

## (A-I) ABSTRACT

This habilitation thesis contains results and experience carried out of Ionelia Voiculescu in the last 20 years, after the PhD thesis, reflecting the professional achievements and scientific contributions in the fields of welding and brazing processes. A brief description of the achievements during this period can be summarized in two main areas: **academic/educational** and **scientific/research**, described in the first section (chapter B) of the habilitation thesis.

**A1.** In the **academic/educational** area it was supported as holder and coordinator the next disciplines/subject matters: Materials and Heat Treatments for Welded Structures, Materials Technology, Science and Engineering of Materials, Special Materials and Treatments for welding, Special Heat Treatment for Welded Structures, Surface Engineering, Assembly and Packaging (course, laborator), for bachelor and master studies. For the subjects we taught, has been developed teaching materials like: one treaty, manuals (3), technical books (4 books and 2 chapters in international books) and laboratory guides (5) dedicated to both students and specialists in the field of welding or brazing, testing and characterization of different materials.

In this period I was coordinator for diploma projects (over 100 projects), dissertations (over 50 students) and also member in 23 doctoral committees for PhD thesis in Materials Science or Industrial Engineering fields. During the period 1995 – 2013, I was coordinator of the scientific activity in the Department of Materials and Welding Technology (begining 2019, new tilte of department is Quality Engineering and Industrial Technologies - ICTI), having as responsibilities the establishment of the research strategy of the department, informing the colleagues for attending conferences and congresses, coordinating the student scientific sessions (I coordinated over 160 team of students for scientific research, many of whom being rewarded with over 60 awards and mentions). I am a coordinator for the Specialization „Welding Engineering” program developed in the Bologna ECTS framework at the Department of Materials Technology and Welding (TMS), in the Faculty of Engineering and Management of Technological Systems (IMST) from University Politehnica of Bucharest (UPB).

In the field of educational area, I was an European expert at *Leonardo da Vinci* Romanian Agency (1999-2001) and Secretary of the National Commission for evaluating projects LDV (2001-2002) appointed by the MEC ORD Nr . 3022/2001. I coordonated international projects (5) for training in the frame of LdV Programe and I participated in other international projects (5) for improving managerial skills of university teachers and for promotion of quality spirit in educational process of initial and continuing vocational training, in the frame of Socrates and LdV Programes.

The position of president of the Romanian Welding Association (ASR) gives me the opportunity to participate in meetings of welding specialists, to promote my own results through plenary presentations of scientific research papers, participation in fairs and exhibitions in the country or abroad. Also, I taught courses organized by the ASR for European welding engineers and I have prepared the course support for the chapter dedicated to welding of non-ferrous materials and alloys. Recognition of merit in this field was materialized by granting the ASR diploma in 2014 for the meritorious work carried out in organizing the actions of the ASR.

The expertise gained in the teaching career allowed me the cooptation as evaluator for national research projects, in the frame of different programs, like:

CNCSIS, ANCS, AMCSIT, PNCD I, PNCD II, MATNANTECH. I have been directly involved in university management activities, in positions of responsibility for scientific activity, a member of the department's management committee, a faculty member, or a member of the university Senate, which allowed me to know the issues and adopt solutions for continuous improvement of the didactic and scientific activity. Currently, I am member of TMS council and representant of the IMST Faculty within the Ethics and Integrity Commission of the Politehnica University of Bucharest.

**A2.** In the **scientific/research** area I has obtained remarkable results based on scientific publications, patents development and implementation of grants/research projects on following domains:

- a. **Welding, cladding and hardfacing processes** (Development of new filler materials for hardfacing, laser welding and cladding process, weldability of new metallic alloys)
- b. **Brazing processes** (Development of new filler materials for brazing, similar or dissimilar brazing joints, Characterisation of brazing materials)

The **new filler metals for welding** are oriented on Covered Electrodes for MMA process (special electrodes for industrial applications, composite filler metal electrode, special cover containing metallic additions), Tubular electrodes or wires for GTAW and GMAW processes, High entropy alloys for hardfacing using GTAW process.

In the field of **Laser welding and cladding** I was Director of grant „Powder coating technology using Laser-MIG hybrid process”- LASERDEP, Program PNCD 2, No.72-216/2008 and responsible of grant „Welding by Laser of capsules containing radioactive sources” – LASERCAP - Program PNCD 2, No. 71-132 / 2007. The results obtained by coordinating the partnerships associated with these projects materialized in the publication of scientific articles (10), patents (1) and welding technologies transferred to economic operators (2). By conducting the laser-welding project of the radioactive material capsules, main result was a computer-assisted laser welding equipment, equipped with robotic welding system resulted in a reduction of the scrap rate from 50% to about 5%. This result is all the more important given that all assemblies containing radioactive materials are nuclear waste and have high costs of protection and decontamination.

The **weldability of new metallic alloys** has been an important field for which the I carried out several research projects (more than 10), finalized with designing of new welding or cladding technologies, new filler materials for welding, numerous published scientific papers (more than 100), books (5) and patents (16). As an absolute novelty element at national level, I designed the welding technology of excavator teeths using as filler material high entropy alloys (AlxCrFeMnNi) and I design assembling technologies for a new type of this HEA (AlxCrCoFeNi) usable as collective protection systems against the perforation projectiles for military domain.

