



Universitatea POLITEHNICA din București

Facultatea de Știința și Ingineria Materialelor

Departamentul de Ingineria și Managementul Obținerii Materialelor Metalice

Teză de Habilitare

Habilitation Thesis

**ELABORAREA ȘI RAFINAREA UNOR
MATERIALE METALICE CU DESTINAȚIE
SPECIALĂ**

**OBTAINING AND REFINING OF METALLIC
MATERIALS WITH SPECIAL DESTINATION**

ȘTIINȚE INGINEREȘTI - INGINERIA MATERIALELOR

Prof. Univ. Dr. Ing. Victoraș GEANTĂ

București

2020

A

REZUMAT

Teza de abilitare cu titlul ”**Elaborarea și rafinarea unor materiale metalice cu destinație specială**” prezintă rezultatele și experiența dobândită de candidat pe parcursul a peste 35 de ani de activitate în domeniul industrial, de cercetare și didactic. Cea mai mare parte a domeniilor de cercetare și a lucrărilor de cercetare științifică au fost realizate în ultimii 20 de ani, după susținerea tezei de doctorat, reflectând progresul în domeniul profesional și contribuțiile științifice în domeniul proceselor de obținere și rafinare a materialelor metalice. De menționat faptul că autorul și-a consacrat întreaga activitate industrială, de cercetare și didactică **numai** în domeniul elaborării și rafinării materialelor metalice feroase și neferoase, continuând pregătirea de specialitate dobândită în cadrul Facultății de Metalurgie (Facultatea de Știința și Ingineria Materialelor) – direcția Metalurgie Extractivă (Ingineria și Managementul Obținerii Materialelor Metalice). O scurtă descriere a rezultatelor obținute poate fi cuprinsă în două direcții de activitate distincte: academic/educațional și științific/cercetare, care sunt prezentate în prima parte a tezei de abilitare, teza de abilitare propriu-zisă, continuate cu un plan privind evoluția și dezvoltarea viitoarelor direcții de cercetare.

A.1. DOMENIUL ACADEMIC/EDUCAȚIONAL

Candidatul a susținut cursuri și aplicații ca titular și coordonator la următoarele discipline de licență și master: Metalurgia oțelului (Ingineria producerii oțelului), Rafinarea oțelului (Tehnologii de rafinare a oțelului), Procese de sinteză a biomaterialelor (Obținerea materialelor metalice biocompatibile), Rafinarea materialelor metalice, Oțeluri speciale, Procedee moderne de obținere a materialelor metalice, Procedee moderne de elaborare și rafinare a materialelor, Procedee moderne de procesare a topiturilor. Pentru disciplinele predate, a elaborat 1 tratat, capitole de specialitate în alte 2 tratate, 11 manuale și cărți tehnice, 2 capitole în cărți internaționale, 4 îndrumare de laborator. În această perioadă a fost coordonator pentru proiecte de diplomă (peste 150 de proiecte), disertație (coordonare a peste 60 de studenți) și de asemenea, membru în 21 de comisii doctorale pentru teze de doctorat în domenii precum Știința materialelor sau Inginerie industrială la Universitatea Politehnica din București, Universitatea de Vest din Timișoara, Universitatea

Transilvania Brașov, Universitatea Tehnică Gheorghe Asachi din Iași, Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca, Universitatea Valahia Târgoviște, Universitatea din Petroșani. În perioada 2000 - 2004 am fost Secretar Științific (și Prodecan), coordonator al activității științifice în cadrul Facultății de Știința și Ingineria Materialelor privind coordonarea sesiunilor de comunicări științifice și studentești, precum și alte activități cu studenții.

În perioada 1999 – 2006 am condus Departamentul de promovare – diseminare din cadrul AMCSIT Politehnica, pentru care am promovat Planurile naționale de cercetare RELANSIN și PNCD II. În această funcție am realizat activitățile de diseminare a rezultatelor cercetării științifice românești la expoziții și târguri precum: RELANSIN 2000-2006, TIB-Salonul Cercetării, Ziua Porților Deschise etc.

