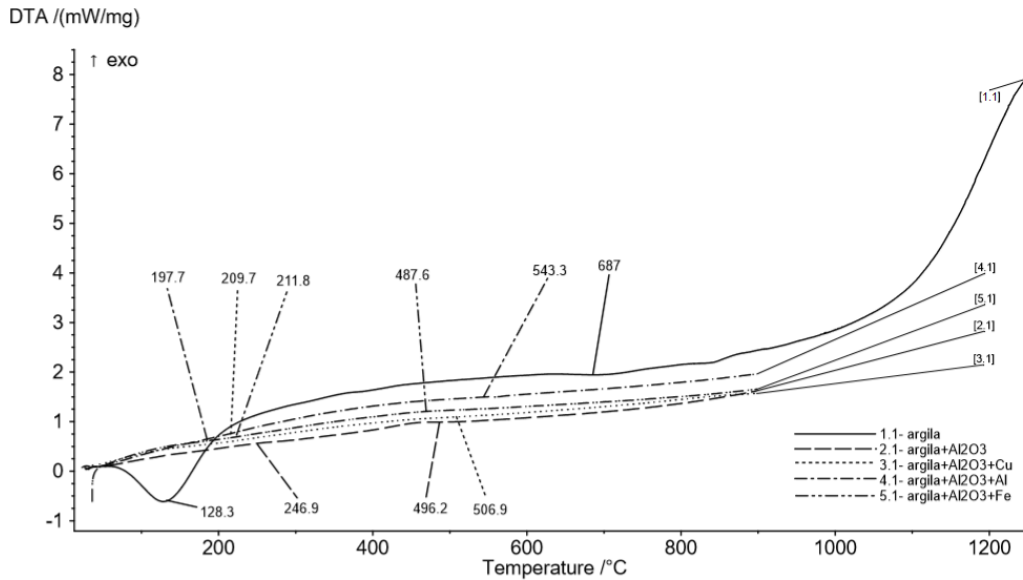


Fig. 4.9 Aspectul curbelor pentru compozitele cu matrice pe bază de argilă cu adaosuri de particule de Al_2O_3 (5%), Cu, Fe și Al

Prin adăugarea pulberii ceramice de Al_2O_3 apar modificări ale naturii transformărilor din compozit (figura 4.9). Peak 1 trece de la efect endoterm la efect exoterm în timp ce Peak 2 își păstrează efectul endoterm. Adăugarea particulelor metalice de Cu nu determină modificări ale naturii compozitului în timp ce Al trece de la efect endoterm la efect exoterm atât la Peak 1 cât și la Peak 2. Fe determină modificări numai pentru Peak 2 care devine exoterm.

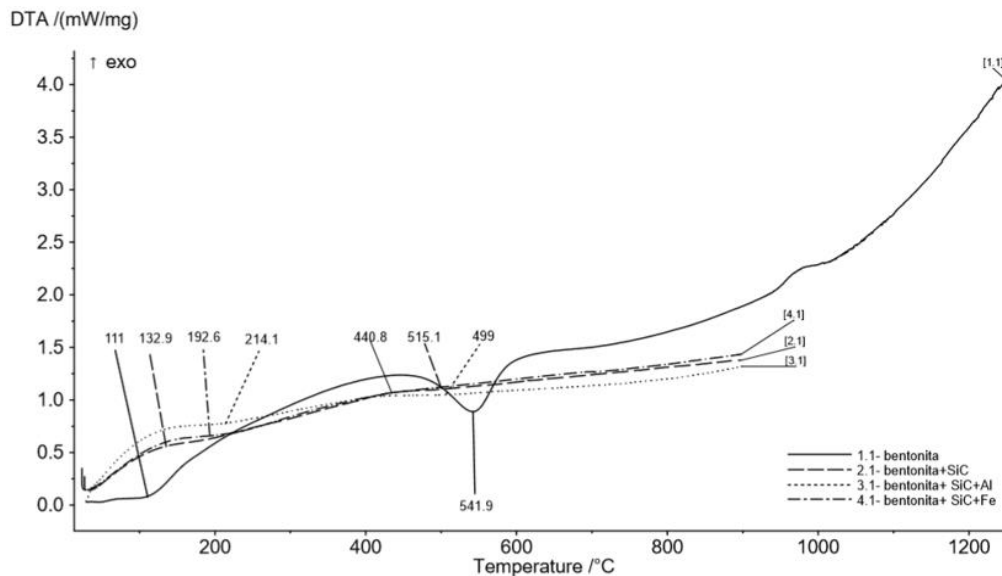


Fig. 4.10 Aspectul curbelor pentru compozitele cu matrice pe bază de bentonită cu adaosuri de particule de SiC(5%), Fe și Al

În figura 4.10 se observă modificări de natură termică în compozit. La adăugarea pulberii de SiC Peak 1 devine exoterm în timp ce la Peak 2 se păstrează același efect. Adăugarea particulelor metalice de Al nu modifică comportamentul privind transformările din compozit. Fe păstrează același efect pentru Peak 1 în timp ce la Peak 2 efectul devine exoterm.

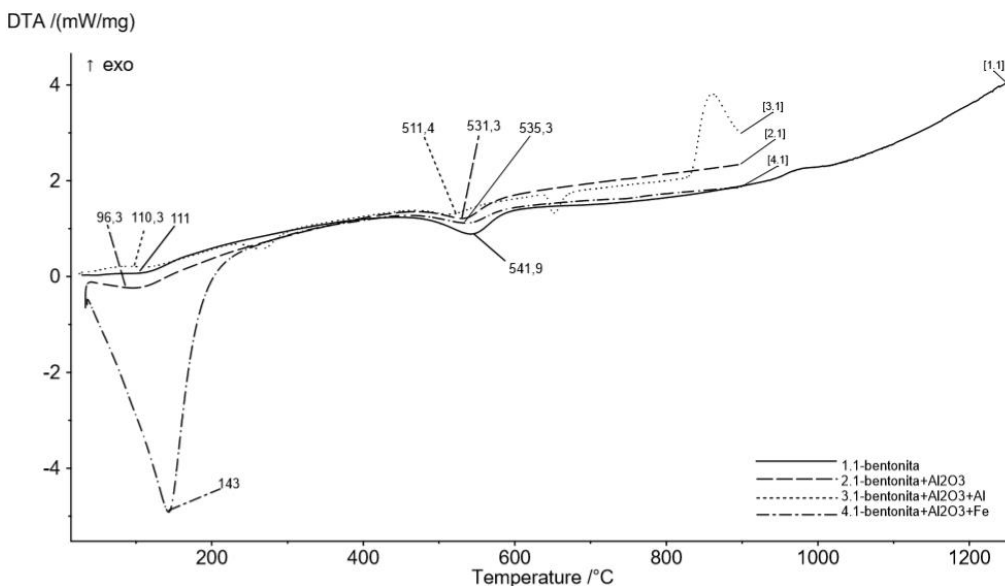


Fig. 4.12 Aspectul curbelor pentru compozitele cu matrice pe bază de bentonită cu adaosuri de particule de Al_2O_3 (10%), Fe și Al

Prin adăugarea de pulberi ceramice de Al_2O_3 , acesta prezintă modificari numai pentru Peak 2 în timp ce pentru Peak 1 se păstrează același efect endoterm. Al nu determină modificări de natură termică în compozit (figura 4.12). Se remarcă modificări în cazul Fe când trece de la efect endoterm la efect exoterm pentru ambele peak-uri.

4.1.4. Proprietăți mecanice

Epruvetele pentru testarea la compresiune sunt de formă cilindrică, redate în figura 3a și 3b. Încercările s-au realizat utilizând parametrii pentru softul de lucru al mașinii de testare, redați în tabelele 4.3, 4.4, 4.5 și 4.6. Din diagrama de testare a mașinii s-au extras valorile specifice care ulterior s-au utilizat la interpretarea rezultatelor. S-au făcut minim 3 teste pentru fiecare tip de probă de compozit, apoi s-au calculat mediile pentru valorile rezultate din determinări, care sunt prezentate în tabelele 4.8, 4.9, 4.10 și 4.11 și în diagramele din figurile 4.28, 4.29, 4.30 și 4.31.

Pentru o mai bună interpretare a rezultatelor experimentale, pentru fiecare categorie de compozite realizate s-au construit grafice de dependență a rezistenței la compresiune în funcție de modificarea proporțiilor componentelor utilizate, redate în figurile 4.28, 4.29, 4.30 și 4.31.



Tabel 4.8. Rezultate teste compresiune pentru compozitele cu matrici de argilă și bentonită ranforsate cu SiC și Al₂O₃ [147]

Nr. probă	F _{bc} ,[KN]	F _{sc} ,[KN]	F _{pc} ,[KN]	R _{bc} ,[MPa]	R _{sc} , [MPa]	R _{pc} , [MPa]	E _c ,[GPa]
1.1.1	8,93	8,86	8,85	48	48	48	3,99
1.1.2	7,95	/	5,25	42	/	28	/
1.1.3	7,42	/	7,34	39	/	39	3,25
1.2.1	9,89	9,41	9,54	53	51	51	4,23
1.2.2	7,35	7,25	7,21	39	38	38	3,43
1.2.3	7,08	6,87	4,10	37	36	21	0,6
2.1.1	20,35	19,78	18,89	111	105	100	6,38
2.1.2	19,61	/	18,60	104	/	99	6,68
2.1.3	18,80	/	16,57	100	/	88	5,94
2.2.1	24,85	24,72	23,96	135	134	130	7,45
2.2.2	20,72	20,12	19,18	111	108	103	6,45
2.2.3	17,14	17,08	16,24	90	89	85	5,72

F_{bc}- forța maximă;

F_{sc}- forța de rupere la compresiune;

F_{pc}- forța inițială la compresiune;

R_{bc}- rezistența materialului la forța maximă;

R_{sc}- rezistența materialului înainte de rupere;

R_{pc}- rezistența materialului inițială la compresiune;

E_c- modulul Young la compresiune.

Tabel 4.9. Rezultate teste compresiune pentru compozitele cu matrici de argilă și bentonită ranforsate cu SiC, Al₂O₃ și Cu [147]

Nr. probă	F _{bc} ,[KN]	F _{sc} ,[KN]	F _{pc} ,[KN]	R _{bc} ,[MPa]	R _{sc} ,[MPa]	R _{pc} , [MPa]	E _c ,[GPa]
1.1.1.Cu	4,08	2,63	3,92	20	13	19	1,74
1.1.2.Cu	4,83	4,79	4,54	24	25	22	1,28
1.1.3.Cu	8	1,38	4,91	40	8	24	10,34
1.2.1.Cu	3,71	1,52	3,53	19	8	18	1,38
1.2.2.Cu	3,86	2,47	2,69	20	13	14	1,56
1.2.3.Cu	7,54	1,62	7,1	38	8	35	3,37

Tabel 4.10. Rezultate teste compresiune pentru compozitele cu matrici de argilă și bentonită ranforsate cu SiC, Al₂O₃ și Al [147]

Nr. probă	F _{bc} ,[KN]	F _{sc} ,[KN]	F _{pc} ,[KN]	R _{bc} ,[MPa]	R _{sc} ,[MPa]	R _{pc} , [MPa]	E _c ,[GPa]
1.1.1.Al	8,27	1,85	6,87	41	9	34	6,8
1.1.2.Al	10,65	6,2	10,25	53	31	51	3,01
1.1.3.Al	11,19	1,87	6,76	56	9	34	3,43
1.2.1.Al	8,74	2,88	7,66	43	14	38	2,77
1.2.2.Al	10,79	2,22	9,91	55	11	51	5,02
1.2.3.Al	11,16	2,28	10,12	62	13	57	4,03
2.1.1.Al	10,6	10,84	10,22	52	52	50	4,6
2.1.2.Al	18,14	5,25	16,97	88	25	82	5,09
2.1.3.Al	19,34	4,52	18,79	96	22	93,33	6,32
2.2.1.Al	11,87	11,86	10,89	58	58	53	3,19
2.2.2.Al	12,27	12,27	12,06	60	60	59	4,38
2.2.3.Al	13,35	9,09	13,24	66	65	65	4,59

Tabel 4.11. Rezultate teste compresiune pentru compozitele cu matrici de argilă și bentonită ranforsate cu SiC, Al₂O₃ și Fe [147]

Nr. probă	Fbc,[KN]	Fsc,[KN]	Fpc,[KN]	Rbc,[MPa]	Rsc, [MPa]	Rpc,[MPa]	Ec,[GPa]
1.1.1.Fe	6,88	3,96	6,71	34	19	33	2,55
1.1.2.Fe	8,49	3,36	7,7	42	20	38,5	1,8
1.1.3.Fe	9,87	2,56	9,58	55	45	55	2,54
1.2.1.Fe	5,22	1,23	4,68	26	7	23	2,67
1.2.2.Fe	6,62	0,72	6,12	33	4	30	2,88
1.2.3.Fe	15,12	3,37	13,77	75	17	69	5,05
2.1.1.Fe	10,88	1,84	7,77	56	10	40	2,03
2.1.2.Fe	13,46	9,25	13,22	68	13	66	3,56
2.1.3.Fe	20,45	5,13	19,21	99	23	85	5,66
2.2.1.Fe	13,29	2,98	10,64	69	15	55	3,61
2.2.2.Fe	14,76	2,24	11,89	77	12	62	2,15
2.2.3.Fe	27,55	15,38	26,86	141	78	137	8,66

