

НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ

Предмет: Подобност теме и кандидата Васа Д. Манојловића, дипл. инж. мет., за израду докторске дисертације

Одлуком 35/76 од 26.02.2015. године, именовани смо за чланове Комисије за оцену подобности теме и кандидата Васа Д. Манојловића, дипл. инж. мет., за израду докторске дисертације и научне заснованости теме МЕТАЛОТЕРМИЈСКА РЕДУКЦИЈА У РЕЦИКЛАЖНИМ ТЕХНОЛОГИЈАМА ПРИМЕЊЕНА НА МЕТАЛУРШКЕ МЕЋУПРОИЗВОДЕ И ОТПАДЕ.

На основу материјала приложеног уз Захтев кандидата, Комисија подноси следећи

РЕФЕРАТ

1. Подаци о кандидату

1.1. Биографски подаци

Васо Д. Манојловић рођен је 11.05.1985. године у Никшићу, где је завршио основну школу и гимназију – природно-математички смер. Технолошко – металуршки факултет је уписао школске 2004/05. године. Дана 28.09.2010. године завршио је студије на одсеку Металургија и метални материјали са општим успехом 8,91. Дипломски рад одбранио је на тему „Испитивање могућности рециклаже магнезијума поступком вакуумске дестилације“, под руководством ментора проф. др Жељка Камберовића са оценом 10.

Докторске студије уписао је школске 2010/11. године на смеру Металуршко инжењерство, под руководством проф. др Жељка Камберовића. Положио је све испите предвиђене планом и програмом докторских студија са просјечном оценом 9,85, као и завршни рад са темом „Енергетски биланс плазма лучног реактора за редукционо топљење“.

Од јануара 2011. до јануара 2012. године ради као сарадник у настави на Техничком факултету „Михајло Пупин“ у Зрењанину, Универзитета у Новом Саду. У том периоду ангажован је и на пројекту Министарства науке и технолошког развоја, са називом „Одрживи развој технологија и опреме за рециклажу моторних возила“ под руководством проф. др Милана Павловића. Од маја 2012. године ради као истраживач сарадник у Институту за технологију нуклеарних и других минералних сировина у Београду, у Центару за металуршке технологије, где је ангажован на пројекту Министарства науке и технолошког развоја, са називом „Развој технолошких поступака ливења под утицајем електромагнетног поља и технологија пластичне прераде у топлом стању четворокомпонентних легура Al-Zn за

специјалне намене“ под руководством проф. др Звонка Гулишије. Поред тога, ангажован је и на процесима производње оксида и соли метала, као и нискотопивих легура.

Учесник је бројних међународних конференција, као и скупова организованих преко пројекта „Banat-air“ у преко-граничној (ИПА) сарадњи између Техничког факултета „Михајло Пупин“ у Зрењанину, Србија и Универзитета Политехника, Темишвар, Румунија. Добро влада инжењерским софтверима, међу којима су значајни: „HSC Chemistry“, „Comsol Multiphysics“, „Matlab“ и „AutoCAD“.

1.2. Стечено научноистраживачко искуство

Васо Д. Манојловић је школске 2010/2011 године уписао докторске студије на Технолошко-металуршком факултету Универзитета у Београду на студијском програму Металуршко инжењерство. Положио је све испите предвиђене планом и програмом докторских студија са просјечном оценом 9,85, као и завршни рад са темом „Енергетски биланс плазма лучног реактора за редукционо топлeње“.

