

Universitatea POLITEHNICA Timișoara

TEZĂ DE ABILITARE

**Contribuții privind îmbunătățirea
calității oțelului**

Conf.univ.dr.ing. Ana Virginia SOCALICI

**Facultatea de Inginerie Hunedoara
Departamentul de Inginerie și Management**

2016

CUPRINS

(A) REZUMAT	4
ABSTRACT	7
(B) REALIZĂRI ȘTIINȚIFICE ȘI PROFESIONALE ȘI PLANUL DE EVOLUȚIE ȘI DEZVOLTARE A CARIEREI	10
(B-i) Realizări științifice, profesionale și academice	10
<i>Capitolul 1. Sinteza rezultatelor științifice și profesionale post-doctorale</i>	11
1.1. Activitatea de cercetare științifică	11
1.2. Activitatea academică	14
1.3. Diseminarea rezultatelor	16
<i>Capitolul 2. Metode și tehnologii moderne în domeniul elaborării oțelului</i>	18
2.1. Oțelul – un material sustenabil	22
2.2. Tehnologii moderne de elaborare a oțelului	26
2.3. Posibilități de îmbunătățire a calității oțelului	34
2.3.1. Cercetări și experimentări cu privire la reducerea conținutului de hidrogen și azot din oțel	35
2.3.2. Cercetări și experimentări cu privire la îmbunătățirea structurii de turnare la semifabricatele turnate continuu	52
2.3.3. Cercetări și experimentări cu privire la îmbunătățirea structurii de turnare la lingourile din oțel cu secțiune circulară	60
2.3.4. Contribuții privind obținerea de materiale compozite pentru confecționarea de saboți de frână ai materialului rulant	71
2.3.5. Concluzii	72
2.3.6. Contribuții științifice și tehnice ale autoarei la stadiul actual al cunoașterii	76
<i>Capitolul 3. Tehnologii de valorificare a deșeurilor feroase în scopul ecologizării mediului industrial</i>	78
3.1. Procedee de valorificare a deșeurilor feroase	81
3.2. Caracteristici calitative a deșeurilor feroase mărunte și pulverulente	88
3.3. Contribuții privind valorificarea deșeurilor feroase mărunte și pulverulente	96
3.3.1. Valorificarea deșeurilor prin brichetare	98
3.3.2. Valorificarea deșeurilor prin peletizare	104
3.3.3. Valorificarea deșeurilor prin procedeul Carbofer	107
3.3.4. Concluzii	112
3.3.5. Contribuții științifice și tehnice ale autoarei la stadiul actual al cunoașterii	111
(B-ii) Planul de evoluție și dezvoltare a carierei	115
(B-iii) Bibliografie	120

(A) REZUMAT

Dezvoltarea unei baze solide de cercetare în domeniul ingineriei materialelor, având ca suport fundamentul didactic al tehnologiile moderne de elaborare și procesare a materialelor, este o problemă de mare actualitate în societatea contemporană iar acest deziderat poate fi atins în primul rând prin experiența profesională și academică a cadrelor didactice implicate în acest domeniu.

Teza de abilitare reprezintă o sinteză a preocupărilor și activităților științifice desfășurate în perioada ulterioară susținerii, în anul 2004 în cadrul Universității Politehnica Timișoara, a tezei de doctorat cu titlul “*Contribuții privind îmbunătățirea calității pentru piesele din oțel obținute prin forjare din lingouri mari*”, sub îndrumarea Prof.univ.dr.ing. Ioan ILCA, când am obținut titlul de doctor în domeniul fundamental Științe Inginerești, domeniul de doctorat Știința și Ingineria Materialelor, confirmat prin ordinul ministrului 4450 din 02.08.2004.

Obiectivul general al tezei de abilitare constă în prezentarea în mod logic, argumentat și documentat a realizărilor științifice obținute după susținerea doctoratului. Lucrarea este concepută cu scopul de a delimita clar direcțiile majore de cercetare.

Rezultatele activității științifice desfășurate se încadrează în domeniul Ingineriei materialelor identificându-se două direcții de cercetare abordate:

- **Metode și tehnologii moderne în domeniul elaborării oțelului;**
- **Tehnologii de valorificare a deșeurilor feroase în scopul ecologizării mediului industrial.**

Activitatea științifică desfășurată a permis dezvoltarea de competențe în:

- Tehnologii de elaborare și turnare a aliajelor metalice;
- Testarea materialelor metalice;
- Optimizarea proceselor de elaborare și turnare a oțelului;
- Modelarea și simularea proceselor tehnologice de solidificare a oțelului;
- Aplicarea tehnologiilor ecologice la valorificarea deșeurilor feroase pulverulente;
- Prelucrarea și interpretarea rezultatelor cercetării.

Teza de abilitare este structurată în trei părți principale:

(B-i) Realizări științifice, profesionale și academice;

(B-ii) Planul de evoluție și dezvoltare a carierei;

(B-iii) Bibliografie.

Prima parte a tezei de abilitare prezintă cele mai importante rezultate științifice obținute după acordarea titlului de doctor inginer și este structurată în trei capitole.

Primul capitol al tezei de abilitare prezintă rezultatele activității post-doctorale desfășurate începând cu anul 2004 în cadrul Catedrei de Metalurgie ulterior Departamentul de Inginerie și Management al Facultății de Inginerie Hunedoara.

Pe linie academică am predat, în calitate de titular, disciplinele: *Știința materialelor, Baza energetică și de materii prime, Rafinarea și retopirea oțelurilor, Recuperarea și valorificarea deșeurilor metalice, Teoria proceselor siderurgice, Metalurgia oțelului, Tehnologii moderne de elaborarea a aliajelor metalice, Ingineria și managementul mediului, Tehnologii de obținere a oțelurilor speciale, Poluanți, Calitate-mediu și reciclarea componentelor AR*, la programe de studii licență și master.

Am fost coordonator la proiecte de diplomă și disertație, membră în comisii de îndrumare a doctoranzilor și referent în comisii pentru susținerea tezelor de doctorat în domeniul *Ingineria Materialelor*.

Am coordonat programul de studii licență *Ingineria elaborării materialelor metalice*.

Am făcut parte din colectivele care au înființat programele de studii:

- licență *Inginerie economică în industria chimică și de materiale și Ingineria valorificării deșeurilor*;
- master *Ingineria și Managementul Dezvoltării Durabile în Industria de Materiale și Materiale și Tehnologii Avansate pentru Industria de Autovehicule*.

Sunt președintele board-ului programului master *Materiale și Tehnologii Avansate pentru Industria de Autovehicule* și membru al board-urilor programelor de studii din domeniile *Ingineria materialelor și Inginerie și management* din cadrul facultății.

Este prezentată și implicarea în implementarea unor proiecte pentru dezvoltarea competențelor studenților, respectiv în managementul academic. În calitate de expert pe termen scurt la proiectul POSDRU/2/1.2/S/2 “Dezvoltarea unui sistem operațional al calificărilor din învățământul superior din România” am elaborat:

- pentru domeniul *Ingineria materialelor*, Grila 1 și Grila 2 cu descrierea domeniului / programului de studii prin competențe profesionale și competențe transversale la programul de studiu licență *Ingineria elaborării materialelor metalice*;
- pentru domeniul *Ingineria materialelor*, Grila 1 cu descrierea domeniului / programului de studii prin competențe profesionale și competențe transversale la programul de studii master *Procedee avansate de obținere a materialelor metalice*.

De asemenea, este prezentată implicarea în proiecte, granturi și contracte de cercetare în calitate de director sau colaborator precum și principalele realizări profesionale: evaluator pentru proiecte de cercetare, organizator sau membru în comitetele editoriale sau științifice ale unor reviste sau manifestări științifice, membru în diferite asociații profesionale.

În cei 12 ani de activitate post-doctorală am acumulat o bogată experiență iar direcțiile de cercetare cuprind atât cercetarea teoretică cât și practică. În principal, am urmărit ca rezultatele cercetărilor să aibă aplicabilitate sau utilitate practică.

Capitolul 2 este consacrat celor mai relevante contribuții care au vizat direcția de cercetare ***Metode și tehnologii moderne în domeniul elaborării oțelului***.

Activitatea de cercetare în acest domeniu a fost orientată spre:

- optimizarea structurii încărcăturii metalice la cuptoarele electrice cu arc;
- optimizarea proceselor de elaborare și turnare a oțelului;
- îmbunătățirea structurii de turnare a semifabricatelor din oțel prin utilizarea microrăcitorilor;
- modelarea și simularea proceselor de solidificare a oțelului;
- obținerea de materiale compozite, cu caracteristici tribologice superioare, destinate fabricării saboților de frână.

În contextul dezvoltării durabile, în **capitolul 3**, referitor la direcția de cercetare ***Tehnologii de valorificare a deșeurilor feroase în scopul ecologizării mediului industrial***, activitatea de cercetare a abordat următoarele subiecte:

- identificarea și analiza calitativă a deșeurilor feroase pulverulente;
- procesarea deșeurilor feroase mărunte și pulverulente utilizând o serie de tehnologii ecologice sau neconvenționale;

- stabilirea unor tehnologii eficiente și nepoluante pe principiile dezvoltării durabile și protecție a mediului;
- obținerea de subproduse (micropelite, pelete, brichete, burete de fier, produs Cabofer) utilizate ca și materie primă în industria siderurgică.

Cercetările efectuate după obținerea titlului de doctor, împreună cu colectivul de cercetare din cadrul Departamentului de Inginerie și Management, s-au concretizat prin realizarea, susținerea și publicarea unui număr de:

- 37 articole ISI din care 25 în reviste cotate ISI (6 în reviste cu FI peste 0,5) și 12 la conferințe ISI Proceedings;
- 50 de articole în reviste cotate BDI sau conferințe BDI Proceedings;
- 8 cărți în edituri recunoscute CNCSIS;
- coordonarea a 5 granturi de cercetare și membru în echipele de cercetare la 3 granturi;
- 2 brevete de invenție.

Preocupările din activitatea de cercetare s-au extins către latura educațională, unde în cadrul unor programe de studii de Master am dezvoltat discipline referitoare la tematicile de cercetare abordate. Temele contractelor de cercetare corespund domeniilor de cercetare de interes și sunt rezultatul interacțiunilor cu alte universități, centre de cercetare precum și cu agenții economici atât din țară cât și din străinătate. Un punct important al implicării în cercetare îl constituie parte de invenție care s-a concretizat prin obținerea a unui brevet de invenție național și depunerea a unei cereri de brevet, aceasta din urmă fiind în procesul de evaluare.

Planul de dezvoltare a carierei este prezentat în **partea a doua** a tezei de abilitare. Având în vedere rezultatele obținute până în prezent activitatea de cercetare va continua în ariile de cercetare prezentate, aceste cercetări urmând a completa realizările existente și vizează două abordări strategice, respectiv învățământ și cercetare.

În cadrul fiecărei direcții de cercetare viitoare s-au stabilit obiective specifice ce pot constitui abordări ale unor viitoare teze de doctorat. Sunt prezentate sintetic strategiile adoptate în vederea implementării fiecărui obiectiv în parte:

- dezvoltarea de noi teme de cercetare referitoare la obținerea de materiale compozite și materiale avansate cu aplicabilitate în practica industrială;
- includerea în cadrul echipei de cercetare a viitorilor doctoranzi;
- formarea unor tineri cercetători competitivi la nivel național și internațional;
- participarea la noi competiții de obținere a unor granturi;
- menținerea relațiilor existente cu firmele din domeniu și universitățile respectiv dezvoltarea de noi colaborări;
- publicarea rezultatelor în reviste cotate ISI cu factor de impact sau indexate în baze de date internaționale respectiv la conferințe internaționale de profil;
- publicarea unor capitole de carte sau cărți de specialitate.
- creșterea vizibilității rezultatelor cercetării.

În ceea ce privește planul de evoluție și dezvoltare în activitatea didactică, obiectivul general va consta în îmbunătățirea continuă a activităților și tehnicilor utilizate respectiv includerea rezultatelor cercetărilor în programele de predare în special pentru nivel master. Sunt prezentate obiectivele derivate și strategiile de îndeplinire a acestora.

Referințele bibliografice sunt incluse în **partea a treia** a tezei de abilitare. Fiecare capitol include referințele bibliografice asociate fiecărei direcții de cercetare abordate, fiind cuprinse atât articole, brevete și cărți publicate cât și articole și cărți de referință în domeniu.

(A) ABSTRACT

The development of a solid research grounding in the field of materials engineering, supported by the teaching foundation of the modern technologies applied for materials making and processing, is a very topical issue in the contemporary society, and this could be primarily achieved through the professional and academic experience of the professors involved in this field.

The habilitation thesis is a summary of the scientific concerns and activities carried out after sustaining the PhD Thesis at Politehnica University of Timișoara, in 2004, entitled “*Contributions to improve the quality of steel parts obtained by forging large ingots*”, under the guidance of professor dr. eng. Ioan ILCA, when I obtained a doctoral degree in the field of fundamental engineering sciences, Ph.D. field *Materials Science and Engineering*, confirmed by the Ministerial Order no. 4450 issued on 02.08.2004.

The general objective of the habilitation thesis is the logically argued and documented presentation of the scientific achievements obtained after sustaining the doctorate thesis. The paper is conceived in order to clearly delineate the major research directions.

The results of scientific work falls in the field of materials engineering, being approached the following research directions:

- ***Modern methods and technologies applied in steelmaking;***
- ***Technologies used to recover the ferrous waste and scrap for greening the industrial environment.***

The scientific work carried out led to the development of competencies in:

- Technologies used for making and casting metal alloys;
- Metal materials testing;
- Optimization of steel making and casting;
- Modelling and simulation of steel solidification processes;
- Application of greening technologies on bulk ferrous waste recovery;
- Processing and interpretation of the research results.

The habilitation thesis is divided into three main parts:

(B-i) Scientific, professional and academic achievements;

(B-ii) Plan of career evolution and development;

(B-iii) References.

The first part of the habilitation thesis presents the most important scientific results obtained after granting the title of Doctor of Engineering, and it is divided into three chapters.

The first chapter of the habilitation thesis presents the results of postdoctoral work carried out since 2004 within the Department of Metallurgy, subsequently the Department of Engineering and Management of the Engineering Faculty of Hunedoara. In terms of professional activity, I have taught, as Course Instructor, the following academic disciplines: *Materials science, Energy and raw materials base, Steel refining and remelting, Metal wastes recovery and utilisation, Theory of steelmaking processes, Steel metallurgy, Modern technologies for the manufacture of metal alloys, Engineering and environmental management, Technologies for making special steels, Pollutants, Quality, environment, and recycling of road vehicle components*, as well as license degree programmes, master's degree and postgraduate training and continuous professional development.

I was a coordinator of undergraduate & dissertation projects, committee member mentoring doctoral students, and referent in committees for sustaining doctoral theses in the *Materials Engineering* field.

I coordinated the undergraduate curriculum entitled *Engineering of making metal materials*.

I was part of the teams that have established the following curricula:

- License degree: *Economic engineering in chemical and materials industry* and *Waste management engineering*;
- Master's degree: *Engineering and Management of Sustainable Development in Materials Industry* and *Materials and Advanced Technologies for Automotive Industry*.

I am the board chairman for the master's programme *Materials and Advanced Technologies for Automotive Industry* and board member for the study programmes in the fields *Materials Engineering* and *Engineering and management* in the faculty.

It is also presented the involvement in the implementation of some projects aimed to develop the competencies of students in the academic management. As a short term expert involved in the POSDRU/2/1.2/S/2 project "*The development of an operational system of qualifications in higher education in Romania*", I have created:

- For the *Materials Engineering* field: Grid 1 and Grid 2, containing the description of the field / study programme by identifying the professional and transversal competences at the undergraduate curriculum entitled *Engineering of making metal materials*.
- For the *Materials Engineering* field: Grid 1, containing the description of the field / study programme by identifying the professional and transversal competences at the master's degree curriculum entitled *Advanced manufacturing processes for obtained metal materials*.

Also, it is shown the involvement in projects, grants and research contracts as a director or collaborator, and the main professional achievements, i.e. evaluator for research projects, organizer or member of the editorial or scientific boards of some scientific journals or conferences, member of various professional associations.

In the 12 years of post-doctoral activity, I have accumulated a rich experience, and the research directions include either theoretical or practical research. Mainly, I pursued the research results to have practical applicability or utility.

Chapter 2 is devoted to the most relevant contributions that targeted ***Modern methods and technologies in steel-making***.

The research in this field was directed towards:

- Optimisation of metal charge at EAFs;
- Optimization of steel making and casting;
- Improving the casting structure of steel semi-finished products by using micro coolers;
- Modelling and simulation of steel solidification processes;
- Obtaining composite materials with superior tribological properties, for making brake pads.

In the context of sustainable development, in **Chapter 3** referring to the research direction ***Ferrous waste and scrap recovery technologies for greening the industrial environment***, the research activity approached the following topics:

- Identification and qualitative analysis of scrap powders;
- Processing of small & bulk ferrous waste by using environmentally friendly or unconventional technologies;

- Introduction of efficient and clean technologies, based on the sustainable development and environmental protection principles;
- Obtaining by-products (micro pellets, pellets, briquettes, sponge iron, Carbofer product), used as raw material in the iron & steel industry.

The research conducted along with the research team of the Department of Engineering and Management, after obtaining the Ph.D. title, has been materialised by creating, sustaining and publishing of:

- 37 ISI papers, of which 25 in ISI-ranked journals (6 in journals with JIF > 0.5) and 12 at ISI Conference Proceedings;
- 50 papers in BDI-ranked journals or BDI Conference Proceedings;
- 8 books at recognized publishing houses (CNCSIS);
- Coordination of 5 research grants, and member of research teams at 3 grants;
- 2 invention patents.

The concerns about research have expanded towards the educational side, where in some master's degree programmes we developed disciplines on the approached research topics. The topics of the research contracts correspond to the research areas of interest and are the result of interactions with other universities, research centers, as well as economic operators from the country and abroad. An important point of the involvement in research is the inventics, which was materialized by obtaining a national patent and the filing of a patent application, the latter being currently in the evaluation process.

The career development plan is presented in the **second part** of the habilitation thesis. Given the results obtained so far, the research will continue in the areas of research presented above, this research being intended to complement the existing achievements and focusing on two strategic approaches, i.e. *education* and *research*.

The specific targets are established for each future research directions, which may be the approach of future doctoral theses. Here is the summary of the strategies adopted to implement each objective:

- Developing new research topics related to obtaining composite materials and advanced materials applicable in the industrial practice;
- Including of the future doctoral students into the research team;
- Training of nationally and internationally competitive young researchers;
- Participation in new competitions for obtaining grants;
- Maintaining of existing relationships with universities and companies in the field, and development of new collaborations;
- Publishing the results in ISI-ranked journals with impact factor or indexed in international databases, as well as at international conferences in the field;
- Publishing of book chapters or specialty books;
- Increasing visibility of research results.

Regarding the plan of evolution and development in teaching, the general objective will be the continuous improvement of the activities and applied techniques, i.e. incorporation of the research results into the teaching programmes, especially for master's degree. The derived objectives and the strategies to achieve them are also included in the presentation.

The references are found in the **third part** of the habilitation thesis. Each chapter includes the references associated with each approached research direction, containing articles, patents and published books, as well as articles and reference books in the field.

**(B) REALIZĂRILE ȘTIINȚIFICE ȘI PROFESIONALE
ȘI PLANUL DE EVOLUȚIE ȘI DEZVOLTARE A CARIEREI****(B-i) Realizări științifice, profesionale și academice****Publicații relevante pentru realizările profesionale obținute:**

1. **Socalici A.**, Popa E., Hepuț T., Vilceanu L., *Contributions related to the control of steel ingot solidification*, International Conference on Applied Sciences, ICAS 22-25 october 2013, Wuhan, PEOPLES R CHINA, IOP Conference Series-Materials Science and Engineering, Volume 57, 012004, 2014, **ISI Proceedings**
2. **Socalici A.**, Popa E., Hepuț T., Puțan V., *Contributions to steel semi-finished parts quality improvements*, International Conference on Applied Sciences, ICAS 22-25 october 2013, Wuhan, PEOPLES R CHINA, IOP Conference Series-Materials Science and Engineering, Volume 57, 012003, 2014, **ISI Proceedings**
3. Andronache, C; **Socalici, A**; Hepuț, T, *The influence of micro coolers on the physical-mechanical characteristics of the steels used in making railway monoblock wheels*, Technical Gazette, 20(3), 2013, pp.419-424, **ISI Journal, FI 0,601**
4. **Socalici A.**, Popa E., Hepuț T., Drăgoi F., *Research regarding the Improvement of the Steel Quality*, 5th International Conference on Advanced Materials and Structures (AMS 2013) Timisoara, Advanced Materials and Structures IV, Solid State Phenomena, Volume 216, pp. 273-278, **ISI Proceeding**
5. Dragoi, F; **Socalici, A**; Ardelean, E; Popa, E; Hepuț, T, *Researches on the influence of the slags formed in the installations on the hydrogen removal efficiency*, Revista de Metalurgia, 47(6), 2011, pp.477-484, **ISI Journal, FI 0,202**
6. **Socalici A.**, Hepuț Teodor., Ardelean E., Ardelean M., *Researches regarding the recovery of small and powder ferrous wastes within iron-and-steel industry*, 6th IASME / WSEAS International Conference on Energy & Environment Cambridge, United Kingdom, 25 february 2011, pp.282-287, **SCOPUS**
7. Ardelean E., Ardelean M., Hepuț T., **Socalici A.**, *Possibilities of recycling the lime-dolomite plant dust*, Journal of Environmental Protection and Ecology, 1, 2010, pp.217-226, **ISI Journal, FI 0,178**
8. **Socalici A.**, Hepuț T., Ardelean M., Ardelean E., Puțan V., *Researches regarding practical application of deferrised steelshop slags in agriculture*, Journal of Environmental Protection and Ecology, 1, 2010, pp.227-237, **ISI Journal, FI 0,178**
9. **Socalici A.**, Hepuț T., Ardelean E., Ardelean M., *Research regarding using the wastes with carbon content in siderurgical industry*, Journal of Environmental Protection and Ecology, 2, 2010, pp.465-470, **ISI Journal, FI 0,178**
10. Ardelean E., Ardelean M., **Socalici A.**, Hepuț T., *Simulation of continuous cast steel product solidification*, Revista de Metalurgia, 43(3), 2007, pp.181-187, **ISI Journal, FI 0,436**

Capitolul 1

SINTEZA REZULTATELOR ȘTIINȚIFICE ȘI PROFESIONALE POST-DOCTORALE

1.1. Activitatea de cercetare științifică

Realizările științifice, profesionale și academice obținute după conferirea titlului de doctor în știință s-au orientat pe două direcții de cercetare:

- ***Metode și tehnologii moderne în domeniul elaborării oțelului;***
- ***Tehnologii de valorificare a deșeurilor feroase în scopul ecologizării mediului industrial.***

Direcțiile de cercetare cuprind atât cercetarea teoretică cât și practică. În principal am urmărit ca rezultatele cercetărilor să aibă aplicabilitate practică.

În cadrul primei direcții de cercetare ***Metode și tehnologii moderne în domeniul elaborării oțelului***, cercetările ulterioare doctoratului s-au extins asupra studiului solidificării lingourilor mari de oțel, cercetări concretizate în contractul de cercetare nr. 32940/2004 cu titlul „*Cercetări și experimentări privind îmbunătățirea structurii lingourilor de oțel*”, contract tip Grant AT coordonat în calitate de director.

Cercetările industriale au continuat cu studiul solidificării semifabricatelor turnate continuu din oțel și a posibilităților de îmbunătățire a structurii acestora. Experimentările industriale s-au desfășurat în cadrul proiectului de cercetare nr. 3196/2005-2007 cu titlul „*Cercetări și experimentări privind îmbunătățirea structurii semifabricatelor turnate continuu*”, proiect de cercetare pentru tineri cercetători – ET, Programul Excelență, proiect câștigat în competiție națională și coordonat în calitate de director pe parcursul a trei ani.

Am coordonat în calitate de director, în anul 2010, proiectul nr.71-044 cu titlul „*Tehnologii avansate de conducere a proceselor industriale de calire superficiala a pieselor încălzite inductiv*”, Programul 4 „Parteneriate in domenii prioritare” 2007-2010.

Ca membru al echipelor de cercetare la granturile internaționale sau naționale, cercetările s-au axat pe:

- analiza proceselor și tehnologiilor de elaborare a materialelor metalice, oțeluri, feroaliaje, materiale și aliaje neferoase, materiale compozite;
- eficientizarea proceselor din sectoarele metalurgice de elaborare și rafinare a materialelor metalice feroase, neferoase și ale materialelor speciale, prin automatizare și informatizare;
- analiza parametrilor tehnologici la tratamentul secundar al oțelului în instalația LF și a determinării domeniilor optime de variație a acestora;
- modelarea și simularea procesului de solidificare a semifabricatelor turnate continuu;
- cercetări fundamentale și aplicative asupra structurii fine a materialelor, asupra posibilităților de îmbunătățire a caracteristicilor funcționale a acestora;
- analiza și investigarea structurii și proprietăților materialelor;
- noi materiale refractare cu funcții complexe utilizate în industria oțelului;
- ecologizarea tehnologiilor metalurgice.

Granturi la care am fost membru al echipei de cercetare:

- Programul Excelență – Proiect de cercetare pentru tineri cercetători – ET Nr. 3194/ 2005-2007 cu titlul „Optimizarea regimului termic al oțelului pe traseul cuptor-agregat de tratament secundar-instalație de turnare continuă”;
- Programul Excelență – Proiect de cercetare-dezvoltare complex, nr. 232/2006-2008 cu titlul „Noi materiale refractare cu funcții complexe utilizate în industria oțelului, realizate prin tehnologii moderne”;
- Programul Excelență – Proiect de cercetare-dezvoltare complex, nr. 233/2006-2008 cu titlul „Tehnologie integrată de obținere a unor surse energo-tehnologice neconvenționale utilizate ca materii prime la elaborarea oțelului”.

Rezultatele obținute în urma cercetărilor efectuate și contribuțiile aduse în cadrul acestei direcții de cercetare s-au concretizat prin:

- programul de simulare a solidificării semifabricatelor turnate continuu cu microrăcitori (pentru blum 240x270mm, programul de calcul este realizat în limbajul C++);
- proiectarea și realizarea practică a instalației de adaos a microrăcitorilor în cristalizor;
- determinarea domeniilor optime de variație a parametrilor turnării oțelului cu microrăcitori (dimensiunile și cantitatea de microrăcitori);
- diseminarea rezultatelor obținute prin publicarea a 5 cursuri adresate studenților, masteranzilor, doctoranzilor și specialiștilor din industrie, a peste 35 de articole publicate în reviste de specialitate sau la conferințe internaționale de profil (indexate ISI/BDI).

În ce privește a doua direcție de cercetare, **Tehnologii de valorificare a deșeurilor feroase în scopul ecologizării mediului industrial**, activitățile s-au orientat spre:

- determinarea caracteristicilor calitative a deșeurilor feroase mărunte și pulverulente;
- identificarea posibilităților de valorificare a deșeurilor industriale cu conținut de fier, deșeuri mărunte și pulverulente, existente în cantități foarte mari în zona Hunedoara;
- analiza și investigarea structurii și proprietăților subproduselor ecologice obținute;
- valorificarea subproduselor obținute din deșeurile industriale feroase prin reintroducerea acestora în circuitul economic.

În cadrul acestei direcții de cercetare:

- am coordonat în calitate de director un proiect de cercetare internațional cu titlul „Valorificarea în agricultură a zgurilor de oțelărie deferizate”, beneficiar fiind Balkan Environmental Association din Grecia;
- am fost membru în echipa de cercetare la proiectul internațional „Decreasing of environment pollution degree through the siderite waste capitalization for production cement” beneficiar Balkan Environmental Association din Grecia;
- am fost membru în echipa de cercetare la proiectul internațional „The impact of lime-dolomite plants upon the environment and the possibility of reducing the ecological risk in these regions” beneficiar Balkan Environmental Association din Grecia;
- am fost membru în echipa de cercetare la proiectul internațional „Research regarding the recycling of the steel plant dust in siderurgic industry” beneficiar Balkan Environmental Association din Grecia.
- am fost membru în echipa de cercetare la proiectul nr.31-098/2007-2010, cu titlul „Prevenirea și combaterea poluării în zonele industriale siderurgice, energetice și miniere prin reciclarea deșeurilor marunte și pulverulente” Programul 4 „Parteneriate în domenii prioritare” 2007-2013.

Rezultatele obținute în urma cercetărilor efectuate s-au concretizat prin:

- un brevet de invenție (bricheta tubulară) și o cerere de brevet (bricheta multicavă) pentru brichetele experimentale;
- identificarea soluțiilor de valorificare a acestor deșeuri (tehnologii de procesare/valorificare);
- obținerea de subproduse (pelete, brichete, micropelite, produs Carbofer) utilizabile în industria siderurgică ca și materie primă sau materiale auxiliare;
- diseminarea rezultatelor obținute prin publicarea unui curs adresat studenților, masteranzilor, doctoranzilor și specialiștilor din industrie, a peste 35 de articole publicate, împreună cu colectivul de cercetare, în reviste de specialitate indexate ISI/BDI sau la conferințe internaționale de profil (proceedings ISI/BDI).

În ceea ce privește prestigiul profesional internațional, aș dori să menționez că am fost membru al grupului țintă al proiectului „*Școala doctorală în sprijinul cercetării în context european*”, contract de finanțare POSDRU/21/1.5/G/13798 în cadrul căruia am desfășurat o serie de activități:

- obiectivul proiectului - pregătirea membrilor grupului țintă pentru a deveni conducători de doctorat;
- implicarea în asistarea doctorandului Ing. Drăgoi Florin Viorel, înmatriculat la Universitatea Politehnica Timișoara în domeniul Ingineria Materialelor, la data 01.10.2009, conducător de doctorat Prof.dr.ing. Hepuț Teodor, cu teza doctorat „*Cercetări privind reducerea conținutului de gaze din oțelurile elaborate și tratate pe fluxul EBT-LF*”;
- supervizarea activității doctorandului respectiv consilierea doctorandului la realizarea celor două rapoarte de cercetare și la finalizarea tezei de doctorat;
- rezultate obținute - publicarea împreună cu doctorandul a 4 articole în reviste sau la conferințe internaționale de specialitate în UE cu vizibilitate, indexate în bazele de date internaționale ISI/BDI, publicarea unei cărți de specialitate la Ed. Politehnica cu titlul „*Contribuții privind influența gazelor asupra calității produselor din oțel*”;
- realizarea unei mobilități de specializare la Research Center ArcelorMittal, Esch-sur-Alzette Luxembourg împreună cu doctorandul;
- inițierea și obținerea unui contract de cercetare-dezvoltare și consultanță cu SC ArcelorMittal SA Hunedoara (nr.1/2012) compatibil cu tema de doctorat a doctorandului Ing. Drăgoi Florin Viorel, care a permis accesul la experimentările industriale în cadrul uzinei pentru teza de doctorat;
- proiectul s-a finalizat prin susținerea tezei de doctorat de către doctorandul îndrumat, împreună cu coordonatorul de doctorat și obținerea titlului de doctor în anul 2012.

Am participat la organizarea conferințelor internaționale ISI:

- *International Conference on Applied Science* în 2014 și 2015;
- *International Conference of Numerical Analysis and Applied Mathematics* în 2014 și 2015;
- *International Conference on Advanced Materials and Structures* în 2011.

Am fost membru în Comitetul științific internațional și recenzor la conferințele internaționale ISI:

- *International Conference on Applied Science* în 2013 și 2015;
- *International Conference Inovative Technologies for Joining Advanced Materials* 2014.

De asemenea, din 2009 până în prezent m-am implicat în activitatea celor 14 doctoranzi coordonați de domnul Prof.dr.ing. Teodor Hepuț făcând parte din comisiile de îndrumare ale acestora.

Prestigiul profesional național s-a concretizat prin:

- expert evaluator al CNCSIS în 2005;
- expert evaluator la Programul Parteneriate PN II în 2007 și 2008;
- referent în comisia de susținere la 4 teze de doctorat la Universitatea Politehnica București;
- președinte sau membru în comisii de susținere a examenelor de licență și disertație la Facultatea de Inginerie Hunedoara;
- membru în comisiile de susținere a examenelor de disertație la programele de studii postuniversitare;
- am participat la organizarea conferinței naționale cu participare internațională *International Conference on Applied Science* în 2012.
- sunt membru a centrului de cercetare din cadrul Universității Politehnica Timișoara *Centrul de Cercetări pentru Procesarea și Caracterizarea Materialelor Avansate*, director centru cercetare Prof.dr.ing. Viorel Aurel Șerban.

1.2. Activitatea academică

Din octombrie 1995 am început activitatea didactică și de cercetare urmând parcursul gradelor didactice din învățământul superior astfel: preparator universitar (1995-1998), asistent universitar (1998-2001), șef de lucrări (2001-2007) și conferențiar (2007-prezent).

Am desfășurat activități didactice (curs, seminar, laborator și/sau proiect) la disciplinele: *Știința materialelor, Baza energetică și de materii prime, Rafinarea și retopirea oțelurilor, Recuperarea și valorificarea deșeurilor metalice, Teoria proceselor siderurgice, Metalurgia oțelului, Tehnologii moderne de elaborarea a aliajelor metalice, Ingineria și managementul mediului, Tehnologii de obținere a oțelurilor speciale, Poluanți, Calitate-mediu și reciclarea componentelor AR*, la programe de studii licență și master din domeniile *Ingineria Materialelor și Inginerie și Management* respectiv cursuri postuniversitare de formare și dezvoltare profesională continuă. Cărțile publicate ca autor unic, prim autor sau coautor acoperă programa și tematica cursurilor predate.

Educație și formare:

- diploma de Inginer, specializarea *Siderurgie*, 1995;
- diploma de Master, specializarea *Optimizarea proceselor metalurgice*, 2002;
- diploma de Doctor, specializarea *Știința și Ingineria Materialelor*, 2004;
- diploma de Inginer diplomat, specializarea *Inginerie economică în industria chimică și de materiale*, 2006;
- cursuri de perfecționare – *Modulul psihopedagogic, Sisteme informatice integrate de gestiune (ERP) instrument modern de conducere al afacerilor, Auditor de mediu, Managementul calității în învățământul superior și Formare în blended-learning și tehnologii educaționale moderne pentru învățământul universitar – DidaTec*.

Am fost coordonator de proiecte de diplomă, disertație, membru în comisii de îndrumare a doctoranzilor și referent în comisii pentru susținerea tezelor de doctorat în domeniul *Ingineria Materialelor*. Am coordonat lucrări științifice pentru studenții care au participat la conferințe și simpozioane studențești, cu rezultate foarte bune, obținând diverse premii.

Am coordonat programul de studii licență *Ingineria elaborării materialelor metalice*.

Am făcut parte din colectivele care au înființat o serie de specializări acreditate ARACIS:

- programul de studii licență *Inginerie economică în industria chimică și de materiale*;
- programul de studii licență *Ingineria valorificării deșeurilor*;
- programul de studii master *Ingineria și Managementul Dezvoltării Durabile în Industria de Materiale*;
- programul de studii master *Materiale și Tehnologii Avansate pentru Industria de Autovehicule*.

Sunt **președintele board-ului** la programul master *Materiale și Tehnologii Avansate pentru Industria de Autovehicule*, domeniul *Ingineria materialelor* și membru al board-urilor programelor de studii din domeniile *Ingineria materialelor* și *Inginerie și management* din cadrul facultății.

În calitate de **Expert pe termen scurt** m-am implicat în implementarea proiectului POSDRU/2/1.2/S/2 “**Dezvoltarea unui sistem operațional al calificărilor din învățământul superior din România - DOCIS**” pentru dezvoltarea competențelor studenților având ca obiectiv elaborarea de standarde de evaluare a competențelor specifice calificărilor corespunzătoare programelor de studii la nivel licență și master pentru domeniul *Ingineria materialelor* respectiv introducerea acestora în Registrul Național al Calificărilor:

- Grila 1 și Grila 2 cu descrierea domeniului/programului de studii prin competențe profesionale și competențe transversale la programul licență *Ingineria elaborării materialelor metalice*;
- Grila 1 la programul master *Procedee avansate de obținere a materialelor metalice*.

În calitate de **Expert pe termen scurt** în cadrul proiectului POSDRU/159/1.5/S/137070 “**Creșterea atractivității și performanței programelor de formare doctorală și postdoctorală pentru cercetători în științe ingineresti - ATTRACTING**” împreună cu doamna Conf.dr.ing. Erika Ardelean am realizat **Atelierul tematic** monodisciplinar “**Optimizarea proceselor de elaborare și turnare a aliajelor metalice**” în cadrul căruia și-au desfășurat activitățile conform programului proiectului 4 doctoranzi de la Universitatea Politehnica București și Universitatea Politehnica Timișoara.

Am făcut parte din echipa de implementarea a proiectului POSDRU/189/2.1/G/156607 “**Parteneriat dezvoltat pentru CONSilierea și PRACTIca Studenților în vederea creșterii angajabilității lor - CONPRACTIS**” în calitate de *Cadru didactic coordonator de practică*, proiect care a adus studenții în contact cu mediul economic prin activitățile desfășurate de aceștia în cadrul firmelor partenerie implicate în proiect. Astfel, 79 de studenți ai facultății și-au desfășurat practica la firmele partenerie, coordonând 14 studenți pentru desfășurarea practicii la firmele ArcelorMittal Hunedoara, RecomSid Hunedoara și Marmosim Simeria.

La Centrul de Studii Postuniversitare a Facultății de Inginerie Hunedoara am participat în calitate de cadru didactic titular, președinte și/sau membru în comisia de disertație la mai multe serii de cursuri postuniversitare de formare și dezvoltare profesională respectiv cursuri de formare continuă:

- *Evaluarea riscurilor de accidentare și îmbolnăvire profesională*;
- *Management, Marketing și Resurse umane*;
- *Management și Marketing*;
- *Tehnician metalurgie*

Am participat în calitate de *formator* la cursul *Manager de Proiect*, curs organizat de Universitatea Politehnica Timișoara în cadrul proiectului POSDRU/125/5.1/S/134003 „*Inserție*”

activă piața muncii prin FORMarea profesională inovativă în domeniul INGINeriei - FORMING”.

Apartenența la organizații sau asociații profesionale de prestigiu naționale și internaționale:

- Balcan Environmental Association Greece;
- Societatea Națională de Știință și Ingineria Mediului;
- Asociația Generală a Inginerilor din România.

Experiență managerială:

- Prodecan al Facultății de Inginerie Hunedoara (2009-prezent);
- Secretar Științific al Facultății de Inginerie Hunedoara (2008-2009);
- Membru al Consiliului Facultății de Inginerie Hunedoara (2004-prezent);
- Membru al Senatului Universității Politehnica Timișoara (2008-2012);
- Director calitate la Facultatea de Inginerie Hunedoara (2009-2012);
- Coordonator comisie pentru evaluarea și asigurarea calității la nivelul Facultății de Inginerie Hunedoara (2012-prezent).

1.3. Diseminarea rezultatelor

În cei 12 ani de activitate post-doctorală de cercetare am elaborat, susținut și publicat, în calitate de unic autor sau coautor în diferite colective, un număr de 87 articole din care:

- 25 articole publicate în reviste cotate sau indexate ISI (6 articole în reviste cotate ISI cu factorul de impact peste 0,5);
- 12 articole publicate în volumele conferințelor ISI Proceedings;
- 26 articole publicate în reviste indexate BDI (SCOPUS, Google Scholars);
- 24 articole publicate în volumele conferințelor BDI Proceedings (SCOPUS, Google Scholars).

În calitate de director/responsabil am coordonat 5 granturi (câștigate prin competiție, 1 grant internațional și 4 granturi naționale din care 3 după obținerea titlului de doctor):

- *Practical application of deferrized steelshop slags in agriculture*, Balkan Environmental Association, Greece, 41/2007;
- *Tehnologii avansate de conducere a proceselor industriale de calire superficiala a pieselor încălzite inductiv*, Programul 4 „Parteneriate în domenii prioritare”, 71-044/2010.
- *Cercetări și experimentări privind îmbunătățirea structurii semifabricatelor turnate continuu*, Programul Excelență – Proiect de cercetare pentru tineri cercetători – ET, 3196/2005-2007;
- *Cercetări și experimentări privind îmbunătățirea structurii lingourilor de oțel*, CNCSIS Grant AT, 32940/2004.

Participarea în calitate de membru în colectivele de cercetare a 17 granturi din care 8 după obținerea titlului de doctor (3 internaționale și 5 naționale):

- *Decreasing of environment pollution degree through the siderite waste capitalization for production cement*, Balkan Environmental Association, 46/2008;
- *The impact of lime-dolomite plants upon the environment and the possibility of reducing the ecological risk in these regions*, Balkan Environmental Association, 40/2007;
- *Research regarding the recycling of the steel plant dust in siderurgic industry*, Grant Balkan Environmental Association, 24/2004;

- *Tehnologii avansate de conducere a proceselor industriale de călire superficială a pieselor încălzite inductiv*, Programul 4 „Parteneriate în domenii prioritare”, 71-044/2007-2009;
- *Prevenirea și combaterea poluării în zonele industriale siderurgice, energetice și miniere prin reciclarea deșeurilor mărunte și pulverulente*, Nr.31-098, Programul 4 „Parteneriate în domenii prioritare”, 31-098/2007-2010;
- *Tehnologie integrată de obținere a unor surse energo-tehnologice neconvenționale utilizate ca materii prime la elaborarea oțelului*, Programul Excelență – Proiect de cercetare-dezvoltare complex, 233/2006-2008;
- *Noi materiale refractare cu funcții complexe utilizate în industria oțelului, realizate prin tehnologii moderne*, Programul Excelență – Proiect de cercetare-dezvoltare complex, 232/2006-2008;
- *Optimizarea regimului termic al oțelului pe traseul cuptor-agregat de tratament secundar-instalație de turnare continuă*, Programul Excelență – Proiect de cercetare pentru tineri cercetători – ET, 3194/2005-2007.

Am obținut, în calitate de coautor, un brevet de invenție: *Brichetă tubulară din deșuri feroase pulverulente*, RO126946-A0 RO126946-A8 RO126946-B1 în 2014 și am depus la OSIM o cerere de brevet - *Brichetă cilindrică multicavă produsă din deșuri feroase pulverulente și mărunte cu granulație sub 2 mm*.

În vederea valorificării și diseminării rezultatelor cercetărilor proprii sau a celor obținute împreună cu colectivul de cercetare din Departamentul de Inginerie și Management precum și pentru a participa la schimbul național și internațional de informații în domeniul de competență, am participat la un număr de peste 30 de conferințe internaționale atât în țară cât și în străinătate.

Am publicat 8 cărți ca unic autor, prim autor sau coautor, acoperind plaja de cursuri predate respectiv 2 îndrumare de laborator/aplicații. Majoritatea acestor cărți și manuale reprezintă rezultatul eforturilor de cercetare în domeniul elaborării materialelor metalice și constituie repere bibliografice pentru disciplinele predate.

Am participat, în calitate de membru al grupului țintă, la proiectul POSDRU/87/1.3/S/60891, „*Școală universitară de formare inițială și continuă a personalului didactic și a trainerilor din domeniul specializărilor tehnice și ingineresti – DidaTec*”, la programul postuniversitar de formare și dezvoltare profesională continuă „*Formare în blended-learning și tehnologii educaționale moderne pentru învățământul universitar*”.

Prin utilizarea a tehnologiilor educaționale moderne și utilizarea TIC în procesul didactic am elaborat materialul didactic pentru cursul de *Poluanți* la specializarea de master *Ingineria și managementul dezvoltării durabile în industria de materiale*, utilizând materialul în activitatea didactică cu studenții masteranzi pe campusul virtual al universității (<https://cv.upt.ro>). Avantajele deosebite oferite de noile metode în tehnologia informației și comunicațiilor în domeniul educației reprezintă un argument deosebit de important pentru integrarea lor în mod blended learning în activitățile didactice universitare în scopul îmbunătățirii considerabile a procesului de învățământ.

Capitolul 2

METODE ȘI TEHNOLOGII MODERNE ÎN DOMENIUL ELABORĂRII OȚELULUI

Experiența națională și internațională cu privire la direcția de cercetare *Metode și tehnologii moderne în domeniul elaborării oțelului*

Membru în colectivele de redacție sau comitete științifice al revistelor și manifestărilor științifice

- International Conference on Applied Science ICAS, Wuhan, China, 2015, ISI Proceedings;
- International Conference Inovative Technologies for Joining Advanced Materials TIMA, Timișoara, 2014, ISI Proceedings;
- International Conference on Applied Science ICAS, Wuhan, China, 2013, ISI Proceedings;
- International Symposium on Advanced Engineering and Applied Management - 40th Anniversary in Higher Education, Hunedoara, 2010, BDI Proceedings

Chariman Conferințe Internaționale

- International Conference of Numerical Analysis and Applied Mathematics ICNAAM 2015, Rhodes, Greece, ISI Proceedings

Membru în comitetul de organizare a manifestărilor științifice

- International Conference of Numerical Analysis and Applied Mathematics ICNAAM 2015, Rhodes, Greece, ISI Proceedings;
- International Conference of Numerical Analysis and Applied Mathematics ICNAAM 2014, Rhodes, Greece, ISI Proceedings;
- International Conference on Applied Science ICAS, Hunedoara, 2014, ISI Proceedings;
- International Conference on Advanced Materials and Structures AMS, Timișoara, 2011; ISI Proceedings

Recenzor pentru reviste și manifestări științifice naționale și internaționale

- International Conference on Advanced Materials and Structures AMS, Timișoara, 2013
- International Conference Inovative Technologies for Joining Advanced Materials TIMA, Timișoara, 2014
- Journal of Frontiers in Construction Engineering (FCE)

Membru în asociații profesionale de prestigiu naționale

- Asociația Generală a Inginerilor din România

Granturi/proiecte naționale câștigate prin competiție – Director proiect

- Nr.71-044, *Tehnologii avansate de conducere a proceselor industriale de călire superficială a pieselor încălzite inductiv*, 2010, Programul 4 „Parteneriate în domenii prioritare” 2007-2013.
- Nr. 3196, *Cercetări și experimentări privind îmbunătățirea structurii semifabricatelor turnate continuu*, Programul Excelență – Proiect de cercetare pentru tineri cercetători – ET, 2005/2006/2007.
- Nr.32940, *Cercetări și experimentări privind îmbunătățirea structurii lingourilor de oțel*, CNCSIS Grant AT, 2004.

Granturi/proiecte naționale și internaționale câștigate prin competiție – Membru în echipă

- Proiectul POSDRU/21/1.5/G/13798 „Școala doctorală în sprijinul cercetării în context european”

- Nr.71-044, *Tehnologii avansate de conducere a proceselor industriale de călire superficială a pieselor încălzite inductiv*, Programul 4 „Parteneriate in domenii prioritare” 2007-2013, 2007/2008/2009.
- Nr. 233, *Tehnologie integrată de obținere a unor surse ergo-tehnologice neconvenționale utilizate ca materii prime la elaborarea oțelului*, Programul Excelență – Proiect de cercetare-dezvoltare complex, 2006/2007/2008.
- Nr. 232, *Noi materiale refractare cu funcții complexe utilizate în industria oțelului, realizate prin tehnologii moderne*, Programul Excelență – Proiect de cercetare-dezvoltare complex, 2006/2007/2008.
- Nr. 3194, *Optimizarea regimului termic al oțelului pe traseul cuptor-agregat de tratament secundar-instalație de turnare continuă*, Programul Excelență – Proiect de cercetare pentru tineri cercetători – ET, 2005/2006/2007.

Cărți și capitole în cărți de specialitate

- **Socalici A.**, *Baza energetică și de materii prime în industrie*, Politehnica Timișoara, 2014
- **Socalici A.**, Hepuț T., Drăgoi F., *Contribuții privind influența gazelor asupra calității produselor din oțel*, Politehnica Timișoara, 2012
- **Socalici A.**, Ardelean E., Ardelean M., Hepuț T., Josan A., *Turnarea și solidificarea oțelului*, CERMI Iași, 2007
- Ardelean E., Ardelean M., **Socalici A.**, Hepuț T., Abrudean C., *Optimizarea proceselor de turnare continuă a oțelului*, CERMI Iași, 2007
- **Socalici A.**, *Structura lingourilor de oțel*, Mirton Timișoara, 2004

Articole în extenso în reviste cotate și indexate ISI Thomson Reuters

- **Socalici A.**, Pascu L., Ardelean E., Hepuț T., *The influence of carbon, manganese and silicon content upon the hardness of phosphorous cast iron used in manufacturing rolling stock braking shoes*, Technical Gazette, 23(6), 2016, **FI 0,579**
- **Socalici A.**, Popa E., Puțan V., Drăgoi F., *Researches on the reduction of steel hydrogen content by its secondary treatment inside the ladle*, Technical Gazette, 23(5), 2016, **FI 0,579**
- Andronache, C; **Socalici, A**; Hepuț, T, *The influence of micro coolers on the physical-mechanical characteristics of the steels used in making railway monoblock wheels*, Technical Gazette, 20(3), 2013, pp.419-424, **FI 0,601**
- Putan, A; Putan, V; Hepuț, T; **Socalici, A**, *Steel treatment with calcium-aluminate synthetic slag and addition of titanium oxide*, Revista de Metalurgia, 49(1), 2013, pp.31-44, **FI 0,241**
- Pascu, LV; Putan, A; **Socalici, A**; Hepuț, T, *Researches on the quality of pig iron to be used in making rail braking shoes*, Metalurgia International,18(4), 2013, pp.193-199
- Andronache, C; **Socalici, A**; Hepuț, T; Popa, E, *Research on the influence of steel ingot solidification process control on the tenacity characteristics*, Metalurgia International,17(9), 2012, pp.234-238, **FI 0,134**
- Dragoi, F; **Socalici, A**; Ardelean, E; Popa, E; Hepuț, T, *Researches on the influence of the slags formed in the installations on the hydrogen removal efficiency*, Revista de Metalurgia, 47(6), 2011, pp.477-484, **FI 0,202**
- Hepuț, T; Ardelean, E; **Socalici, A**; Osaci, M; Ardelean, M, *Steel deoxidation with syntetic slag*, Metalurgia International,15(5), 2010, pp.22-28, **FI 0,154**
- Hepuț, T; Ardelean, E; **Socalici, A**; Osaci, M; Ardelean, M, *Steel deoxidation with syntetic slag*, Metalurgia International,15(5), 2010, pp.22-28, **FI 0,154**
- Josan, A; Hepuț, T; **Socalici, A**; Ardelean, E; Ratiu, S, *The simulation of hot rolling process*,

in order to determine the thermal field distribution in the mill rolls, Metalurgia International,14(7), 2009, pp.27-35, **FI 0,173**

- **Socalici A.**, Ardelean E., Heput T., Ardelean M., *Experimental researches want to improve the quality of continuous cast semi-finished sections*, Metalurgia International,13(11), 2008, pp.48-56
- **Socalici, A;** Ardelean, E; Heput, T; Ardelean, M, *The influence of micro-coolants of the mechanical proprieties of the carbon steels*, Metalurgia International,13(4), 2008, pp.50-55
- **Socalici, A;** Ardelean, E; Heput, T; Ardelean, M, Josan A., *Solidification simulation of the continuous cast blanks with micro-coolants added in the mould*, Metalurgia International,12(8), 2007, pp.20-25
- Ardelean E., Ardelean M., **Socalici A.**, Heput T., *Simulation of continuous cast steel product solidification*, Revista de Metalurgia, 43(3), 2007, pp.181-187, **FI 0,436**
- Heput, T; Ardelean, E; **Socalici, A;** Maksay, S; Gavanescu, A, *Steel desulphurization with synthetic slag*, Revista de Metalurgia, 43(1), 2007, pp.31-44, **FI 0,436**

Articole în volumele unor manifestări științifice indexate ISI Proceedings

- **Socalici A.**, Pascu, L. Popa, E, Heput, T., *The influence of the cast iron structure upon the hardness of brake shoes meant for the rolling sock*, International Conference on Applied Sciences, ICAS october 2014, IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, Volume 85, Number 1, 2015, pp. 12026-12034.
- Pascu, L., **Socalici, A.**, Popa, E., Crisan, E., *The influence of chemical composition upon the hardness of brake shoes meant for rolling stock*, International Conference on Numerical Analysis and Applied Mathematics ICNAAM 22–28 September 2014, Rhodes, Greece, AIP Conf. Proc. 1648, 680005, 2015.
- **Socalici A.**, Popa E., Heput T., Vilceanu L., *Contributions related to the control of steel ingot solidification*, International Conference on Applied Sciences, ICAS 22-25 october 2013, Wuhan, PEOPLES R CHINA, IOP Conference Series-Materials Science and Engineering, Volume 57, 012004, 2014
- **Socalici A.**, Popa E., Heput T., Puțan V., *Contributions to steel semi-finished parts quality improvements*, International Conference on Applied Sciences, ICAS 22-25 october 2013, Wuhan, PEOPLES R CHINA, IOP Conference Series-Materials Science and Engineering, Volume 57, 012003, 2014
- **Socalici A.**, Popa E., Heput T., Drăgoi F., *Research regarding the Improvement of the Steel Quality*, 5th International Conference on Advanced Materials and Structures (AMS 2013) Timisoara, Advanced Materials and Structures IV, Solid State Phenomena, Volume 216, pp. 273-278
- Lăscuțoni A., Ardelean E, **Socalici A.**, Ardelean, M., *Mathematical modeling of micro-coolers added in the continuous casting tundish*, 11th International Conference of Numerical Analysis and Applied Mathematics ICNAAM 21 September 2013, Rhodes, Greece, Vol. 1558, pp.1603-1606
- Pascu, L., Stoica, D, **Socalici, A.**, *Determining the Cooling Affected Volume by Adding Microcoolers in the Steel*, International Conference of Numerical Analysis and Applied Mathematics, ICNAAM 19-25 september 2012, Kos, Greece , Numerical Analysis and Applied Mathematics Volume 1479, pp. 763-766
- Andronache C., **Socalici A.**, Vilceanu L., Heput T., *Researches On The Influence Of Chemical Composition Regarding The Physical-Mechanical Characteristics Of Steel For The Manufacture Of Monobloc Wheels*, 4th International Conference on Advanced Materials

and Structures, AMS 27-28 octomber 2011, Timisoara, Romania, Advanced Materials and Structures IV, Solid State Phenomena 2012, Volume 188, pp. 353-357

- Popa, E; Pauca, A; **Socalici, A.V.**, *Numerical Simulation of Solidification Phenomena in Continuous Cast Semi-Finished Products*, 10th International Conference of Numerical Analysis and Applied Mathematics ICNAAM 19-25 September 2011, Halkidiki, Greece, Vol. 1389

Articole în volumele unor manifestări științifice indexate BDI Proceedings

- Andronache C., **Socalici A.**, Vilceanu L., Heput T., *The influence of chemical composition on the mechanical properties of steels used for manufacturing monoblock railway wheels*, The 5th WSEAS International Conference on Engineering Mechanics, Structures, Engineering Geology, Cambridge, UK, 2012, pp. 126-129, Indexat Scholar Google
- E. Popa, T. Heput, E. Ardelean, **A. Socalici**, *Contributions on the Study of Internal Flaws in Continuous Cast Semi-finished Products*, The 4 th Internațional Conference on Manufacturing, Engineering, Quality and Production System, Barcelona, Spain, 15-19 september 2011, pp.161-164, Indexat SCOPUS
- Pauca A., Heput T., **Socalici A.**, Josan A., *Research on Quality of Steel for Production of Rolling Cylinders*, The 4 th Internațional Conference on Manufacturing, Engineering, Quality and Production System, Barcelona, Spain, 15-19 September 2011, pp.170-175, Indexat SCOPUS
- Dragoi F., **Socalici A.**, Heput T., Ardelean E., *Researchs on the influence of gas content from the steel on its quality*, The 4 th Internațional Conference on Manufacturing, Engineering, Quality and Production System, Barcelona, Spain, 15-19 September 2011, pp.139-146, Indexat SCOPUS
- **Socalici A.**, Andronache C., Heput T., *Researchs regarding the quality of the steel used for making rolling stock components*, International Symposium on Advanced Engineering and Applied Management - 40th Anniversary in Higher Education, Section 1, Hunedoara, 2010, pp.1-6, Indexat Scholar Google
- **Socalici A.**, *Experiments regarding the steel temperature adjustment in the mould of the continuous casting machine*, 11th International Research Expert Conference „Trends in the Development of Machinery and Associated Technology” TMT 2007, Hammamet, Tunisia, pp.319-322, Indexat Scholar Google
- **Socalici A.**, Ardelean M, Puțan V., *Improving the continuous cast blank structure by using micro-coolants*, 11th International Research Expert Conference „Trends in the Development of Machinery and Associated Technology” TMT 2007, Hammamet, Tunisia, pp.315-318, Indexat Scholar Google
- **Socalici A.**, Puțan V., Josan A., *Numerical simulating of fluid flow and heat transfer in steel ladles during casting*, 11th International Research Expert Conference „Trends in the Development of Machinery and Associated Technology” TMT 2007, Hammamet, Tunisia, pp.1275-1278, Indexat Scholar Google
- **Socalici A.**, Ardelean E., Heput T., Pinca-Bretotean C., *Settlement possibilities of steel temperature in crystallize*, 10th International Research Expert Conference „Trends in the Development of Machinery and Associated Technology”, TMT 2006, Barcelona-Lloret de Mar, Spain, 2006, pp.161-164, Indexat Scholar Google

2.1. Oțelul – un material sustenabil

Oțelul este un material omniprezent în viața noastră de zi cu zi, acesta fiind un material durabil și reciclabil 100%. Indiferent de câte ori oțelul este reciclat, acesta rămâne la fel de rezistent și durabil. Procesul de reciclare conservă caracteristicile naturale ale materialului, ceea ce înseamnă că oțelul obținut din fier vechi, din punct de vedere calitativ, este comparabil cu oțelul obținut din minereu de fier. Utilizarea ferului vechi în producția de oțel conduce la economii în ceea ce privește energia și consumul de minereu de fier și cocs. Reciclarea deșeurilor de oțel compensează utilizarea a peste 1200kg minereu de fier, a 700 kg de cărbune și 51kg de calcar la o tonă de deșeuri de oțel utilizate [1]. Din punct de vedere al resurselor societatea noastră trebuie să se transforme într-o economie circulară, în care materialele pot fi reintroduse în ciclul productiv.

Piața mondială a oțelului va ajunge la 1300 miliarde dolari în 2015, nivelurile de producție vor atinge 1694,73 milioane de tone, în timp ce consumul va ajunge 1545,50 milioane de tone. Piața a avut o ușoară scădere în ultimii ani, ca urmare a supracapacității de oțel care a determinat o scădere a prețurilor. Dacă se analizează nivelul producției de oțel la nivel mondial (figura 2.1), aceasta a crescut de la 189 milioane tone în anul 1950 la 1665 milioane tone în anul 2014. Se preconizează că, piața oțelului va crește într-un ritm lent, în prima jumătate a perioadei de prognoză 2015-2020, urmată de o creștere mai alertă în a doua jumătate a perioadei de prognoză 2020-2025.