Am condus în calitate de director 2 proiecte internaționale SOCRATES – ERASMUS și Leonardo da Vinci și 2 proiecte internaționale, fiind membru în alte 6 proiecte internaționale pentru formare profesională în cadrul Programului Leonardo da Vinci.

Experiența acumulată în cariera didactică mi-a permis cooptarea în calitate de evaluator al proiectelor naționale de cercetare, în cadrul diferitelor programe, cum ar fi: CNCSIS, ANCS, AMCSIT, PNCD I, PNCD II, MATNANTECH, CERES, AMTRANS, Comunitatea Europeană-Comisia oțelului și a Cărbunelui și HEAFNA și TTP. Am fost direct implicat în activitățile de management universitar, în posturi de responsabilitate pentru activitatea științifică, membru în comitetul de conducere al departamentului (catedrei) de Ingineria și Managementul Obținerii Materialelor Metalice (Catedrei de Siderurgie), membru al Consiliului Facultății de Știința și Ingineria Materialelor, Secretar științific al aceleiași facultăți în perioada 2000 - 2004.

A.2. DOMENIUL ȘTIINȚIFIC/DE CERCETARE

În **domeniul științific/de cercetare** candidatul a obținut rezultate deosebite bazate pe activitatea științifică desfășurată în cadrul granturilor/proiectelor de cercetare naționale și internaționale, care au condus la obținerea a 23 brevete implementate în diverse domenii și la depunerea a altor 13 propuneri de brevete. Contractele de cercetare științifică sunt reflectate de 2 contracte internaționale, 34 contracte naționale în calitate de director sau responsabil și alte 16 în calitate de membru în echipa de cercetare. Rezultatele științifice obținute după susținerea tezei de doctorat au permis realizarea prezentei teze de abilitare al cărui conținut este prezentat pe scurt în cele ce urmează.

Teza de abilitare debutează cu **Fundamentul material și experimental – Laboratorul de Elaborarea și Rafinarea Materialelor Metalice – ERAMET**, în care au fost realizate toate activitățile de cercetare științifică din prezenta teză. El a fost realizat, succesiv, în mai multe etape, exclusiv cu fonduri obținute din contracte de cercetare științifică derulate în cadrul Programelor Naționale de Cercetare, RELANSIN, CEEX, INVENT, PCCA, INOVARE etc. Laboratorul este dotat la nivel mondial și cuprinde cuptor cu inducție în vid HU-40-25-40-04, instalația de retopire cu arc în vid RAV MRF ABJ 900, instalația de prelucrare prin inducție cu convertizor compact și atmosferă controlată, tip CTC50K15, instalația de topire prin levitație cu convertizor de medie frecvență și atmosferă inertă – BIOLEV, cuptorul NABERTHERM N17/HR pentru preîncălzire aliaje și tratamente termice, instalația experimentală pentru injectarea materialelor pulverulente în topituri metalice, spectrometrul de emisie optică cu scânteie SPECTROMAXx M. De asemenea, au fost amenajate o sală de

curs pentru 25 studenți (JB 112-A) și o sală de pregătire pentru 6 doctoranzi, ambele cu dotările corespunzătoare (JB 112-B).

Prima direcție de cercetare a tezei de abilitare constă în **Elaborarea și rafinarea oțelurilor aliate cu V, Nb utilizate în industria construcțiilor de mașini**. Pe baza obținerii în instalația de retopire cu arc în vid și caracterizării ulterioare a acestor oțeluri, au fost stabilite condițiile tehnologice pentru elaborarea în laborator în cuptorul cu inducție și apoi trecerea la realizarea acestor oțeluri în condiții industriale, precum și a tehnologiilor de tratament termic.