In the field of **Brazing processes** I was involved in many projects for Development of new filler materials for brazing, belonging Cu-Ag alloying system. The new brazing materials are characterized in that they contain metallic powders or precursors in the coating, which allow the obtaining melting domains setted to the values required for the various applications. At the same time, during experiments have been eliminated a number of chemical elements from the metal matrix (such as Pb, Cd) so as to avoid contamination of the environment with toxic emissions in accordance with European regulations (REACH Program).

The problem of the realization of heterogeneous joints between ceramic materials, using as filler materials different metallic alloys (Cu, Al, Ni-Co alloys or

metallic glass), has been approached in 2 research projects (Research on welding of composite materials with metal matrix and amorphous materials, contract No.836 / 1996, Theme A2, MCT, 1995-1997 respectively Microalloyed nanomaterials for ceramic bonding - NANOCERAD, Contract PNCD 2 PARTENERIATE, No 71-118 / 2007-2010). Based on own research, I designed the technology of joining ceramic alumina elements in the furnace, using ultra-fast solidified metal sheets, one book and published articles (5).

In the field of material characterization and testing I have extensive experience obtained in the Laboratory for metallographic testing - LAMET which I have set up, endowed and accredited for the period 2009-2014. For the development of this laboratory, I have obtained and developed an infrastructure project (Laboratory for Metallographic Testing - LAMET - Contract RENAR no. 122/2006-2009), the funds resulted being used for purchased equipment worth more than 200000Euro ( SEM microscope - Inspect S- FEI, microhardness Shimadzu HMV 2T, Olympus GX51 Optical Microscope, Metallographic Sample Preparation Line composed of IsoMet 4000 precision cutting machine, hot embossing press and automatic metallographic polishing machine). I have published a book dedicated to metallography of welded joints and 2 laboratory guidelines that include descriptions of sample preparation techniques and metallographic image interpretation.

The recognition of the results obtained in the research and didactic activity is materialized by inviting as a reviewer (4) or a member of the scientific committees (3) of some specialized conferences or publications, such as: a member of the scientific committee at the BRAMAT international conference from Brasov, a member of the scientific committee at Annals of DAAAM and Proceedings of THE ANNALS OF "DUNAREA DE JOS" UNIVERSITY OF GALATI, FASCICLE XII, WELDING EQUIPMENT AND TECHNOLOGY, ISSN 1221 - 4639; Reviewer at THE ANNALS OF "DUNAREA DE JOS" UNIVERSITY OF GALATI, FASCICLE XII, WELDING EQUIPMENT AND TECHNOLOGY, ISSN 1221 - 4639, U.P.B. Sci. Bull., Series D, 2010, ISSN 1454-2358; WILEY-VCH GmbH & Co. KGaA, ICAMaT - Conference, Bucharest, Romania.

The Habilitation thesis presents two directions of development of the research program envisaged for career development, namely:

- Study of **welding behavior** of new alloys with specified destination (FeCrAl alloy microalloyed with Ti, Y, Zr, Hf, used for the fourth generation nuclear reactors, high entropy alloys of Al<sub>x</sub>CoCrFeNi and Al<sub>x</sub>CrFeMnNi classes, used for military applications, severe impact or wear resistance, and new biocompatible alloys);

- Study of **brazing behavior** of high entropy alloys used in combinations with other metallic materials (steel for armor) or ceramics.

*The two research directions represent absolute novelty at national and innovation at international level, because the analyzed alloys are modern solutions that are not currently on the market, these being for the moment studied and tested at international level (microalloyed FeCrAl alloys are studied at the Karlsruhe Institute of Technology in Germany, and high entropy alloys are studied worldwide by teams from different countries, among which the most advanced are in Taiwan, USA, Japan, China, Romania).*

The alloys in the **FeCrAl** family can be assimilated to very low carbon ferritic stainless steels (less than 0.01% C). Their main characteristics are related to high mechanical resistance at temperatures of 1200-1250°C, corrosion resistance and oxidation in various working environments, including molten salts or liquid metals (Pb, BiSn). The chemical composition of all the main alloys contains between 20-25% Cr,

4.5-6%Al, the rest being iron. To improve the corrosion resistance characteristics of FeCrAl alloy some elements are added (Y, Zr or Ti), due to the fact that it increase the adhesion of the superficial aluminum oxide film and increased resistance to the dissolution effect in the molten lead medium. Stainless steels forming Cr-oxide films cannot provide the oxidation resistance up to 1000°C because the chromium oxide becomes volatile at temperatures above this threshold. These special features of FeCrAl alloys have raised the interest of nuclear industry specialists who have proposed them as the basis for building reactor vessels for IV generators, that will be built starting from 2020. The lack of nickel in the chemical composition brings only benefits for increased corrosion resistance in molten lead environments but also in terms of resistance to microstructural damage through irradiation, the problem currently faced by third-generation reactors that use austenitic stainless steel Ni.

In the fourth generation nuclear plants, cooling medium is made of metals that are liquid, such as Pb or PbBi. These environments provide a thermal cooling and allow better optimization of functional parameters of reactor. At the same time, such environments can lead to localized corrosion effects that can be cumulated with stress corrosion cracking at high temperature (400 - 600°C), under load generated by the weight of the molten metal circulated.