Положени испити на докторским студијама:

Предмет	Оцена	ЕСПБ
Феномени преноса у инжењерству материјала	10	5
Физичка металургија	10	4
Математичка обрада експерименталних података	8	5
Структура и својства металних материјала	10	5
Металургија праха	10	4
Савремени процеси и материјали у ливарству	10	4
Инжењерство површина	10	4
Металургија заваривања	10	4
Материјали за високотемпературске намене	10	4
Очвршћавање метала	10	4
Виши курс металуршких процеса	10	4
Кинетика фазних трансформација	10	4
Енглески језик	10	-
Завршни испит	10	30
Просечна оцена 9,85	Збир ЕСПБ поена 81	

Учесник је следећих пројеката Министарства просвете, науке и технолошког развоја Републике Србије:

- пројекат технолошког развоја TR35033 „Одрживи развој технологија и опреме за рециклажу моторних возила“ под руководством проф. др Милана Павловића, од јануара 2011. до јануара 2012. године.
- пројекат технолошког развоја TR34002 „Развој технолошких поступака ливења под утицајем електромагнетног поља и технологија пластичне прераде у топлом стању четворокомпонентних легура Al-Zn за специјалне намене“ под руководством проф. др Звонка Гулишије, од маја 2012. године.

Од јануара 2011. до јануара 2012. запослен као сарадник у настави, на Техничком факултету „Михајло Пупин“ у Зрењанину, Универзитет у Новом Саду, где учествује у наставним активностима на смеру Инжењерство заштите животне средине.

Из досадашњег научно-истраживачког рада Васа Д. Манојловића, проистекли су следећи резултати:

(M23) Рад у међународном часопису

1. V. Manojlović, Ž. Kamberović, M. Sokić, Z. Gulišija, V. Matković, *Optimization of Recycling Processes of Magnesium from Highly Contaminated waste*, *Materiali in Tehnologije / Materials and Technology*, 48, 4 (2014) 571-575. ISSN 1580-2949, (IF (2013)– 0,555).

(M24) Рад у часопису међународног значаја верификованог посебном одлуком

1. M. Sokić, I. Ilić, Z. Gulišija, N. Štrbac, V. Manojlović, *Postupci prerade sekundarnih sirovina bakra*, *Zaštita materijala*, 54, 4 (2013) 409-414. ISSN 0351-9465
2. V. Matković, B. Marković, M. Sokić, V. Manojlović, *Valorizacija olova iz međuprodukata rafinacije bizmuta postupkom metalotermijske redukcije*, *Zaštita materijala*, 56, 1, (2015) 59-63. ISSN 0351-9465, UDC: 669.76.054.1

(M33) Саопштење са међународног скупа штампано у целини

1. Ž. Kamberović, V. Manojlović, M. Pavlović, M. Gavrilovski (2011) *Valorization of Post Consumer Aluminum Scrap in the Shredding Process*, I International Conference “Ecology of urban areas”, Zrenjanin, Serbia, page 132-139. ISBN 978-86-7672-145-0, Organizers: Technical Faculty “Mihajlo Pupin” (Zrenjanin), Politehnica University (Timisoara)
2. Ž. Kamberović, V. Manojlović, M. Pavlović, Z. Anđić, A. Vujović (2011) *Recycling of End of Life Vehicles in Serbia as Resource of Secondary Aluminum*, ISWA Beacon 2011, Waste-to-energy and Packaging Waste in Developing Countries in the SEE, Middle East and Mediterranean Region, Novi Sad, Serbia, Proceedings, page 97-102, ISBN 978-86-7892-361-6
3. M. Sokić, Z. Gulišija, I. Ilić, V. Manojlović (2012) *Procedures for metallurgical processing of copper secondary raw materials*, 2nd International Conference „Ecology of Urban Areas 2012“, Ečka-Zrenjanin, page 119-125. ISBN 978-86-7672-172-6
4. A. Tomović, M. Pavlović, V. Manojlović, M. Simić, (2012) *Potentials for Depollution of End-of-Life Vehicles and their Importance for Environmental Quality in Serbia*, 2nd International Conference „Ecology of Urban Areas 2012, Ečka-Zrenjanin, page 480-487. ISBN 978-86-7672-172-6
5. M. Sokić, I. Ilić, Z. Gulišija, Ž. Kamberović, N. Štrbac, V. Manojlović, (2013) *Sources and forecasting of non-ferrous secondary raw materials creation*, The 45th International October Conference on Mining and Metallurgy, 16-19 October 2013, Bor Lake, Bor (Serbia), 774-777. ISBN 978-86-6305-012-9
6. V. Manojlović, Ž. Kamberović, M. Simić, D. Ivšić-Bajčeta, M. Korać, M. Pavlović, A. Tomović, (2013) *Treatment of eaf-dust in dc plasma furnace - off-gas composition modelling and comparison with real measurements*, III International Conference „Ecology of urban areas 2013“, Zrenjanin, Ečka, Serbia 11th October, page: 143-148, ISBN 978-86-7672-209-9
7. A. Tomović, Z. Veljković, M. Pavlović, D. Jevtić, M. Simić, V. Manojlović, *The Utilization Of Recycled Polyethylene Terephthalate (Pet) As A Material In The Building Industry*, III

