

**UNIVERSITATEA POLITEHNICA DIN BUCUREȘTI**  
**FACULTATEA ȘTIINȚA ȘI INGINERIA MATERIALELOR**

**Ing. Ana-Maria ILIE**

**TEZĂ DE DOCTORAT**

**- Rezumat -**

**CERCETĂRI PRIVIND DEGRADAREA MATERIALELOR**  
**LA TURNAREA CONTINUĂ (T.C.) A OȚELURILOR**

**Conducător doctorat**

**Prof.univ.emerit Avram NICOLAE**

**București**

**2017**

**C U P R I N S**

	Pagină
	Teză Rezumat
PREFAȚĂ -----	5 ----- 1
Capitolul Întâi	
INTRODUCERE PRIVIND CORELAȚIA OBIECTIV-DIALECTICĂ ÎNTRE DEGRADAREA MATERIALULUI ȘI CALITATEA PRODUSULUI -----	7 ----- 2
1.1. Procesele de degradare – suport pentru alterarea calității materialelor -----	8 ----- 2
1.2. Aspecte noi de paradigmă și metodologie folosite la cunoașterea proceselor de degradare la turnarea continuă a oțelurilor -----	13 ----- 3
1.2.1. Utilizarea performantă și degradarea – procese contrarii unitare derulate în ciclul de viață al materialului -----	14 ----- 3
1.2.2. Degradarea materialelor – proces ecologic de generare a materialelor secundare pluante -----	15 ----- 3
1.2.2.1. Cazul impurificării cu incluziuni a topiturilor metalice -----	15
1.2.2.2. Cazul interacțiilor distructive dintre oțelul topit și căpușeala ceramică refractară -----	16
1.2.3. Interdependența dintre degradare și funcția de material durabil (ceramică) ---	17 ----- 3
Capitolul al II-lea	
STAREA ACTUALĂ A CUNOAȘTERII FENOMENELOR DE DEGRADARE A MATERIALELOR LA T.C. -----	19 ----- 3
2.1. Analiza degradării cu elemente de ingineria incluziunilor -----	19 ----- 3
2.1.1. Complexitatea ingineriei incluziunilor -----	19 ----- 3
2.1.2. Incluziunile nemetalice – factor de degradare a calității oțelului -----	21 ----- 4
2.1.2.1. Unele aspecte generale -----	21
2.1.2.2. Informații concrete cu referire la influența incluziunilor asupra degradării materialelor -----	22
2.1.3. Incluziunile nemetalice – posibil factor de îmbunătățire a calității și de prevenire a degradării precoce -----	24 ----- 4
2.1.3.1. Influența pozitivă a incluziunilor asupra microstructurii și proprietăților oțelurilor T.C. -----	24
2.1.3.2. Influențarea pozitivă a turnabilității -----	29
2.1.4. Aspecte generale privind mecanismele de generare a incluziunilor nemetalice în materialele feroase -----	32 ----- 4
2.2. Degradarea materialelor ceramice din căpușelile ceramice refractare ale I.T.C. -----	35 ----- 5
Capitolul al III-lea	
OBIECTIVELE ȘI PLANUL CERCETĂRILOR. METODOLOGIA DE CERCETARE. LOCAȚII ȘI APARATURĂ DE EXPERIMENTĂRI -----	43 ----- 4
3.1. Posibile direcții și obiective de cercetare luate în considerare pentru teza de față -----	43 ----- 5
3.2. Stabilirea direcțiilor majore de cercetare. Planul de cercetare -----	45 ----- 5
3.3. Zona tehnologică de plasare a cercetărilor -----	47 ----- 6
3.4. Materiale supuse cercetării -----	55 ----- 6
3.4.1. Oțeluri -----	56 ----- 6

**CERCETĂRI PRIVIND DEGRADAREA MATERIALELOR LA TURNAREA  
CONTINUĂ (T.C.) A OȚELURILOR**

3.4.2. Amestecuri ceramice cercetate	56	6
3.4.2.1. Compoziții chimice	56	6
3.4.2.2. Caracterizare mineralogică	56	6
3.5. Infrastructura de cercetare	58	8
3.5.1. Locații de cercetare	58	8
3.5.2. Proiectarea și realizarea modelului fizico-tehnologic de investigare	59	
3.5.2.1. Capacul	59	
3.5.2.2. Corpul creuzetului	60	
3.5.2.3. Tehnologia de experimentare	62	
3.5.3. Aparatură de cercetare	63	
3.6. Metodologia de cercetare	63	

Capitolul al IV-lea

**CONTRIBUȚII LA CUNOAȘTEREA PE CALE EXPERIMENTALĂ**

<b>A DEGRADĂRII MATERIALELOR LA T.C. A OȚELULUI</b>	67	9
4.1. Schematizare proprie a fenomenelor de interacție oțel-material ceramic	67	9
4.2. Cercetări experimentale de caracterizare a proceselor de degradare a materialelor la T.C. a oțelului	69	9
4.2.1. Transformări fizico-chimico-mineralogice la degradarea materialelor ceramice din căptușelile refractare ale instalațiilor tehnologice	69	9
4.2.1.1. Rezultate experimentale	69	9
4.2.1.1.1. Cazul amestecurilor pe bază de magnezie pură (A.C.M)	70	
4.2.1.1.2. Cazul A.C. pe bază de magnezie cu silica scăzută (A.C.M.C.C.)	72	
4.2.1.1.3. Cazul A.C. pe bază de magnezie cu silica medie, (A.C.M.S.M.)	74	
4.2.1.1.4. Cazul amestecului de magnezie cu mult var (A.C.M.V.)	75	
4.2.1.2. Prelucrarea datelor. Interpretarea rezultatelor	76	10
4.2.2. Generarea incluziunilor exogene în procesele de degradare precoce a oțelurilor la T.C.	78	11
4.2.2.1. Generarea de incluziuni metalice	79	11
4.2.2.2. Generarea incluziunilor nemetalice	82	12
4.2.2.2.1. Formarea oxidului de fier în suprafața de contact	82	
4.2.2.2.2. Formarea oxidului de fier în cristalele de periclaz	82	
4.2.2.2.3. Cercetarea altor tipuri de incluziuni	85	
4.2.2.2.4. Analiza transferului de incluziuni amestec ceramic-oțel	88	
4.2.2.3. Cercetarea posibilităților de generare a metalelor în interiorul altor faze	93	
4.2.2.3.1. Generarea în oțelul topit	93	
4.2.2.3.2. Generarea în amestecul ceramic	97	

Capitolul al V-lea

**CONCLUZII PRIVIND ÎMBOGĂȚIREA PATRIMONIULUI DE CUNOȘTINȚE  
REFERITOARE LA DEGRADAREA MATERIALELOR**

	100	12
5.1. Aspecte generale privind noutățile	100	
5.2. Aspecte specifice privind noutățile	102	
5.3. Necesitatea continuării cercetărilor	104	

Capitolul al VI-lea

**CONCLUZII FINALE**

Capitolul al VII-lea

**NECESITATEA CONTINUĂRII CERCETĂRIILOR**

<b>BIBLIOGRAFIE</b>	106	16
---------------------	-----	----

**Cuvinte cheie:**

*Oțel, materiale ceramice refractare, degradare precoce,  
analize chimice, analize structurale*

## PREFAȚĂ

Cercetarea căilor de maximizare a performanțelor în ingineria materialelor metalice trebuie astăzi proiectată și operaționalizată pe coordonatele a două concepte (modele) moderne de evoluție:

- cunoașterea globală;
- dezvoltarea durabilo-sustenabilă a societății.

Într-un context ca cel de mai sus, devine necesar ca inginerul de materiale metalice să investigheze intercondiționările și interacționările existente în zonele de convergență dintre trei sisteme:

- sistemul social (calitatea vieții în legătură cu nevoile socio-cultural);
- sistemul natural-ecologic (calitatea mediului înconjurător în legătură cu prevenirea poluării factorilor de mediu);
- sistemul tehnologic, în legătură cu maximizarea calitativă a parametrilor tehnologico-tehnologici de fabricare și de utilizarea a materialelor metalice.

Într-un tablou atât de complex ca cel descris anterior, autoarea, inginer de materiale metalice, și-a propus să cerceteze un fenomen mai puțin studiat, dar care are implicații importante în zonele intersistem amintite. **Degradarea materialelor** este numele acestui fenomen obiectiv, despre care, de la bun început, se poate spune:

- determină direct durabilitatea materialelor și produsele, deci *utilitatea socială* a acestora;
- influențează procesul de transformare a materialului primar în material secundar (deșeu sau reziduu), care sunt substanțe poluante;
- are efect negativ asupra calității proceselor de fabricație a materialelor și a durabilității componentelor echipamentelor și instalațiilor industriale.

Autoarea și-a concentrat atenția asupra *degradării tehnologice* (în general) și a *degradării precoce* (în special) care determină alterarea calității oțelurilor încă din *fazele primare ale ciclului de viață*: elaborarea oțelului și turnarea continuă (T.C.) a acestuia. Într-un astfel de cadru, cercetările experimentale de îmbogățire a patrimoniului de cunoștințe privind degradarea materialelor metalice a fost proiectată pe două secțiuni principale:

- transformări fizico-chimico-mineralogice la degradarea materialelor ceramice din căptușelile ceramice ale instalațiilor tehnologice;
- generarea incluziunilor exogene în procesele de degradare precoce a oțelurilor la T.C.