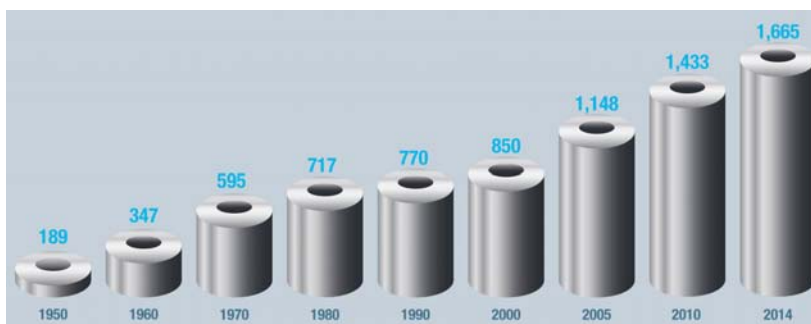


Figura 2.1. Evoluția producției de oțel 1950-2014, în milioane tone [1]

Uniunea Europeană este al doilea mare producător de oțel din lume, industria siderurgică având în Europa 500 de unități de producție în 23 de state member. Industria siderurgică europeană se confruntă cu efectele simultane ale cererii reduse și a supracapacității pe o piață a oțelului globalizată. Aceasta trebuie să investească pentru a se adapta la economia ecologică și pentru a fabrica produse inovatoare. Este esențial ca Europa să rămână o regiune producătoare de oțel importantă, din motive economice, sociale și de mediu [2].

Din analizele efectuate la nivel mondial [3] rezultă faptul că supracapacitatea va rămâne o problemă în următorul deceniu. Acest lucru este atribuit în principal opoziției Chinei de a reduce nivelurile de producție. Piața oțelului este dominată de China, care acopera jumătate din piața mondială. Figura 2.2 prezintă distribuția geografică a producției de oțel la nivelul anului 2014. De asemenea, China este cel mai mare și cel mai rapid producător și consumator de oțel și își va menține poziția de lider, pe tot parcursul perioadei de prognoză 2020-2025. Figura 2.3 prezintă evoluția creșterii producției de oțel a Chinei în perioada 1990-2010. Țări care prezintă o creștere puternică în ceea ce privește producția și consumul de oțel: India, Taiwan, Iran, Japonia, Mexic, SUA, Rusia și Coreea de Sud.

Primele 10 țări producătoare de oțel, la nivel mondial, sunt prezentate în figura 2.4. România, la nivel mondial, ocupă locul 36 în topul țărilor producătoare de oțel cu o producție de 3,2 milioane tone iar la nivel European ocupă locul 16.

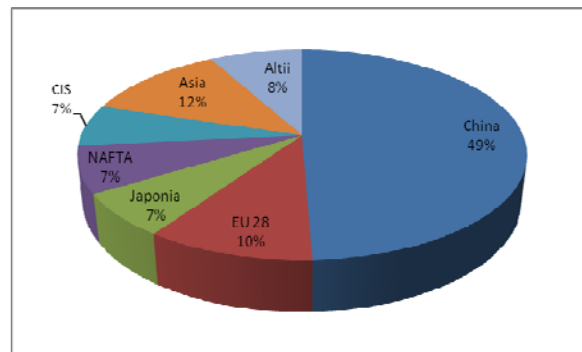


Figura 2.2. Distribuția geografică a producției de oțel în 2014 [1]

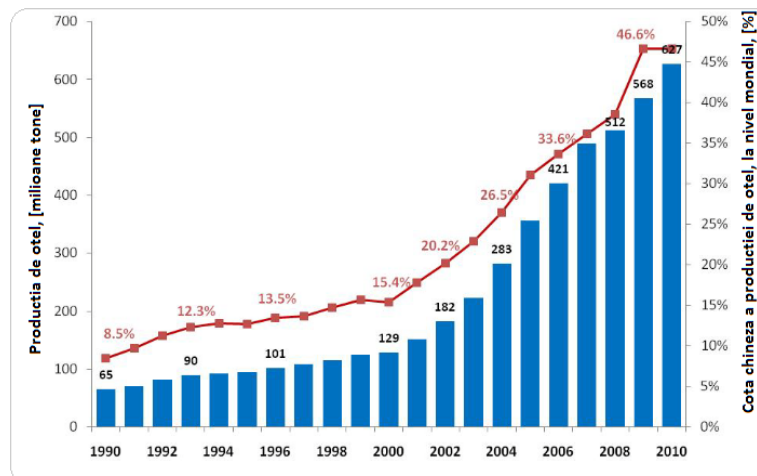


Figura 2.3. Evoluția producției de oțel a Chinei în perioada 1990-2010 [1]

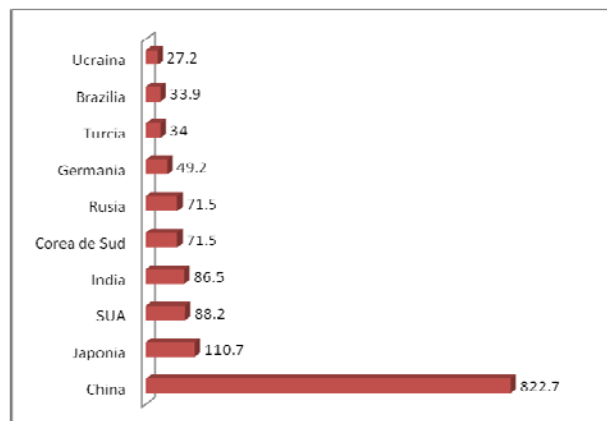


Figura 2.4. Top 10 țări producătoare de oțel în 2014, (milioane tone) [1]

Cererea de oțel la nivel mondial în următorii zece ani va depinde în principal de economiile emergente. Cu toate acestea, condițiile economice pentru industria siderurgică, la nivel european și mondial, rămân instabile și provocatoare. Principalii factori care au condus la o creștere semnificativă a cererii de oțel sunt dezvoltarea de noi infrastructuri și nevoile clasei de mijloc, în creștere, mai ales în țările în curs de dezvoltare. Construcțiile, sectorul auto și al bunurilor va atrage o cerere mare pentru oțel în următorul deceniu. Figura 2.5 prezintă, modul de repartitie al oțelului pe sectoarele industriale. Din analizele efectuate [3,4], la nivel mondial, pentru 7 sectoare cheie

(construcții, inginerie auto, mecanică, inginerie electrică, petrol și gaze, aparate de uz casnic și alte aplicații) și o serie de piețe naționale, rezultă că sectorul construcțiilor va fi consumatorul cheie de oțel în perioada 2015-2025, pentru care este preconizată o creștere peste tendința globală. Figura 2.6 prezintă primele 10 companii producătoare de oțel la nivel mondial.

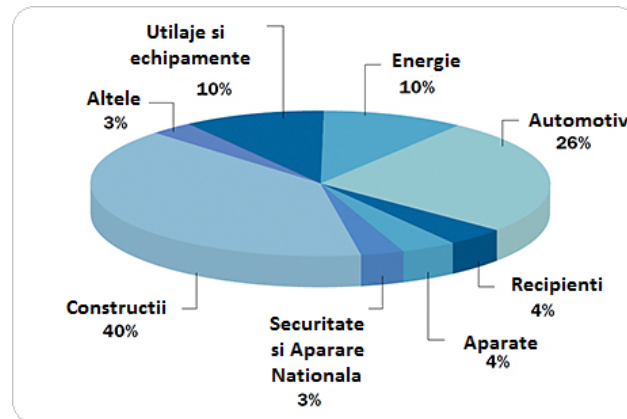


Figura 2.5. Utilizarea oțelului pe sectoare industriale [3]

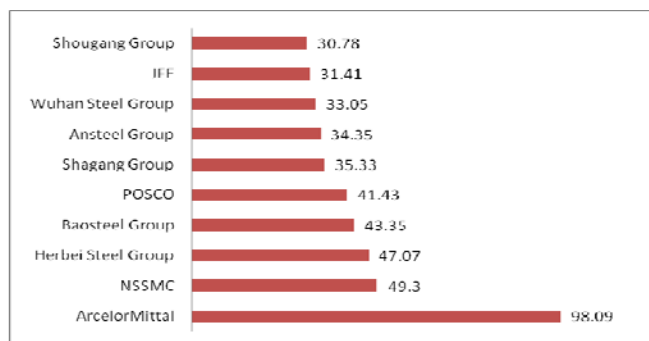


Figura 2.6. Top 10 companii producătoare de oțel din lume în 2014, în milioane tone [1]

ArcelorMittal este cea mai mare companie siderurgică și minieră din lume, prezentă în peste 60 de țări, în 19 dintre acestea având unități proprii de producție. În 2014, ArcelorMittal a înregistrat venituri de 79,3 miliarde dolari și o producție de oțel de circa 98 milioane de tone, iar producția de minereu de fier a fost de 63,98 milioane de tone. În România, ArcelorMittal deține unități de producție la Galați, Iași, Roman și Hunedoara. Industria siderurgică din România, începând cu anul 1990, a parcurs un amplu proces de restructurare și pregătire pentru competiția de pe piața europeană și mondială a oțelului. Principalele acțiuni care au avut loc pe parcursul acestui proces sunt: armonizarea capacităților de producție cu necesitățile pieții și concentrarea fabricației pe fluxurile cele mai performante; închiderea capacităților excedentare, inclusiv demolarea celor neperformante din punctul de vedere al consumurilor energetice și de materiale; modernizarea instalațiilor de elaborare și laminare rămase în funcțiune; optimizarea numărului de personal în acord cu nivelul și tehnicitatea capacităților de producție; privatizarea companiilor cu activitate siderurgică, proces care a fost practic încheiat la sfârșitul anului 2004. Producția de oțel lichid este concentrată în șapte companii, dintre care una, ArcelorMittal Galați este organizată pe flux integrat iar celelalte șase - pe flux tehnologic cu cuptor electric cu arc. În privința capacităților de laminare la cald, acestea se împart în trei grupe, respectiv plate, produse lungi și țevi, din care ponderea cea mai însemnată o reprezintă produsele plate.

În prezent, pe plan mondial, oțelul este produs pe două fluxuri tehnologice [3,6,7]:

- oțelării integrate (figura 2.7);
- mini-uzine (figura 2.8).

Materia primă utilizată în acest caz este în principal fier vechi și fontă solidă respectiv burete de fier și pelete metalizate. Aproximativ 70% din producția mondială de oțel brut este produsă de oțelăriile integrate restul de mini-uzine.

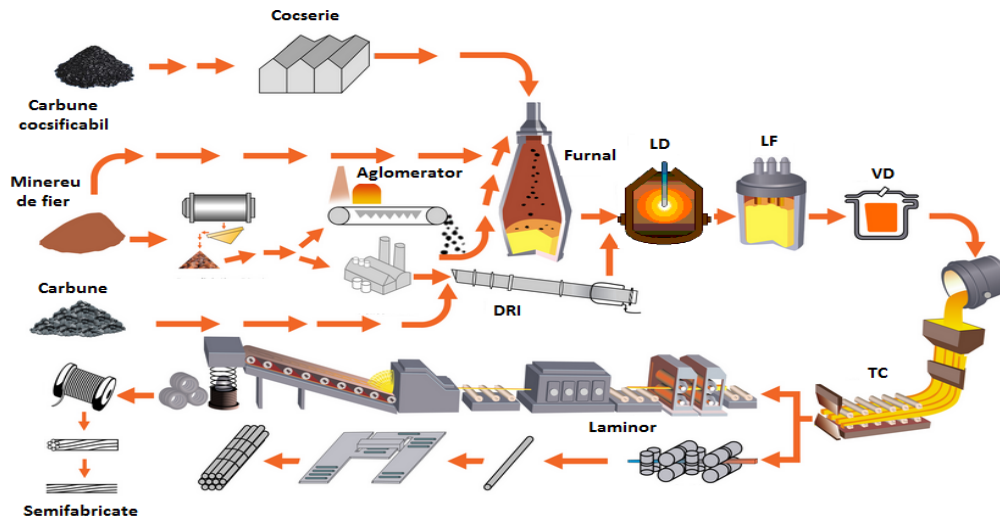


Figura 2.7. Flux integrat de producere a oțelului [6].

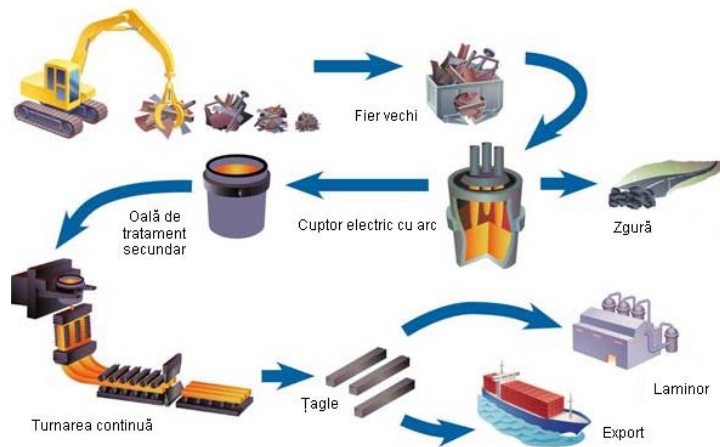


Figura 2.8. Flux tehnologic în mini-uzine de producere a oțelului [7].

În ceea ce privește producția de oțel, accesul la materii prime și surse de energie, precum și prețul acestora, vor determina viitoarele tendințe. Înlocuirea minereului de fier cu deșeuri reciclate (creșterea numărului de cuptoare electrice cu arc) și înlocuirea cărbunului cocsificabil cu gaz metan reprezintă tendințe tehnologice decisive pentru viitor [2]. De asemenea, politicile climatice și utilizarea eficientă a resurselor reprezintă alte motive importante pentru schimbările tehnologice.

Ținând seama de provocările Europei legate de accesul la energie cu preț redus și la materii prime ieftine, este justificată necesitatea maximizării cantității de oțel produse din deșeuri, din motive economice. Constrângerile legate de mediu sunt de asemenea importante, producția din deșeuri permitând reduceri semnificative ale poluării atmosferice, ale volumului de apă folosit, ale poluării apei și ale deșeurilor miniere respectiv siderurgice. Creșterea cantității de deșeuri reciclate

În Europa va impune în primul rând o mai bună funcționare a piețelor de material secundare [5]. Cererea de oțel reciclat a fost deja stimulată de încrederea sporită privind calitatea acestuia ca urmare a precizării criteriilor de stabilire a încetării stadiului de deșeu pentru fontă și oțel. De asemenea, oțelul contribuie la reducerea emisiilor de dioxid de carbon și la economii de energie într-o multitudine de aplicații precum cele din industria auto, a construcțiilor navale, a construcțiilor, a utilajelor, a bunurilor de uz casnic, a dispozitivelor medicale și a instalațiilor eoliene. O atenție deosebită se acordă și instituirii de măsuri suplimentare de rentabilizare energetică a producției de oțel. Viziunea UE pentru următorii 30 de ani stabilește strategii și căi de îndreptare a economiei europene către un sistem energetic global durabil și eficient, către reînnoirea mijloacelor de transport, renovarea și integrarea imobilelor în rețele de alimentare inteligente lucru care implică un consum ridicat de oțel. Sectorul siderurgic trebuie să își îmbunătățească competitivitatea și să fabrice produse de oțel inovatoare, necesare pentru a menține și a extinde cota de piață.

Atingerea obiectivelor propuse de uzinele siderurgice depinde de potențialul de cercetare-dezvoltare-inovare în asigurarea calității superioare pentru materialele și materiile prime destinate încărcării cuptoarelor metalurgice. Fierul vechi tinde să devină un material deficitar atât din punct de vedere economic, cât și tehnologic. Din astfel de motive se intensifică preocupările pentru fabricarea unor materiale noi cu rolul de înlocuitori ai fierului vechi.

2.2. Tehnologii moderne de elaborare a oțelului

Există o serie de procedee noi, moderne pentru fabricarea oțelului care sunt în exploatare în practica industrială. Progresele tehnologice realizate în ultimii ani au avut ca scop principal reducerea la minimum a consumului de energie electrică și a maximiza eficiența energetică în procesul de elaborare.

Schematic cuptorului electric cu arc de tip EBT este prezentat în figura 2.9. Materia primă utilizată este fierul vechi și buretele de fier, iar principalele materiale auxiliare sunt: minereuri de fier, var, dolomita, feroaliaje, cocs, fluorina [5,8].

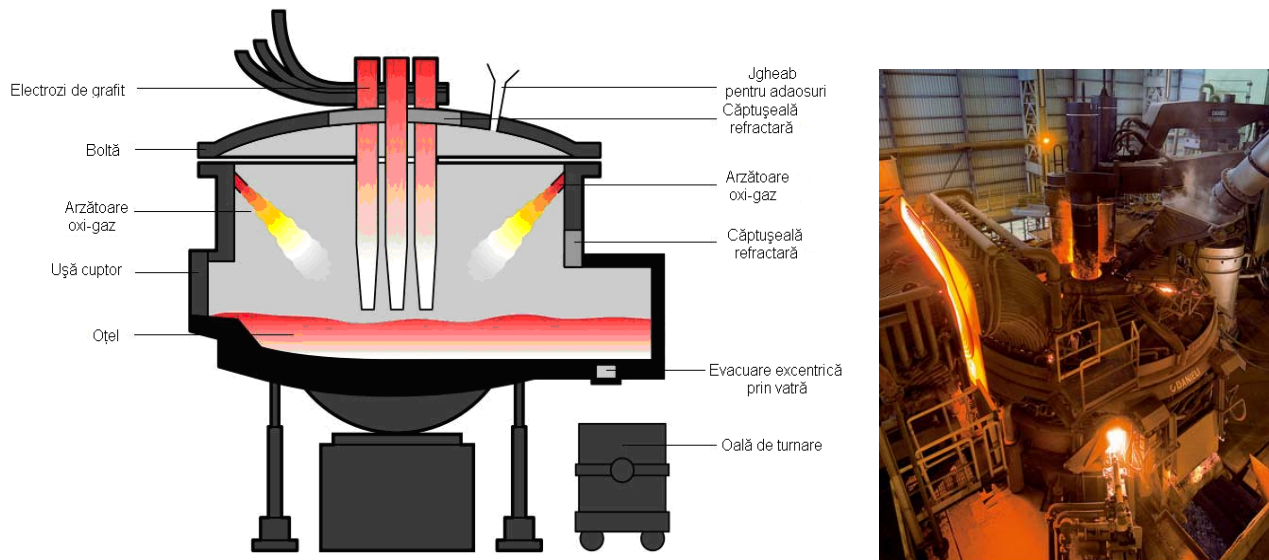


Figura 2.9. Cuptorul electric cu arc tip EBT [5,11]

Pentru eficientizarea procesului de elaborare și pentru creșterea gradului de siguranță în exploatarea cuptoarelor electrice cu arc, în ultimii ani s-au introdus în exploatare ca și tehnologii moderne o serie de dispozitive complementare.

Manipulatorul CATFIS este un echipament multifuncțional, utilizat pentru măsurarea temperaturii, a nivelului de oxigen și de carbon din interiorul băii lichide și pentru a colecta și verifica compoziția unui eșantion de oțel lichid din baie (figura 2.10). Acest sistem înlocuiește omul în operațiile de măsurare a temperaturii și de luare a eșantioanelor de la ușa/orificiu de evacuare a zgurii din cuptor și deci permite operatorului să lucreze în condiții de maximă siguranță, acesta nefiind expus la riscul de arsuri, chiar grave, cauzate de posibilele reacții exoterme violente ale cuptorului [9].

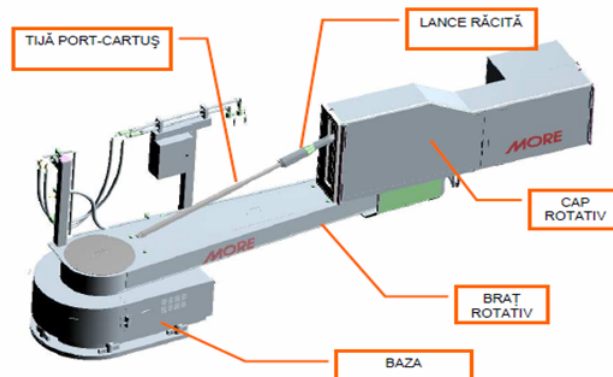


Figura 2.10. Vedere de ansamblu a manipulatorului CATFIS [9]

Injectorul CARBONJET Mk.III (figura 2.11) este un injector de oxigen realizat astfel încât să poată funcționa ca injector de cărbune pulverizat și de oxigen pentru încălzirea și topirea fierului vechi din interiorul unui cuptor [9]. Lancea de cărbune este fabricată dintr-un material ceramic în interiorul tubului de oțel pentru a o proteja de uzură. Vârful este realizat dintr-un aliaj special rezistent la căldură și se poate înlocui ușor. Capul injectorului este din cupru și are două serii de orificii concentrice pentru injectarea oxigenului (cele externe) și a gazului natural (cele interne) în timpul fazei de arzător.

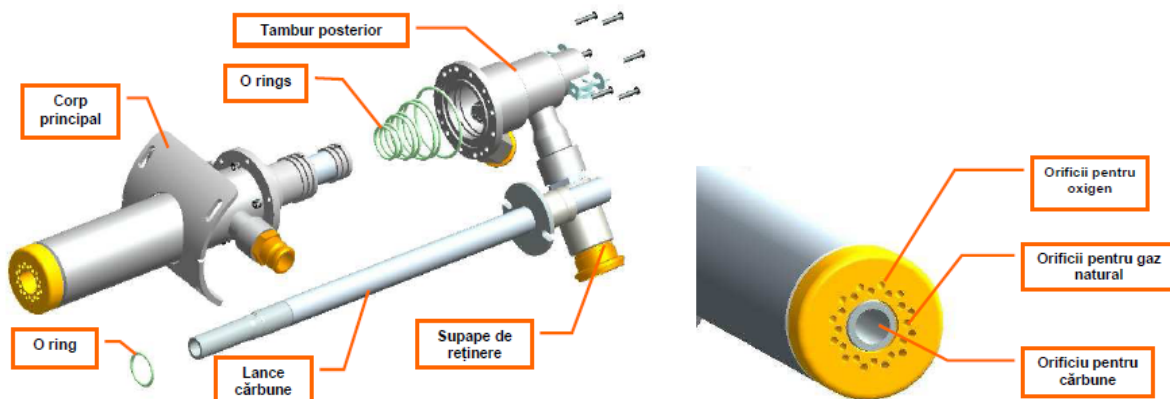


Figura 2.11. Componentele principale ale injectorului CARBONJET Mk.III [9]

Injectorul OXYGENJET Mk.III este un injector de oxigen/gaz natural realizat astfel încât să poată funcționa atât ca injector de oxigen în modalitate supersonică, cât și ca arzător pentru încălzirea și topirea fierului vechi din interiorul unui cuptor siderurgic (figura 2.12). Duza este proiectată pentru a obține un jet de oxigen supersonic coerent. O coroană dublă de orificii, cea din interior pentru gaz natural și cea din exterior pentru oxigen pentru faza de arzător, folosește atât pentru faza de arzător, cât și pentru a maximaliza efectul jetului supersonic.

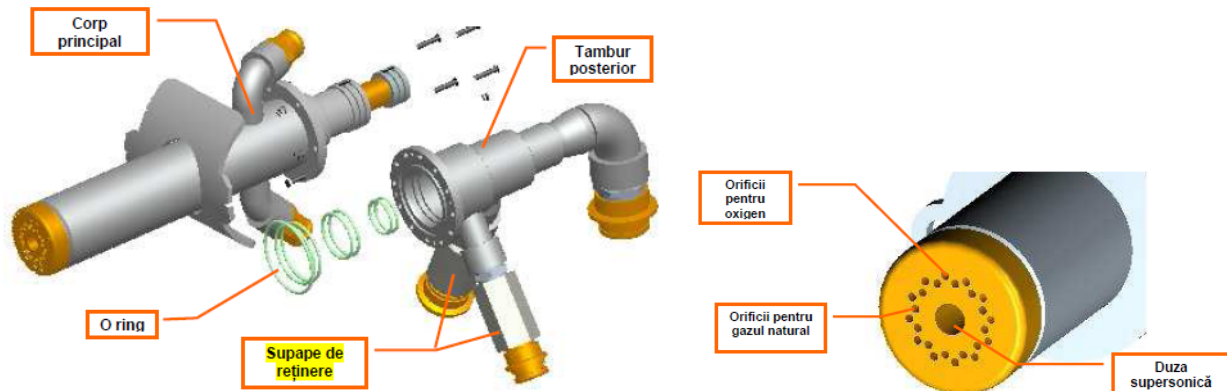


Figura 2.12. Componentele principale ale injectorului OXYGENJET Mk.III [9]

Regimul termic al cuptorului electric este influențat de două categorii mari de procese:

- procese legate de încălzire - încălzirea cuptoarelor electrice cu arc asigură prin modul de alcătuire a ei, în funcție de cantitate de elemente care se oxidează și de efectul termic al relațiilor de oxidare a acestora, o cantitate de căldură disponibilă Q_{exot} de valoare variabilă și determină, în funcție de modul de încălzire, pierderile de căldură Q_{pierdut} din această perioadă;

- procese legate de conducerea electrică a cuptorului - utilizarea cuptorului electric la elaborarea oțelurilor este strâns legată de aspectele economice determinate de conjunctura în care se asigură local alimentarea cu energie electrică, de calitatea materialelor refractare disponibile și de sarcina specifică maximă ce poate fi preluată de electrozi.

Elaborarea oțelurilor și în mod deosebit a celor destinate producerii de țevi în oțelăriile electrice, presupune utilizarea unei încălziri de calitate. În acest sens încălzirea nu trebuie să conțină componente care aduc în șarjă elemente ca: cupru, zinc, plumb, staniu, nichel, molibden cobalt, arsen. Pentru creșterea calității oțelului de țevi, producătorii de oțel, utilizează în încălzire burete de fier și pelete metalizate în proporție de până la 40%. Avantajele utilizării acestor componente sunt [10]: nu conțin elemente reziduale; calitate foarte bună a buretelui de fier; preț de cost scăzut al buretelui de fier comparativ cu al fontei. Foarte important pentru calitatea oțelurilor produse pe aceste fluxuri este procesarea (tratamentul) oțelului în oală, în mod deosebit procesele de dezoxidare, desulfurare și degazare.

Cuptoarele cu arc electric de curent continuu (DC EAF) au constituit o inovație în tehnologia cuptoarelor cu arc electric în ultimii zece ani [11,12]. Nu conceptul de operare a unui cuptor în curent continuu este nou, ci faptul că utilizarea acestuia a devenit economică la scară industrială. Schematic un astfel de cuptor este prezentat în figura 2.13 [12,13]. Aceste agregate au singur electrod și un port electrod, acesta acționează drept catod și necesită un electrod de retur ca și anod, pentru a completa circuitul electric. Acest anod este denumit electrodul de jos, deoarece acesta este situat în partea inferioară a cuvei cuptorului.

Extinderea utilizării cuptoarelor cu arc electric de curent continuu are la bază dezvoltarea electronicii de putere și a tehnicii de calcul, cu influențe benefice asupra posibilității de control al proceselor fizice care au loc în cuptor în timpul funcționării acestuia [14,15].

Cu toată experiența câștigată în exploatarea cuptoarelor cu arc electric de curent continuu se constată că există o serie de probleme referitoare la modelarea cuptorului, soluția de alimentare cu energie electrică de curent continuu, găsirea unei variante cu performanțe optime din punct de vedere al calității energiei electrice, a factorului de putere, etc [16,17].

Astfel, conducerea optimală a procesului de topire în vederea minimizării consumului de energie și alte aspecte privind, inclusiv calitatea șarjei, nu au primit, încă, o soluție unitară, domeniul aflându-se la început.

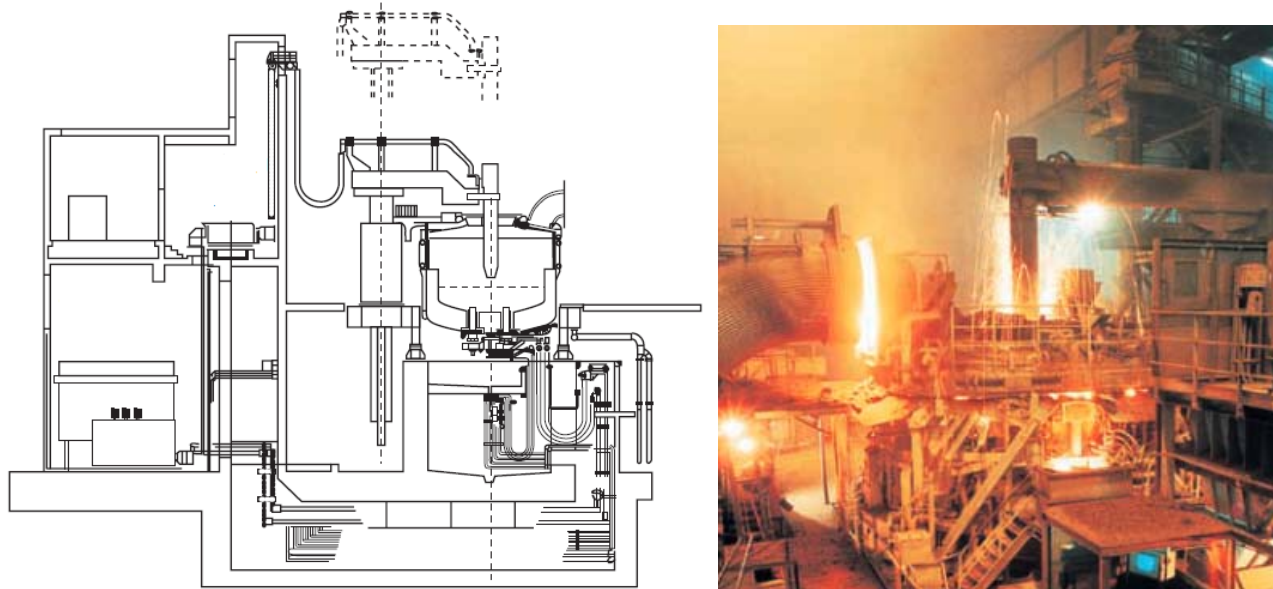


Figura 2.13. Cuptorul electric cu arc în curent continuu (120t DC EAF Stahlwerk Thüringen, Germany) [12,13]

Recuperarea căldurii cedate de gazele reziduale reprezintă o abordare foarte bine cunoscută. Conceptele noi ale cuptoarelor de elaborare a oțelului au integrat preîncălzirea fierului vechi. Figura 2.14 prezintă câteva exemple din procedeele care utilizează preîncălzirea deșeurilor ferose (MSP – scrap preheating chamber on shell, SSP - scrap preheating chamber beside shell, Consteel). Aplicarea acestor procedee se poate face la ambele tipuri de agregate de elaborare (AC/DC).

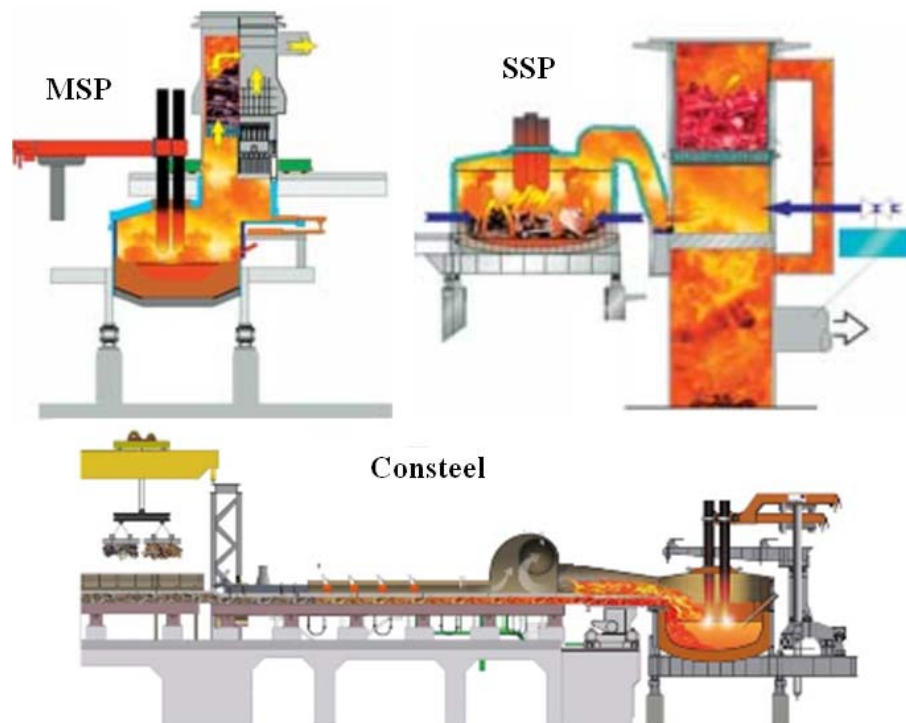


Figura 2.14. Elaborarea oțelului cu posibilitatea preîncălzirii încărcăturii metalice [18,19]

Utilizarea tehnologiilor de preîncălzire a deșeurilor feroase conduce la o economie de minim 70-100kWh/t ceea ce reprezintă circa 25% din alimentarea totală cu energie. În plus, preîncălzirea deșeurilor feroase reduce semnificativ timpul de evacuare și conduce la o creștere considerabilă a productivității. În combinație cu tratarea avansată a gazelor epurate, preîncălzirea deșeurilor feroase poate juca un rol important în optimizarea procesului de producere a oțelului în cuptoarele electrice cu arc, nu numai în ceea ce privește productivitatea, dar și în ceea ce privește minimizarea emisiilor.

Astfel, pe plan mondial, mai multe tehnologii au încercat să maximizeze utilizarea de energie chimică în procesul de elaborare a oțelului (EOF, K-ES, LSF) [12,19]. Aceste procese depind în mare măsură de realizarea unui pseudo-echilibru în cazul în care oxigenul a reacționat complet cu componentele combustibile (carbon, CO, gaze naturale).

Alte procese au încercat a maximiza utilizarea energiei și recuperarea energiei din gazele de arse (Cuptor cu cuvă Fuchs, Consteel, EOF, IHI Shaft). Aceste procese sunt dependente de transferul de căldură de la gazul de evacuare la încărcătură [12,18].

Aplicarea noilor tehnologiilor trebuie să respecte criteriile [12,18,19]:

- flexibilitatea procesului tehnologic;
- creșterea productivității și îmbunătățirea eficienței energetice;
- îmbunătățirea calității produsului finit;
- satisfacerea cerințelor de mediu la un cost minim.

Astfel, alegerea corectă a agregatului de elaborare a oțelului sau a noilor tehnologii rezultă din îndeplinirea acestuia a unei serii de cerințe specifice. Factorii care influențează decizia de a alege un tip de agregat de elaborare sau tehnologie de elaborare sunt [12,18]:

- disponibilitatea de materii prime;
- disponibilitatea și costul surselor de energie;
- tratamentul secundar disponibil;
- mixul de produse dorit;
- costul de capital;
- existența unei forțe de muncă instruită.

În ultimii ani, au fost dezvoltate concepte noi de tehnologii de elaborare care au fost implementate, la scară industrială: Comelt, Conarc, Contiarc, Hytemp, Finger, Shaft Furnace, etc.

Cuptorul Comelt este un cuptor de tip EAF (Electric Arc Furnace). În cele mai multe cazuri cuptorul este prevăzut cu 4 electrozi înclinați, conducând la transmiterea energiei prin arc electric. Alte construcții constau în aceea a conceptului integrat cu instalație de preîncălzire, colectare completă a gazelor reziduale în fiecare fază de operare și diminuarea nivelului de zgomot. Avantajele esențiale conform procesului de fabricație sunt [12, 20]:

- productivitate ridicată;
- reducerea consumului total de energie prin introducerea instalației de preîncălzire (cca. 360MJ/t în comparație cu cuptorul electric cu arc clasic);
- reducerea consumului de electrozi (cca. 30%);
- colectarea completă a gazelor evacuate în fiecare etapă de producție și reducerea astfel a volumului de gaz evacuat până la 70%;
- reducerea costurilor de întreținere prin realizarea unor proiecte simple;
- reducerea nivelului de zgomot până la 15dB(A).

Contiarc este un cuptor cu funcționare continuă cu un electrod central, care poate fi încălzit prin curent alternativ [12,20]. Agregatul (figura 2.15) constă într-o oală exterioară și una interioară de turnare, care se încarcă în mod continuu cu deșeurii. Prin acest procedeu, deșeurile se preîncălzesc prin ascensiunea gazelor fierbinți din cuptor.

Avantajele utilizării cuptorului Contiarc sunt [12,21]:

- reducerea pierderilor de energie (cu 720MJ/t mai puțin decât în sistemul convențional);
- reducerea considerabilă a volumului de gaze reziduale și a volumului de praf (conținutul de praf este cu peste 40% mai mic pentru 100t/h)
- consum mai mic de energie electrică (82,3MJ/t);
- avantaje privind prețul de producție;
- reducerea consumurilor de electrozi.

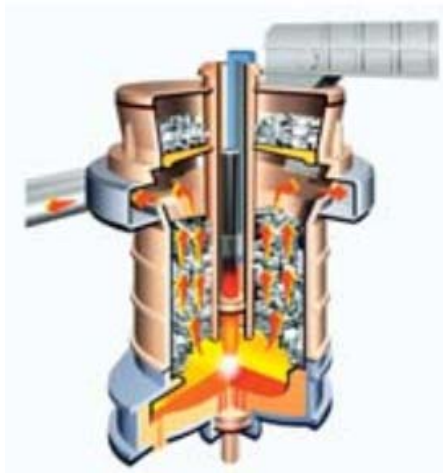


Figura 2.15. Cuptorul Contiarc [21]

Conceptul Conarc se bazează pe utilizarea încărcăturii metalice lichide în cuptorul electric cu arc și are drept scop optimizarea recuperării de energie și maximizarea productivității. Procesul tehnologic, prezentat în figura 2.16, constă în existența a două cuve și o structură de electrozi care deservește ambele cuve și respectiv o lance cu oxigen [12, 21]. Conceptul de bază constă în efectuarea topirii într-o cuvă (mod cuptor electric cu arc) și a decarburării băii metalice în cealaltă cuvă (modul convertizor). Materia primă utilizată: fontă lichidă, deșeuri feroase și burete de fier.

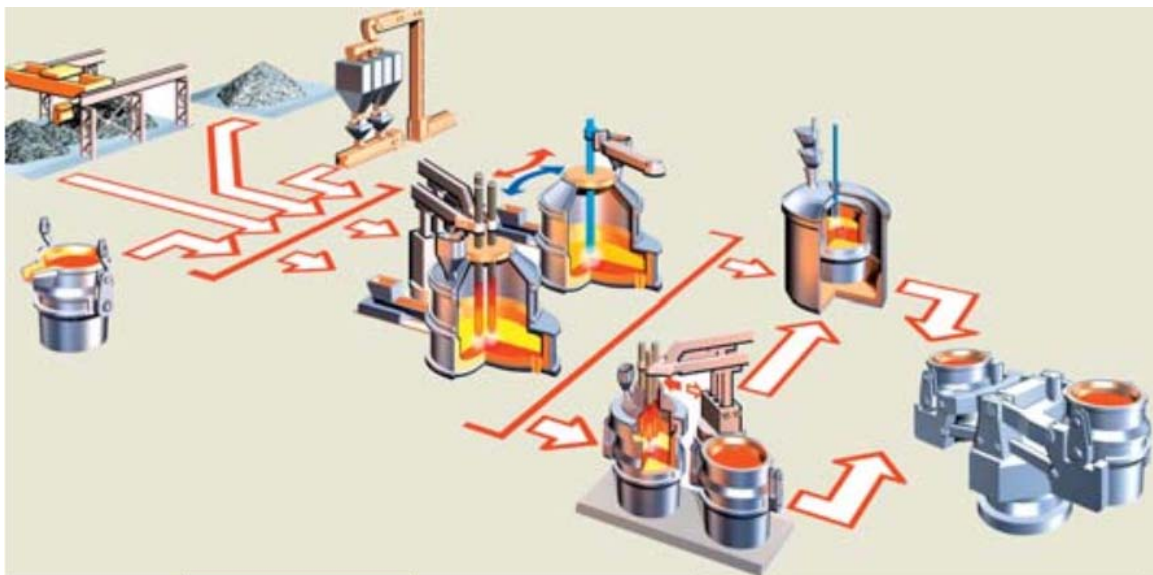


Figura 2.16. Flux tehnologic CONARC [21]

Avantajele utilizării conceptului Conarc sunt [12,21]:

- reducerea consumului de energie la 181KWh/t în varianta utilizării a fontei lichide și a buretelui de fier;
- flexibilitate foarte mare în ce privește materia primă disponibilă (fontă lichidă, burete de fier, deșeuri feroase) și a energiei utilizate (energie electrică/oxigen).

În scopul asigurării unei funcționări eficiente din punct de vedere al consumului energetic și economic, sunt necesare cuptoare de topire de dimensiuni mari. Aceste cuptoare au un randament ridicat și în genral constant [20]. Astfel, costurile de capital sunt la nivel înalt și flexibilitatea este ridicată. În prezent, există cerințe mari privind producția flexibilă în unități de producție mici, în scopul îndeplinirii solicitărilor clienților.

Există o tendință de creștere a producției de oțel elaborat în cuptorul cu arc electric. Producția de oțel din deșeuri feroase consumă mai puțină energie decât cea din minereuri de fier. Problemele cu calitatea deșeurilor feroase introduc anumite restricții și conduc la utilizarea în încărcătura agregatelor de elaborare a buretelui de fier.

În prezent, se utilizează două tipuri de procedeele alternative [20]:

- reducerea directă (DR) - implică producerea buretelui de fier pornind de la minereu de fier și un agent de reducere (gazul natural). Produsul rezultat DRI care se utilizează în principal ca materie primă în cuptoarele cu arc electric. Exemple de tehnologii utilizate - MIDREX, HyL, FIOR, FASTMET, IRON CARBID, CIRCORED, INMETCO și FINMET;
- reducere prin topire (SR) - implică procesul de combinare a minereului de fier cu topirea (în cuptoare de topire) într-un reactor fără a mai utiliza cocsul. Produsul rezultat este o fontă brută în stare lichidă, care se utilizează ca și materie primă în încărcătura agregatelor de elaborare. Variantele procesului care se utilizează la scară industrială - Corex, Hismelt, DIOS, AISI-DOE/CCF și ROMELT.

Cerințele crescânde de oțeluri de înaltă puritate și cu caracteristici fizico-chimice și mecanice deosebite, au favorizat realizarea unei game foarte variate de procedee de prelucrare a oțelului lichid în afara agregatului de elaborare, diversificarea acestora fiind impusă în afară de prescripțiile de calitate ale oțelului, de factori legați de condiții locale ca: procedeul de elaborare, dotarea cu utilaje, economia de energie și materiale (feroaliaje, adaosuri speciale, gaze inerte).

Pentru o tratare sistematică, procedeele de tratare a oțelului lichid în afara agregatului de elaborare pot fi clasificate pornind de la cele mai simple spre cele complexe [10,22,23], astfel: barbotarea cu gaze inerte; barbotarea cu gaze inerte și adaosuri în oala de turnare; barbotarea cu gaze inerte, adaosuri în oala de turnare și reîncălzirea oțelului lichid; tratarea cu zguri sintetice; tratare sub vid; tratare sub vid și adaosuri în baia metalică; tratare sub vid, adaosuri în baia metalică și reîncălzire a oțelului. Figura 2.17 prezintă unele dintre cele mai utilizate tehnologii de tratament secundar al oțelului în practica industrială.



Figura 2.17. Tehnologii de tratament secundar al oțelului [24]

Necesitatea obținerii de oțeluri de înaltă puritate și cu caracteristici mecanice superioare a determinat extinderea aplicării procedeelor de retopire, prin care lingourile și semifabricatele din oțel se retopesc în lingouri sau chiar produse finite, cu caracteristici superioare. Procedeelor de retopire au efecte deosebite asupra: îmbunătățirii calității oțelului, îndepărtării gazelor din oțel, desulfurarea avansată și creșterea caracteristicilor mecanice.

Figura 2.18 prezintă o serie de procedee speciale de elaborare a oțelurilor, cu aplicabilitate la scară industrială, astfel:

- VIM – topire în vid în cuptorul cu inducție;
- ESR – retopire sub strat de zgură;
- VAR – retopire cu arc în vid.

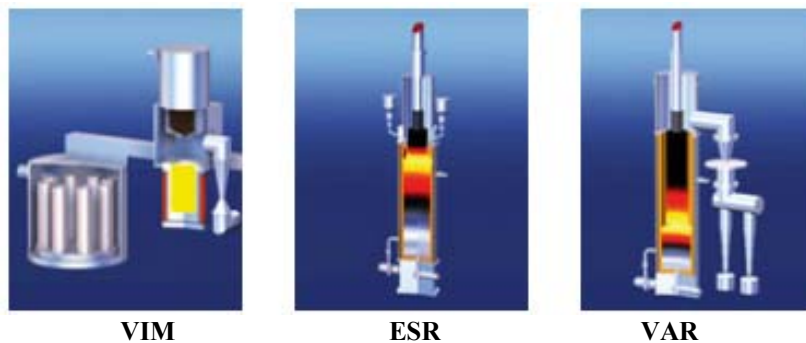


Figura 2.18. Procedeelor speciale de elaborare a oțelurilor [24]

În prezent majoritatea oțelărilor care nu sunt echipate cu instalații de vidare, sunt echipate cu instalații de procesare în oală, instalații LF – Ladle Furnace. Acestea valorifică potențialul efect al rafinării oțelului prin încălzirea cu arc electric la presiune atmosferică și amestecării sub influența injectării gazelor inerte. Instalațiile de tratament secundar al oțelului funcționează în sistem duplex cu agregatul de elaborare primară a oțelului. Procesul de tratament secundar este condus prin intermediul unui sistem computerizat de control care optimizează funcționarea instalațiilor de tratament secundar.

Utilizarea tratamentului secundar al oțelului conduce la [25,26]:

- reducerea temperaturii de evacuare din agregatul primar de elaborare cu 40-80°C;
- scurtarea duratelor de elaborare în agregatul primar și creșterea productivității;
- micșorarea uzurii și a consumului de materiale refractare cu 10-20%, datorită funcționării cu temperatură mai scăzută respectiv scăderea consumului energetic cu 20-50kWh/t;
- îmbunătățirea calității semifabricatelor sau produselor finite obținute.

Tendința producătorilor de a se apropia cât mai mult de dimensiunea finală prin turnare continuă își găsește justificarea prin economiile importante de energie care sunt realizate în urma simplificării fluxului tehnologic, prin micșorarea pierderilor de metal în timpul procesării și prin eliminarea unor instalații care presupuneau investiții, personal și întreținere.

Gradul de puritate este de o mare importanță pentru calitatea produsului turnat.

După finalizarea tratamentului secundar oțelul este transferat la instalațiile de turnare continuă a acestuia aflate în flux.

În funcție de aplicația finală a semifabricatelor turnate, pot fi turnate o varietate de profile ale secțiunii transversale de diverse dimensiuni, de exemplu [26,27]: profile pătrate, profile dreptunghiulare, profile cave, profile poligonale, profile rotunde.

2.3. Posibilități de îmbunătățire a calității oțelului

Calitatea oțelurilor se reflectă prin realizarea unor performanțe superioare vizând:

- micșorarea conținutului de elemente considerate dăunătoare pentru marca de oțel (sulf, fosfor, elemente reziduale);
- micșorarea conținutului de gaze dizolvate în oțelul lichid (hidrogen și azot);
- scăderea conținutului de oxigen în oțel;
- îndepărtarea avansată a produșilor generatori de incluziuni nemetalice și asigurarea unei distribuții corespunzătoare a celor rămase în oțelul lichid;
- corecția riguroasă a compoziției chimice;
- reglarea exactă a temperaturii de evacuare a oțelului în funcție de temperatura de turnare.

Realizarea acestor cerințe conduce în final la obținerea unor oțeluri de înaltă puritate, cu proprietăți fizico-chimice superioare.

Tehnica modernă necesită din ce în ce mai mult oțel de calitate superioară și oțeluri speciale, cu proprietăți corespunzătoare unor scopuri foarte variate. Datorită interdependenței dintre factorii care determină în ansamblu calitatea oțelului și cei care determină conținutul de gaze, aceasta constituie o problemă din ce în ce mai importantă pentru elaborarea, tratarea și turnarea oțelurilor și prin aceasta pentru progresul tehnic.

În siderurgie, ca de altfel și în celelalte sectoare ale industriei materialelor, problema calității, dependentă fundamental de puritate, este foarte complexă. Referitor la produsele finite (blumuri și țagle turnate continuu) conținutul de gaze este determinant pentru proprietățile tehnologice (de prelucrare ulterioară) revendicate de beneficiar. Această afirmație justifică necesitatea ca în cadrul relației „cauză – efect”, cunoașterea tehnologică să acorde importanță mare calității materialelor și materiilor prime, care în cadrul procesului de fabricație înseamnă factorul inițial al calității produselor.

Faptul că problema calității materialelor și materiilor prime devine obiectiv al dezvoltării durabile este subliniat și de unele atenționări aduse siderurgilor de managementul calității totale, și anume: calitatea produsului este direct determinată de calitatea materiilor prime și a materialelor componentelor aprovizionate, de calitatea și performanța utilajelor și echipamentelor tehnologice. De aceea, în conceptul calității totale, furnizorii reprezintă un element de bază. Furnizorii pot contribui esențial la satisfacerea beneficiarului și prin aceasta la asigurarea competitivității. Materialele și materiile prime trebuie să îndeplinească o serie de caracteristici tehnico – funcționale, dintre care mai importante sunt: disponibilitatea, adaptabilitatea și interschimbabilitatea. Pentru micșorarea conținutului de gaze, calea principală este și rămâne și pentru următorii ani metalurgia secundară precum și optimizarea proceselor de elaborare și turnare prin coordonarea cuptorului cu instalația de turnare continuă. În acest mod se realizează atât secvențe operaționale lungi și dimensionarea corectă a numărului de stații de tratament secundar și cu rol de tampon pentru oțelul lichid, cât și controlul temperaturilor în vederea turnării. Toate acestea contribuie la economia de timp și reducerea cheltuielilor.

Pentru îmbunătățirea calității oțelului cercetările experimentale și industriale efectuate după susținerea tezei de doctorat s-au axat pe analiza fluxului tehnologic de obținere a oțelului în sistemul cuptor electric cu arc-instalație de tratament secundar-instalație de turnare continuă, astfel:

- optimizarea structurii încărcăturii metalice la cuptorul electric cu arc;
- reducerea conținutului de gaze din oțeluri;
- tratarea oțelului lichid în instalații de tratament secundar și turnarea pe instalații de turnare continuă în vederea obținerii unor mărci de oțel cu conținuturi scăzute de hidrogen și azot în baia metalică;

- modelarea și simularea procesului de solidificare a semifabricatelor turnate continuu;
- îmbunătățirea structurii de turnare a semifabricatelor prin utilizarea de microrăcitori;
- obținerea de noi materiale compozite care să înlocuiască saboții de frână din fontă ai materialului rulant.

2.3.1. Cercetări și experimentări cu privire la reducerea conținutului de hidrogen și azot din oțel

Cercetările și experimentările industriale cu privire la reducerea conținutului de gaze din oțel s-au desfășurat în cadrul:

- contractului de cercetare-dezvoltare și consultanță cu SC ArcelorMittal SA Hunedoara;
- proiectului internațional „Școala doctorală în sprijinul cercetării în context european”, POSDRU/21/1.5/G/13798.

Activitățile desfășurate au constat în consilierea, participarea la experimentări, analize, probe, prelucrarea datelor experimentare, publicare, diseminare rezultate cercetări și finalizarea tezei de doctorat a doctorandului Ing. Drăgoi Florin Viorel, înmatriculat la Școala Doctorală a Universității Politehnica Timișoara, domeniul Ingineria Materialelor, conducător de doctorat Prof.dr.ing. Hepuț Teodor, cu teza de doctorat „Cercetări privind reducerea conținutului de gaze din oțelurile elaborate și tratate pe fluxul EBT-LF”.

Eperimentările industriale s-au efectuat la o uzină siderurgică care are în dotare un cuptor electric cu arc de tip EBT de 100 tone, o instalație de tratament secundar tip LF de capacitate de 100 tone și o instalație de turnare continuă. O parte din probele prelevate în cadrul experimentărilor au fost analizate în cadrul uzinei iar o ală parte la Research Center ArcelorMittal, Esch-sur-Alzette Luxembourg în cadrul mobilității internaționale efectuate împreună cu doctorandul.

În timpul proceselor de elaborare a oțelului în cuptoarele electrice cu arc de tip EBT există diferite surse de hidrogen, care în anumite condiții de presiune și temperatură fac posibilă absorbția hidrogenului în baia metalică.

Din experiența acumulată în exploatarea acestor cuptoare și a cercetărilor efectuate pe un număr mare de șarje de oțel [9, 28,29,30] s-au identificat ca principale surse de hidrogen în oțel:

- umiditatea încărcăturii metalice;
- adaosurile necesare formării zgurii;
- atmosfera cuptorului.

De asemenea, datorită metodelor constructive a cuptoarelor (panouri, boltă și alte elemente răcite cu apă) pot apărea cazuri accidentale de spargere a acestor elemente și astfel pentru scurte perioade de timp dar cu presiuni mari de lucru, apa de răcire pătrunde în atmosfera de elaborare a agregatului. Conținutul de hidrogen și azot în diferite materiale metalice folosite în siderurgie este prezentat în tabelul 2.1 [30]

Tabelul 2.1 Conținutul de hidrogen în fontă, fierul vechi și feroaliajele utilizate în siderurgie

Material	[%H]	[%N]
Fonta	0,001-0,0025	0,005
Fier vechi	0,0005-0,0008	0,003-0,005
Feromangan	0,0015-0,0030	0,02-0,05
Ferosilici	0,0007-0,0035	0,005-0,01
Silicomangan	0,0035-0,0070	0,019-0,039
Silicocalciu	0,0035	0,03
Ferocrom	0,0005-0,0015	0,012-0,043
Nichel tehnic	0,008-0,009	0,003

Influența negativă a hidrogenului în oțel se manifestă astfel [30-35]: constituie una din cauzele apariției suflurilor în lingouri și piese turnate din oțeluri calmate, contribuie la apariția defectului numit „fulgi” (fisuri foarte mici cu formă stelară) în oțelurile aliate cu crom și nichel, care reduc substanțial rezistența la oboseală a pieselor din oțel, micșorează plasticitatea și tenacitatea oțelului și afectează proprietățile electrice și magnetice ale oțelurilor.

Influența negativă a azotului în oțel se manifestă astfel: reduce plasticitatea și tenacitatea oțelului, în asociere cu hidrogenul contribuie la apariția suflurilor în oțelul turnat și provoacă fenomenul de îmbătrânire a oțelului prin depunere de nitruri la limitele grăunților structurali [30].

Activități desfășurate pe fluxul tehnologic industrial de elaborare a oțelului [9, 30]:

- pentru determinarea analizei chimice a oțelului și a conținutului de gaze din acesta, s-au prelevat probe de oțel, acestea fiind sub formă de disc – pin, fiind prelevate în mod automat cu manipulatorul Catfis sau manual cu lancea de prelevare probe. În cuptor prima probă se prelevează la finalul topirii;
- s-a măsurat nivelul hidrogenului în baia metalică la finalul proceselor din cuptorul EBT (cu ajutorul aparatului HIDRIS), după evacuarea oțelului în oala de tratament și turnare iar a treia măsurătoare a fost realizată la intrarea oalei în instalația LF odată cu prelevarea primei probe de oțel care ne indică pe lângă analiza chimică și conținutul de azot;
- începutul tratamentului secundar se realizează prin pornirea instalației de barbotare, reglarea parametrilor argonului (debit și presiune), urmată de formarea unei zguri puternic desulfurante ce se creează prin adăugarea în porții succesive de var și bauxită (500 kg var și 200 kg bauxită). Odată cu adăugarea primei porții de zgură începe și încălzirea oțelului cu ajutorul unei instalații formată din transformator (75 MVA) și 3 electrozi (Ø400 mm). Concomitent cu încălzirea se realizează și corecția analizei chimice în vederea obținerii mărcii de oțel [9]. După aproximativ 25 – 30 de minute de încălzire și administrare a porțiilor de zgură și feroaliajelor necesare are loc o nouă măsurare a hidrogenului și prelevarea unei probe intermediare de oțel;
- la finalul procesului de tratament secundar se măsoară temperatura oțelului, nivelul hidrogenului și se prelevează proba finală de oțel, după aceste operațiuni are loc oprirea sistemului de barbotare, decuplarea oalei de la rețeaua de barbotare și transferul acesteia la instalația de turnare continuă;
- gestionarea conținutului de gaze nocive din oțel (azot și hidrogen), este posibilă încă din faza de încărcare a fierului vechi în cuptor prin evitarea folosirii unei încărcături umede, prin folosirea unor fondanți calcinați și a unor feroaliaje cu conținut scăzut de azot. Principalii parametri ce influențează conținutul de azot și hidrogen din oțel [9,30]:
- atmosfera agregatului de elaborare (evitarea scurgerilor de apă în cuptor);
- puritatea oxigenului tehnologic folosit la elaborare (98,3–99,7%O₂ influențează cu până la 30% conținutul de azot al băii metalice);
- umiditatea gazului metan folosit ca adjuvant la topire ceea ce duce în unele cazuri la valori ale hidrogenului de 9,7–10ppm în baia metalică încă din cuptor;
- umiditatea carbonului folosit la insuflare pentru spumarea zgurii;
- durata de evacuare a oțelului din cuptor în oala de turnare (4–9 min), direct influențată de diametrul orificiului de evacuare;
- forma și suprafața laterală a jetului de oțel în timpul evacuării;
- durata menținerii oțelului în oala de turnare (după evacuare) fără a se administra zgura nou formată în oală adăugată la cuptor.

În instalația LF principalele factori ce pot influența absorbția sau desorbția hidrogenului dar mai ales a azotului sunt [9,30]:

- parametrii gazului de barbotare, presiunea și debitul;
- umiditatea varului și a bauxitei.

La instalația de turnare continuă au fost identificate următoarele situații ce pot influența conținutul de azot și hidrogen al oțelului și produselor finite [9,30]:

- umiditatea distribuitorului (folosirea distribuitorilor proaspăt torcretate și insuficient uscate);
- deschiderea oalei, în mod direct cu tub de protecție sau cu ajutorul insuflării de oxigen fără tub de protecție a jetului din oală în distribuitor (figura 2.19);
- praful de acoperire a distribuitorului (umiditatea și grosimea acestuia);
- praful de ungere și acoperire a cristalizorului.

Principalele aparate de măsură și control folosite pentru măsurarea conținutului de gaze din oțeluri, pe parcursul cercetărilor, au fost [9,30]: Hydris (figura 2.20); ARL ADVANT'X (figura 2.21) și OH-900 (figura 2.22). Sistemul Hydris măsoară conținutul de hidrogen iar sonda de unică folosință are lungimea de 900mm pentru măsurare în instalațiile de tratament iar pentru distribuitor între 900-550 mm.