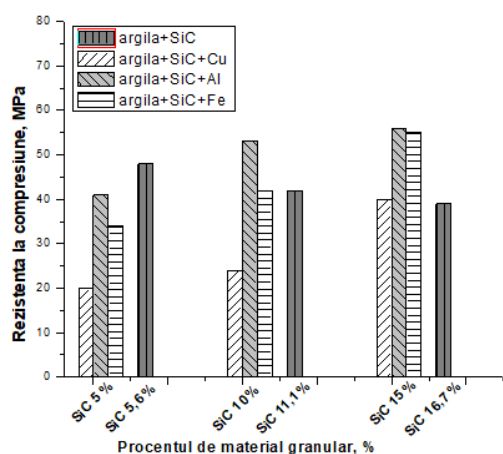


Fig.4.28. Variația rezistenței la compresiune a compozitelor pe bază de argilă în funcție de conținutul de SiC [148]

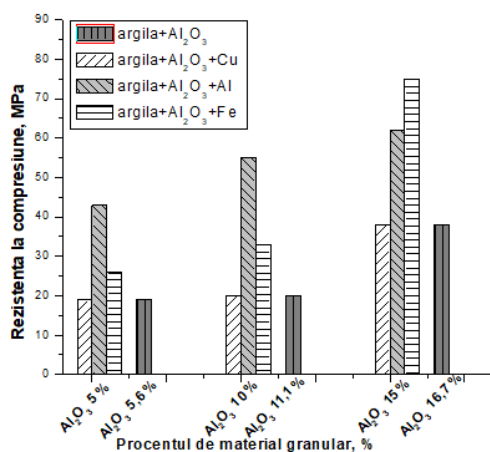


Fig.4.29. Variația rezistenței la compresiune a compozitelor pe bază de argilă în funcție de conținutul de Al₂O₃ [148]

În figura 4.28 se observă că rezistența la compresiune scade cu creșterea procentului de material granular. În același timp adaosul de pulberi metalice are efecte diferite pentru același tip de materiale din compozit. Introducerea particulelor metalice de Cu are o influență negativă asupra compozitelor cu un conținut de SiC cuprins între 5÷11,1%. Acest efect scade odată cu creșterea proporției de SiC astfel încât pentru un conținut în jur de 15÷16,7% SiC devine nesemnificativ. Efectul este similar în cazul Al dar numai pentru conținuturi scăzute de SiC în compozit (până la 5,6%). Peste aceste valori efectul Al este pozitiv și crescător odată cu creșterea proporției de SiC. Și în cazul Fe efectele sunt similare cu cele ale Al și Cu. Ele sunt negative pentru valori scăzute ale procentului de SiC, neglijabile pentru valori medii (10-11%) și pozitive pentru procente ridicate de SiC. Pentru aceste compozite cea mai mare rezistență la compresiune s-a obținut pentru compozitul cu 15%SiC și 10%Al (56MPa).

În figura 4.29, se observă diferențe esențiale în cazul compozitelor pe bază de argilă cu Al₂O₃ față de cele cu SiC. Pentru toate tipurile de particule metalice utilizate nu mai sunt prezente scăderi ale proprietăților

mecanice la introducerea lor în compozit. În același timp odată cu creșterea proporției de Al_2O_3 din compozit crește efectul pozitiv al particulelor metalice. În cazul compozitelor pe bază de argilă ranforsate cu pulberi de Al_2O_3 , Cu, Al și Fe cea mai mare rezistență la compresiune s-a obținut pentru compozitul cu 15%SiC și 10%Fe (75MPa).

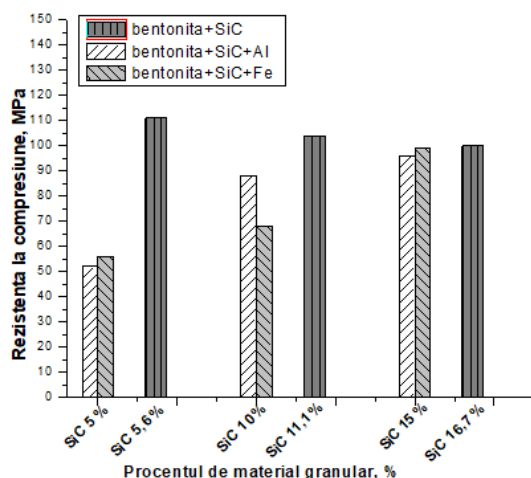


Fig.4.30. Variația rezistenței la compresiune a compozitelor pe bază de bentonită în funcție de conținutul de SiC [148]

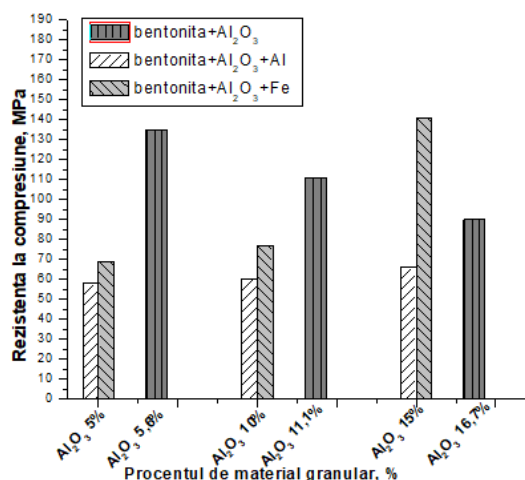


Fig.4.31. Variația rezistenței la compresiune a compozitelor pe bază de bentonită în funcție de conținutul de Al_2O_3 [148]

În cazul compozitelor pe bază de bentonită, la introducerea particulelor de Cu s-a constatat apariția unor zguri la sinterizare ca efect al oxidării lor în contact cu vaporii de apă. Din acest motiv s-au studiat în context doar compozitele cu particule de Al și Fe. Efectele particulelor metalice sunt similare pentru compozitele pe bază de bentonită cu cele din cazul compozitelor pe bază de argilă. Apar totuși diferențe cantitative importante așa cum se observă în figurile 4.30 și 4.31. Deși odată cu creșterea proporțiilor de particule ceramice (SiC și Al_2O_3) efectele particulelor metalice devin de la negative la tot mai pozitive. Se observă că pentru compozitele cu SiC, ele se pastrează pentru toată gama studiată în zona negativă. Într-un singur caz pentru compozitele cu Al_2O_3 , proprietățile sunt mai mari la adăugarea particulelor de Fe. Acestea sunt compozitele cu cele mai mari valori pentru rezistența la compresiune (141 MPa).

Efectele pozitive ale prezenței pulberilor metalice asupra rezistenței la compresiune pot fi puse pe seama comportării diferite a materialelor sub aspectul preluării sarcinilor de testare. Pulberile metalice dau o componentă crescută de elasticitate, crescând totodată capacitatea de încărcare a materialului la solicitare. Acest efect este mai pregnant când pulberile metalice se asociază cu pulberi ceramice crescând odată cu proporția de pulberi ceramice adăugate.

4.2. Compozite termorezistente cu procent ridicat de particule ceramice

Din cercetările anterioare s-a constatat faptul că bentonita are un comportament mai convenabil pentru a fi utilizată ca matrice în comparație cu argila. În cazul argilei, pentru realizarea unor legături cu particulele ceramice și metalice, la adăugarea apei apare uscarea neomogenă (de la exterior spre interior),

contractă neomogenă și deteriorarea probelor (deformații, crăpături). Din acest motiv, în continuare am studiat numai compozitele pe bază de bentonită.

Pentru această grupă de compozite, ca și matrice s-a utilizat bentonita (tabelul 4.2). Pentru ranforsare s-au utilizat pulberi de Al_2O_3 (granulație 50 μm) și SiC (granulație 63÷80 μm) și adaosuri de pulberi metalice de Al (granulație <65 μm) și Fe (granulație <100 μm). Bentonita s-a amestecat mai întâi cu SiC respectiv cu Al_2O_3 în proporții de 40/60 procente. Acestea s-au amestecat pentru omogenizare cu un adaos de 12% apă din total, timp de 15 minute. La aceste compoziții s-au adăugat apoi cantități de pulberi de Al și Fe cuprinse între 5-17% amestecându-se până la omogenizarea completă. În tabelele 4.12, 4.13 și 4.14 sunt prezentate proporțiile componentelor utilizate pentru realizarea probelor. Utilizarea apei în compoziția de pregătire a probelor a urmărit asigurarea rolului de liant al bentonitei față de proporția ridicată de pulberi ceramice introduse.

Amestecurile obținute au fost presate la rece pentru compactare în probe cilindrice și apoi au fost sinterizate la temperaturi corespunzătoare. În acest mod s-au realizat epruvete cilindrice cu diametrul cuprins între 15-16 mm și înălțimea cuprinsă între 11-15 mm.

Epruvetele astfel obținute (figura 4.32) au fost supuse următoarelor tipuri de caracterizări: studiul suprafeței prin microscopie optică și electronică, analiză difractometrică, analiză dilatometrică, analize termice diferențiale, determinarea proprietăților mecanice și porozității.

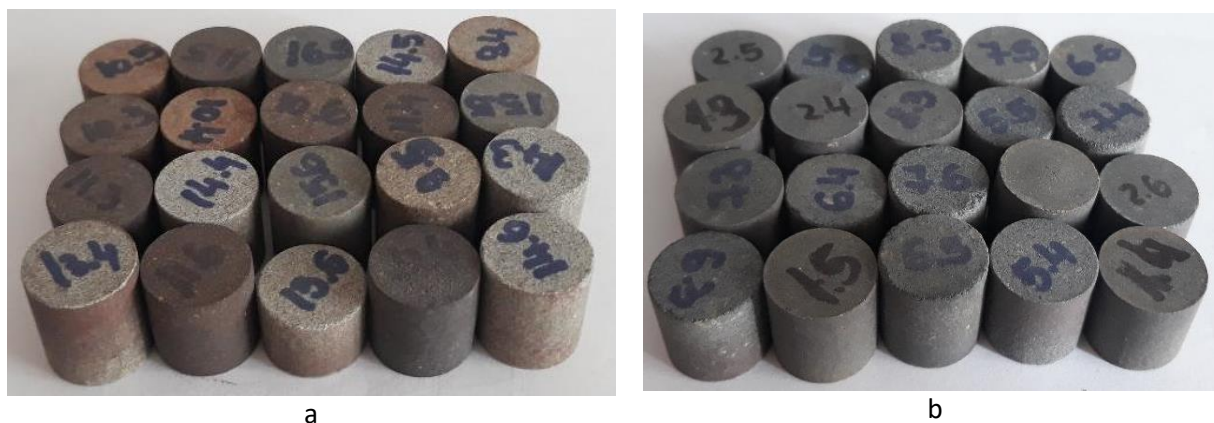


Fig. 4.32 Compozite cu matrice de bentonită ranforsate cu particule ceramice de:
a) SiC ; b) Al_2O_3 ;

Tabel 4.12. Compozite cu matrice de bentonită ranforsate cu SiC și Al_2O_3

Nr. probă	Componente				Presiunea de compactare, [KN]	Regimul de sinterizare,	
	Bentonită		SiC			Temperatura, [°C]	Durata de menținere, [min.]
	[%]	Masa, [g]	[%]	Masa, [g]			
3.1.1	40	24	60	36	20	1250	60
	Bentonită		Al_2O_3				
3.2.1	40	24	60	36	20		

Tabel 4.13. Compozite cu matrici de bentonită ranforsate cu SiC, Al₂O₃ și Al

Nr. probă	Componente						Presiunea de compactare, [kN]	Regimul de sinterizare,			
	Bentonită		SiC		Al			Temperatura, [°C]	Durata de menținere, [min.]		
	Compoziția										
	[%]	Masa, [g]	[%]	Masa, [g]	[%]	Masa, [g]					
3.1.1.1.Al	38	24	57	36	5	3	20	1250	60		
3.1.1.2.Al	36	24	55	36	9	6					
3.1.1.3.Al	35	24	52	36	13	9					
3.1.1.4.Al	33	24	50	36	17	12					
	Bentonită		Al ₂ O ₃				20				
3.2.1.1.Al	38	24	57	36	5	3					
3.2.1.2.Al	36	24	55	36	9	6					
3.2.1.3.Al	35	24	52	36	13	9					
3.2.1.4.Al	33	24	50	36	17	12					

Tabel 4.14 Compozite cu matrici de bentonită ranforsate cu SiC, Al₂O₃ și Fe

Nr. probă	Componente						Presiunea de compactare, [kN]	Regimul de sinterizare,			
	Bentonită		SiC		Fe			Temperatura, [°C]	Durata de menținere, [min.]		
	Compoziția										
	[%]	Masa, [g]	[%]	Masa, [g]	[%]	Masa, [g]					
3.1.1.1.Fe	38	24	57	36	5	3	20	1250	60		
3.1.1.2.Fe	36	24	55	36	9	6					
3.1.1.3.Fe	35	24	52	36	13	9					
	Bentonită		Al ₂ O ₃				20				
3.2.1.1.Fe	38	24	57	36	5	3					
3.2.1.2.Fe	36	24	55	36	9	6					
3.2.1.3.Fe	35	24	52	36	13	9					
3.2.1.4.Fe	33	24	50	36	17	12					

4.2.1. Analiza suprafeței prin microscopie optică și electronică

Analiza suprafeței prin microscopie optică a fost realizată cu ajutorul microscopului digital 3D de tip HIROX RH-2000 (figura 2.16).