Experimentările s-au efectuat în condiții dificile și pretențioase (lucru cu oțeluri 1600°C, condiții industriale, aparatură modernă de investigare etc.) fapt care depășește posibilitățile reale ale unui singur cercetător, motiv pentru care autoarea a apelat la sprijinul științific, profesional și uman venit din partea a doua colective prestigioase cărora le mulțumește foarte mult și pe această cale. Este vorba despre:

- Departamentul de cercetare de la firma austriacă Voestalpine Stahl Linz, care și de data aceasta și-a dovedit potențialul de colegială colectivă cu U.P.B. București;
- Colectivul de Ingineria mediului și Centrul de Cercetări și Expertizări Ecometalurgice, sub tutela cărora autoarea s-a format ca inginer și a lucrat ca doctorand.

Nu în ultimul rând, autoarea aduce mulțumiri respectuoase d-lui Avram NICOLAE, profesor – conducător doctor, care cu deosebit tact didactic a reușit să mă transforme într-o persoană gata de-acum încolo să participe, indiferent de preocupările cotidiene, la stabilirea soluțiilor ingineresti destinate rezolvării disfuncțiilor apărute în zonele de convergență, care au constituit domeniul de studiu pentru această teză.

**Autoarea**

## Capitolul I

### INTRODUCERE PRIVIND CORELAȚIA OBIECTIV-DIALECTICĂ ÎNTRE DEGRADAREA MATERIALULUI ȘI CALITATEA PRODUSULUI

#### 1.1. PROCESELE DE DEGRADARE – SUPTOR PENTRU ALTERAREA CALITĂȚII MATERIALELOR

Tema principală a tezei este reprezentată de **degradarea materialelor** ca eveniment major determinant pentru variația *calității produsului* de-a lungul întregului *ciclu de viață* (c.v.) al acestuia. Altfel scris, va fi investigată *corelația obiectiv-dialectică* între degradare și calitate.

Trebuie semnalat de la bun început că în prezent nu există lucrări în care inginerul de materiale metalice să abordeze degradarea pe baza unei *teorii a degradării*, fundamentate, la randul ei, pe metodologii și paradigme noi.

Este admis de asemenea, la nivelul de evidență, că în cazul fabricației și utilizării materialelor **calitatea este rezultată a degradării și invers.**

Într-un context ca cel de mai sus sunt definite noțiuni, precum:

- calitatea;
- caracteristicile calității;
- entitatea;
- produsul;
- materialul;
- adaptabilitatea și complexitatea materialului la restricțiile impuse de cele patru sisteme: natural-ecologic, social, economic și tehnologic.

Sunt definite și caracterizate noțiuni noi, precum:

- **Degradarea tehnologică** sau **degradarea primară**: degradarea materialului derulată la fabricația materialului;
- **Degradarea de utilizare**: degradarea constatată în timpul fazei de utilizare a ciclului de viață;
- **Degradarea obiectivă**; - **Degradarea subiectivă**;
- **Degradarea de proces**: descrie degradarea *calității proceselor* tehnologice datorată factorilor perturbatori cu implicații directe asupra calității finale;
- **Degradarea precoce**, ca fază a degradării tehnologice, este degradarea datorită factorilor perturbatori din primele segmente ale c.v. (prepararea materiilor prime, elaborare, turnare):
- **Degradarea complexă** este degradarea la care participă mai multe materiale tehnologice.

Noțiunile de mai sus se vor operaționaliza în teză, ținând seama de aspectele redată în continuare.

♦ Lucrarea își propune să cerceteze degradarea materialelor începând cu fazele inițiale ale c.v., și anume, procesele care au loc la elaborarea și turnarea continuă a oțelului.

♦ Se va insista asupra *degradării precoce*, ca parte a degradării proceselor tehnologice și, implicit, a materialelor, derulate în distribuitorul instalației de turnare continuă (I.T.C.).

♦ Este vorba despre o *degradare complexă*, deoarece la ea participă două feluri de materiale: oțelul topit supus T.C. și materialele ceramice ale căptușelilor refractare, ca element de construcție al I.T.C.

♦ *Fenomenele fundamentale* care au loc sunt *fenomenele de interacție între cele două materiale*, cu efecte degradante (distructive), materializate în:

## **CERCETĂRI PRIVIND DEGRADAREA MATERIALELOR LA TURNAREA CONTINUĂ (T.C.) A OȚELURILOR**

---

- *generarea de incluziuni*, care influențează negativ calitatea oțelului;
- *micșorarea durabilității* căptușelilor ceramice, datorită formării de compuși cu proprietăți inferioare celor ale materialelor de fabricație primară.

### **1.2. ASPECTE NOI DE PARADIGMĂ ȘI METODOLOGIE FOLOSITE LA CUNOAȘTEREA PROCESELOR DE DEGRADARE LA TURNAREA CONTINUĂ A OȚELURILOR**

Studierea degradării materialelor în fazele inițiale ale c.v. presupune trecerea la un nivel de investigare superior, prin apelarea la metodologii și paradigme noi.

#### **1.2.1. Utilizarea performantă și degradarea – procese contrarii unitare derulate în ciclul de viață al materialului**

În teză se afirmă și se demonstrează că, atât la fabricare, cât și la utilizare, calitatea este rezultatul a două fenomene contradictorii, dar unitare: utilizarea performantă și avansată, pe de o parte, și degradarea, pe de alta.

#### **1.2.2. Degradarea materialelor – proces ecologic de generare a materialelor secundare pluate**

Se aduc argumente și exemple în sprijinul ideii că degradarea determină *transformarea materialului primar (oțelul) în material secundar* (deșeu sau reziduu).

#### **1.2.3. Interdependența dintre degradare și funcția de material durabil (sustenabil)**

Se dau argumente și exemple că degradarea influențează major funcția de *material durabil (sustenabil)* a matericelor metalice.

În concluzie, se poate afirma că *cercetarea degradării materialelor* în fazele primare ale c.v. devine țintă majoră, deoarece:

- ea determină *utilitatea socială* a materialelor și produselor (legătură cu sistemul social);
- ea determină apariția deșeurilor și reziduurilor poluante (legătură cu sistemul natural-ecologic);
- ea determină diminuarea performanțelor tehnologice ale materialelor (legătură cu sistemul tehnologic).

## **Capitolul al II-lea**

### **STADIUL ACTUAL AL CUNOAȘTERII FENOMENELOR DE DEGRADARE A MATERIALELOR LA T.C.**

#### **2.1. ANALIZA DEGRADĂRII CU ELEMENTE DE INGINERIA INCLUZIUNILOR**

##### **2.1.1. Complexitatea ingineriei incluziunilor**

Se scoate în evidență apariția unei noi subramuri științifice: *ingineria (metalurgia) incluziunilor*, care semnalizează dublul rol al incluziunilor. În primul rând, este vorba despre influența incluziunilor asupra *evenimentelor de degradare* și deci, asupra *alterării calității materialelor*. În al doilea rând, este vorba despre influența pozitivă asupra performanței tehnologice a fenomenelor de turnare-solidificare, apreciată astăzi prin ceea ce se numește **turnabilitatea materialului în domeniul T.C.** [47].

Se prezintă o definiție proprie turnabilității.

**2.1.2. Incluziunile nemetalice – factor de degradare a calității oțelului**

Sunt definite noțiuni precum:

- incluziuni;
- ingineria incluziunilor;
- impactul negativ al incluziunilor;
- puritatea oțelului;
- impurificarea oțelului;
- afinarea oțelului;
- incluziuni nemetalice oxidice;
- gradul de puritate oxidică.

Se prezintă influența negativă a incluziunilor privind:

- plasticitatea oțelului;
- proprietățile mecanice;
- rezistența la oboseală;
- sudabilitatea;
- rezistența la coroziune;
- proprietăți electrice și magnetice;
- rezistență la uzură;
- prelucrabilitate.

**2.1.3. Incluziunile nemetalice – posibil factor de îmbunătățire a  
calității și de prevenire a degradării precoce**

Se analizează posibila influență pozitivă a incluziunilor privind:

- microstructura și proprietățile oțelului;
- mecanismul de influențare a acestor proprietăți;
- turnabilitatea.

**2.1.4. Aspecte generale privind mecanismele de generare a incluziunilor  
nemetalice în materiale feroase**

S-au avut în vedere factorii care influențează procesele de generare a *incluziunilor exogene*:

- umectabilitatea;
- unghiurile de contact interfazice;
- forma incluziunii.

S-au analizat aspecte fundamentale, precum:

- influența incluziunilor asupra generării (nucleației) altor faze;
- mecanismul de generare a incluziunilor endogene.

**Concluzii**

- ♦ Fenomenele care trebuie aprofundate țin de interacțiunile între oțelul topit și materialele ceramice ale căptușelilor refractare;
- ♦ Preocupați cu precădere de incluziunile endogene, inginerii de materiale metalice au acordat *mai puțină atenție* incluziunilor exogene;
- ♦ Devine necesar, ca pentru cunoașterea mai aprofundată a proceselor de interacție să se apeleze la cunoștințele furnizate și de specialiști care au cercetat mai mult *coroziunea materialelor ceramice refractare* folosite la instalațiile termotehnologice metalurgice;



## **CERCETĂRI PRIVIND DEGRADAREA MATERIALELOR LA TURNAREA CONTINUĂ (T.C.) A OȚELURILOR**

- ♦ Se recomandă completarea dezoxidării pe bază de Al, prin tratarea topiturilor cu Ti și/sau Ca, care determină trecerea la incluziuni globulare ca o măsură favorabilă pentru procesele de degradare;
- ♦ Prezintă importanță extinderea tehnologiilor bazate pe *incluziuni proiectate* aplicând măsuri de optimizare privind *morfologia incluziunilor* (dimensiune, formă, densitate, porozitate).