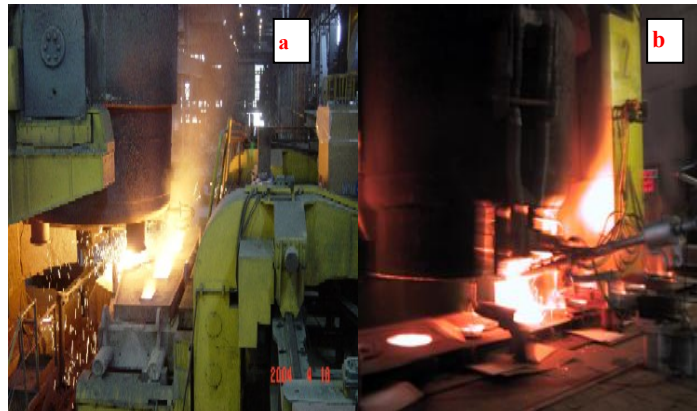


Figura 2.19. Turnarea oțelului din oală [9]:
a - fără tub de protecție; b - cu tub de protecție

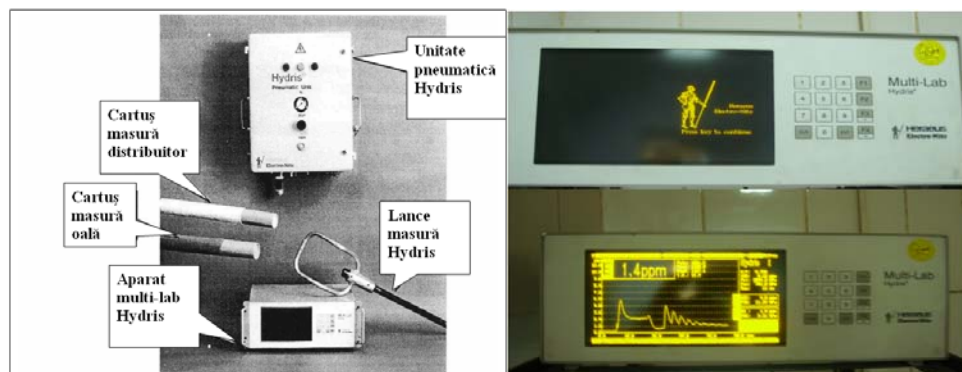


Figura 2.20. Sistem Hydris [30]

S-au analizat posibilitățile creșterii gradului de îndepărtare a hidrogenului la oțelurile elaborate în sistemul duplex (cuptor cu arc electric tip EBT-instalație tratament secundar tip LF), și anume: influența parametrilor de procesare a oțelului în instalația LF asupra randamentului de îndepărtare a hidrogenului și azotului din baia metalică.

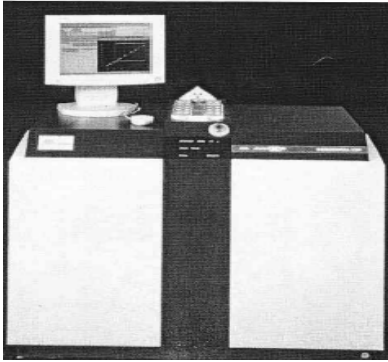


Figura 2.21. Sistemul ARL ADVANT'X 3600W [30]

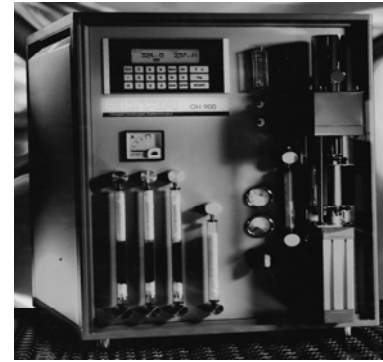


Figura 2.22. Sistemul OH-900 [30]

La șarjele elaborate s-au urmărit parametrii:

- componența încărcăturii metalice și a adaosurilor;
- umiditatea încărcăturii;
- caracteristicile zgurei;
- parametrii topirii și oxidării;
- puritatea oxigenului insuflat în cuptor;
- temperatura băii metalice din cuptor;
- adaosurile efectuate în cuptor și oală la evacuarea oțelului;
- adaosurile în oală pe durata tratamentului secundar al oțelului;
- conținutul de hidrogen din oțel (înaintea evacuării din cuptor, în LF înaintea începerii tratamentului și respectiv la finalul acestuia și în distribuitor);
- parametrii barbotării cu argon în instalația LF (debit, presiune, durată, temperatura băii metalice);
- compoziția chimică a zgurii din instalația LF.

Procesarea oțelului în instalația LF influențează în cea mai mare parte conținutul de hidrogen din oțel, respectiv randamentul de îndepărtare a acestuia. S-au stabilit o serie de corelații între parametrii procesului de tratare a oțelului în instalația LF (debitul de argon D_b , în Nm^3/h ; durata barbotării cu argon T_b , în min; presiunea argonului la barbotare P_b , în bari; temperatura oțelului T , în $^{\circ}C$) și randamentul de îndepărtare a hidrogenului (η_H , în %) [9, 30, 31,36].

Din figura 2.23 se poate observa că [9, 31]:

- există o dependență între variația presiunii argonului și creșterea randamentului de eliminare a hidrogenului în timpul tratamentului secundar;

- curba de corelație prezintă un maxim pentru presiunea de 4,4-4,5 bar, punct situat în limitele tehnologice și putem considera ca indicate pentru barbotare sunt presiunile cuprinse în limitele 4,1 – 4,75 bar;

- la presiuni mai mici bulele se îndepărtează cu viteza mică, deci se va îndepărta o cantitate mai mică de hidrogen iar la presiuni mai mari poate rămâne oțelul din oală descoperit (fără zgură) ceea ce ar permite o creștere prin absorbție a hidrogenului dizolvat în oțel.

Din figura 2.24 se observă că pentru valori ale debitului de argon între 540-590 Nm^3/h randamentul de îndepărtare a hidrogenului variază între 45 -56% [31]. O creștere a debitului de argon, conduce la o ușoară scădere a randamentului de îndepărtare a hidrogenului, fenomen determinat de absorbția hidrogenului în baia de oțel ca urmare a faptului că rămâne descoperită de zgură. Durata tratamentului secundar are o influență hotărâtoare asupra randamentului de eliminare a hidrogenului, durata ideală de tratament fiind cuprinsă între 80 și 105 minute (figura 2.25) [31].

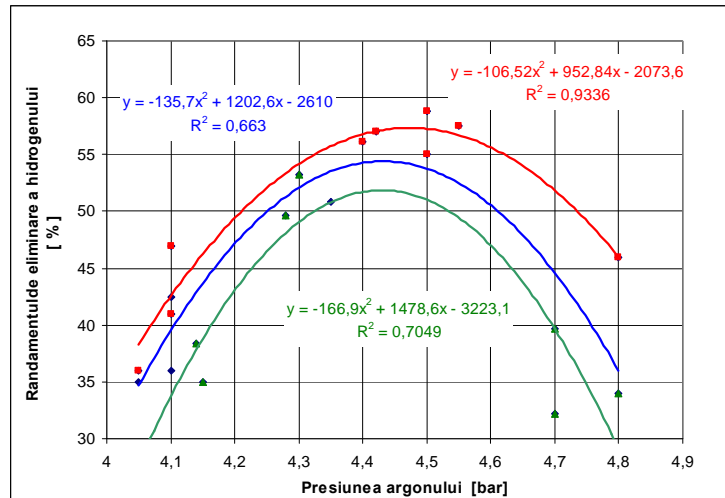


Figura 2.23. Variația randamentului de îndepărtare a hidrogenului în funcție de presiunea argonului [31]

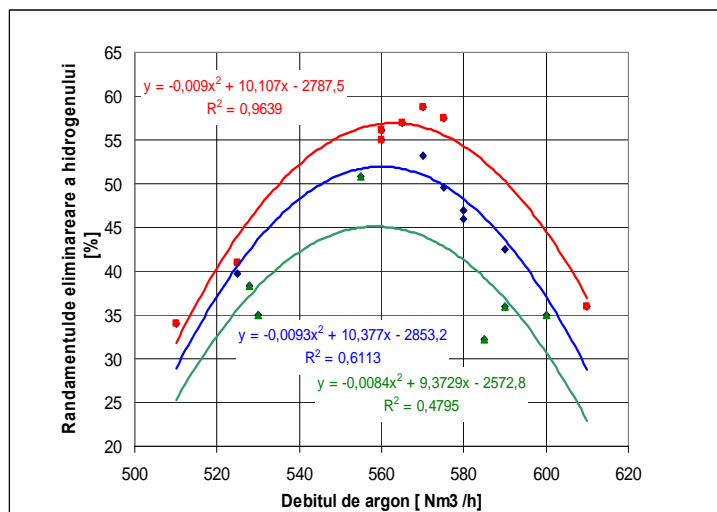


Figura 2.24. Variația randamentului de îndepărtare a hidrogenului în funcție de debitul argonului [31]

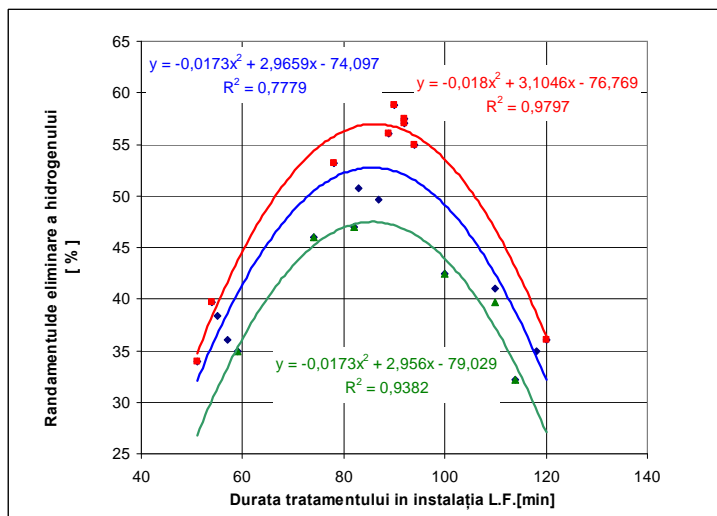


Figura 2.25. Variația randamentului de îndepărtare a hidrogenului în funcție de durata tratamentului în LF [31]

Datele experimentale au fost prelucrate în programul MATLAB obținându-se o serie de corelații multiple, între un parametru dependent și doi sau trei parametri independenți, corelațiile obținute având forma unor funcții polinomiale de gradul 1, 2, 3 și 4 [9, 30,34].

Corelația $\eta_H = f(D_b, P_b)$ este prezentată în figurile 2.26-2.28 [34].

$$\eta_H = -0,05 \cdot D_b + 12,43 \cdot P_b + 20,02 \quad (2.1)$$

$$\eta_H = -0,005 \cdot D_b^2 + 0,02 \cdot D_b \cdot P_b - 80,02 \cdot P_b^2 + 5,59 \cdot D_b + 699,44 \cdot P_b - 3081,35 \quad (2.2)$$

$$\eta_H = 6,156e^{-0,007 \cdot D_b^3} - 0,007 \cdot D_b^2 \cdot P_b + 1,63 \cdot D_b \cdot P_b^2 - 123,59 \cdot P_b^3 + 0,02 \cdot D_b^2 - 6,15 \cdot D_b \cdot P_b + 621,14 \cdot P_b^2 + 1,76 \cdot D_b - 610,01 \cdot P_b - 463,61 \quad (2.3)$$

Corelația $\eta_H = f(P_b, T_b)$ este prezentată în figurile 2.29-2.31 [34].

$$\eta_H = 13,78 \cdot P_b + 0,11 \cdot T_b - 24,37 \quad (2.4)$$

$$\eta_H = -66,55 \cdot P_b^2 + 0,08 \cdot P_b \cdot T_b - 0,009 \cdot T_b^2 + 589,37 \cdot P_b + 1,31 \cdot T_b - 1324,45 \quad (2.5)$$

$$\eta_H = -85,78 \cdot P_b^3 - 0,32 \cdot P_b^2 \cdot T_b - 0,021 \cdot P_b \cdot T_b^2 - 0,0003 \cdot T_b^3 + 1097,54 \cdot P_b^2 + 6,52 \cdot P_b \cdot T_b + 0,16 \cdot T_b^2 - 4800,35 \cdot P_b - 27,3 \cdot T_b + 7331,34 \quad (2.6)$$

Corelația $\eta_H = f(T_b, D_b)$ este prezentată în figurile 2.32-2.34 [34].

$$\eta_H = 0,09 \cdot T_b - 0,05 \cdot D_b + 68,11 \quad (2.8)$$

$$\eta_H = -0,004 \cdot T_b^2 - 0,002 \cdot T_b \cdot D_b - 0,008 \cdot D_b^2 + 2,32 \cdot T_b + 9,41 \cdot D_b - 2688,05 \quad (2.9)$$

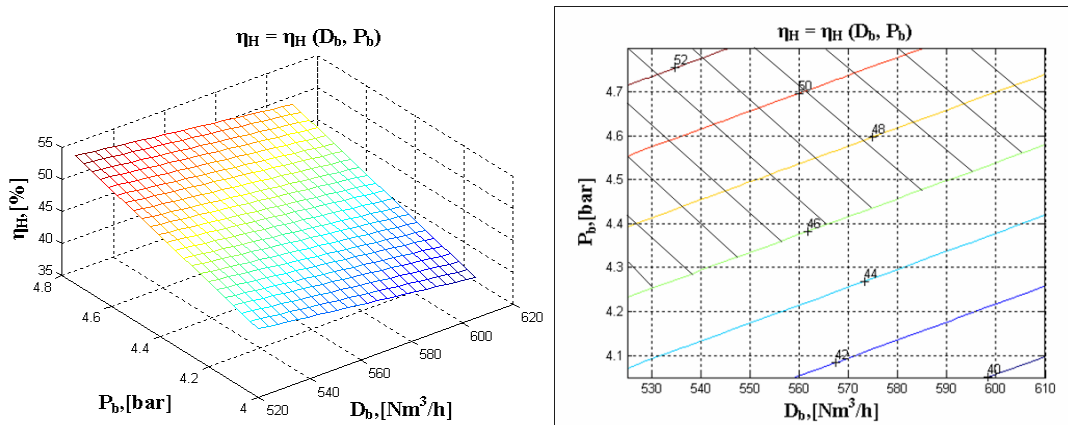


Figura 2.26. $\eta_H = f(D_b, P_b)$ – corelație de gradul 1 [34]

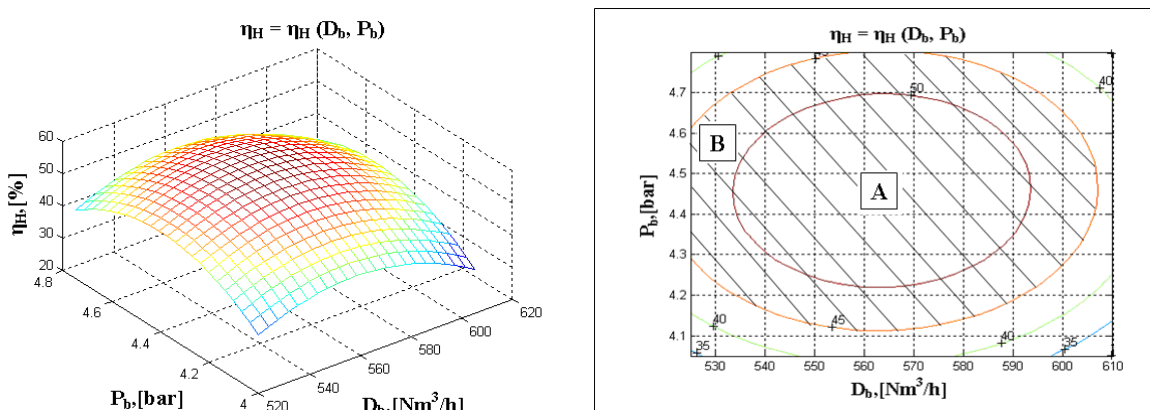


Figura 2.27. $\eta_H = f(D_b, P_b)$ – corelație de gradul 2 [34]

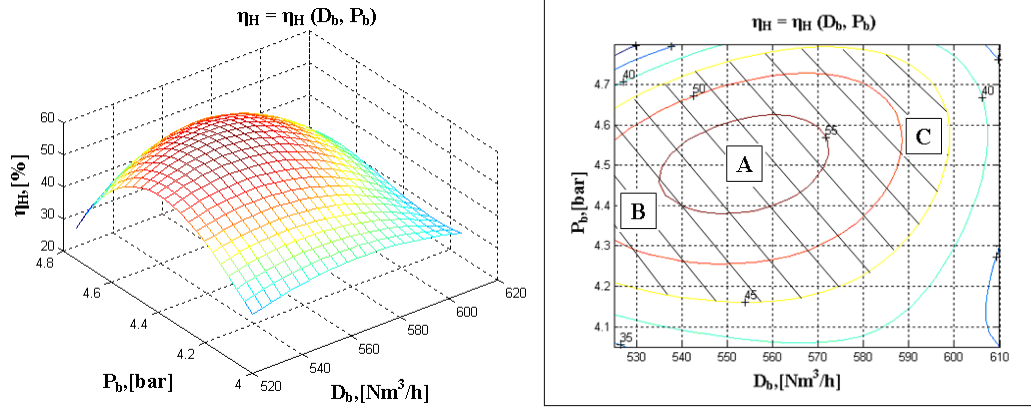


Figura 2.28. $\eta_H = f (D_b, P_b)$ – corelație de gradul 3 [34]

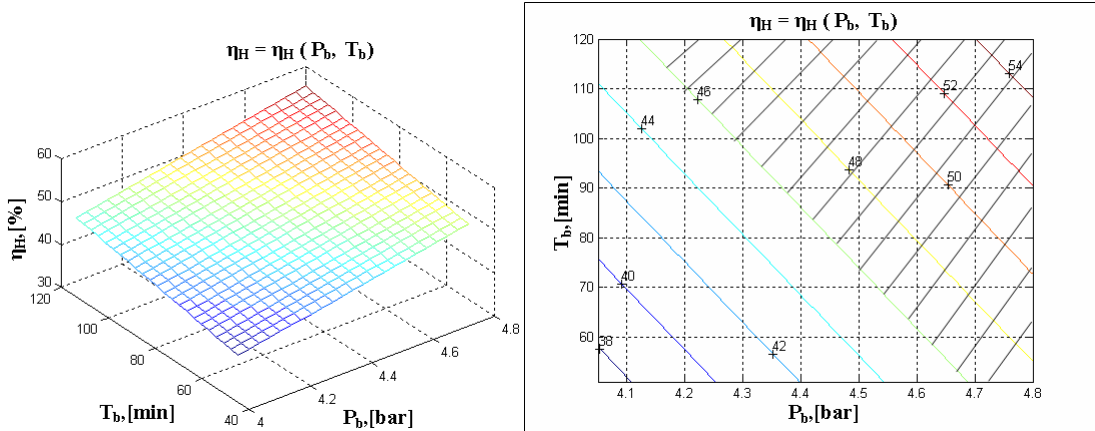


Figura 2.29. $\eta_H = (P_b, T_b)$ – corelație de gradul 1 [34]

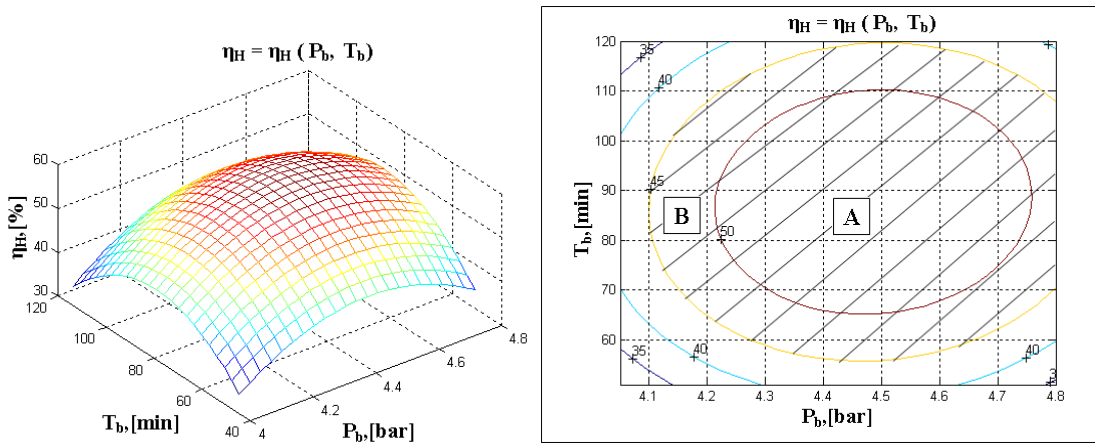


Figura 2.30. $\eta_H = (P_b, T_b)$ – corelație de gradul 2 [34]

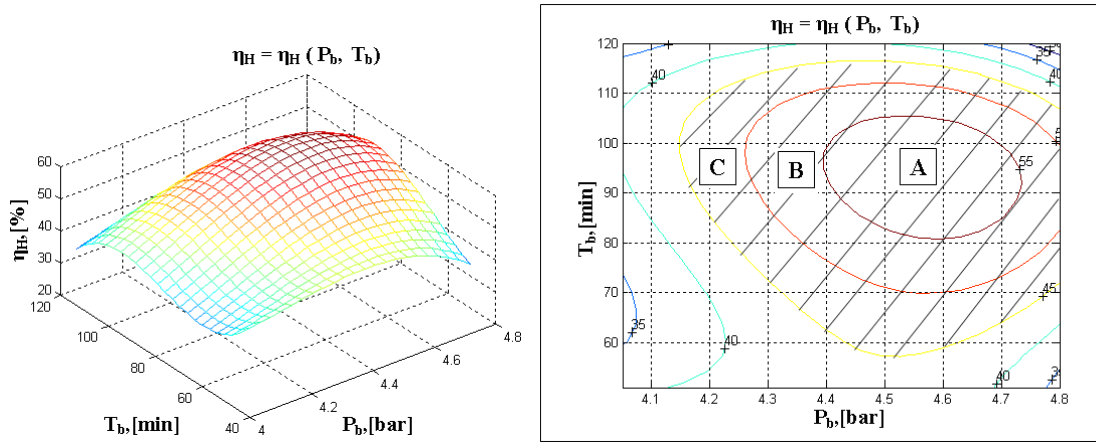


Figura 2.31. $\eta_H = (P_b, T_b)$ – corelație de gradul 3 [34]

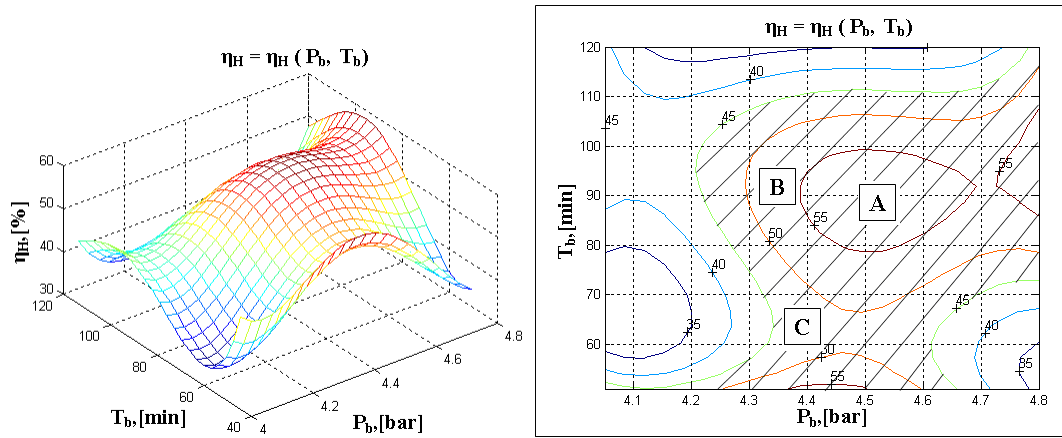


Figura 2.32. $\eta_H = (P_b, T_b)$ – corelație de gradul 4 [34]

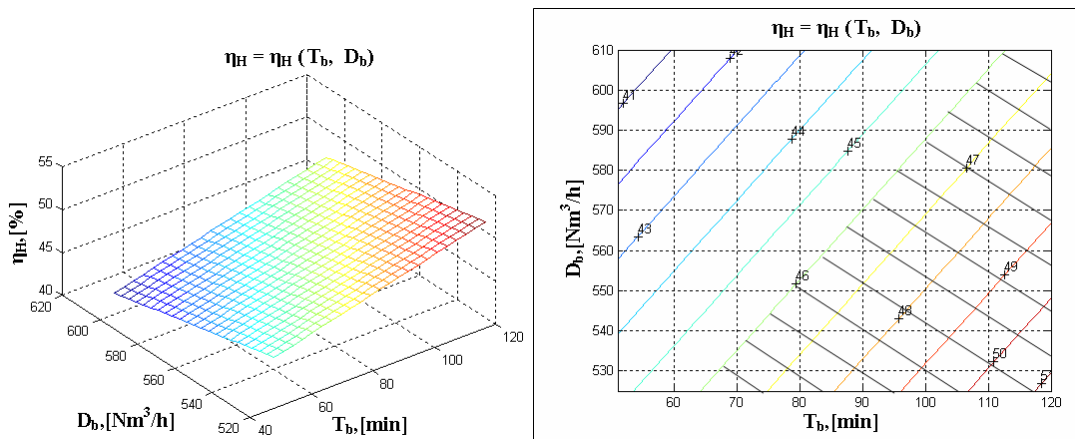


Figura 2.33. $\eta_H = (T_b, D_b)$ – corelație de gradul 1 [34]

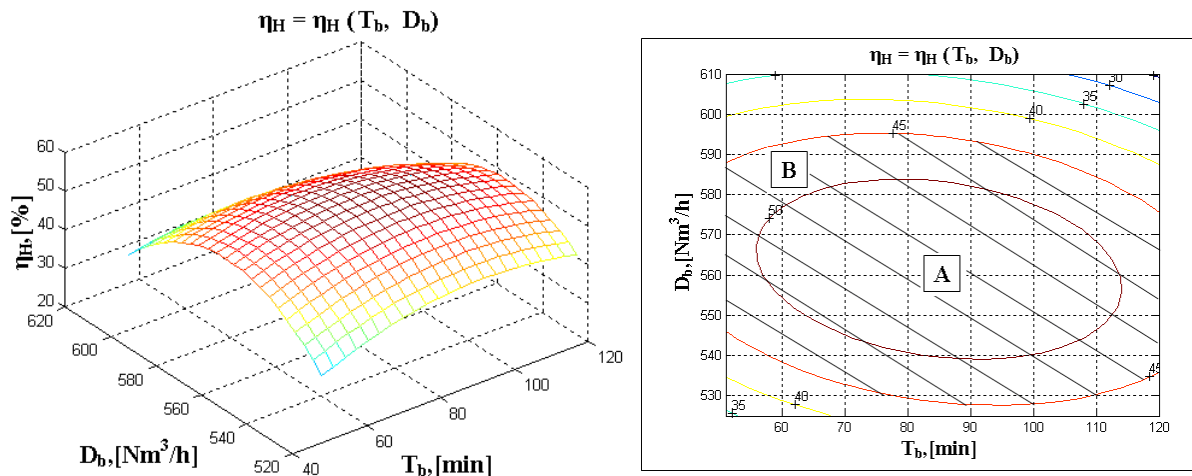


Figura 2.34. $\eta_H = \eta_H (T_b, D_b)$ – corelație de gradul 2 [34]

Corelațiile de gradul 1 permit alegerea valorilor parametrilor tratării oțelului în instalația LF astfel încât pentru randamentul de eliminare a hidrogenului să obținem valori superioare celei medii rezultate la șarjele analizate. Pentru a se realiza acest lucru valorile parametrilor procesării trebuie astfel alese încât η_H să fie mereu situat în domeniul hașurat. La corelațiile de gradul 2, 3 și 4 stabilirea valorilor pentru parametrilor tratării oțelului în instalația LF asigură obținerea pentru randamentul de îndepărtare a hidrogenului a unor valori apropiate de valoarea maximă, dacă aceștia sunt în domeniul A.

S-au obținut și corelații triple $\eta_H = f(D_b, P_b, T_b)$, ceea ce a permis o comparație bine fundamentată între corelațiile obținute, pe de o parte, iar pe de altă parte o mai bună justificare din punct de vedere tehnologic a domeniilor de variație a parametrilor de procesare a oțelului în oală, în vederea obținerii unor valori superioare pentru randamentul de îndepărtare a hidrogenului [9, 30].

Ecuția hipersuprafeței de regresie:

$$\eta_H = -0,003 \cdot D_b^2 - 60,25 \cdot P_b^2 - 0,005 \cdot T_b^2 - 0,08 \cdot D_b \cdot P_b + 0,1 \cdot P_b \cdot T_b - 0,002 \cdot T_b \cdot D_b + 3,9 \cdot D_b + 581,3 \cdot P_b + 1,8 \cdot T_b - 2442,0 \quad (2.10)$$

Deoarece această hipersuprafață nu poate fi reprezentată în spațiul cu 4 dimensiuni, s-a recurs la înlocuirea, succesiv, a câte unei variabile independente cu valoarea ei medie, ceea ce a permis reprezentarea lor în spațiul tridimensional (figurile 2.35-2.37), făcând în acest mod ca forma grafică a acestora să poată fi interpretată [9, 30].

Corelațiile obținute permit stabilirea domeniilor optime de variație a parametrilor analizați. Durata barbotării, debitul și presiunea argonului trebuie să varieze în interiorul subdomeniului (A+B) rezultând valori pentru randamentul de eliminare a hidrogenului mai mari de 50%. Punctul de maxim se situează în subdomeniul A, de dorit fiind ca parametrii independenți să se situeze în acest subdomeniu sau în subdomeniul (A+B). Prin stabilirea corectă a domeniilor de variație a parametrilor barbotării se pot obține valori îmbunătățite pentru gradul de îndepărtare a hidrogenului.

O atenție deosebită s-a acordat modului de influență a caracteristicilor zgurii asupra randamentului de eliminare a hidrogenului din oțel în timpul tratării secundare a acestuia în instalația tip LF, prin prisma indicelui de bazicitate. În instalația LF are loc barbonarea cu argon a băii metalice, adaosurile pentru corecția compoziției chimice, pentru dezoxidare și desulfurare precum și adaosurile pentru formarea zgurii reducătoare (var, bauxită). Experimentările industriale

s-au efectuat în două variante tehnologice: utilizarea varului calcinat și necalcinat. Rezultatele obținute atât sub formă grafică cât și analitică sunt prezentate în figurile 2.38-2.41 [9, 37].

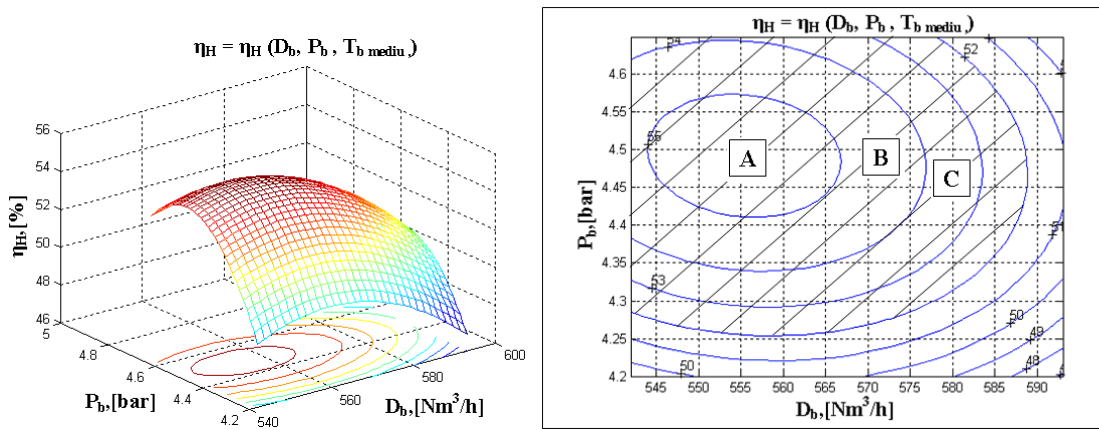


Figura 2.35. $\eta_H = \eta_H(D_b, P_b, T_b \text{ mediu})$ – corelație de gradul 2 [9]

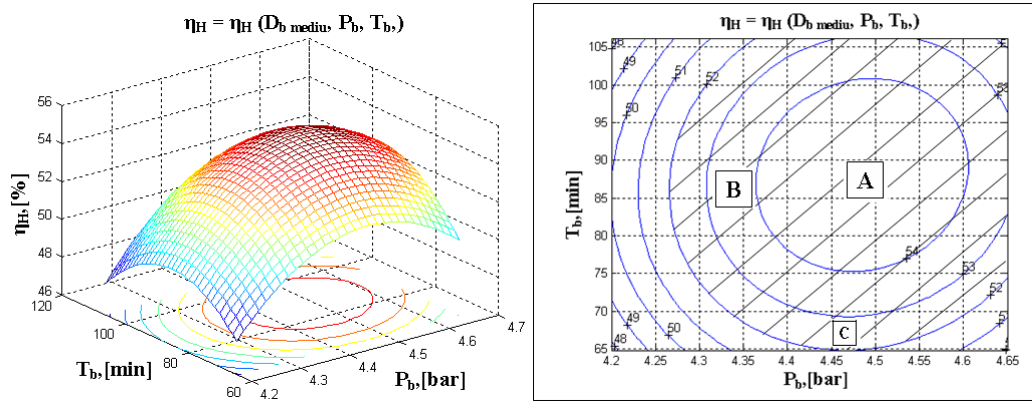


Figura 2.36. $\eta_H = \eta_H(P_b, T_b, D_b \text{ mediu})$ – corelație de gradul 2 [9]

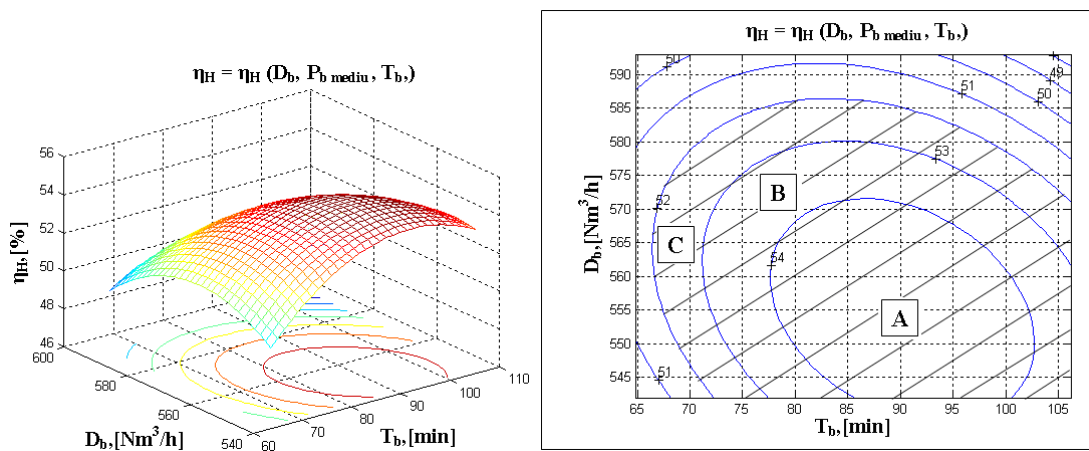


Figura 2.37. $\eta_H = \eta_H(T_b, D_b, P_b \text{ mediu})$ – corelație de gradul 2 [9]

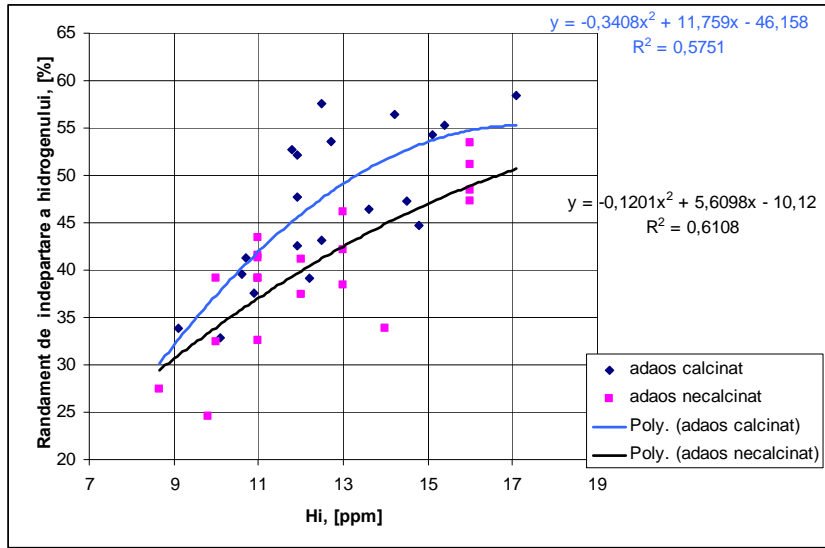


Figura 2.38. Variația randamentului de îndepărtare a hidrogenului în funcție de conținutul inițial de hidrogen [37]

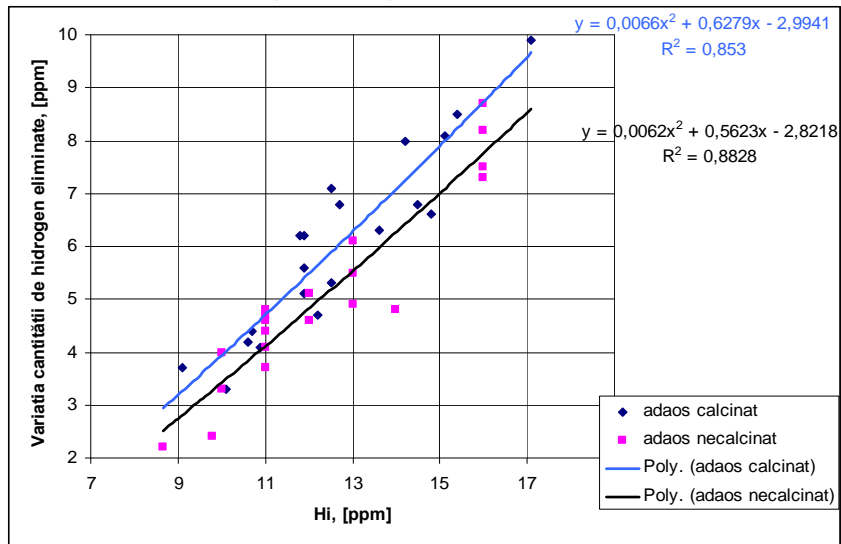


Figura 2.39. Variația cantității de hidrogen eliminată în funcție de conținutul inițial de hidrogen [37]

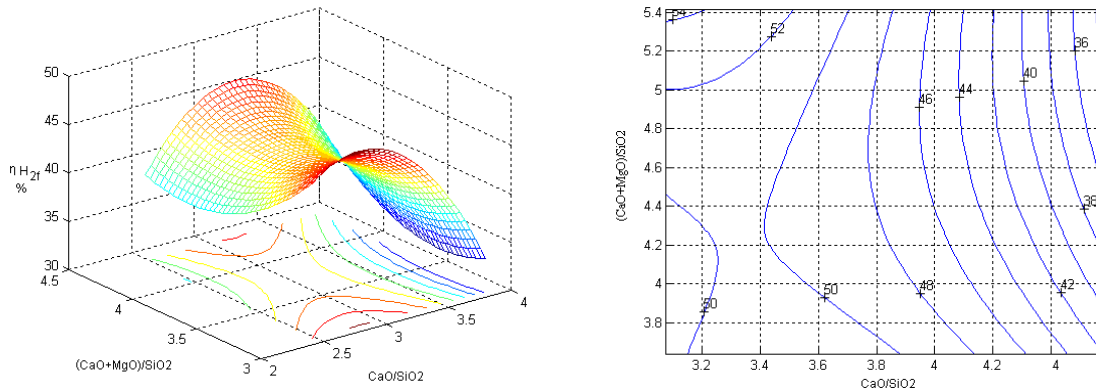


Figura 2.40. $\eta_{H-A} = f((CaO/SiO_2), (CaO+MgO)/SiO_2, [(CaO+MgO)/(SiO_2+Al_2O_3)]_{med})$ – adaos calcinat [37]

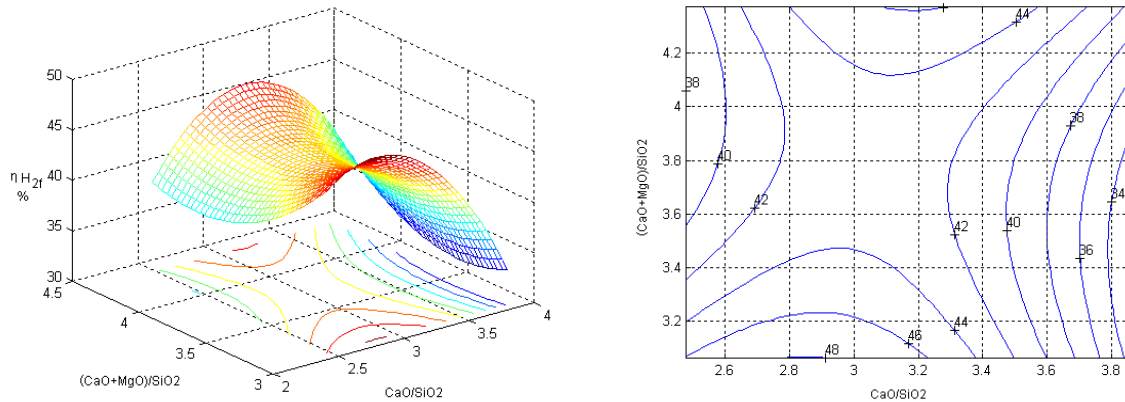


Figura 2.41. $\eta_{H_2} = f((CaO/SiO_2), (CaO+MgO)/SiO_2, [(CaO+MgO)/(SiO_2+Al_2O_3)]_{med})$ - adaos necalcinat [37]

Pentru a obține valori superioare pentru randamentul de eliminare a hidrogenului este indicat să se lucreze cu adaosuri calcinate și pe cât posibil aprovizionarea cu var și var dolomitic cât mai proaspăt ars ceea ce asigură o creștere a randamentului cu cel puțin 10%. Spre finalul procesării în oală a oțelului se realizează o reducere a bazicității zgurei respectiv deplasarea valorilor indicilor de bazicitate spre limitele inferioare a domeniilor de variație pentru a reduce transferul oxigenului din atmosferă în baia de oțel pe durata transportului oalei de la instalația LF la turnarea continuă și pe durata turnării continue.

Probele obținute în cadrul experimentărilor efectuate s-au analizat în laboratoarele Centrului de cercetare ArcelorMittal, Esch-sur-Alzette din Luxembourg. Analizele s-au axat cu preponderență pe: studiul comportării gazelor (hidrogen, oxigen, azot) în oțel, sursele de proveniență în oțelul lichid a gazelor, defecte provocate de gaze în produsele finite, metodele de eliminare a hidrogenului și azotului din oțel, influența gazelor din oțel asupra caracteristicilor mecanice ale produselor finite și studiul turnării și solidificării oțelului, precum și defectele acestor produse.

S-au analizat 15 eșantioane de probe prelevate din semifabricate turnate continuu destinate fabricării țevelor. În continuare se prezintă spre exemplificare caracterizarea defectului fisuri stelare și defectului tip gaură – T52X oțel pentru țeavă laminată la cald conform normelor interne ale uzinei Caiet sarcini ST-IP-01/2008 [9, 30, 35].

Caracterizare defect tip fisuri stelare

Aspectul de suprafață al defectului este prezentat în fig.2.38. În tabelul 2.2 se prezintă analiza chimică a probei [9, 38].

Secțiunea transversală nr. 1:

- morfologia unei crăpături stea, în mare parte decarburizată;
- adâncime de 0,4 mm;
- benzi fine de perlită sub suprafața cu procent mic de ferită (grosime = 1,8mm).

Secțiune longitudinală nr. 2:

- morfologia unei crăpături oblice, decarburizată;
- adâncime de 0,3 mm; nici o bandă de perlită sub suprafață.

Microstructurile obținute sunt prezentate în figurile 2.42-2.44 [9, 38].

Tabelul 2.2. Analiza chimică a probei examinate [9]

Marca Oțel	Compoziție chimică, %												
	C	Mn	Si	P	S	Cu	Cr	Ni	Al	Mo	N	Ca	CEV*
T 52X	0,434	0,978	0,348	0,001	0,002	0,138	0,072	0,112	0,013	0,018	0,127	0,020	0,632

*CEV = $C + Mn/6 + (Cr+Mo+V)/5 + (Ni+Cu)/15$; conform Caiet sarcini ST-IP-01/2008

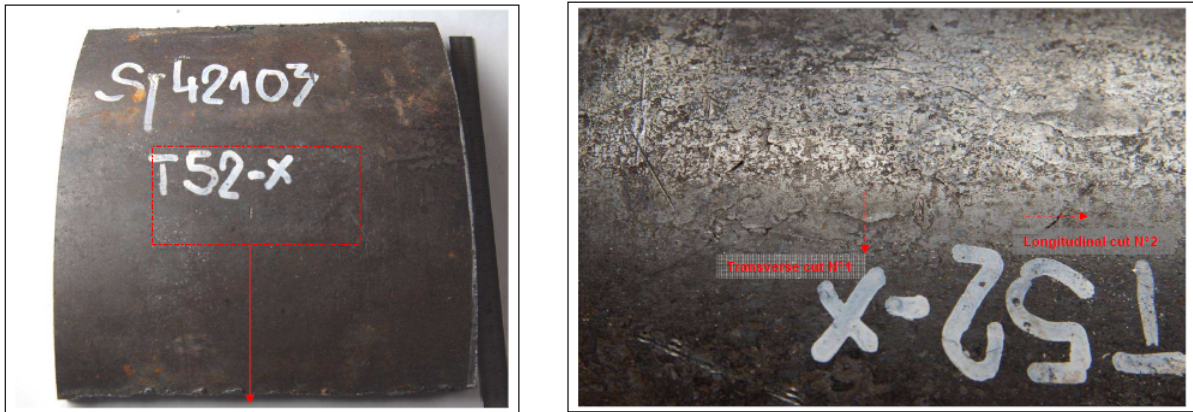


Fig.2.42. Aspectul de suprafață al defectului [9]

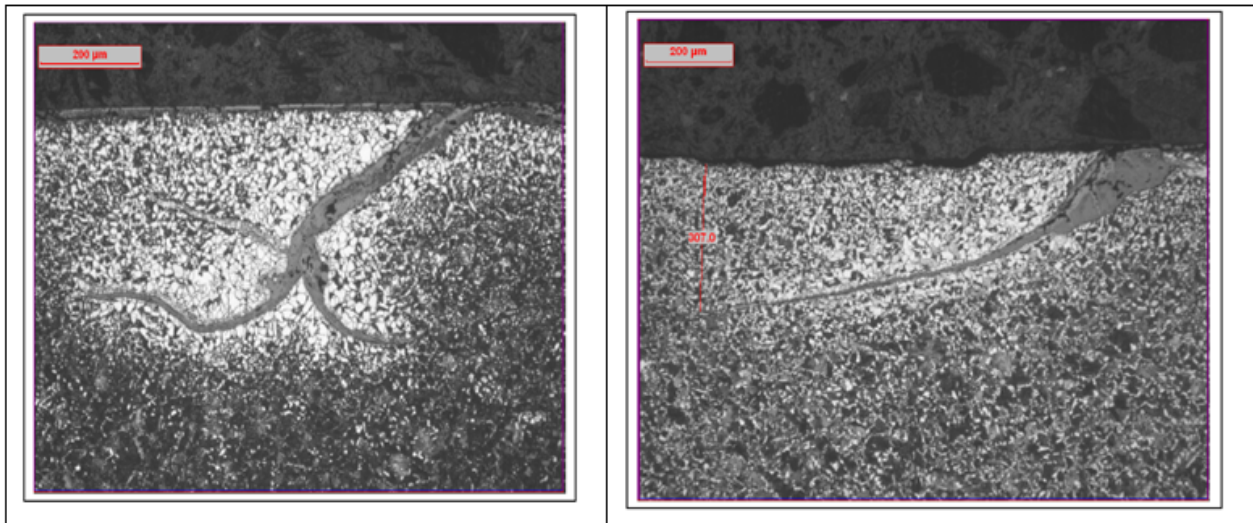
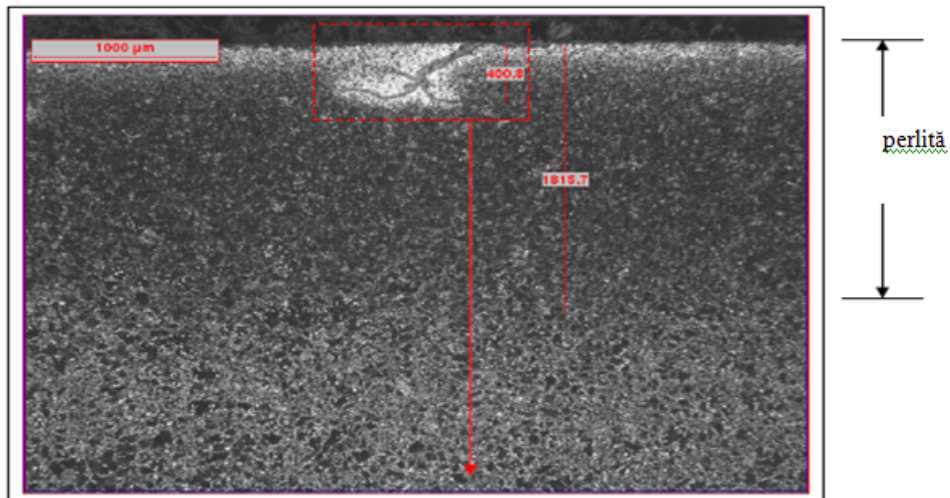


Figura 2.43. Microstructuri proba 1 [9]

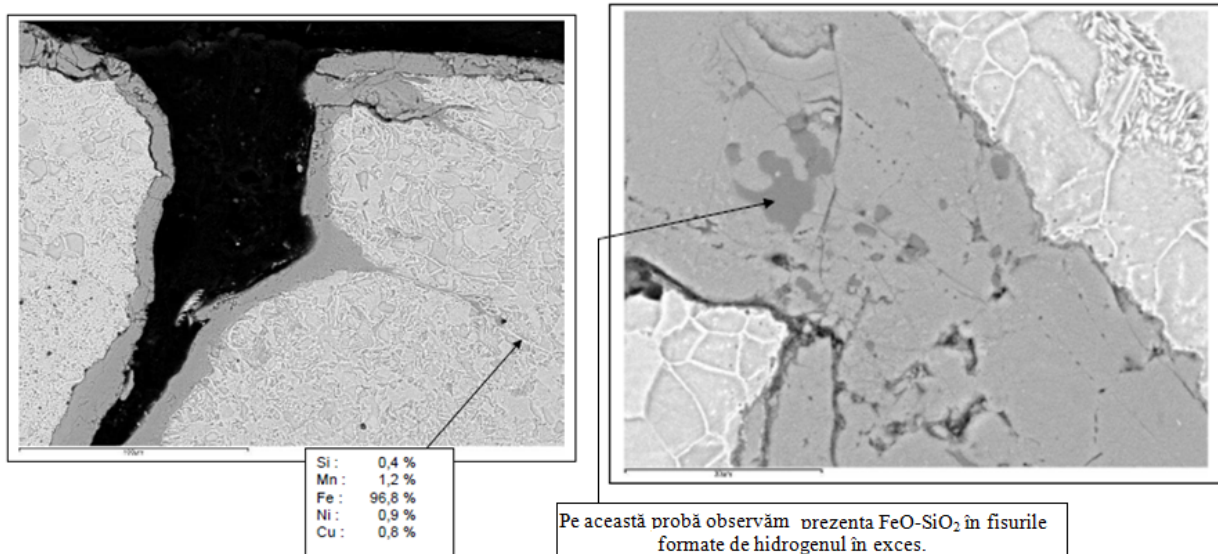


Fig.2.44. Analiza defect – tip fisură stelară (microscopie electronică) [9]

În ansamblu, toate probele sunt afectate de imperfecțiuni superficiale, întotdeauna decarburate. Aceste imperfecțiuni sunt în limite acceptabile în ce privește adâncimea (adâncime maximă măsurată de 0,4 mm). Se observă îmbogățire scăzută Cu și Ni la limita grăuntelui respectiv prezența oxizilor de FeO-SiO₂ în stratul de tunder.

Caracterizare defect tip gaură pe probe de țagă cu Φ 270 mm

Figura 2.45 prezintă aspectul defectului pe țagă cu Φ 270mm.

S-au determinat 3 probe din țagăle care au prezentat acest defect (figura 2.46). Analiza chimică a acestora este prezentată în tabelul 2.3, oțel marca OLT35M, OLT45M și 17Mn7-S, oțel pentru țevă laminată la cald conform normelor interne ale uzinei Caiet sarcini ST-IP-01/2008 (E255 EN 10305-1, E235 EN 10305-1) [9, 30, 35]. Examinarea metalografică rezultată fiind prezentată în figurile 2.47. Examinarea probelor utilizând microscopia electronică cu raze X este prezentată în figura 2.48.

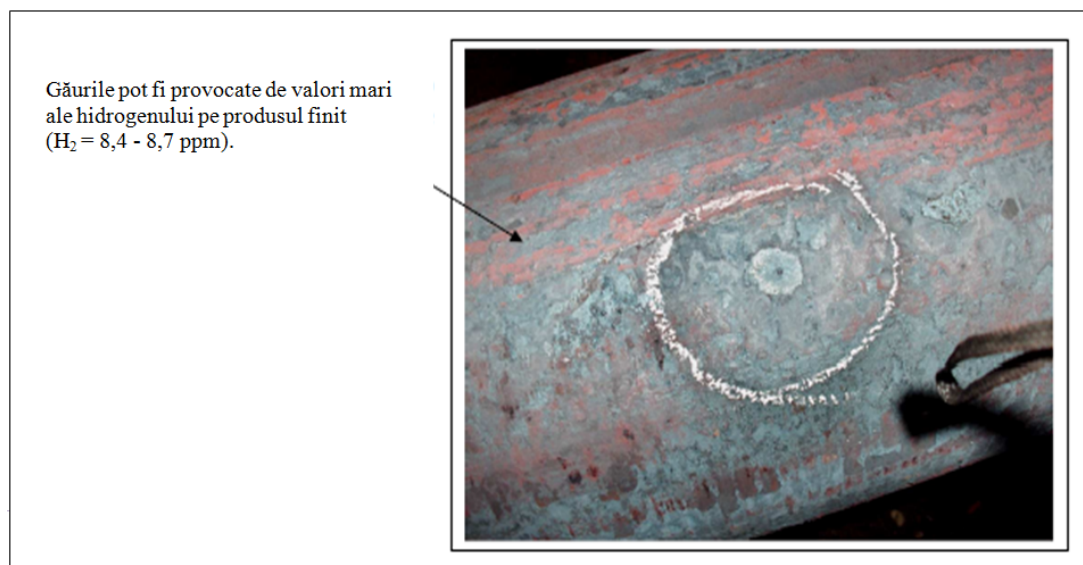


Figura 2.45. Defect tip gaură – țagă Φ 270mm [9].

Tabelul 2.3. Analiza chimică a probelor examinate [9,38].

Marcă Oțel	Compoziție chimică, %												
	C	Mn	Si	P	S	Cu	Cr	Ni	Al	Mo	N	Ca	CEV*
OLT 35M	0,165	0,672	0,348	0,013	0,009	0,185	0,105	0,139	0,030	0,032	0,0104	0,004	0,326
OLT 45M	0,200	0,880	0,263	0,019	0,006	0,181	0,104	0,132	0,036	0,023	0,0131	0,004	0,393
17 Mn 7-S	0,210	0,674	0,292	0,012	0,008	0,218	0,088	0,108	0,023	0,020	0,0102	0,004	0,366

*CEV= C + Mn/6 + (Cr+Mo+V)/5 + (Ni+Cu)/15; conform Caiet sarcini ST-IP-01/2008

Prezența oxizilor complecși cu $\text{Na}_2\text{O-Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2\text{-CaO}$ care înconjoară pereții, defectele superficiale detectate pe suprafața blumului corespund găurilor exogene provenite probabil din umiditatea prafului unguent de turnare:

- oxizii $\text{Na}_2\text{O-Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2\text{-CaO}$, tipic prafului de turnare;
- găurile deschise, ca urmare a reacție la umiditate.

Hidrogenul produce mai ușor fisuri în zonele cu rezistență mică, mai ales în prezența unor faze nemetalice. Analizele chimice ale tuturor mostrelor sunt compatibile cu țintele uzinei pentru mărcile OLT 35M, OLT 45M and 17 Mn 7S (oțeluri calmate C-Mn & Si-Al, turnare continuă cu jet protejat). Cu toate acestea, observăm comparativ conținut mai mare de azot în toate cazurile și nivel crescut al carbonului pentru calitatea 17 MN 7-S.

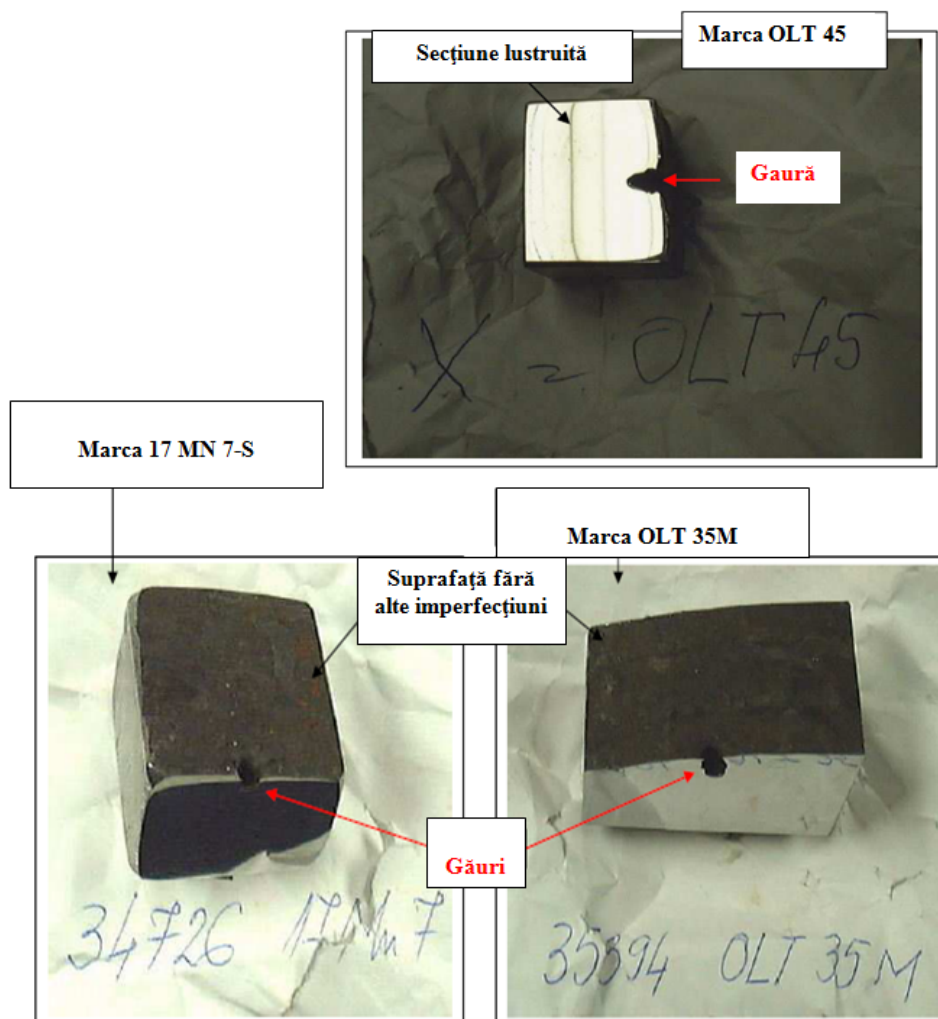


Figura 2.46. Examinări efectuate - defect tip gaură [9].