Materialele pentru centrale nucleare din Generația 4R prin reactorul rapid răcit cu plumb (Lead-cooled Fast Reactor - LFR) reprezintă o noutate absolută la nivel național și inovație la nivel internațional, deoarece aliajele proiectare și realizate sunt soluții moderne care nu se afla în prezent pe piață, acestea fiind deocamdată variante aflate în cercetare și testare la nivel internațional. Au fost elaborate în instalația de retopire cu arc în vid numeroase aliaje din sistemul FeCrAl micro-aliate cu Ti, Y, Hf, Zr și au fost supuse atât tratamentului în plumb topit, cât și iradierii cu surse de ^{60}Co , consolidându-se ideea că la suprafața acestora se pot forma straturi de oxizi regenerabili de Al_2O_3 capabili să reziste în centralele nucleare.

Direcția a treia de cercetare s-a îndreptat către **Aliaje bioresorbabile pe bază de magneziu** dedicate domeniului medical. În acest caz, în instalația de prelucrare prin inducție cu convertizor compact și atmosferă controlată - tip CTC50K15 și în instalația de topire în levitație cu convertizor de medie frecvență și în atmosferă inertă – BIOLEV au fost realizate numeroase probe metalice din sistemele Mg-Ca, Mg-Zn, Mg-Ca-Zn, care au fost supuse testelor de biocompatibilitate (proliferație celulară) și care au dat rezultate foarte bune și prin care au fost stabilite limite de micro-aliaje cu Zn și Ca.

Aliajele cu entropie ridicată constituie o noutate în domeniu, în privința obținerii și caracterizării lor. Pe această direcție de cercetare au fost abordate trei tipuri de aliaje utilizabile în domeniul medical, terasier și militar.

- Aliajele cu entropie ridicată pentru domeniul medical au fost selectate din sistemul CrFeMoNbTaTiZr, elemente care posedă prezintă cea mai slabă bio-toxicitate pentru organismul uman.
- Aliajele din sistemul AlCrFeMnNi au fost utilizate pentru obținerea încărcărilor dure ale elementelor din componența utilajelor terasiere, la care durata de viață a crescut de peste 2 ori.
- Aliajele din sistemul AlCrFeCoNi au constituit baza obținerii structurilor compozite utilizate pentru panouri de protecție individuală și colectivă din domeniul militar, structuri compozite rezistente la solicitări dinamice aplicate cu viteze mari de deformare, pentru care s-a demonstrat faptul că aliajele cu entropie ridicată sunt superioare oțelurilor de blindaj, iar în conceptul HEA-OȚEL este net superior celor HEA-CERAMIC și HEA-POLIMER.

Ultimul capitol al tezei de abilitare este dedicat **Planului privind evoluția și dezvoltarea - incluzând direcțiile viitoare de cercetare**. Prezentul plan se bazează pe experiența dobândită în anii anteriori, fiind prezentate mai multe direcții de dezvoltare, după cum urmează:

- Continuarea dotării laboratorului ERAMET cu o instalație de turnare a benzilor subțiri (Melt-spining), acord convenit cu firma AAGES Târgu Mureș;

- obținerea și caracterizarea unor alte aliaje biocompatibile pentru domeniul medical din sistemul CrFeMoNbTaTiZr;
- tehnici de acoperire pentru îmbunătățirea performanțelor materialelor și elemente de proiectare și inovare în dezvoltarea materialelor metalice pentru aplicații biomedicale;
- tehnici de acoperire pentru aliajele FeCrAl utilizabile în potențiale centrale nucleare generația 4R cu aliaje cu entropie ridicată;
- obținerea și caracterizarea unor aliaje bioresorbabile din noi sisteme de aliaje de magneziu – pământuri rare (Mg-Gd-Y-Mn, Mg-Y-Nd, Mn-Gd-Y, Mg-Gd-Y-Zr, Mg-Gd-Y-Mn, Mg-Gd-Y-Nd, Mg-Gd-Nd, Mg-Gd-Nd-Zr, Mg-Gd-Dy, Mg-Gd-Dy-Zr, Mg-Gd-Dy-Nd-Zr, Mg-Y-Sm-Zr, Mg-Gd-Hs-Zr, Mg-Yb-Zr);
- aplicații din domeniul militar privind realizarea unor aliaje ușoare cu entropie ridicată pentru rezervoare de combustibil din sistemul AlBCaMgSi;
- aliaje cu entropie ridicată din sistemul AlCrFeMnNi microaliate cu Zr, Ti, Y, Hf pentru panouri de protecție individuală și colectivă;
- aliaje cu entropie ridicată cu energie și densitate ridicate pentru proiectile perforante din sistemele HfMoNiTaW, 2HfMoNi2Ta and MoTaNiW.
- obținerea în premieră în România a oțelurilor de tip HARDOX și CORTEN, cu compoziții chimice, structuri și proprietăți mecanice diferite de cele existente.