### **2.2. DEGRADAREA MATERIALELOR CERAMICE DIN CĂPTUȘELILE REFRACTARE ALE I.T.C.**

Sunt analizate procesele și fenomenele de degradare a materialelor ceramice din căptușelile refractare ale instalațiilor.

#### **Concluzii**

- Cercetarea degradării materialelor ceramice înseamnă preocuparea interdisciplinară între inginerii de materiale metalice (ca utilizatori de materiale ceramice) și inginerii chimiști (ca furnizori de materiale ceramice);
- Cercetările trebuie să aibă în vedere mărirea durabilității căptușelilor refractare prin diminuarea fenomenelor de degradare.

### **Capitolul al III-lea**

OBIECTIVELE ȘI PLANUL CERCETĂRILOR. METODOLOGIA DE CERCETARE.  
LOCAȚII ȘI APARATURĂ DE EXPERIMENTĂRI

#### **3.1. POSIBILE DIRECȚII ȘI OBIECTIVE DE CERCETARE LUATE ÎN CONSIDERARE PENTRU TEZA DE FAȚĂ**

#### **3.2. STABILIREA DIRECȚIILOR MAJORE DE CERCETARE. PLANUL DE CERCETARE**

În urma analizelor anterioare se trage concluzia că pentru rezolvarea temei s-au avut în vedere aspecte prezentate (selectiv) în continuare.

a) Pentru lucrarea de față cercetările vor fi plasate în zona extinsă a cunoașterii degradării, adică în domeniul de *dublu interes pentru degradare*, ceea ce înseamnă sfera de interacții între:

– zona topiturilor metalurgice (zonă de interes major pentru tehnologia metalurgică de elaborare-turnare-solidificare), în care au loc procesele de generare a incluziunilor endogene;

– zona materialelor ceramice ale căptușelii instalației (zonă de interes și pentru fabricantul de materiale ceramice).

b) Se deduce că lucrarea va *aborda cu prioritate fenomenele legate de incluziunile exogene*. Se procedează astfel și deoarece autoarea a constatat că în prezent atenția metalurgiștilor se *concentrează preponderent* asupra incluziunilor endogene.

c) Orientarea cercetărilor spre direcții ca cele de mai sus este justificată și de un alt aspect. În prezent, interacțiile din zona metal-ceramic sunt cercetare și de inginerul de materiale ceramice, dar din punctul de vedere al *degradării ceramicelor prin coroziune*. Nu poate fi decât benefic dacă inginerul de materiale metalice procedează și el la cunoașterea mai aprofundată a acestei zone.

d) O situație precum cea anterioară demonstrează că inginerul de materiale metalice trebuie să programeze cercetări în *zone de convergență*, așa cum este *zona material metalic – material ceramic*.

**CERCETĂRI PRIVIND DEGRADAREA MATERIALELOR LA TURNAREA  
CONTINUĂ (T.C.) A OȚELURILOR**

**3.3. ZONA TEHNO-TEHNOLOGICĂ DE PLASARE A CERCETĂRIILOR**

Sunt descrise construcția și funcționarea I.T.C.

**3.4. MATERIALE SUPUSE CERCETĂRII**

Interacțiunile de degradare se derulează pe doi vectori materiali: oțel topit și materialul ceramic al căptușelii refractare a *distribuitoarelor din I.T.C.*.

**3.4.1. Oțelurile**

Au fost cercetate trei mărci de oțeluri (tabelul 3.1).

*Tabelul 3.1*

Denumire oțel	Simbol	Compoziție chimică								
		C %	Si %	Mn %	P %	S %	Al %	Ti %	Nb %	Cr %
Oțel cu carbon scăzut	OCS	0,0550	0,003	0,178	0,0090	0,0160	0,041	-	-	-
Oțel cu carbon foarte scăzut	OCFS	0,0018	0,005	0,090	0,0066	0,0071	0,040	0,046	-	-
Oțel barbotat	OB	0,033	0,316	1,530	0,0075	0,0006	0,035	0,012	0,045	0,166

**3.4.2. Amestecuri ceramice cercetate**

**3.4.2.1. Compoziții chimice**

Amestecurile ceramice (A.C.) au fost preparate folosind materiale cu compozițiile din tabelul 3.2.

*Tabelul 3.2.*

Denumire	Simbol	Compoziție				
		MgO %	CaO %	SiO <sub>2</sub> %	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %
Magnezie pură	A.C.M.	93,4	3,1	2,9	0,5	0,1
Magnezie cu silica scăzută	A.C.M.S.S.	80,8	2	14,4	2,6	0,1
Magnezie cu silica medie	A.C.M.S.M.	66	1	26,7	5,1	0,6
Magnezie cu var	A.C.M.V.	80,4	14	1	4	0,6

**3.4.2.2. Caracterizare mineralogică**

Pentru evaluarea degradării chimico-mineralogice a componentelor A.C. devine necesară cunoașterea stării inițiale a componentelor.

*a) Amestecul pe bază de magnezie pură (A.C.M.)*

Testul de referință este prezentat în figura 3.8.

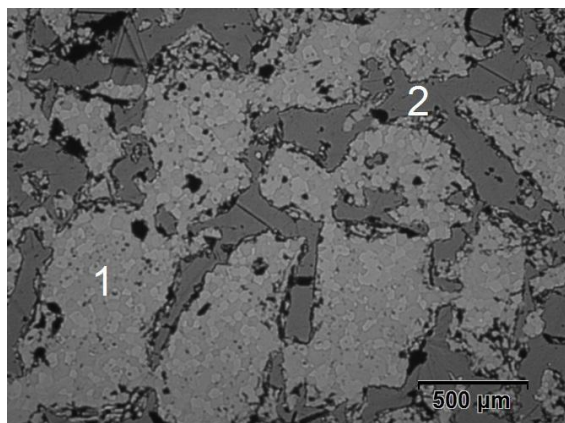
*b) Amestecul pe bază de magnezie cu var (A.C.M.V.)*

Testul de referință este prezentat în figura 3.9. Amănunte (dreptunghiul din figura 3.9.) sunt redată în figura 3.10., din care se remarcă fazele: periclaz, CaO și CAF<sub>ss</sub>.

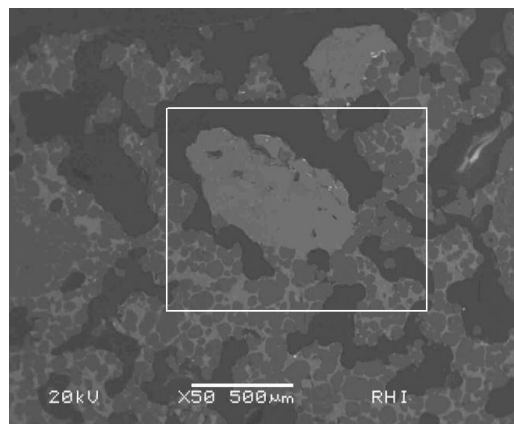
*c) Amestecul pe bază de magnezie și silica, scăzută (A.C.M.S.S.).* Amestecul a conținut 14% silica. Testul de referință este dat în figura 3.13., iar amănunte, în figura 3.14.

**CERCETĂRI PRIVIND DEGRADAREA MATERIALELOR LA TURNAREA CONTINUĂ (T.C.) A OTELURILOR**

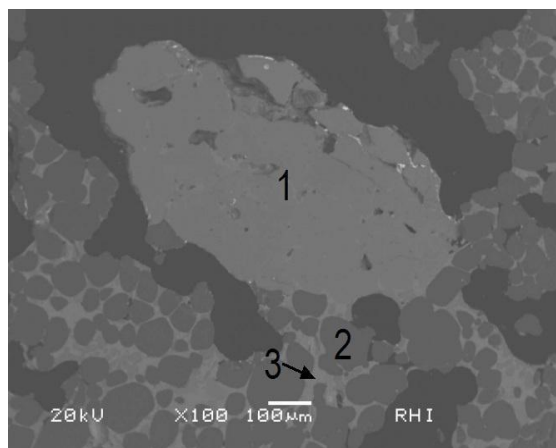
d) Amestecul pe bază de magnezie, cu silica medie, A.C.M.S.M. Amestecul a conținut 28% silică. Testul de referință este dat în figura 3.13., iar amănunte, în figura 3.14.



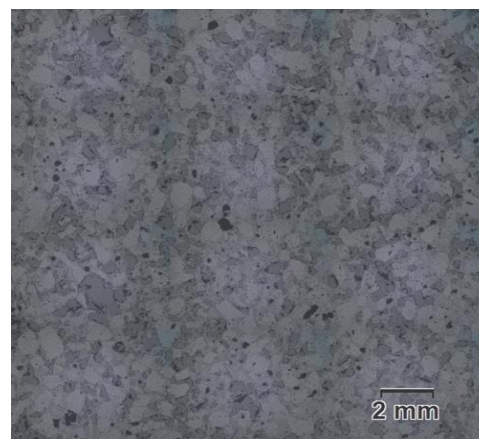
**Fig.3.8. Structura A.C.M**  
1 – peiclaz; 2 – por umplut cu rășină de preparare.