În figurile 4.32-4.34 este prezentat aspectul suprafețelor probelor după sinterizare. Se constată obținerea unei mase de bază monolitice în care se disting particulele introduse pentru ranforsare.

Profilul suprafeței reprezentat în figura 4.33 pune în evidență o corespondență între dimensiunea particulelor utilizate și rugozitatea suprafeței.

În figura 4.34, se disting clar particulele de SiC și Al dispersate în matrice. Deoarece sinterizarea s-a realizat în atmosferă este posibilă existența unor oxizi pe suprafața particulelor metalice. În figura 4.35 se observă

matricea monolitică cu particule de Al_2O_3 dispersate uniform și particulele metalice de Fe introduse pentru ranforsare.

Pentru toate probele analizate, se observă în suprafață prezența porilor deschiși. Dimensiunile și forma acestora sunt în corelație cu dimensiunile materialelor granulare din compozit. În funcție de modul de realizare a contactului dintre particulele din compozit, porii pot avea lungimi mai mari. De asemenea, în acest profil, apare un aspect rugos al suprafeței lor.

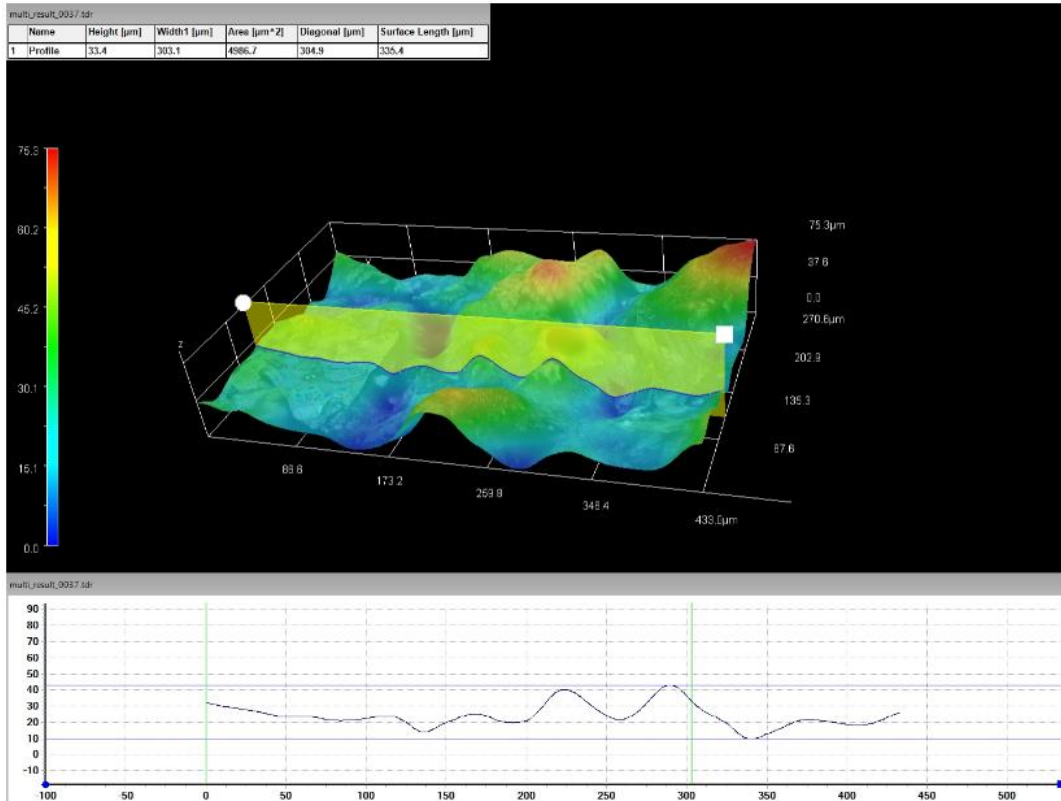


Fig. 4.33 Profilul suprafeței pentru compozitul cu matrice de bentonită ranforsat cu particule de SiC și Al

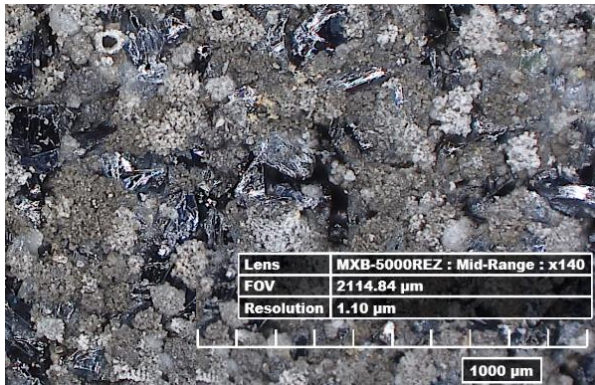


Fig.4.34 Aspectul suprafeței pentru compozitul cu matrice de bentonită ranforsat cu particule de SiC și Al

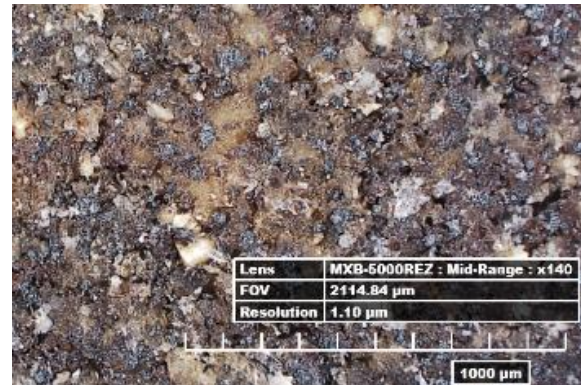


Fig.4.35 Aspectul suprafeței pentru compozitul cu matrice de bentonită ranforsat cu particule de Al₂O₃ și Fe

Analiza suprafeței prin microscopie electronică a fost realizată cu ajutorul echipamentului SEM cu EDX, Hitachi, S3400N, tip II (figura 2.17). S-a urmărit pe lângă evidențierea aspectului ca și în cazul microscopiei optice, determinarea compoziției chimice în anumite zone pentru evidențierea naturii materialelor din zonele respective.

În figura 4.36 și 4.37 este redată o asemenea zonă în care s-au determinat 6 compoziții chimice locale. Din diagramele de compoziții chimice s-au putut determina tipul compușilor în fiecare caz.

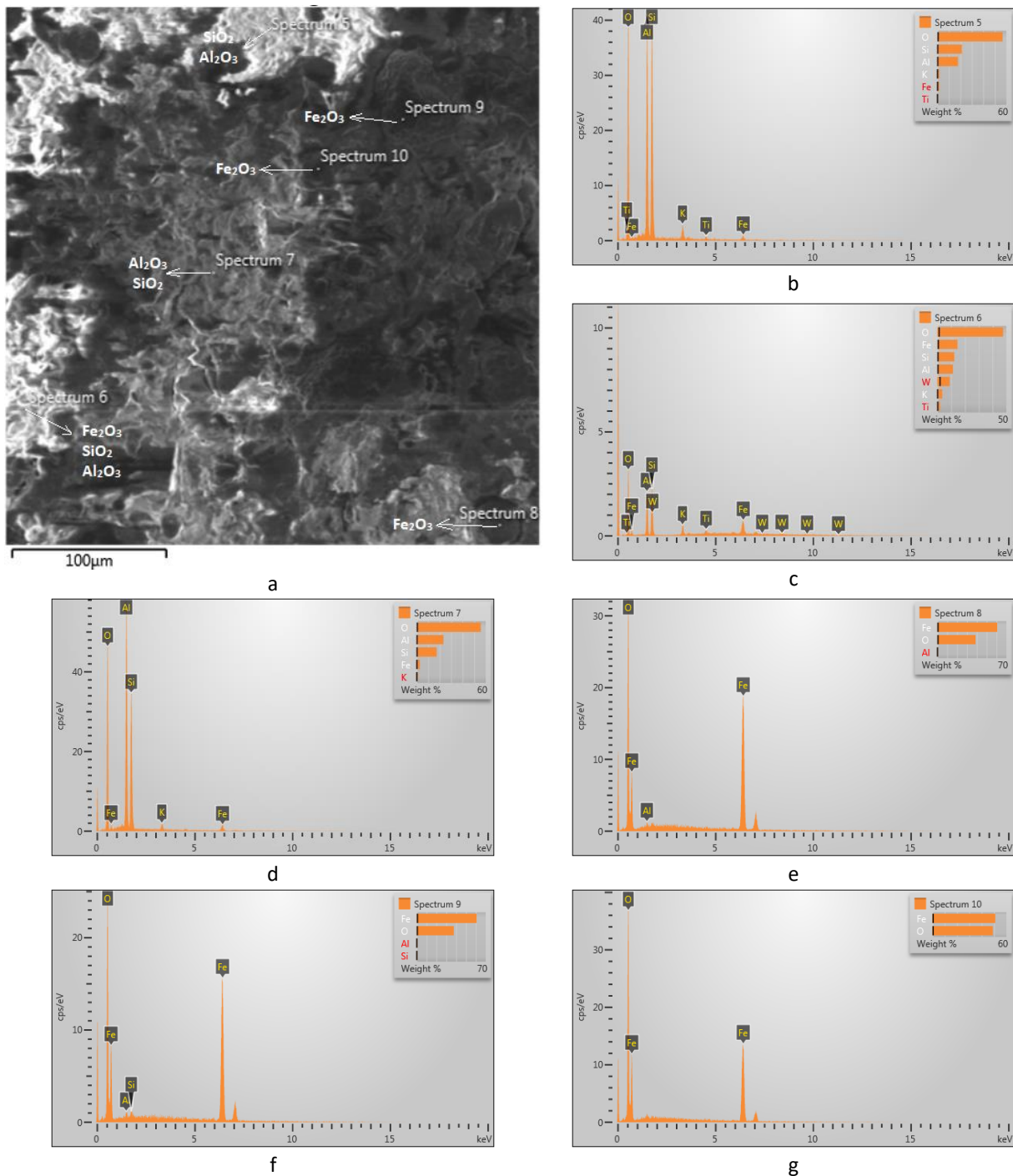
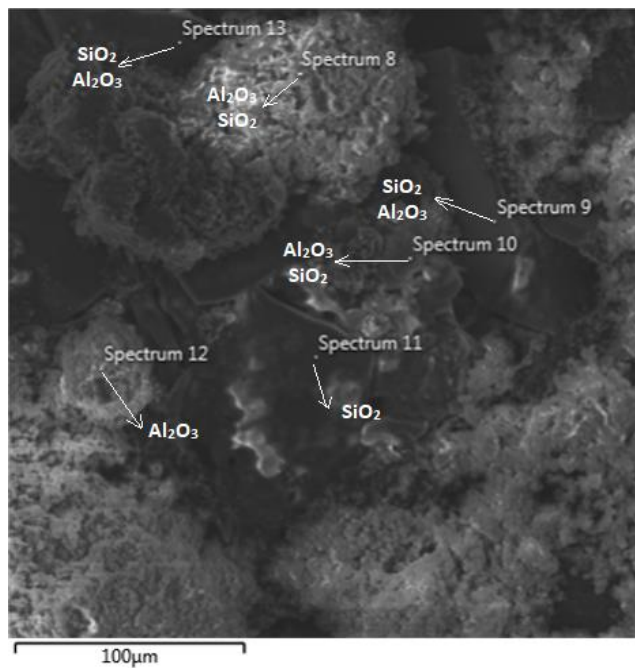
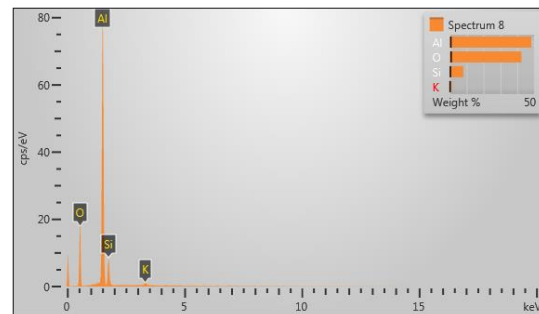


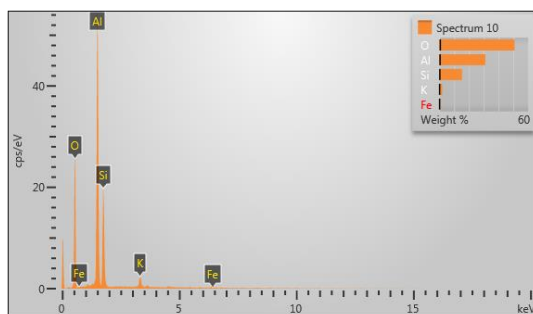
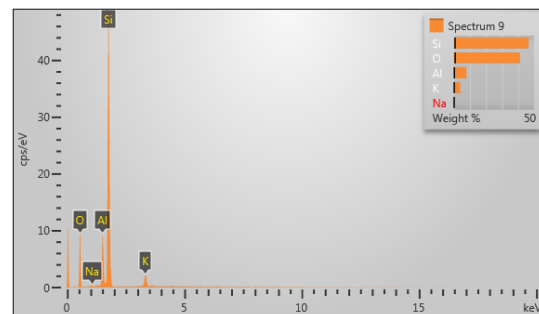
Fig. 4.36 Imagine SEM pentru compozitul pe bază de bentonită ranforsat cu particule de Al_2O_3 și Fe: a) imagine pentru zona studiată; b) compoziția chimică pentru zona Spectrum 5; c) compoziția chimică pentru zona Spectrum 6; d) compoziția chimică pentru zona Spectrum 7; e) compoziția chimică pentru zona Spectrum 8; f) compoziția chimică pentru zona Spectrum 9; g) compoziția chimică pentru zona Spectrum 10.