International Conference „Ecology of urban areas 2013“, Zrenjanin, Ečka, Serbia 11th October, page: 416-423, ISBN 978-86-7672-209-9

8. M. Simić, M. Pavlović, A. Tomović, V. Manojlović, M. Filipović, *Regional Cluster As An Organizational Model For Increasing The Efficiency Of The Motor Vehicles Recycling*, III International Conference „Ecology of urban areas 2013“, Zrenjanin, Ečka, Serbia 11th October, page 573-577, ISBN 978-86-7672-209-9
9. M. Sokić, I. Ilić, Z. Gulišija, N. Štrbac, V. Manojlović, *Pretreatment of copper secondary raw materials for their metallurgical processing*, III International Congress “Engineering, Environment and Materials in Processing Industry, Ed.: M. Gligorić et al., Jahorina, March 04-06, 2013, Bosnia and Herzegovina, 975-982. ISBN 978-99955-81-11-4
10. V. Matković, V. Manojlović, M. Sokić, B. Marković, Z. Gulišija, Ž. Kamberović, *Production of high grade purity magnesium using vacuum distillation and sublimation processes*, First Metallurgical & Materials Engineering Congress of South-East Europe (MME SEE 2013), Ed.: E. Romhanji et al., 23-25 May 2013, Belgrade, Serbia, 241-247. ISBN 987-86-87183-24-7
11. M. Sokić, I. Ilić, Z. Gulišija, V. Manojlović, *Procedures for preparation and metallurgical processing of iron and steel chips*, 3rd International Symposium on Natural Resources Management, Ed.: B. Đorđević, 30.-31. May 2013, Zaječar, Serbia, 35-43. ISBN 978-86-7747-486-7
12. M. Sokić, B. Marković, V. Matković, N. Štrbac, Ž. Kamberović, D. Živković, V. Manojlović, *Leaching of Complex Sulphide Concentrate in Oxidative Sulphuric Acid Solution*, VIth International Metallurgical Congress, CD-ROM of full texts: EM-3, Ed.: S. Cvetkovski & G. Načevski, 29.05.-01.06. 2014, Ohrid.
13. V. Manojlović, V. Matković, M. Sokić, B. Marković, *Procedures for obtaining of magnesia from seawater*, VIth International Metallurgical Congress, CD-ROM of full texts: IRM-4, Ed.: S. Cvetkovski & G. Načevski, 29.05.-01.06. 2014, Ohrid.
14. B. Marković, M. Sokić, V. Matković, D. Živković, D. Manasijević, N. Štrbac, V. Manojlović, *Thermodynamic and kinetic analysis of the chlorination of copper (I) sulphide in the $Cu_2S-CaCl_2-O_2$ system*, VIth International Metallurgical Congress, CD-ROM of full texts: EM-1, Ed.: S. Cvetkovski & G. Načevski, 29.05.-01.06. 2014, Ohrid.
15. M. Sokić, Z. Gulišija, B. Marković, N. Štrbac, V. Manojlović, *Steel scrap as an important resource in the production of iron and steel*, 4th International Symposium on Natural Resources Management, Ed.: D. Mihajlović & B. Đorđević, 31st May -1st June 2014, Zaječar, 187-194. ISBN: 978-86-84763-04-6
16. M. Sokić, I. Ilić, V. Manojlović, B. Marković, Z. Gulišija, M. Pavlović, N. Štrbac, *Modelling and forecasting of end of life vehicles number distribution in Serbia*, 46th International October Conference on Mining and Metallurgy, Ed.: N. Štrbac et al., 1-3 October 2014, Bor Lake, 449-452. ISBN 978-86-6305-026-6
17. M. Sokić, V. Matković, B. Marković, Z. Gulišija, V. Manojlović, *Nickel based secondary raw materials and procedures for their processing*, IV International Conference "ECOLOGY OF URBAN AREAS 2014", Ed.: M. Pavlović et al., 9-10th October 2014, Zrenjanin, Serbia, 211-217. ISBN 978-86-7672-237-2.