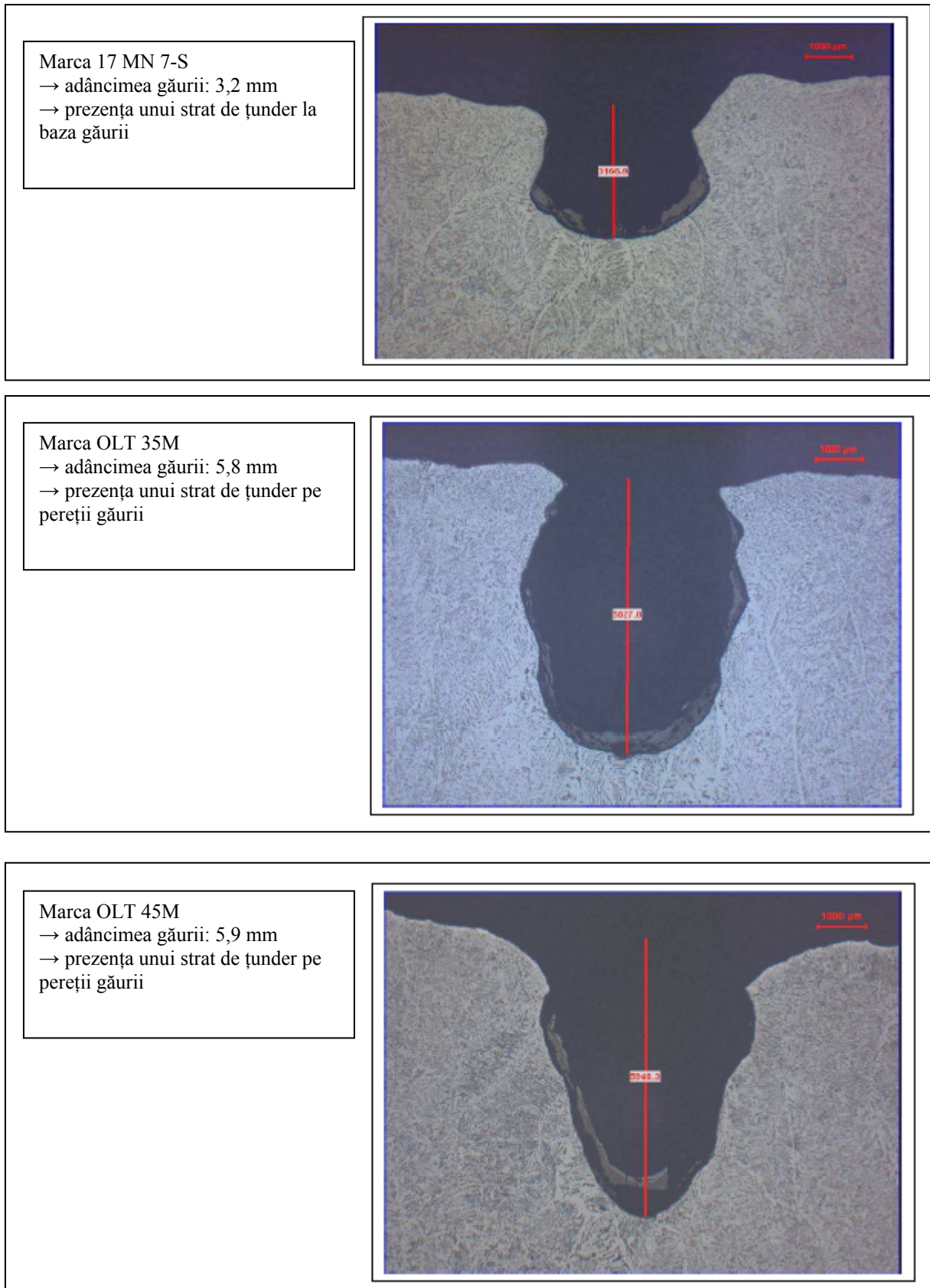


Figura 2.47. Microstructuri SEM ale defectelor [9].

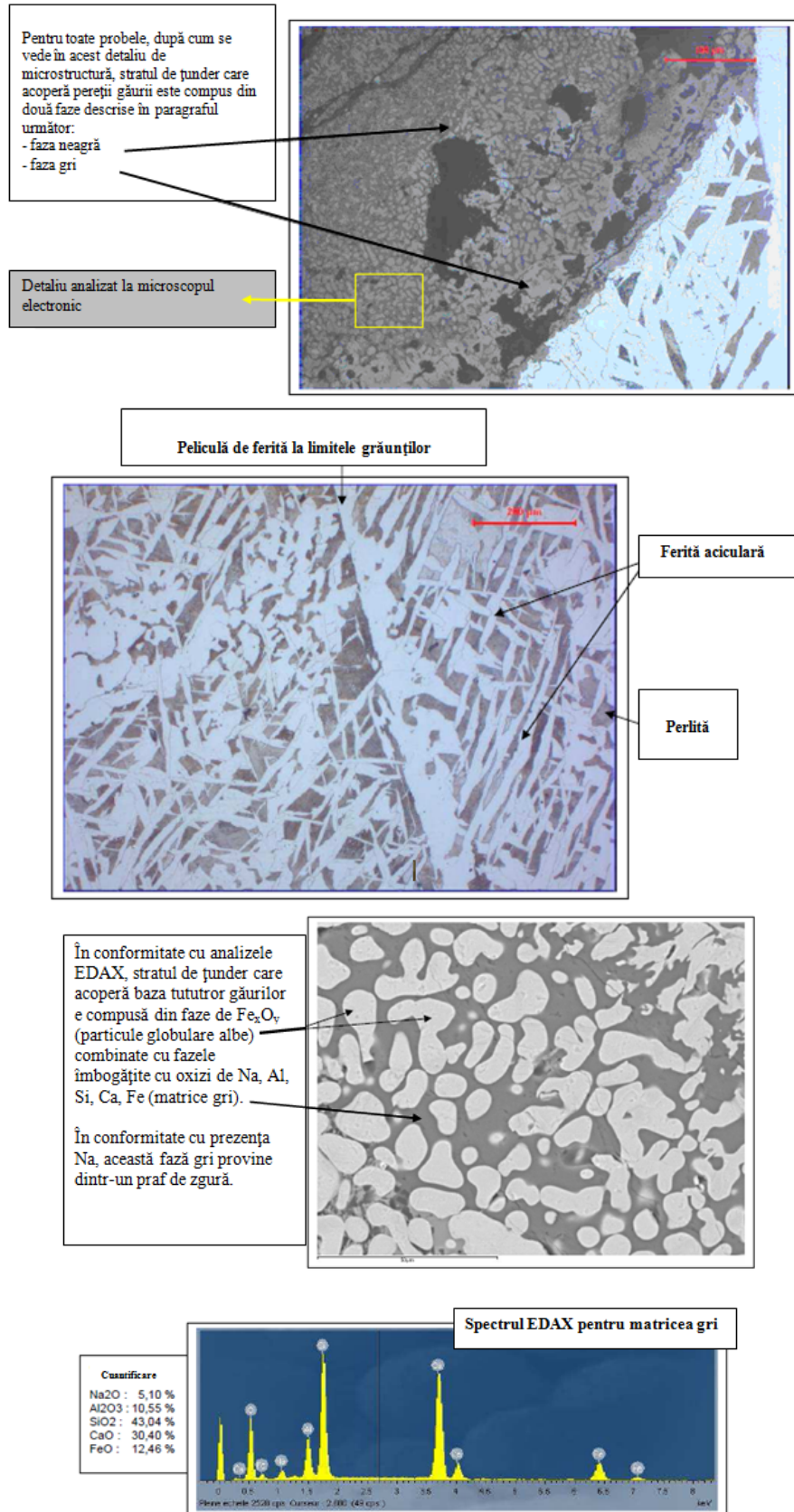


Figura 2.48. Imaginile de microscopie electronică cu baleiaj și spectrul de raze-X dispersiv în energie (EDAX) [9].

În ce privește microstructura după turnare, observăm în toate cazurile o microstructură ferită-perlită (ferita aciculară) cu o peliculă fină de ferită la limitele grăuntelui gama (duritate: 140 HV10).

Concluzii

- Scoaterea de oțel la turnarea continuă este influențată de conținutul de hidrogen în oțelul din distribuitor, aceasta scăzând semnificativ dacă $[H] > 8\text{ppm}$, ca urmare a defectelor pe care le generează hidrogenul în produsul turnat continuu, respectiv în cel laminat;
- Parametrii barbotării (durată, presiunea și debitul de argon) au o influență puternică asupra randamentului de eliminare a hidrogenului. Reprezentarea grafică a ecuațiilor a permis stabilirea unor subdomenii de variație a parametrilor barbotării în vederea obținerii pentru randamentul de eliminare a hidrogenului de cel puțin 51%;
- Referitor la temperatura oțelului pe durata procesării în instalația LF, creșterea acesteia determină creșterea valorii pentru randamentul de eliminare a hidrogenului spre valoarea maximă;
- Zgura sintetică utilizată pentru desulfurarea și dezoxidarea oțelului are influență pozitivă asupra procesului de eliminare a hidrogenului. De menționat că procesul de eliminare a hidrogenului a fost studiat pe durata tratamentului în LF, atunci când s-a urmărit ca zgura să aibă caracteristici care să conducă la o desulfurare și dezoxidare avansată.

2.3.2. Cercetări și experimentări cu privire la îmbunătățirea structurii de turnare la semifabricatele turnate continuu

Una din sarcinile principale ale turnării continue actuale este îmbunătățirea calității oțelului turnat continuu. Pentru realizarea acestui deziderat trebuie să se acorde o atenție deosebită măsurilor de scădere a segregăției zonale și dendritice, de reducere a formării fisurilor și de creștere a densității părții centrale a semifabricatului turnat continuu. Pentru a asigura condițiile de solidificare impuse de compoziția chimică a oțelului trebuie sincronizați un număr mare de factori tehnologici, cei mai importanți fiind [39]: compoziția chimică a oțelului, temperatura de turnare și viteza de tragere. Principala metodă pentru reducerea supraîncălzirii oțelului în cristalizor constă în introducerea de răcitori consumabili, care pot fi exteriori (pregătiți în afara sistemului și introduși în cristalizor) și interiori (constituiți din cruste de oțel, formate nemijlocit în miezul semifabricatului, pe suprafețe răcite cu apă). Răcitorii exteriori sunt introduși în oțelul lichid sub diferite forme: alice, granule sau particule sub formă de bandă, tije, sârmă, tub cu umplutură formată din pulbere metalică [40, 41]. Utilizarea microrăcitorilor în cristalizor conduce la creșterea zonei cristalelor echiaxe, scăderea gradului de supraîncălzire și reducerea porozității axiale.

În cadrul contractului de cercetare tip grant nr.3196/13.10.2005 din Programul CEE 2005, cu titlul "*Cercetări și experimentări privind îmbunătățirea structurii semifabricatelor turnate continuu*" s-au efectuat cercetări industriale cu privire la utilizarea microrăcitorilor la turnarea continuă a oțelului cu scopul de îmbunătățire a structurii semifabricatelor turnate continuu.

Activități desfășurate [40,43]:

- s-a realizat un program de simulare a solidificării semifabricatelor turnate continuu tip blum 240x270mm;
- modelarea matematică a fenomenului de solidificare și răcire a semifabricatelor turnate continuu care se bazează pe descrierea matematică a acestui fenomen și folosește metoda elementelor finite;
- programul de calcul a fost realizat în limbajul C++ și funcționează sub platforme Win32;

- Simularea s-a realizat pentru blmurile cu secțiune 240x270mm utilizându-se caracteristicile mărcii de oțel S 235 JRG2, conform SR EN 10025.

Programul permite mai multe posibilități de dozare și trei variante de distribuție a microrăcitorilor [40]:

- uniformă;
- aleatoare;
- aleatoare repetabilă.

Pentru exemplificare în continuare se prezintă rezultatele obținute pentru adaosul de 2% microrăcitori cu cele trei variante de distribuție a acestora.

Pentru realizarea simulării se deschide o interfața principală a programului prezentată în fig.2.49. Datele stabilite sunt introduse în program prin intermediul unei ferestre de preluare a datelor, prezentată în fig.2.50. Trebuie specificat și faptul că simularea este realizată doar pentru răcirea primară și secundară și nu pentru întregul parcurs al firului în instalație. Astfel se explică valorile încă mari ale temperaturii oțelului din interiorul semifabricatului (straturile din mijloc) dar care scad până sub valoarea temperaturii solidus până la momentul în care semifabricatul este debitat [40].

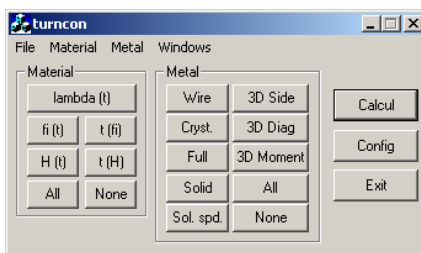


Figura 2.49. Interfața principală a programului [40]

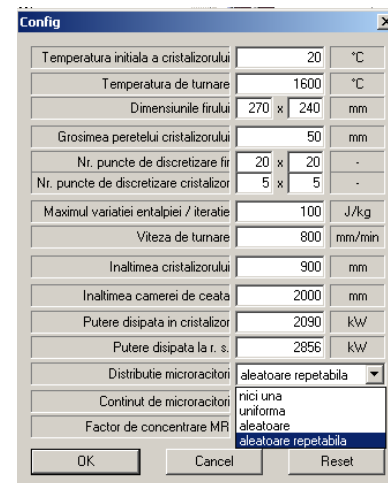


Figura 2.50. Fereastră de dialog pentru stabilirea datelor de rulare a programului [40]

Cu cât numărul de noduri de discretizare este mai mare și maximul variației entalpiei într-o iterație mai mic, cu atât timpul real de simulare este mai mare. Pentru o mai bună ilustrare a funcționării programului, am efectuat capturi ale ecranului la diferite momente de timp, din care se pot obține informații privind temperaturile din fir și cristalizor și timpul simulat până la momentul respectiv de timp real. Astfel, sunt prezentate ferestrele de dialog rezultate la 1-3s de la administrarea microrăcitorilor și la ieșirea din zona de răcire secundară (figura 2.51) pentru variantele simulate. La oprirea procesului de simulare, programul prezintă opțiunea de afișare a variației parametrilor simulați în timp.

O primă dependență obținută o reprezintă variația temperaturii în semifabricat în funcție de timp (figurile 2.52-2.54). Se remarcă scăderea lentă a temperaturii punctelor aflate spre centrul semifabricatului dar și modul de variație a temperaturii din straturile mai aproape de suprafața firului. Se observă o scădere accentuată a temperaturilor în primele secunde ca urmare a adaosului de microrăcitori. La un moment de timp, când are loc ieșirea suprafeței considerate din cristalizor are loc, în straturile superioare ale semifabricatului o creștere a temperaturii (cu 35-50°C în punctele 5 și 6 ale suprafeței). Această creștere a temperaturii se datorează lipsei de răcire a firului imediat

după ieșirea acestuia din cristalizor până în dreptul primului inel al răcirii secundare [40-43]. După acest moment, răcirea și totodată solidificarea firului are loc normal, temperaturile înregistrate corespunzând cu cele prezentate.

În ceea ce privește distribuția temperaturilor în cristalizor (care preia căldura cedată de semifabricat și o cedează la rândul lui apei de răcire), acesta este prezentată în figurile 2.55-2.57, și în acest caz se prezintă alături modul de amplasare a punctelor de discretizare. Dacă la începutul turnării temperaturile din cristalizor au fost relativ ridicate: la 10s au variat între 400-650°C, acestea au scăzut treptat, pe măsură ce suprafața a înaintat în cristalizor, ajungând ca după 30s de la începutul turnării temperaturile din peretele interior al cristalizorului să varieze între 380-600°C iar la ieșirea suprafeței din cristalizor să ajungă la 330-580°C. Acest moment este de altfel este marcat pe grafic prin scăderea bruscă a temperaturii tuturor punctelor discretizate [40].

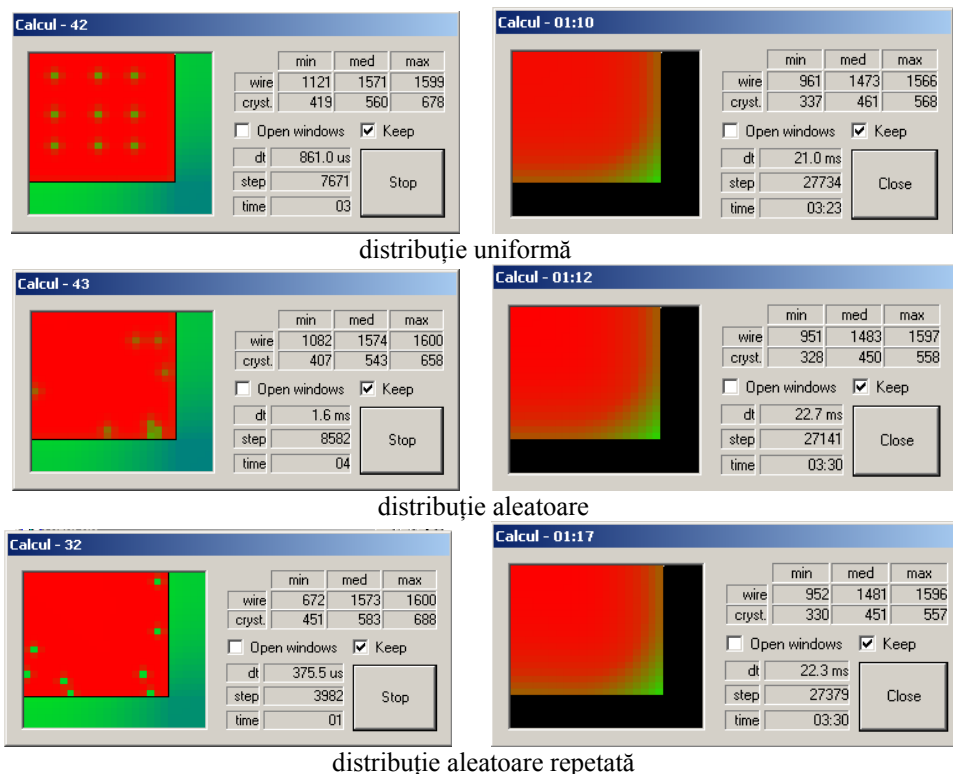


Figura 2.51. Ferestrele de dialog pentru adaos 2% microrăcitori [40]

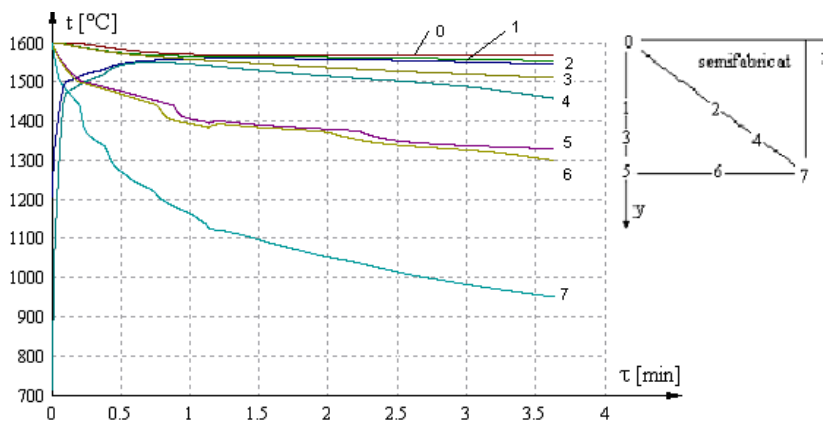


Figura 2.52. Variația temperaturilor în fir, în funcție de timp, 2% adaos uniform de microrăcitori [40]

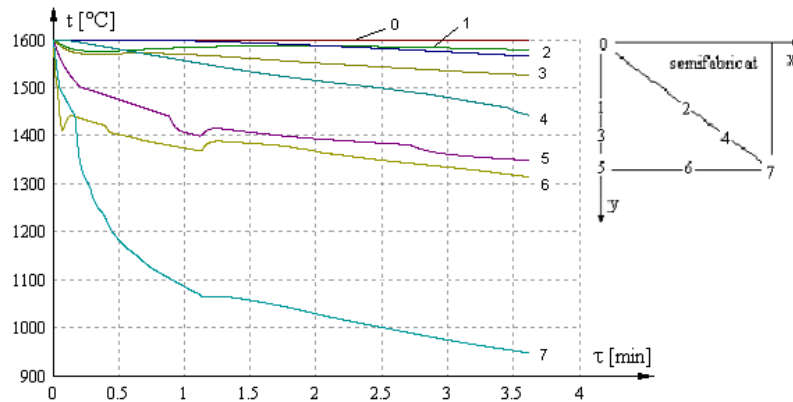


Figura 2.53. Variația temperaturilor în fir, în funcție de timp, 2% adaos aleator de microrăcitori [40]

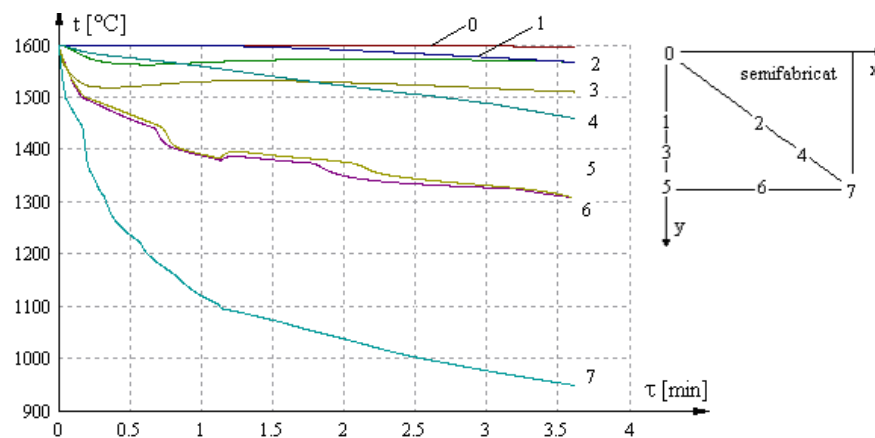


Figura 2.54. Variația temperaturilor în fir, în funcție de timp, 2% adaos aleator repetat de microrăcitori [40]

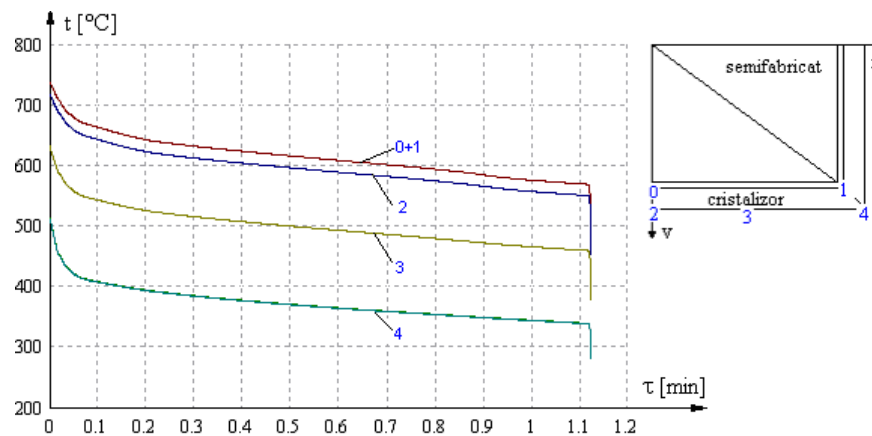


Figura 2.55. Variația temperaturii din cristalizor, în funcție de timp, 2% adaos uniform de microrăcitori [40]

Se disting astfel cele două zone de răcire, respectiv răcirea primară din cristalizor și răcirea secundară. Cele două zone sunt delimitate de momentul ieșirii secțiunii considerate din cristalizor când temperaturile din fir cresc brusc iar cele din peretele cristalizorului scad.

Un alt tip de distribuție a temperaturilor din semifabricat este prezentată în figura 2.58-2.60 la 3s, 10s, 30s respectiv în momentul ieșirii secțiunii considerate din zona de răcire secundară. Suprafețele de regresie obținute sunt corespunzătoare unui sfert din secțiunea semifabricatului, fiind

similară și pentru celelalte părți ale secțiunii. Din punct de vedere a valorilor temperaturilor, colțul semifabricatului este acela care se răcește cel mai intens iar centrul – cel mai lent [40, 44].

Interfața principală a programului mai permite și obținerea distribuției temperaturii după o anumită axă sau după diagonală, în funcție de timp, modul de variație în timp a vitezei de solidificare [40, 45]. Și variația crustei de oțel solidificată în timp pentru punctele aflate în straturile superioare.

Analizând dependențele grafice rezultă următoarele concluzii:

- apariția unui număr mare de centri de cristalizare uniformi distribuți;
- pe măsură ce solidificarea avansează se constată o uniformizare a temperaturilor în primul minut după administrarea microrăcitorilor;
- după circa un minut de la administrarea microrăcitorilor nu se mai observă diferențe semnificative în ce privește variația temperaturii în masa de oțel;
- prin adaosul de microrăcitori se obține o reglare a temperaturii în cristalizor în funcție de calitatea și cantitatea de microrăcitori administrată;
- modificând o serie de parametri (numărul de puncte discretizate, cantitatea de microrăcitori adăugată, căldura disipată în cristalizor și răcire secundară și date ce țin de marca de oțel) se pot obține cu ajutorul programului de simulare valori corecte, aplicabile și pentru alte mărci de oțeluri.

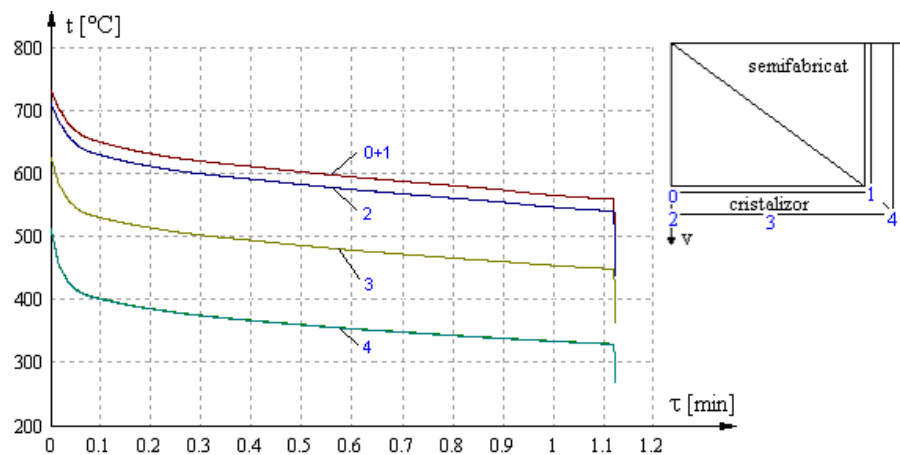


Figura 2.56. Variația temperaturii din cristalizor, în funcție de timp, 2% adaos aleator de microrăcitori [40]

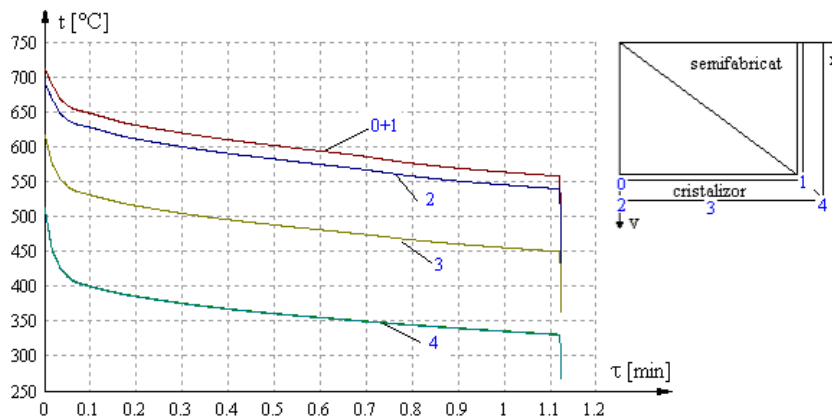
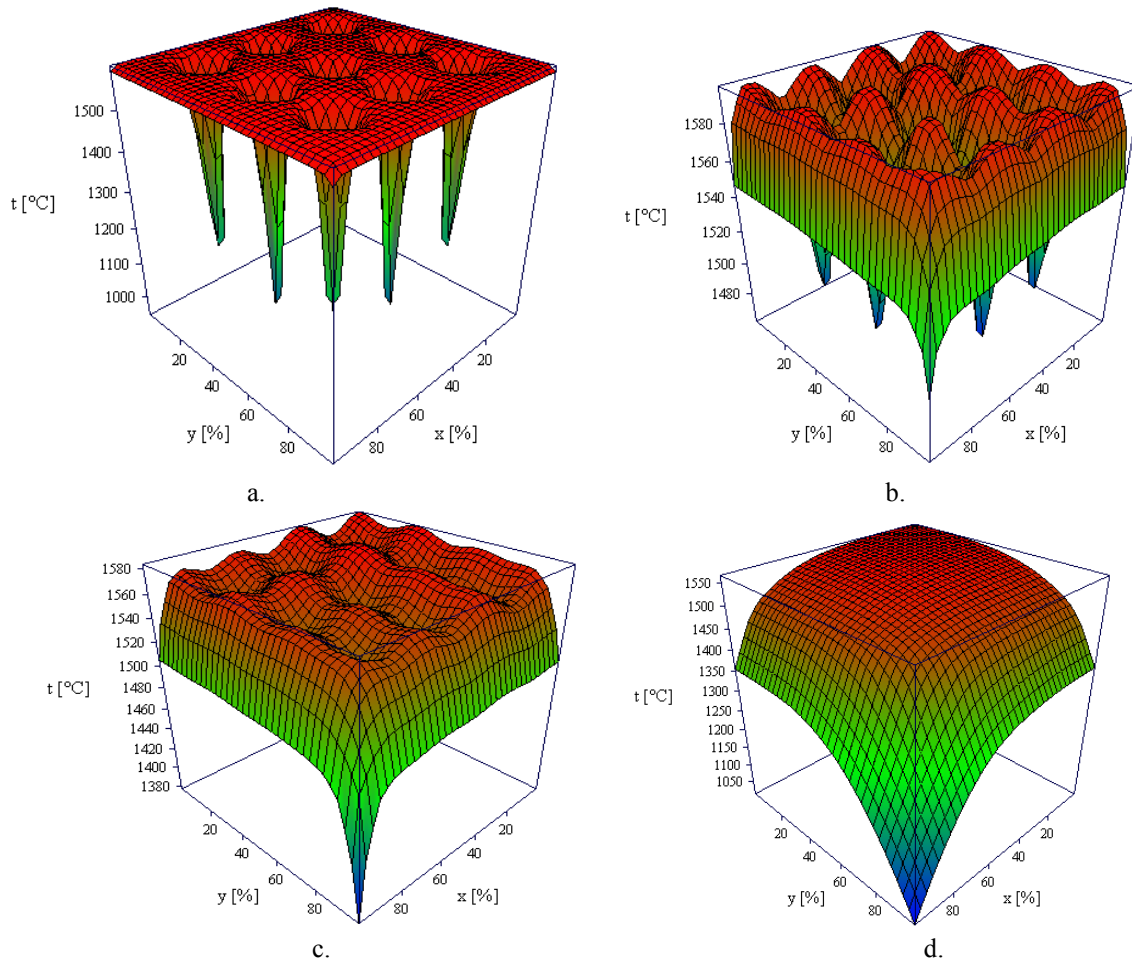


Figura 2.57. Variația temperaturii din cristalizor, în funcție de timp, 2% adaos aleator repetat de microrăcitori [40]



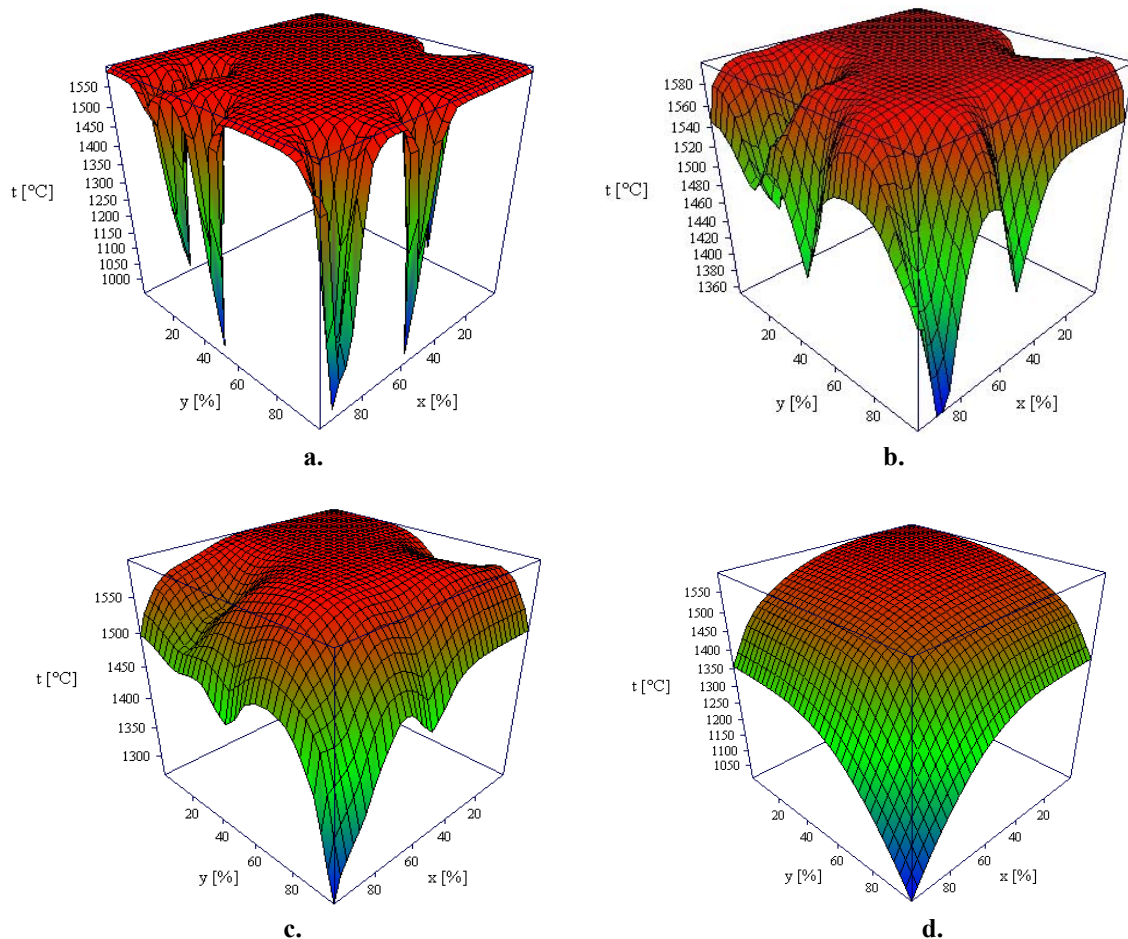
**Figura 2.58. Distribuția temperaturilor în semifabricat, 2% adaos uniform de microrăcitori [40]:
a – 3s; b – 10s; c – 30s; d - la sfârșitul rulării programului.**

Pentru realizarea experimentărilor industriale s-a proiectat o instalație de adaos a microrăcitorilor în cristalizorul instalației de turnare continuă [40]. Instalația de adaos a microrăcitorilor a fost realizată practic în Hala tehnologică a Facultății de Inginerie Hunedoara, fiind proiectată să deservească mașina de turnare continuă din cadrul uzinei. S-a optat pentru utilizarea de microrăcitori sub formă de granule realizate din sârmă laminată, cu compoziția chimică apropiată cu a oțelului turnat continuu. Sârma cu diametru de 3mm s-a debitat la lungimi de 2-3mm.

Prin corelarea datelor rezultate în urma calculelor cu datele rezultate din simulările efectuate cu programul de calcul TURNCON și având în vedere dimensiunile semifabricatului turnat continuu (blum 270x240mm) pentru experimentările industriale s-a optat, la două variante de lucru:

- adaos de 1% microrăcitori în cristalizorul instalației de turnare continuă a oțelului, pe un fir al acesteia, dimensiunea microrăcitorilor 3mm, dimensiunea blumului turnat 270x240mm;
- adaos de 2% microrăcitori în cristalizorul instalației de turnare continuă a oțelului, pe un fir al acesteia, dimensiunea microrăcitorilor 3mm, dimensiunea blumului turnat 270x240mm.

Microrăcitorii obținuți au fost ambalați în cutii de 5kg și transportați la uzina siderurgică, au fost transferați pe platforma de turnare continuă a oțelului în buncărul instalației de adaos a microrăcitorilor în cristalizorul instalației de turnare continuă aceasta fiind montată la un fir al instalației de turnare continuă.



**Figura 2.59. Distribuția temperaturilor în semifabricat, 2% adaos aleatoriu de microrăcitori [40]:
a – 3s; b – 10s; c – 30s; d - la sfârșitul rulării programului.**

În figura 2.60 se prezintă modul de adaos și distribuția microrăcitorilor în oțel. Adaosul de microrăcitori a fost reglat în funcție de rețeta de lucru prin sistemul de dozare al instalației de adaos a microrăcitorilor, acesta efectuându-se în mod continuu în timpul turnării oțelului, microrăcitorii având o distribuție aleatoare [40].

Temperatura suprafeței semifabricatului a fost măsurată cu un pirometru optic cu radiație (ce admite o eroare de măsurare de $\pm 0,5\%$ din valoarea măsurată) în 11 puncte pe lungimea firului. În zona 0 (imediat la ieșirea din cristalizor), datorită modului de amplasare a roților și duzelor de răcire nu s-a putut măsura temperatura. Primele măsurători s-au efectuat începând cu zona 1 (camera de ceață) și a continuat pe lungimea firului [40].

S-au prelevat probe pentru determinarea caracteristicilor calitative (caracteristici fizico-mecanice, macrostructură, microstructură). Semifabricatele experimentale obținute 270x240mm au urmat fluxul tehnologic de procesare a laminorului de profile grele din cadrul uzinei.

Din aceste blumuri după laminare s-a obținut țagă rotundă pentru țevi ZGRT 120; 130 și 150 care se expediază la Mittal Steel Roman.

Referitor la posibilitățile de îmbunătățire a structurii semifabricatelor turnate continuu s-au efectuat analize a macrostructurii blumurilor experimentale iar pentru comparație s-a analizat și un blum martor, blum la care nu s-a făcut adaos de microrăcitori.

Din analiza rezultatelor obținute în cazul semifabricatelor experimentale cu adaos de microrăcitori se observă o finisare a structurii. Concomitent cu probele pentru studiul macro au fost luate și probe pentru studiul microscopic al structurii oțelului. Analiza acestor probe, a scos în evidență, în cazul semifabricatelor experimentale turnate continuu cu microrăcitori, o structură cristalină uniformă din punct de vedere a dimensiunii grăuntelui.

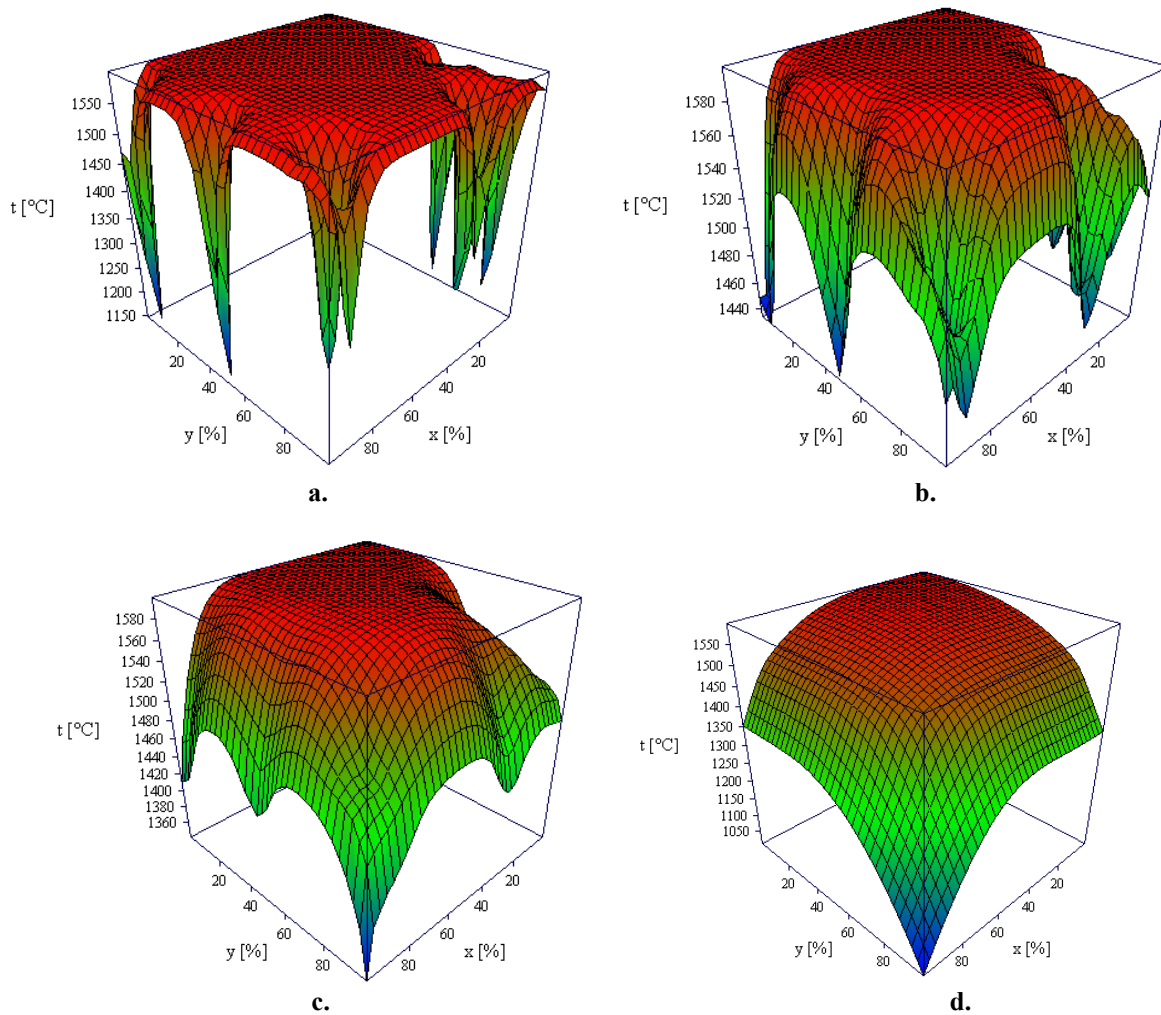


Figura 2.60. Distribuția temperaturilor în semifabricat, 2% adaos aleatoriu repetat de microrăcitori [40]: a – 3s; b – 10s; c – 30s; d - la sfârșitul rulării programului.

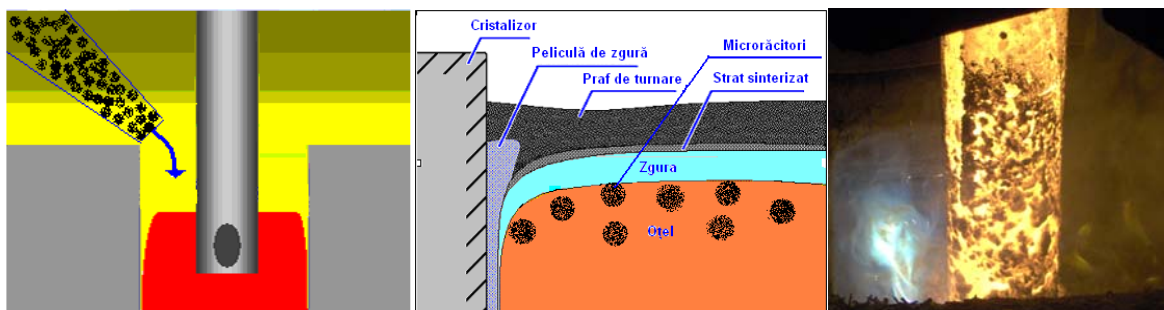


Figura 2.61. Modul de adaos și distribuția microrăcitorilor în cristalizorul instalației de turnare continuă [40]

Concluzii

- grosimea crustei este dependentă de timpul de solidificare și de condițiile de răcire, din determinările efectuate a rezultat că, pe instalația de turnare continuă a unui semifabricat cu secțiunea de 240x270mm, lungimea conului de solidificare poate ajunge la 19m iar timpul total de solidificare la 21min (la o viteză medie de turnare de 0,92m/min);
- prin adaosul de microrăcitori se obține o reglare a temperaturii în cristalizor în funcție de calitatea și cantitatea de microrăcitori administrată. Modificând o serie de parametrii (numărul de puncte discretizate, cantitatea de microrăcitori adăugată, căldura disipată în cristalizor și răcire secundară, date ce țin de marca de oțel) se pot obține cu ajutorul programului de simulare valori corecte, aplicabile și pentru alte mărci de oțeluri;
- prin experimentările efectuate se mărește aria de cercetare în domeniul solidificării oțelului turnat continuu, dirijarea procesului de solidificare a acestuia prin utilizarea microrăcitorilor este de dată recentă, astfel încât rezultatele cercetării va conduce la clarificarea aspectelor legate de solidificarea semifabricatelor turnate continuu.

2.3.3. Cercetări și experimentări cu privire la îmbunătățirea structurii de turnare la lingourile din oțel cu secțiune circulară

În calitate de membru al comisiei de îndrumare al doctorandului ing. Andronache Constantin, am colaborat și participat împreună cu doctorandul la testările în fază de laborator respectiv în faza industrială, pentru teza de doctorat cu titlul ”Cercetări privind îmbunătățirea calității oțelurilor destinate fabricării componentelor materialului rulant”, sub coordonarea domnului Prof.dr.ing.Hepuț Teodor.

Pornind de la rezultatele obținute cu privire la utilizarea microrăcitorilor la turnarea oțelului și influența acestora asupra structurii de solidificare cercetările experimentale s-au extins asupra lingourilor de oțel cu secțiune circulară destinate fabricării roților monobloc de cale ferată. Utilizând relațiile de calcul, pentru determinarea cantității optime de microrăcitori, rezultate la cercetările prezentate în subcapitolul 2.3.2 și verificate industrial la obținerea semifabricatelor turnate continuu din oțel, s-au calculat cantitățile optime de microrăcitori pentru cercetările în fază de laborator și apoi în fază industrială [40, 46].

Experimentările în fază de laborator efectuate și-au propus:

- studierea dirijării solidificării lingourilor din oțel, cu secțiune circulară;
- adaosul de microrăcitori în zona centrală a lingourilor, cu scopul de a influența structura internă.

Stimularea germinării eterogene, pe suprafețe generate de particule introduse în zona centrală a lingoului aflat în stare lichidă, conduce la formarea unui front secundar de solidificare și de absorbție a căldurii în această zonă.

Experimentările efectuate au avut scopul de a îmbunătăți calitatea oțelului destinat fabricării roților monobloc de cale ferată, și au fost canalizate pe ideea îmbunătățirii pe de o parte a structurii cristaline a lingourilor de oțel destinate deformării plastice la cald, urmată ulterior de prelucrări mecanice, iar pe de altă parte a caracteristicilor fizico-mecanice.

S-a efectuat adaos de microrăcitori în oțelul lichid din zona centrală a lingoului, care au asigurat formarea unui nou front de cristalizare și solidificare, acesta absorbind o parte din căldura latentă de solidificare și căldura de supraîncălzire a oțelului.

Cercetările experimentale în fază de laborator, s-au efectuat în laboratorul de Topituri Metalice a Facultății de Inginerie din Hunedoara – Universitatea Politehnica Timișoara [46]:

- topirea oțelului s-a realizat într-un cuptor electric cu inducție;

- turnarea oțelului s-a efectuat în lingotiere cu secțiune rotundă, confecționate din grafit;
- s-a elaborat și turnat oțel marca 1C55 conform SR EN 10083-2;
- din fiecare șarjă s-au turnat 4 lingouri cu adaos de microrăcitori și un lingou de referință (fără adaos de microrăcitori), astfel încât să fie acoperită toată gama privind adaosurile specifice și granulația microrăcitorilor;
- din fiecare lingou după forjare, au fost prelevate trei probe (corespunzător cap, mijloc și piciorul lingoului), pentru determinarea caracteristicilor mecanice și compoziției chimice;
- ca microrăcitori s-au folosit granule obținute prin tăiere din sârmă laminată (S 235 JRG1), cu diametrul de 0,6 –1,0 mm, tăiată la lungimea de 0,5 -1,0 mm în cantitate de 1,0; 1,5; 2,5; 3; 3,5 și 4g/kg;
- efectul microrăcitorilor s-a studiat în funcție de diametrul granulelor și de cantitatea specifică de microrăcitori utilizați;
- introducerea microrăcitorilor s-a realizat la procente de umplere a lingotierei de 30%, 60% și 90%. Stabilirea acestor nivele s-a făcut având în vedere cercetările efectuate pe plan local [40, 47-49] și lucrările publicate în literatura de specialitate [50-53];
- după terminarea turnării oțelului în lingotiere, partea superioară a acestora a fost acoperită cu praf antiretasură.

Aspectele din timpul experimentărilor în fază de laborator sunt prezentate în figura 2.62. Particulele metalice, care joacă rol de microrăcitori, trebuie să îndeplinească o serie de condiții [40]: conținut mic de impurități nocive, formă sferică sau apropiată, densitate mare în vrac și cost relativ mic cu cel al oțelului.

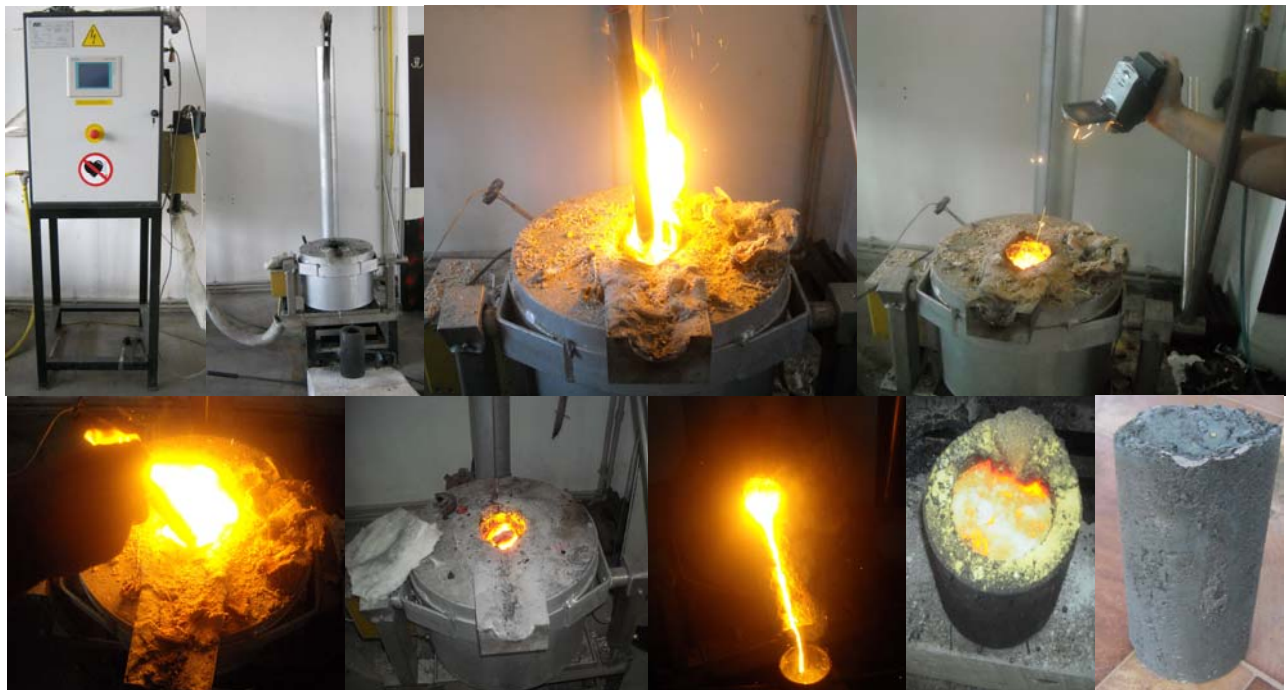


Figura 2.62. Aspectele din timpul experimentărilor în fază de laborator [46]

După răcire și dezbateră lingourilor experimentale, acestea au fost examinate ultrasonic, apoi au fost încălzite și deformate plastic prin forjare. Din semifabricatele obținute după forjare s-au prelevat probe atât pentru studiul metalografic al structurii cât și pentru determinarea valorilor

caracteristicilor mecanice (conform SR EN ISO 6892-1:2010): rezistența la tracțiune R_m [N/mm^2], limita de curgere $R_{p0,2}$ [N/mm^2], alungirea procentuală după rupere A_5 [%]) respectiv încercări de reziliență conform SR EN 148-1 :2010 [46,54]. Au fost comparate datele obținute de la lingourile turnate cu microrăcitori cu datele obținute de la lingourile turnate clasic. Au fost efectuate studii ale microstructurii lingourilor turnate pentru a scoate în evidență forma și mărimea grăuntelui primar obținut în urma solidificării. În figura 2.63 se prezintă microstructura probei pentru lingoul turnat cu microrăcitori și a celui turnat clasic. În urma studiului la microscop al probelor metalografice s-a putut observa că în lingourile cu adaos de microrăcitori se obține o finisare a structurii grăuntelui, ca urmare a creșterii numărului de centrii de cristalizare, fapt care duce la o îmbunătățire a omogenității chimice. Studiul lingoului turnat clasic a confirmat structura grosolană uneori cu porozități, specifică pieselor turnate.

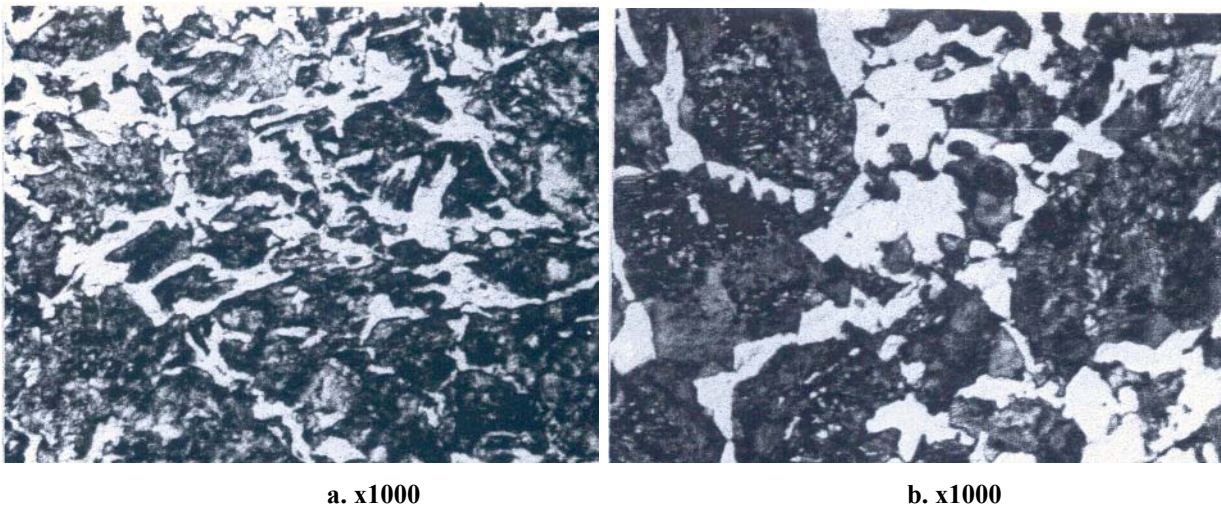


Figura 2.63. Microstructura probei: a – cu microrăcitori; b – fără microrăcitori [46]

Pentru obținerea unor relații de corelație între caracteristicile calitative (caracteristici fizico-mecanice impuse de standarde și compoziția chimică pe de o parte, și pe de altă parte și cu adaosul de microrăcitori - diametrul mediu și adaosul specific) datele obținute în urma experimentărilor au fost prelucrate cu ajutorul programelor de calcul Excel și Matlab. Corelațiile fiind prezentate în aceeași diagramă (notate Exp – datele experimentale; Ref – datele de referință) se poate ușor observa și analiză diferența între caracteristicile obținute pentru oțelul turnat cu microrăcitori respectiv fără microrăcitori. Pentru fiecare corelație s-a determinat atât sub formă grafică cât și analitică limitele de variație (superioară și inferioară) pentru domeniul de variație a parametrilor dependenți. Pentru exemplificare, sunt prezentate în continuare, corelațiile grafice și analitice obținute pentru caracteristicile mecanice în funcție de conținutul de carbon a oțelului turnat, în figurile 2.64 - 2.68. În ce privește influența adaosului specific de microrăcitori și a diametrului acestora asupra caracteristicilor mecanice, corelațiile exprimate sunt prezentate în figurile 2.69 - 2.79 [46,54]. În domeniile rezultate din limitele de variație alese pentru parametrii independenți, valorile parametrilor dependenți obținute sunt superioare valorilor maxime a acestor parametri pentru oțelul turnat fără microrăcitori (cu excepția unor mici domenii pentru adaosul specific de 1,0 - 1,5g/kg și diametru de 0,6 - 0,7mm). Pe baza variației valorilor pentru coeficienții de corelație și abaterile de la suprafața de corelație și având în vedere nivelul de complexitate a funcțiilor prin care sunt exprimate corelațiile, se poate considera că funcțiile de gradul 2 respectiv redau foarte bine dependențele analizate.