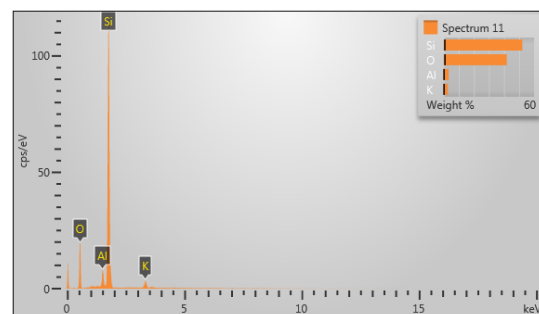
a



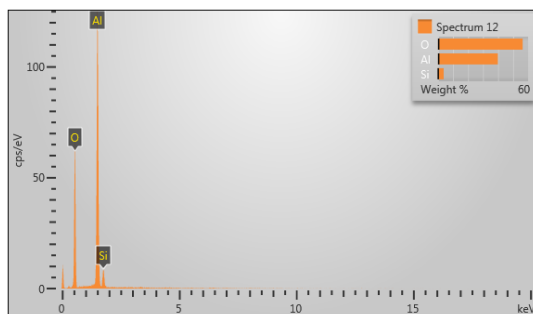
b



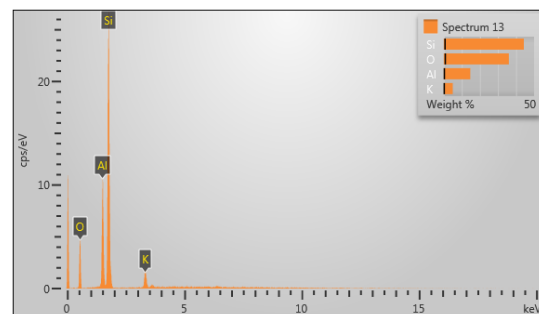
d



e



f



g

Fig. 4.37 Imagine SEM pentru compozitul pe bază de bentonită ranforsat cu particule de SiC și Al: a) imagine pentru zona studiată; b) compoziția chimică pentru zona Spectrum 8; c) compoziția chimică pentru zona Spectrum 9; d) compoziția chimică pentru zona Spectrum 10; e) compoziția chimică pentru zona Spectrum 11; f) compoziția chimică pentru zona Spectrum 12; g) compoziția chimică pentru zona Spectrum 13.

În cazul compozitului ranforsat cu particule de Al_2O_3 și Fe (figura 4.36) se pot observa compușii care apar în urma analizei SEM și anume: SiO_2 , Al_2O_3 și Fe_2O_3 . Pe lângă compoziția de bază a bentonitei, se constată că, apar și oxizi formați în timpul sinterizării lor cum ar fi: oxizi ai Fe respectiv ai Al. Sursa de oxigen pentru asemenea reacții poate fi atât atmosfera de lucru (la suprafața materialelor) cât și vaporii de apă eliberați în reacția 1 (fenomen pus în evidență în analiza explicativă). Compozitul are în ansamblu o structură poroasă. Asemenea structuri s-au obținut și de alți cercetători în cadrul unor studii similare [112]. Analiza EDX arată elementele chimice principale pentru fiecare spectrum. Se observă că Al, Si, Fe și O_2 sunt cele mai prezente elemente chimice.

Spre deosebire de compozitul ranforsat Al_2O_3 și Fe, pentru compozitul ranforsat cu SiC și Al nu se mai observă apariția compusului Fe_2O_3 (figura 4.37). Aspectul suprafeței este neregulat, în formă și mărime și tinde să fie sub formă de aglomerări de particule mici.

4.2.2. Analiza difractometrică

Aceasta s-a efectuat utilizând difractometrul de tip D8 Advance Bruker (figura 2.19). În compoziția acestor materiale se regăsesc compuși complecși. Acest lucru este pus în evidență de analizele de difracție redată în figurile 4.38 și 4.39.

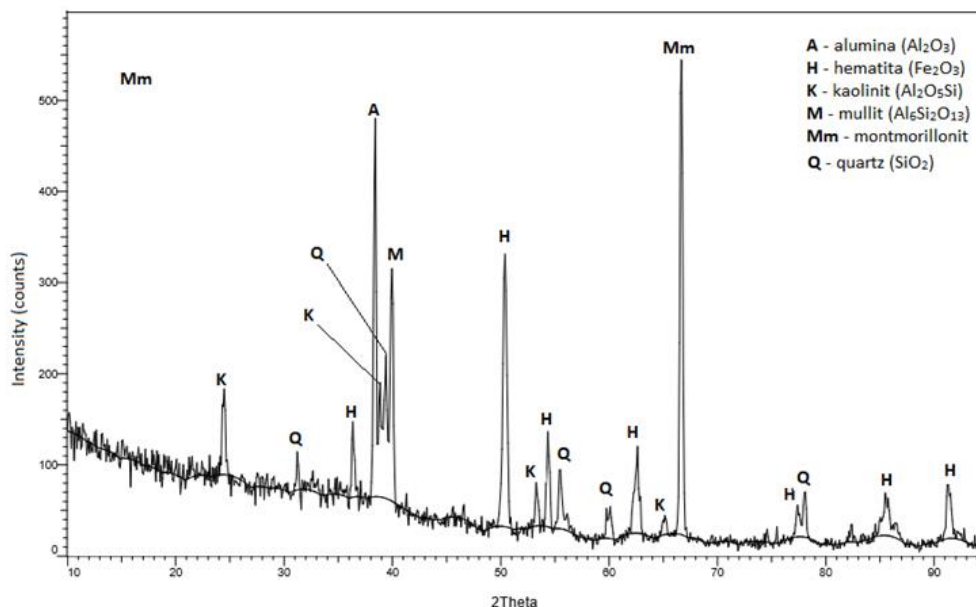


Fig.4.38 Difractograma de raze X pentru compozitul cu matrice pe bază de bentonită ranforsat cu particule de Al_2O_3 și Fe

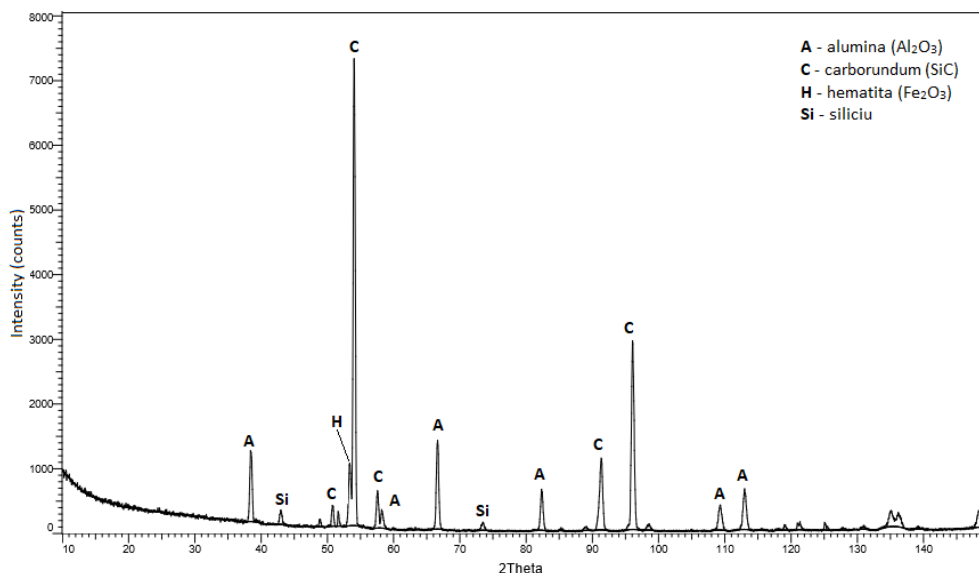


Fig.4.39 Difractograma de raze X pentru compozitul cu matrice pe bază de bentonită ranforsat cu particule de SiC și Al

Din analiza prin difracție de raze x (figura 4.38) se poate observa că, compozitul pe bază de bentonită ranforsat cu particule de Al_2O_3 și Fe este compus din: alumina (A), hematită (H), kaolinit (K), mullit (M), montmorillonit (Mm) și quartz (Q) [104-106,111-112]. Față de compoziția de bază a bentonitei, analizele de difracție pun în evidență existența unor compuși de tip mullit și kaolinit. De asemenea apar în curbele de difracție compușii introduși în compozit. În cazul acestui tip de compozit este mai greu să se diferențieze Al_2O_3 respectiv oxizii Fe de cei deja existenți în materialul de bază. Peak-ul compușilor ca montmorillonit (Mm) și alumina (A) se înregistrează la o intensitate mai ridicată în comparație cu ceilalți compuși. Montmorillonitul corespunde unghiului de difracție de $66^\circ \div 67^\circ$, iar alumina corespunde unghiului de $38^\circ \div 39^\circ$. Hematita (H) este cel mai prezent compus din difractogramă. În analize nu s-a constatat prezența metalelor introduse sub formă de particule metalice. Motivul îl constituie oxidarea acestora în procesul de sinterizare realizat în atmosferă liberă sau datorită vaporilor de apă ce se elimină din matrice, astfel că la analiză au aparut oxizii corespunzători (FeO , Fe_2O_3 , Fe_3O_4 , Al_2O_3).

În cazul compozitului cu matrice de bentonită ranforsat cu particule de SiC și Al este pus în evidență compusul SiC care nu există anterior (figura 4.38). Din punct de vedere calitativ, cei mai prezenți compuși sunt alumina și carborundum. Nici în cazul acestui compozit nu se regăsesc particulele metalice deoarece Al se oxidează, pe suprafața lui identificându-se Al_2O_3 .

4.2.3. Analiza termică

Aceasta s-a realizat utilizând aparatul NETZSCH STA 449 F3 JUPITER de tip TG/DTA (figura 2.20).

În figurile 4.40 și 4.41 sunt prezentate aspectul curbelor de analiză termică pentru compozitele cu procent ridicat de particule ceramice.

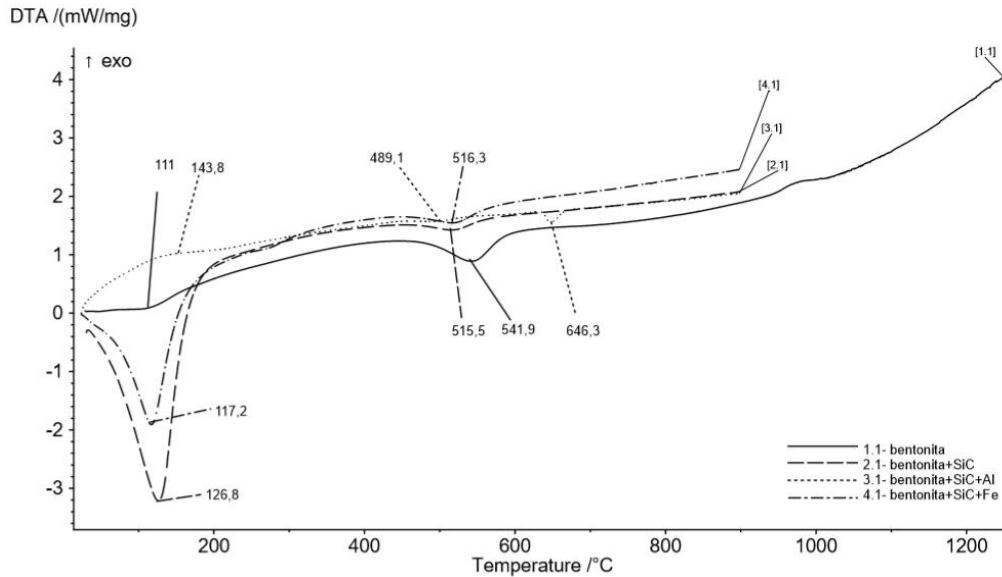


Fig. 4.40 Aspectul curbelor pentru compozitele cu matrice pe bază de bentonită cu adaosuri de particule de SiC, Fe și Al

Adăugarea pulberilor ceramice de SiC nu modifică natura transformărilor din compozit afectând doar intensitatea lor (figura 4.40). Se observă o intensificare a efectului endoterm pentru ambele Peak-uri, mai intensă în cazul Peak 1 decât în cazul Peak 2, concomitent cu o deplasare a Peak-urilor la temperaturi mai mari pentru Peak 1 și mai mici pentru Peak 2. Adăugarea Fe în amestecul bentonită + SiC păstrează natura transformărilor micșorând efectul endoterm și temperatura pentru Peak 1 și menținând aproape constante parametrii pentru Peak 2. Adăugarea Al în amestecul bentonită + SiC modifică transformarea de la Peak 1 din endotermă în exotermă, deplasând-o la temperaturi mai mari. Pentru Peak 2 efectele transformării se reduc foarte mult cantitativ.