In such circumstances it is necessary to create, on the surface of metallic materials that make up the reactor tank or recirculation tubes for cooling environment, of barriers against products resulted from corrosive or erosive effects. To create a barrier adapted to operating conditions, there are necessary also new metallic materials for realizing structural core components (tanks or pipes), and procedures for processing and cladding, designed for protect the surfaces exposed to the corrosive environment. Such materials may be metallic FeCrAl alloy class, similar to ferritic steels but having much higher contents of Al, which is loaded on the surface level with a metal-ceramic composite layer, using special techniques (plasma, laser). To obtain composite coatings which are resistant to stress corrosion cracking, in a first phase, a plasma cladding using powder is followed by electron beam remelting or laser remelting.

At present, studies are being carried out to test new FeCrAl alloys in different working environments, after finalizing the material marks and establishing optimal surface processing technologies (deposition of metal-ceramic layers with plasma, electron beam or laser beam retrieval, so as to obtain the best texture of the surfaces and the sufficient resistance to the corrosive action of the working environment) to go to the design of the welding assembly technologies. In this context, in the Habilitation thesis are proposed research directions for advanced welding behavior testing (MIG with SpinArc system, laser and laser-MIG hybrid), which will lead to realization of joints with characteristics corresponding to the applications in the nuclear field.

In the field of new materials for nuclear power plant, I has participated as co-author of scientific works (Geantă, V., Voiculescu, I., Ștefănoiu, R., Jianu, A., Influence on chemical composition of FeCrAl alloys on microhardness, *Metalurgia International*, vol. XVI (2011), SPECIAL ISSUE No. 5, ISSN 1582-2214, p.153-156; V. Geanta, I. Voiculescu, EM, Stanciu, Hafnium influence on the microstructure of FeCrAl alloys, *International Conference on Innovative Research 2016-ICIR Euroinvent 2016*, IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 133 (2016) 012016, doi: 10.1088 / 1757-899X 133/1/012016, pp. 1-8; Voiculescu, I.; Geanta, V.; Ștefănoiu, R.; Cotrut, C.; Ciocoiu, R.; Ionescu, M., Mechanical and Microstructural Characterization of a New Corrosion Resistant Stainless Steel, *EUROINVENT ICIR 2018*, IOP Conference Series-Materials Science and Engineering, Volume: 374, Art.

No: UNSP 012018, WOS: 000446775900018) and a research contract (contract PCCA 243/2014 - advanced metallic materials for new generations of nuclear power plants, 4R - NUCLEARMAT). I am currently working on testing the FeCrAl alloy surface processing technologies before and after immersing them in lead for a long period of time (about 10 months at 500°C). It is desirable to optimize laser surface treatment technologies and to deepen the welding behavior of these special alloys.

Regarding **high entropy alloys**, is specified that such alloys have been developed within the ERAMET Laboratory in UPB, by the research team of which I am a member, starting from 2012. The main types of alloy families studied were Al<sub>x</sub>CoCrFeNi and Al<sub>x</sub>CrFeMnNi, other alloy families being considered for bio-medical applications or aeronautics (light entropy light alloys). Unlike conventional alloys, which use a solvent metallic element (such as Fe, Al, Cu, Ti, etc., which is the basic matrix) in which various chemical elements are added, called alloying elements, in the high entropy alloys, that was developed in 1995, at least 5 different chemical elements are introduced, in equimolar proportions, generating mixing entropy values higher than those of the traditional liquid alloys or solid solutions.

These new metallic materials have a high degree of atomic disorder, resulting in unique variations of magnetic and electrical characteristics, special mechanical properties (hardness and very high wear resistance) and electrochemical properties (resistance to oxidation, corrosion resistance). Al<sub>x</sub>CoCrFeNi alloys are of ductile metal grade, with good machinability by plastic deformation with varying degrees of progressive reduction (5%, 15%, 30% or 50%), which can then be hardened by applying thermal homogenization treatments at 1100 °C for 24 hours, followed by annealing at 900°C with a holding of between 1 and 50 hours.

The microstructure of the alloy contains, after homogenization, both c.v.c. phase and c.f.c. secondary phases, the hardness values can reach values in the 60-65HRC range, the breaking energy being about 60J to 20°C and the compressive strength exceeding 2000MPa (Voiculescu I., Geantă, V., Ștefănoiu, R., Patroi, D., Binchiciu, H., *Influence of the Chemical Composition on the Microstructure and Microhardness of AlCrFeCoNi High Entropy Alloy*. Revista de Chimie, Vol. 64, No. 12, **2013**, pp.1441-1444; Voiculescu, I., Geantă, V., Vasile, I.M., Ștefănoiu, R., Tonoiu, M., *Characterisation of weld deposits using as filler metal a high entropy alloy*. Journal of Optoelectronics and Advanced Materials, Vol. 15, No. 7-8, July – August **2013**, pp.650 – 654; T., Lixandru, P., Geantă, V., Voiculescu, I., Dragnea, D., Ștefănoiu, R., *Layered Structures Analysis, with High Entropy Alloys, for Ballistic Protection*, Switzerland, Vol. 809-810, Innovative Manufacturing Engineering International Conference, ImanE **2015**, Iasi, ISSN: 1662-7482, 2015, p. 724-729, DOI: 10.4028 / www.scientific.net /AMM.809-810.724; V. Geanta, T. Chereches, P. Lixandru, I. Voiculescu, R. Stefanoiu, D. Dragnea, T. Zecheru, L. Matache, *Virtual Testing of Composite Structures Made of High Entropy Alloys and Steel*, *Metals* **2017**, 7, 496; doi:10.3390/met7110496, WOS:000416803200046 (Q1, Q2), IF=1,9. p.1-14, ISSN: 2075-4701; V. Geantă, I. Voiculescu, I. Miloșan, B. Istrate, I. M. Mateș, *CHEMICAL COMPOSITION INFLUENCE ON MICROHARDNESS, MICROSTRUCTURE AND PHASES MORPHOLOGY OF Al<sub>x</sub>CrFeCoNi HIGH ENTROPY ALLOYS*, Revista de chimie, 69, no. 4 (**2018**), p. 798-801, ISSN - 0034-7752, IF=1,232).