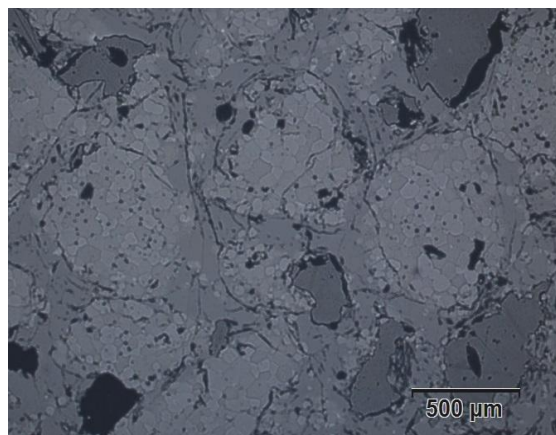
**Fig.3.9. Structura A.C.M.V.**



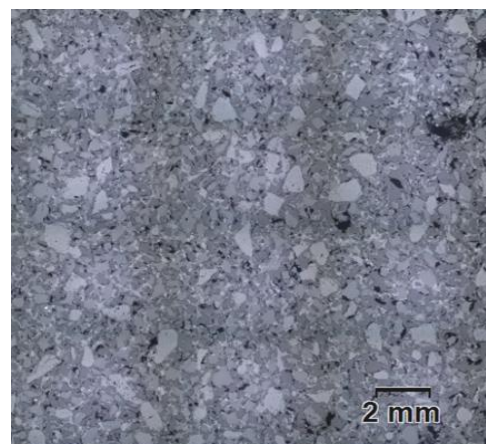
**Fig.3.10. Detaliu de structură pentru A.C.M.V.**  
1 – CaO; 2 – peiclaz; 3 – CAF<sub>ss</sub>; 4 – por.



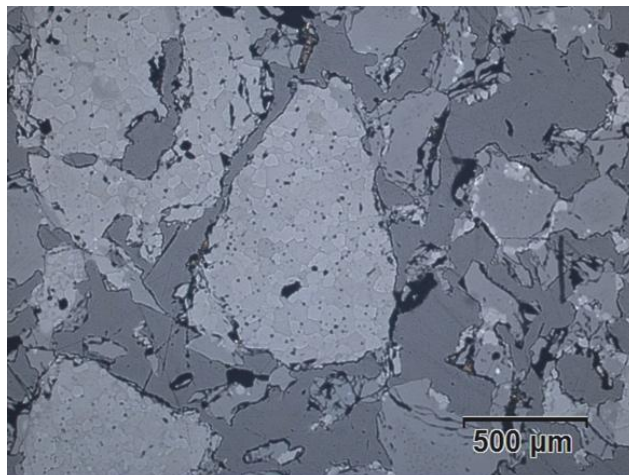
**Fig.3.11. Structura A.C.M.S.S.**



**Fig.3.12. Detalii de structură pentru A.C.M.S.S.**



**Fig.3.13. Structura A.C.S.M.**  
1 – periclaz; 2 – por.



**Fig.3.14.** Amănunte structurale pentru A.C.M.S.M.  
1 – periclaz; 2 – por.

- După arderea la 1600 °C (temperatura de experiment) structura mineralogică a fost:
- Amestec de magnezie (oxid de magneziu) pură: periclaz și monticellite;
  - Amestec de magnezie cu mult var: periclaz, oxid de calciu și soluție solidă alumino-ferită;
  - Amestec de magnezie-olivine (14% SiO<sub>2</sub>): periclaz, olivină și monticellite.
  - Amestec de magnezie-olivine (28% SiO<sub>2</sub>): periclaz, olivine, magnezio-ferită și Mg-Al-CR- Fe-spinel.

### 3.5. INFRASTRUCTURA DE CERCETARE

#### 3.5.1. Locații de cercetare

Cercetările au fost efectuate în două locații:

- Centrul de ceretări al Voestalpine Linz A.G. Austria;
- Centrul de Cercetări și Expertizări Ecometalurgice (C.C.E.E.M.-ECOMET) din Facultatea Știința și Ingineria Materialelor.

În teză sunt prezentate operațiile de proiectare și realizare a modelului tehnologic în care au loc procesele de interacție oțel-material ceramic.

Sunt prezentate de asemea informații privind tehnologia de experimentare, aparatură de cercetare și metodologia de cercetare.

*Situațiile particulare de investigație* au rezultat ca urmare a faptului că interacțiunile de degradare se derulează pe suporturile a doi vectori: oțel topit și materiale ceramice, componente ale căptușelilor refractare.

O situație de cercetare este reprezentată de cuplul *o categorie de oțel + o categorie de material ceramic*. S-au folosit simbolurile folosite mai jos.

Pentru oțel:

Marca	Simbolul
Oțel cu carbon scăzut	OCS
Oțel cu carbon foarte scăzut	OCFS
Oțel barbotat	OB

Pentru amestecuri ceramice:

**CERCETĂRI PRIVIND DEGRADAREA MATERIALELOR LA TURNAREA  
CONTINUĂ (T.C.) A OȚELURILOR**

Amestecul ceramic (A.C.)	Simbolul
Magnezie pură	A.C.M.
Magnezie cu silică scăzută	A.C.M.S.S.
Magnezie cu silică medie	A.C.M.S.M.
Magnezie cu var	A.C.M.V.

Grila situațiilor de cercetare cu numerotarea experimentului (E) este prezentată în figura 3.23

	A.C.M.	A.C.M.S.S.	A.C.M.S.M.	A.C.M.V.
C.C.S.	E 1	E 2	E 3	E 4
O.C.F.S.	E 5	E 6	E 7	E 8
O.B.	E 9	E 10	E 11	E 12

*Fig.3.23. Grila situațiilor de experimentare.*

Un caz deosebit l-a constituit influența vitezei de răcire (solidificare)  $v_r$  a oțelului, evaluată prin intermediul coeficientului de conductibilitate termică,  $a$ , al materialului ceramic.

$$v_r = f(a); \quad a = \frac{\lambda}{c \cdot \rho}$$

Valorile calculate ale lui  $a$  sunt date în tabelul 3.3.

*Tabelul 3.3*

*Proprietăți termofizice*

Materialul	$\lambda$ [w/m·grd.]	$c$ [J/kg·grd.]	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	$a \cdot 10^3$ [m <sup>2</sup> /s]
MgO (A.C.M.)	5,02	1,35	2750	1,4
CaO	3,3	1,06	2400	1,25
SiO <sub>2</sub>	1,68	1,05	2000	0,8
A.C.M.S.S.				1,28
A.C.M.S.M.				1,20
A.C.M.V.				1,37

**Capitolul al IV-lea**

**REZULTATELE EXPERIMENTĂRIILOR PRIVIND DEGRADAREA MATERIALELOR  
LA T.C. A OȚELULUI**

**4.1. SCHEMATIZARE PROPRIE A FENOMENELOR DE INTERACȚIE  
OȚEL-MATERIAL CERAMIC**

Se prezintă o interpretare proprie a proceselor de interacție oțel-material ceramic, în urma căreia se evidențiază aspectele asupra cărora trebuie insistat prin cercetare experimentală.

**4.2. CERCETĂRI EXPERIMENTALE DE CARACTERIZARE A PROCESELOR DE  
DEGRADARE A MATERIALELOR LA T.C. A OȚELULUI**

**4.2.1. Transformări fizico-chimico-mineralogice la degradarea materialelor  
ceramice din căptușelile refractare ale instalațiilor tehnologice**

*4.2.1.1. Rezultate experimentale*

Pentru toate cele 12 situații de experimentare (E<sub>1</sub> - E<sub>12</sub>) s-a procedat la cunoașterea următorilor indicatori:

- modificări chimice;
- transformări structurale;
- adâncimea de penetrare,  $a_p$ , a oțelului în masa refractară;

## CERCETĂRI PRIVIND DEGRADAREA MATERIALELOR LA TURNAREA CONTINUĂ (T.C.) A OȚELURILOR

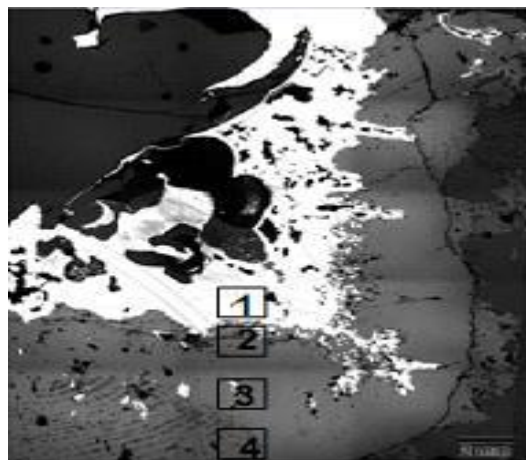
- viteza de răcire a oțelului,  $v_r$ , în ceramic;
- gradul de degradare chimico-structural,  $g_d$ .

În teză sunt prezentate rezultatele privind măsurătorile, aspectele foto ale analizelor de microscopie (figurile 4.2.-4.17) și tabelele cu analizele chimice.

În rezumatul de față se prezintă, ca exemplu, figurile 4.3. și 4.4.