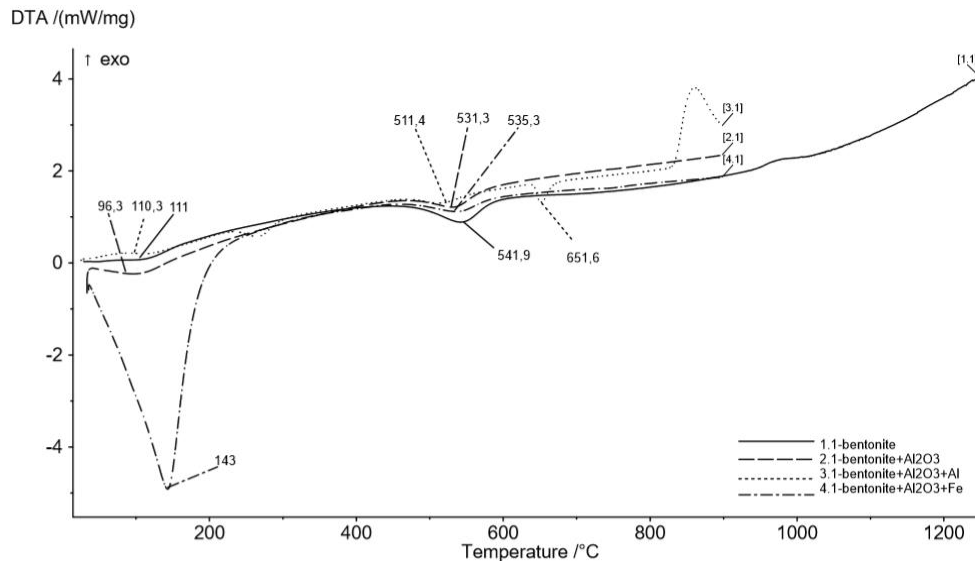


Fig. 4.41 Aspectul curbelor pentru compozitele cu matrice pe bază de bentonită cu adaosuri de particule de Al₂O₃, Fe și Al

Adăugarea pulberilor ceramice de Al_2O_3 (figura 4.41) în bentonită are efecte similare cu cele ale SiC, diferite însă cantitativ. Pentru Peak 1 se observă o mai puternică micşorare al efectului endoterm al transformării cu o creştere a temperaturii la care acesta are loc. Pentru Peak 2 efectele sunt comparabile atât calitativ cât şi cantitativ. Introducerea Al în acest amestec are efecte similare calitativ şi cantitativ ca şi în cazul amestecului bentonită + SiC. Adăugarea particulelor de Fe accentuează în cazul amestecului bentonită + Al_2O_3 efectul endoterm la Peak 1 concomitent cu deplasarea spre dreapta a temperaturii. Pentru Peak 2 efectele sunt similare cu cele din cazul amestecului bentonită + SiC. O diferenţă apare şi legat de topirea particulelor de Al la o temperatură cu 5,5 °C mai mare în cazul amestecului bentonită + Al_2O_3 decât pentru bentonită + SiC. Aceste diferenţe comportamentale pot fi puse pe seama activităţilor diferite ale particulelor metalice în raport cu SiC şi Al_2O_3 introduse în bentonită. Dimensiunea redusă a acestora favorizează atât desfaşurarea unor procese de difuzie (o posibilă difuzie a Si în particulele de Al poate determina scăderea temperaturii de topire a lor) cât şi a unor reacţii chimice.

4.2.4. Proprietăţi mecanice

Ca şi în cazul compozitelor cu procent scăzut de particule ceramice, rezistenţele la compresiune s-au realizat pe maşina universală de încercări mecanice (figura 2.6.c). Acestea sunt redate în tabelul 4.16, 4.17, 4.18 şi figurile 4.48-4.51.

Tabel 4.16. Rezultate teste compresiune pentru compozitele cu matrici de argilă şi bentonită ranforsate cu SiC şi Al_2O_3

Nr. probă	Fbc, [KN]	Fsc, [KN]	Fpc, [KN]	Rbc, [MPa]	Rsc, [MPa]	Rpc, [MPa]	Ec, [GPa]
3.1.1	19,3	-	18,99	96	-	95	5,61
3.2.1	21,54	17,02	20,83	105	109	86	5,66

Tabel 4.17 Rezultate teste compresiune pentru compozitele cu matrici de argilă şi bentonită ranforsate cu SiC, Al_2O_3 şi Fe

Nr. probă	Fbc, [KN]	Fsc, [KN]	Fpc, [KN]	Rbc, [MPa]	Rsc, [MPa]	Rpc, [MPa]	Ec, [GPa]
3.1.1.1.Fe	23,38	21,13	19,44	102	92	86	4,12
3.1.1.2.Fe	23,56	6,97	10,98	98	19	69	2,18
3.1.1.3.Fe	9,15	3,51	5,27	46	17	29	0,41
3.2.1.1.Fe	23,29	19,63	22,65	116	98	113	6,29
3.2.1.2.Fe	33,66	5,48	19,17	166	27	95	5,7
3.2.1.3.Fe	36,84	30,40	27,04	181	149	133	12,18
3.2.1.4.Fe	43,22	39,66	28,54	215	198	142	7,66

Tabel 4.18 Rezultate teste compresiune pentru compozitele cu matrici de argilă şi bentonită ranforsate cu SiC, Al_2O_3 şi Al

Nr. probă	Fbc, [KN]	Fsc, [KN]	Fpc, [KN]	Rbc, [MPa]	Rsc, [MPa]	Rpc, [MPa]	Ec, [GPa]
3.1.1.1.Al	12,2	5,95	11,09	60	29	54	5,53
3.1.1.2.Al	12,88	-	11,79	64	-	58	9,05
3.1.1.3.Al	19,02	20,19	16,49	94	99	81	6,26
3.1.1.4.Al	21,78	20,05	16,4	108	100	82	4,2
3.2.1.1.Al	21,19	4,7	17,01	106	23	85	4,8
3.2.1.2.Al	22,87	-	22,22	114	-	110	7,98
3.2.1.3.Al	25,8	17,49	22,32	129	87	111	4,7
3.2.1.4.Al	30,14	5,88	26,41	149	29	130	5,57

Pentru o mai bună interpretare a rezultatelor experimentale, pentru fiecare categorie de compozite realizate s-au construit grafice de dependență a rezistenței la compresiune în funcție de modificarea proporțiilor componentelor utilizate, redate în figurile 4.48-4.51.

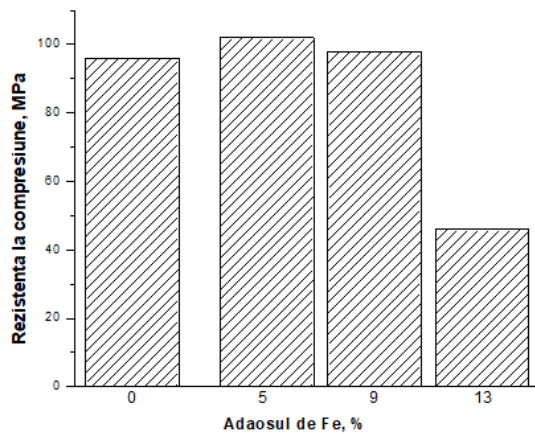


Fig.4.48 Variația rezistenței la compresiune în funcție de conținutul de Fe pentru compozitul cu SiC

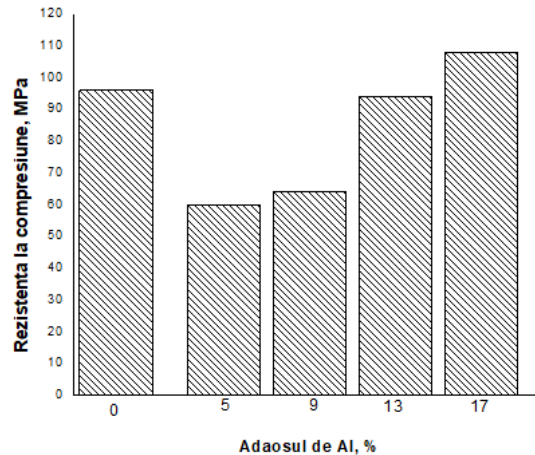


Fig.4.49 Variația rezistenței la compresiune în funcție de conținutul de Al pentru compozitul cu SiC

În figura 4.50 se observă că Fe are un efect pozitiv pentru conținuturi mici (<9%) și un efect puternic negativ pentru conținuturi mai mari. În același timp pentru compozitele pe bază de bentonită cu SiC creșterea procentului de Fe determină scăderea rezistenței la compresiune.

Pentru compozitele pe bază de bentonită cu SiC se observă o diferență radicală din punct de vedere calitativ, a efectului Al față de cel al Fe (figura 4.51). Rezistența la compresiune crește odată cu procentul de Al adăugat dar devine mai mare decât cea a compozitului de bază (bentonită + SiC +0% Al) abia la conținuturi de Al >13%.

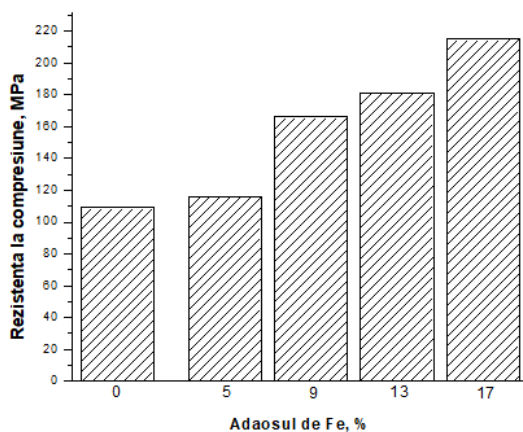


Fig.4.50 Variația rezistenței la compresiune în funcție de conținutul de Fe pentru compozitul cu Al₂O₃

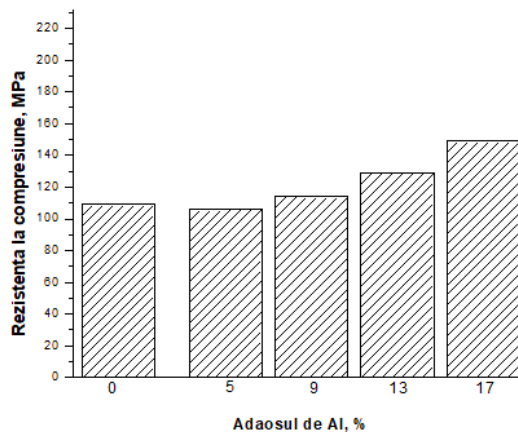
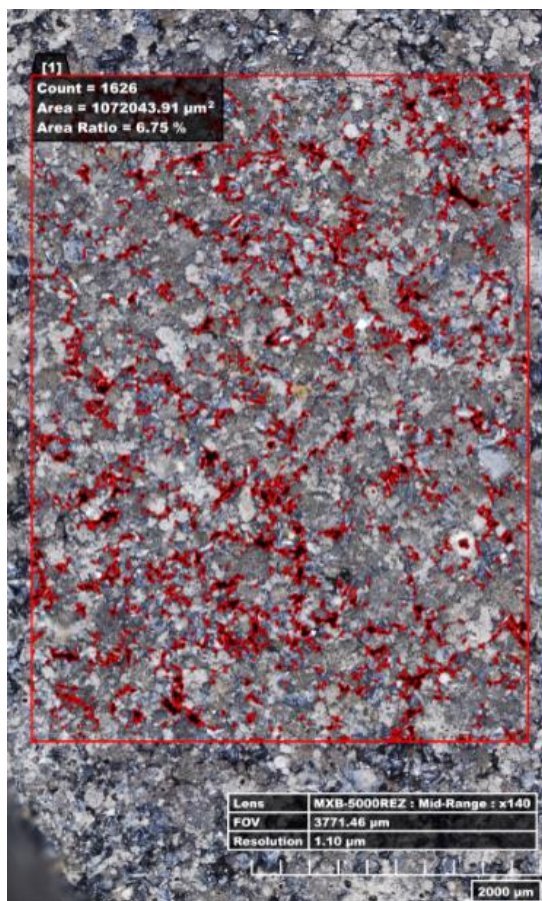


Fig.4.51 Variația rezistenței la compresiune în funcție de conținutul de Al pentru compozitul cu Al₂O₃

În figurile 4.50 și 4.51 adaosul de particule metalice de Fe și Al determină creșterea rezistenței la compresiune cu creșterea procentului acestora. Din punct de vedere cantitativ, se observă că Fe are un efect mult mai pronunțat decât Al. Aceasta se justifică prin faptul că particulele metalice au o capacitate de preluare mai mare a eforturilor de solicitare și preiau diferit eforturile față de componentele ceramice.

4.2.5. Porozitatea

Prin măsurători multiple s-au obținut valori cuprinse între 30÷40 %. Nu s-a constatat o legătură specifică a acestor valori cu diferitele tipuri de compozite studiate. Ele sunt comparabile cu valorile date pentru materiale similare din literatura de specialitate[13].



	Perimeter	Area	Area ratio	Radius	Diameter
Min	37.87	100.70	0.00	5.66	11.32
Max	1765.55	15678.48	0.07	70.64	141.28
Range	1727.67	15575.78	0.07	64.98	129.96
Average	161.94	659.31	0.00	11.97	23.94
Total	263319.65	1072043.91	4.57	19465.37	38930.74
Deviation	185.28	1252.93	0.01	8.16	16.32
Count	1626	1626	1626	1626	1626

Fig.4.52. Aspectul porilor deschiși în suprafața probei din materialul compozit pe bază de bentonite ranforsat cu matrice de SiC și Al

Aspectul porilor deschiși în suprafața probelor, pus în evidență cu ajutorul microscopului digital 3D de tip HIROX RH-2000 este redat în figura 4.52, ei reprezentând 6,75% din suprafața analizată. Pe lângă dimensiunea în suprafața a porilor cuprinsă între 11,32-141,28 μm este importantă și forma lor uneori aciculară (figurile 4.36 și 4.37) care favorizează reținerea particulelor micronice.