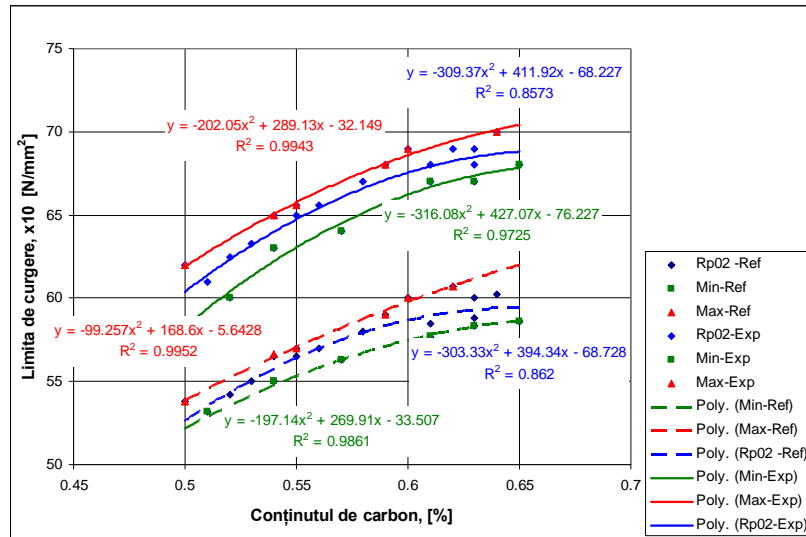


Figura 2.64. Variația limitei de curgere în funcție de conținutul de carbon al oțelului [54]

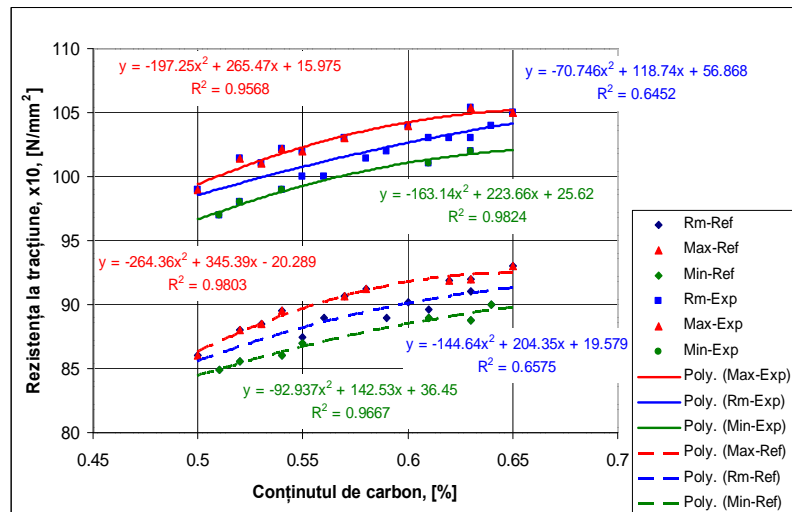


Figura 2.65. Variația rezistenței la tracțiune în funcție de conținutul de carbon al oțelului [54]

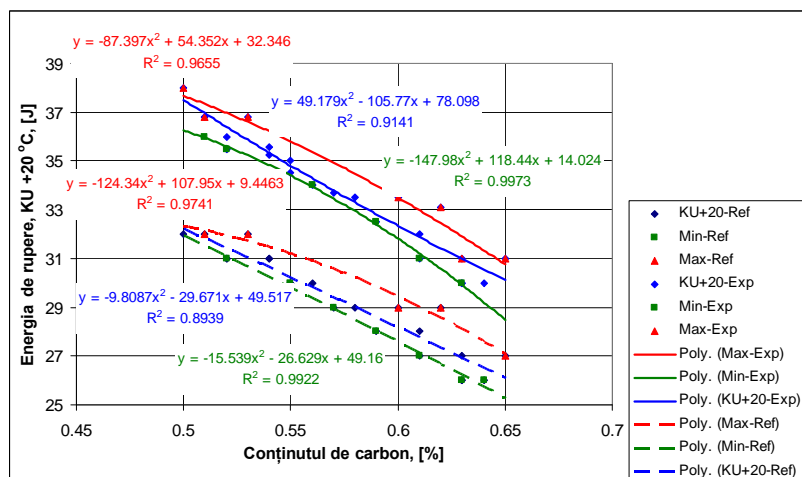


Figura 2.66. Variația energiei de rupere (KU la +20°C) în funcție de conținutul de carbon al oțelului [54]

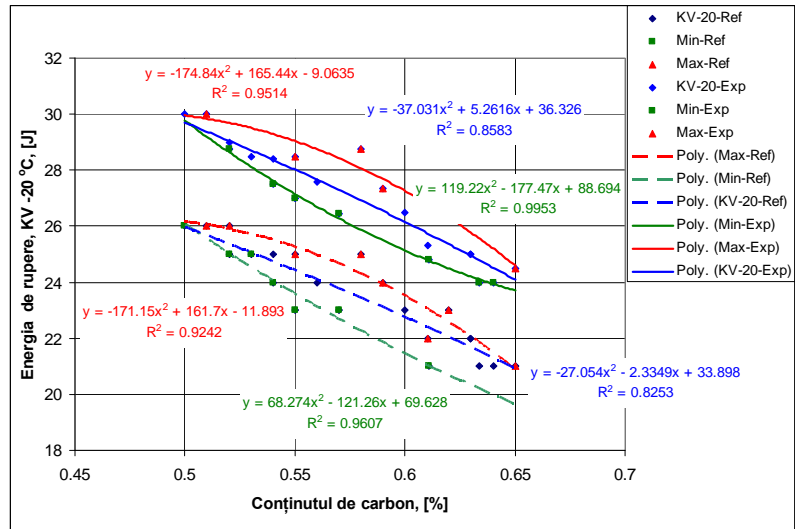


Figura 2.67. Variația energiei de rupere (KV la -20°C) în funcție de conținutul de carbon al oțelului [54]

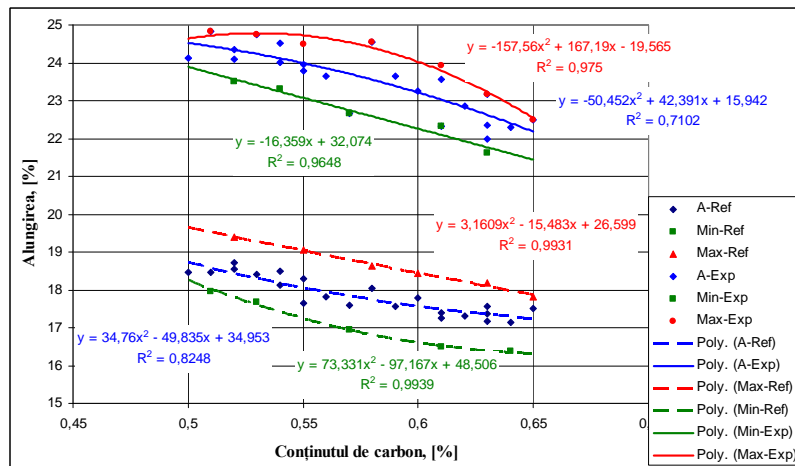


Figura 2.68. Variația alungirii în funcție de conținutul de carbon al oțelului [54]

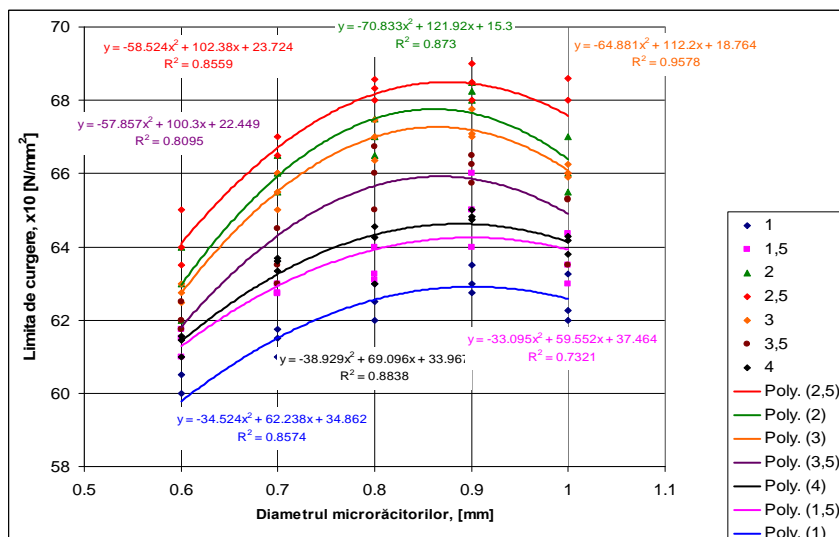


Figura 2.69. Variația limitei de curgere în funcție de diametrul microrăcitorilor [46]

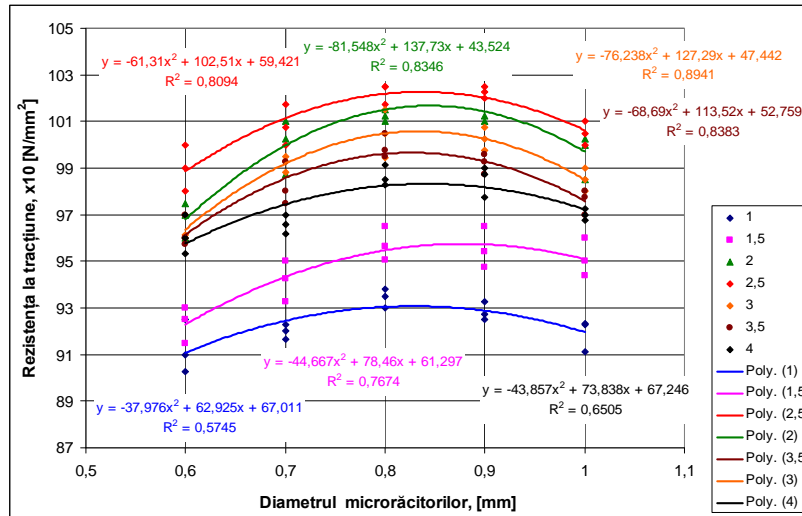
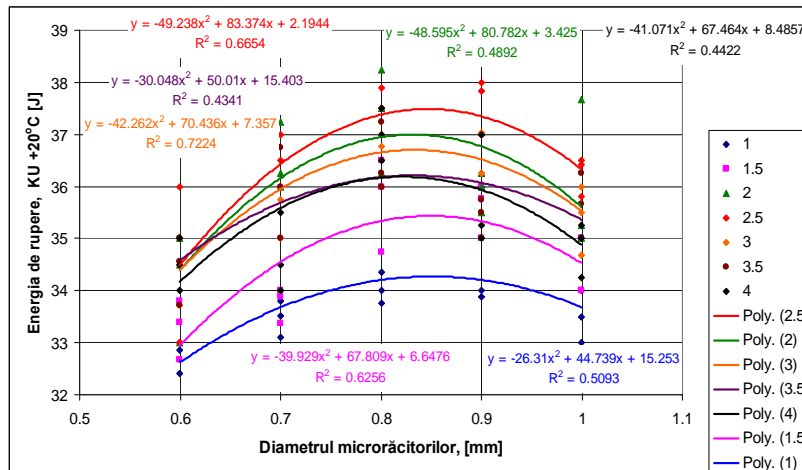
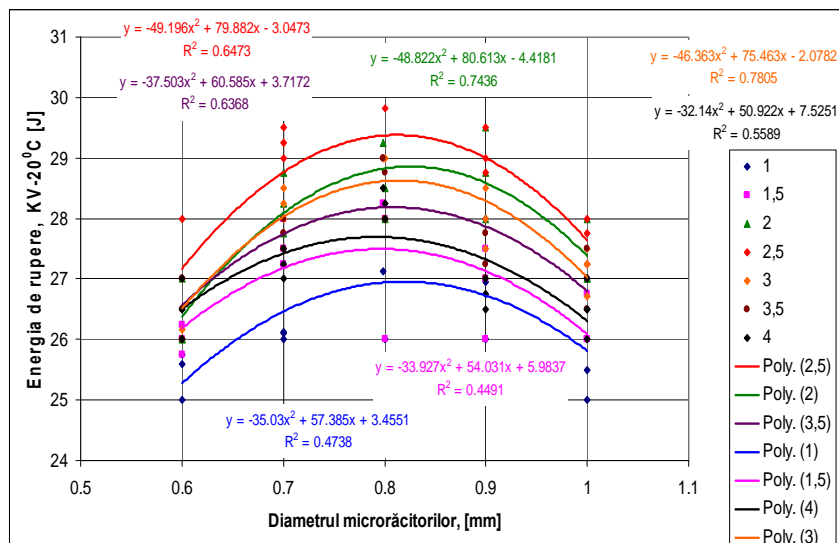


Figura 2.70. Variația rezistenței la tracțiune în funcție de diametrul microrăcitorilor [46]

Figura 2.71. Variația energiei de rupere ($\text{KU} + 20^\circ\text{C}$) în funcție de diametrul microrăcitorilor [46]Figura 2.72. Variația energiei de rupere ($\text{KV} - 20^\circ\text{C}$) în funcție de diametrul microrăcitorilor [46]

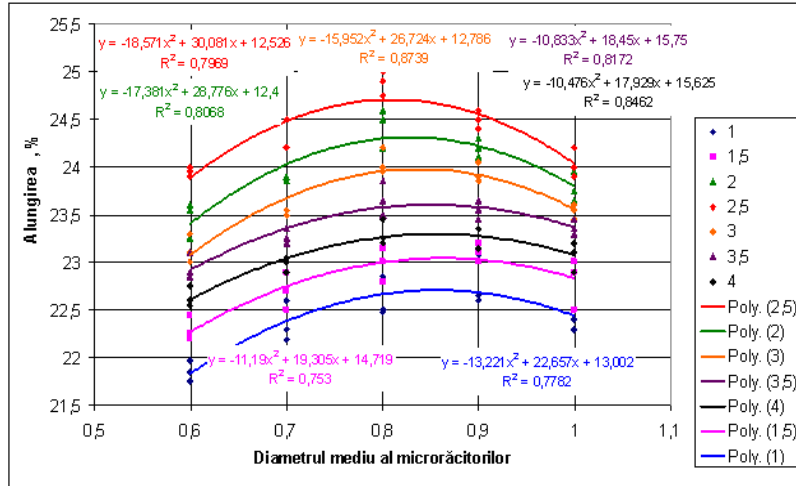


Figura 2.73. Variația alungirii în funcție de diametrul microrăcitorilor [46]

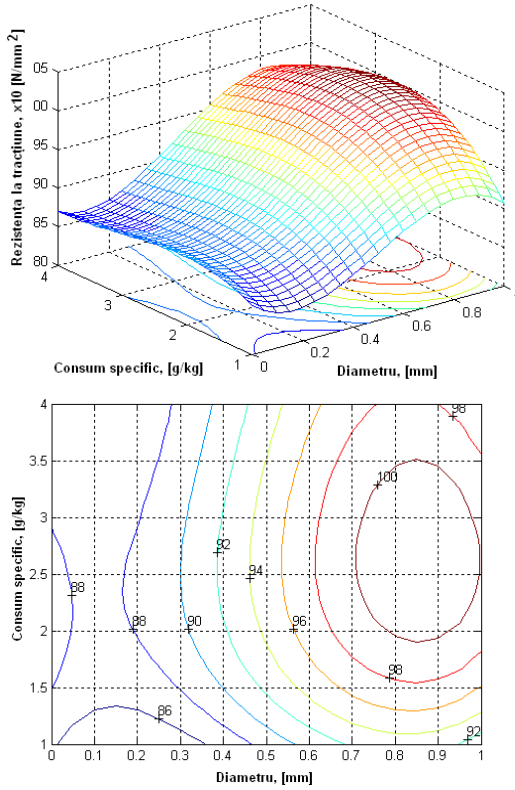


Figura 2.74. $R_m=f(q,d)$ - gradul 3 [46]

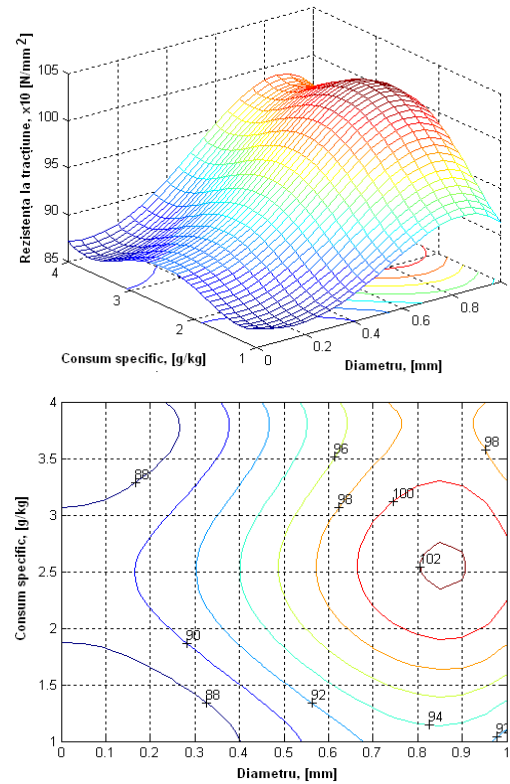


Figura 2.75. $R_m=f(q,d)$ - gradul 4 [46]

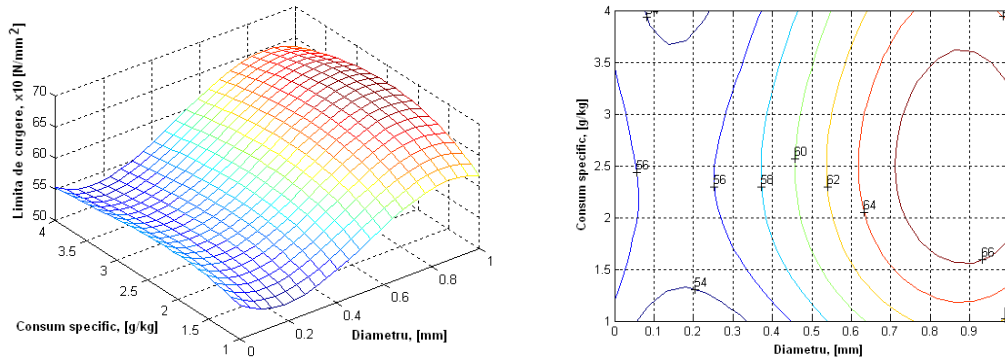


Figura 2.76. Suprafața de regresie de gradul 3 - $R_{p0.2}=f(q,d)$ [46]

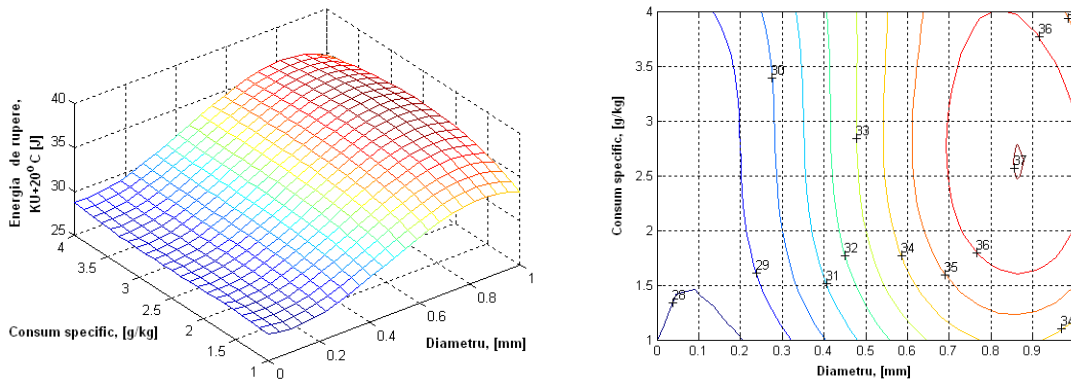


Figura 2.77 Suprafața de regresie de gradul 3 - $KU_{+20}=f(q,d)$ [46]

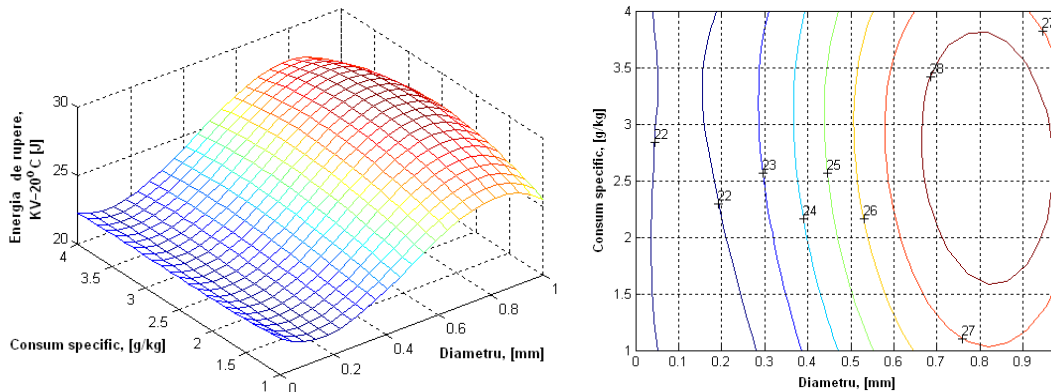


Figura 2.78 Suprafața de regresie de gradul 3 - $KV_{-20}=f(q,d)$ [46]

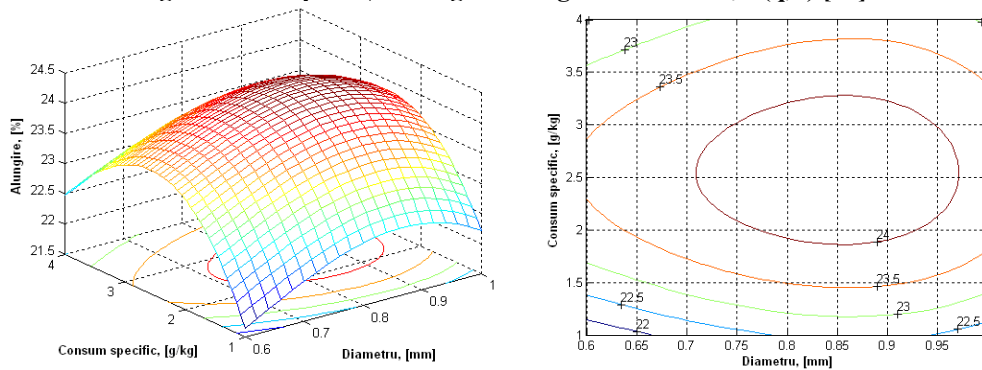


Figura 2.79. Suprafața de regresie de gradul 3 - $A=f(q,d)$ [46]

Reprezentările grafice obținute permit relativ simplu determinarea pentru o anumită valoare a parametrului dependent a valorilor pentru diametrul microrăcitorilor și a adaosului specific de microrăcitori.

Experimentările industriale s-au efectuat la S.C. Subansambluri de Material Rulant S.A. Balș [46]. Oțelul destinat fabricației componentelor de material rulant se elaborează în agregate siderurgice sistem duplex sau triplex, astfel încât să se asigure un conținut scăzut de incluziuni nemetalice și gaze, în mod deosebit hidrogen, ceea ce asigură o bună omogenitate chimică și structurală.

Oțelul a fost elaborat într-un triplex de agregate și instalații metalurgice cuprinzând un cuptor cu arc electric de topire de 60 tone/șarjă, o oală metalurgică LF de 60 tone/șarjă și o instalație de vidare VD de capacitate 60 tone/șarjă, la care pentru realizarea vidului, se utilizează pompe mecanice uscate, durata de coborâre a presiunii până la 0,5 mbar fiind de cca. 8 minute, conținutul final de hidrogen realizat fiind în mod constant sub 2 ppm. Oțelul lichid este turnat prin sifon, în lingotiere rotunde cu secțiuni diferite (\varnothing 390 mm, \varnothing 425 mm, \varnothing 450mm, \varnothing 500mm și \varnothing 520 mm), în funcție de produsul final ce urmează a fi obținut. Fluxul tehnologic de fabricație a roților monobloc de cale ferată la SC SMR SA Balș este prezentat în figura 2.80.



Figura 2.78. Fluxul tehnologic de fabricație a roților la SC SMR SA Balș [41]

Verificarea industrială a rezultatelor cercetărilor efectuate, s-a făcut pe un lot de 3 șarje marca ER7, conform specificației tehnice pentru roțile monobloc pentru material rulant remorcat tip BA004, șarje urmărite de la compunerea încărcăturii până la terminarea turnării. Conform prevederilor fișei UIC 812-3 roțile de cale ferată trebuie să aibă un aspect sănătos și să nu prezinte

goluri, sufluri, incluziuni, aşchii, bavuri, lipsă de material, replieri sau alte defecte care ar putea prejudicia folosirea lor. Structura trebuie să prezinte un grăunte fin. Caracteristicile geometrice trebuie să corespundă desenelor și toleranțelor indicate. Lingourile cilindrice, deși au dezavantaje, au o întrebuințare din ce în ce mai mare în fabricația de roți. Cu toate că acest format este susceptibil să se fisureze atât longitudinal, cât și transversal la turnare și solidificare, efecte pot fi evitate tehnologic. Având un modul de solidificare mai mare de cât cel ondulat la același diametru echivalent, are în plus un potențial de segregare mai mare pentru elementele carbon, fosfor, sulf și o solidificare atipică mai mult radială decât radial – axială, caracteristică pentru lingourile ondulate invers conice. Prin utilizarea raportului H/D până la $4,5 \div 5,5$, structura lingoului nu se înrăutățește, înregistrându-se totodată și o îmbunătățire a coeficientului de utilizare, corelarea favorabilă a volumului masei cu raportul H/D. Pentru experimentările industriale, s-au utilizat lingourile cilindrice $\varnothing 500 \times 2420$ mm [46].

Obținerea unui lingou omogen, impune rezolvarea unor probleme legate de diversitatea proprietăților fizico – chimice ale oțelului în timpul solidificării și după solidificare, cuantificat în final atât pentru omogenitatea structurală cât și pentru omogenitatea chimică.

Calitatea lingourilor este influențată de condițiile de degajare a căldurii, de compoziția chimică a oțelului și tendința acestuia de a segrega, de viteza și temperatura de turnare, de forma și dimensiunile lingotierelor și maselotierelor.

Delimitarea zonelor caracteristice lingourilor experimentale, s-a făcut prin prelevarea din acestea a câte cinci șaibe de 15 mm grosime, dispuse între calupurile crestate în vederea forjării. Pe șaibele prelevate după prelucrarea mecanică prealabilă, s-au executat amprente Baumann, după care au fost atacate pentru analiza microscopică. Corolarul secțiunii circulare, modulul de solidificare este mai mare comparativ cu orice altă secțiune cu aceeași suprafață, deci lingoul se va solidifica și răci mai greu. Regimul de schimb de căldură în cazul lingoului cilindric, este diferit față de lingourile conice și se datorește în principal formatului acestuia, care nu este unul favorabil unei solidificări succesive preponderent vertical.

Procesele de schimb de căldură și de segregare a elementelor însoțitoare, precum și întinderea zonelor structurale să desfășoare diferit de lingourile conice [46, 56-59]. Topografia structurală caracteristică acestor lingouri, se explică printr-o dinamică a raportului dintre mărimea intervalului de solidificare și gradientul de temperatură în volumele de metal ce se solidifică astfel:

- zona de cristalizare echiace fine, se formează practic instantaneu în timpul turnării oțelului, prin schimbul brusc de căldură ce se stabilește între lichidul în urcare în lingotieră și aceasta din urmă;
- zona cristalelor columnare, se formează tot datorită unui raport subunitar între intervalul de solidificare și gradientul de temperatură, instalat mai ales la începutul turnării și continuat în timpul umplerii lingoului, solidificarea este unidirecțională dinspre lingotieră spre interior;
- zona cristalelor echiace, rezultă ca urmare a schimbării regimului de schimb de căldură, determinat de încălzirea la echilibru a suprafeței lingotierei cu strat solidificat și a îngreunării acestui schimb, prin creșterea grosimii stratului solidificat [46, 56-59]. Pe parcursul solidificării acestei zone, raportul între intervalul de solidificare și gradientul de temperatură devine supraunitar, iar în momentul desprinderii, datorită contracției crustei solidificate, de lingotieră schimbul de căldură nu se mai face prin conducție ci prin convecție și radiație, schimb mult îngreunat, zona bifazică se mărește și cu cât numărul centrilor de cristalizare este mai mic cristalele vor fi mai grosolane.

În felul acesta la lingourile cilindrice experimentale analizate se produc:

- dispariția peste o anumită înălțime a zonei columnare;

- extinderea și joncțiunea directă a zonei echiaxe intermediare cu zone cu cristale echiaxe fine; apariția unei zone cu cristale grosolane sub maselotă;
- majoritatea defectelor în lingouri apar ca urmare a desfășurării proceselor de segregare;
- solubilitatea diferită a elementelor chimice în fazele lichidă și solidă, conduce la îmbogățirea frontului de cristalizare cu un strat de elemente segregate.

Pentru analiza neomogenităților chimice și a coeficienților de segregare, s-au prelevat dintr-un lingou experimental (turnat cu microrăcitori) și unul de referință, probe pe care să se facă analiza spectrală în câte trei poziții care să caracterizeze centrul lingoului, jumătatea razei, respectiv crusta exterioară a acestuia. La debitarea calupurilor din lingouri, s-au debitat șaipe cuprinzând întreaga secțiune situată la 2000 mm de la bază, din care au fost prelevate câte trei probe localizate la exterior, jumătatea razei și centrul lingoului, pe care s-au efectuat probe de puritate, granulație și compoziție chimică, pentru analiza comparativă între lingouri turnate cu microrăcitori și fără în aceeași serie, deci în aceleași condiții.

Analiza neomogenităților chimice, s-a făcut pe câte un lingou experimental (turnat cu microrăcitori) și unul de referință (martor). La determinarea neomogenității generale a lingoului, s-au avut în vedere valorile înregistrate pe probele prelevate la înălțimi diferite, și pe cât posibil mai multe în diferitele secțiuni corespunzătoare înălțimilor.

Din analiza rezultatelor obținute s-a constatat o diminuare severă a segregării sulfului și fosforului, dar în același timp o mărire a segregării carbonului și siliciului. Având în vedere că analiza chimică relevă o micșorare a conținutului de carbon în centrul lingoului cu microrăcitori, rezultă concluzia asimilării microrăcitorilor cu modificarea semnificativă a compoziției. Deși compoziția chimică se încadrează în ecartul normei de fabricație, s-a considerat necesară și efectuarea unor probe fizico-mecanice.

Puritatea oțelului se cuantifică prin cantitatea de incluziuni nemetalice, datorită calității tehnologiei de elaborare. Ținând seama de temperatură, unele incluziuni se formează în stare lichidă a oțelului, unde servesc ca centrii de cristalizare, iar altele se formează sub linia lichidus, care segregă apoi împreună cu tot restul de impurități existente în această stare de solidificare a oțelului. Pentru geneza formării incluziunilor nemetalice trebuie cunoscute: succesiunea procesului de cristalizare; schimbul de căldură și modul de sedimentare al impurităților prin segregare; forma și dimensiunile lingoului; modul de protecție al băii și modul de dezoxidare.

La un lingou experimental și unul de referință, după turnare, au fost prelevate probe la 2000mm de la bază și trei zone ale secțiunii, respectiv în margine, la jumătatea razei și în centru lingoului. Ca impurități s-au identificat: silicați nedeformați și silicați deformați; oxizi punctiformi și globulari, sulfuri și oxizi de aluminiu.

Probele preluate pentru cercetări, au fost pregătite prin șlefuire și analizate microscopic, în stare fără atac și în stare atacată cu nital, la mărire 100:1. Rezultatele acestor analize, arată o impurificare mai mare pentru lingoul de referință față de cel experimental (turnat cu microrăcitori) [47]. Principalele impurități sunt oxizii și silicații nedeformați. Silicații au tendință frecventă de aglomerare. Pe direcție transversală a lingourilor se manifestă o impurificare mai mare în centrul lingoului față de margine, ca urmare a proceselor fizice de cristalizare - solidificare și mișcare a lichidului la turnarea spre starea solidă la ambele lingouri. Prezența mai intensă a silicaților se apreciază a avea geneză în reacțiile cu căptușeala refractară, adică a jgheabului și oalei de turnare.

Utilizarea microrăcitorilor a determinat:

- diminuări substanțiale ale impurităților oxizi punctiformi și globulari;
- diminuări substanțiale ale silicaților fragili și deformabili;
- reducerea sulfurilor.

Cercetările experimentale efectuate au condus la obținerea îmbunătățirii calității oțelului:

- o creștere a valorilor caracteristicilor mecanice, pentru oțelul turnat cu microrăcitori comparativ cu cel turnat fără microrăcitori;
- valorile pentru caracteristicile mecanice, determinate din ecuațiile de corelație obținute pe date din fază de laborator, sunt bine corelate cu cele obținute la oțelul elaborat în condiții industriale, pentru toate caracteristicile mecanice;
- referitor la conținutul de hidrogen, acesta în toate cazurile se situează sub 2ppm, condiție obligatorie pentru oțelul analizat;
- turnarea oțelului sub formă de lingori cu secțiune circulară, cu adaos de microrăcitori cu granulație 0,8 – 0,9mm și adaos de 2,0 – 3,0kg/t asigură o îmbunătățire semnificativă a caracteristicilor mecanice;
- rezultatele obținute în cadrul verificărilor industriale confirmă valabilitatea cercetărilor efectuate în fază de laborator;
- prezintă interes implementarea în practică a rezultatelor obținute, continuarea cercetărilor privind dirijarea solidificării lingourilor, precum și urmărirea în exploatare a componentelor de material rulant fabricate din lingouri turnate cu microrăcitori.

2.3.4. Contribuții privind obținerea de materiale compozite pentru confecționarea de saboți de frână ai materialului rulant

În calitate de membru al comisiei de îndrumare al doctorandului ing. Pascu Liviu Viorel, am colaborat și participat împreună cu doctorandul la testările în fază de laborator, pentru teza de doctorat cu titlul ”*Cercetări privind îmbunătățirea calității saboților de frână destinați materialului rulant*”, sub coordonarea domnului Prof.dr.ing.Hepuț Teodor.

Prin cercetările efectuate s-a urmărit, în principal, îmbunătățirea calității saboților de frână din fontă fosforoasă, precum și obținerea de materiale compozite noi pentru fabricarea de saboți cu caracteristici superioare comparative cu cei existenți deja în exploatare. Problemele zgomotului, provenit din transportul feroviar, nu poate fi rezolvat fără investiții [60,61,63]. Soluția economică o reprezintă confecționarea unor saboți de frână silențioși din material compozit, care să-i înlocuiască direct pe cei de fontă, fără a face modificări la sistemul de frânare al vehiculului feroviar.

Din acest motiv direcția principală de cercetare adoptată împreună cu doctorandul a fost de a înlocui fonta fosforoasă cu un material compozit, care să satisfacă condițiile tehnice impuse saboților de frână. Saboții de frână din materiale compozite se utilizează pentru a înlocui saboții convenționali din fontă, care sunt considerați o sursă importantă de zgomot. Aceștia sunt eficace în reducerea zgomotului (cu 10 dB, echivalentul a 50% din zgomotul saboților de fontă) [60,62,63].

Pentru testarea materialelor compozite destinate fabricării saboților de frână pentru material rulant, s-au produs epruvete/eșantion sub formă de disc și sub formă de cilindru, în funcție de instalațiile experimentale de testare a caracteristicilor materialelor proiectate.

Obiectivele au constat în [60]:

- realizarea probelor din materiale compozite destinate fabricării saboților de frână pentru materialul rulant;
- determinarea comportării la frecare și uzură a probelor;
- interpretarea rezultatelor.

Pentru obținerea probelor din materiale compozite și evaluarea tribologică a acestora s-au parcurs etapele [60, 63,64]:

- confecționarea matrițelor;
- stabilirea componentilor rețetelor;

- realizarea rețetelor experimentale proprii din material compozit;
- evaluarea comportării tribologice a materialelor elaborate pe tribotester cu ajutorul parametrilor de frecare și uzură;
- evaluarea influenței parametrilor de testare (viteză, lungime de alunecare, forță și material) asupra parametrilor tribologici;
- analiza proceselor tribologice din stratul superficial prin metode nedistructive;
- analiza rezultatelor obținute.

Pentru obținerea materialului compozit s-au realizat 38 probe experimentale utilizând ca și componenți ai rețetelor: 19-40% novolac, 3-5% hexametyltetramina, 0-7,5% sulf, 0-10% fibră carbonică, 9-15% grafit, 0-20% aluminiu, 0-15% alamă și 0-30% cauciuc [60].

În continuare se prezintă rezultatele obținute pentru cele mai reprezentative probe experimentale (figura 2.81).

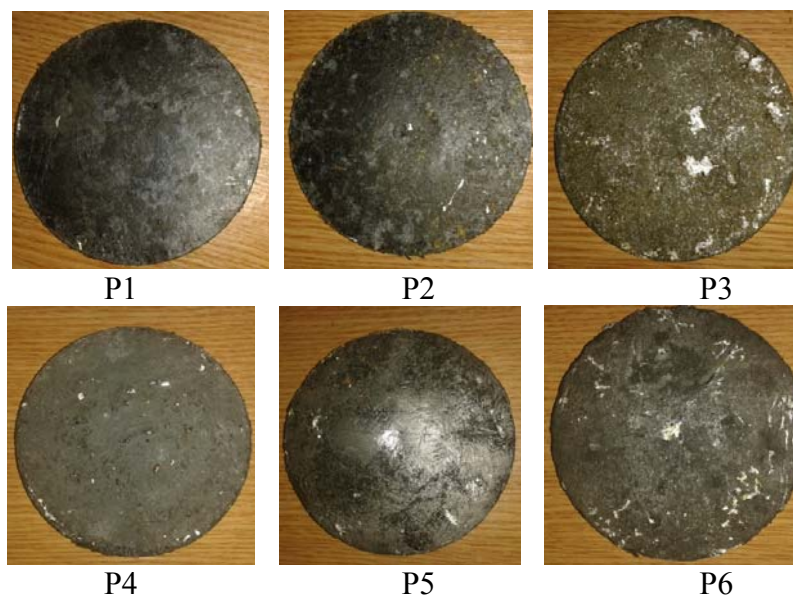


Figura 2.81. Probe experimentale [64]

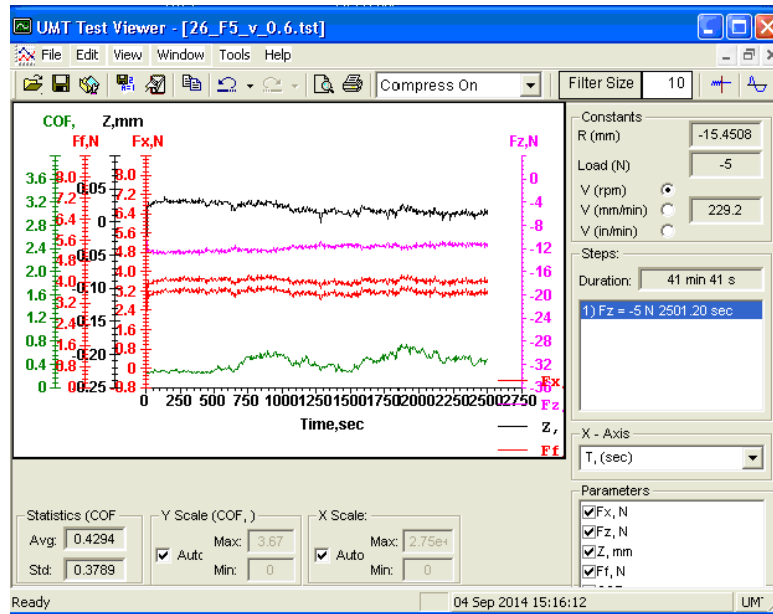
Probele experimentale, din material compozit, au fost supuse unor teste tribologice. S-a analizat evoluția coeficientului de frecare utilizând Tribometrul universal UMT-2 (CETR®, SUA), care permite realizarea testelor știft pe disc și vizualizarea variației parametrilor de comandă (forța normală), cât și a parametrilor măsuțați, care pot fi selectați după necesitate (forța de frecare, coeficientul de frecare, emisia acustică, apropierea dintre cele două triboelemente notate cu Z).

Materialele experimentale s-au testat în condiții de alunecare uscată, pentru presiuni medii normale de 0,17 MPa și 0,34 MPa și viteze de alunecare $v = 0,4$ m/s, 0,6 m/s și 0,8 m/s folosindu-se discuri din materialul sabotului (material compozit) și știfturi din oțel de rulment. Figura 2.82 prezintă un exemplu de vizualizare a parametrilor pe monitorul tribometrului [60,64].

Pentru fiecare treaptă de viteză de alunecare, s-a calculat timpul necesar parcurgerii distanței de 1500 m, în condiții de laborator. Fiecare test se realizează la o rază de 25 mm de la centrul discului până la axa știftului, pe fiecare disc rezultă o singură urmă de uzură [60,65].

Uzura s-a măsurat pentru fiecare disc în parte, ca pierdere de masă între valoarea măsurată inițial și valoarea măsurată la finalul testului. S-au realizat două cântăriri succesive luând în calcul media acestora.

În urma realizării testelor au rezultat datele încercării în fișier text precum și graficele parametrilor înregistrate de software-ul computerului tribometrului (figura 2.83-2.88).



Figur 2.82. Exemplu de monitorizare a parametrilor pe monitorul tribotesterului [64]

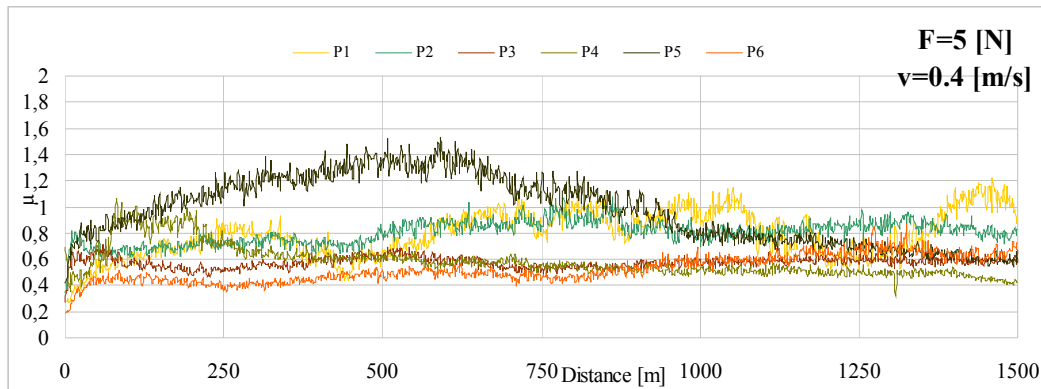


Figura 2.83. Coeficientul de frecare la încercarea probelor, cu $F=5\text{ N}$ și $v=0,4\text{ m/s}$ [64]

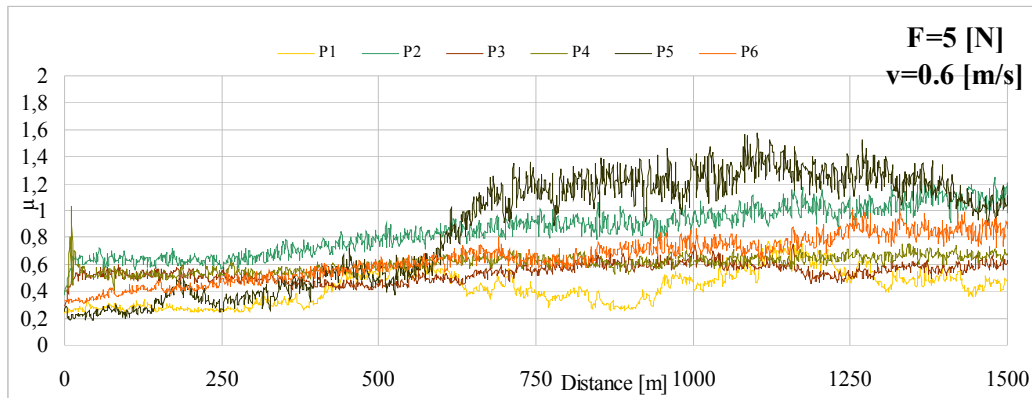
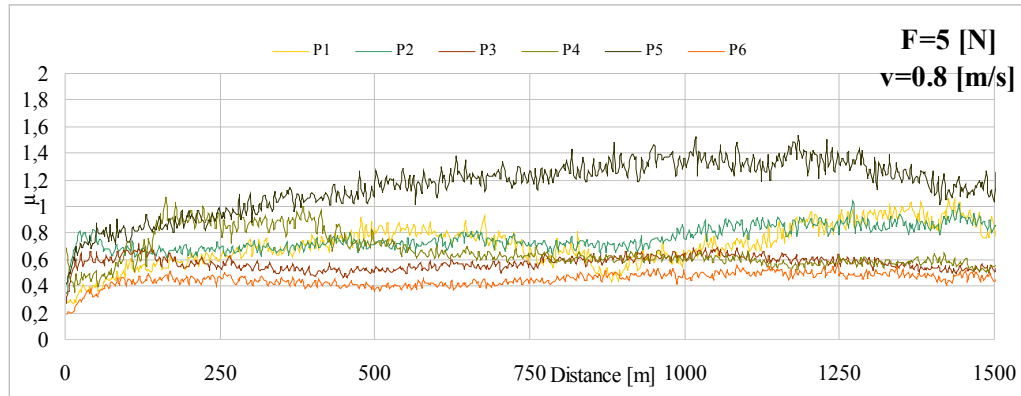
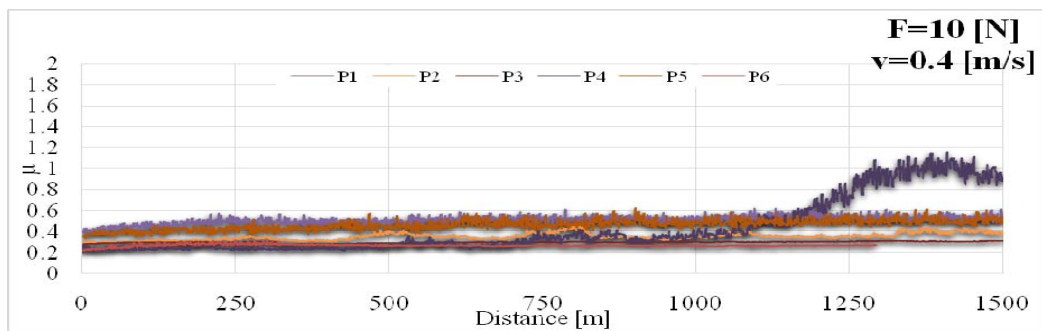
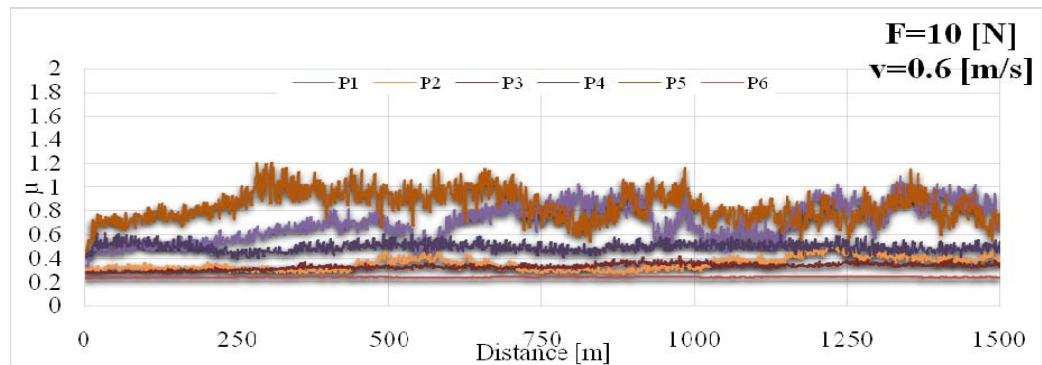
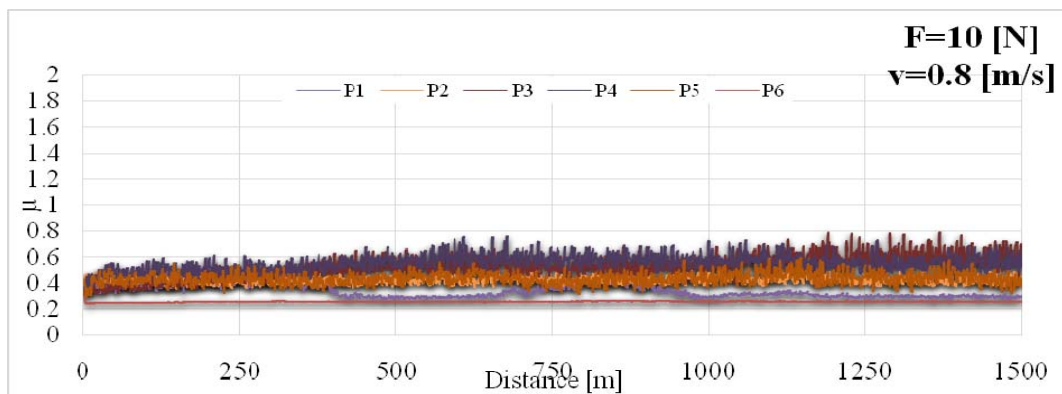


Figura 2.84. Coeficientul de frecare la încercarea probelor, cu $F=5\text{ N}$ și $v=0,6\text{ m/s}$ [64]

Figura 2.85. Coeficientul de frecare la încercarea probelor, cu $F=5$ N și $v=0,8$ m/s [64]Figura 2.86. Coeficientul de frecare la încercarea probelor, cu $F=10$ N și $v=0,4$ m/s [64]Figura 2.87. Coeficientul de frecare la încercarea probelor, cu $F=10$ N și $v=0,6$ m/s [64]Figura 2.88. Coeficientul de frecare la încercarea probelor, cu $F=5$ N și $v=0,4$ m/s [64]

Cercetarea tribologică a probelor din material compozit a avut ca obiectiv studiul influenței unor factori de material (concentrația și natura constituenților) și a unor parametrii a regimului de lucru (forța de apăsare, viteza de alunecare, timpul de încercare, regimul de frecare) asupra caracteristicilor tribologice a probelor testate, proceselor care au loc în straturile superficiale și posibilităților de modelare a acestora în sensul dorit.

În acest sens, s-a determinat și analizat [60,64]:

- evoluția unui parametru de uzură;
- evoluția coeficientului de frecare;
- evoluția temperaturii în zona de contact;
- analiza ulterioară a stratului superficial care a permis explicarea valorilor coeficientului de frecare și a parametrilor de uzură, evaluarea calității suprafețelor uzate și dispersia materialelor de adaos.

Rezultate obținute [60,64,66]:

- la testarea tribologică prin metoda știft pe disc se observă că rata de uzură a probelor din material compozit scade cu creșterea vitezei de alunecare și cu creșterea sarcinii de lucru;
- coeficienții de frecare, obținuți prin testarea tribologică a probelor din material compozit, scad, în general, cu creșterea sarcinii și vitezei de alunecare, menținându-se peste valoarea de 0,4;
- din imaginile SEM ale urmelor de frecare de pe probele din material compozit supuse testării tribologice prin metoda știft pe disc se observă o ușoară descoperire a particulelor metalice din masa probei. Se observă golurile existente în masa compozitului ca urmare a răcirii rapide a masei nemetalice în contact cu masa metalică. Salturile coeficientului de frecare se datorează, pe de o parte golurilor din material, iar pe de altă parte alternanței dintre masa metalică și cea nemetalică și antrenării particulelor de uzură;
- elaborarea unei metodologii experimentale de testare tribologică pentru a evidenția influența materialului și parametrii de testare respectiv studiul evoluției coeficientului de frecare.

2.3.5. Concluzii

- Cercetările experimentale efectuate în industrie au condus la identificare surselor de proveniență a gazelor în oțel, analiza procesele tehnologice, comportarea hidrogenului și azotului în baia metalică și la identificarea posibilităților de îndepărtare a acestora.
- Parametrii barbotării (durată, presiune, debit de argon și temperatura oțelului) au o influență puternică asupra randamentului de eliminare a hidrogenului, fapt confirmat de rezultatele obținute la prelucrarea datelor experimentale și verificate în practica industrială.
- Corelațiile privind influența calității zgurii cu caracter desulfurant și dezoxidant asupra randamentului de eliminare a hidrogenului, la tratarea oțelului în instalația LF, sunt reprezentative pentru procesul studiat, fapt confirmat de valorile pentru coeficienții de corelație și de rezultatele obținute la verificările industriale a cercetărilor.
- Procesul de eliminare a azotului din baia de oțel pe durata tratamentului în instalația de tip LF are loc concomitent cu cel de eliminare a hidrogenului.
- Din analiza corelațiilor au rezultat domeniile optime de variație pentru parametrii tehnologici ai tratării secundare a oțelului obținând valori maxime pentru randamentul de eliminare a hidrogenului respectiv a azotului.
- Efectele economice obținute pe ansamblul duplexului metalurgic CAE – LF: reducerea temperaturii de evacuare din agregatul primar de elaborare cu 40-80°C; scurtarea duratelor de elaborare în agregatul primar (cuprinse între 45 – 75 minute, respectiv între 42–80minute

în instalația LF, fiind influențată de structura secvenței de turnare); micșorarea uzurii și a consumului de materiale refractare cu 10-20%, datorită funcționării cu temperatură mai scăzută; scăderea consumului energetic cu 20-50kWh/t și a celui de electrozi cu 0,1-0,2kg/t.

- Cantitatea de căldură degajată în acest proces de turnare continuă este dependentă de: parametrii tehnologiei de turnare continuă; proprietățile fizice și chimice ale oțelului; proprietățile fizice și chimice ale prafului de lubrifiere. Cunoașterea modului în care are loc transferul de căldură de la oțelul lichid spre cristalizor concomitent cu fenomenul de formare a crustei, este de primă importanță, deoarece acest fenomen are influență majoră asupra calității semifabricatului și asupra bunei funcționări a mașinii de turnare continuă.
- Programul de simulare Turncon, poate fi utilizat pentru orice marcă de oțel cu condiția reconfigurării parametrilor corespunzători mărcii de oțel. Simularea poate contribui la elaborarea unor tehnologii de turnare corespunzătoare prin care să se reducă consumurile specifice de energie și metal pe de o parte, iar pe de altă parte, ori de câte ori apar anumite neconcordanțe între parametrii tehnologici și calitatea produsului turnat, există posibilitatea studierii acestuia prin simulare pentru clarificarea acestor cauze.
- Calitatea semifabricatelor din oțel este îmbunătățită printr-o dirijare a solidificării, care determină o creștere a omogenității structurale și a proprietăților calitative respectiv o finisare a structurii de turnare. Aceasta este influențată de o serie de factori, dintre care menționăm: compoziția chimică a oțelului și tendința acestuia de a segrega, viteza și temperatura de turnare, forma și dimensiunile geometrice ale cristalizorului/lingotierei respectiv condițiile de degajare a căldurii.
- Solidificarea unui volum de oțel este asociată cu contracții importante, independente de gradul de puritate, lucru care conduce la deteriorarea sensibilă a structurii oțelului și la apariția de neomogenități chimice și structurale, fapt care a condus la ideea îmbunătățirii calității prin dirijarea structurii de solidificare a acestora.
- Reducerea timpului de solidificare conduce la creșterea gradului de omogenitate structurală și de reducere a celui de segregare. Pentru obținerea unor semifabricate omogene din punct de vedere chimic, structural și al proprietăților mecanice este necesară asigurarea evacuării raționale a căldurii oțelului aflat în curs de solidificare.
- Studiul solidificării semifabricatelor din oțel este necesar pentru stabilirea posibilităților de îmbunătățire a calității produselor obținute din acestea. În acest context, în cadrul cercetărilor experimentale efectuate s-a utilizat dirijarea structurii de solidificare, metodă care prezintă avantajul că poate fi implementată relativ ușor în practica industrială.

2.3.6. Contribuții științifice și tehnice ale autoarei la stadiul actual al cunoașterii

Principalele contribuții științifice și tehnice referitoare la direcția de cercetare prezentată, pe baza studiilor efectuate și a rezultatelor obținute, sunt:

- optimizarea structurii încărcăturii și a consumurilor specifice la elaborarea oțelului în cuptorul electric cu arc în vederea îmbunătățirii calității acestuia;
- stabilirea ecuațiilor de corelație și a domeniilor optime de variație a parametrilor principali ai tratamentului oțelului în instalația LF (temperatură, durata barbotării, debitul și presiunea argonului) și gradul de eliminare a hidrogenului și a azotului;
- stabilirea parametrilor zgurii sintetice cu caracter desulfurant și dezoxidant (diferiți indici de bazicitate, compoziție chimică, consum specific, durata tratamentului, temperatură) și gradul de eliminare a gazelor din oțel;

- realizarea instalației experimentale de adaos a microrăcitorilor la turnarea continuă a oțelului;
- optimizarea transferului de căldură din distribuitor, în funcție de grosimea stratului de praf de acoperire și de temperatura liquidus a oțelului;
- optimizarea și modelarea matematică a procesului de solificare a semifabricatelor turnate continuu din oțel;
- realizarea programului de simulare Turncon a răcirii și solidificării la nivel de cristalizor, pentru turnarea continuă a semifabricatelor de oțel, tip blum 204x270mm, turnate cu adaos de microrăcitori;
- analiza rezultatelor simulării procesului de solidificare cu microrăcitori și determinarea consumurilor specifice utilizate pentru experimentările industriale;
- stabilirea tehnologiei turnare a oțelului cu microrăcitori;
- dirijarea solidificării semifabricatelor din oțel în scopul îmbunătățirii structurii acestuia;
- îmbunătățirea caracteristicilor fizico-mecanice a oțelului turnat cu microrăcitori;
- validarea experimentală a rezultatelor obținute;
- analiza defectelor cauzate de regimul termic pe fluxul distribuitor-cristalizor-răcire secundară la semifabricatele turnate continuu din oțel;
- îmbunătățirea structurii de tunare a oțelului prin dirijarea solidificării la lingourile cu secțiune circulară destinate fabricării roților monobloc de cale ferată;
- obținerea de noi materiale compozite cu caracteristici tribologice superioare destinate fabricării saboților de frână ai materialului rulant.

Diseminarea rezultatelor s-a realizat prin publicarea de articole științifice, elaborarea a 5 cărți și a unui îndrumar de laborator. Experimentările în fază de laborator și o parte a cercetărilor în fază pilot s-au realizat cu echipamentele și instalațiile achiziționate în cadrul contractelor și a granturilor coordonate.

Capitolul 3

TEHNOLOGII DE VALORIFICARE A DEȘEURILOR FEROASE ÎN SCOPUL ECOLOGIZĂRII MEDIULUI INDUSTRIAL

Experiența națională și internațională cu privire la direcția de cercetare Tehnologii de valorificare a deșeurilor feroase în scopul ecologizării mediului industrial

Membru în colectivele de redacție sau comitete științifice al revistelor și manifestărilor științifice

- International Conference on Applied Science ICAS, Wuhan, China, 2015, ISI Proceedings
- International Conference on Applied Science ICAS, Wuhan, China, 2013, ISI Proceedings
- International Symposium on Advanced Engineering and Applied Management - 40th Anniversary in Higher Education, Hunedoara, 2010, BDI Proceedings

Chairman Conferințe

- International Conference on Energy, Environment, Devices, Systems, Communications, Computers (INEEE 12), Rovaniemi, Finland, 2012, BDI Proceedings

Membru în comitetul de organizare a manifestărilor științifice

- International Conference of Numerical Analysis and Applied Mathematics, Rhodes, Greece ICNAAM 2015, ISI Proceedings
- International Conference of Numerical Analysis and Applied Mathematics, Rhodes, Greece ICNAAM 2014, ISI Proceedings
- International Conference on Applied Science ICAS, Hunedoara, 2014, ISI Proceedings

Recenzor pentru reviste și manifestări științifice naționale și internaționale

- Journal of Frontiers in Construction Engineering (FCE), Revista BDI
- Meccanica, Revista BDI

Membru în asociații profesionale de prestigiu naționale și internaționale

- Balcan Environmental Association Greece (BENA)
- Societatea Națională de Știința și Ingineria Mediului (SNSIM)

Cărți și capitole în cărți de specialitate

- Hepuț T., Socalici A., Ardelean E., Ardelean M., Constantin N., Buzduga M., *Valorificarea deșeurilor feroase mărunte și pulverulente*, Politehnica Timișoara, 2011.
- Socalici A., Benea L., Todorut A., Strugariu L., *Ingineria mediului*, Politehnica, 2013.

Granturi/proiecte internaționale câștigate prin competiție – Director proiect

- Grant No. 41, *Practical application of deferrized steelshop slags in agriculture*, 2007, Balkan Environmental Association.

Granturi/proiecte internaționale și naționale câștigate prin competiție – Membru în echipă

- No.46, *Decreasing of environment pollution degree through the siderite waste capitalization for production cement*, Balkan Environmental Association, 2008.
- No.40, *The impact of lime-dolomite plants upon the environment and the possibility of reducing the ecological risk in these regions*, Balkan Environmental Association, 2007.
- No.24, *Research regarding the recycling of the steel plant dust in siderurgic industry*, Balkan Environmental Association, 2004.
- Nr.31-098, *Prevenirea și combaterea poluării în zonele industriale siderurgice, energetice și miniere prin reciclarea deșeurilor marunte și pulverulente*, Programul 4 „Parteneriate în domenii prioritare” 2007-2013, 2007-2010, www.prevpol.fih.upt.ro

- Nr. 233, *Tehnologie integrată de obținere a unor surse energo-tehnologice neconvenționale utilizate ca materii prime la elaborarea oțelului*, Programul Excelență – Proiect de cercetare-dezvoltare complex, 2006/2007/2008
- Nr. 232, *Noi materiale refractare cu funcții complexe utilizate în industria oțelului, realizate prin tehnologii moderne*, Programul Excelență – Proiect de cercetare-dezvoltare complex, 2006/2007/2008

Articole în extenso în reviste cotate și indexate ISI Thomson Reuters

- **Socalici, A.**; Ardelean, E., Strugariu, L., *Research on the possibilities of sustainable use of powdery waste*, Environmental Engineering and Management Journal, 15(1), 2016, **FI 1,065**
- **Socalici, A.**; Ardelean, E., Crisan, E., Hepuț, T., *Research on the increase of the reaction surface of self-reducing briquettes*, Environmental Engineering and Management Journal, 15(3), 2016, **FI 1,065**
- **Socalici A.**, Hepuț T., Ardelean M., Ardelean E., Putan V., *Researches regarding practical application of deferrised steelshop slags in agriculture*, Journal of Environmental Protection and Ecology, 1, 2010, pp.227-237, **FI 0,178**
- **Socalici A.**, Hepuț T., Ardelean E., Ardelean M., *Research regarding using the wastes with carbon content in siderurgical industry*, Journal of Environmental Protection and Ecology, 2, 2010, pp.465-470, **FI 0,178**
- Ardelean M., **Socalici A.**, Hepuț T., Ardelean E., *Research on obtaining lubricating powder from various types of wastes*, Journal of Environmental Protection and Ecology, 2, 2010, pp.593-600, **FI 0,178**
- Ardelean E., Ardelean M., **Socalici A.**, Hepuț T., *Recycling of slag from the aluminium industry to steel refining*, Journal of Environmental Protection and Ecology, 2, 2010, pp.635-642, **FI 0,178**
- Ardelean E., Ardelean M., Hepuț T., **Socalici A.**, *Possibilities of recycling the lime-dolomite plant dust*, Journal of Environmental Protection and Ecology, 1, 2010, pp.217-226, **FI 0,178**
- **Socalici, A.**; Teodor, H; Ardelean, E; Marius, A; Milostean, D, *Experimental researches in pilot phases regarding at processing of ferrous pulverous and scrap waste in briquette*, Metalurgia International,13(13), 2008, pp.57-62

Articole în volumele unor manifestări științifice indexate ISI Proceedings

- Strugariu L., Crisan E., **Socalici A.**, Hepuț T., *Mathematical modeling based on qualitative characteristics of briquettes depending on the composition of recipes*, 11th International Conference of Numerical Analysis and Applied Mathematics ICNAAM 21 September 2013, Rhodes, Greece, Vol. 1558, pp.1644-1647.