18. A. Spasic, J. M. Jovanovic, V. Manojlovic, M. Jovanovic, *Electron transfer and memory storage phenomena at the interfaces of selected emulsions and double emulsions*, 21st International Congress of Chemical and Process Engineering CHISA 2014 Prague, 23-27 August 2014 Prague, Czech Republic, Serial Nu. 0218, Czech Society of Chemical Engineering, 2014. ISBN 978-80-02-02555-9

(M34) Саопштење са међународног скупа штампано у изводу

1. V. Matković, M. Sokić, B. Marković, V. Manojlović, *Recycling of hazardous waste from galvanization*, VIth International Metallurgical Congress, Book of abstract, Ed.: S.Cvetkovski & G.Načevski, 29.05.-01.06. 2014, Ohrid, 133. ISBN 978-9989-9571-5-4

(M51) Рад у водећем часопису националног значаја

1. M. Sokić, I. Ilić, Z. Gulišija, Ž. Kamberović, N. Štrbac, V. Manojlović, *Modeli za procenu nastajanja sekundarnih sirovina obojenih metala*, Journal of engineering & processing management, Bosna i Hercegovina, 4, 1 (2013) ISSN 1840-4774
2. M. Gavrilovski, V. Manojlović, Ž. Kamberović, M. Korać, M. Sokić, *Semi-empirical optimization software for aluminothermic and carbothermic reactions processes*, Metallurgical and Materials Engineering, 20, 3 (2014) 199-206. ISSN 2217-8961

(M52) Рад у часопису националног значаја

1. V. Matković, V. Manojlović, M. Sokić, B. Marković, Z. Gulišija, Ž. Kamberović, *Optimal conditions of vacuum distillation process for obtaining the high grade pure magnesium*, Tehnika-RGM, 65, 1 (2014) 58-62. ISSN 0040-2176

(M64) Саопштење са скупа националног значаја штампано у изводу

1. V. Manojlović, V. Matković, M. Sokić, B. Marković, *Mogućnosti dobijanja magnezita iz morske vode*, Naučni skup „Prirodni resursi Paštrovića u kontekstu crnogorskog primorja“, Knjiga sažetaka, Ed.: D. Medin, 12-13. oktobar 2013, Petrovac na moru, 22.,

(M83) Нови технолошки поступак

1. M. Sokić, B. Marković, V. Matković, N. Štrbac, D. Živković, A. Mitovski, V. Manojlović, *Hidometalurški postupak prerade polimetaličnih Pb-Zn-Cu sulfidnih koncentrata luženjem rastvorom sumporne kiseline i natrijum-nitrata pri standardnom pritisku*, ITNMS, Beograd, 2014.

1.3. Оцена подобности кандидата за рад на предложеној теми

На основу досадашњег рада и показаних резултата досадашњих истраживања у области Металуршког инжењерства, а нарочито у области рециклажних технологија у металургији секундарних сировина и екстрактивној металургији, као и броја и квалитета објављених радова, Комисија оцењује да је Васо Д. Манојловић, дипл. инжењер металургије, показао склоност и изразиту способност за обављање научно-истраживачког рада, те да је подобан за рад на предложеној теми докторске дисертације.