CAPITOLUL 5 Concluzii finale. Contribuții originale. Direcții viitoare de cercetare. Diseminarea rezultatelor

Concluzii finale

Din analiza datelor și informațiilor din literatura de specialitate pe domeniul tezei a rezultat necesitatea realizării de cercetări care să aducă informații noi despre compozite cu structuri și proprietăți stabile pe anumite intervale de temperatură, numite în context compozite termorezistente. Pe baza acestor informații s-a stabilit programul cercetărilor experimentale pentru teză. În cadrul cercetărilor au fost studiate două mari categorii de compozite: pentru temperaturi joase (160÷200°C) - compozitele termoplastice și pentru temperaturi înalte (până la 1250°C) – compozite termorezistente.

Din cercetările realizate asupra compozitelor termoplastice cu matrice de rășină epoxidică ranforsate cu fibre de sticlă și pulpă de kevlar, au rezultat o serie de concluzii:

Sunt diferențe semnificative între proprietățile mecanice ale compozitelor realizate, în funcție de natura materialelor utilizate pentru matrice, respectiv pentru ranforsarea acestora. În acest sens sunt de precizat următoarele:

- Atât în cazul fibrelor de sticlă cât și în cazul pulpei de kevlar, compozitul cu matrice de rășină A 19-00 a avut cele mai bune rezistențe la tracțiune;
- Compozitul pe bază de rășină epilox L 50-54 + întăritor H 10-25, a avut proprietăți necorespunzătoare (alungire foarte mare la rupere) în cazul ambelor tipuri de ranforsanți (fibră de sticlă și pulpă de kevlar);
- Pentru compozitele ranforsate cu fibre de sticlă s-au obținut valori de 2 ori mai mari decât în cazul pulpei de kevlar
- Cea mai bună rezistență la încovoiere s-a obținut la compozitele cu matrice pe bază de rășină epilox T 19-38/700+ întăritor H 10-30 atât în cazul fibrei de sticlă cât și în cazul pulpei de kevlar;
- Spre deosebire de rezistența la tracțiune, pentru rezistența la încovoiere cele mai slabe proprietăți s-au obținut pentru compozitul cu matrice de rășină A 19-00 + întăritor H 10-30 ranforsat cu fibre de sticlă și kevlar;
- La fel ca la rezistența la tracțiune, pentru rezistența la încovoiere, compozitele cu fibre de sticlă au avut valori mult mai mari (aproximativ de 10 ori mai mari);
- La reziliență, compozitele cu matrice pe bază de rășină epilox T 19-38/700 + întăritor H 10-30 ranforsate cu fibră de sticlă și pulpă de kevlar s-au comportat cel mai bine.

Din analiza comparativă cu rezultatele din literatura de specialitate pentru compozitul cu matrice de rășină ranforsată cu fibră de sticlă s-au obținut valori similare pentru proprietățile mecanice: rezistența la tracțiune, la încovoiere și la impact.

Pentru compozitele cu matrice de rășină epoxidică ranforsată cu pulpă de kevlar nu s-au găsit date în literatura de specialitate privind proprietățile mecanice. Datele obținute din cercetarea de față completează informațiile din domeniu.

Din studiul sintezei și caracterizării compozitelor termorezistente au rezultat următoarele concluzii pe grupe de caracterizări:

Analiza suprafeţei prin microscopie optică şi electronică pune în evidenţă următoarele:

- După sinterizare matricile au un aspect monolitic (tip „bloc”), în care sunt distribuite particulele ceramice şi metalice introduse pentru ranforsare;
- Profilul suprafeţei şi rugozitatea acesteia sunt determinate pentru aceste compozite de dimensiunile particulelor utilizate pentru ranforsare (ceramice şi metalice);
- Pentru toate probele supuse analizei de suprafaţă s-au observat prezenţa porilor deschişi;
- De asemenea apare un aspect rugos al suprafeţei porilor, favorabil unor procese de reţinere mecanică în cazul utilizării acestor materiale pentru filtrare;
- Analizele SEM cu EDX au pus în evidenţă tipul compuşilor pentru fiecare tip de compozit realizat. Compuşii evidenţiaţi sunt atât cei prezenţi în materialele utilizate la producerea compozitelor lor cât şi compuşi rezultaţi în urma unor procese (asocieri mecanice, reacţii chimice, etc.) care au loc în timpul sinterizării.

Analiza dilatometrică a evidenţiat existenţa unor mari variaţii de volum pentru materialele utilizate pentru matrici până la temperaturi în jur de 600°C (contractii de volum pentru argilă şi creşteri pentru bentonită). Din acest motiv se recomandă ca alegerea materialelor pentru ranforsare să se facă astfel încât asocierea lor cu matricea să nu presupună fenomene cu variaţii de volum în acelaşi sens cu cele ale matricei. În caz contrar pot să apară deformaţii şi fisuri în compozite la sinterizare.

Pentru compozitele cu rezistenţă la temperaturi ridicate pe bază de matrici ceramice (argile şi bentonite) cercetările s-au efectuat distinct pe două grupe, în funcţie de conţinutul de particule ceramice adăugate pentru ranforsare (SiC şi Al₂O₃): cu procent scăzut de particule ceramice (5-15%) şi cu procent ridicat de particule ceramice (50-57%). Compoziţiile pentru cele cu procent ridicat de particule ceramice, la care pentru matrice s-a utilizat numai bentonita, s-au stabilit pe baza concluziilor desprinse din studiul compozitelor cu procent scăzut de particule ceramice (la acestea bentonita a asigurat proprietăţi şi comportament tehnologic mai bun decât argila).

Analizele termice au scos în evidenţă efectele pe care materialele de ranforsare (pulberile ceramice şi metalice) le au asupra transformărilor matricilor la sinterizare, transformări legate de eliminarea apei în două etape termice, prima în jurul unor valori de 115-145°C (Peak 1) şi a doua în jur de 515-542°C (Peak 2). Urmărind modificarea temperaturilor şi efectelor termice ale acestor transformări în funcţie de materialele de ranforsare utilizate se pot face următoarele precizări:

A. În cazul compozitelor cu procent scăzut de pulberi ceramice

- **Pentru compozitele pe baza de argilă**, prin adăugarea pulberilor ceramice de SiC nu se modifică natura transformărilor din compozit (din endotermă în exotermă) în schimb adaosul de Al₂O₃ determină modificări de natură termică. În cazul compozitelor cu SiC, Al nu determină modificări privind natura transformărilor, în schimb Fe şi Cu duc la schimbări ale efectelor termice. În cazul compozitelor cu Al₂O₃, Cu nu modifică natura transformărilor din compozit în schimb Al şi Fe determină trecerea din efect endoterm în exoterm;
- **Pentru compozitele pe bază de bentonită**, introducerea pulberilor ceramice de SiC şi Al₂O₃ modifică natura transformărilor din compozit. Pentru compozitele cu SiC, Al nu modifică natura transformărilor din compozit spre deosebire de Fe care determină trecerea de la efect endoterm la efect puternic



exoterm pentru ambele Peak-uri. În cazul compozitelor pe bază de Al_2O_3 , Al modifică natura transformărilor din compozit în timp ce Fe nu determină modificări importante;

- În privința influenței compoziției materialului asupra temperaturii de transformare se observă că particulele ceramice și metalice introduse pentru ranforsare nu determină modificări asupra temperaturii de transformare decât în foarte mică măsură în cazul compozitelor pe bază de argilă. Pentru compozitele pe bază de bentonită cu SiC, Al și Fe nu influențează temperaturile de transformare. Pentru compozitele pe bază de bentonită cu Al_2O_3 , Al are un efect mai puternic decât Fe asupra temperaturilor de transformare;
- Variația masei pentru compozitele pe bază de argilă este influențată mai puternic de Al iar pentru compozitele pe bază de bentonită, Fe prezintă un efect mai puternic decât Al;
- Energia transformărilor este și ea influențată de compoziția materialului astfel: pentru compozitele pe bază de argilă cu SiC și Al_2O_3 , Fe determină efecte mai mari în timp ce pentru bentonită efectul Al este mai puternic.

B. În cazul compozitelor cu procent ridicat de particule ceramice

- Introducerea pulberilor ceramice de SiC și Al_2O_3 nu modifică natura transformărilor din compozit. Pentru compozitele cu SiC, Fe nu modifică natura transformărilor din compozit spre deosebire de Al care determină trecerea de la efect endoterm la efect exoterm. În cazul compozitelor pe bază de Al_2O_3 , Al și Fe nu influențează natura transformărilor din compozit;
- Pulberile de SiC, Al_2O_3 și Al introduse pentru ranforsare nu influențează temperaturile de transformare ale compozitelor. Însă, Fe modifică temperatura de transformare și are un efect mai important în cazul compozitelor cu SiC.
- În privința variației masei, SiC determină o scădere a masei spre deosebire de Al_2O_3 , care nu influențează variația masei. Efectul Fe este nesemnificativ pentru ambele tipuri de pulberi ceramice cu care se asociază (SiC ori Al_2O_3) în timp ce Al determină o variație mai importantă de masă în cazul asocierii cu SiC;
- Variațiile energiilor de transformare sunt influențate mai puțin la adăugarea Al_2O_3 în compozit decât în cazul SiC. S-a observat că introducerea Al și Fe în compozitele cu SiC, diminuează efectul acestuia. Pentru compozitele cu Al_2O_3 , se observă un efect important al Fe.

Analiza difractometrică a pus în evidență natura compușilor din compozit. Sau confirmat observațiile analizei SEM cu EDX, care a pus în evidență atât prezența unor compuși proveniți din materialele utilizate cât și a unor compuși rezultați în urma unor reacții chimice în timpul sinterizării. Datorită sinterizării în atmosfera cuptorului, O_2 din aer interacționează cu metalele introduse pentru ranforsare, astfel acestea nu mai apar în analiză (se transformă integral în oxizi).

Determinarea proprietăților mecanice subliniază următoarele:

Pentru compozitele cu procent scăzut de particule ceramice, adaosul de particule de SiC și Al_2O_3 , determină scăderea rezistenței la compresiune în cazul bentonitei iar în cazul argilei SiC determină scăderea rezistenței la compresiune în timp ce Al_2O_3 determină creșterea rezistenței. La adăugarea particulelor metalice rezistența la compresiune crește odată cu creșterea cantității de pulbere ceramică din compozit astfel:

- În cazul argilei cu SiC efectul maxim îl are Al în timp ce pentru Al₂O₃ efectul maxim îl are Fe;
- În cazul bentonitei cu SiC, efectele Al și Fe sunt comparabile în schimb pentru Al₂O₃ efectul maxim îl are Fe.

Pentru compozitele cu procent ridicat de particule ceramice, introducerea particulelor metalice determină modificări ale rezistenței la compresiune astfel:

- În cazul celor cu bentonită și SiC pentru un conținut de Fe >9% rezistența la compresiune scade;
- Al crește rezistența la compresiune cu creșterea procentului acestuia;
- În cazul compozitelor cu Al₂O₃, rezistența crește cu creșterea procentului de Al și Fe.

Compozitele pe bază de bentonită au o rezistență mai mare decât cele cu argilă. Compozitul pe bază de bentonită cu 15% Al₂O₃ și 10% Fe prezintă cea mai bună rezistență la compresiune (141 MP).

Porozitatea medie a compozitelor obținute a fost cuprinsă între 30-40 % cu o dimensiune micrometrică a porilor (11,32-141,28 μm). Aceasta recomandă aceste materiale pentru utilizări în domeniul filtrelor pentru particule micrometrice.

Rezultatele obținute din cercetările experimentale efectuate recomanda compozitele termorezistente pentru fabricarea de produse cu caracteristici de filtrare pentru medii gazoase sau lichide, utilizabile într-o gamă de temperaturi foarte largă, între temperatura mediului ambiant și până la 1250 °C cu posibilitatea de reținere a unor particule cu dimensiuni micronice și submicronice (filtre pentru auto, pentru instalații poluante din domeniul metalurgic, filtre pentru instalații de purificare a apelor și aerului, etc.)

Contribuții originale

În urma analizei informațiilor din literatura de specialitate și a cercetărilor experimentale efectuate se pot sublinia următoarele aspecte de originalitate:

- Realizarea unui studiu de sinteză din literatura de specialitate în baza căruia s-a făcut alegerea unor materiale corespunzătoare pentru matricile și elementele de ranforsare ale compozitelor, materiale ușor de procurat și la preturi scăzute, respectând astfel obiectivele acestei cercetări;
- Pe baza acestui studiu s-a realizat programul de cercetări experimentale;
- Obținerea a două categorii mari de compozite: pentru temperaturi joase până la 200°C - compozitele termoplastice și pentru temperaturi înalte până la 1250°C – compozite termorezistente.
- Realizarea dispozitivelor de laborator (matrițe) pentru procesarea compozitelor și confecționarea probelor pentru studii;

-Pentru compozitele termoplastice:

- S-au realizat compozite cu 4 tipuri de matrici din rășină epoxidică și 2 tipuri de materiale de ranforsare;
- Compozitele obținute au fost supuse unor studii pentru determinarea caracteristicilor fizice: masă, volum și densitate și a proprietăților mecanice: tracțiune, încovoiere și reziliență;
- S-au stabilit dependențe între tipul matricei și:
 - variația rezistenței, alungirii și modulului Young la tracțiune;
 - variația energiei la rupere și modulului Young la încovoiere;



-variația energiei consumate la reziliență și reziliență.