Articole în reviste indexate în alte baze de date internaționale

- Strugariu L., Hepuț T., **Socalici A.**, *Recovery of sludge resulting from corrosion protection operations*, Metalurgia International, Bucuresti, Romania, ISSN 15822214, pp.161-165, 2013, Indexat SCOPUS
- Puțan A., Puțan V., Vilceanu L., **Socalici A.**, *Research on the Use of Waste to Reducing Slag Formation*, International Journal of Energy and Environment, 6(3), pp.342-349, 2012, Indexat Scholar Google
- Todoruț A., **Socalici A.**, *Recovery of powdery waste results from technological flows in siderurgy*, International Journal of Systems Engineering, Applications and Development, 6(3), pp.251-258, 2012, Indexat Scholar Google
- Todoruț, L.Strugariu, T.Hepuț, **A. Socalici**, E. Ardelean, *Research to Improving the Micropelleting Process on Agglomerated Technological Flow*, Annals of Faculty

Engineering Hunedoara – International Journal of Engineering, 9(3), pp.203-207, 2011

- Ardelean E., Ardelean M., Hepuț T., **Socalici A.**, Benea Laura, *Research concerning to the possibility of use the sideritic residue for production of clinker*, Annals of Faculty Engineering Hunedoara – International Journal of Engineering, 8(3), pp. 86- 91, 2010, Indexat CNCSIS B+, Scholar Google
- Hepuț T., **Socalici A.**, Ardelean E., Ardelean M., *Environment ecological process in Hunedoara area through reinsertion in economic circuit of scrap and pulverous waste*, Annals of Faculty Engineering Hunedoara – International Journal of Engineering, 7(3), pp.299- 302, 2000, Indexat CNCSIS B+, Scholar Google
- **Socalici A.**, Ardelean E., Ardelean M., Hepuț T., *Possibility to recycling of deferrized steelshop slags in agriculture*, Annals of Faculty Engineering Hunedoara – International Journal of Engineering, 7(3), pp.293- 298, 2009, Indexat CNCSIS B+, Scholar Google
- Ardelean M., Ardelean E., **Socalici A.**, Hepuț T., *Studies regarding of sideritic residue utilization for cement production*, ACTA TECHNICA CORVINIENSIS – Bulletin of Engineering, Hunedoara, 2(1), pp.21-26, Indexat CNCSIS B+, Scholar Google

Articole în volumele unor manifestări științifice indexate BDI Proceedings

- **Socalici A.**, Harau C., Hepuț T., Ardelean E., *Development of Small and Powdery Waste Management*, 6th International Conference on Management, Marketing and Finances (MMF '12), Vouligmeni Beach, Athens, Greece, 2012, pp.156-160, Indexat Scholar Google
- Păucă A., **Socalici A.**, Moisă I, *Valorization of Metallic Wastes by Rolling Them in Different Profiles*, The 3 th International Conference on Energy, Environment, Devices, Systems, Communications, Computers (INEEE 12), Finland, 2012, pp.171-174, Scholar Google
- Todoruț A., **Socalici A.**, *Recovery of Powdery Ferrous Waste through Pelleting*, The 3 th International Conference on Energy, Environment, Devices, Systems, Communications, Computers (INEEE 12), Finland, 2012, pp.134-139, Indexat Scholar Google
- **Socalici A.**, Ardelean E., Hepuț T., Ardelean M., *Possibilities of Turning into Account Steel Plant Powdery Wastes*, The 3 th International Conference on Energy, Environment, Devices, Systems, Communications, Computers (INEEE 12), Rovaniemi, Finland, 2012, pp.129-133, Indexat Scholar Google
- **Socalici A.**, Hepuț Teodor., Ardelean E., Ardelean M., *Researches regarding the recovery of small and powder ferrous wastes within iron-and-steel industry*, 6th IASME / WSEAS International Conference on Energy & Environment Cambridge, United Kingdom, 25 february 2011, pp.282-287, Indexat SCOPUS
- **Socalici, A.**, T. Hepuț, E. Ardelean, M. Ardelean, *Valorization of Powdery Ferrous Wastes in the Context of Sustainable Development*, 6th WSEAS International Conference on Energy, Environment, Ecosystems and Sustainable Development - EEESD'10, Timișoara, Romania, 2010, pp.153-157, Indexat SCOPUS
- **Socalici, A.**, T. Hepuț, E. Ardelean, M. Ardelean, *Researches Regarding the Obtaining of Active Slag by Using Reactive Admixtures Produced from Ferrous and Basic Scrap*, 6th WSEAS International Conference on Energy, Environment, Ecosystems and Sustainable Development - EEESD'10, Timișoara, Romania, 2010, pp.158-163, Indexat SCOPUS

Brevete de invenție

- *Brichetă tubulară din deșeuri feroase pulverulente*
- *Brichetă cilindrică multicavă produsă din deșeuri feroase pulverulente și mărunte cu granulație sub 2 mm*

3.1. Procedee de valorificare a deșeurilor feroase

Industria metalurgică se confruntă cu probleme majore care nu sunt legate de o criză a resurselor de materii prime și energie ci de cerințele stringente pentru protecția mediului. Dezvoltarea industriei metalurgice este condiționată de rezolvarea problemelor majore ce decurg din relația industrie-mediul fiind strict direcționate pe controlul poluării și protejării resurselor naturale și energetice. Deșeurile mărunte și pulverulente, provenite din siderurgie în principal dar și din industria minieră respectiv energetică, datorită conținutului ridicat în fier, mangan, carbon și diverși oxizi (elemente utile procesului de producție al fontei sau oțelului) ar trebui să se numească subproduse și să fie considerate componente de capital natural deoarece pot fi valorificate în industria siderurgică.

Conceptul ecologic aplicat domeniului siderurgic implică dezvoltarea unor fluxuri tehnologice de producție cu buclă închisă în care nici un deșeu nu trebuie eliminat, toate subprodusele ar trebui reutilizate continuu și nici un deșeu nu trebuie evacuat în mediu. În literatura de specialitate acest sistem se numește "waste free steel industry" [67,68].

Găsirea soluțiilor performante din punct de vedere economic și ecologic pentru fluxurile tehnologice din industria siderurgică constituie la ora actuală o preocupare majoră. Un management adecvat în ceea ce privește gestionarea și valorificarea deșeurilor va conduce la protejarea resurselor naturale și recuperarea celor consumate astfel putând fi reduse costurile și impactul deșeurilor eliminate asupra mediului. Preocuparea față de respectarea cerințelor legislative privind protecția mediului și necesitatea armonizării proceselor de progres economic, cu gestionarea rațională a resurselor materiale și energetice, trebuie să conducă la valorificarea deșeurilor prin tehnologii care să ofere atât din punct de vedere economic cât și ecologic, soluția optimă. Este necesar să fie promovate tehnologii care să asigure: gestionarea riguroasă a deșeurilor, depozitarea controlată a tuturor categoriilor de deșeuri, reducerea la sursă a cantității și nocivității deșeurilor produse, reciclarea cât mai avansată a deșeurilor rezultate prin reintroducerea lor în diverse etape ale fluxului tehnologic, asigurându-se astfel protejarea resurselor naturale de materii prime și creșterea gradului de utilizare a deșeurilor prin transformarea lor în materii prime pentru alte industrii.

Deșeurile care rezultă din toate etapele producției siderurgice pornind de la sectoarele de transport, depozitare și preparare a materiilor prime până la cele de finisare a produselor pe fluxurile aglomerator-furnal-convertizor-turnare continua-laminor sau cuptor electric cu arc-turnare continua-laminor, datorită posibilităților de valorificare prin reciclare sau/și reutilizare, trec în categoria subproduselor. Subprodusele, alături de fierul vechi constituie în principal surse de fier pentru industria siderurgică.

În combinatele integrate se acumulează aproximativ 450-500kg subproduse/tona de oțel brut; din această cantitate 375kg/t reprezintă zgura și circa 65kg/t prafurile, șlamurile și țunderul. Din cantitatea totală de subproduse solide, cea mai mare parte (70-80%) o reprezintă zgura, fracția feroasă se reutilizează în siderurgie iar fracția neferoasă este dirijată în principal în construcții, în industria cimentului și în agricultură pentru reabilitarea solurilor [69, 70].

Deșeurile feroase pulverulente provin din procesele de epurare a gazelor arse și a apelor uzate rezultate în procesele siderurgice. În funcție de procedeele folosite, deșeurile rezultate se prezintă în stare uscată sau umedă (nămol) și ca urmare modul lor de pregătire în vederea reutilizării diferă de la caz la caz. Procedeele aplicate pe plan mondial pentru valorificarea deșeurilor pulverulente sunt procedee de tip pirometalurgic, hidrometalurgic, precum și procedee de altă natură, ca: hidrociclona, peletizarea, brichetarea la cald și altele. Pentru exemplificare, în figura 3.1 este prezentată o privire de ansamblu a procedeelelor de tip pirometalurgic respectiv hidrometalurgic aplicate în vederea valorificării deșeurilor pulverulente [71, 72].

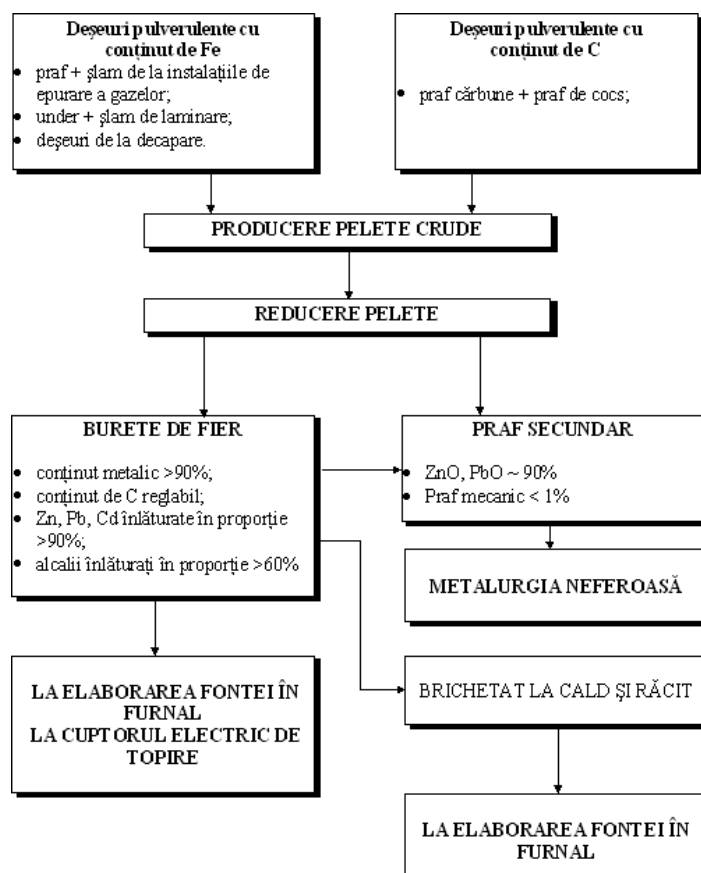


Figura 3.2. Valorificarea deșeurilor pulverulente prin procedeul INMETCO [73].

Avantajul al acestui procedeu constă pe de o parte în faptul că praful nu necesită o etapă intermediară pentru îmbogățirea prealabilă în Zn și Pb și pe de altă parte, cantitatea foarte mică de praf (< 1%) generată în timpul procesului.

Procedeul Wälz se utilizează în cazul prafurilor generate la elaborarea oțelului, cu conținuturi mari de Zn și Pb (~ 20%) pentru care reciclarea în diverse etape de flux tehnologic din sectorul siderurgic este greu de realizat [74]. Deșeurile valorificate prin acest procedeu sunt: praful de cuptor electric respectiv prafurile și șlamurile de aglomerare, furnal și convertizor care au fost în prealabil îmbogățite în Zn și Pb, printr-o reciclare directă în diferite procese siderurgice. Prafulurile și șlamurile sunt peletizate împreună cu 25% cocs mărunț și 15% nisip. Peletele astfel obținute se introduc într-un cuptor tubular rotativ, menținându-se timp de 4 ore la o temperatură de 1000 - 1250°C. În urma acestei procesări va rezulta oxidul Wälz, cu un conținut ridicat de ZnO și PbO ($ZnO + PbO > 70\%$), care va fi direcționat către metalurgia neferoasă și zgura Wälz care poate fi utilizată în continuare în sectorul construcții.

Procesul FASTMET transformă minereurile de oxid și/sau deșeurile de la oțelării în metal feros folosind, dacă este necesar, cărbune pulverizat sau alt material conținând carbon ca reducător. Produsul final, fier redus direct, poate fi brichetat fierbinte, descărcat ca burete de fier fierbinte în containerele de transfer, răcit dacă este cerut ca și burete de fier rece, sau încărcat direct într-un cuptor electric cu arc. Schematic figura 3.3 prezintă procedeul dezvoltat de Midrex Technologies and Kobe Steel [72,75]. Timpul de procesare în creuzet, este în general, de 6 – 10 min și variază în funcție de materialul care este procesat, dimensiunile materialului de alimentare și de alți factori, în acest timp 85 – 95% din oxidul de fier este transformat în metal feros.

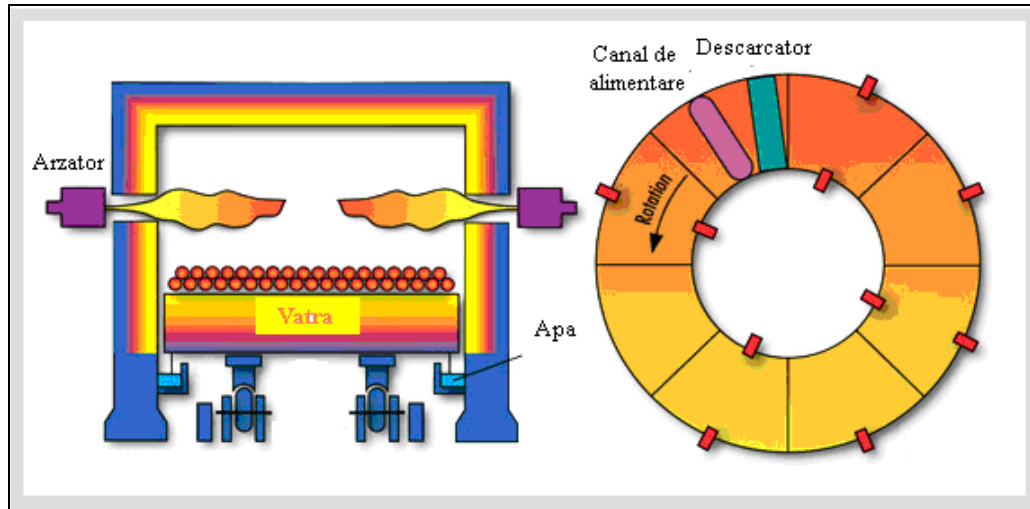


Figura 3.3. Procesul FASTMET, dezvoltat de Midrex Technologies and Kobe Steel [75]

Modul de reducere rapidă obținut prin procesul FASTMET se datorează temperaturii mari de reducere, transferului mare de căldură și contactului apropiat al carbonului din interiorul materialului de alimentare cu oxidul de fier. Brichetarea deșeurilor oferă o mai mare flexibilitate în utilizarea materialelor reziduale și elimină necesitatea de mărunțire a materialului de alimentare [72,76]. Brichetele sunt de asemenea plasate în creuzet într-un singur strat. În timp ce creuzetul se rotește, materialele de alimentare sunt încălzite până la 1290 - 1350°C iar oxidul de fier este redus la metal feros.

Procesul FASTMELT transformă buretele de fier FASTMET în metal fierbinte de calitate superioară, cunoscut ca FASTIRON lichid. Schematic procedeul este prezentat în figura 3.4. Procesele sunt atractive datorită faptului că protejează mediul, singurele deșuri solide rezultate fiind zgura și cenușa. Zgura este asemănătoare zgurii de cuptor și este tratată în același fel. Cenușa poate fi valorificată pentru conținutul de ZnO.

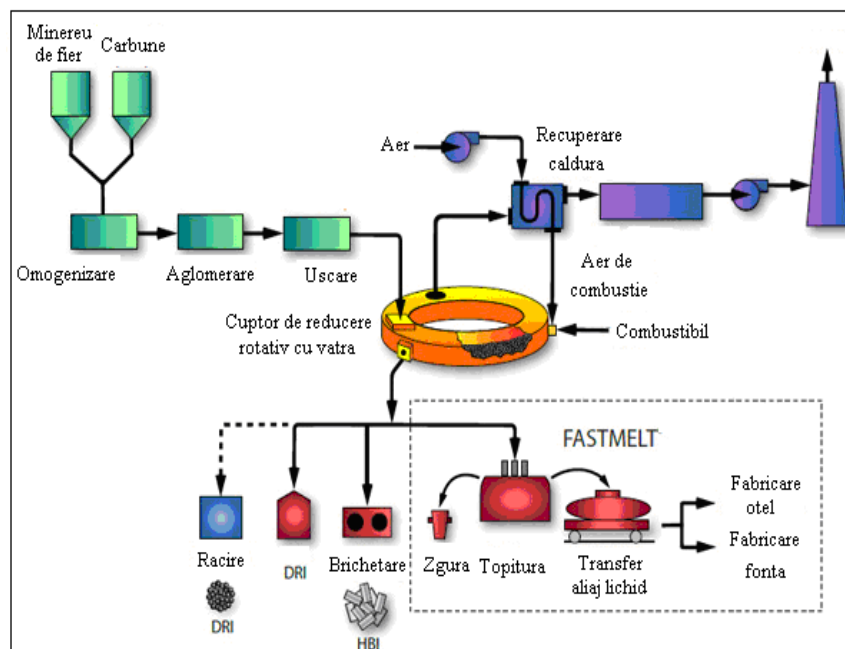


Figura 3.4. Procedeul FASTMELT, dezvoltat de Midrex Technologies and Kobe Steel [75]

Procedeul PRIMUS dezvoltat de Paul Wurth S.A, este caracterizat prin aceea că, prin utilizarea tehnicii cuptorului etajat, este evitată pregătirea prealabilă a materialului de încărcare. Modelul de lucru ales permite introducerea directă a șlamurilor. Cuptoarele etajate au corp cilindric, încât spațiul interior este împărțit în camere sau etaje suprapuse. Între etaje se află sole autoportante, din cărămizi refractate îmbinate între ele [72,77]. În aceste sole sunt prevăzute goluri, către exteriorul sau interiorul razelor, care permit trecerea materialului de la un etaj la etajul imediat inferior. Cuptorul este încălzit prin arzătoare instalate pe pereții exteriori. Gazele arse străbat traseul, de obicei în contra curent; sunt însă realizabile și alte moduri de dirijare a gazelor. Datorită modului său de funcționare, cuptorul etajat este potrivit în special pentru prelucrarea termică a materialelor mărunte. În cursul transportului prin cuptor, materialele sunt permanent rostogolite. Aceasta asigură o încălzire rapidă și omogenă a materialelor. În cazul procedurii Primus, cuptorul etajat funcționează atât ca agregat de uscare, cât și ca cuptor de reducere. După un proiect realizat de Paul Wurth S.A. se vor putea obține temperaturi până la 1100°C, astfel încât cuptorul etajat va fi folosit și pentru procesele metalurgice. În cazul tratării materialelor care conțin oxizi de zinc și de plumb, sunt reduși în patul de materiale, pe lângă oxizii de fier, și oxizii metalelor neferoase grele. Spre deosebire de fier, zincul și plumbul se vaporizează la temperaturile existente și părăsesc patul de materiale sub formă de vapori de metal. În atmosfera oxidantă de gaz din cuptor are loc reoxidarea; astfel ZnO și PbO sunt evacuați din cuptor cu gazele, sub formă de particule de praf și, în final, sunt reținuți pe un filtru. Procedeul Primus permite separarea metalelor neferoase grele zinc și plumb, a metalelor alcaline Na și K, precum și a clorului din fracțiunea feroasă. Prin această vaporizare a unor materii se ajunge la o îmbogățire în fier a produsului final (burete de fier), căruia îi crește valoarea.

Un alt procedeu pirometalurgic este **EPP** - Extended Precision Plasma, procedeu dezvoltat de către firmele Tetronics, R&D Ltd - Farringdom și British Steel Corporation - Scheffield, care procesează în principal praful generat în procesul de elaborare a oțelurilor aliate crom-nichel din cuptorul electric cu arc, precum și praful de convertizor. Pentru valorificarea prafurilor generate la elaborarea oțelului înalt aliat se aplică de asemenea și **procedeul Plasmadust**. Un alt procedeu aplicat cu succes în Germania este **ZWS Lurgi** (Zierkulierende Wirbelschicht) care realizează procesarea prafurilor și șlamurilor, deshidratate în prealabil [77]. Acest procedeu prelucrează fracții fine de prafuri și șlamuri (95% sub 3mm) valorificând: praf și șlam de aglomerare; praf și șlam de furnal; praf fin și șlam de convertizor; praf de cuptor electric cu un conținut de Zn sub 10%; țunder și șlam de laminare cu un conținut de ulei < 0,5%.

Alt procedeu pirometalurgic bazat pe același principiu de reducere selectivă la temperaturi mai mari de 1000°C a fost dezvoltat de către firma KHD Humboldt, WEDAG AG, Köln la sfârșitul anului 1988, denumit **procedeul Contop**. Inițial acest procedeu a fost conceput în principal pentru topirea concentratelor de cupru, dar în urma multiplelor experimentări s-a constatat că poate fi utilizat cu succes la procesarea deșeurilor pulverulente generate în procesele siderurgice, cum ar fi: praful și șlamul de furnal; praful și șlamul de convertizor; praful de cuptor electric; praful generat din procesele metalurgiei secundare; țunderul și șlamul de laminare. În prezent, instalații Contop există în exploatare la Chuquicamta - Chile, Palabora - Africa de Sud, precum și două instalații în Bolivia.

Pe lângă aceste procedee pirometalurgice, în SUA au fost dezvoltate și altele cum ar fi: **Ausmelt, Molten Metal Technologies - MMP, AISI - DOE Direct Steel Making Program și EnvIRONment**, toate acestea utilizând temperaturi ridicate de lucru, urmărind obținerea unui praf bogat în zinc și plumb [72]. Procedeul EnvIRONment a fost dezvoltat de către Illawarra Technology Corporation și constă în procesarea deșeurilor pulverulente cu conținut de fier, simultan cu alte tipuri de deșeuri pulverulente.

Procedee de valorificare fără recuperarea elementelor însoțitoare fierului. În acest caz este vorba despre deșeuri pulverulente la care nu se pune problema reținerii elementelor însoțitoare (în special zinc) [78]. Produsul final principal al procesării este un material feros (cu conținut ridicat de fier) utilizabil în continuare la elaborarea fontelor sau oțelurilor.

Procedeele RHF-Demag SMS se bazează pe reducerea directă a oxizilor de fier și la care agregatul conducător este cuptorul cu vatră rotativă (RHF). Sunt tratate prafuri de oțelărie, în special, de convertizor. Această tehnologie constă în două stadii principale: primul, de producere a peletelor brute în faza de pregătire a materiei prime, iar cel de-al doilea, transformarea peletelor brute în fier redus direct (DRI) într-un cuptor cu vatră rotativă.

Procedeele RedSmelt este împărțit în trei stadii procesuale majore: pregătirea materiei prime într-o unitate de peletizare, încălzirea și reducerea într-un cuptor cu vatră rotativă și topirea într-un cuptor cu arc submersat [72]. Tehnologia RedSmelt este adecvată pentru oțelării cu exigențe suplimentare la fonta lichidă, cum sunt secțiile de furnale sau miniuzinele.

Recircularea prafului de oțel inoxidabil prin injectarea în cuptoarele electrice cu arc are drept țintă recuperarea cromului și nichelului în topitura de oțel elaborată în cuptoare electrice cu arc. Praful este transportat pneumatic până la lancea de injecție montată pe un manipulator [78]. Orificiul de evacuare al lăncii este plasat în interfața zgură-topitură metalică. Se utilizează două procedee: Krupp Edelstahlprofile GmbH (procedeele KEP) și Uzine Savoie Imply (procedeele USI).

Procedee hidrometalurgice de valorificare a deșeurilor pulverulente

Hidrometalurgia este o metodă alternativă de tratare a prafului de la cuptorul electric cu arc. Principiul său este acela de a extrage zincul și alte elemente din praf la temperatura camerei. Procesele variate folosesc soluții acide, bazice sau amfotere [78]. Soluția poate fi apoi purificată, de exemplu prin cementare. Se poate colecta fie compus de zinc, cum ar fi oxid de zinc sau sulfură de zinc, prin precipitare, fie zinc metalic prin electroliză. Același nivel de puritate a zincului, cum este cel din metoda hidrometalurgică a zincului primar, poate fi în principiu obținut. Aceste procedee ar trebui să ofere soluții competitive în raport cu procesele pirometalurgice și chiar mai mult de atât, să ofere metode de manipulare a prafului care să se auto-sustină din punct de vedere economic.

Folosirea electrolizei la procesarea materialelor pulverulente siderurgice. Lansat în Franța, procedeul de întrebuințare a electrolizei pentru recuperarea zincului este cunoscut sub denumirea de procedeul Ezinex. Materialul praf, reținut de pe filtre este amestecat cu lichidul de atac pe bază de clorură de amoniu și cu un pH neutru. Celelalte metale (Cu, Cd, Ni, Ag) prezente în praf reacționează de aceeași manieră, în timp ce plumbul este pus în soluție în urma acțiunii ionilor dați de clorurile libere.

Hidrociclonașlamului de furnal este un procedeu aplicat la combinatul Kawaishi din Japonia [78]. În urma procesării acestuia se obține un praf cu un conținut scăzut de Zn care urmează a fi peletizat sau brichetat, putând astfel fi reciclat în procesul de aglomerare cu rezultate satisfăcătoare și un praf cu un conținut ridicat de metale grele, praf ce urmează a fi livrat beneficiarilor din industria neferoasă.

Din categoria **procedeele termice**, procedeul **Altwert Oecotec** este reprezentativ și constă în uscarea și dezuleierea țunderului și șlamului de laminare într-un cuptor cu vatră rotativă, obținându-se pulberea de fier care poate fi reciclată direct la aglomerare sau poate fi brichetată la cald, brichetele astfel obținute putând fi utilizate ca înlocuitor al fierului vechi la elaborarea oțelului în cuptorul electric cu arc [72]. În Müllheim an der Ruhr, firma Altwert Oecotec a construit o astfel de instalație în cadrul combinatului Mannesmann Röhrenwerke AG care are o capacitate de prelucrare de aproximativ 2t/h de țunder și șlam ceea ce corespunde unei capacități de 12.000 tone anual.

Peletizarea se bazează în principiu pe formarea unor sfere crude prin rostogolirea unui minereu fin măcinat sau a unui amestec de deșeuri pulverulente la care se adaugă lianți împreună cu o cantitate limită de apă [52]. Procesul tehnologic de producere a peletelor presupune parcurgerea următoarelor etape: pregătirea materiei prime, producerea peletelor crude și durificarea peletelor [78]. Procesul este influențat de numeroși factori: compoziția chimică a deșeurilor, granulația și forma granulelor, cantitatea de apă adăugată și tipul lianților folosiți. Din punct de vedere constructiv se disting trei procedee de peletizare a materialelor pulverulente: peletizare în taler (disc), în tambur cilindric și în tambur conic [72,79].

Ținând seama de solicitările la care sunt supuse peletele în timpul transportului, de la instalația de peletizare până la beneficiar (furnal sau oțelărie electrică), precum și de influența temperaturii și a transformărilor care au loc în agregatele de elaborare a fontei sau oțelului, este necesar ca acestea să corespundă unor caracteristici calitative și anume: compoziție chimică și granulometrică, rezistența la compresiune, rezistență la tobă, reductibilitate, indice de umflare liberă și porozitate [79]. Calitatea peletelor, în general, este influențată de natura deșeurilor, tipul și cantitatea fluxurilor și tratamentul lor ulterior pentru a produce pelete [72]. Experimental s-a stabilit ca dimensiunea peletelor să fie cuprinsă între 9,5-25 mm, optim dimensiunile de 10-15 mm, fracție care să reprezinte minimum 85% din întreaga cantitate de pelete.

Brichetarea reprezintă procesul de transformare a minereurilor (concentratelor, deșeurilor feroase) fine și mărunte (cu granulație sub 8 mm) în bucăți (brichete) de formă determinată (ovală, sferică, cilindrică sau paralelipipedică) prin presare pe utilaje specializate, urmate de un proces de uscare – prăjire pentru creșterea caracteristicilor mecanice ale acestora [71]. Transformarea în brichete a materialelor feroase mărunte și pulverulente, reprezintă în prezent o preocupare deosebită în procesul de valorificare a deșeurilor feroase pulverulente și mărunte rezultate în urma proceselor metalurgice, respectiv siderurgice. Metoda prezintă interes deosebit mai ales pentru societățile siderurgice de tip mini-mills. Rezultate foarte bune s-au obținut de firmele Tyssen-Krupp Stahl [68, 71, 85]. În funcție de metodele de brichetare și de caracteristicile inițiale ale materialului supus brichetării, acestea se împart în două categorii: brichetare fără adaosuri liante și brichetare cu adaosuri liante (organice, anorganice). În funcție de presiunile la care sunt supuse brichetele la realizare, pentru ambele procedeele de brichetare, acestea pot fi obținute prin brichetare la presiune joasă (50 – 100 daN/cm²), la presiune medie (150 – 750 daN/cm²) respectiv la presiune ridicată (peste 750 daN/cm²) [81].

Aglomerarea termică este procedeul cel mai răspândit de transformare în bucăți a concentratelor și minereurilor fine și mărunte, atât pentru siderurgie cât și pentru metalurgia neferoasă. Prin aglomerare se reîntorc în circuitul economic o serie de deșeuri feroase mărunte și pulverulente. Prin aglomerare se realizează și o concentrare în elemente utile, prin îndepărtarea compușilor sau elementelor volatile (S, CO₂, As) și se obțin produse mai ușor reductibile, datorită porozității lor [78]. Aglomerarea este un proces fizico-chimic, dependent de: granulația materialelor, umiditatea materialului, conținutul de materiale combustibile și proprietățile fizico-chimice ale materialului. În practică, se urmărește obținerea de productivități sporite la instalațiile de aglomerare, dar în același timp și aglomerat cu caracteristici calitative superioare și pe cât posibil cu consumuri energetice reduse [72].

Procedeul Carbofer constă în procesarea simultană a deșeurilor pulverulente cu conținut de fier și a deșeurilor pulverulente cu conținut de carbon în vederea obținerii unui produs apt a fi utilizat în diverse etape de flux tehnologic, produs denumit carbofer [80, 82]. Carbofer-ul este un amestec mecanic, obținut din diferite deșeuri pulverulente (țunder, șlam de laminare, șlam uleios de la laminare, praf de furnal, praf de var, praf de cărbune și cenuși cu conținut ridicat de carbon, etc.), în compoziția cărora elemente ca fier, calciu, carbon ș.a., utile diferitelor procese care se desfășoară

în agregatele siderurgice se găsesc în proporții suficiente valorificării acestora [71,82]. Utilizarea Carbofer-ului ca înlocuitor al agenților uzuali de spumare a zgurii la cuptorul electric cu arc are atât un avantaj ecologic cât și unul economic. Avantajul ecologic este redat de diminuarea semnificativă a poluării mediului și anume prin creșterea gradului de valorificare a deșeurilor pulverulente precum și prin reducerea spațiilor de depozitare a acestor deșeuri [71,83].

Analizând procedeele și tehnologiile de valorificare a deșeurilor mărunte și pulverulente cu conținut de fier și carbon consider că prezintă interes următoarele concluzii:

- toate procedeele și tehnologiile prezentate pot fi aplicate pentru valorificarea deșeurilor pulverulente;

- alegerea procedeei și tehnologiei de verificare trebuie să aibă în vedere atât caracteristicile deșeurilor, destinația produsului obținut și instalațiile de procesare existente în zona cu deșeuri;

- în prezent, prezintă interes deosebit procedeele neconvenționale de reciclare a deșeurilor în vederea obținerii unui produs cu conținut ridicat de fier metalic;

- valorificarea deșeurilor prin procedeele clasice poate asigura, în funcție de tehnologia aplicată, produse cu oxizi de fier avansat reduși;

- valorificarea deșeurilor prin peletizare/brichetare, prezintă interes deosebit, mai ales pentru unitățile siderurgice puternic restructurate, cu închiderea fluxului primar (cocserie – aglomerator - furnale - oțelărie Siemens-Martin) și cantități mari de deșeuri depozitate pe halde și iazuri.

3.2. Caracteristici calitative a deșeurilor feroase mărunte și pulverulente

Valorificarea superioară a deșeurilor siderurgice în general și a celor mărunte și pulverulente în particular, reprezintă o problemă importantă, deoarece transformarea lor în subproduse, deci în bunuri economice poate conduce la o exploatare rațională a resurselor de materii prime și energetice, asigurându-se astfel atât necesitățile societății umane cât și protecția mediului înconjurător. Se prezintă în continuare caracteristicile acestor deșeuri [71,72,84]: analizele chimice, granulometria materialelor, unghiul de taluz natural al deșeurilor feroase, densitatea în vrac și analiza mineralogică și morfologică (s-a utilizat microscopul electronic cu baleiaj HITACHI model S-2600N echipat cu spectrometru de raze X dispersiv în energie - EDAX). Pentru investigarea la microscopul electronic cu baleiaj, cantități mici din probe au fost dispersate pe o folie adezivă conductoare din carbon și apoi au fost vizualizate la diferite ordine de mărime [72].

Șlamul de aglomerare-furnale și șlamul de convertizor este acumulat în mai multe halde “istorice” din România și cumulează o cantitate estimată la peste 8 milioane tone. Acesta provine din fracția fină din gazul de furnal, de la oțelăriile Siemens – Martin și a convertizoarelor aflate în exploatare la Galați. Cantitățile generate anual sunt de aproximativ 50–70 mii tone. Aceste depozite sunt în actuale și foste iazuri în care acest șlam a fost deversat controlat deoarece recuperarea lui este foarte anevoioasă din cauza fineței foarte mari și a faptului că trebuia uscat. Totuși la SC ArcelorMittal Galați SA s-a reușit pe parcursul mai multor ani recuperarea unei fracții de 3000 - 7000 tone/an. În tabelul 3.1 se prezintă analiza chimică a șlamului de aglomerare-furnale și convertizor pentru câteva centre siderurgice din România [72]. Acestea au un conținut de fier mediu, de SiO₂ și CaO, care asigură valori metalurgice medii, ceea ce le fac reciclabile în siderurgie. Distribuția claselor granulometrice este prezentată în figura 3.5. Distribuția granulometrică a șlamului de furnal are două zone bine definite care diferă esențial prin forma distribuției claselor. În figura 3.6 este reprezentată curba caracteristică a cineticii de umectare pentru șlamul de furnal [72].

Șlamul de convertizor are 2 fracții granulometrice – șlam grosier (brut) rezultat din treapta I-a de spălare sub 90 μm și șlam fin din treapta a II-a sub 50 μm [72].

Tabelul 3.1. Analiza chimică a șlamului de aglomerare-furnale și convertizor rezultat de la centre siderurgice din România

Component, %	Șlam grosier ArcelorMittal Galați	Șlam fin ArcelorMittal Galați	Șlam furnal ArcelorMittal Galați	Șlam Mălina Galați	Șlam Bataga Hunedoara	Praf furnal ArcelorMittal Galați	Șlam furnal Călan
SiO ₂	2,57	1,11	8,0	9,10	14,06	6,06	13,93
CaO	23,89	2,31	3,86	21,4	10,01	5,81	13,35
MgO	2,16	0,34	0,97	0,2	2,57	1,59	2,19
Al ₂ O ₃	0,19	0,11	0,93	0,0	6,44	2,04	4,5
MnO	1,21	4,32	0,55	0,6	0,96	0,29	0,48
Cr	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Fe	41,91	57,31	29,24	52,6	30,35	31,19	23,91
Cu	0,0076	0,0227	0,0077	0,0	0,0	0,0	0,017
Zn	0,447	1,464	2,343	0,0	4,79	0,1	0,47
Ni	0,0012	0,0032	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Pb	0,0078	0,2144	0,5812	0,0	0,0	0,0	0,07
Cd	0,0085	0,0041	0,0085	0,0	0,0	0,0	0,0
C	0,95	0,26	8,45	0,0	10,9	36,82	15,55
S	0,05	0,06	0,73	0,0	1,11	0,0	0,056
P	0,13	0,06	0,07	0,0	0,0	0,046	0,47
PC	0,0	0,0	28,74	3,4	0,0	0,0	0,0

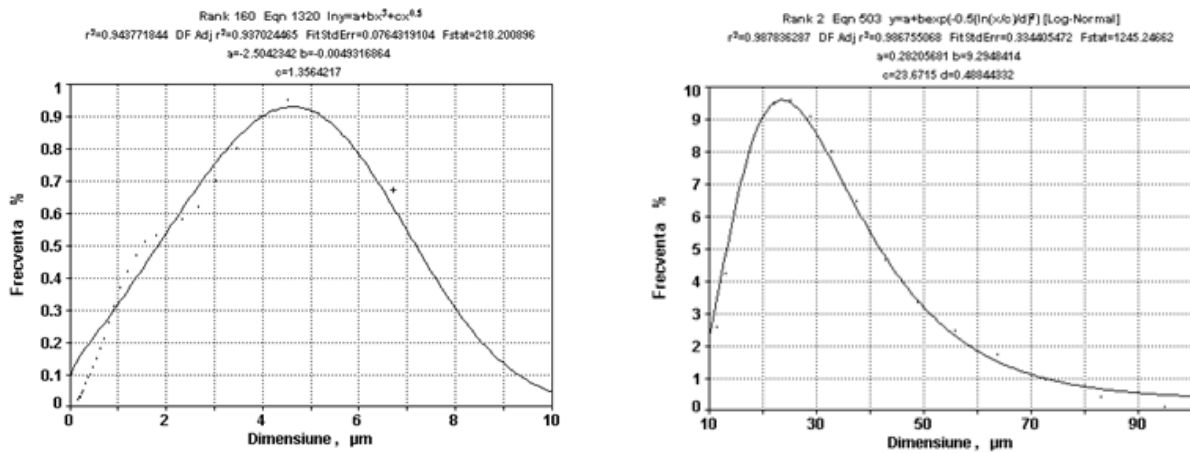


Figura 3.5. Distribuția claselor granulometrice pentru șlamul de furnal [72]

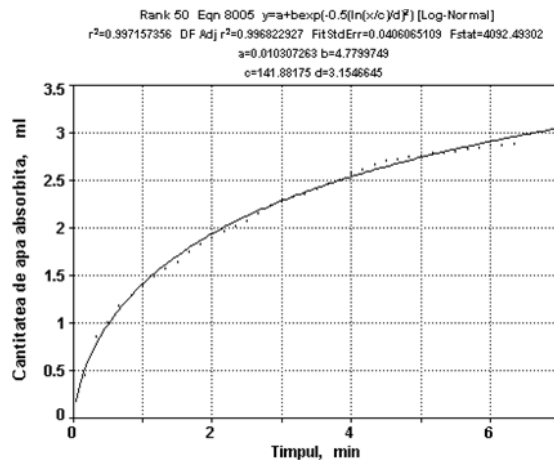


Figura 3.6. Curba caracteristică a cineticii de umectare pentru șlamul de furnal [72]

Dezavantajul procesării materialului este finețea mare 70% sub 50 μm ceea ce conduce la timpi îndelungați de decantare, uscare și manipulare greoaie, înrăutățirea procesului de aglomerare. Procedeele dezvoltate pentru procesarea șlamului se bazează pe decantarea în cascadă a suspensiei și filtrarea în vacuum sau deversarea în iazuri de decantare naturale. În figura 3.7 sunt reprezentate curbele caracteristice ale cineticii de umectare a deșeurii (șlam grosier și fin). Densitatea în vrac este de 1,22 kg/dm^3 pentru șlamul de convertizor fin și de 1,18 kg/dm^3 pentru șlamul de furnal. Unghiul de taluz natural este de: 36° - șlam grosier, 32° - șlam fin și 16° - șlam furnale [71,72].

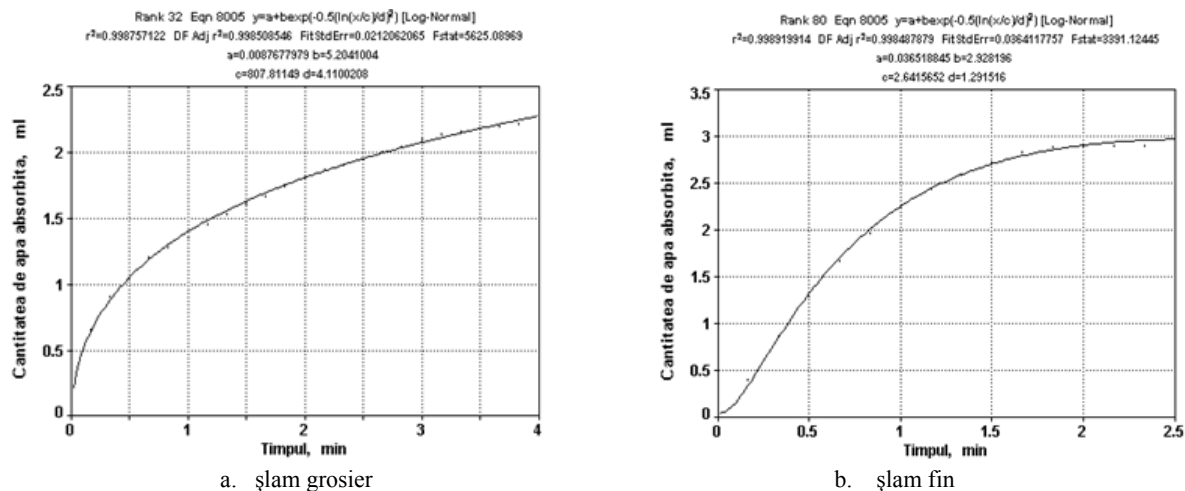


Figura 3.7. Cinetica umectării pentru șlamul de convertizor [72]

Morfologie și mineralogie – probă pentru șlam de Furnale [72]. În figura 3.8 se prezintă aspecte morfologice corespunzătoare probelor de șlam de furnal. Particulele au dimensiuni și forme diferite, unele ușor rotunjite, altele poliedrice. Prin analiza în raze-X se prezintă distribuția elementelor în particulele componente ale probei (figura 3.9). După imagine și distribuția culorilor, observăm că Fe, Mn, Al, K, Ca și Pb au o distribuție aproape uniformă, dar sunt și concentrații zonale în particule, cum ar fi ale Si și Zn. Având în vedere că metoda spectrometrică aplicată are rezoluție geometrică de poziționare slabă pentru particule submicronice, rezultatele microcompoziționale obținute trebuie privite ca informative asupra ansamblului șlamului respectiv (un amestec omogen de particule submicronice de oxizi). Rezultatele determinărilor granulometrice arată faptul că diametrul mediu al particulelor în șlamul de furnal este de 24,721 μm . Spectrul de raze-X dispersiv în energie (EDAX) are forma din figura 3.10. S-au efectuat câteva sondaje privind concentrația unor elemente chimice pentru a calcula rapoartele dintre constituenții principali ai oxizilor. Pe baza acestor sondaje de analize punctuale, se stabilesc cu aproximație fazele compuse, care predomină în structura mineralogică formată. Oxizii prezenți în particulele analizate sunt: ZnO-Fe₂O₃-CaO-SiO₂-MnO-Al₂O₃-PbO. În cazul șlamului de furnal analizat, este prezenta o formă complexă de faze (spinel) care are un raport Zn/Fe similar: $4 \cdot [\text{ZnO} \cdot 2(\text{FeO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3)] + \text{FeO} \cdot \text{ZnO} \cdot 2(\text{FeO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3)$ cu $\text{Zn}/\text{Fe} = 0,18879$. Acest praf este foarte fin, majoritatea particulelor având formă sferică. Au fost identificate complexe de faze ZnFe₂O₄ (Franklinit), ZnO (Zincit) și Fe₃O₄ (Magnetit) combinate [71, 72].

Morfologie și mineralogie – probă pentru șlam de convertizor, proba constă din particule de formă aproape sferică de dimensiuni submicronice. Morfologia probei este prezentată în imaginile de microscopie electronică cu baleiaj [71, 72]: imagini de electroni secundari (SEI) în figura 3.11 iar distribuția de raze X în figura 3.12. Spectrul de raze-X dispersiv în energie (EDAX) are forma din figura 3.13. Acesta arată faptul că proba conține următoarele elemente: Fe, Zn, K, Si, Mn, Ca.

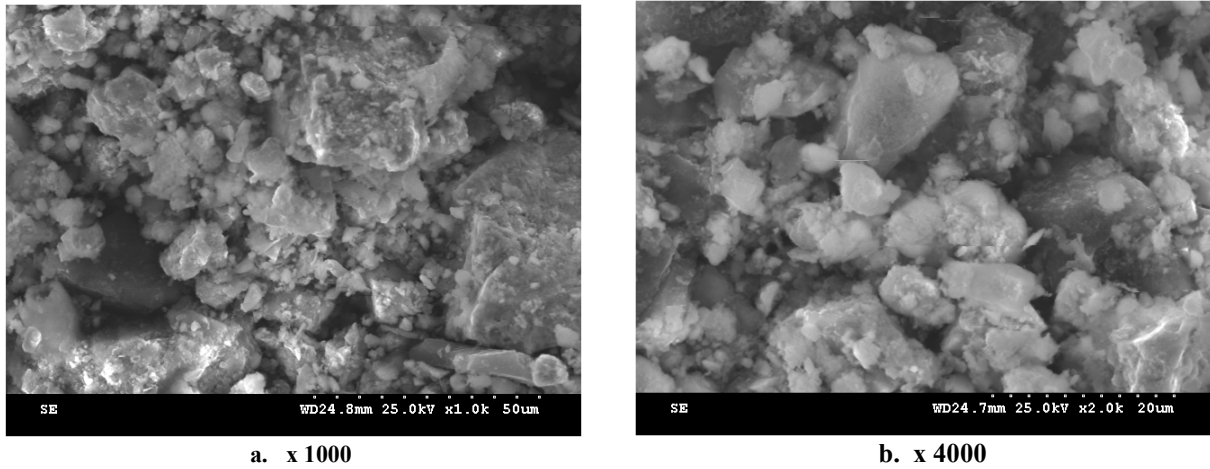


Figura 3.8. Imagini de microscopie electronică cu baleiaj (SEI) pentru șlamul de furnal [72]

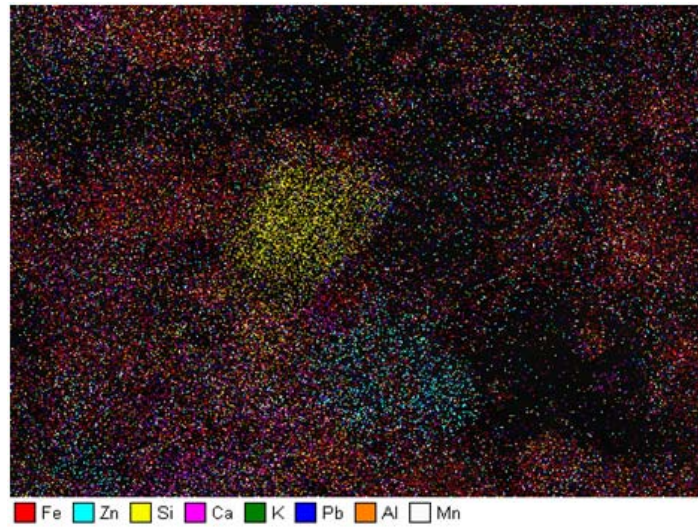


Figura 3.9. Imagini de distribuție de raze X – Fe, Zn, Si, Ca, K, Pb, Al, Mn pentru șlamul de furnal [72]

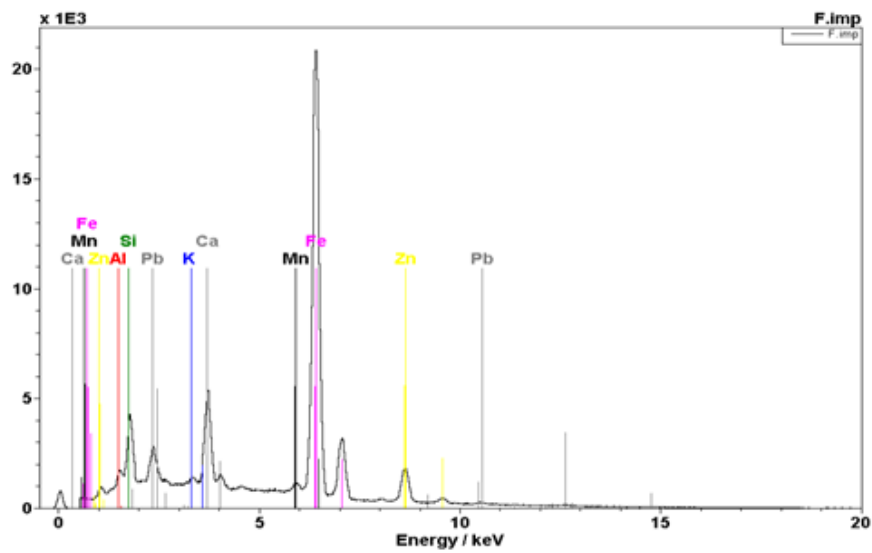


Figura 3.10. Spectrul de raze X dispersiv în energie (EDAX) pentru șlamul de furnal [72]

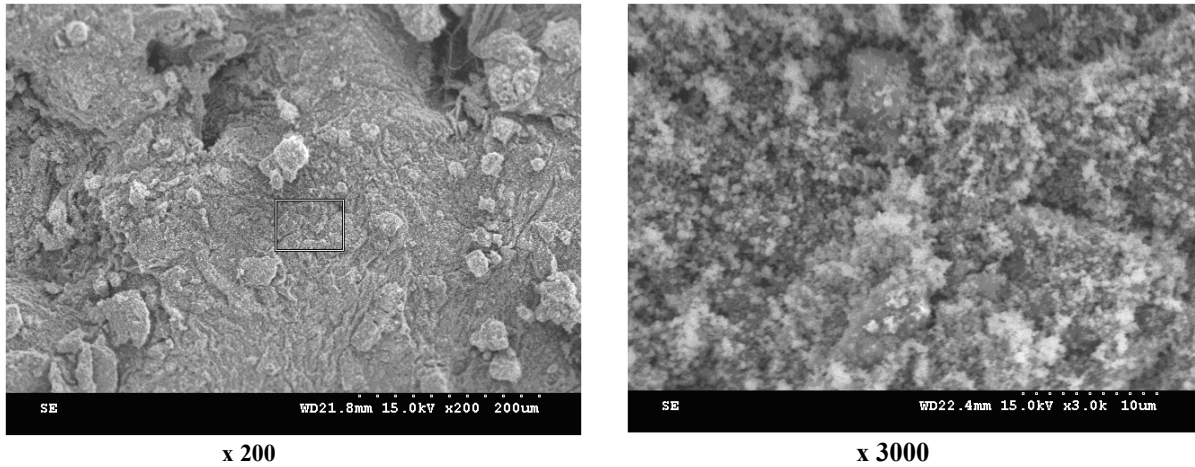


Figura 3.11. Imagini de microscopie electronică cu baleiaj (SEI) pentru șlamul de convertizor [72]

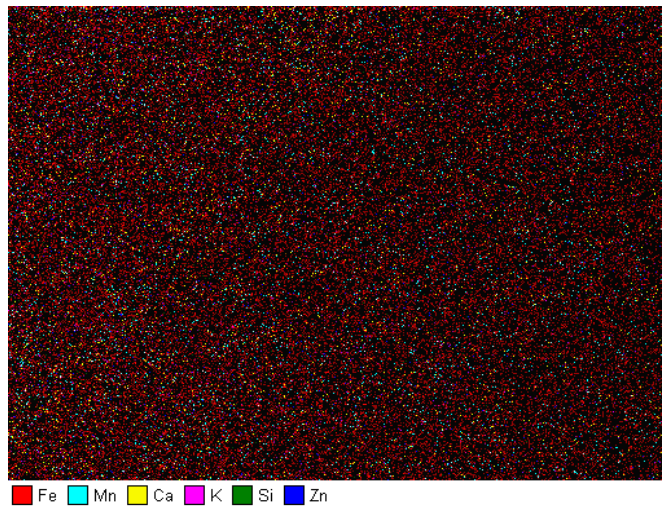


Figura 3.12. Imagini de distribuție de raze X - Fe, Mn, Ca, K, Si, Zn pentru șlamul de convertizor [72]

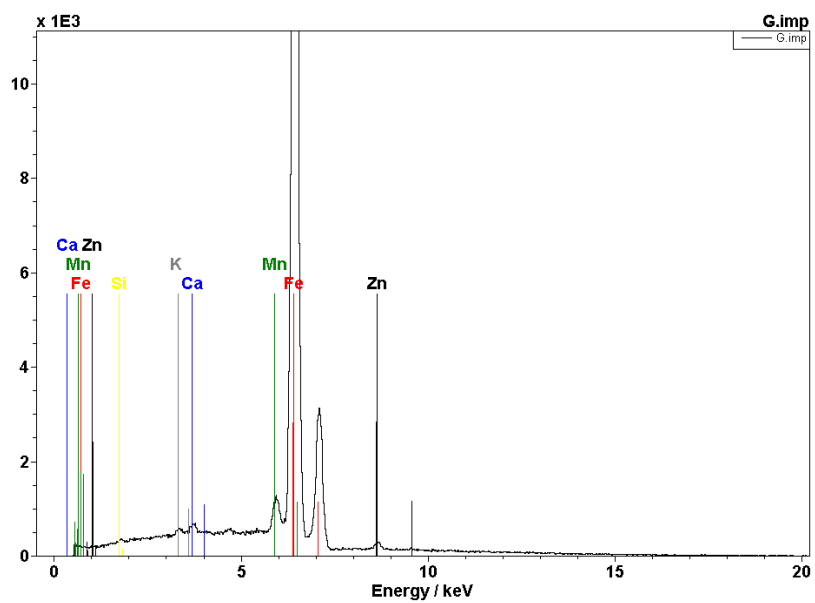


Figura 3.13. Spectrul de raze X dispersiv în energie (EDAX) pentru șlamul de convertizor [72]

Praful de oțelărie rezultă de la epurarea gazelor arse de la cuptorul electric cu arc. La elaborarea oțelurilor carbon rezultă pulberi bogate în fier, zinc, plumb și mangan în timp ce la elaborarea oțelurilor inoxidabile, pulberile generate sunt bogate în siliciu, fier, crom și nichel. Praful de oțelărie este foarte fin, 90% sub 60 μm [71, 72]. Finețea materialelor impune limitarea reciclării prin metoda clasică de aglomerare. În schimb granulația se pretează pentru peletizarea acestuia. Uzinele siderurgice care nu dispun de posibilitatea procesării prin aglomerare îl depozitează (SC ArcelorMittal Hunedoara SA, Mechel Câmpia Turzii SA, Mechel Târgoviște SA.). Analizele chimice ale prafului de electrofiltru care rezultă de la elaborarea oțelului în cuptoare electrice cu arc la uzine siderurgice din România, sunt prezentate în tabelul 3.2. Caracteristica cea mai importantă a acestui material este conținutul ridicat de Zn. La praful de oțelărie unghiul de taluz natural este 35°. Densitatea în vrac a materialului este de 0,96 kg/ dm³. Reprezentarea grafică a distribuției granulometrice prafului de electrofiltru EBT de la Combinatul SC TMK Reșița SA este dată în figura 3.14 iar curba caracteristica de umectare a materialului este prezentată figura 3.15. Cinetica umectării probelor din deșeuri feroase a fost determinată prin metoda clasică a absorbției apei în coloana de material [71, 72].

Tabelul 3.2. Analiza chimică a prafului de oțelărie rezultat la elaborarea oțelului în cuptoare electrice cu arc

Compoziție chimică, %	Praf oțelărie TMK Reșița	Praf oțelărie MECHEL Târgoviște	Praf oțelărie ArcelorMittal Hunedoara
SiO ₂	4,34	3,50	2,65
CaO	8,43	2,85	5,55
MgO	2,95	4,20	2,85
Al ₂ O ₃	0,35	11,7	0,27
MnO	3,43	4,10	3,96
Cr	0,35	0,61	0,0
Fe	36,82	25,11	43,40
Cu	0,2628	0,2512	0,0
ZnO	10,816	15,70	13,04
Ni	0,0018	0,0025	0,0
Pb	1,2754	1,013	1,45
Cd	0,0415	0,0601	0,05
C	1,42	0,0	3,4
S	0,68	1,65	0,72
P	0,14	0,14	0,19

Morfologia probei (praf de oțelărie) este relevantă în imaginile de microscopie electronică cu baleiaj: imagini de electroni secundari (SEI) în figura 3.16 iar distribuția de raze X în figura 3.17. Proba constă din particule de formă aproape sferică, cu distribuție dimensională diversă, predominând particulele submicronice. Spectrul de raze X dispersiv în energie (EDAX) are forma din figura 3.18 [71, 72].

Spectrul de raze X arată faptul că proba conține următoarele elemente: Fe, Zn, Pb, K, Si, Mn, Ca, Cu, Cl și Cr. Menționăm că spectrometrul EDAX utilizat nu poate detecta elementele ușoare (de exemplu: oxigen, hidrogen etc.).

S-au efectuat câteva sondaje privind concentrația unor elemente chimice pentru a calcula rapoartele dintre constituenții principali ai oxizilor. Pe baza acestor sondaje de analize punctuale, se stabilesc cu aproximație fazele compuse, care predomină în structura mineralogică formată. Oxizii prezenți în particulele analizate sunt: ZnO-Fe₂O₃-CaO-SiO₂-MnO-Al₂O₃-PbO [71, 72].