**Fig.4.3.** Cazul interacției A.C.M.-O.C.F.S:  
1-oțel; 2-A.C. penetrat.



**Fig.4.4.** Zone supuse analizelor microscopice.

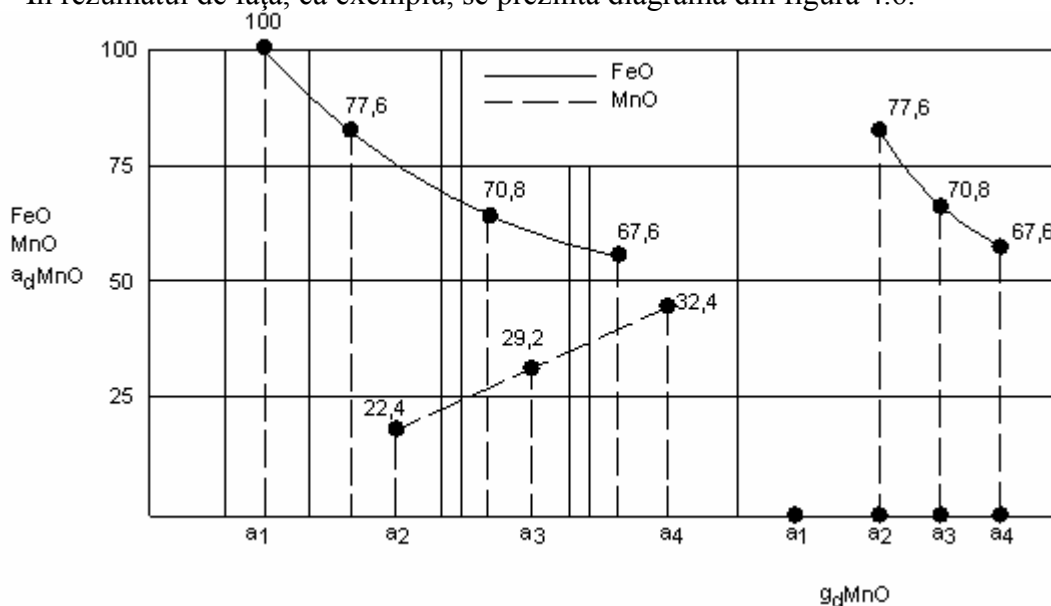
### 4.2.1.2. Prelucrarea datelor. Interpretarea rezultatelor

S-a procedat la *prelucrarea tabelară* și *prelucrarea grafică* a corelațiilor:

- (gradul de degradare MgO – adâncimea de pătrundere,  $a_p$ );
- (adâncimea de pătrundere funcție de natura ceramicului);
- (adâncimea de pătrundere – coeficientul de conductibilitate  $a_c$  al ceramicului folosind valori calculate).

Rezultatele prelucrărilor sunt reprezentate de tabelele (4.1.-4.4.) și figurile 4.6., 4.18., 4.19.

În rezumatul de față, ca exemplu, se prezintă diagrama din figura 4.6.



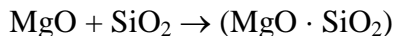
**Fig.4.6.** Dinamica transformărilor chimico-mineralogice.

- Adâncimea de pătrundere  $a_p$  depinde atât de natura oțelului, cât și de natura amestecului ceramic.



## **CERCETĂRI PRIVIND DEGRADAREA MATERIALELOR LA TURNAREA CONTINUĂ (T.C.) A OȚELURILOR**

- Se avansează următoarele explicații:
  - adâncimea este influențată de fluiditatea oțelului (variația carbonului) și de puritatea oțelului (cazul oțelului barbotat);
  - adâncimea de pătrundere este influențată de posibilele reacții din interiorul A.C.; astfel, la A.C.M.S. este posibilă generarea de constituenți cu temperatură scăzută de topire:



➤ Adâncimea de pătrundere este influențată de gradul de îndesare a amestecului ceramic. O astfel de cauză trebuie considerată însă ca o abatere subiectivă de la conformitățile de preparare a amestecului.

➤ Un alt motiv de care ar trebui să se țină seama este refractaritatea amestecurilor, știut fiind că temperaturile de topire ale MgO și CaO sunt mai mari decât cea a SiO<sub>2</sub>.

➤ Se constată că degradarea A.C. evaluată prin  $a_p$  poate fi influențată și cu ajutorul proprietăților termofizice ale A.C.

### **4.2.2. Generarea incluziunilor exogene în procesele de degradare precoce a oțelurilor la T.C.**

Au fost cercetate două posibile situații (incluziuni metalice și incluziuni nemetalice) pentru diverse situații de experimentare combinatorii între oțel și ceramic.

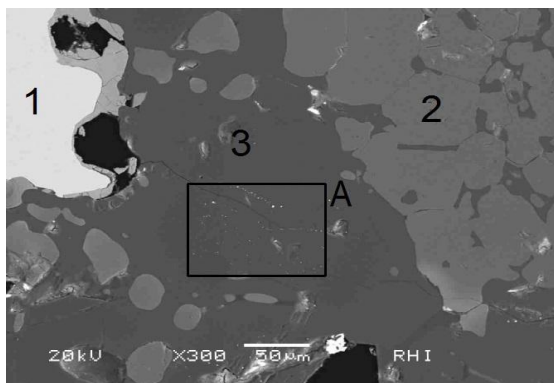
#### **4.2.2.1. Generarea incluziunilor metalice**

Au fost cercetate următoarele situații:

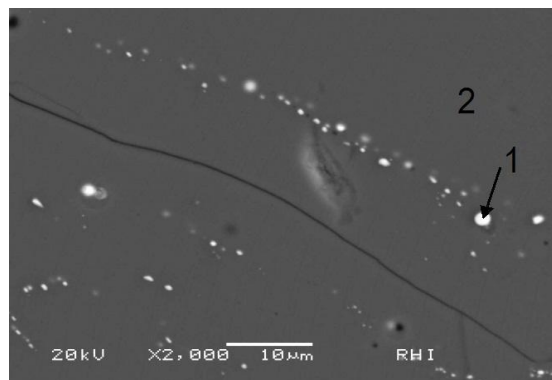
- posibilitatea formării picăturilor de nichel;
- posibilitatea generării picăturilor de siliciu pentru:
  - cazul A.C.M.S.S. în contact cu O.C.S.;
  - cazul A.C.M.S.S. în contact cu O.C. F.S.;
  - cazul A.C.M.S.S. în contact cu O.S.

În teză sunt prezentate rezumatele măsurătorilor și analizelor structurale (figurile 4.20-4.24) și chimice.

În rezumatul de față se prezintă, ca exemplu, cazul formării picăturilor de nichel (fig.4.20. și 4.21).



**Fig.4.20.** Experiment pentru cercetarea formării de Ni:  
1-fier; 2-magnezie-mustită; 3-olivină.



**Fig.4.21.** Detaliul A din figura 4.20:  
1-picături de fero-nichel; 2-olivină.

#### **4.2.2.2. Generarea incluziunilor nemetalice**

S-a cercetat generarea pentru:

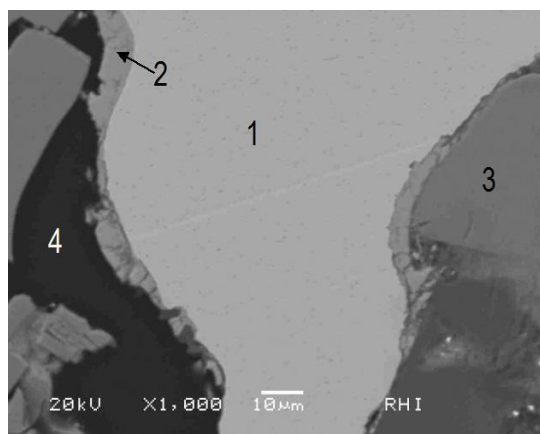
## CERCETĂRI PRIVIND DEGRADAREA MATERIALELOR LA TURNAREA CONTINUĂ (T.C.) A OȚELURILOR

- oxidul de fier în suprafața de contact;
- oxidul de fier în cristale de periclaz;
- sulfuri;
- incluziuni multioxid;
- incluziuni transferate din ceramic în topitură metalică.

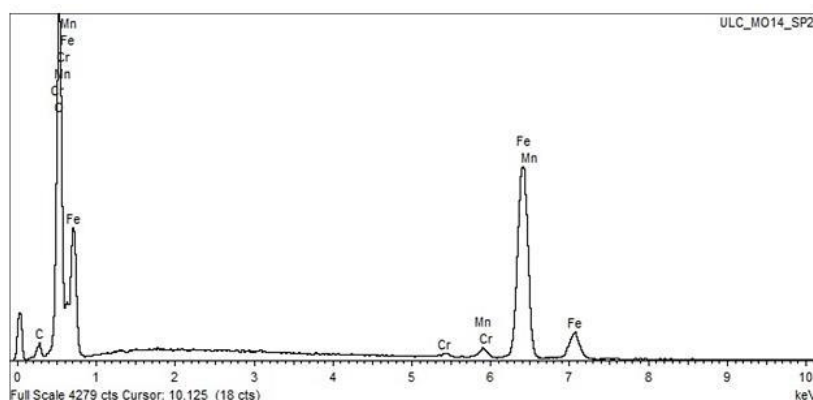
În teză sunt prezentate rezultatele măsurătorilor și analizelor chimice și structurale (fig.4.25-4.71; tabelele 4.6-4.11).

În rezumatul de față se prezintă, ca exemplu:

- ♦ formarea oxidului de fier în suprafața de contact (fig.4.25);
- ♦ analiza E.D.X. pentru o incluziune detașabilă în cazul interacției A.C.M.S.S. – O.C.F.S. (fig.4.44).



**Fig.4.25.** Situația la interacția (A.C.M.S.S.-O.C.S.):  
1-fier metalic; 2-FeO; 3-magnezio-wustită;  
4-pasta de preparare.