Based on these special mechanical characteristics, my research team has proposed the creation of ballistic packages for protection against perforation projectiles, obtaining better results compared to the existing solution (C-Mn alloy for armor, heat treated). Further on, based on the results obtained from research

contracts (Composite structures resistant at dynamic loadings applied with high deformation speeds used in the field of collective protection HEAMIL, PARTENERIATE-PCCA contract No. 209/2012, Individual and collective protection systems for the high entropy alloy military domain – HEAPROTECT, no. 20PCCDI 2018), will be developed other microalloyed entropy alloy recipes, that will be used for realizing welded assemblies. At the same time, ballistic packs of different material combinations (high entropy alloys and ceramic materials), which will be subjected to dynamic impact and explosion tests, will be achieved by brazing.

Another direction of research to be pursued within the activity following habilitation thesis will be the welding and hardfacing of carbon steel support using high entropy alloys, destined to applications requiring wear resistance in hard working conditions. For the moment, I has obtained a series of promising results using the TIG process and using as filler material AlxCrFeMnNi alloy, during the research contract related to excavator teeth hardfacing. For further results, the aim is to increase the performance of these HEA alloys, by applying some homogenization heat treatments after welding or by microalloying with Zr, Y, Ti and Hf.

## (A-II) Rezumat

Această teză de abilitare prezintă rezultatele și experiența dobândită de Ionelia Voiculescu pe parcursul ultimilor 20 de ani, după susținerea tezei de doctorat, reflectând progresul în domeniul profesional și contribuțiile științifice în domeniul proceselor de sudare și brazare. O scurtă descriere a rezultatelor obținute în această perioadă poate fi cuprinsă în două direcții de activitate distincte: academic/educational și științific/cercetare, care sunt prezentate în prima parte (capitolul B) a tezei de abilitare.

**A1. În domeniul academic/educațional** a susținut cursuri sau aplicații ca titular și coordonator la următoarele discipline: Materiale și tratamente termice pentru structuri sudate, Tehnologia Materialelor, Știința și Ingineria Materialelor, Materiale Speciale și Tratamente pentru Sudare, Ingineria Suprafațelor, Asamblare și Ambalare (Curs, laborator), pentru studii de licență și masterat. Pentru disciplinele predate, am elaborat un tratat, manuale (3), cărți tehnice (5 cărți și 2 capitole în cărți internaționale) și ghiduri de laborator (5) dedicate studenților și specialiștilor în domeniul sudării sau brazării, încercării și caracterizării diferitelor materiale.

În această perioadă am fost coordonator pentru proiecte de diplomă (în peste 100 de proiecte), disertație (coordonare a peste 60 de studenți) și, de asemenea, membru în 23 de comisii doctorale pentru teze de doctorat în domenii precum Știința materialelor sau Inginerie industrială. În perioada 1995 - 2013 am fost coordonator al activității științifice în cadrul Departamentului de Tehnologia Materialelor și Sudare (începând cu 2019, denumirea departamentului este Ingineria Calității și Tehnologii Industriale), având ca responsabilități stabilirea strategiei de cercetare a departamentului, informarea colegilor pentru participarea la conferințe și congrese, coordonarea sesiunilor de comunicări științifice studențești (a coordonat peste 160 de echipe de studenți la cercetarea științifică, mulți fiind recompensați cu peste 60 de premii și mențiuni). În prezent sunt coordonator al programului de specializare "Ingineria sudării" dezvoltat în Cadrul ECTS Bologna la Departamentul de Tehnologia

Materialelor și Sudare (TMS), din Facultatea de Inginerie și Management al Sistemelor Tehnologice (IMST) la Universitatea Politehnică din București (UPB). În domeniul educațional am funcționat ca expert european la Agenția Română Leonardo da Vinci (perioada 1999-2001) și secretar al Comisiei naționale pentru evaluarea proiectelor LDV (2001-2002) numită de MEC prin ORD Nr. 3022/2001.

Am coordonat proiecte internaționale (5) pentru formare profesională în cadrul Programului LdV și a participat la alte proiecte internaționale (5) pentru îmbunătățirea competențelor manageriale ale cadrelor universitare, pentru promovarea spiritului de calitate în procesul educațional de formare profesională inițială și continuă, în cadrul programelor Socrates și LdV.