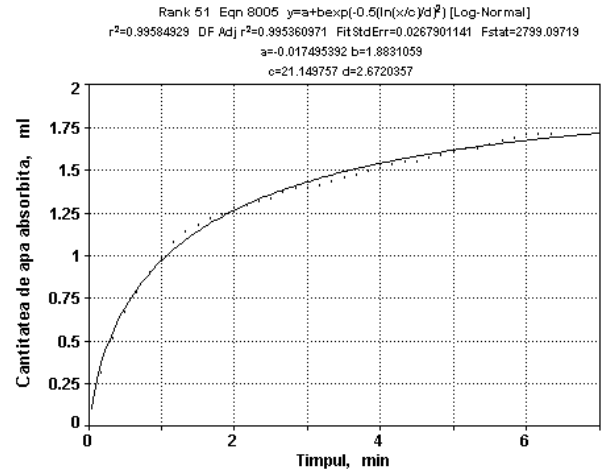
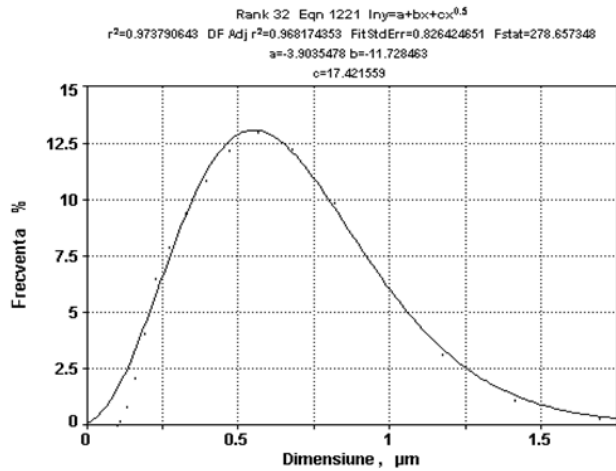
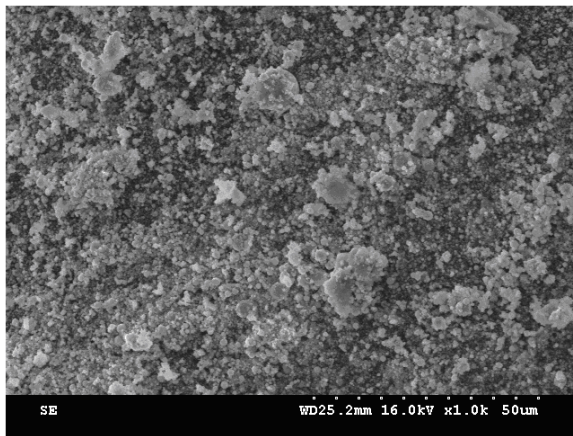
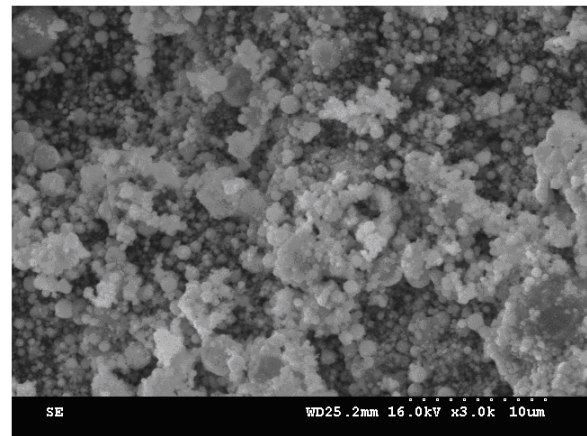


Figura 3.14. Distribuția granulometrică a prafului de oțelărie [72] Figura 3.15. Cinetica umectării prafului de oțelărie [72]



a. x 1000



b. x 3000

Figura 3.16. Imagini de microscopie electronică cu baleiaj (SEI), pentru praful de oțelărie [72]

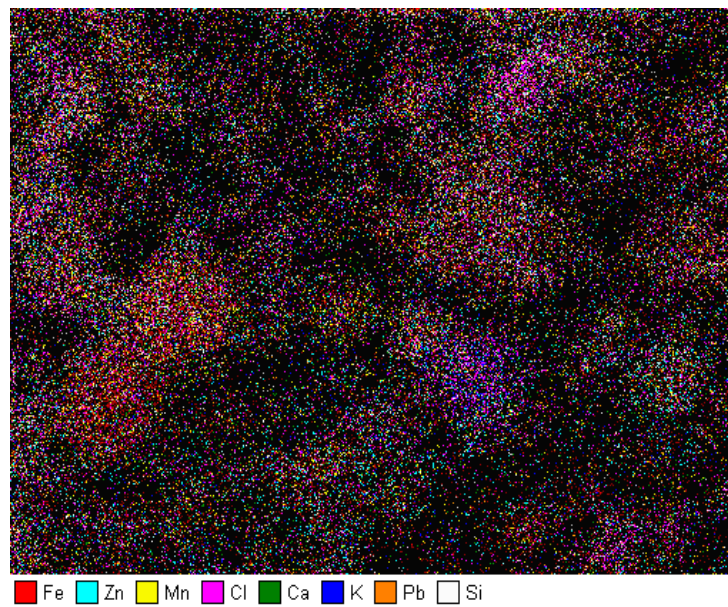


Figura 3.17. Imagini de distribuție de raze X - Fe, Zn, Mn, Cl, Ca, K, Pb și Si, pentru praful de oțelărie [72]

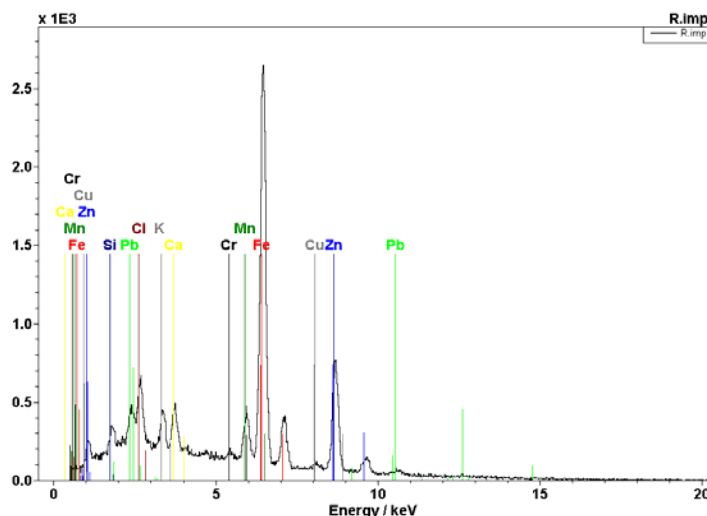


Figura 3.18. Spectrul de raze X dispersiv în energie (EDAX), pentru praful de oțelărie [72]

Fazele posibile de amestec ale oxizilor de Zn și Fe au compozițiile următoare [71, 72]:

Faza	Masa moleculară	Ponderea fazelor	Raportul metalelor
FeO	71,847	100% FeO	
FeO•ZnO	153,217	53,107%ZnO; 46,893%FeO	Zn/Fe= 1,17 Zincit
ZnO•Fe ₂ O ₃	241,06	33,755%ZnO;66,245%Fe ₂ O ₃	Zn/Fe= 0,585 Franklinit
ZnO•2Fe ₂ O ₃	400,075	20,304% ZnO; 79,696% Fe ₂ O ₃	Zn/Fe= 0,292 Spinel
ZnO•Fe ₃ O ₄	312,911	26,004% ZnO; 73,996% Fe ₃ O ₄	Zn/Fe= 0,390
ZnO•2Fe ₃ O ₄	544,492	14,945% ZnO; 85,056% Fe ₃ O ₄	Zn/Fe= 0,195
FeO•ZnO•2(FeO•Fe ₂ O ₃)	616,299	13,203%ZnO; 11,658%FeO; 75,139%Fe ₃ O ₄ ; sau 13,203%ZnO; 34,974%FeO; 52,823%Fe ₂ O ₃ ;	Zn/Fe= 0,167

Comparând rapoartele Zn/Fe putem spune că în cazul prafului de oțelărie de la SC TMK Reșița SA forma principală mineralogică este Franklinitul.

Țunderul

Principalele sectoare, surse de generare a țunderului pe fluxul de elaborare a oțelului sunt turnarea continuă și laminoarele, țunderul provenit din laminare prezintă cantități importante de ulei iar prezența acestuia este singura limită privind utilizarea deșeurii. Importanța acestui deșeu este dată de: conținutul mare de fier, peste 60–72 %, cantitate mică de steril și lipsa elementelor volatile sau celor dăunătoare oțelului (Pb, Cu, Sn). Țunderul este format din amestecuri de FeO și Fe₂O₃ și de 0,5-15% părți sterile (nisip, cărbuni, etc.) [85-87].

Cantitatea de țunder, având dimensiuni de 0,1-50mm și forme variate, exprimată în %, din cantitatea oțelului supus laminării este [85-87]:

- 0,8-1,2% la laminoarele de profile mici și sârmă;
- 1,1-1,8% la laminoarele de profile mijlocii;
- 1,5-2,5% la laminoarele de profile grele;
- 2,2-5% la laminoarele degrositoare.

Țunderul uscat poate fi reintrodus în cuptorul electric, iar șlamul chimic este deshidratat și depozitat controlat. Astfel, într-o întreprindere siderurgică, sectorul de Laminoare constituie cea mai importantă sursă de poluare a apei, datorită particulelor de oxid de fier (țunder) și a uleiului în suspensie, rezultate în cursul diferitelor operații de răcire și curățire care au loc în procesul de laminare. Conținutul de particule de oxid de fier (țunder) din apele reziduale de la laminoare variază între 1g/l în cazul laminoarelor de benzi la cald și tablă groasă și de 5g/l în cazul laminoarelor degrosisoare. Instalațiile de epurare permit reducerea conținutului de țunder până la 0,03g/l, obținându-se în medie, în cazul unei întreprinderi siderurgice, circa 20000t de deșeu, cu un conținut de circa 70%Fe la 1000000t oțel. Densitatea în vrac a materialului este de aproximativ 1,7 – 2,1 kg/dm³. Unghiul de taluz natural este de 36°. Din punct de vedere mineralogic țunderul este constituit de regulă în proporții de circa 72–75 % Fe₃O₄ (magnetită), 22-25 % de Fe₂O₃ (hematită).

Deșeurile feroase pulverulente provin în cea mai mare parte din activitatea siderurgică și în general acestea rezultă din diferitele operații de epurare a gazelor evacuate și a apelor reziduale, fie sub formă uscată (din instalațiile de epurare uscată) fie sub formă de praf umed sau nămol din instalațiile de epurare umede. Deșeurile feroase pulverulente sunt prezente în toate cazurile în formă de oxizi [87].

Deșeurile rezultate în urma diferitelor procese tehnologice, în special cele rezultate din procesele metalurgice, pot fi prelucrate prin peletizare, brichetare și aglomerare, acest lucru însemnând că pot fi utilizate la elaborarea fontei și oțelului. Prin prelucrarea și procesarea acestor deșeuri, precum și transformarea lor sub formă de bucăți, corespunzătoare calitativ pentru a fi folosite ca materii prime sau auxiliare în industria siderurgică, suprafețele ocupate în prezent de acestea pot fi redată înapoi peisajului înconjurător, contribuind în acest fel la ecologizarea mediului, precum și la extinderea bazei de materii prime.

Deșeurile feroase mărunte și pulverulente existente în zona industrială a Județului Hunedoara (Hunedoara și Călan), precum și cele din Județul Caraș Severin (Reșița și Oțelul Roșu), se pot reintroduce în circuitul economic din siderurgie.

3.3. Contribuții privind valorificarea deșeurilor feroase mărunte și pulverulente

În ce privește direcția de cercetare *Tehnologii de valorificare a deșeurilor feroase în scopul ecologizării mediului industrial* cercetările s-au îndreptat spre identificarea unor posibilități de valorificare a deșeurilor industriale cu conținut de fier, deșeuri mărunte și pulverulente, existente în cantități foarte mari în zona Hunedoara și nu numai. În cadrul acestei direcții de cercetare am coordonat în calitate de director, un proiect de cercetare internațional și am fost membru în echipa de cercetare la 3 granturi internaționale și un proiect național PN2. Rezultatele obținute și contribuțiile aduse domeniului Ingineriei materialelor fiind prezentate în acest capitol.

Valorificarea superioară a deșeurilor siderurgice reprezintă o problemă importantă, deoarece transformarea lor în subproduse, deci în bunuri economice, poate conduce la o exploatare rațională a resurselor de materii prime și energetice, asigurându-se astfel atât necesitățile societății umane, cât și protecția mediului înconjurător.

Pe plan mondial [71,72,84,87-91] deșeurile pulverulente sunt procesate sub formă de pelete/brichete și valorificate în procesul de elaborare a fontei, iar dacă sunt supuse unui proces de reducere, pot fi utilizate cu rezultate foarte bune în încărcătura cuptoarelor electrice, și evident cu atât mai mult a furnalelor. Aduse la forma de micropelite, pot fi valorificate în procesul de aglomerare, alături de deșeurile mărunte și evident de minereuri.

De asemenea, pe lângă deșeurile feroase care rezultă din industria metalurgică, se pot valorifica cu bune rezultate asemenea deșeuri și din alte ramuri industriale de exemplu: cenușile

piritice din industria chimică, concentratul de fier din cenuși de termocentrală, precum și deșeuri bazice, praf de var, dolomită, etc.

Găsirea soluțiilor performante din punct de vedere economic și ecologic pentru fluxurile tehnologice din industria siderurgică trebuie să permită un răspuns afirmativ la întrebarea “Este oțelul un material verde?”[92,93]. Deșeurile feroase pulverulente, rezultate din industria de materiale, din punct de vedere al granulației corespund procesării prin peletizare, iar cele mărunte și pulverulente prin aglomerare și brichetare.

Pentru industrie, problema gestionării deșeurilor prin valorificare (recuperare și reciclare) reprezintă o prioritate ecologică și economică. Recuperarea include activitățile de colectare, transport, stocare, selecționare și prelucrare a anumitor deșeuri; aceste deșeuri pot fi reintroduse într-un flux tehnologic prin reciclare internă și/sau externă. Deșeurile conțin substanțe generate de activitatea industrială în care se produc, iar eliminarea acestor deșeuri din ciclul productiv se realizează printr-o: valorificare adecvată; prin recuperare și/sau depozitare în vederea reciclării și prin stabilizare/solidificare în vederea stocării în depozitele de deșeuri.

Modelul intrări - ieșiri al obiectului cercetării întreprinse cu privire la valorificarea deșeurilor industriale se prezintă în figura 3.19 [71, 81, 84].

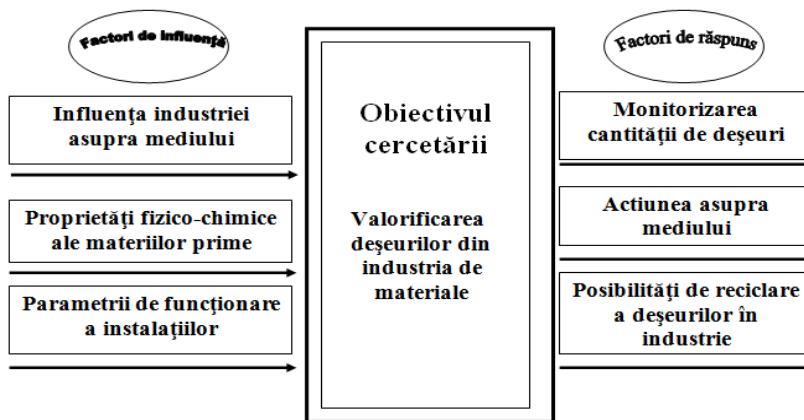


Figura 3.19. Modelul intrări - ieșiri al obiectului cercetării [81]

Valorificarea corectă a deșeurilor este foarte importantă, atât pentru procesul în sine, cât și pentru destinația produsului obținut în urma acestei valorificări. Reintroducerea deșeurilor în circuitul de producție cât și cel economic, este un aspect foarte important, deoarece conduce la economie de materii prime (foarte important având în vedere rezervele de capital natural) pe de o parte, iar pe de altă parte din motive legate de protecția mediului. Toate acestea trebuie aplicate respectând definiția dezvoltării durabile (dezvoltarea durabilă – urmarește satisfacerea nevoilor prezentului fără a compromite posibilitatea generațiilor următoare de a-și satisface nevoile).

Cercetările efectuate au fost orientate spre valorificarea deșeurilor feroase pulverulente (prin peletizare, brichetare, amestec mecanic Carbofer, aglomerare) rezultate pe fluxurile siderurgice (praf de aglomerare, praf de furnal, praf de oțelărie, șlam de la aglomerare-furnale, șlam de țunder) și a celor mărunte (țunder și fracția feroasă a zgurii de oțelărie, concentrat de fier din deșeu sideritic) De asemenea, în componența rețetelor experimentale pentru obținerea de subproduse utilizabile în siderurgie s-au mai utilizat și deșeuri feroase pulverulente de la procesarea bauxitei (nămolul roșu) precum și deșeuri bazice (praf de var și de dolomită) sau cu conținut de carbon (resturi de electrozi, praf de grafit, praf de cărbune, praf de cocs, cenușă de termocentrală). Ca și lianți s-a utilizat bentonită și zgură rezultată de la tratamentul secundar al oțelului (LF).

La definitivarea tehnologiilor experimentale de procesare a deșeurilor, din variantele existente în prezent pe plan mondial: procesare prin aglomerare, peletizare, brichetare, valorificarea prin reducere fără o procesare inițială și valorificarea prin metoda Ccarbofer, în cercetările întreprinse s-au avut în vedere principalele caracteristici fizice și de material ale deșeurilor. Din aceste considerente, s-a optat pentru **procesarea deșeurilor prin brichetare** (brichetele obținute fiind utilizate ca materie primă în agregatele de reducere a oxizilor de fier), **procesarea deșeurilor prin peletizare** respectiv **procesarea deșeurilor prin metoda CARBOFER** (sub formă de **amestec mecanic, micropelete și pelete** – utilizate ca agent de spumare a zgurii fie în procesul de elaborare a fontei).

3.3.1. Valorificarea deșeurilor prin brichetare

Brichetarea prezintă avantajul că permite procesarea unei game variate de deșeuri cu conținut de fier atât din punct de vedere al compoziției chimice (în primul rând al conținutului de Fe) cât și granulometric. Astfel, din punct de vedere al conținutului de fier, avem în vedere o limită de 25-70%Fe iar granulometric, de la praf până la circa 10mm dimensiune (țunder și zgură de oțelărie, fracție feroasă mai mică de 10mm). Brichetele pot fi valorificate prin topirea în agregatele de reducere [71,72,94].

Pentru zonele industriale, în mod deosebit în cele cu profil siderurgic, supuse unei puternice structurări economice, valorificarea prin brichetare a deșeurilor mărunte este o soluție tehnologică viabilă. În cazul zonei Hunedoara, ca urmare a puternicei restructurări a fostului Combinat Siderurgic Hunedoara, actualmente Arcelor Mittal, a fost dezafectat complet fluxul primar: cocserie-aglomerare-furnale-oțelărie Siemens-Martin. În aceste condiții, deșeurile feroase mărunte și pulverulente (praf de oțelărie, țunder, șlam de țunder, praf de la aglomerare-furnale, șlam de aglomerare-furnale) nu mai pot fi reciclate prin procesul de aglomerare.

Pentru evaluarea caracteristicilor calitative de rezistență la manipulare și transport ale brichetelor, s-au determinat prin experimentări trei caracteristici tehnologice [71]:

- Rezistența la fisurare:

$$R_f = \frac{F_f}{A}, [kN / cm^2] \quad (3.1)$$

unde: F_f – forța de fisurare, [kN];

A – aria secțiunii eșantionului (brichetei), [cm²]

În cazul brichetelor studiate, brichete de formă cilindrică, relația de mai sus ia forma:

$$R_f = \frac{4 \cdot F_f}{\pi \cdot d^2}, [kN / cm^2] \quad (3.2)$$

Forța de fisurare F_f se consideră a fi forța la care apar primele fisuri detectate vizual. În urma unui număr destul de mare de încercări preliminare și pe baza datelor din literatura de specialitate [81,93,94,109] se consideră că această forță are valoarea înregistrată la $\tau = 2$ secunde.

- Rezistența la sfărâmare [71]:

$$R_s = \frac{F_s}{A}, [kN / cm^2] \quad (3.3)$$

unde: F_s – forța de sfărâmare, [kN];

A – aria secțiunii eșantionului (brichetei), [cm²]

În cazul brichetelor studiate, brichete de formă cilindrică, relația de mai sus ia forma:

$$R_s = \frac{4 \cdot F_s}{\pi \cdot d^2}, [kN / cm^2] \quad (3.4)$$

Pe baza datelor din literatura de specialitate [71,72,94-101] și a observațiilor preliminare am considerat că forța de sfărâmare să fie cea înregistrată la $\tau = 12$ secunde.

- Intervalul de sfărâmare:

$$\Delta R_{fs} = R_s - R_f, [kN/cm^2] \quad (3.5)$$

În ceea ce privește posibilitatea de utilizare prin reciclare, orice cercetare trebuie să relaționeze la valorile admisibile pentru rezistențele menționate mai sus.

În cadrul experimentărilor proprii efectuate în fază de laborator, pentru valorificarea sub formă de brichete a deșeurilor mărunte și pulverulente provenite din industriile siderurgice, energetice și miniere, am avut în vedere următoarele deșeuri: praf de la oțelăria electrică, praf (șlam) de la aglomerare-furnale, ținder (șlam de ținder) iar ca și liant: var, bentonită, ciment. S-au produs brichete în fază de laborator într-un număr de 5 serii, câte 10 rețete/serie. Deșeurile avute în vedere în cadrul experimentărilor de laborator au fost procesate conform fluxului tehnologic prezentat în figura 3.20, utilizând o serie de utilaje și instalații aflate în dotarea laboratoarelor Facultății de Inginerie din Hunedoara sau ale partenerilor. Au fost astfel utilizate o instalație de clasare vibratoare de laborator, o balanță analitică tehnică Sartorius, o tobă de omogenizare, instalația experimentală de laborator pentru brichetarea deșeurilor, cuptor cu bare de silită pentru durificare și o mașină de încercări la compresiune (pentru determinarea rezistenței la fisurare și respectiv sfărâmare). Aspecte din timpul experimentărilor precum și câteva brichete obținute sunt prezentate în figura 3.21. Pentru determinarea caracteristicilor calitative, au fost determinate rezistențele la fisurare și respectiv sfărâmare, fiind totodată calculat intervalul de sfărâmare a brichetelor experimentale. Cu datele obținute am realizat câteva dependențe care demonstrează influența componenței încărcăturii de brichetare asupra acestor indicatori [71, 72].

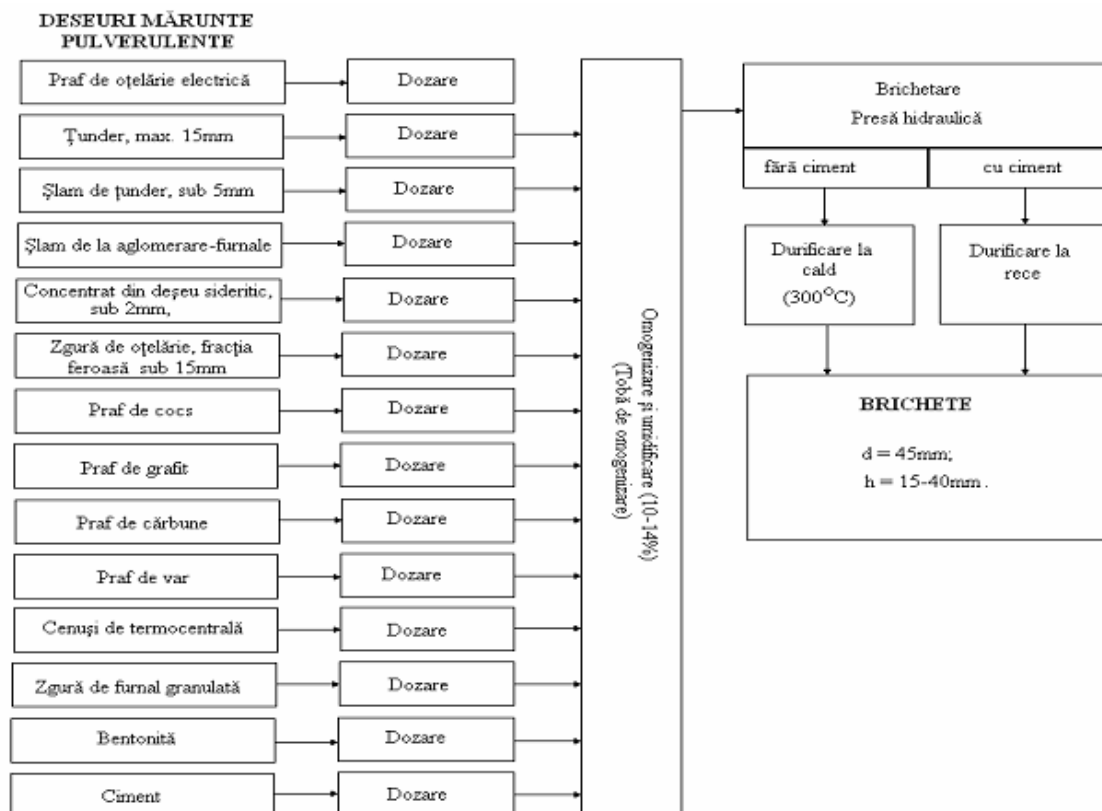


Figura 3.20. Fluxul tehnologic de prelucrare a materialelor componente din șarja de brichetare [71]



Figura 3.20. Aspecte din timpul procesării deșeurilor prin brichetare [71]

Pentru exemplificare se prezintă corelațiile, realizate pentru rețetele din seria I experimentală, prezentate în figurile 3.21-3.22. Analizând aceste diagrame, se constată că proporția optimă de praf de oțelărie variază între 30-50%, de praf de la aglomerare-furnale de 25-40% și respectiv de țunder de 18-24%. Dependente similare s-au obținut și pentru celelalte serii de experimentări. Pentru aceste serii de rețete, limitele optime de variație a proporțiilor deșeurilor feroase sunt: 50-60% praf de oțelărie, 20-30% praf de la aglomerare-furnale și 22-24% țunder (seria II); 40-60% praf de oțelărie, 10-20% praf de la aglomerare-furnale și 10-20% țunder (seria III); 12-16% praf de la aglomerare-furnale; 68-72% praf de oțelărie electrică, 7-8% ciment (seria IV) și de 13-19% praf de oțelărie, 63-70% țunder, respectiv 7-8% ciment (seria V). Rețetele optime: R9 – seria I, R9 – seria II, R1 – seria III, R4 – seria IV, R5 – seria V [71, 94].

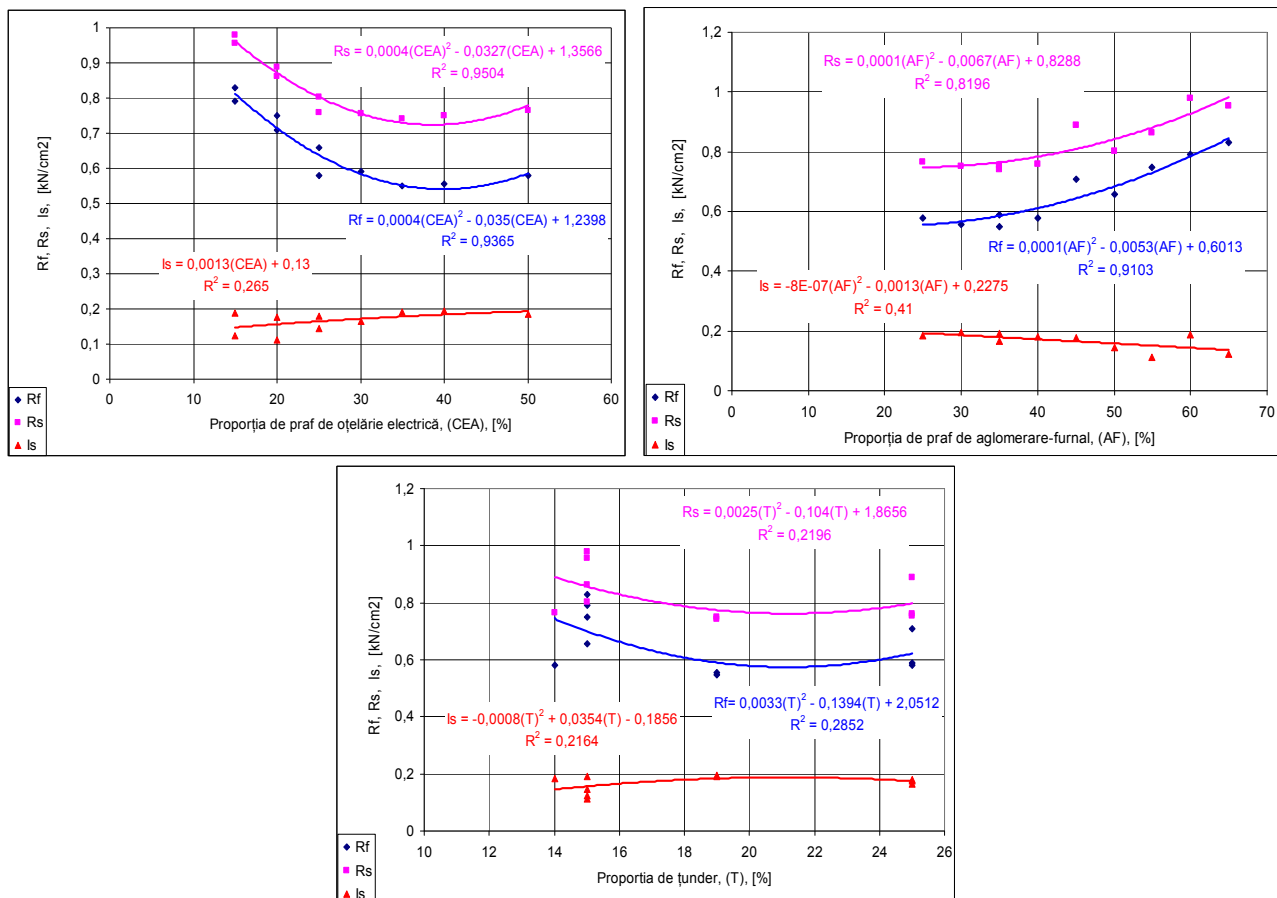


Figura 3.21. R_f , R_s , I_s funcție de proporția componentelor rețetelor (seria I experimentări) [71]

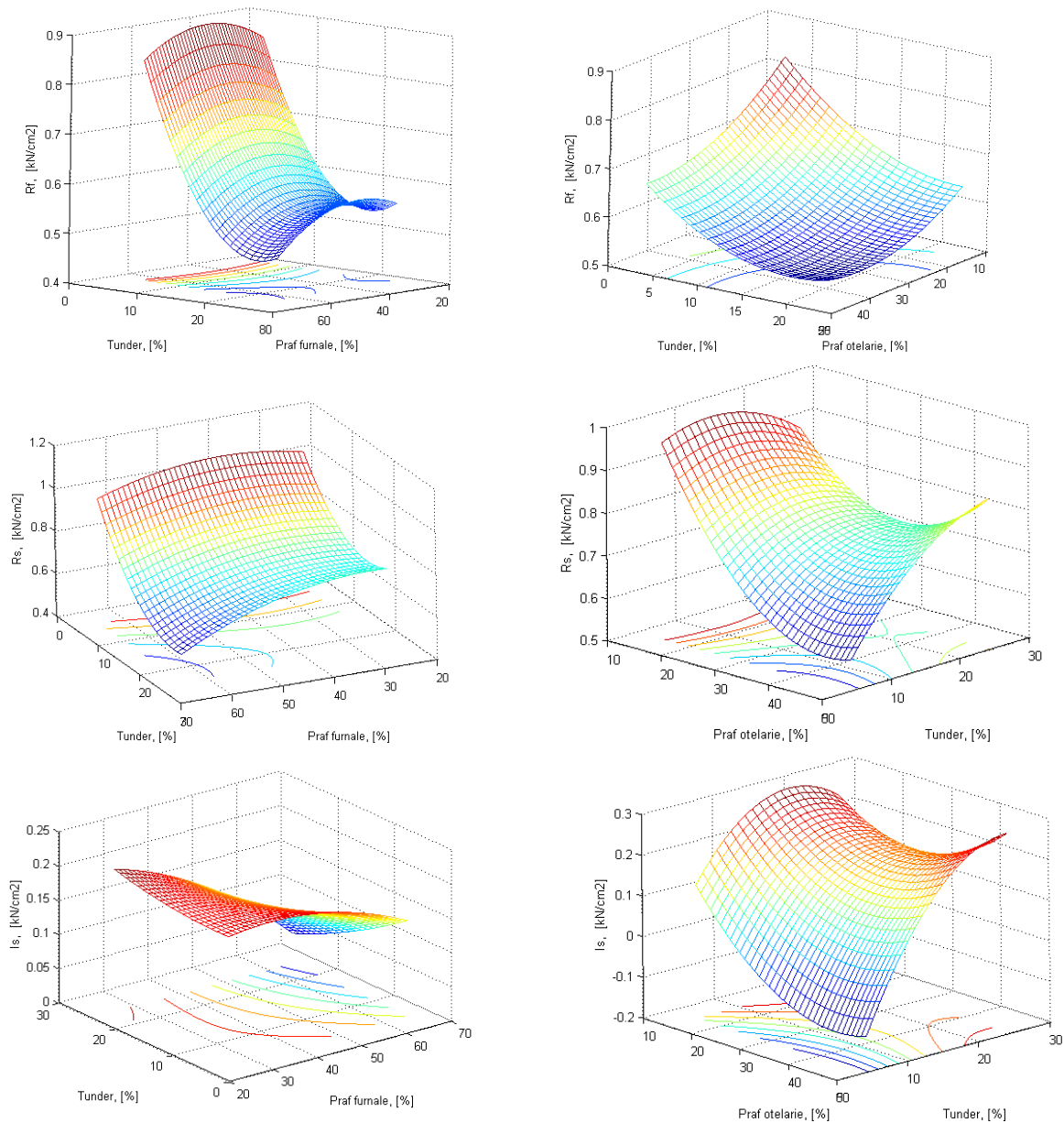


Figura 3.22. Corelații duble - R_f , R_s , I_s funcție de proporția componentelor rețetelor (seria I experimentări) [71]

Brichetele experimentale au fost supuse procesului de reducere prin încălzire în cuptorul tip cameră cu bare de silită și cuptorul Tamann până la temperaturi de 1350°C și menținere la această temperatură timp de 30min. Durata de încălzire a fost de 60min și deci timpul total de menținere în cuptor a rezultat de 1,5h. Aspecte din timpul reducerii sunt prezentate în figura 3.23 [71].



Figura 3.23. Aspecte din timpul experimentărilor pentru determinarea gradului de reducere [71]

Brichete din fiecare rețetă au fost procesate separat și pentru fiecare brichetă s-a determinat conținutul de Fe_2O_3 rămas neredus, în funcție de acesta determinându-se gradul de reducere. Procesul de reducere a decurs bine iar la rețetele R9^I și R9^{II} s-au obținut valori mari pentru gradul de reducere (peste 90%). Ca urmare a unei bune omogenizări a șarjei de brichetare, precum și a unei granulații fine a prafului de furnal-aglomerare și respectiv a prafului de grafit, se obține o suprafață de contact Fe_2O_3 – reducător (C) mare, deci un front de reducere mare. În plus, se dezvoltă și reacția de reducere cu CO.

Pentru procesul de reducere al brichetelor, pe lângă structura mineralogică, compoziția chimică, porozitatea, temperatura de lucru, compoziția fazei gazoase, o importanță deosebită o are și suprafața specifică a frontului de reacție (cm^2 suprafață brichetă/ cm^3 volum brichetă). Având în vedere eforturile la care sunt supuse brichetele în timpul manipulării, transportului și depozitării, cea mai adecvată formă a acestora este cea sferică sau ovoidă, dar pentru procesul de reducere prezintă dezavantajul valorilor scăzute pentru suprafața specifică a frontului de reacție. Din punct de vedere al suprafeței specifice (respectiv valori acesteia) ar fi indicate brichetele de formă cubică sau paralelipipedică, dar prezintă dezavantajul unei degradări mai avansate în timpul manipulării. Brichetele de formă cilindrică și hexagonală, din punct de vedere atât al mărimii specifice suprafeței de reacție, cât și al degradării în timpul manipulării se situează între cele două cazuri prezentate.

Pentru brichetele cilindrice, suprafața specifică a frontului de reacție este minimă în cazul în care $H = D$ [94, 102], unde: D este diametrul brichetei și H este înălțimea brichetei. Pentru a crește suprafața specifică de reacție, am considerat ca brichetă de referință, acea brichetă pentru care $H = D$. Referitor la obținerea brichetelor cu suprafață de reacție sporită, din punct de vedere a caracteristicilor dimensionale am analizat două variante, și anume: brichete compacte cu menținerea constantă a volumului și varierea raportului H/D astfel încât acesta să fie diferit de 1 și brichete cu cavități (tubulară, multicavă și tubulară cu cavități), cu menținerea constantă a diametrului și înălțimii, deci $H/D=1$, dar varierea volumului brichetei. Brichetele de referință pentru care s-au efectuat cercetările experimentale sunt prezentate în figura 3.24 [94, 102]. S-au determinat variațiile coeficientului de multiplicare a suprafeței totale și specifice respective a volumului brichetelor experimentale în funcție de numărul cavităților și de parametrii care țin seama de raportul dintre raza brichetei și razele cavităților practicate în brichete.

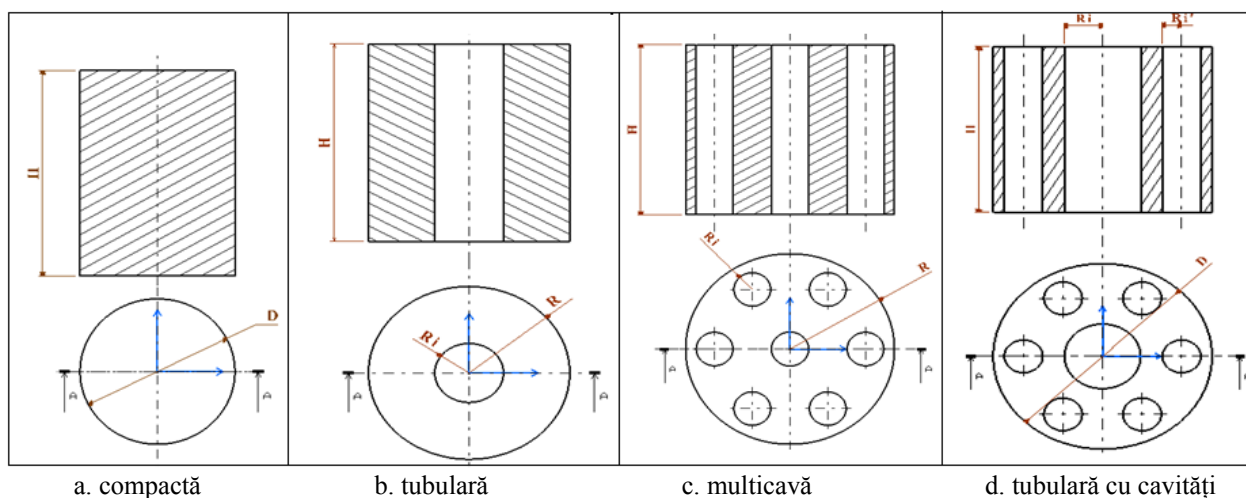


Figura 3.24. Brichete de referință [102]

Din analiza datelor obținute se observă existența posibilităților practice de mărire a suprafeței specifice de reacție, și ca urmare și a vitezei de reducere. Soluția de producere a

brichetelor compacte cu raportul $H/D \neq 1$, conduce la o creștere a suprafeței de reacție cu până la 5,83% pentru $H_i/D_i = 0,5$ și de 5% pentru $H_i/D_i = 2$, luând ca referință bricheta cu $H/D = 1$. Realizarea brichetelor cu cavități conduce la o creștere semnificativă a suprafeței frontului de reacție comparativ cu bricheta de referință la care $H/D = 1$ [94,96,102]. În cazul brichetelor tubulare creșterea suprafeței specifice de reacție este cuprinsă în intervalul 23,05%-14,58% pentru raportul $R/R_i = 2 - 4$. În cazul brichetelor multicave creșterea suprafeței specifice de reacție este determinată de raportul R/R_i și de numărul de cavități, fiind cuprinsă în intervalul 60% (pentru 5 cavități și $R/R_i = 5$) și 156,21% (pentru raportul 9 cavități și $R/R_i = 3,25$). În cazul brichetelor tubulare multicave, creșterea suprafeței specifice de reacție, este determinată de raportul R/R_i (R_i fiind raza cavității centrale) și de numărul de cavități din volumul acestora, fiind cuprinsă în intervalul 43,66 % (pentru 5 cavități și $R/R_i = 5$) și 102,56% (pentru 9 cavități și $R/R_i = 3,25$) [94,96,102]. Se constată o creștere intensă a suprafeței specifice de reacție în cazul producerii brichetelor cu cavități.

Procesul de reducere, respectiv viteza de reducere (g Me/min. – de la oxid la metal, sau g MeO/min. – de la oxid superior la oxid inferior) este determinată și de suprafața frontului de reacție, mai precis de suprafața specifică m^2 suprafață / m^3 volum material supus reducerii și de viteza de înaintare a acesteia spre interiorul materialului supus reducerii. Cercetările experimentale au urmărit determinarea gradului de reducere pentru fier (Fe) pentru brichete cu caracteristici dimensionale diferite, dar cu aceeași componență, deci produse după aceeași rețetă. Brichetele sunt de formă cilindrică compactă respectiv cilindrică cu cavități (brichetă tubulară, multicavă și tubulară cu cavități). Brichetele au fost obținute, pornind de la rețetele optime rezultate, din diferite deșeuri feroase (praful de aglomerare-furnale și de oțelărie) ca și liant s-a folosit bentonită și var iar agentul reducător solid este carbonul din grafit și praful de furnal. Pentru reducere s-au utilizat cuptoare de încălzire cu rezistență electrică, temperatură de încălzire de până la 1200 °C (cuptor Nabertherm model L15/12/B180), respectiv până la 1750 °C (cuptor Nabertherm model LHT 02/17). Aspecte din timpul experimentărilor sunt prezentate în figura 3.25 [71,94-98,102].



Figura 3.25. Aspecte din timpul experimentărilor brichetelor compacte și cu cavități [71, 94, 96]

Din analiza tehnologică a rezultatelor obținute, mai precis a evaluării gradului de metalizare în funcție de caracteristicile dimensionale a brichetelor și rețetelor utilizate s-a constatat faptul că indiferent de rețetele utilizate cele mai bune valori pentru gradul de metalizare, se obțin în cazul brichetelor tubulare cu cavități, urmate de cele multicave și tubulare; cele mai mici valori se obțin pentru brichetele compacte la care $H = D$ respective se constată o bună concordanță între gradul de metalizare și suprafața specifică de reacție. Rezultatele confirmă posibilitatea utilizării în componența brichetelor pe lângă materialele deșeurilor pulverulente și a celor mărunte.

Cercetările experimentale întreprinse în cadrul contractelor de cercetare s-au finalizat cu obținerea, împreună cu colectivul de cercetare, a unui brevet de invenție *Brichetă tubulară din deșeuri feroase pulverulente* [98] și a unei cereri de brevet *Brichetă cilindrică multicavă produsă din deșeuri feroase pulverulente și mărunte cu granulație sub 2 mm*.

3.3.2. Valorificarea deșeurilor prin peletizare

În cadrul proiectelor de cercetare din programele CEEEX și PN2 s-au efectuat testări în fază de laborator și în fază pilot cu privire la posibilitățile de valorificare a deșeurilor feroase pulverulente sub formă de pelete. S-a studiat influența granulației și a ponderii materialelor de diferite clase granulometrice din componența șarjei de peletizare, proporția de liant, adaosul de apă, tehnologia de durificare, asupra rezistenței la compresiune a peletelor crude, respectiv durificate, precum și a gradului de reducere [71, 80, 103-106].

S-au produs pelete după 10 rețete în 10 variante tehnologice. Deșeurile feroase utilizate (praf de oțelărie, șlam de aglomerare furnale, șlam de țunder și nămol roșu) au fost uscate în etuvă, clasate și apoi supuse procesării. Șarja crudă s-a peletizat cu ajutorul instalației de peletizare, ținând cont atât de cantitatea de material folosit cât și de cantitatea de apă necesară pentru a obține pelete. Ca și liant s-a utilizat bentonită. Peletele crude au fost supuse procesului de clasare folosindu-se site cu ochiuri de 10 mm; peletele cu diametrul mai mic de 10 mm sunt reintroduse în procesul de peletizare sau cel de obținere a aglomeratului. S-au selectat pelete cu diametrul 15 mm, pentru determinarea rezistenței la compresiune. S-a urmărit determinarea adaosurilor optime de bentonită și apă în vederea obținerii unor pelete cu rezistență la compresiune cât mai mare. Datele obținute au fost prelucrate rezultând corelații sub formă grafică cât și analitică. În figurile 3.26-3.29 se prezintă influența adaosului de bentonită și apă asupra rezistenței la compresiune a peletelor crude, pentru diferite participații în șarja de peletizare a materialului cu granulație fină (sub 0,040mm) și anume: 40% ; 65% ; 84% și 98%. Se poate observa din proiecția curbelor de nivel pe plan orizontal că o dată cu creșterea adaosului de bentonită și a proporției de fracție fină, cresc și valorile pentru rezistența la compresiune. În funcție de valoarea rezistenței la compresiune pe care dorim să o obținem și de proporția de fracție fină din șarja de peletizare alegem adaosul de bentonită și apă. Creșterea proporției de fracție fină în șarja de peletizare, impune o creștere a adaosului de bentonită, și anume: pentru adaos de bentonită 0,9%-1,0% și de apă la 10%-10,5% pentru material cu fracție cu peste 84% fracție fină (sub 40 μm) se obține pentru rezistența la compresiune valori cuprinse între 0,60–0,80 daN/peletă.

Peletele crude obținute au fost supuse unor procese de durificare, inițial în atmosferă normală și ulterior în funcție de gradul de reducere dorit în cuptoare cu rezistență după o diagramă de încălzire – menținere - răcire stabilită pe baza datelor din literatură și a experimentărilor proprii [71,72,81,94,105,107]. Din fiecare lot de pelete au fost alese pelete cu diametrul 12-15 mm pentru care s-a determinat rezistența la compresiune. Datele experimentale au fost prelucrate iar rezultatele obținute prezentate în figurile 3.30-3.33.

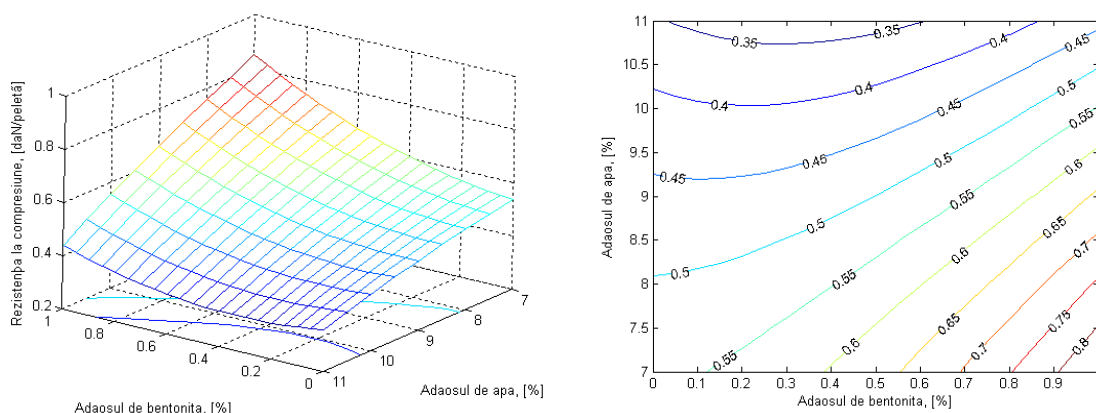
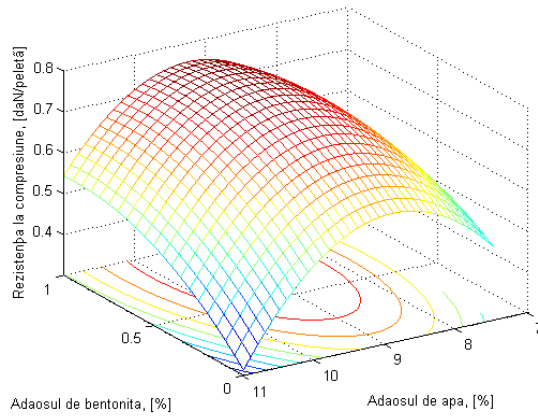
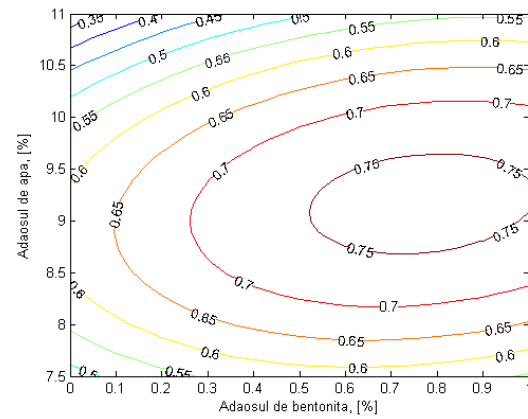


Figura 3.26. Rezistența la compresiune a peletelor crude în funcție de adaosul de apă (%) și de bentonită (%), pentru participația fracției fine de 40 % [71]

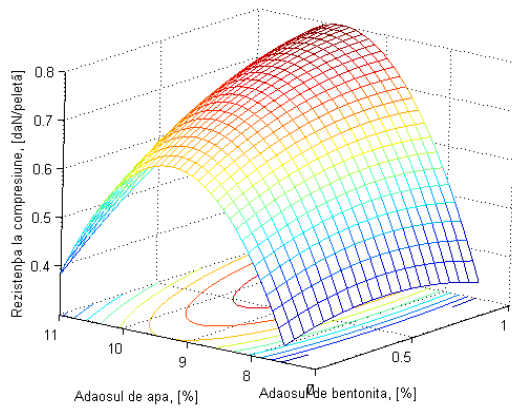


a)

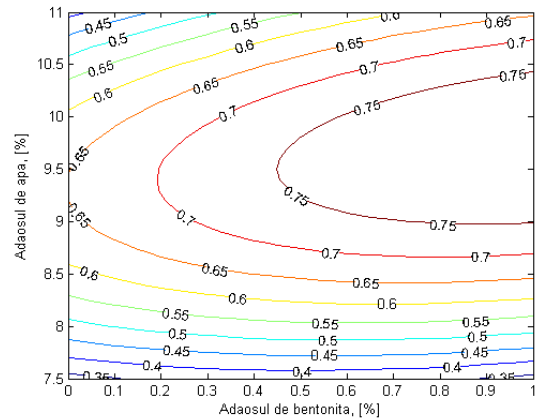


b)

Figura 3.27. Rezistența la compresie a peletelor crude în funcție de adaosul de apă (%) și de bentonită (%), pentru participația fracției fine de 65% [71]



a)



b)

Figura 3.28. Rezistența la compresie a peletelor crude în funcție de adaosul de apă (%) și de bentonită (%), pentru participația fracției fine de 84% [71]

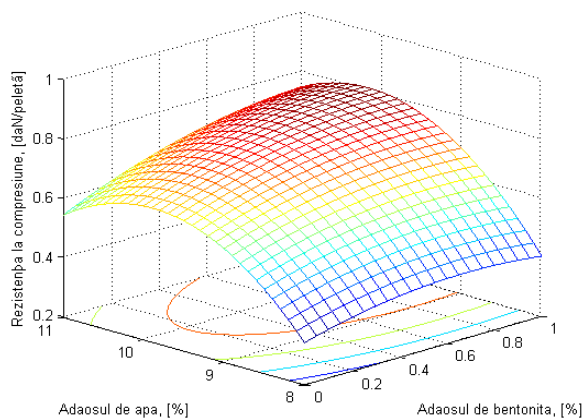


Figura 3.29. Rezistența la compresie a peletelor crude în funcție de adaosul de apă (%) și de bentonită (%), pentru participația fracției fine de 98% [71]

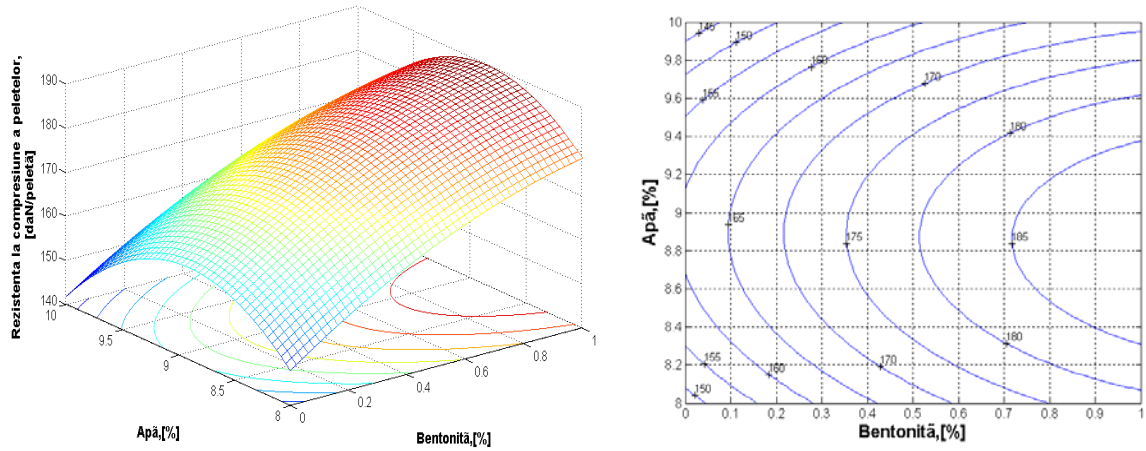


Figura 3.30. Rezistența la compresiune a peletelor arse în funcție de proporția de apă și bentonită (fracție fină sub 40 μm în proporție de 40 %) [71]

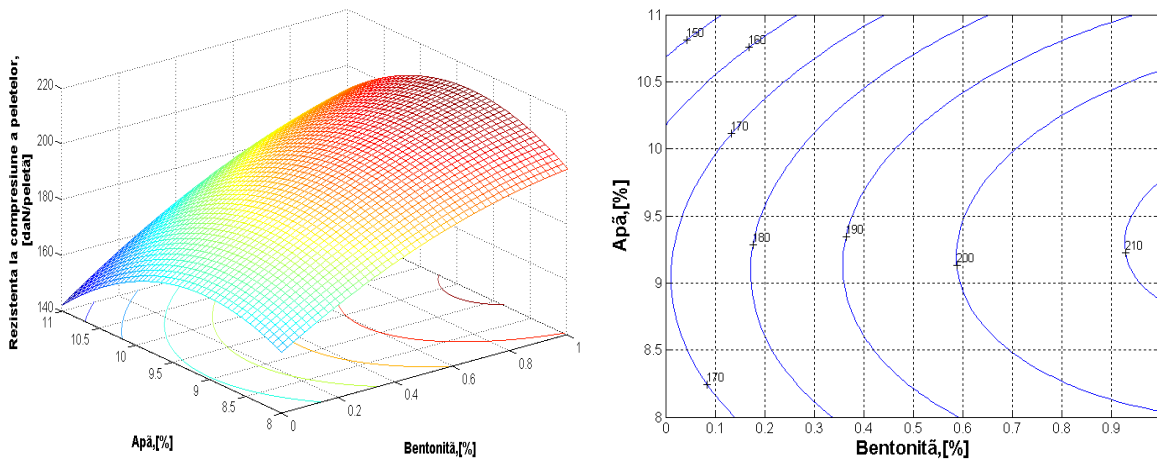


Figura 3.31. Rezistența la compresiune a peletelor arse în funcție de proporția de apă și bentonită (fracție fină sub 40 μm în proporție de 65 %) [71]

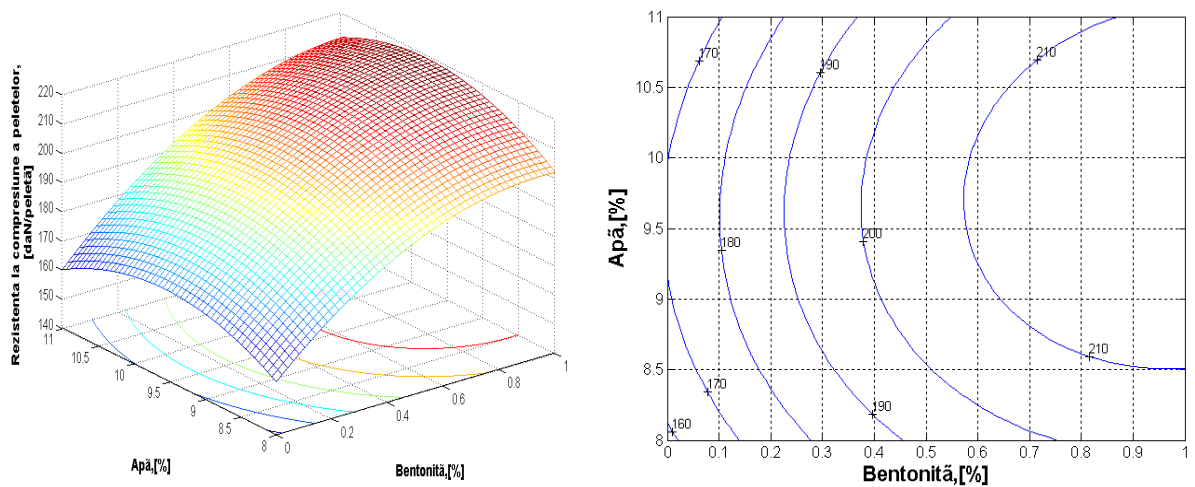


Figura 3.32. Rezistența la compresiune a peletelor arse în funcție de proporția de apă și bentonită (fracție fină sub 40 μm în proporție de 84 %) [71]

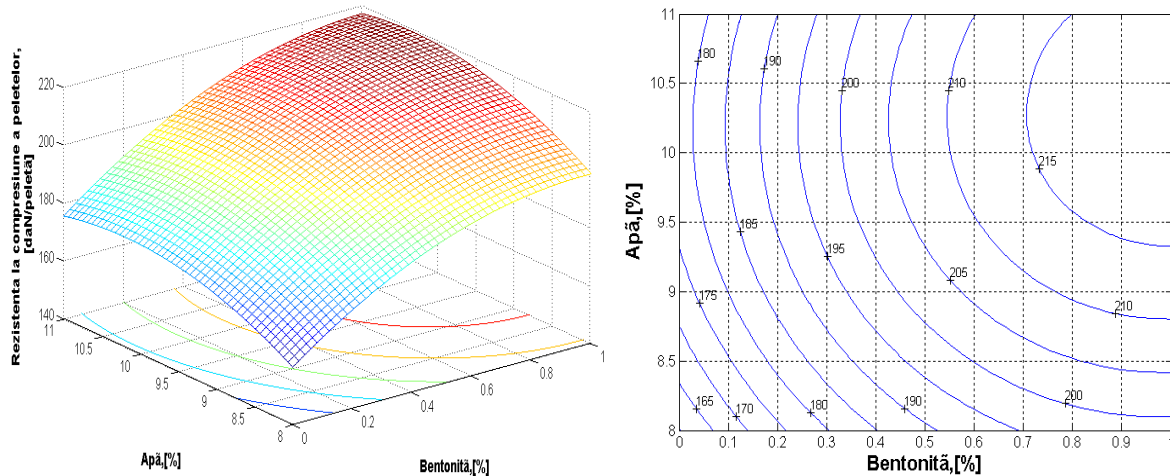


Figura 3.33. Rezistența la compresiune a peletelor arse în funcție de proporția de apă și bentonită (fracție fină sub 40 μ m în proporție de 98%) [71]

Din comparația valorilor rezistenței la compresiune a peletelor durificate cu cele prezentate în literatura de specialitate [81,108], rezultă ca deșeurile utilizate în cadrul experimentărilor asigură obținerea unor pelete utilizabile în încărcătura cuptoarelor pentru elaborarea fontei, respectiv oțelului dacă acestea sunt în prealabil reduse (metalizate). Pentru peletele durificate prin ardere, la fel ca și în cazul peletelor crude, corelațiile obținute între parametri independenți și parametrul dependent definit de rezistența la compresiune, sunt semnificative, ceea ce scoate în evidență importanța pentru practică pentru cunoașterea acestor influențe.