Bazat pe experiența profesională diversificată a autorului tezei de abilitare, la această oră se află în lucru și se vor finaliza următoarele:

- **Rafinarea aliajelor metalice prin retopire;**
- **Oțeluri speciale;**
- **TRATAT de elaborare și rafinare a oțelurilor;**
- **TRATAT de obținere și caracterizare a aliajelor cu entropie ridicată.**

Dezvoltarea activității de cercetare – dezvoltare va continua prin participarea activă la crearea unor proiecte atât din planul național de cercetare, cât și proiecte internaționale. De asemenea, voi continua legătura științifică cu universități și centre de cercetare cum ar fi: Universidad Politecnica de Madrid, Departamento de Fisica Aplicada ETS Ingenieros Industriales, Universidade NOVA de Lisboa, Portugal, Tel Aviv University - Israel, Ben Gurion University – Israel, Karlsruhe Institut of Technology, Leibniz Institute for Solid State and Materials Reseach Dreden, Universidad de Las Palmas de Gran Canaria - Spania, Carolina Precious Metals Inc. USA etc.

Menționez că **ABSOLUT TOATE** șarjele prezentate în această teză de abilitare, atât în condiții de laborator, cât și industriale au fost realizate de către titularul tezei. Analizele micro structurale au fost comandate Laboratorului LAMET din Universitatea Politehnica din București, sub supravegherea Doamnei Prof. Univ. Dr. Ing. Ionelia Voiculescu.

A

ABSTRACT

The Habilitation Thesis with the title “**Obtaining and Refining of Some Metallic Materials with Special Destination**” presents the results and experience acquired by the candidate over 35 years of activity in the industrial field, research and teaching. Most of the research fields have been approached and most of the scientific research papers have been written over the past 20 years, after the PhD thesis, reflecting the professional progress and the scientific contributions in the field of the processes for obtaining and refining of metallic materials. It is worth mentioning that the author devoted his entire industrial, research and teaching activity **only** to the field of obtaining and refining ferrous and non-ferrous metallic materials, continuing the specialized training acquired during the Faculty of Metallurgy (Material Science and Engineering Faculty) - the Department of Extractive Metallurgy (Engineering and Management Obtaining of Metallic Materials). A brief description of the results obtained can be divided into two distinct lines of activity: academic/educational and scientific/research, which are presented in the first part of the Habilitation Thesis, followed by a plan on the evolution and development of the future lines of research.

A.3. THE ACADEMIC/EDUCATIONAL FIELD

The candidate has taught courses and applications as a tenured and coordinating professor in the following undergraduate and master studies: Steel metallurgy (Steel production engineering), Steel refining (Steel refining technologies), Processes of synthesis of biomaterials (Obtaining of biocompatible metallic materials), Metallic material refining, Special steels, Modern processes for obtaining metallic materials, Modern processes for preparing and refining materials, Modern processes for melt processing.

For the subjects he has taught, he authored 1 textbook, specialized chapters in 2 other textbooks, 11 manuals and technical books, 2 chapters in international books, 4 laboratory reference books. During this period, he has coordinated degree papers (more than 150 papers), dissertation papers (coordination of more than 60 papers) and he has also been a member in 21 doctoral commissions for PhD theses in fields such as Material Science or Industrial Engineering at the Politehnica University of Bucharest,

West University of Timișoara, Transilvania University of Brasov, Gheorghe Asachi Technical University of Iași, Technical University of Cluj-Napoca, Valahia University of Targoviste, University of Petrosani. Between 2000 and 2004, in Scientific Secretary (Vice-Dean) quality, was the coordinator of the scientific activity within the Faculty of Materials Science, having as responsibilities the coordination of the student's scientific communication sessions and other scientific activities.