- Prelucrarea statistică, prezentarea grafică și interpretarea datelor a tuturor dependențelor precizate anterior;

-Pentru compozitele termorezistente:

- S-au realizat compozite cu 2 tipuri de matrici: argilă și bentonită iar pentru ranforsare: 2 tipuri de pulberi ceramice și 3 tipuri de particule metalice;
- S-au realizat 2 grupe de compozite și anume: cu conținut mic de particule ceramice și cu conținut mare de particule ceramice;

a. Compozitele cu conținut mic de particule ceramice au fost supuse unor studii de:

- analiză a suprafeței prin microscopie optică: -s-au prezentat imagini cu aspectul suprafeței probelor după sinterizare, s-au interpretat rezultatele;
- analiza dilatometrică: -s-au obținut diagramele de dilatare pentru materialele de bază, s-au interpretat rezultatele;
- analiza termică: -s-au obținut diagramele de analiză termică pentru compozitele obținute și cu ajutorul datelor extrase din diagrame s-au reprezentat grafic dependențele dintre tipul materialului de ranforsare și:
 - variația temperaturilor de transformare;
 - variația masei;
 - variația energiei la transformare.
 - prelucrare statistică, prezentare grafică și interpretarea tuturor dependențelor precizate anterior;
- proprietăți mecanice: rezistența la compresiune: s-au realizat grafic dependențele dintre tipul materialului granular și rezistența la compresiune, interpretare rezultate;

b. Compozitele cu conținut mare de particule ceramice au fost supuse unor studii de:

- analiză a suprafeței prin microscopie optică și electronică: în cazul microscopiei optice, s-au prezentat imagini cu aspectul suprafeței probelor după sinterizare și s-au interpretat rezultatele; în cazul microscopiei electronice, s-au realizat imaginile SEM prin determinarea compoziției chimice pe zonele analizate și s-au interpretat rezultatele;
- analiza difractometrică: s-au realizat difractograme de raze X cu natura compușilor din compozit și s-au interpretat rezultatele;
- analiza termică: s-au realizat aceleași dependențe ca și în cazul compozitelor cu procent scăzut de pulberi ceramice;
- proprietăți mecanice: rezistența la compresiune - s-au realizat graficele dependențelor dintre tipul materialului granular și rezistența la compresiune și s-au interpretat rezultatele;

Direcții viitoare de cercetare

Pe baza rezultatelor obținute se pot viza câteva posibile direcții de cercetare cum ar fi:

- realizarea de cercetări pentru stabilizarea argilei și bentonitei astfel încât să fie eliminate neajunsurile legate de obținerea compozitelor care duc la deformații, fisuri, deteriorări;
- dezvoltarea de cercetări prin utilizarea combinată a argilei și bentonite pentru matrice;
- realizarea de cercetări aplicative asupra capacității de reținere a impurităților de către compozitele produse pentru adaptarea caracteristicilor lor la domenii specifice de utilizare;
- extinderea cercetărilor pentru compozite similare prin lărgirea limitelor atât pentru conținuturi de particule ceramice cât și pentru cele de particule metalice, ca materiale de ranforsare. Direcțiile de lucru în acest sens se pot stabili pe baza studiilor realizate prin extrapolarea efectelor unor asemenea extensii;

Diseminarea rezultatelor

Diseminarea rezultatelor cercetărilor efectuate pe toată perioada parcursă în cadrul tezei de doctorat s-a făcut prin publicarea de articole științifice în reviste de specialitate și prezentarea acestora la conferințe naționale și internaționale astfel:

Articole publicate și propuse spre publicare în reviste de specialitate:

- **Matei S.**, Stoicanescu M., Crișan A., Composites with short fibers reinforced epoxy resin matrix, Procedia Technology, vol.22, 2016, pag. 174-181, doi.org/10.1016/j.protcy.2016.01.041, (indexata ISI);
- **Matei S.**, Crișan A., Thermal resistant composite materials in use today – a review, Recent, vol. 15, nr.3(43), Noiembrie 2014 (indexata BDI/B+);
- Tiron E. L., **Matei S.**, Coșniță M., Crișan A., The effect of some controlling factors of quality of hot-dip galvanized coatings, Bulletin of the Transilvania University of Brasov, vol. 10 (59), nr.2, 2017 (indexata BDI/B+);

Articole aflate în curs spre publicare:

- **Matei S.**, Varga B., Bedo T., Pop A., Stoicanescu M., Crisan A., Composites with clay and bentonite matrix, Materials today: Proceedings (indexata ISI);
- **Matei S.**, Crisan A., Composite materials with ceramic and metallic particles reinforced clay matrix, Bulletin of the Transilvania University of Brasov (indexata BDI/B+);

Articole prezentate la conferințe internaționale:

- **Matei S.**, Soicănescu M., Crișan A., Composites with short fibers reinforced epoxy resin matrix, 9th International Conference Interdisciplinarity in Engineering, INTER-ENG 2015, 8-9 October 2015, Tirgu-Mures, Romania;
- Tiron E. L., **Matei S.**, Coșniță M., Crișan A., The effect of some controlling factors of quality of hot-dip galvanized coatings, 3rd International Conference of Doctoral Students –IPC 2017, 22-23 iunie 2017, Brasov, Romania;
- **Matei S.**, Varga B., Bedo T., Pop A., Stoicanescu M., Crisan A., Composites with clay and bentonite matrix, 11th International Conference on Materials Science & Engineering, BRAMAT, 13-16 martie 2019, Brasov, Romania;
- **Matei S.**, A study of the certain materials behavior for ceramic composites with clay and bentonite matrix, Absolventi in fata Companilor, AFCO 09 mai 2019.

Articol redactat trimis spre publicare la revistă cu factor de impact mai mare de 1.

Matei S., Varga B., Tiron E., Crișan A., A study of the certain materials behavior for ceramic composites with bentonite matrix.

Bibliografie selectivă

- [1]. F. Stefanescu, G. Neagu, A. Mihai, Materiale compozite, Editura Didactica si Pedagogica, Bucuresti, 1996;
- [2]. C. Kastitseys, P.A. Smith , J.A. Yeomans, Thermal shock fracture in unidirectional fibre-reinforced ceramic–matrix composites, Composites Science and Technology nr. 65 (2005), pag. 1880 –1890;
- [3]. T. Abraham, R. W. Bryant and P.J. Mooney, The Prospects for Advanced Polymer-,Metal- and Ceramic-Matrix Composites, Journal Of Metals, November 1988;
- [4]. K.K. Chawla, The High-Temperature Application of Ceramic-Matrix Composites, Journal of Metals, December 1995;
- [5]. P. K. Liaw, Expanding the Application of Ceramic-Matrix Composites, Journal of Metals, 1995 October;
- [6].P. D. Sarkisov, N. V. Popovich, L. A. Orlova, and Yu. E. Anan’eva, Barrier coatings for type C/SiC ceramic-matrix composites (review), Glass and Ceramics Vol. 65, nr. 9 – 10, 2008;
- [7]. N.L. Hancox, Matrices for Composite Materials, Composite Materials, July, 1986, pag. 435-437;
- [11]. S. Vlase, H. Teodorescu, I. Goia, A. Modrea, M.L. Scutaru, Materiale compozite - metode de calcul, Editura Universitatii “Transilvania” Brasov, 2007;
- [12]. L. Baltes, Materiale amorfe - Materiale compozite, Editura Universitatii “Transilvania” Brasov, 2003;
- [36]. H. Pihtili, N. Tosun, Effect of load and speed on the wear behavior of woven glass fabrics and aramid fibre–reinforced composites, Wear 252 (2002), pag. 979–984;
- [37]. B. Wetzel, F. Hauptert, M.Q. Zhang, Epoxy nanocomposites with high mechanical and tribological performance, Composites Science and Technology 63 (2003), pag. 2055–2067, DOI: 10.1016/S0266-3538(03)00115-5;
- [38]. N. Dadkar, B.S. Tomar, B.K. Satapathy, A.Patnaik, Performance assessment of hybrid composite friction materials based on flyash–rock fibre combination, Materials and Design 31 (2010), pag. 723–731, doi:10.1016/j.matdes.2009.08.009;
- [39]. S.J. Kim, H. Jang, Friction and wear of friction materials containing two different phenolic resins reinforced with aramid pulp, Tribol. Int. 33 (2000) 477–484;
- [40]. A. Bolvari, S. Glenn, R. Janssen, C. Ellis, Wear and friction of aramid fiber and polytetrafluoroethylene filled composites, Wear 203–204 (1997), pag. 697–702;
- [41]. P. Gopal, L.R. Dharani, F.D. Blum, Hybrid phenolic friction composites containing Kevlar pulp. Part II. Wear surface characteristics, Wear 193 (1996), pag. 180–185;

- [42]. L.G. Yu, S.R. Yang, Investigation of the transfer film characteristics and tribochemical changes of Kevlar fiber reinforced polyphenylene sulfide composites in sliding against a tool steel counterface, *Thin Solid Films* 413 (2002), pag. 98–103;
- [43]. S.Z.Wang, Actuality and application prospect of PPTA-Pulp, *Hi-Tech Fiber Applications* nr. 28 (2003) pag. 14–17, in Chinese;
- [44]. Y. Zhang, D. Rodrigue, A. Ait-Kadi, Tensile properties of polymerization filled Kevlar pulp/polyethylene composites, *Polymers and Polymer Composites* nr. 12 (2004) , pag. 1–15;
- [60]. **S. Matei**, A. Crisan, Thermal resistant composite materials in use today – a review, *Recent*, vol. 15, nr.3(43), Noiembrie 2014;
- [62]. N. Latifi, A.S.A. Rashid, S. Siddiqua, S. Horpibulsuk, Micro-structural analysis of strength development in low and high swelling clays stabilized with magnesium chloride solution-a green soil stabilizer, *Applied Clay Science* nr. 118 (2015), pag. 195-206;
- [67]. A. A. Shubbar, M. Sadique, P. Kot, W. Atherton, Future of clay-based construction materials – A review, *Construction and Building Materials* nr. 210 (2019), pag. 172-187;
- [71]. A.E.M.K. Mohamed, Improvement of swelling clay properties using hay fibers, *Construction and Building Materials* nr. 38 (2013), pag. 242-247;
- [79]. P. Jamsawang, N. Nuansrithong, P. Voottipruex, S. Songpiriyakij, P. Jongpradist, Laboratory investigations on the swelling behavior of composite expansive clays stabilized with shallow and deep clay-cement mixing methods, *Applied Clay Science* nr. 148 (2017), pag. 83-94;
- [80]. W.J. Cho, J.O. Lee, C.H. Kang, A compilation and evaluation of thermal and mechanical properties of bentonite-based buffer materials for a high-level waste repository, *Journal of the Korean Nuclear Society*, nr. 34 (2002), pag. 90-103;
- [81]. J.O. Lee, W.J. Cho, S. Kwon, Thermal-hydro-mechanical properties of reference bentonite buffer for a Korean HLW repository, *Tunnel and Underground Space* nr. 21 (2011), pag. 264-273;
- [82]. M.A. Ali, A. Bouazza, R.M. Singh, W.P. Gates, R.K. Rowe, 2016. Thermal conductivity of geosynthetic clay liners, *Canadian Geotechnical Journal*, <http://dx.doi.org/10.1139/cgj-2015-0415>;
- [83]. S. Tripathy, A. Sridharan, T. Schanz, Swelling pressures of compacted bentonites from diffuse double layer theory, *Canadian Geotechnical Journal* nr. 41 (2004), pag. 437-450;
- [84]. T.V. Bharat, a. Sridharan, Prediction of compressibility data for highly plastic clays using diffuse double-layer theory, *Clays and Clay Minerals* nr. 63 (2015.), pag. 30-42;
- [85]. T.V. Bharat, P.V. Sivapullaiah, M.M. Allam, Novel procedure for the estimation of swelling pressures of compacted bentonites based on diffuse double layer theory, *Environmental Earth Sciences* nr. 70 (2013), pag. 303-314;
- [98]. T.S. Nagaraj, N.S. Pandian, P.S.R. Narasimha Raju, Compressibility behavior of soft cemented soils, *Geotechnique* nr. 48 (2), 1998, pag. 281-287;