2. Предмет и циљ истраживања

2.1. Предмет научног истраживања

Предмет научног истраживања у оквиру предложене теме је проучавање сложених термодинамичких услова за одвијање физичко-хемијских реакција металотермијске редукције проучаваних оксидних система, карактеристичних за предложене полазне материјале. Резултати ових проучавања представљаће основу за израду универзалног математичког модела модела који ће описивати функционалну зависност параметара металотермијских процеса редукције проучаваних оксидних система, карактеристичних за предложене полазне материјале. Адекватност модела ће бити проверена у лабораторијским и увећаним лабораторијским условима. Модел ће омогућити добијање оптималних услова металотермијске редукције оксидних система полазних материјала, а све у доприносу успостављања синегрије материјалних и енергетских токова.

Под металуршким међупроизводима и отпадом подразумевају се металоносне сировине које се образују током одвијања примарних металуршких процеса добијања метала. Конкретно, у оквиру дисертације истраживањима ће бити обухваћени: коварина, прашина електролучних пећи („Electric-arc Furnace Dust“ – ЕАФД) и цинк-оксидни талози, који се јављају у хидрометалургији цинка.

Коварина, као железоносна сировина и оксидни прекурсор металотермијске реакције, настаје оксидацијом површине челичних полупроизвода током загревања, непосредно пре топлотвања (10 кг/т челика). На годишњем нивоу у Србији генерише се приближно 1000 тона коварине. Представља важан извор секундарних сировина због високог садржаја железа а ниског садржаја примеса. Уобичајно је да се коварина након припреме (пелетизација, синтеровање, уклањање уља и сл.) враћа у процес производње челика. Око 90% коварине се рециклира на месту где се и генерише, а остатак се користи за добијање феролегура, у цементарама и петрохемијској индустрији.

ЕАФД је међупроизвод индустрије за производњу гвожђа и челика, који се генерише у количини од 15-20 кг/т произведеног челика и сматра се опасним отпадом, по Директиви Европске Уније „Directive 91/689/EC“, због реалтивно високог садржаја цинка, олова, кадмијума и хрома. Према томе, ова врста отпада мора се депоновати и третирати законски прописаним начином. ЕАФД обично садржи од 18-35% цинка, 15-3% железа, 3-8% олова, тако да представља и важан извор ових метала. Постоје различите методе за третман ЕАФД у свету, међу којима су најзначајнији приометалуршки (‘Waeltz’ процес), хидрометалуршки, као и различити поступци солидификације.

Цинк оксидни талог Јаросит PbAg представља мешавину цинк јаросита и олово-сребро талоба и настаје као међупроизвод у технолошком поступку прераде сулфидног концентрата цинка хидрометалуршким поступком у постројењу Зорка обојена металургија. Технологија јаросит талоба примењује се преко четири деценије, па сходно томе, постоји одређена количина јаросит PbAg талоба, који садржи многе метале, међу којима цинк, олово, кадмијум, бакар, са значајним садржајем ретких метала.

Поступком металотермијске редукције се металима са високим афинитетом према кисеонику, пре свих алуминијумом и магнезијумом, редукују оксиди метала до њиховог елементарног облика. Редукценти су алуминијум и магнезијум из примарних и секундарних извора, припремљени на начин који знатно увећава њихову реакциону површину. Секундарни извори алуминијума, настају у амбалажној индустрији као процесни отпад при производњи амбалаже у облику фолија различите дебљине. Секундарни извори магнезијума настају при ливењу и претапању магнезијума, такође као процесни отпад у облику опиљака.

2.2. Циљеви истраживања

Научни циљеви истраживања су:

- Проучавање механизма и енергетских ефеката сложених реакција металотермијске редукције оксидних система полазних материјала, који укључују металну фазу, шљаку и гасовиту фазу на релативно високим процесним температурама.
- Проучавање утицаја различитих улазних параметара на процес металотермијске редукције полазних материјала, као што су однос количина улазних сировина, процесна температура, као и начина припреме улазних сировина.
- Израда универзалног модела који за основу користи материјални и топлотни биланс добијен лабораторијским испитивањима, а након провере његове адекватности исти ће бити проверена и у увећаним лабораторијским условима.