**Fig.4.44.** Analiza E.D.X. pentru SP2.



**Capitolul al V-lea  
CONTRIBUȚII PROPRII PRIVIND ÎMBOGĂȚIREA PATRIMONIULUI DE  
CUNOȘȚINȚE REFERITOARE LA DEGRADAREA MATERIALELOR**

a) Lansarea pe piața cunoașterii a cercetării degradării materialelor la T.C. constituie ea însăși o inițiativă de noutate, deoarece:

- prin *degradare precoce*, degradarea unui material începe încă din fazele primare ale ciclului de viață:

- pregătirea (prepararea) resurselor;
- fabricația (elaborarea și turnarea oțelului).

- este vorba de *degradare complexă*, la care participă două categorii de materiale aflate în zonă de interacție: oțelul topit și materialul ceramic refractar al instalației;

- se acordă importanța specială rolului *incluziunilor exogene* în degradarea oțelului, știut fiind că în ultimul timp cercetătorii s-au concentrat mai mult pe incluziuni endogene;

- crește rolul cercetătorului metalurg în *relația producător (fabricant) de materiale → utilizator (beneficiar) de materiale* în sensul că metalurgul, ca utilizator de ceramice refractare, cercetând degradarea acestora, poate oferi producătorului informații pentru ridicarea performanței în domeniul acestuia de activitate.

b) Printr-o *schematizare proprie* se interpretează în *mod original* procesele de interacție oțel topit – material ceramic în conformitate cu recente informații bibliografice.

c) Au fost cercetate categorii de materiale puțin, sau *chiar deloc cercetate* până în prezent. Astfel:

- \* au fost studiate oțeluri cu carbon foarte scăzut și oțeluri barbotate; acestea din urmă au fost investigate, deoarece s-a dorit înlăturarea eventualei influențe a incluziunilor generate în amonte;

- \* au fost studiate noi amestecuri de materiale ceramice, din dorința de a se pune la dispoziția industriei materiale ceramice cu durabilitate mărită și potențial scăzut de impurificare a oțelului.

d) *S-a proiectat și realizat un model-pilot original*, reprezentat de un creuzet căptușit cu materialele ceramice supuse cercetării și în care s-au topit mărcile de oțel dorite.

e) Pentru cercetarea rezultatelor interacțiilor oțel-material ceramic s-a apelat la metode și aparatură de ultimă generație aflate în laboratoarele a două instituții prestigioase.

f) *Adâncimea de pătrundere a oțelului în masa ceramică,  $a_p$* , a fost considerat *parametru de proces* ce trebuie obligatoriu cercetat.

g) Cercetările experimentale au demonstrat că adâncimea de pătrundere este influențată de *mecanismul proceselor* prin factori complecși ținând de caracterizarea oțelului, pe de o parte, și a materialului ceramic, pe de alta.

h) Dintre proprietățile oțelului au fost vizate:

- *fluiditatea oțelului*, care crește cu creșterea carbonului; aceasta înseamnă o penetrare mai mare în cazul oțelurilor cu carbon mai mare;

- *puritatea de amonte a oțelului*; în cazul oțelurilor barbotate inexistența incluziunilor de amonte poate preveni reacțiile de formare a compușilor cu temperaturi scăzute de topire.

i) În ceea ce privește materialele ceramice, s-a demonstrat că degradarea depinde de:

- posibilele reacții din interiorul A.C. care să ducă la formarea de constituenți cu temperatură scăzută de topire;

- refractaritatea constituenților A.C., știut fiind că temperaturile de topire ale MgO și CaO sunt mai mari decât cea a SiO<sub>2</sub>.

## **CERCETĂRI PRIVIND DEGRADAREA MATERIALELOR LA TURNAREA CONTINUĂ (T.C.) A OȚELURILOR**

Considerațiile de mai sus explică de ce valorile maxime pentru  $a_p$  au fost înregistrate la A.C.M.S.M.

j) S-a propus și realizat pentru prima dată studierea influenței pe care o are asupra adâncimii de pătrundere *coeficientul de conductibilitate termică,  $a$* , al A.C.

k) Pentru a se evalua importanța și a *parametrilor tehnologici* de preparare a A.C., s-a programat un experiment separat prin care s-a modificat *gradul de îndesare a A.C.* Prin mărirea acestuia, ceea ce înseamnă micșorarea porozității A.C., se poate acționa benefic asupra lui  $a_p$ .

l) În ceea ce privește influența incluziunilor asupra degradării oțelului, această teză este una dintre primele lucrări ample în care se aplică elemente ale unui nou domeniu tehnologico-științific, cunoscut sub numele de *ingineria incluziunilor*.

m) În funcție de compoziția oțelului, în masa A.C. pot apărea picături de Ni, dar nu și de Si.

n) În ceea ce privește incluziunile exogene decantate în oțel s-a constatat că:

- ♦ incluziunile sunt în cantități mici, fiind incluse în interiorul particulelor de MgO;
- ♦ pot apărea *incluziuni multioxid (multielement)* la generarea cărora participă toate elementele din compoziția oțelului (Ca-Al-Fe-Mg-Si-Ti-Cr-Mn-B-Na-K);
- ♦ au fost depistate și incluziuni în compoziția cărora au intrat FeS și MnS;
- ♦ analizele SEM arată că s-a găsit difuzia Fe sub forma FeO în graunții de periclaz, formând magnezio-wustită, dar nu s-au găsit picuri de Si sau alte metale, nici în oțel nici în amestecul ceramic.

o) Se propune o *definiție originală* pentru *turnabilitatea* topiturilor metalice, prin care sunt înțeleși indicii de *caracterizare a materialului*, în baza cărora de-a-lungul întregului proces tehnologic, parametrii de turnare – solidificare se mențin la valori constante în raport cu cele proiectate.

p) Analiza pe SEM a oțelului în vederea cunoașterii posibilităților de generare a picurilor metalice a arătat că nu există astfel de fenomene pentru Si, Mn, Mg. Exemplul prezentat anterior referitor la decantarea nichelului se referă la un oțel special, și anume, la oțelul tratat prin barbotare, care conținea nichel.

r) Cercetările privind posibilitățile de generare a metalelor în amestecul ceramic A.C.M.S.S. au mai arătat că:

- oxidul de fier FeO formează constituenți în periclaz, dar nu și în olivină;
- nu există posibilitatea difuziei siliciului în periclaz, deoarece el a fost reperat doar în olivină;
- concentrația magneziului în magnezio-wustită este mai mare decât în olivină.

**Capitolul al VI-lea  
CONCLUZII FINALE**

a) Lucrarea a fost proiectată și realizată pe coordonatele a două *concepte (modele) moderne de evoluție socio-economice*:

- dezvoltarea durabilă (sustenabilă);
- cunoașterea globală.

b) S-a acordat atenție sporită conceptului de cunoaștere globală, prin care autoarea înțelege:

– generarea (producerea) de cunoștințe noi pe bază de cercetare științifică, în *zonele de convergență* (de dezvoltare) dintre cele patru sisteme fundamentale: natural-ecologic, social, economic și tehnologic, acesta din urmă fiind reprezentat de industria materialelor metalice, în conturul căreia *siderurgia* ocupă un loc important;

– diseminarea și implementarea de cunoștințe către participanții la *procesul de formare-educare*.

c) În zona de convergență dintre sistemul natural-ecologic (*ingineria mediului*) și sistemul tehnologic (*ingineria materialelor*), autoarea și-a propus să cerceteze procesul de **degradare a materialelor** ca *fenomen de alterare a caracteristicilor de calitate* ale proceselor, materialelor și produselor.

d) S-a lansat în cercetare un asemenea obiectiv, deoarece:

\* degradarea determină transformarea materialului primar (*oțelul*) în material secundar (*deșeu sau/ori reziduu*);

\* *maximizarea ciclului de viață* al materialului este rezultatul a două procese contradictorii:

- pe de o parte îmbunătățirea utilizării performante și avansate,
- pe de altă parte, degradarea, ca proces de apariție a reziduurilor;

\* studierea degradării permite abordarea materialului pe baza unui concept nou, acela de *material durabil*, care trebuie să îndeplinească funcții de material performant, avansat, ecomaterial și sociomaterial;

\* în prezent, majoritatea temelor de cercetare se concentrează pe zona îmbunătățirii performanțelor de utilizare, și mai puțin pe studierea fenomenelor de degradare;

\* chiar și atunci când se cercetează degradarea, se are majoritar în vedere degradarea în fază de utilizare a materialului;

e) Sesizând aspectul de mai sus, autoarea și-a propus să cerceteze *degradarea tehnologică*. Conform clasificării proprii, spre deosebire de *degradarea de utilizare*, prin degradare tehnologică sau *degradare de proces tehnologic*, autoarea înțelege *degradarea precoce* a materialului încă din faza de fabricație a ciclului de viață.

f) Sunt prezentate și operaționalizate aspecte noi de *teoria degradării materialelor*.

➤ Se demonstrează că pentru a se realiza o *cercetare completă* (eficace și eficientă), cercetătorul trebuie să aibă în vedere atât utilizarea performantă, cât și degradarea care duce la apariția deșeurilor și reziduurilor.

➤ Degradarea este pusă în legătură cu elemente noi de *paradigmă modernă* a abordării cercetării în domeniul materialelor metalice, conform celor ce urmează:

– degradarea este proces obiectiv-natural care, conform *legii unității contrariilor*, se derulează concomitent cu utilizarea performantă și avansată. Decurge de aici că pentru *maximizarea ciclului de viață al materialelor* trebuie optimizați parametrii determinanți atât pentru utilizare, cât și pentru degradare;

– degradarea este fenomen de *ecologie industrială* (ingineria mediului), deoarece duce la formarea reziduurilor poluante.