Poziția de președinte al Asociației Române de Sudură (ASR) mi-a oferit ocazia de a participa la întâlniri cu specialiști în domeniul sudării din țară și străinătate, ocazie cu care am promovat propriile rezultate prin prezentări în plen a lucrărilor de cercetare științifică, prin participarea la târguri și expoziții din țară sau din străinătate. Totodată, am susținut prelegeri la cursuri organizate de ASR pentru inginerii sudori europeni (EWE) și am pregătit suportul de curs pentru capitolul dedicat sudării materialelor și aliajelor neferoase. Recunoașterea meritelor în acest domeniu s-a materializat prin acordarea diplomei ASR în 2014 pentru munca meritorie efectuată în organizarea acțiunilor ASR.

Experiența acumulată în cariera didactică a permis cooptarea mea ca evaluator al proiectelor naționale de cercetare, în cadrul diferitelor programe, cum ar fi: CNCIS, ANCS, AMCSIT, PNCD I, PNCD II, MATNANTECH. Am fost direct implicată în activitățile de management universitar, în posturi de responsabilitate pentru activitatea științifică, membru în comitetul de conducere al departamentului, membru al consiliului facultății sau membru al Senatului UPB, ceea ce mi-a permis să cunosc problemele aparute și să adopt soluții pentru continua îmbunătățire a activității didactice și științifice. În prezent, sunt membru în comitetul de conducere al departamentului TMS și reprezentant al Facultății IMST în cadrul Comisiei de Etică și Integritate Academică a Universității Politehnica din București.

**A2. În domeniul științific / de cercetare** am obținut rezultate deosebite bazate pe activitatea științifică desfășurată în cadrul granturilor / proiectelor de cercetare, care au condus la obținerea de brevete și la implementarea acestora în următoarele domenii:

**a. Procese de sudare** și prelucrare a suprafețelor (dezvoltarea de noi materiale de adaos pentru încărcarea dură a suprafețelor, procedee de sudare cu laser și placare, analiza sudabilității unor noi aliaje metalice speciale)

**b. Procese de brazare** (dezvoltarea de noi materiale de adaos pentru brazare, realizarea de îmbinări brazate similare sau eterogene, caracterizarea materialelor de brazare)

Materialele de adaos inovative pentru sudare au fost cu predilecție noi tipuri de electrozi înveliți pentru procesele de sudare MMA (electrozi speciali pentru aplicații industriale, electrod metalic cu miez compozit, înveliș special cu conținut de pulberi metalice), precum și electrozi tubulari sau sârme pentru procedeele GTAW și GMAW, aliaje cu entropie ridicată pentru încărcarea dură.

În domeniul sudării și placării cu laser am fost director al grantului "Tehnologia de acoperire cu pulberi cu laser-MIG" - LASERDEP, Programul PNCD 2, nr. 72-216 / 2008 și responsabil la contractul "Sudarea cu laser a capsulelor ce conțin surse radioactive" - LASERCAP - Programul PNCD 2, nr. 71-132 / 2007. Rezultatele obținute prin coordonarea parteneriatelor asociate cu aceste proiecte s-au materializat în publicarea articolelor științifice (10), a brevetelor (1) și a tehnologiilor

de sudare transferate operatorilor economici (2). Prin derularea proiectului de sudare cu laser a capsulelor cu materiale radioactive, rezultatul principal a fost un echipament de sudare cu laser, asistat de calculator, echipat cu sistem de sudare robotizat, care a dus la o reducere a ratei de rebuturi de la 50% la aproximativ 5%. Acest rezultat este cu atât mai important cu cât toate ansamblurile care conțin materiale radioactive sunt deșeuri nucleare și necesită costuri ridicate pentru stocare, protecție sau decontaminare.

Sudabilitatea noilor aliaje metalice a fost un domeniu important pentru care am realizat mai multe proiecte de cercetare (peste 10), finalizate cu proiectarea de noi tehnologii de sudare sau de acoperire, obținerea unor materiale de adaos noi pentru sudare, numeroase lucrări științifice publicate (mai mult de 100), cărți (5) și brevete (16). Ca un element de noutate absolut la nivel national, am proiectat tehnologia de încărcare prin sudare a dinților de excavator folosind aliajele cu entropie ridicată (AlxCrFeMnNi) și am proiectat tehnologii de asamblare nedemontabilă dintr-un nou tip de aliaj HEA (AlxCrCoFeNi) utilizabile la realizarea sistemelor colective de protecție împotriva exploziilor sau a proiectilelor perforante pentru domeniul militar.

În domeniul proceselor de brazare, am fost implicată în numeroase proiecte de dezvoltare a unor noi materiale de adaos pentru brazare, aparținând sistemului de aliere Cu-Ag. Noile materiale de brazare sunt caracterizate prin aceea că includ pulberi metalice sau precursori în învelis, ceea ce permite obținerea domeniilor de topire stabilite la valorile necesare pentru diferite aplicații. În același timp, am eliminat o serie de elemente chimice din matricea metalică (cum ar fi Pb, Cd), pentru a evita contaminarea mediului cu emisii toxice, în conformitate cu reglementările europene (programul REACH). Problema realizării îmbinărilor eterogene între materialele ceramice, folosind ca material de adaos aliaje metalice diferite (aliaje de Cu, Al, Ni-Co sau sticlă metalică), a fost abordată în două proiecte de cercetare (Cercetari privind sudarea materialelor compozite cu matrice metalică și materiale amorfе, contractul nr. 836/1996, Tema A2, MCT, 1995-1997 respectiv Nanomateriale microaliate pentru imbinarea ceramicelor - NANOCERAD, Contract PNCD 2 PARTENERIATE, nr. 71-118/2007-2010). Ca rezultate ale cercetării se remarcă tehnologia de îmbinare a elementelor ceramice din alumina în cuptor folosind folii metalice solidificate ultra rapid, o carte publicată și 5 articole publicate.