2.3. Релевантни библиографски извори

- [1] Janaina G.M.S. Machado et al. *Chemical, physical, structural and morphological characterization of the electric arc furnace dust*. Journal of Hazardous Materials, vol. 136, 3, 2006, Pages 953-960
- [2] Asokan Pappu, Mohini Saxena, Shyam R. Asolekar, *Jarosite characteristics and its utilisation potentials*. Science of The Total Environment, vol. 359, 1–3, 2006, Pages 232-243
- [3] P. Asokan, M. Saxena, S.R. Asolekar, *Recycling hazardous jarosite waste using coal combustion residues*. Materials Characterization, vol. 61, 12, 2010, Pages 1342-1355
- [4] Chia-Cheng Wu, Fang-Chih Chang, W.-S. Chen, Min-Shing Tsai, Ya-Nang Wang. *Reduction behavior of zinc ferrite in EAF-dust recycling with CO gas as a reducing agent*. Journal of Environmental Management, vol 143, 1, 2014, Pages 208-213
- [5] Michel Shengo Lutandula, Guylain Ngoy Kashala, *Zinc oxide production through reprocessing of the electric arc furnace flue dusts*. Journal of Environmental Chemical Engineering, vol. 1, 3, 2013, Pages 600-603
- [6] José Alencastro de Araújo, Valdir Schalch. *Recycling of electric arc furnace (EAF) dust for use in steel making process*. Journal of Materials Research and Technology, vol 3, 3, 2014, Pages 274-279
- [7] Ali Maleki, Masoud Panjepour, Behzad Niroumand, Mahmood Meratian, *Mechanism of zinc oxide–aluminum aluminothermic reaction*. Journal of Material Science, vol. 45, 2010, Pages 5574–5580
- [8] Chiranjib Kumar Gupta, *Chemical Metallurgy Principles and Practice*. 2003 WILEY-VCH, Weinheim ISBN: 3-527-30376-6
- [9] A. Roine, Chemical Reaction and Equilibrium Software with Thermochemical Database and Simulation Module, HSC Chemistry® 6.1, Outotec Research Oy, Pori, Finland, 2007.
- [10] L. Duraes, B. Costa, R. Santos, A. Correia, J. Campos, A. Portugal, *Fe₂O₃/aluminum thermite reaction intermediate and final products characterization*. Materials Science and Engineering A, 465 (2007) 199–210.
- [11] J. Robinson, *Aluminothermic smelting: a versatile process serving demanding markets*. International Smelting Technology Symposium (Incorporating the 6th Advances in Sulfide Smelting Symposium), Edited by: J. P. Downey, Th. P. Battle, J. F. White, TMS (The Minerals, Metals & Materials Society), (2012) 3-8.

- [12] B.S.B. Reddy, K. Das, S. Das, A review on the synthesis of in situ aluminium based composites by thermal, mechanical and mechanical-thermal activation of chemical reactions. *Journal of Materials Science*, 42, (2007) 9366-9378.
- [13] J. Meia, R.D. Halldearna, P. Xiaoa, Mechanisms of the aluminium-iron oxide thermite reaction. *Scripta Materialia*, 41, 5 (1999) 541-548.

3. Полазне хипотезе

Предложена истраживања у оквиру ове докторске дисертације полазе од хипотезе да је метода металотермијске редукције одабраних полазних материјала технолошко одржив, енергетски повољан и еколошки прихватљив поступак у односу на класичне металуршке поступке редукције у трмичким агрегатима. При томе се полази од следећих претпоставки:

- коришћени алуминијум и магнезијум у својству редуцената из примарних и секундарних извора могу се припремити на начин који ће обезбедити спонтане металотермијске реакције са оксидним системима из коварине, ЕАФД и цинк-оксидних талога.
- додатак прорачунате количине редуцената обезбедиће егзотермне реакције, које ће значајно умањити утрошак енергије при редукцији оксидних система полазних материјала у електролучној пећи.
- математичким моделовањем енергетског и материјалног биланса смеше полазних материјала са алуминијумом и магнезијумом може се направити оптималан састав који ће обезбедити минималан утрошак укупне енергије процеса редукције оксидних система полазних материјала, уз што већу екстракцију метала из полазних сировина, како ванпећним поступком, тако и у електролучним пећима.
- финални продукти процеса су комерцијални производи од којих се издвајају гвожђе, цинк-оксид и шљака, која је погодна за употребу у ватросталној и грађевинској индустрији.
- олово и кадмијум се могу уклонити испаравањем у електро-лучној пећи, током процеса редукције претходно моделоване и припремљене мешавине полазних материјала и редуцената.

