

ФАКУЛТЕТ ТЕХНИЧКИХ НАУКА У НОВОМ САДУ

ИЗВЕШТАЈ О ОЦЕНИ ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ

-обавезна садржина- свака рубрика мора бити попуњена

(сви подаци уписују се у одговарајућу рубрику, а назив и место рубрике не могу се мењати или изоставити)

| I ПОДАЦИ О КОМИСИЈИ | |
|------------------------------|--|
| 1. | <p>Датум и орган који је именовао комисију</p> <p>На основу предлога Катедре за материјале и технологије спајања, Одлуке Наставно-научног већа Департамента за производно машинство и одлуке Наставно-научног већа Факултета техничких наука, а у складу са чланом 77, став 1, Статута Факултета техничких наука, Декан Факултета техничких наука, решењем 012-72/18-2010/2 од 26.03.2015. године, именовао је Комисију за оцену и одбрану докторске дисертације.</p> |
| 2. | <p>Састав комисије са назнаком имена и презимена сваког члана, звања, назива уже научне области за коју је изабран у звање, датума избора у звање и назив факултета, установе у којој је члан комисије запослен:</p> <ol style="list-style-type: none"> Др Катарина Герић, редовни професор, 08.09.2008., Факултет техничких наука – Нови Сад, уно: Наука о материјалима и инжењерски материјали; председник Др Дамир Какаш, редовни професор, 14.03.1994., Факултет техничких наука – Нови Сад, уно: Инжењерство површина, термичка обрада, ливарство; члан Др Зијаж Бурзић, научни саветник, 21.10.2007., Војнотехнички институт – Београд, уно: Инжењерство материјала, интегритет конструкција и механика лома; члан Др Оливера Ерић Цекић, доцент, 11.03.2015., Факултет за машинство и грађевинарство – Краљево, уно: Машински материјали; члан Др Лепосава Шиђанин, професор емеритус, 24.01.2008., Факултет техничких наука – Нови Сад, уно: Наука о материјалима, инжењерски материјали и микроскопија; ментор |
| II ПОДАЦИ О КАНДИДАТУ | |
| 1. | <p>Име, име једног родитеља, презиме:</p> <p>ДРАГАН (МАРКО) РАЈНОВИЋ</p> |
| 2. | <p>Датум рођења, општина, држава:</p> <p>20.03.1975.г., Вуковар, Р. Хрватска</p> |
| 3. | <p>Назив факултета, назив студијског програма дипломских академских студија – мастер и стечени стручни назив</p> <p>Факултет техничких наука, Нови Сад, Одсек: Машинска струка, смер: Производно машинство 2, Стечени стручни назив: Дипломирани машински инжењер</p> |
| 4. | <p>Година уписа на докторске студије и назив студијског програма докторских студија</p> <p>--</p> |
| 5. | <p>Назив факултета, назив магистарске тезе, научна област и датум одбране:</p> <p>Факултет техничких наука, Нови Сад, „Карактеризација, особине и прелазна температура легираних АДИ материјала“ Машинско инжењерство 12.06.2009.г.</p> |

6. Научна област из које је стечено академско звање магистра наука:

Техничке науке, област Машинство

III НАСЛОВ ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ:

Утицај микроструктуре на прелазну температуру АДИ материјала

IV ПРЕГЛЕД ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ:

Навести кратак садржај са знаком броја страна, поглавља, слика, шема, графикана и сл.

Предмет истраживања ове докторске дисертације је АДИ материјал (Austempered Ductile Iron), односно утицај микроструктуре на особине и понашање АДИ материјала на ниским температурама.

АДИ материјал се добија изотермном трансформацијом нодуларног лива, при чему се варирањем параметара термичког третмана добијају особине у широком дијапазону. Током изотермне трансформације јавља се веома комплексна микроструктура од које зависе особине АДИ материјала. У задње време, делови израђени од АДИ материјала користе се за машине и уређаје који раде у екстремним температурним условима на отвореном простору током целе године. Зато, поред карактеристика материјала на собној температури веома је важно познавати особине и понашање материјала и на ниским температурама.