În domeniul caracterizării și testării materialelor am dobândit o vastă experiență în Laboratorul pentru încercări metalografice - LAMET pe care l-am înființat, dotat și acreditat în perioada 2006-2014. Pentru dezvoltarea acestui laborator, am obținut și am dezvoltat un proiect de infrastructură (Laborator pentru Încercari Metalografice - LAMET - Contract RENAR nr.122/2006-2009), fondurile obținute fiind utilizate pentru achiziționare de echipamente în valoare de peste 200000 Euro (microscop electronic de baleiaj SEM - Inspect S-FEI, microdurimetru Shimadzu HMV 2T, Microscop optic Olympus GX51, linie completă de pregătire a probelor metalografice, compusă din mașină de tăiat de precizie (IsoMet 4000), mașină de înglobare la cald (IPA 40) și mașină automată de lustruit metalografic - Buehler). Am publicat o carte dedicată metalografiei îmbinărilor sudate și 2 îndrumare de laborator care includ descrieri ale tehnicilor de pregătire ale probelor și interpretare a imaginilor metalografice.

Recunoașterea rezultatelor obținute în activitatea de cercetare și didactică s-a materializat prin invitarea ca recenzor (5) sau membru în comitete științifice (4) ale unor conferințe sau publicații specializate, cum ar fi: membru în comitetul științific la Conferința internațională BRAMAT din Brașov, membru în comitetul științific la Analele DAAAM și Proceedings of THE ANNALS OF UNIVERSITY "DUNAREA DE



JOS", GALATI, FASCICLE XII, WELDING EQUIPMENT AND TECHNOLOGY, ISSN 1221 - 4639; Recenzor la THE ANNALS OF "DUNAREA DE JOS" UNIVERSITY OF GALATI, FASCICLE XII, WELDING EQUIPMENT AND TECHNOLOGY, ISSN 1221 - 4639, U.P.B. Sci. Bull., Series D, 2010, ISSN 1454-2358; WILEY-VCH GmbH & Co. KGaA, JMAD, Materialschair\_2017, MSEA, PROTEC, JAST, Jurnal of Materials Processing Tech., Conferința internațională ICAMaT, Bucuresti, România etc.

Teza de abilitare prezintă două direcții de acțiune pentru programul de cercetare avut în vedere pentru dezvoltarea carierei, și anume:

- **Studiul comportării la sudare** a unor aliaje noi cu destinație specială (Aliaje FeCrAl microaliate cu Y, Zr, Ha, Ti utilizate pentru reactoare nucleare din generația IV, aliaje cu entropie ridicată din clasa de aliere AlxCoCrFeNi și AlxCrFeMnNi utilizate pentru aplicații militare, rezistente la impact sever sau pentru rezistență la uzură, respectiv noi aliaje biocompatibile);
- **Studiul comportării la brazare** a aliajelor cu entropie ridicată, utilizate în combinații cu alte materiale metalice (otel pentru blindaje de tanc) sau ceramică.

*Cele două direcții de cercetare reprezintă noutate absolută la nivel național și inovație la nivel internațional, deoarece aliajele proiectate și realizate sunt soluții moderne care nu se află în prezent pe piață, acestea fiind deocamdată variante aflate în cercetare și testare la nivel internațional (aliajele FeCrAl microaliate sunt studiate la Karlsruhe Institut of Technology din Germania iar aliajele cu entropie ridicată sunt studiate la nivel mondial de echipe din diferite țări, printre care cele mai avansate sunt din Taiwan, SUA, Japonia, China, România).*

Aliajele din familia **FeCrAl** pot fi asimilate oțelurilor feritice inoxidabile cu conținut foarte redus de carbon (sub 0,01%C). Principale lor caracteristici sunt legate de rezistența mecanică ridicată la temperaturi în domeniul 1200-1250°C, rezistența la coroziune și oxidare în diferite medii de lucru, printre care săruri topite sau metale lichide (Pb, BiSn). Compoziția chimică a acestor aliaje conține între 20-25%Cr, 4,5 – 6%Al restul fiind fier. Pentru îmbunătățirea caracteristicilor de rezistență la coroziune s-au adăugat în aliajele FeCrAl elemente de microaliere precum Y, Zr sau Ti, pentru creșterea aderenței peliculei superficiale de oxid de aluminiu, ce asigură rezistența crescută la efectul de dizolvare în mediul de plumb topit.