4. Научне методе истраживања

Коварина, ЕАФД, цинк-оксидни талог, алуминијум и магнезијум из примарних и секундарних извора су сировине чији хемијски и фазни састав зависи од више параметара процеса у којима се они генеришу, међу којима је најважнији састав улазних сировина. Поред тога, њихов фазни састав зависи и од услова њиховог складиштења и изложености атмосферским условима. Према томе, неопходно је извршити детаљну карактеризацију хемијског и фазног састава ових сировина методама рендгенско-дифрактометријске анализе (XRD), оптичке микроскопије, скенирајуће електронске микроскопије (SEM), атомске апсорпционе спектроскопије, инфрацрвене спектроскопије са Фуријеовом трансформацијом (FT-IR), диференцијално-термијске и термогравиметријске анализе и гранулометријске анализе.

Услед великог броја једињања и метала који потичу из ЕАФД, коварине, цинк-оксидног талога, као и секундарних извора магнезијума и алуминијума који учествују у процесу металотермијске редукције, укупна реакција је веома сложена тако да је неопходно извршити експериментална истраживања при различитим комбинацијама улазних сировина. Методом факторијалне анализе могуће је планирати експерименте на начин који је погодан за испитивање механизма и енергије реакција, као и добијања оптималног односа улазних компоненти код процеса металотермијске редукције металуршког отпада. Ови експерименти одвијаће се у малим магнезитним реакционим судовима, праћењем температуре, хемијског и

фазног састава производа реакције. Промене температуре пратиће се директно, термопаровима типа C, као и индиректним методама са термовизијским камерама. Карактеризација продуката реакције вршиће се хемијским и рендгенографским анализама (XRD), као и микроструктурним испитивањима на оптичком и електронском микроскопу (SEM). Након прикупљања података и њиховом статистичком обрадом формираће се математички модел који ће оптимизовати материјални и енергетски биланс процеса.

Верификација модела реакције металотермијске редукције металуршког отпада одвијаће се у лабораторијском електро-лучном реактору једносмерне струје, са снагом до 100 kW, при чему се прате температура, снага пећи, хемијски састав производа реакције (метал, шљака и гасна фаза), као и укупни материјални и енергетски биланс.

5. Очекивани научни допринос

По завршетку предложених истраживања може се очекивати следећи научни допринос:

- развој оригиналног универзалног математичког модела за металотермијску редукцију оксидних система полазних материјала, који ће бити примењив на све врсте металуршких међупроизвода и отпада без обзира на њихов квалитативно-квантитативан састав;
- дефинисање електролучног металотермијског поступка редукције оксидних система као и других једињења садржаних у металуршким међупроизводима и отпадима са редуцентима из примарних и секундарних извора;
- утврђивање ефеката металотермијске редукције на повећање енергетске ефикасности примарног електролучног поступка;
- изучавање могућности валоризације корисних компоненти садржаних у металуршким међупроизводима и отпадима металотермијском редукцијом;
- добијање максималних еколошких ефеката, превођењем опасног отпада у значајан секундаран извор за добијање метала.

6. План истраживања и структура рада

Предмет рада докторске дисертације је проучавање сложених термодинамичких услова за одвијање физичко-хемијских реакција металотермијске редукције проучаваних оксидних система, карактеристичних за предложене полазне материјале. Према томе, испитиваће се могућност металотермијске редукције металуршких међупроизвода и отпада, као и утицај хемијског и фазног састава улазних сировина на укупни материјални и енергетски биланс.