From 1999 to 2006 he headed the Department of promotion - dissemination of AMCSIT Politehnica, for which he promoted the national research plans RELANSIN and PN II. In this function he carried out the activities of disseminating results of the Romanian scientific research at exhibitions and fairs such as: RELANSIN 2000-2006, TIB-Research Hall, Open Doors Day etc.

He has been the manager of 2 SOCRATES - ERASMUS and Leonardo da Vinci international projects and a member in 6 other Leonardo da Vinci international vocational training projects. The experience gained as a teacher enabled him to be co-opted as an assessor of national research projects, within different programs, such as: CNCSIS, ANCS, AMCSIT, PNCD I, PNCD II, MATNANTECH, CERES, AMTRANS, EUROPEAN COMMUNITY - STEEL AND COAL COMMISSION, HEAFNA, TTP. He has been directly involved in university management activities, in positions of responsibility for scientific activity, member in the management committee of the department (chair) of Engineering and Management of Metallic Materials Obtaining (Steel Chair), member of the Council of the Materials Science and Engineering Faculty, Scientific Secretary of the same faculty from 2000 to 2004.

A4. THE SCIENTIFIC/RESEARCH FIELD

In the **scientific/research field**, the candidate has achieved outstanding results based on the scientific work carried out within national and international research grants/projects, which have led to 21 patents being implemented in various fields and to the filing of 13 other patent proposals. The scientific research contracts are reflected in 2 international contracts, 34 national contracts as a manager and 16 more as a member of the research team. The scientific results obtained have enabled the writing of this Habilitation Thesis, the content of which is briefly presented below.

The Habilitation Thesis starts with the **Material and Experimental Basis - The Laboratory for Metallic Materials Obtaining and Refining - ERAMET**, in which all the scientific research activities have been conducted. The laboratory was set up in several stages, exclusively with funds obtained from scientific research contracts performed within the National Research Programs, RELANSIN, CEEEX, INVENT, PCCA, INNOVATION etc. The laboratory has international level equipment and includes a vacuum induction furnace HU-40-25-40-04, a vacuum arc remelting furnace VAR MRF ABJ 900, an induction furnace with compact converter and controlled atmosphere, type CTC50K15, a levitation melting furnace with medium frequency converter and inert atmosphere - BIOLEV, a NABERTHERM N17/HR furnace for preheating alloys and heat treatments, an experimental plant for material powder injection into metallic melts, the SPECTROMAXx M optical emission spectrometer. A 25 student room (JB 112-A) and a training room for 6 PhD students, both with the appropriate facilities (JB 112-B), were also set up.

The first line of habilitation thesis consists of the **Production and characterisation of V, Nb and/or Ti alloyed steels used in the machine building**

industry. There were determined, based on the production of alloyed steels in the vacuum arc remelting furnace and the subsequent characterization thereof, the technological conditions for the laboratory production of these alloyed steels in the induction furnace and then the transition to the production of these steels under industrial conditions, as well as the heat treatment technologies.

Materials for 4R Generation Nuclear Power Plants using the Lead-cooled Fast Reactor (LFR) is an absolute national novelty and an international level innovation, as the designed and produced alloys are modern solutions not currently on the market, and these are currently globally researched and tested variants. There were developed in the vacuum arc remelting furnace various alloys from the FeCrAl system microalloyed with Ti, Y, Hf, Zr and they were subjected to both the molten lead treatment and irradiation with ⁶⁰Co sources, reinforcing the idea that layers of renewable Al₂O₃ oxides resistant in nuclear power plants can form on their surface.