Oțelurile inoxidabile care formează pelicule protectoare de oxid de Cr, nu asigură și suficientă rezistență la oxidare peste 1000°C, deoarece oxidul de crom devine volatil la temperaturi peste acest prag limită. Aceste caracteristici deosebite ale aliajelor FeCrAl au trezit interesul specialiștilor din industria nucleară, care le-au propus ca materiale de bază pentru realizarea cuvelor reactoarelor la centralele nucleare din generația IV ce urmează a fi realizate începând cu anul 2020. Lipsa nichelului în compoziția chimică aduce nu doar beneficii pentru obținerea unei rezistențe crescute la coroziunea în medii de plumb topit ci și în ceea ce privește rezistența la deteriorare microstructurală prin iradiere, problemă cu care se confruntă în prezent reactoarele din generația III, care utilizează pentru cuvele reactoarelor nucleare oțel inoxidabil austenitic aliat cu Ni.

În cadrul centralelor nucleare din generația IV, mediul de răcire este constituit din metale aflate în stare lichidă, precum Pb sau PbBi, care asigură un transfer termic mai bun și permit optimizarea parametrilor funcționali ai reactorului. Totodată însă, astfel de medii produc efecte de coroziune localizate, care se cumulează cu coroziunea tenso-fisurantă promovată de solicitarea îndelungată la întindere, în domeniul temperaturilor ridicate (400 – 600°C). În aceste condiții, este necesară

crearea, la suprafața materialelor metalice care alcătuiesc cuva reactorului sau tubulatura de recirculare a mediului de răcire, a unei bariere împotriva efectelor corozive sau erozive produse de Pb. Pentru crearea unei bariere cu caracteristici adaptate condițiilor de funcționare, sunt necesare atât noi materiale metalice pentru realizarea structurii de rezistență a cuvelor sau țevilor, cât și procedee de procesare și încărcare a suprafețelor expuse mediului de răcire coroziv. Astfel de materiale pot fi aliaje metalice din clasa de aliere FeCrAl, similare oțelurilor feritice dar cu conținuturi mult mai mari de Al, pe suprafața cărora se încarcă straturi compozite metalo-ceramice, utilizând tehnici speciale (plasmă, laser). Pentru obținerea unor straturi compozite cu rezistență la coroziunea tenso-fisurantă sub sarcină se utilizează, într-o prima fază, acoperirea cu plasmă și pulberi urmată de retopirea cu fascicul de electroni sau cu laser.

În prezent se fac studii pentru testarea noilor aliaje FeCrAl în diferite medii de lucru, urmând ca după definitivarea mărcilor de material și stabilirea tehnologiilor optime de procesare a suprafețelor (depunere de straturi metalo-ceramice cu plasmă, retopire a straturilor cu fascicul de electroni sau laser, astfel încât să se obțină cea mai bună textură a suprafețelor și rezistență suficient de mare la acțiunea corozivă a mediului de lucru) să se treacă la proiectarea tehnologiilor de asamblare prin sudare. În acest context, în cadrul tezei de abilitare se propun direcții de cercetare pentru testarea comportării la sudare cu procedee avansate (MIG cu sistem SpinArc, laser și laser-MIG hybrid), care să permită realizarea de îmbinări cu caracteristici corespunzătoare aplicațiilor din domeniul nuclear sau militar.

În domeniul noilor aliaje pentru centrale nucleare, am participat la realizarea unor lucrări științifice (Geantă, V., **Voiculescu, I.**, Ștefănoiu, R., Jianu, A., *Influence on chemical composition of FeCrAl alloys on the microhardness*, Metalurgia International, vol. XVI (2011), SPECIAL ISSUE no. 5, ISSN 1582-2214, p.153-156; V. Geanta, **I. Voiculescu**, E-M. Stanciu, Hafnium influence on the microstructure of FeCrAl alloys, International Conference on Innovative Research 2016-ICIR Euroinvent 2016, IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 133 (2016) 012016, doi:10.1088/1757-899X/133/1/012016, p. 1-8; **Voiculescu, I.**; Geanta, V.; Ștefănoiu, R.; Cotrut, C.; Ciocoiu, R.; Ionescu, M., Mechanical and Microstructural Characterization of a New Corrosion Resistant Stainless Steel, EUROINVENT ICIR 2018, IOP Conference Series-Materials Science and Engineering, Volume: 374, Art. No: UNSP 012018, WOS: 000446775900018) și la un contract de cercetare (contract PCCA 243/2014 - Materiale metalice avansate pentru noile generații de centrale nucleare, 4R – NUCLEARARMAT). În prezent am în vedere testarea tehnologiilor de prelucrare cu laser a suprafețelor aliajelor FeCrAl înainte și după imersarea acestora în plumb topit pe perioade îndelungate (circa 10 luni, la 500°C). Scopul urmărit este optimizarea tehnologiilor de prelucrare a suprafețelor prin retopire cu laser și aprofundarea problematicii comportării la sudare a acestor aliaje speciale.

În ceea ce privește **aliajele cu entropie ridicată**, se precizează faptul că astfel de aliaje au fost elaborate în cadrul Laboratorului ERAMET din UPB, de către echipa de cercetare din care fac parte, încă din anul 2012.