У докторској дисертацији ће бити обрађена следећа поглавља: *Увод, Теоријски део, Експериментални део, Резултати и дискусија, Закључак и Литература (после сваког поглавља).*

У *Уводу* ће бити дефинисан предмет рада, истакнут значај истраживања, мотивација, допринос и актуелност.

Поглавље *Теоријски део* обухватиће:

- Металотермија, принципи и примена
- Реактори за третман металуршких отпада, преглед са енергетског аспекта

- Металуршки међупроизводи и отпад: прашина из електро-лучне пећи, цинк-оксидни талог, коварина: генерисање у Србији и свету; хемијски и фазни састав; актуелни поступци њиховог третмана

Поглавље *Експериментални део* обухватиће:

- Карактеризација хемијског и фазног састава металуршких међупроизвода и отпада: ЕАФД, јаросит и коварина, гранулометријске анализе (XRD, SEM, Оптичка микроскопија, атомска апсорциона спектроскопија, диференцијално-термијска и термогравиметријска анализа
- Карактеризација примарних и секундарних извора алуминијума и магнетијума погодних за металотермијске процесе (FT-IR, Одређивање специфичне површине припремљених узорка, диференцијално-термијска и термогравиметријска анализа, SEM, Оптичка микроскопија)
- Опис опреме која се користи за експериментална истраживања
- Опис метода и техника извођења експеримената

У оквиру *Резултата и дискусије* биће представљени и дискутовани резултати експеримената:

- Анализа могућих реакција у систему и приказ математичког модела примењеног на дати систем при различитим варијацијама улазних сировина
- Анализа енергетских ефеката при различитим варијацијама улазних сировина
- Приказ и анализа резултата металотермијске редукције при различитим варијацијама улазних сировина (Карактеризација производа реакције: метал, шљака, прашина, гас)
- Материјални и енергетски биланси металотермијске редукције при различитим варијацијама улазних сировина
- Одређивање механизма реакција које преовлађују при металотермијској редукцији металуршког отпада
- Оптимизација модела на основу резултата металотермијске редукције
- Провера адекватности модела при увећаним лабораторијским условима

У *Закључку* ће бити сумирани добијени резултати изведени на основу приказаних истраживања и представљене могућности металотермијског поступка редукције оксидних система полазних материјала, коришћењем редуцената из примарних и секундарних извора.

Литература ће садржати наводе цитиране у дисертацији као и радове који су проистекли истраживањем у оквиру ове докторке дисертације.

7. Закључак и предлог

На основу изложеног Комисија сматра да је тема предложене докторске дисертације под насловом „Металотермијска редукација у рециклажним технологијама примењена на металуршке међупроизводе и отпаде“ коју је предложио Васо Манојловић, дипл. инж. металургије, научно заснована и да представља значајан допринос научној области Металуршко инжењерство за коју је Технолошко-металуршки факултет Универзитета у Београду матична установа. Уже области предложене теме су рециклажне технологије у металургији секундарних сировина и екстрактивна металургија.

Комисија предлаже Наставно-научном већу Технолошко-металуршког факултета Универзитета у Београду да кандидату Васу Манојловићу одобри израду докторске дисертације под наведеним насловом. За ментора докторске дисертације Комисија предлаже др Жељка Камберовића, редовног професора Технолошко-металуршког факултета Универзитета у Београду.

У Београду, 29.4.2015.

ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ

.....
Проф. др Жељко Камберовић,
Универзитета у Београду, Технолошко-металуршки факултет

.....
Проф. др Мирјана Филиповић,
Универзитета у Београду, Технолошко-металуршки факултет

.....
Др Мирослав Сокић,
Виши научни сарадник, Институт за технологију нуклеарних
и других минералних сировина

.....
Др Марија Кораћ,
Виши научни сарадник, Универзитета у Београду
Технолошко-металуршки факултет

.....
Др Милорад Гавриловски,
Научни сарадник, Универзитета у Београду,
Иновациони центар Технолошко-металуршки факултет