The third line of research focused on **Magnesium-based bioresorbable alloys** intended for the medical field. In this case, in the induction furnace with compact converter and controlled atmosphere, type CTC50K15, and the levitation melting furnace with medium frequency converter and inert atmosphere, BIOLEV, there were made many metallic samples from the Mg-Ca, Mg-Zn, Mg-Ca-Zn systems, which were subjected to biocompatibility tests (cell proliferation) yielding very good results and setting limits for microalloying with Zn and Ca.

High entropy alloys are a novelty in the field in terms of obtaining and characterizing them. Three types of alloys usable in the medical, earth-moving and military fields have been approached in this line.

- The high entropy alloys for the medical field were selected from the CrFeMoNbTaTiZr system, possessing the poorest bio toxicity to the human body.
- The alloys in the AlCrFeMnNi system were used for the heavy charging of the earth-moving equipment components, increasing their service life by about 2 times.
- The alloys in the AlCrFeCoNi system have been the basis for obtaining the composite structures used for individual and collective protection panels in the military field, composite structures resistant to the dynamic stresses applied at high deformation speeds, for which it has been shown that high entropy alloys are superior to armor steel, and the HEA-STEEL concept is clearly superior to HEA-CERAMIC and HEA-POLYMER.

The last chapter of the Habilitation Thesis is dedicated to **The Progress and Development Plan - including future lines of research.** This plan builds on the experience gained in previous years, presenting several lines for development:

- the further development of the **ERAMET** laboratory with a Melt-spinning, an agreement with AAGES Targu Mures;
- the production and characterization of other biocompatible alloys from the CrFeMoNbTaTiZr system for the medical field;
- coating techniques for the improvement of the performance of materials and design and innovation elements in the development of metallic materials for biomedical applications;
- coating techniques for FeCrAl alloys for 4R generation nuclear plants using high entropy alloys;
- the production and characterization of bioresorbable alloys in new systems of magnesium - rare-earth alloys (Mg-Gd-Y-Mn, Mg-Y-Nd, Mn-

Gd-Y, Mg-Gd-Y-Zr, Mg-Gd-Y-Mn, Mg-Gd-Y-Nd, Mg-Gd-Nd, Mg-Gd-Nd-Zr, Mg-Gd-Dy, Mg-Gd-Dy-Zr, Mg-Gd-Dy-Nd-Zr, Mg-Y-Sm-Zr, Mg-Gd-Hs-Zr, Mg-Yb-Zr);

- military application-related production of high entropy light alloys for fuel tanks from the AlBCaMgSi system;
- military application-related production of high entropy high entropy alloys in the AlCrFeMnNi system micro alloyed with Zr, Ti, Y, Hf for individual and collective protection panels;
- military application-related production of high entropy alloys with high energy and density for piercing projectiles from the HfMoNiTaW, 2HfMoNi2Ta and MoTaNiW systems;
- obtaining for the first time in Romania HARDOX and CORTEN type steels, with chemical compositions, structures and mechanical properties different from the existing ones.

Based on the diversified professional experience of the author of the habilitation thesis, the following are currently underway and will be completed:

- **Metallic alloys refining by remelting;**
- **Special steels;**
- **TREATY on the elaboration and steels refining;**
- **TREATY for obtaining and characterizing of high entropy alloys.**

The development of the research activity will continue through the active participation in the creation of some projects both from the national research plan and from international projects. I will also continue the scientific connection with universities and research centers such as: Universidad Politecnica de Madrid, Departamento de Fisica Aplicada ETS Ingenieros Industriales, Universidade NOVA de Lisboa, Portugal, Tel Aviv University - Israel, Ben Gurion University - Israel, Karlsruhe Institut of Technology, Leibniz Institute for Solid State and Materials Reseach Dreden, Universidad de Las Palmas de Gran Canaria - Spania, Carolina Precious Metals Inc. USA etc.

I mention that **ABSOLUTE ALL** the batches presented in this Habilitation thesis, both under laboratory and industrial conditions, were made by myself. Microstructural analysis were ordered to the LAMET Laboratory of the POLITEHNICA University of Bucharest, under the supervision of Prof. Univ. Dr. Eng. Ionelia Voiculescu.