Principalele tipuri de familii de aliaje studiate au fost AlxCoCrFeNi și AlxCrFeMnNi, fiind avute în vedere și alte familii de aliaje pentru aplicații bio-medicale, militare sau în aeronautică (aliaje ușoare cu entropie ridicată). Spre deosebire de aliajele tradiționale, care utilizează un element metalic solvent principal (cum ar fi de exemplu Fe, Al, Cu, Ti etc, care constituie matricea de bază) în matricea căruia se introduc, în diferite procente, elemente chimice diverse (elemente de aliere), la aliajele cu entropie ridicată dezvoltate începând cu anul 1995, se

utilizează minim 5 elemente chimice diferite, aflate în proporții echi-molare, care generează valori ale entropiilor de amestecare mai mari decât cele corespunzătoare aliajelor tradiționale în stare lichidă sau în soluție solidă. Aceste noi materiale metalice au un grad ridicat de dezordine atomică, ceea ce determină variații unice ale caracteristicilor magnetice și electrice, proprietăți mecanice deosebite (duritate și rezistență la uzură foarte mari), proprietăți electrochimice (rezistență la oxidare, rezistență la coroziune). Aliajele de tip  $Al_xCoCrFeNi$  sunt din categoria materialelor metalice ductile, cu o bună prelucrabilitate prin deformare plastică cu grade diferite de reducere progresive (5%, 15 %, 30 % sau 50 %), ce pot fi ulterior durificate prin aplicarea unor tratamente termice de omogenizare la 1100 °C timp de 24 de ore, urmat de recoacere la 900°C cu menținere între 1 - 50 ore.

Microstructura aliajului conține, după omogenizare, atât faze cu rețea c.v.c precum și faze secundare cu rețea c.f.c, valorile durității după aplicarea tratamentelor termice putând atinge valori în domeniul 60-65HRC, energia de rupere fiind de circa 60J la 20°C iar rezistența la compresiune depășind 2000MPa (Voiculescu I., Geantă, V., Ștefănoiu, R., Patroi, D., Binchiciu, H., *Influence of the Chemical Composition on the Microstructure and Microhardness of AlCrFeCoNi High Entropy Alloy*. Revista de Chimie, Vol. 64, No. 12, **2013**, pp.1441-1444; **Voiculescu, I.**, Geantă, V., Vasile, I.M., Ștefănoiu, R., Tonoiu, M., *Characterisation of weld deposits using as filler metal a high entropy alloy*. Journal of Optoelectronics and Advanced Materials, Vol. 15, No. 7-8, July – August **2013**, pp.650 – 654; Cherecheș, T., Lixandru, P., Geantă, V., **Voiculescu, I.**, Dragnea, D., Ștefănoiu, R. Layered Structures Analysis, with High Entropy Alloys, for Ballistic Protection. Applied Mechanics and Materials – Trans Tech Publications, Switzerland, Vol. 809 – 810, Innovative Manufacturing Engineering International Conference, ImanE 2015, Iași, 20 – 22.05.2015), ISSN: 1662-7482, **2015**, p. 724-729, DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMM.809-810.724; V. Geanta, T. Chereches, P. Lixandru, **I. Voiculescu**, R. Stefanoiu, D. Dragnea, T. Zecheru, L. Matache, Virtual Testing of Composite Structures Made of High Entropy Alloys and Steel, *Metals* **2017**, 7, 496; doi:10.3390/met7110496, WOS:000416803200046 (Q1, Q2), IF=1,9. p.1-14, ISSN: 2075-4701; V. Geantă, **I. Voiculescu**, I. Miloșan, B. Istrate, I. M. Mateș, Chemical Composition Influence on Microhardness, Microstructure and Phases Morphology of  $Al_xCrFeCoNi$  High Entropy Alloys, Revista de chimie, 69, no. 4 (**2018**), p. 798-801, ISSN - 0034-7752, IF=1,232).

Pe baza acestor caracteristici mecanice deosebite, echipa de cercetare din care fac parte a propus realizarea de pachete balistice pentru protecția împotriva proiectilelor perforante, obținând rezultate mai bune comparativ cu soluția existentă (otel slab aliat tratat termic pentru blindaje). În continuare, pe baza rezultatelor obținute în cadrul contractelor de cercetare (Structuri compozite rezistente la solicitări dinamice aplicate cu viteze mari de deformare utilizate în domeniul protecției colective – **HEAMIL**, Contract PARTENERIATE-PCCA, nr. 209/2012, Sisteme de protecție individuală și colectivă pentru domeniul militar pe bază de aliaje cu entropie ridicată – **HEAPROTECT** Nr. 20 PCCDI 2018), vor fi dezvoltate alte rețete de aliaje cu entropie ridicată microaliate, care vor fi asamblate utilizând tehnologii avansate de sudare sau brazare, cu materiale de adaos speciale. Totodată, vor fi realizate prin

brazare pachete balistice din combinații de materiale (aliaje cu entropie ridicată și materiale ceramice), care vor fi supuse ulterior testelor dinamice la impact și explozie pentru validarea performanțelor.

O altă direcție de cercetare care va fi urmărită în cadrul activității de cercetare post abilitare va fi depunerea prin sudare urmată de prelucrarea cu inducție a unor aliaje cu entropie ridicată pe suport din oțel carbon, pentru aplicații care necesită rezistență la uzură. Până în prezent s-au obținut o serie de rezultate promițătoare prin încărcarea cu procedeul WIG a aliajului AlxCrFeMnNi pe dinții de excavator pentru foraj din exploatarea miniere de suprafață, și și-a propus efectuarea de cercetări pentru creșterea performanțelor acestor aliaje prin aplicarea unor tratamente termice de omogenizare sau adăugarea unor elemente de microalieră cum ar fi Zr, Y, Ti și Hf.