- [99]. T.S. Nagaraj, B.R. Srinivasa Murthy, A critical reappraisal of compression index equations. *Geotechnique* nr. 36 (1),1986, pag. 27-32;
- [100]. O.O. Ojuri, I.I. Akinwumi, O.E. Oluwatuyi, Nigerian lateritic clay soils as hydraulic barriers to adsorb metals, *Geotechnical characterization and chemical compatibility, Environment Protection Engineering*, 43 (2017) 209–222, <https://doi.org/10.5277/epe170416>;
- [101]. O.O. Ojuri, O. Oluwatuyi, Strength and hydraulic conductivity characteristics of sand bentonite mixtures designed as a landfill liner, *Jordan J. Civ. Eng.* 11 (2017) 614–622;
- [102]. O. F. Ajibade, S. I. Akosile, O.E. Oluwatuyi, T. F. Ajibade, K. H. Lasisi et al., Bacteria removal efficiency data and properties of Nigerian clay used as a household ceramic water filter, *Results in Engineering* 2 (2019) 100011;
- [107]. Y.Gapak, G.Das, U.Yerramshetty, T.V.Bharat, Laboratory determination of volumetric shrinkage behavior of bentonites: A critical appraisal, *Applied Clay Science* nr. 135 (2017) pag. 554-566;
- [108]. R.Pusch, Use of bentonite for isolation of radioactive waste products, *Clay Minerals* nr. 27 (1992), pag. 353-361;
- [109]. R.Pusch, The performance of clay barriers in repositories for high-level radioactive waste, *Nuclear Engineering and Technology* nr. 38 (2006), pag. 483-488;
- [110]. B.H.Craig, H.Zhai, X.Wang, Estimating hydraulic conductivity of compacted clay liners, *Journal of Geotechnical Engineering* nr. 120 (1994), pag. 366–387;
- [111]. M.Manassero, C.H.Benson, A.Bouazza, Solid waste containment systems, *ISRM International Symposium*, 2000;
- [112]. T.V.Bharat, P.V.Sivapullaiah, M.M. Allam, Swarm intelligence-based solver for parameter estimation of laboratory through-diffusion transport of contaminants, *Computers and Geotechnics* nr. 36 (2009), pag. 984-992;
- [113]. G. Spagnoli, N. Klitzsch, T. Fernandez-Steeger, M. Feinendegen, A.R. Rey, H. Stanjek, R. Azzam, Application of electro-osmosis to reduce the adhesion of clay during mechanical tunnel driving, *Environmental & Engineering Geoscience* nr. 17 (2011) , pag. 417-426;
- [118]. H.H. Murray, Overview, *Clay Mineral Applications*, *Applied Clay Science*, nr. 5 (1991) 379- 395;
- [121]. Ch. Jae-Hyuk, H.P. Jong, P. Gu-Gon, K. Chang-Soo, O. Parka, Proton-conducting composite membranes derived from sulfonated hydrocarbon and inorganic materials.*J. Power Sources* 124,2003, pag. 18–25.
- [122]. K. Charradi, Z. Ahmed, P.Aranda, R. Chtourou, Silica/montmorillonite nanoarchitectures and layered double hydroxide- SPEEK based composite membranes for fuel cells applications, *Applied Clay Science*, nr. 174 (2019), pag. 77-85;
- [123]. M.M. Hasani-Sadrabali, S.H. Emami, R. Ghaffarian, H. Moaddel, Nanocomposite membranes made from sulfonated poly (ether-ther ketone) and montmorillonite clay for fuel cells application, *Energy Fuel* 22 (2008), pag. 2539-2542;

- [124]. R. Gosalawita, S. Chirachanchaia, S. Shishatskiy, S.P. Nunes, Sulfonated montmorillonite/sulfonated poly(ether ether ketone) (SMMT/SPEEK) nanocomposite membrane for direct methanol fuel cells (DMFCs). *J. Membr. Sci.* 323, 2008, pag. 337–346;
- [125]. A.F. Ismail, S.S. Mohtar, T. Matsuura, Preparation and characterization of SPEEK/ MMT-STA composite membrane for DMFC application, *J. Membr. Sci.*, 2011, pag. 371, 10–19;
- [126]. D. Hacer, Y.I. Tülay, K.Murat, K.Metin, Organo-montmorillonites and sulfonated PEEK nanocomposite membranes for fuel cell applications, *Appl. Clay Sci.* 52, 2011, pag. 285–294;
- [127]. S. Sasikala, S. Meenakshi, S.D. Bhat, A.K. Sahu, Functionalized bentonite clay- sPEEK based composite membranes for direct methanol fuel cells, *Electrochim. Acta* 135, 2014, pag. 232–241;
- [128]. J. Jaafar, A.F. Ismail, T. Matsuura, K. Nagai, Performance of SPEEK based polymer–nanoclay inorganic membrane for DMFC. *J. Membr. Sci.* 382, 2011, pag. 202–211;
- [129]. Y.K. Da, J.E. Hye, M.A. Kumar, K.N. Hoon, N. Y. Jun, L.J. Hee , Synthesis and characterization of SPEEK/layered double hydroxide polymer nanocomposite for fuel cell applications. *Adv. Mater. Res.* 747, 2013, pag. 223–234;
- [130]. T.W. Kim, M. Sahimi, T.T. Tsotsis, Hybrid hydrotalcite-sulfonated poly(ether ether ketone) cation-exchange membranes prepared by in situ sulfonation. *Ind. Eng. Chem. Res.* 50, 2011, pag. 3880–3888;
- [131]. B. Kumar, J.P. Fellner, Polymer-ceramic composite protonic conductors, *J. Power Sources* 123, 2003, pag. 132–136;
- [132]. F.S. Mehrab, H.S. Mohammad Mahdi, R.G. Seyyed, A. Atefeh, Investigation of the effects of AMPS-modified nanoclay on fuel cell performance of sulfonated aromatic proton exchange membranes, *Int. J. Hydrog. Energy* 38, 2013, pag. 14076–14084;
- [134]. R.N. Yong, V.R. Ouhadi, Experimental study on instability of bases on natural and lime/cement-stabilized clayey soils, *Appl. Clay Sci.* 35, 2007, pag. 238–249;
- [135]. D.T. Bergado, L.R. Anderson, N. Miura, A.S. Balasubramaniam, *Soft Ground Improvement in Lowland and Other Environments*, ASCE Press, 1996, New York;
- [136]. R. Saadeldin, S. Siddiqua, Geotechnical characterization of a clay-cement mix, *Bull. Eng. Geol. Environ.* 72, 2013, pag. 601–608.
- [147]. **S. Matei**, B.Varga, T. Bedo, A. Pop, M. Stoicanescu, A. Crisan, Composites with clay and bentonite matrix, *Materials today: Proceedings*;
- [148]. **S. Matei**, A. Crisan, Composite materials with ceramic and metallic particles reinforced clay matrix, *Bulletin of the Transilvania University of Brasov*;
- [165]. **S. Matei**, M. Stoicanescu, A. Crisan, Composites with short fibers reinforced epoxy resin matrix, *Procedia Technology*, vol.22, 2016, pag. 174-181, doi.org/10.1016/j.protcy.2016.01.041;
- [168] <http://old.unitbv.ro/Portals/17/Cercetare/pliantC08.pdf> (accesat in 20.04.2019);

Scurt abstract

Prezenta teză de doctorat constă din cercetări teoretice și experimentale asupra obținerii din materiale relativ ieftine, prin tehnici de procedură ușor accesibile, a unor compozite cu proprietăți de utilizare atractive într-o gamă de temperaturi foarte largă, de la temperatura mediului ambiant până la temperaturi de 1250°C. În acest sens s-au elaborat două grupe de compozite și anume: compozite termoplastice și compozite termorezistente. Pentru fiecare grupă s-au realizat mai multe tipuri de compozite cu diferite tipuri de matrici și elemente de ranforsare. Pentru grupa compozitelor termoplastice, ca și matrici s-au utilizat 4 tipuri de rășini epoxidice respectiv 2 tipuri de întăritori. Pentru ranforsare s-au utilizat pulpa de kevlar respectiv fibra de sticlă. Pentru compozitele termorezistente, matricea s-a realizat din argilă, respectiv bentonită. Pentru ranforsare s-au utilizat pulberi ceramice (SiC, Al₂O₃) și metalice (Cu, Al, Fe). În funcție de cantitatea de pulberi ceramice aceste compozite sunt de două tipuri: cu procent scăzut de particule ceramice (5÷16,7) și cu procent ridicat de particule ceramice (50÷60). Pentru caracterizarea compozitelor realizate s-au confecționat probe adecvate procedurilor specifice de lucru, pe care s-au determinat o serie de caracteristici: proprietăți fizice (greutate, volum, densitate, etc.), proprietăți mecanice (rezistența la tracțiune, rezistența la încovoiere, rezistența la compresiune, etc.), aspecte de suprafață (microscopie optică și electronică), compoziții chimice (spectrometrie SEM EDX), difracție cu raze X, analize termice (dilatometrie și analize TG-DTA) și determinarea porozității. În cazul compozitelor termoplastice, cele ranforsate cu fibra de sticlă au obținut proprietăți superioare față de cele ranforsate cu pulpă de kevlar. În cazul compozitelor termorezistente, cele pe bază de bentonită au obținut proprietăți mult mai bune decât cele pe bază de argilă.

Short abstract

This doctoral thesis consists of theoretical and experimental researches on the obtaining of relatively inexpensive materials, through easily accessible procedures, the composites with attractive application properties in a very wide range of temperatures, from ambient temperature to temperatures 1250°C. On this line, two groups of composites were developed: thermoplastic composites and thermoresistant composites. For each group, several types of composites with different types of matrix and reinforcement elements were made. For the thermoplastic composite group, as a matrix, 4 types of epoxy resins and 2 types of hardeners were used. Kevlar pulp and glass fiber was used for reinforcement. For thermoresistant composites, the matrix was made of clay and bentonite. Ceramic powders (SiC, Al₂O₃) and metallic (Cu, Al, Fe) were used for reinforcement. Depending on the amount of ceramic powders, these composites are of two types: with a low percentage of ceramic particles (5 ÷ 16.7) and a high percentage of ceramic particles (50 ÷ 60). In order to characterize the composites, samples were made according to the specific working procedures, on which a number of characteristics were determined: physical properties (weight, volume, density, etc.), mechanical properties (tensile strength, bending strength), surface appearance (optical and electronic microscopy), chemical compositions (SEM, EDX, spectrometry), X-ray diffraction, thermal analysis (dilatometry and TG-DTA analysis) and porosity determination. In the case of thermoplastic materials, the composites reinforced with glass fiber have superior properties to those reinforced with Kevlar pulp. In the case of thermoresistant materials, the composites with bentonite matrix have much better properties than the composites reinforced clay matrix.



Curriculum Vitae



Informatii personale

Nume / Prenume **Matei (Radu) Simona Corina**
Adresa(e)
Telefon(oane)
E-mail(uri) § ; simona.matei@unitbv.ro
Naţionalitate(-tăţi) Romana
Data naşterii 1
Sex Feminin

Experienţa profesională

Perioada 08/09/2011 – 18.05.2016
Funcţia sau postul ocupat Inginer proiectant
Numele şi adresa angajatorului S.C. TOHAN S.A. Aleea Uzinei 1, Zarnesti (Romania)

Educaţie şi formare

Perioada 02.10.2012 - prezent
Pozitie ocupata Doctor inginer
Tema tezei de doctorat: "Cercetari asupra sintezei, caracterizarii si utilizarii unor compozite cu matrice ceramica termorezistente"
Numele şi tipul instituţiei de învăţământ/furnizorului de formare UNIVERSITATEA TRANSILVANIA Brasov (Facultatea Stiinta si Ingineria Materialelor)
Brasov (Romania)
Perioada 1.10.2009- 15.07.2011
Diploma obţinută Master in Ingineria si Managementul Materialelor Avansate – Metalice, Ceramice si Compozite
Numele şi tipul instituţiei de învăţământ/furnizorului de formare UNIVERSITATEA TRANSILVANIA Brasov (Facultatea Stiinta si Ingineria Materialelor)
Brasov (Romania)
UNIVERSITATEA de STIINTA si TEHNOLOGIE LILLE (FRANTA)
Perioada 01/10/2005 - 01/10/2009
Diploma obţinută Inginer in Stiinta si Ingineria Materialelor
Numele şi tipul instituţiei de învăţământ/furnizorului de formare UNIVERSITATEA TRANSILVANIA BRASOV (Facultatea Stiinta si Ingineria Materialelor)
Brasov (Romania)

Activitate stiintifica

1 lucrare ISI si 1 lucrare B+/BDI publicate
1 lucrare ISI si 1 lucrare B+/BDI aflate in curs de publicare
4 participari la conferinte internationale



Curriculum Vitae



Personal Information

Name/ Surname **Matei (Radu) Simona Corina**
Address
Telephone
E-mail simona.matei@unitbv.ro
Nationality Romanian
Date of birth 1
Sex Female

Work experience

Dates 08/09/2011 – 18.05.2016
Position held Design Engineer
Name and address of employer S.C. TOHAN S.A., Zarnesti (Romania)

Education and training

Dates 02.10.2012 - present
Title of qualification awarded PhD Student
Theme of the thesis: "Research on the synthesis, characterization and use of composite with thermosetting ceramic matrix composites"
Name of organisation Transilvania University of Brasov, Faculty of Material Science and providing education and training Engineering Brasov, Romania
Dates 1.10.2009- 15.07.2011
Title of qualification awarded Master in Engineering and Management of Advanced Metallic, Composite and Ceramics Materials
Name of organisation providing education and training Transilvania University of Brasov, Faculty of Material Science and Engineering Brasov, Romania University of Science and Technology, Lille (France)
Dates 01/10/2005 - 01/10/2009
Title of qualification awarded Bachelor's Degree in Material Science and Engineering
Name of organisation providing education and training Transilvania University of Brasov, Faculty of Material Science and Engineering Brasov, Romania

Scientific activity

1 ISI papers and 1 papers B+/BDI published
1 ISI papers and 1 papers B+/BDI in process of publication
Attendance of 4 international conference