Peletele obținute în procesul de valorificare, sunt supuse în continuarea ciclului tehnologic unor procese de reducere influențate de o serie de factori tehnologici, unul dintre aceștia fiind compoziția chimică a acestora, mediul reducător precum și temperatura de reducere, astfel încât ca urmare a gradului ridicat de metalizare pot fi utilizate în încărcătura cuptoarelor electrice cu arc

3.3.3. Valorificarea deșeurilor prin procedeul Carbofer

Utilizarea deșeurilor feroase pulverulente la producerea oțelului fie sub formă de amestec mecanic fie sub formă de micropelite (chiar și pelete) ca agent de spumare a zgurii reprezintă o soluție tehnologică optimă pentru utilizarea acestor deșeuri. Datele din literatura de specialitate [83,89,109], precum și cele obținute în urma propriilor experimentări [71,72,105], recomandă utilizarea Carbofer-ului ca înlocuitor al agentului de spumare al zgurii la cuptoarele electrice cu arc, neinfluențând compoziția chimică a oțelului și a zgurii. Se obțin atât efecte economice cât și ecologice prin redarea suprafețelor ocupate cu aceste deșeuri, cadrului natural.

În cadrul proiectului de cercetare PN2 nr. 31-098 s-a avut în vedere valorificarea deșeurilor feroase greu reductibile prin procedeul Carbofer (amestec mecanic pulverulent, micropelite/pelete). Indiferent de tehnologia aplicată, produsul obținut poate fi utilizat fie în procesul de elaborare a fontei fie la elaborarea oțelului în cuptorul electric cu arc ca agent de spumare a zgurii (corespunzător din punct de vedere chimic și granulometric) [71,110,111]. Procedeul aplicat, prezintă avantajul flexibilității, ce oferă posibilitatea alegerii unor rețete care pot conține unul sau mai multe deșeuri pulverulente, funcție atât de compoziția chimică impusă de locul reciclării produsului obținut (de destinația tehnologică a produsului obținut), cât și funcție de cantitatea de deșeu generată într-o anumită perioadă (s-au avut în vedere, pe lângă deșeurile rezultate frecvent pe fluxul tehnologic de la ArcelorMittal Hunedoara și deșeurile depozitate în iazuri de decantare-depozitare, deșeuri rezultate din industria siderurgică minieră și energetică).

În vederea realizării experimentărilor în fază de laborator, s-au prelevat probe de deșeuri pulverulente (praf de oțelărie electric, țunder și șlam de țunder, praf de la aglomerare-furnale, șlam de aglomerare-furnale și praf de var). Fiecare probă de deșeu a fost supusă operației de omogenizare. Pentru aprecierea calității deșeurilor pulverulente, s-au efectuat determinări de caracteristici fizico-chimice, și anume: compoziția chimică și granulometrică.

Procesarea **Carbofer-ului amestec mecanic** pulverulent, a avut loc după fluxul tehnologic prezentat în figura 3.34 după un număr de 10 rețete [71].

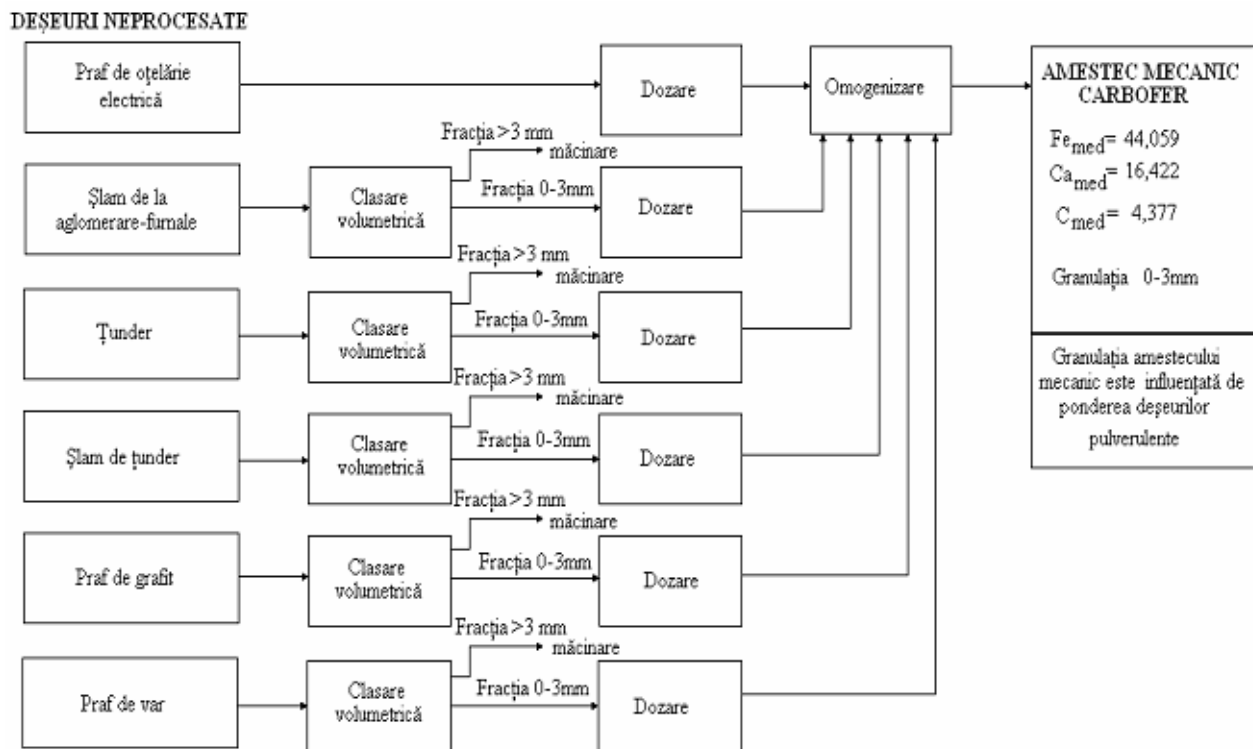


Figura 3.34. Fluxul tehnologic de producere a Carbofer-ului – amestec mecanic [71]

În ceea ce privește obținerea **Carbofer-ului micropelite**, rețetele propuse pentru experimentări, în fază de laborator au urmărit la această variantă obținerea unui produs reciclabil, utilizabil atât ca agent de spumare a zgurii în procesul de elaborare a oțelului în cuptorul cu arc cât și ca și component în șarja de aglomerare. După efectuarea procesului de micropelitizare, pentru fiecare șarjă în parte au fost determinate următoarele caracteristici: masa în vrac a micropelitelor în stare umedă și în stare uscată, umiditatea micropelitelor, distribuția pe clase granulometrice a micropelitelor în stare crudă. Procesarea **Carbofer-ului micropelite**, a avut loc după fluxul tehnologic prezentat în figura 3.35 după un număr de 10 rețete [71,72]. După aceleași rețete ca în cazul micropelitelor, s-au experimentat și un lot de 10 rețete de **Carbofer pelete** (respectându-se același flux tehnologic ca în cazul micropelitizării). În figura 3.36 sunt prezentate subprodusele obținute. S-a experimentat comportarea Carbofer-ului pelete în procesul de încălzire (de ardere într-un cuptor cu bare de silită). În figura 3.37 se prezintă aspecte de la aceste experimentări [71,72,105].

Din punct de vedere al celor trei componente principale: Fe, C, Ca, se constată că este acoperit întregul domeniu de variație a acestora, ceea ce demonstrează flexibilitatea procedurii, prin posibilitatea alegerii unor rețete care pot conține unul sau mai multe deșeuri pulverulente în funcție de compoziția chimică impusă de locul reciclării produsului obținut.

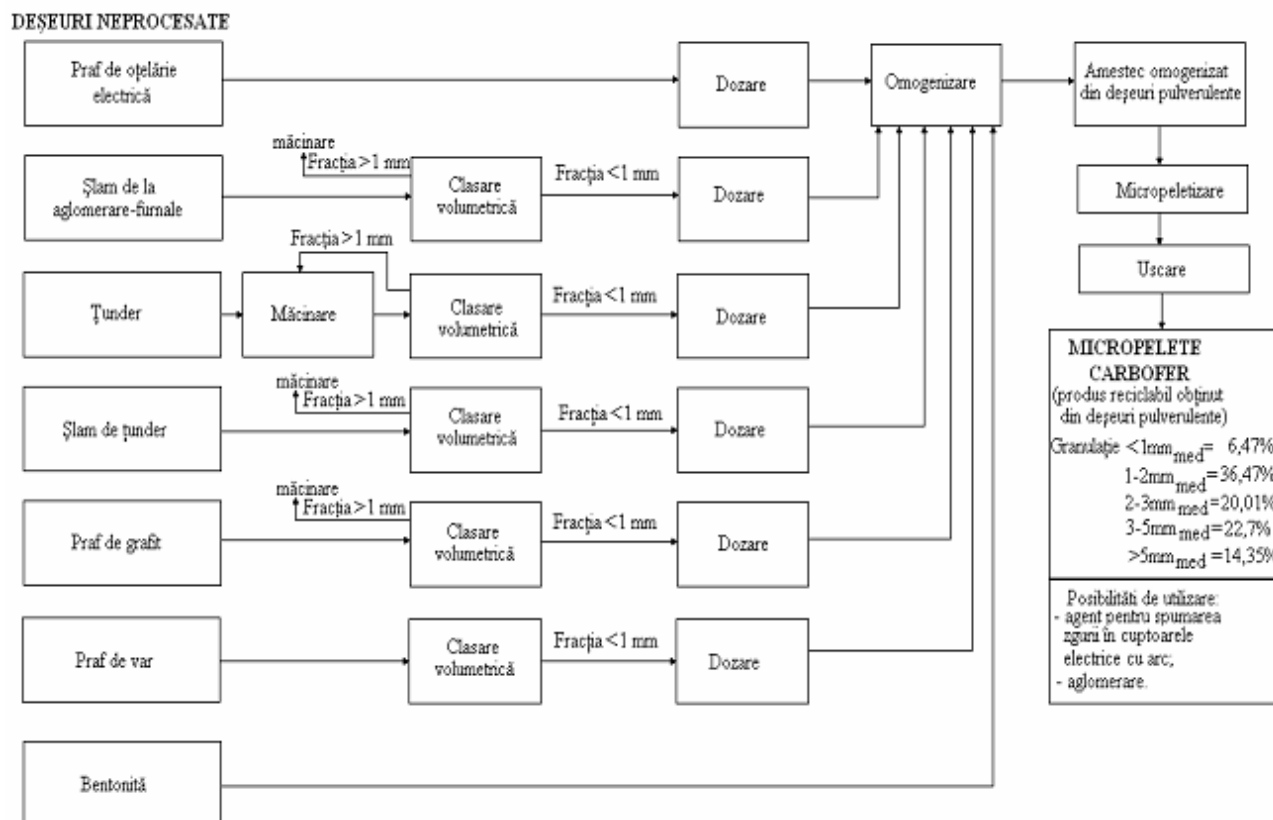


Figura 3.35. Fluxul tehnologic de producere a Carbofer-ului – micropelete [71]



Figura 3.36. Carbofer micropelete/pelete [71]



Figura 3.37. Aspecte din procesul de ardere a Carbofer-ului pelete [71]

Pentru produsul *Carbofer amestec mecanic* obținut s-au determinat caracteristicile calitative (compoziție chimică și granulometrică, densitate în vrac). După analiza datelor s-au stabilit rețetele optime (R1 și R5) pentru a continua cercetările în fază de laborator și experimentările industriale.

Experimentările pentru determinarea capacității de spumare s-au efectuat în cuptorul Tamman în 4 variante experimentate [71,80]. La fiecare determinare s-a determinat înălțimea stratului de zgură. Adăosul s-a efectuat cu menținerea constantă a cantității de zgură dar cu diferențierea compoziției chimice, astfel: varianta 1 (zgură etalon) - înălțimea stratului de zgură a

fost de 15mm; varianta 2 (zgură etalon + Carbofer amestec mecanic R1) - înălțimea stratului de zgură a fost de 39mm; varianta 3 (zgură etalon + Carbofer amestec mecanic R5) - înălțimea stratului de zgură a fost de 53mm; varianta 4 (Carbofer amestec mecanic R5) - înălțimea stratului de zgură a fost de 81mm [71,72]. Probele de zgură prelevate au fost investigate din punct de vedere al aspectului macroscopic și microscopic. La toate variantele porozitatea zgurii formate este uniformă iar porii sunt mai mici (în special în cazurile în care înălțimea stratului de zgură a fost mai mic iar spumarea mai puțin intensă). În cazul variantei 4 efectul de spumare a zgurii a fost foarte intens, înălțimea stratului de zgură ajungând la aproximativ 45% din înălțimea băii. Analiza difractometrică efectuată pe probe din aceste zguri nu a scos în evidență diferențe semnificative în privința diverselor faze mineralogice, acestea fiind formate din constituenți mineralogici obișnuiți în zgurile de oțelărie.

Pornind de la rezultatele obținute s-au produs după rețetele optime (R1, R5) cantități de 200kg/rețetă, care ulterior au fost insuflate succesiv, prin intermediul unei lănci, în zgură, la elaborarea oțelului într-un cuptor electric cu arc de tip EBT de capacitate 100 tone. S-a înlocuit o parte din masa de spumare utilizată cu rețetele proprii. S-a constatat o diferență în ceea ce privește intensitatea spumării pentru cele două produse Carbofer, spumarea fiind mai intensă la utilizarea produsului după prima rețetă. În figura 3.38 sunt prezentate aspecte din timpul insuflării amestecului mecanic [71].

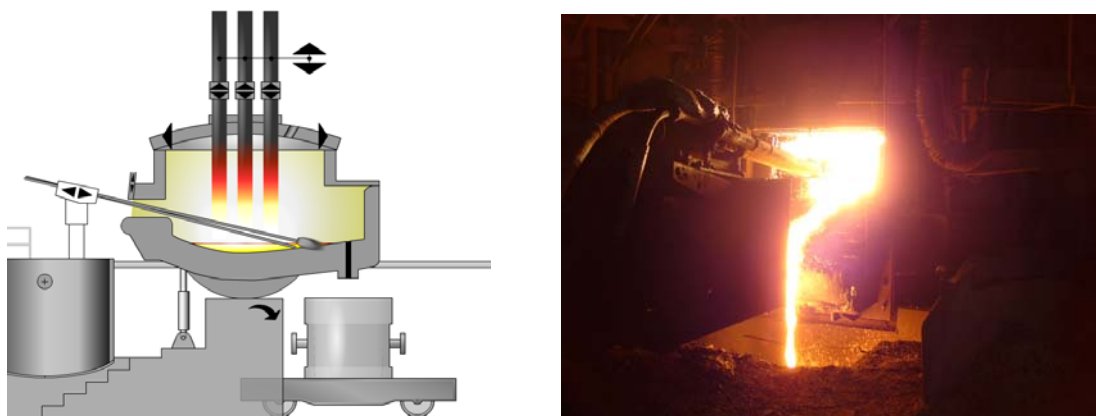


Figura 3.38. Procesul de insuflare a Carbofer-ului amestec mecanic în cuptorul electric cu arc de tip EBT [71]

Pornind de la rezultatele obținute în practică s-a produs și experimentat amestec mecanic Carbofer cu conținut de C apropiat de cel a mase spumante, utilizată frecvent pentru spumarea zgurii în practică. Astfel au fost produse încă 2 rețete de amestec mecanic utilizându-se următorii componenți: grafită, șlam de la furnale-aglomerare, praf de oțelărie, dolomită și var. Acest Carbofer are un conținut de C de peste 50% și oxizi bazici peste 15%CaO și peste 8%MgO. Utilizarea Carbofer-ului cu conținut ridicat de C și conținut de Fe considerăm că asigură o bună dizolvare a FeO în zgură în timp foarte scurt și de asemenea foarte repede se stabilește echilibrul zgură – baie metalică $L_{FeO} = \frac{[FeO]}{(FeO)}$, ceea ce asigură o bună oxidare a C din baie și o spumare intensă a zgurii,

deci asigură lucrul cu arc acoperit [71,72,80]. Produsul de tipul masă de spumare Carbofer obținut după aceste rețete poate fi utilizat în cele mai bune condiții pentru spumarea zgurii în practica industrială, asigurând și o compoziție corespunzătoare pentru aceasta.

În ceea ce privește testările industriale privind utilizarea produsului *Carbofer micropetele*, acestea au fost insuflate într-un cuptor electric cu arc de tip EBT de 100 tone capacitate (similar cu amestecul mecanic) fapt posibil datorită dimensiunilor reduse a micropetelelor (85% sub 3mm).

Comportarea a fost adecvată, imediat după insuflare. De asemenea, nu s-a constatat o modificare semnificativă a modului de spumare comparativ cu amestecul mecanic. Aspecte de la utilizarea micropeletelor sunt prezentate în figura 3.39 [71,72,80].



Figura 3.39. Aspecte din timpul experimentărilor industriale (utilizare Carbofer micropelete) [71]

În privința utilizării Carbofer-ului pelete, acestea s-au introdus în a doua benă, deci pe o baie metalică deja formată, constatându-se că imediat după descărcarea benei, zgura spumează, efect datorat dizolvării peletelor în zgură și reacției dintre carbon și oxizii de fier.

De asemenea, s-a efectuat testarea în fază pilot a produsului Carbofer cu grad înalt de metalizare prin reducere directă în cuptor tubular rotativ. Pentru testările în fază pilot, pe cuptorul tubular rotativ, s-au produs câte 200kg pelete/rețetă și respectiv 200kg micropelete/rețetă, după rețetele optime stabilite la experimentările anterioare. Cantitățile de materiale necesare experimentărilor s-au determinat având în vedere necesarul de 100kg/încărcătură pentru o șarjă.

În cadrul contractului de cercetare a fost realizată proiectarea și execuția instalației pilot constând dintr-un cuptor tubular rotativ de reducere directă cu încălzire electrică. A fost realizat cuptorul tubular rotativ de reducere directă cu instalațiile sale complementare respectiv dispozitivele de rotație și înclinare, dispozitivul de alimentare cu energie electrică, dispozitivul de alimentare cu materii prime. În figura 3.40 sunt prezentate imagini ale instalației neconvenționale proiectate și realizate. Cuptorul a fost realizat la Facultatea de Inginerie Hunedoara cu ajutorul partenerului 1 – Universitatea Politehnica București și partenerului 2 - SC CCPPR SA Alba Iulia, iar amplasarea instalației s-a făcut într-o incintă specială fără pereți laterali construită la SC CCPPR SA Alba Iulia.



Figura 3.40. Instalația experimentală - cuptor tubular rotativ [71]

Au fost realizate cercetări experimentale pe instalația pilot, au fost interpretate rezultatele. Probele de pelete au fost introduse în incinta termică a cuptorului după ce acesta a fost încălzit până la cca 350°C. Cuptorul a fost pus în mișcare de rotație iar faza gazoasă eliminată prin axul central a fost supravegheată îndeaproape pentru a preveni accidente cu oxidul de carbon rezultat în urma reducerii directe cu carbon a oxizilor de fier din conținutul peletelor. După circa 45 minute,

când temperatura din cuptor a atins cca 950-975°C, gazul evacuat s-a aprins, ceea ce confirmă prezența în el a oxidului de carbon. Reducerea directă și metalizarea peletelor s-a considerat finalizată când flacăra de veghe nu s-a mai menținut aprinsă. Evacuarea peletelor prereduse a fost făcută la un interval de 24 ore pentru a fi evacuate reci și protejate astfel de reoxidare. În figura 3.41 se prezintă aspecte de la tesările efectuate [71,72].



Figura 3.41. Aspecte de la tesările efectuate în cuptorul tubular rotativ [71]

Operațiile s-au repetat pentru toate rețelele micropelite/pelete, iar din peletele reduse la fier metalic și steril au fost prelevate probe din care s-a determinat conținutul de Fe metalic și prin calcule a fost obținut gradul de metalizare care a variat în intervalul 84-92%.

3.3.4. Concluzii

Cu puține excepții (de exemplu, procesele în strat fluidizat) particulele decantate în urma epurării nu pot fi folosite ca atare în cuptoarele metalurgice de elaborare a metalelor sau aliajelor (cuptoare de reducere), din care cauză ele sunt procesate postoperare (postprocesare primară) în vederea transformării lor (conglomerării) în bucăți destul de mari (de ordinul centimetrilor) și având forme diferite (cilindrice, prismatice, sferice, neregulate, etc). Astfel de operații, ca faze intermediare în fluxul global de reciclare sunt: aglomerarea, peletizarea și brichetarea, care de multe ori presupun fenomenul de sinterizare.

Deșeurile pulverulente și mărunte se pot valorifica în practica curentă în industria siderurgică și este necesar să fie continuate cercetările în vederea stabilirii celor mai performante procedee, tehnologii de valorificare, atât din punct de vedere economic cât și ecologic.

Preocuparea față de respectarea cerințelor legislative privind protecția mediului și necesitatea armonizării proceselor cu cerințele progresului economic, gestionării raționale a resurselor materiale și energetice, trebuie să conducă la valorificarea deșeurilor prin tehnologii, care să ofere atât din punct de vedere economic cât și ecologic, soluția optimă.

Experimentările industriale efectuate cu privire la posibilitățile de valorificare a deșeurilor feroase mărunte și pulverulente au condus la obținerea concluzii, produse experimentale, corelații grafice și analitice care permit determinarea domeniilor optime de variație a parametrilor tehnologici sau a caracteristicilor calitative a produselor rezultate, și anume:

- identificarea surselor de proveniență a deșeurilor pulverulente și mărunte cu conținut de fier/(fier și carbon, fier și oxizi bazici) din diferite ramuri industriale (siderurgie, metalurgie neferoase, industria minieră, chimică, energetică etc);
- determinarea caracteristicilor calitative a deșeurilor feroase pulverulente și mărunte și analiza procedeelelor și tehnologiilor clasice și neconvenționale de valorificare prin reciclare în siderurgie a deșeurilor feroase pulverulente și mărunte;
- stabilirea unor posibilități de creștere a suprafeței specifice de reducere pentru brichete compacte și brichete cu cavități;
- determinarea unor corelații între parametrii de reducere a brichetelor și diferite caracteristici dimensionale a acestora, pentru brichete compacte, tubular, multicave și tubulare cu cavități;

- producerea brichetelor din diferite deșeuri după cinci variante în funcție de principalele sortimente de deșeuri reciclate (praf de oțelărie, praf de furnal, șlam de aglomerare furnale, țunder și șlam de țunder);
- determinarea caracteristicilor de rezistență a brichetelor și stabilirea unor ecuații de corelație simplă și multiplă, între aceste caracteristici și participația componentilor în structura brichetelor;
- stabilirea pe baza corelațiilor simple și multiple a limitelor de variație pentru componenții rețetelor de brichetare, în vederea obținerii unor limite de variație mari pentru intervalul de sfărâmare;
- producerea brichetelor autoreducătoare (cu conținut diferit de carbon) compacte cu caracteristici dimensionale diferite, mai precis raportul $H/D = 1$; $H/D > 1$ și $H/D < 1$, în toate cazurile volumul fiind constant;
- producerea brichetelor autoreducătoare (cu conținut diferit de carbon) tubulare, multicave și tubulare cu cavități, în toate cazurile brichetele având același diametru și aceeași înălțime;
- determinarea gradului de metalizare a brichetelor în funcție de rețeta de procesare și timpul de menținere la temperatura de 1150°C respective stabilirea ecuațiilor de corelație între gradul de metalizare și timpul de menținere;
- stabilirea randamentului de recuperare a fierului din brichete pe baza procesarea acestora în cuptorul Tamman și electric cu inducție;
- producerea peletelor din diferite deșeuri în mai multe variante, funcție de sortimente de deșeuri reciclate, adaosurile de lianți, apă și finețea granulometrică;
- determinarea rezistenței la compresiune pentru peletele crude și arse și stabilirea unor corelații între rezistența la compresiune și proporția de material cu granulație de sub 0,040 mm, a adaosului de liant și apă, atât pentru pelete în stare crudă cât și arsă și stabilirea componenței optime a rețetelor pentru deșeurile supuse experimentărilor respectiv confirmarea faptului că asemenea deșeuri pot fi valorificate prin peletizare;
- reintroducerea în circuitul economic a unor sortimente de încărcătură feroase cu avantaje de ordin economic și ecologic.

3.3.5. Contribuții științifice și tehnice ale autoarei la stadiul actual al cunoașterii

Principalele contribuții științifice și tehnice referitoare la direcția de cercetare prezentată, pe baza studiilor efectuate și a rezultatelor obținute, sunt:

- Caracterizarea complexă fizico–chimică și tehnologică a deșeurilor și subproduselor feroase oxidice (șlam de aglomerare furnale, praf de furnal, șlamul de furnal și convertizor, șlamul de oțelărie, praful de oțelărie, zgura de oțelărie și țunder);
- Stabilirea de rețete proprii pentru experimentările în fază de laborator privind procesarea deșeurilor prin brichetare/peletizare/produs Carbofer care au condus la obținerea unor produse reciclabile, atât în procesul de elaborare a fontei și oțelului cât și ca agent de spumare a zgurii la cuptorul electric cu arc;
- Determinarea metodelor de valorificare prin reducere directă cu carbon a oxizilor de fier în cuptor tubular rotativ cu obținerea de produse reciclabile în siderurgie;
- Proiectarea și realizarea tehnologiei de laborator pentru procesarea deșeurilor feroase pulverulente prin brichetare, peletizare sau în cuptor tubular rotativ precum și a instalațiilor din fluxul tehnologic de laborator;

- Cercetări complexe de laborator pentru producerea de brichete, micropelite, pelete și produs Carbofer utilizând ca materii prime diverse tipuri de deșeuri feroase fine și concentrate de minereu de fier pulverulente și mărunte;
- Prelucrarea rezultatelor experimentale și definitivarea liniei de cercetare pentru trecerea la scară de pilot și industrială;
- Participare la proiectarea și realizarea tehnologiei și a instalațiilor neconvenționale din fluxul tehnologic pilot;
- Participarea la cercetările industriale efectuate;
- Produsele obținute, utilizabile ca și materie primă sau material auxiliar în procesele siderurgice, contribuie la reducerea costurilor pentru materiile prime feroase și aduc beneficii tehnologice, economice și ecologice și anume: creșterea productivității, reducerea consumului specific de energie și creșterea gradului de recuperare a fierului;
- Rezultatele confirmă valabilitatea cercetărilor și recomandă implementarea lor în practică;
- Reintroducerea în circuitul economic a deșeurilor feroase mărunte și pulverulente atât a celor rezultate pe fluxurile curente de fabricație cât și a celor depozitate pe halde sau în iazuri, conduce la reducerea gradului de poluare la nivel apă-aer-sol în zonele limitrofe generatorilor de astfel de deșeuri. De asemenea, se redă cadrului natural spațiile ocupate ca urmare a depozitării acestora.

Diseminarea rezultatelor s-a realizat prin publicarea de articole științifice, elaborarea unei cărți și a unui îndrumar de laborator. Cercetările efectuate în laborator și o parte a experimentărilor în fază pilot s-au realizat cu echipamentele și instalațiile achiziționate pe baza derulării granturilor coordonate.

(B-ii) Planul de evoluție și dezvoltare a carierei

A doua parte a *tezei de abilitare*, referitoare la perspectivele de dezvoltare a carierei academice și de cercetare, se fundamentează pe abilitățile și competențele dobândite și confirmate cu privire la coordonarea activităților de cercetare științifică și a activităților didactice în domeniul Ingineriei materialelor.

Principii, direcții și obiective

Planul de dezvoltare a carierei profesionale este corelat cu Planurile Strategice și Operaționale al Facultății de Inginerie Hunedoara respectiv a Universității Politehnica Timișoara. Instrumentele utilizate pentru îndeplinirea planului de evoluție și dezvoltare a carierei sunt:

- menținerea și creșterea standardelor de excelență academică și profesională;
- colaborarea cu cadrele didactice și studenții facultății;
- dezvoltarea colectivului de cercetare a Departamentului de Inginerie și Management prin implicarea activă a tinerilor cercetători.

Activitatea de cercetare științifică este un element important al carierei academice. Rezultatele cercetărilor, contribuțiile științifice proprii în domeniul de competență împreună cu cele mai noi informații tehnice și tehnologice trebuie să fie principala sursă de informare pentru procesul didactic.

Diseminarea rezultatelor obținute constituie un factor important pentru o carieră științifică de succes, asigurând o vizibilitate crescută a universității.

De asemenea, granturile și proiectele de cercetare-dezvoltare-inovare sunt un alt factor important care dezvoltă și consolidează echipele de cercetare, contribuie la creșterea prestigiului profesional și oferă un important sprijin financiar pentru activitățile desfășurate.

Obiectivul general al planului de evoluție și dezvoltare a carierei universitare constă în dobândirea de noi competențe în ceea ce privește activitatea didactică și de cercetare științifică printr-o instruire continuă și susținută.

Obiectivele specifice cu privire la activitatea de cercetare științifică:

- cercetarea orientată și dezvoltarea direcțiilor de cercetare privind elaborarea de noi materiale compozite și materiale speciale, oțeluri cu destinație specială necesare diferitelor ramuri industriale (energetică, chimică, aeronautică, automotive, etc);
- identificarea soluțiilor de finanțare și atragerea de fonduri din granturi, proiecte și contracte de cercetare;
- diseminarea rezultatelor și valorificarea rezultatelor cercetării prin publicarea de lucrări științifice în reviste cotate ISI sau participarea la conferințe internaționale de prestigiu;
- dezvoltarea colaborărilor la nivel național și internațional;
- conducerea de doctorat

Pentru îndeplinirea *obiectivelor propuse*, în ce privește *activitatea de cercetare*, am în vedere următorul plan de dezvoltare a carierei:

- continuarea participării la competițiile de proiecte lansate, în principal fiind vizat Planul National CDI 2016–2020 prin implicarea în realizarea de parteneriate, proiecte, programe, activități sau contracte de colaborare;

- dezvoltarea domeniului de interes prin continuarea cercetării pe direcțiile de cercetare aprofundate, și anume: tehnologii de elaborare și procesare a materialelor utilizând metode neconvenționale; proiectarea și conducerea informatizată a sistemelor ingineresti metalurgice; proiectarea și procesarea materialelor speciale și ecologizarea tehnologiilor de producere a materialelor;
- continuarea colaborării pe plan didactic, științific și de cercetare cu societatea ArcelorMittal Hunedoara în domeniul tehnologiei de elaborare și procesare a oțelului;
- realizarea de noi legături cu laboratoare, universități și institute din țară și străinătate în vederea creării unei rețele adecvate accesării de fonduri europene;
- dezvoltarea bazei materiale existente prin atragerea de fonduri prin granturi și proiecte de cercetare;
- supervizarea studenților masteranzi și doctoranzi în domeniul ingineriei materialelor și angrenarea lor în activități de cercetare în cadrul diverselor proiecte, activitatea de mentorat pentru viitorii cercetători fiind vitală pentru asigurarea și formarea resurselor umane pentru activitatea de cercetare;
- extinderea echipei de cercetare cu tineri doctoranzi;
- publicarea rezultatelor în reviste cotate ISI cu impact asupra vizibilității activității colectivului de cercetare;
- stabilirea temelor de cercetare în concordanță cu preocupările mele anterioare dar și cu relevanță pentru mediul industrial.

Rezultate vizate:

- extinderea activității de cercetare-formare;
- dezvoltarea activității de cercetare-dezvoltare-inovare;
- participarea la evenimente științifice internaționale;
- diseminarea rezultatelor obținute;
- dezvoltarea unor mecanisme de colaborare pe termen lung în proiectarea unei platforme de cercetare cu partenerii naționali și internaționali;
- temele tezelor de doctorat coordonate vor trebui să aibă aplicabilitate practică, să creeze valoare;
- dobândirea de noi competențe (cunoștințe, aptitudini) atât în ce privește activitatea de cercetare cât și cea didactică.

Obiectivele specifice cu privire la activitatea didactică:

- dezvoltarea și actualizarea continuă a conținutului cursurilor predate respectiv a metodelor și a mijloacelor de predare;
- organizarea de evenimente științifice și workshop-uri.

Pentru îndeplinirea **obiectivelor propuse**, în ce privește **activitate didactică**, am în vedere următorul plan de dezvoltare a carierei:

- folosirea strategiilor didactice axate pe formarea competențelor și abilităților necesare absolvenților, identificate în prezent în RNCIS;
- utilizarea de metode și instrumente moderne pentru predare și la evaluarea studenților;
- îndrumarea și stimularea studenților în vederea participării la diverse activități didactice și științifice;
- corelarea activității de cercetare cu cea didactică;

- diversificarea ofertei de cursuri postuniversitare/perfecționare pentru specialiștii din industrie;
- implicarea în activități de proiectare și redactare a ofertei educaționale atât în ceea ce privește noi programe de licență și master;
- participarea prin programul ERASMUS+ la stagii de predare la universități din străinătate pentru realizarea schimburilor de experiență legate de organizarea activității de predare;
- creșterea ponderii lucrărilor de licență și disertație care se vor finaliza cu realizări practice, deoarece în România, există un dezechilibru între volumul de cunoștințe teoretice și cel de aptitudini practice pe care studenții le asimilează.

Rezultate vizate:

- intensificarea activității de redactare a suporturilor de curs a disciplinelor predate;
- sprijinirea și implicarea studenților în procesul de învățare și cercetare;
- înglobarea cunoștințelor și rezultatelor dobândite în timpul cercetărilor, în edițiile revizuite ale cursurilor.

Direcții de cercetare viitoare

În continuare se prezintă principalele direcții de cercetare viitoare, domenii de interes pentru comunitatea științifică la nivel național și internațional.

- **Obținerea de noi aliaje metalice cu caracteristici superioare**

Performanțele economice înregistrate în ultimii ani au fost posibile datorită progresului tehnic din toate ramurile industriale și cu precădere a celor din domeniul ingineriei materialelor. În prezent, există o cerere din ce în ce mai mare de materiale cu proprietăți specifice, uneori semnificativ diferite de ale celor clasice, ceea ce impune utilizarea de tehnologii și dotări tehnice moderne și cu destinație specială.

În condițiile unei piețe globalizate atât în ceea ce privește materiile prime, materialele auxiliare, combustibilii și energia cât și în ceea ce privește semifabricatele sau produsele finite, rezultate foarte bune se obțin doar dacă se aplică cele mai avansate realizări ale științei și tehnicii. De asemenea, tendința este de obținere a produselor finite de calitate, la costuri minime, în condiții ecologice reglementate și cu consumuri minime de materii prime, materiale auxiliare și energie.

Unele domenii de vârf ale tehnicii, precum: tehnica aerospațială, tehnica nucleară, electrotehnica, electronică și energetică solicită materiale și aliaje cu proprietăți deosebite: supraconductibilitate, superplasticitate, refractaritate, rezistență mărită la coroziune, memoria formei, rezistențe mecanice de excepție, magnetism, rezistivitate, etc. Pentru a fabrica produsele metalurgice solicitate sunt necesare tehnologii și instalații moderne, precum și specialiști cu o înaltă pregătire teoretică și practică.

Pe direcția prezentată vor fi antrenați și studenții de la ciclul master și doctorat.

- **Obținerea de noi materiale compozite cu proprietăți specifice destinate sistemelor de frânare a autovehiculelor**

Tehnologia materialelor compozite are un ritm de dezvoltare foarte rapid în concordanță cu schimbările din diferitele sectoare industriale, precum cele aerospațiale, automotive și electrice. Noi fibre, matrici și materiale compozite, precum și noi procese de elaborare continuă să ofere oportunități interesante pentru îmbunătățirea performanțelor și reducerea costurilor, care sunt esențiale pentru a menține competitivitatea pe piețele internaționale. De asemenea,

metalurgia pulberilor este una dintre acele tehnologii de vârf din industrie care conduce la economisirea de material și de energie. Dezvoltarea continuă a acestei industrii a impus asimilarea rapidă a unor materiale feroase și neferoase, care au găsit o largă aplicabilitate în elaborarea pieselor poroase antifricțiune, a pieselor de rezistență din industria constructoare de mașini.

Pornind de la rezultatele obținute referitor la realizarea de materiale compozite destinate fabricării saboților de frână ai materialului rulant, se vor dezvolta noi teme de cercetare pentru obținerea de materiale compozite destinate sistemelor de frânare a autovehiculelor. În primă fază se vor realiza noile materiale în laborator urmând ca în viitor acestea să fie testate pe sistemele de frânare.

- ***Noi tipuri de materiale destinate acoperirilor de suprafață cu caracteristici speciale***

Cerințele funcționale ale autovehiculelor moderne impun utilizarea unor materiale cu proprietăți speciale de suprafață. Obținerea acestor materiale este o provocare continuă pentru cercetare și industrie. Suprafețele diferitelor piese utilizate în industria de automobile trebuie să aibă o serie de caracteristici: aderență, protecție la coroziune, rezistență mecanică, rezistență la uzură, etc. Aceste materiale necesită de cele mai multe ori tratamente speciale de îmbunătățire a proprietăților suprafețelor.

Pornind de la dezvoltarea procedeelelor, tehnologiilor de laborator și a metodologiilor pentru procesarea și caracterizarea suprafețelor materialelor metalice utilizate în industria de automobile generează diverse teme de cercetare privind realizarea și experimentarea tehnologiilor de laborator, optimizarea acestora și proiectarea unor instalații pilot în vederea realizării transferului tehnologic.

- ***Extinderea bazei de materii prime prin reintroducerea în circuitul economic a deșeurilor industriale în contextul dezvoltării durabile***

Responsabilitatea pentru gestionarea deșeurilor industriale revine generatorilor acestora. Deși la nivelul producției se manifestă o grijă mai mare pentru reducerea deșeurilor produse, există încă suficiente probleme de urmărit sau de remediat.

Eliminarea deșeurilor „istorice” rămâne încă o problemă care se va rezolva într-o perioadă mai îndelungată în funcție de resursele financiare și soluțiile tehnice de care se va dispune. Din aceste motive trebuie să fie luate toate măsurile pentru o gestionare modernă a deșeurilor industriale.

Este necesară sprijinirea integrării activității de cercetare-dezvoltare-inovare din universitate în activitatea economică de tip inovativ, bazată pe cunoaștere și abordarea unor noi direcții de cercetare prioritare la nivel internațional și național, cu impact asupra creșterii competitivității economiei românești, și achiziția de echipamente care facilitează realizarea acestor cercetări.

- ***Dezvoltarea de tehnologii ecologice în industria siderurgică***

Având în vedere potențialul ridicat dat de suprafețe extinse poluate industrial ca urmare a mineritului și industriei siderurgice din zona Vest, transpunând acest factor negativ într-un potențial ce poate fi exploatat pentru regenerarea economică a zonei și promovarea ecoindustriilor, s-a înființat ***Asociația Clusterul Regional Ecoinvest***, Universitatea Politehnica Timișoara fiind membru fondator. Acesta are ca obiectiv creșterea competitivității Regiunii V Vest a României prin promovarea și implementarea ecoinovării, dezvoltării ecoindustriilor,

politicilor regionale și locale sustenabile, parteneriate și colaborări ale actorilor regionali publici și privați din regiune și cooperare internațională prin participarea în rețelele internaționale.

Un obiectiv principal al cluster-ului constă în identificarea, dezvoltarea și implementarea eco-tehnologiilor, eco-serviciilor și eco-produselor. Astfel, se vor dezvolta teme și proiecte de cercetare referitoare la tehnologii de depoluare în industrie și valorificare a deșeurilor industriale.

Activitățile de cercetare vor fi corelate cu evoluția, tendințele și rezultatele viitoare obținute de comunitatea științifică internațională.

(B-iii) Bibliografie

1. <http://www.worldsteel.org>
2. COM (2013) 407 final (<http://www.europarl.europa.eu>)
3. <https://www.steel.org>
4. <https://china.lbl.gov>
5. <http://eur-lex.europa.eu>
6. <http://www.ushamartin.com>
7. <http://pixcooler.com/steel+mill+process>
8. www.steelconstruction.info
9. Drăgoi, F., *Cercetări privind reducerea conținutului de gaze din oțelurile elaborate și tratate pe fluxul tehnologic EBT - LF*, Teză de doctorat, Editura Politehnica Timișoara, 2012.
10. Geantă, V., *Procese și tehnologii de obținere a oțelurilor de înaltă puritate prin tratare în afara cuptorului*, Teză de doctorat, Universitatea Politehnica București, 1998
11. http://www.danieli.com/en/products/products-processes-and-technologies/electric-arc-furnace_26_83.htm
12. Fruehan, R. J., *The Making, Shaping and Treating of Steel. Steelmaking and refining Volume*. Chapter 10: EAF. Chapter 12: *Refining of Stainless Steel*, AISE Steel Foundation, 1998.
13. <http://www.siemens.com/press/pool/de/feature/2012/industry/metals-technologies/2012-03-steel/simetal-eaf-en.pdf>
14. Abdous F. et al. *Chaos Control of Voltage Fluctuations in Dc Arc Furnaces Using Time-Delay Feedback Control*, IEEE Second International Conference on Electrical Engineering, 25-26 March 2008, University of Engineering and Technology, Lahore (Pakistan)
15. Deaconu S., Tutelea L., Gherman P.L., *Artificial loading of asynchronous machine using a simple supply source*, 4th International Conference on Electromechanical and Power System, vol. I, SIELMEN 2003, Chisinau, ISBN 9975-9771-0-3, pag. 55-56
16. Gherman P.L., *Instalație de automatizare a cuptoarelor cu arc electric de curent continuu pentru topirea oțelului*, Conferința Națională de Tehnologii și materiale Avansate, Galați, 2003.
17. Gherman P.L., Rusu Anghel S. et al., *Chaos Control in DC Arc Furnace Powered by Parallel DC-DC Buck Converters*, 10th IEEE-EEIC 2011 Conference, Rome, Italy 8-11, May 2011.
18. <http://tenova.com/public/AA/products/consteel%20evolution.pdf>
19. http://www.sms-siemag.com/download/H3_303_EAF_E_Internet.pdf
20. http://www.anpm.ro/anpm_resources/migrated_content/files2/bref/BREF/BREF_Producti on of Iron and Steel RO.pdf
21. http://www.sms-siemag.com/download/H3_303_EAF_E_Internet.pdf
22. <http://geaind.com/gas-skids.php>
23. Tetileanu A., *Cercetări privind rafinarea oțelului elaborat pe fluxul cuptor cu arc electric-oala cuptor- turnare continuă*, Teza de doctorat, Editura Politehnica Timișoara, 2013.

24. https://www.sms-mevac.com/secondary_metallurgy.php
25. http://www.ife-21st-cf.or.jp/chapter_2/2j_1.html
26. Ardelean, E., Hepuț, T., Ardelean, M., *Turnarea continuă a oțelului*, Editura Politehnica, Timișoara, 2001
27. Ardelean E., Heput T. **Socalici A.**, Josan, A, Abrudean, C., *Optimizarea proceselor la turnarea continuă a oțelului*, Editura Cermei, Iași, 2007.
28. www.steeluniversity.org
29. **Socalici A.**, Popa E., Hepuț T., Puțan V., *Contributions to steel semi-finished parts quality improvements*, International Conference on Applied Sciences, ICAS 22-25 october 2013, Wuhan, PEOPLES R CHINA, IOP Conference Series-Materials Science and Engineering, Volume 57, 012003, 2014, ISI Proceedings.
30. **Socalici A.**, Hepuț T., Drăgoi F., Contribuții privind influența gazelor asupra calității produselor din oțel, Politehnica Timișoara, 2012
31. **Socalici A.**, Popa E., Hepuț T., Drăgoi F., *Research regarding the Improvement of the Steel Quality*, 5th International Conference on Advanced Materials and Structures (AMS 2013) Timisoara, Advanced Materials and Structures IV, Solid State Phenomena, Volume 216, pp. 273-278, ISI Proceeding
32. Pickering, F B, Some Beneficial Effects of Nitrogen in Steel, High Nitrogen Steel Conference Proceedings, 18-20 May, 1988, Lille (France), The Institute of Metals, pp.10-31
33. Millman, M S, Benchmarking Nitrogen in EAF Steelmaking, Nitrogen in Steel: Processing and Product Requirements Conference Proceedings, London (UK), 27-28 September, 2000, The Institute of Materials, 2001
34. **Socalici A.**, Popa E., Puțan V, Drăgoi F., *Researches on the reduction of steel hydrogen content by its secondary treatment inside the ladle*, Technical Gazette, 2016, ISI Journal, FI 0,579
35. ***Norme interne ArcelorMittal, Caiet de sarcini ST-IP-01/2008.
36. Dragoi F., **Socalici A.**, Hepuț T., Ardelean E., *Researchs on the influence of gas content from the steel on its quality*, The 4 th Internațional Conference on Manufacturing, Engineering, Quality and Production System, Barcelona, Spain, 15-19 September 2011, pp.139-146, Indexat SCOPUS
37. Dragoi, F; **Socalici, A**; Ardelean, E; Popa, E; Heput, T, *Researches on the influence of the slags formed in the installations on the hydrogen removal efficiency*, Revista de Metalurgia, 47(6), 2011, pp.477-484, ISI Journal, FI **0,202**
38. **Socalici, A.**, Raport final mobilitate internațională Research Center ArcelorMittal, Luxembourg, proiect „Școala doctorală în sprijinul cercetării în context european”, POSDRU/21/1.5/G/13798.
39. Ardelean, E., *Turnarea semifabricatelor de oțel*, Ed. Mirton Timișoara, 2004.
40. **Socalici, A.**, Grant nr. 3196/2005-2007, *Cercetări și experimentări privind îmbunătățirea structurii semifabricatelor turnate continuu*, Programul de Cercetare de Excelență pentru Tinerii Cercetători, ET-CEEX 2005.
41. Ardelean, E., Grant nr.3194/2005-2007, *Optimizarea regimului termic al oțelului pe traseul cuptor-agregat de tratament termic secundar-instalație de turnare continuă*, Programul de Cercetare de Excelență pentru Tinerii Cercetători, ET-CEEX 2005.

42. **Socalici, A.**; Ardelean, E; Hepuț, T; Ardelean, M, Josan A., *Solidification simulation of the continuous cast blanks with micro-coolants added in the mould*, Metalurgia International, 12(8), 2007, pp.20-25.
43. Ardelean E., Ardelean M., **Socalici A.**, Hepuț T., *Simulation of continuous cast steel product solidification*, Revista de Metalurgia, 43(3), 2007, pp.181-187, FI 0,436.
44. **Socalici A.**, Ardelean M, Puțan V., *Improving the continuous cast blank structure by using micro-coolants*, 11th International Research Expert Conference „Trends in the Development of Machinery and Associated Technology” TMT 2007, Hammamet, Tunisia, pp.315-318.
45. **Socalici A.**, Ardelean E., Hepuț T., Pinca-Bretotean C., *Settlement possibilities of steel temperature in crystallize*, 10th International Research Expert Conference „Trends in the Development of Machinery and Associated Technology”, TMT 2006, Barcelona-Lloret de Mar, Spain, 2006, pp.161-164.
46. Andronache, C., *Cercetări privind îmbunătățirea calității oțelurilor destinate fabricării componentelor materialului rulant*, Editura Politehnica Timișoara, 2013.
47. **Socalici A.**, Popa E., Hepuț T., Vîlceanu L., *Contributions related to the control of steel ingot solidification*, International Conference on Applied Sciences, ICAS 22-25 october 2013, Wuhan, PEOPLES R CHINA, Volume 57, 012004, 2014, ISI Proceedings.
48. Popa E. M., *Cercetări privind influența proceselor fizico-chimico-metalurgice ce au loc la interfețele cristalizor-zgură-oțel lichid*, Teza de doctorat, Editura Politehnica Timișoara, 2009.
49. **Socalici, A.**, *Structura lingourilor de oțel*, Ed. Mirton, Timișoara, 2004.
50. Ioan, R., *Turnarea continuă a semifabricatelor rotunde- noțiuni teoretice minimale și notițe din experiența proprie*, Editura Neutrino, Reșița, 2013.
51. Bratu, C., Sofroni, L., *Cercetări privind dirijarea procesului de cristalizare a oțelurilor prin utilizarea microrăcitorilor*, Metalurgia, Nr.6, 1981, pag.281.
52. Ștefănescu, D.M., *Computer Simulation of Microstructural Evolution*, Proceedings of a Symposium The Metallurgical Society in Toronto, Canada, october 13-17, 1985, pag.171.
53. Ioan, R., *Cercetări teoretice și experimentale în domeniul solidificării oțelului*, Ed. Destin Deva, 2000.
54. Andronache, C., **Socalici A.**, Hepuț T., *The influence of micro-coolers on the physical-mechanical characteristics of the steel used in making railway monoblock wheels*, Technical Gazette, vol.20, nr.3, 2013.
55. <http://www.smr.ro>
56. Arruta, L., *The Evolution Of Non-Destructive Tests on Railway Wheels*, Proceedings of The 15-th Word Conference On Non-Destructive Testing, Rome, 2001.
57. Geissler, H.J., *Wheel Safety*, Proceedings of The 15-th Word Conference On Non-Destructive Testing, Rome, 2001.
58. Gianmmarise, A.W., *Wheel Quality, A North American Locomotive Builder's Perspective*, Proceedings of The 15-th Word Conference On Non-Destructive Testing, Rome, 2001.
59. Smaranda E., Sontea S., *Considerații asupra posibilității eliminării deformării plastice și microdistucțiilor oțelului roților de locomotivă*, Revista Metalurgia nr.11, 2003.
60. Pascu, L., *Cercetări privind îmbunătățirea calității saboșilor de frână destinați materialului rulant*, Teza de doctorat, Politehnica Timișoara, 2015.
61. Directiva 2002/49/CE, JO L 189, 18.7.2002, p. 12

62. UIC: Reducerea zgomotului la nivelul infrastructurii europene de căi ferate. Raport de evaluare 2007, <http://www.uic.asso.fr>
63. **Socalici A.**, Pascu L., Ardelean E., Heput T., *The influence of carbon, manganese and silicon content upon the hardness of phosphorous cast iron used in manufacturing rolling stock braking shoes*, Technical Gazette, 23(6), 2016, ISI Journal, FI 0,579
64. **Socalici, A.**, Pascu, L., Popa, E., Heput, T., *The influence of the cast iron structure upon the hardness of brake shoes meant for the rolling stock*, International Conference on Applied Sciences ICAS 2014, Hunedoara, 2-4 october 2014.
65. Georgescu, C., Botan M., Deleanu, L., *Influence of Adding Materials in PBT upon Tribological Behavior*, the 3rd International Conference on Polymers Processing in Engineering, ICPPE 2013.
66. E. Popa, **A. Socalici**, L. Pascu, Ardelean M., *Research on Composite Materials used for Brake Shoes Manufacture*, 6th International Conference on Advanced Materials and Structures Timisoara, AMS 2015.
67. Nicolae, M., ș.a., *Dezvoltare durabilă în siderurgie prin valorificarea materialelor secundare*, Editura Printech, București, 2004
68. Bredeloft, R., *Reciclarea și gospodărirea deșeurilor la Thyssen-Krupp Stahl*, Stahl und Eisen, nr.7, 2002, 71
69. Nicolae, M., ș.a., *Proceduri de analiză în managementul ecometalurgic*, Ed. Fair Partners, București, 2002
70. Frumosu, L., Filipoiu, M., *Cultura industriei – Economia și ecologia valorificării metalelor din deșeuri*, Editura Adevărul, București, 2002
71. Hepuț, T., **Socalici A.**, ș.a. Proiect de cercetare nr. 31-098, *Prevention and fighting pollution in the steel making, energetic and mining industrial areas through the recycling of small-size and powdering wastes*, Programul 4 „Parteneriate in domenii prioritare” 2007-2013, 2007-2010.
72. Hepuț T., **Socalici A.**, Ardelean E., Ardelean M., Constantin N., Buzduga M., *Valorificarea deșeurilor feroase mărunte și pulverulente*, Politehnica Timișoara, 2011.
73. <http://horsehead.net/inmetco>
74. http://www.globalsteeldust.com/waelz_kiln_technology
75. http://www.kobelco.co.jp/english/ktr/pdf/ktr_29/085-092.pdf
76. Bacinschi, Z., Zizi Rizescu, C., Stoian, E., Ungureanu, D., Poinescu, A., Ittu, C., *Processing and Recycling Experiments of Dust from Electric Arc Furnace*, Advanced Materials Research Vols. 378-379, 2012, pp 719-722.
77. <http://www.paulwurth.com/Our-Activities/Recycling-technologies/Primus>
78. Constantin, N., *Procedee neconvenționale de obținere a materialelor feroase*, Editura Printech București, 2002.
79. Constantin, N., *Ingineria producerii fontei în furnal*, Editura Printech, București, 2002
80. **Socalici A.**, Heput T., Ardelean E., Ardelean M., *Research regarding using the wastes with carbon content in siderurgical industry*, Journal of Environmental Protection and Ecology, 2, 2010, pp.465-470, ISI Journal, FI 0,178
81. Todoruț, A., *Cercetări privind gestionarea și valorificarea deșeurilor mărunte și pulverulente, rezultate din industria de materiale, în contextul dezvoltării durabile a județului Hunedoara*, Teză de doctorat, Editura Politehnica Timișoara, 2013.
82. Șerban, V., Nicolae, A., *Bilanț de materiale – instrument de analiză a eficienței valorificării materialelor secundare*, Metalurgia, nr.1, 2004, 13.

83. Shaw, D., *Recycling of sily millscale and EAF baghouse dust by re-injection into an EAF using the Carbofer process*, Processing, Utilization and Disposal of Waste în the Steel Industry, Balaton, 3 - 6 June, 1996.
84. **Socalici A.**, Hepuț T., Ardelean M., Ardelean E., Putan V., *Researches regarding practical application of deferrised steelshop slags in agriculture*, Journal of Environmental Protection and Ecology, 1, 2010, pp.227-237, ISI Journal, FI 0,178
85. Philipp, A.J., *Bilanțuri ecologice*, Stahl und Eisen, nr. 6, 2003, 99.
86. Rusu, I., *Harmonisation of the Romanian environment protection law with Acquis*, J. of Environmental Protection and Ecology, 7 (1), 212, 2006.
87. Nicolae, A., ș.a., *Teoria proceselor de generare a poluanților*, Editura Printech, București 2006.
88. Apostol, T., Mărculescu, C., *Managementul deșeurilor solide*, Editura AGIR, București, 2006.
89. Markovic, J., Micevic, S., Redzepovic, R., *Industrial waste – possibilities for use in miniming industry*, J. of Environmental Protection and Ecology, 6 (3), 669, 2005.
90. Hepuț, T., Grant No.46, *Decreasing of environment pollution degree through the siderite waste capitalization for production cement*, Balkan Environmental Association, 2008.
91. Petrov, P., Dombalov, I., Pelovski, Y., *Possibilities for utilisation in cement industry of solid wasted, generated from TPS Svilosa JSC*, J. of Environmental Protection and Ecology, 11 (4), 1349, 2010.
92. Constantin, N., Nicolae, M., Geanta, V., Butnariu, I., *Procese si tehnologii alternative in siderurgie*, Editura Fundatia Metalurgia Romana, Bucuresti, 1997.
93. Daescu, V., Franculescu, I., *Efficient solution for the waste management in Romania*, J. of Environmental Protection and Ecology, 7 (1), 109, 2006.
94. **Socalici A.**, Hepuț Teodor., Ardelean E., Ardelean M., *Researches regarding the recovery of small and powder ferrous wastes within iron-and-steel industry*, 6th IASME / WSEAS International Conference on Energy & Environment Cambridge, United Kingdom, 25 february 2011, pp.282-287, Indexat SCOPUS.
95. Ardelean E., Ardelean M., Hepuț T., **Socalici A.**, *Possibilities of recycling the lime-dolomite plant dust*, Journal of Environmental Protection and Ecology, 1, 2010, pp.217-226, ISI Journal, **FI 0,178**.
96. Crișan, E., *Cercetări privind valorificarea în siderurgie a deșeurilor pulverulente și mărunte*, Teză de doctorat, Editura Politehnica Timișoara, 2013.
97. Hepuț, T., No.24, *Research regarding the recycling of the steel plant dust in siderurgic industry*, Balkan Environmental Association, 2004.
98. Hepuț, T., **Socalici, A.**, Ardelean, E., Ardelean, M., Constantin, N., Buzduga, M., Buzduga, R., *Brichetă tubulară din deșeuri feroase pulverulente*, RO 126946-A0, RO 126946-A8, Brevet invenție - Universitatea Politehnica Timisoara, Universitatea Politehnica Bucuresti, Centrul de Cercetare, Proiectare și Producție Refractare Alba Iulia.
99. *****Method of treating industrial iron containing waste involves treating waste as powder within pelletization flow to obtain pellets and eliminating local pollution generated by waste manipulation**, Patent Number(s): RO126045-A2, Assignee: INST CERC METALURGICE SA, Inventor(s): Hritac, M; Demi, P; Constantin, N., et al.
100. Hepuț, T., Grant Nr. 233, *Tehnologie integrată de obținere a unor surse energo-tehnologice neconvenționale utilizate ca materii prime la elaborarea oțelului*, Programul Excelență – Proiect de cercetare-dezvoltare complex, 2006/2007/2008

- 101.****Process for recovery of pollutant superfine ferrous dusts and slimes resulting from ferrous metallurgy*, Patent Number: RO126478-A2, Patent Assignee: INST CERC METALURGICE SA, Inventor(s): Hritac, M; Demi, P; Constantin, N., et al.
102. **Socalici, A.**, Ardelean, E., Crisan, E., Hepuț, T., *Research on the increase of the reaction surface of self-reducing briquettes*, Environmental Engineering and Management Journal, 15(3), 2016, ISI Journal, FI 1,065
103. Hepuț, T., Grant Nr. 232, *Noi materiale refractare cu funcții complexe utilizate în industria oțelului, realizate prin tehnologii moderne*, Programul Excelență – Proiect de cercetare-dezvoltare complex, 2006/2007/2008
104. Constantin, N., Dobrescu, C., Apostolescu, I., Petrache, R., Buzduga, M., *Research regarding the physical and chemical characteristics of pre-reduced iron ores and the analysis of the possibilities of their use in the iron and steel elaborating process*, Metalurgia International, Nr. 5, 2008, pp. 15-21.
105. **Socalici, A.**; Ardelean, E., Strugariu, L., *Research on the possibilities of sustainable use of powdery waste*, Environmental Engineering and Management Journal, 15(1), 2016, ISI Journal, FI 1,065
106. Oancea, V., Tudor, M., Cristian, D., Constantin, N., *Using pulverized coal as an alternative energotechnological source to produce pig-iron for steelmaking*, in Journal of sustainable energy, vol II, nr. 1, 2011, pp. 61-66.
107. Țuțuianu, O., *Evaluarea și raportarea performanței de mediu. Indicatori de mediu*, Editura Agir, București, 2006.
108. <http://www.metso.com/products/iron-ore-pelletizing/>
109. <http://www.dos-cosmos.de/carboferdetails.html>
110. https://www1.eere.energy.gov/manufacturing/tech_assistance/pdfs/north_star_steel.pdf
111. Cores, A., Ferreira, S., Isidro, A., Muniz, M., *Combustion of waste oils simulating their injection in blast furnace tuyres*, Revista de metalurgia, 42(2), 2009, pp.100-113.