**CERCETĂRI PRIVIND DEGRADAREA MATERIALELOR LA TURNAREA  
CONTINUĂ (T.C.) A OȚELURILOR**

---

– degradarea este pusă în legătură cu funcția de *material durabil (sustenabil)*, deoarece ea influențează direct rolurile de material performant, ecomaterial sau sociomaterial.

➤ Se face o *clasificare* a tipurilor de degradare.

➤ Se definesc și se implementează *noțiuni noi*:

– degradarea tehnologică;

– degradarea de proces;

– degradarea precoce;

– degradarea complexă.

f) Autoarea demonstrează că studierea degradării materialelor trebuie să devină prioritate însemnată pentru extinderea *cunoașterii globale*, care în cazul tezei se manifestă prin cunoaștere în zona de convergență-intersistem dintre sistemul tehnologic (ingineria materialelor metalice) și sistemul natural-ecologic (ingineria mediului cu referire la transformarea materialelor primare în deșeuri sau reziduuri datorită degradării).

**Capitolul al VII-lea  
NECESITATEA CONTINUĂRII CERCETĂRIILOR**

a) Fiind vorba de degradare complexă devine necesară constituirea unor colective mixte formate din cercetători metalurgi din domeniul elaborării și turnării oțelurilor și cercetători ceramiști din domeniul fabricării materialelor ceramice refractare.

b) Pentru a satisface prin transfer tehnologic nevoile practice ale industriei trebuie intensificate eforturile de maximizare a purității oțelului, pe de o parte și a durabilității A.C., pe de alta prin optimizarea parametrilor ținând de:

- calitatea oțelului;
- calitatea A.C.;
- tehnologia de elaborare și turnare a oțelului;
- tehnologia de preparare a A.C.

c) Ar putea prezenta interes mărirea numărului de rețete de A.C. pentru a se stabili compoziția ceramică optimă.

d) De asemenea, devine importantă și mărirea numărului de investigații privind diverse cupluri oțel-material ceramic, astfel încât să se știe anticipat ce material ceramic se recomandă pentru o anumită marcă de oțel.

e) Devine necesară cunoașterea posibilităților de optimizare a parametrilor de proces în privința valorii lui  $a_p$ . Se propune acest lucru, deoarece cercetările microscopice au arătat două procese contradictorii:

\* pe de o parte, reacții în sistemul FeO-MnO-SiO<sub>2</sub> care duc la constituenți cu temperatura de topire scăzută, dar,

\* pe de altă parte, formarea de magnezio-wustită, care fiind un material dens poate bloca penetrarea continuă.

f) Într-un context asemănător cu cel de mai sus, ar deveni importantă studierea proceselor și în cazul modificării tehnologice de preparare a A.C. Astfel, mărirea gradului de îndesare a A.C. poate avea două efecte:

- ♦ micșorarea porozității și deci micșorarea penetrării fizice, dar și
- ♦ scăderea cantității de aer din pori și deci micșorarea lui FeO și ulterior, a magnezio-wustitei cu rol de blocare a penetrării.

**BIBLIOGRAFIE**

1. Vasiliu F., (1985), *Controlul modern al calității produselor*, Ed. Ceres, București.
2. \* \* \* (1982), *Măsurarea, analiza și optimizarea calității produselor industriale*, Ed. Științifică și Enciclopedică, București, coord. Gheorghiu A.
3. Ionescu S., (1998), *Exceleța industrială. Practica și teoria calității*, Ed. Economică, București.
4. Moțoiu R., (1994), *Ingineria calității*, Ed. Chiminform Data, București.
5. Olaru M., (1999), *Managementul calității*, Ed. Economică, București.
6. Humbert J., (1982), L'evolution de la notion de qualite, *Rev. De Meta-CIT*, nr.1, p.18.
7. Cănanău N., Guran G., Dima O., Guran C., (2005), *Calitate totală*, E.D.P., București.
8. Rău A., (1973), *Incluziuni nemetalice în oțeluri*, Ed. Tehnică, București.
9. Zamfir S., Vidu R., Brânzei V., (1994), *Coroziunea materialelor metalice*, E.D.P., București.
10. Standardul ISO 8402-1995, *Managementul calității și asigurarea calității*.
11. Standardul SRISO 9004-3-1995. *Standarde pentru managementul calității și elemente ale sistemului calității*. Partea a 3-a: *Ghid pentru materiale procesate*.
12. <http://dexonline>.
13. Nicolae A., Nicolae M., Berbecaru A., Predescu A., Coman G., (2015), *Dezvoltare durabilo-sustenabilă în industria materialelor metalice*, Ed. Printech, București.
14. Nicolae A., Predescu C., Nicolae M., (2006), *Operaționalizarea conceptului DD în siderurgie*, Ed. Printech, București.
15. Ameling D., (2003), Vânt bun pentru tehnologiile siderugice, *Sthal und Eisen*, nr.8.
16. Greis P., (2009), Oțelul în secolul al XXI-lea, *M.P.T.Int.*, nr.3.
17. Vondran R., Oțelul înseamnă viitor, (2011), *Sthal und Eisen*, nr.8, p.78.
18. Ameling D., (2004), Oțelul – element pentru dezvoltare și bunăstare, *Sthal und Eisen*, nr.12.
19. Găvănescu A., (2005), *Cercetări privind puritatea oțelurilor*, Teză de doctorat, U.P.B., București.
20. Geantă V., (2003), *Procedee și tehnologii de rafinare a oțelurilor*, Ed. Printech, București.
21. Vacu S., ș.a., (1983), *Elaborarea oțelurilor aliate*, Ed. Tehnică, București.
22. Geantă V., (1998), *Procedee și tehnologii de obținere a oțelurilor de înaltă puritate prin tratare în afara cuptoarului*, Teză de doctorat U.P.B.
23. Păsărică V., ș.a., (1981), Proveniența și conținutul de incluziuni de zguri în oțel, *Metalurgia*, nr.4.
24. Păsărică V., ș.a., (1981), Proveniența și conținutul de incluziuni nemetalice în oțel, *Metalurgia*, nr.7.
25. Ștefănoiu R., (2008), *Rafinarea oțelurilor prin injectarea gazelor inerte*, Ed. Bren, București.
26. Ștefănoiu R., (2004), *Cercetări privind procesele de rafinare a oțelurilor cu gaze inerte*, Teză de doctorat, U.P.B.
27. Bannenberg N., (2014), Importanța interacțiilor refractar-oțel în obținerea purității, *Sthal und Eisen*, nr.1.
28. Marga A., (1995), *Filosofia unificării europene*, Bibl. Apostrof, Cluj-Napoca.
29. **ILIE A.M.**, (2013), Some consideration on the notion of sustainable (durables) materials, *Meta. Int.*, nr.5, p.85.

**CERCETĂRI PRIVIND DEGRADAREA MATERIALELOR LA TURNAREA  
CONTINUĂ (T.C.) A OȚELURILOR**

---

30. Schultz T., (2008), Development of environmentally friendly castings fluxes, *Stahl und Eisen*, nr.4, p.65.
31. Rizescu C., Budur M., Angelescu N., (2016), *Elemente de metalurgia instalațiilor de turnare continuă*, Uniromsider, București.
32. Ardeleanu E., Hepuș T., (2007), Îmbunătățirea calității semifabricatelor TC prin reglarea temperaturii în distribuitor, *Sci. Bull. of Poli. Univ. Timișoara, Fsc. 2.*, p.36.
33. Socalici A.V., Hepuș T., (2007), Experimentări privind îmbunătățirea calității semifabricatelor TC, *Sci. Bull. of Poli. Univ. Timișoara, Fsc.2*, p.82.
34. Butnariu I., Geantă V., (2000), *Turnarea continuă a semifabricatelor de oțel*, Ed. Tehnică, București.
35. Liu S.X., (2014), Simularea hidraulică și matematica a fenomenelor din distribuitor TC., *ISIJ Intern.*, nr.12, p.1712.
36. Sowa L., Bokota A., (2012), Simularea numerică a fluxurilor din distribuitorul TC, *Archives of Metallurgy and Materials*, pg.813.
37. Feng L., Lui K., (2013), Study of cooling control model of insteady continuous casting processes, *Meta. Int.*, nr.1, p.8.
38. Brabie V., (1996), Interacții între materiale refractare ceramice și oțel topit, *I.S.I.J. Int.*, sup pl., p.109.
39. Kin T.Y., (1997), Rezistența la atacul zgurilor, *Ogneuporî*, nr.1, p.19.
40. Kaznețov Iv.D., (1996), Rezistența refractarelor de coroziune chimică, *Ogneuporî*, nr.1, p.5.
41. Luca A., (1991), *Materiale refractare folosite la T.C.*, O.C.D., București.
42. Nicolae, A., Predescu C., Semenescu A., (1995), Theoretical and experimental researces concerning the interactions between ceramics and agents, *Proc. „53 Electric Furnaces Conf.”*, Orlando, SUA, p.59.
43. Strellov K.K., (1985), *Teoreticeskîe osnovî tehnologii ogneuoirnîh materialov*, Metallurghia, Moskva.
44. Teoreanu I., Bărbulescu A., Ciocea N., Ciontea N., (1985), *Tehnologia produselor ceramice refractare*, Ed. Tehnică, București.
45. Nicolae A., Luca V., Ilie A., Calea G.G., (1999), *Materiale ceramice refractare pentru instalații termo-tehnologice*, Ed. Fair Partners, București.
46. Nicolae A., Predescu C., Nicolae M., (2016), *Materiale durabile (materiale sustenabile)*, Ed. Prontech, București.
47. Ma Z., (2001), Controlul incluziunilor nemetalice, *Ph. D. Thesis*, Univ. Tech. Freiberg.
48. Janke D., ș.a., (2000), Forma incluziunilor, *I.S.I.J. Int.*, nr.3, p.39.
49. Steinmetz H.V., ș.a., (1977), Incluziunile ca centri de solidificare, *Stahl und Eisen*, nr.11, p.1154.
50. Goto K., ș.a., (1995), Incluziunile – centre de nucleație, *I.S.I.J. Int.*, p.1477-1482.
51. Yamamoto T., ș.a., (1996), Formarea MnS, *I.S.I.J. Int.*, p.80-86.
52. Nakoh T., ș.a., (1996), Formarea niturilor și carburilor, *I.S.I.J. Int.*, p.1014-1021.
53. Lee J.L., (2011), Influența incluziunilor asupra microstructurii, *Metall. Trans. A.*, nr.22, p.2818-2822.
54. Ishikawa T., ș.a., (1994), Rolul incluziunilor, *Metall. Trans. A.*, nr.25, p.929-936.
55. Z.Ma., Jake D., (1999), Depuneri pe tuburi de imersie la T.C., *I.S.I.J. Int.*, p.315-341.
56. Hajra J.P., ș.a., (2012), Îmbunătățirea microstructurii, *Metall. Trans. B.*, nr.23B, p.23-28.
57. Janke D., ș.a., (1999), Parametri de turnare la T.C., *Veitsch-Radex Rundschau*, nr.2, p.6-83.
58. Wakob T., ș.a., (1996), Nucleația la T.C., *I.S.I.J. Int.*, p.80-86.

**CERCETĂRI PRIVIND DEGRADAREA MATERIALELOR LA TURNAREA  
CONTINUĂ (T.C.) A OȚELURILOR**

---

59. Okinawa K., ș.a., (1997), Mecanisme de nucleație, *I.S.I.J. Int.*, p.332-338.
60. Ciccuti C.E., ș.a., (2007), Dificultăți tehnologice la T.C., *Ironmag. and Steelmag*, p.155-159.
61. Constantinescu D., Nicolae A., (1998), *Termotehnică metalurgică* Ed. Printech, București.
62. Yin H., (2007), Incluziuni de compuși oxidici, *I.S.I.J. Int.*, p.946-955.
63. Fruehan J.F., (2014), Centri de solidificare la T.C., *Metall. Trans. B*, p.743-753.
64. Ma Z., ș.a., (2009), Efectele incluziunilor, *Steel Research*, p.178-182.
65. Ishikawa T., ș.a., (1994), Reacții între diverse materiale la T.C., *Metall. Materials Trans. A*, p.929-936.
66. I.P.R.S.T.-G.B.S. (2009), *Turnarea continuă – Course Book*, Tenaris, Călărași – Zalău.
67. Zhong L., ș.a., (2004), Incluziuni la barbotarea oțelului T.C., *Mat. Scie. and Techn.*, New Orleans.
68. Brian G.T., ș.a., (2002), Procese de transport la T.C., *Proc. Manuf. Ind. Innov.*, Puerto Rico.
69. Eng M., ș.a., (2011), Incluziuni nemetalice la T.C., *Ph. D. Thesis*, Univ. Tech., Freiberg.
70. Bai H., ș.a., (2001), Injecția de gaze la T.C., *Metall. Mat. Trans, series B*, p.1143-1159.
71. Oikawa K., ș.a., (1997), Formarea MnS, *I.S.I.J. Int.*, p.332-338.
72. Schwerdtfeger K., (1970), Generearea MnS, *Arch. Eisenhüttenwes*, p.923.
73. Dahl H., ș.a., (1966), Puritatea oțelurilor, *Sthal und Eisen*, p.782.
74. Turdogan E.T., ș.a., (1975), Generarea incluziunilor, *J. Iron an Steel Inst.*, p.482.
75. Wakoh T., ș.a., (1966) Incluziuni compexe, *I.S.I.J. Int.*, p.1014-1021.
76. Suzuki K., ș.a., (1985), Formarea I.G.F., *Trans I.S.I.J.*, p.433-442.
77. Bai H., (2000), Barbotarea topiturii în distribuitorul T.C., *Ph.D.Thesis-Mec.Ing.*, Urbana, Illinois.
78. Zhung L., ș.a., (2013), Evaluarea oțelurilor de înaltă calitate, *ISST Tech. 2003*, Warrandale, P.A.
79. Goto K., ș.a., (2014), Folosirea argonului la T.C., *I.S.I.J. Int.*, p.414.
80. Matsumnya T., (2002), Nucleația în topituri T.C., *Metall. Trans. B*, p.783.
81. Hirashima N., ș.a., (2000), Oțeluri de calitate la Nippon Steel, *Rev. de Met.-CIT*, p.309-315.
82. Debiesme B., ș.a., (2003), Puritatea oțelurilor la Sollac Duukerque, *Rev. de Met.-CIT*, p.387-394.
83. Angelli J., ș.a., (1999), Examinarea microscopică a impurităților, *Rev. De Met.-CIT*, p.521-527.
84. Stolte G., (1989), Oxigenul total în oțeluri, (1989), *Sthal und Eisen*, nr.8, p.53.
85. Vermenlen Y., ș.a., (2010), Deteriorarea tuburilor de imersie, *Steel Res.*, p.391-395.
86. Haaster H.P., (2001), Dezvoltarea metalurgiei secundare, *Sthal und Eisen*, nr.3, p.18.
87. Miki Y., ș.a., (1999), Modelarea impurificării oțelurilor, *Mettal. Mater. Trans. B.*, p.639-654.
88. Ciocan A., Bordei M., (2009), *Materiale monolotice pentru instalații termotehnologice*, G.U.P., Galați.
89. Berbecaru A.C., (2011), *The influence of processes regarding the secondary materials generation on the fife cycle of products*, Ph. D. Thesis, U.P.B.
90. \* \* \* (2014), *Progrese în T.C.*, Soc. Rom. de Meta., București.



**CERCETĂRI PRIVIND DEGRADAREA MATERIALELOR LA TURNAREA  
CONTINUĂ (T.C.) A OȚELURILOR**

---

91. \* \* \* (2008-2016), *Materiale documentar – informative*, Soc. Rom. Meta., București.
92. \* \* \* (2009-2015), *Documentation steel and refractory*, Voestalpine Sthal Linz A.G., Austria.
93. Mintz S., ș.a., (2015), Materiale de calitate obținute prin T.C., *J. Int. Mat. Rev.*, 197-220 (Published online: 2013).
94. Xiangjun Z., ș.a., (2008), Incluziuni în oțelul T.C., *Metall. Mat. Trans. Series B*, p.554-550.
95. Schultz, T., ș.a., (2009), Dezvoltarea ecologică a fluxurilor T.C., *Sthal und Eisen*, nr.4, p.65.
96. **ILIE A.M.**, ș.a., (2016), Characterisation of degradation proceses of ceramic materials amd product used in continous casting of steel, *Proc. Abstract, Int. Conf. Romat 2016*.
97. Cornacchia M., ș.a., (2008), Interacții ceramice – oțel., *La Meta. Ital.*, nr.3, p.15.
98. Berbecaru A., **ILIE A.M.**, Nicolae A., (2015), Health impact of particulate pollutants, *U.P.B. Sci. Bull, Series B*, p.185-200.
99. Micu S., Stancovici V., (1980), *Interdisciplinaritatea în știința contemporană*, Ed. Politică, București.
100. Nicolaescu B., (1999), *Transdisciplinaritatea*, Ed. Polirom, Iași.
101. Vădineanu A., (2004), *Managementul dezvoltării: o abordare ecosistemică*, Ed. Ars Docendi, București.
102. Nicolae A., **ILIE A.M.**, (2017), Ecosocial safety in metallic material industry, *Book of Abstract „10 tt. Int. Conf. BRAMAT 2017*, p.243, Brașov.
103. Birat J.P., (1999), Poluanți siderurgici, *Rev. Meta. C.I.T.*, 1293.
104. Nicolae A., (2014), The sustainable codevelopment requires shifting from the „gogglewise” knowledge to „from wise” knowlegee, *Acta Technica Napocensis*, nr.3, p.17-32.
105. Nicolae A., **ILIE A.M.**, (2013), The operationalization in metallurgy of some sustainable development principales, *Acta Technica Napocensis*, p.22-33, Cluj-Napoca.
106. Vizureanu P., (2007), *Materiale refractare*, Ed. P.I.M., Iași.
107. Dragomir I., (1978), *Teoria proceselor soderurgice*, E.D.P., București.
108. Thommas B.G., ș.a., (2013), Incluziuni în oțelul T.C., *Proc. XXIV Nat. Steelmak Sym*, Mexico, p.138-183.
109. Nakashima J., (2015), Incluziuni în oțelul T.C., *Nipon Steel Tech. Rep.*, nr.104.
110. Ren I., ș.a., (2014), Înfundarea tuburilor la T.C., *Metall. Mat. Trans. series B*, p.1291-1303.