У овој дисертацији, након добијања АДИ материјала од нелегираног нодуларног лива, извршена је свеобухватна карактеризација применом различитих техника. Од полазног нодуларног лива, такође је произведен и феритни нодуларни лив који је кориштен за упоређење понашања чисто феритне микроструктуре са комплексном аусферитном микроструктуром. АДИ материјали су добијени аустемперовањем: аустенитизација на 900°C/2h и изотермна трансформација на 300, 350 или 400°C у трајању од 1, 2 или 3h. Материјали су прво испитивани на собној температури (микроструктура, удео фаза, затезне карактеристике, тврдоћа, енергија удара, морфологија лома), а затим и у температурном интервалу (од -196 до +100°C), где је на основу енергија удара одређена прелазна температура. Посебна пажња је посвећена промени микроструктуре и морфологије лома на ниским температурама.

На основу добијених резултата дата су објашњења о зависности механичких карактеристика од микроструктуре АДИ материјала. Произведени АДИ материјали су класификовани у складу са најновијим стандардима (SRPS EN 1564:2013, ISO 17804:2005 и ASTM A897M-06), а на основу тога, практично је одређен опсег процесирања. Функционално је описана промена енергије удара са снижавањем температуре и израчуната прелазна температура. Посебан акценат је стављен на утицај количине задржаног аустенита и његове стабилности на прелазну температуру. Дефинисана су подручја у којима доминантан утицај на прелазну температуру има количина задржаног аустенита (више температуре), и подручја у којима значајнији утицај има његова стабилност, односно обогаћеност задржаног аустенита угљеником (ниске температуре). Приказани резултати о трансформацији задржаног аустенита у мартензит или у смешу ферита и карбида у зависности од стабилности (обогачености угљеником) и температуре представљају посебан научни допринос ове дисертације о АДИ материјалима, док су добијени резултати прелазне температуре и опсеги процесирања веома значајни за примену АДИ материјала у инжењерској пракси.

Научни прилаз истраживању и реализацију постављених циљева докторске дисертације под насловом „Утицај микроструктуре на прелазну температуру АДИ материјала“, кандидат мр Драган Рајновић је изложио у 7 поглавља, на 205 страна.

Дисертација садржи: 51 табелу, 148 слика/графикана/шема/дијаграма и 212 литературних референци.

Испред основног дела текста у раду су дати: наслов рада, захвалност, кључна документацијска информација и садржај.

Дисертација је организована у следеће целине:

Увод

1. Преглед досадашњих истраживања
2. Експериментална процедура
3. Резултати
4. Дискусија
5. Закључци
6. Литература

Увод

У уводу је приказан значај тренда примене нових напредних материјала, као и унапређивање и осавремењавање већ постојећих. Посебно је наглашен АДИ материјал као врста напредног материјала чије се особине током аустемперовања могу мењати у широком опсегу. АДИ материјал је пример када се од конвенционалног материјала правилним избором и применом савремених технологија добија материјал врхунских карактеристика. Пошто се од АДИ материјала израђују делови великих тешких машина, који раде у свим атмосферским условима посебна пажња је посвећена понашању АДИ материјал при ударном оптерећењу на ниским температурама. Обзиром да се микроструктура АДИ материјала састоји из аусферитног ферита са ЗЦК структуром и задржаног аустенита са ПЦК структуром, поставља се питање како би се АДИ материјал са оваквом сложеном микроструктуром у тим условима понашао. Стога, у уводу дисертације је недвосмислено наглашен значај микроструктуре као носиоца особина са једне стране, тако и неопходних техника карактеризације АДИ микроструктуре са друге стране. Сходно томе, постављена је основна хипотеза да ће повећање садржаја задржаног аустенита са ПЦК структуром позитивно утицати на понашање АДИ материјала при ударном оптерећењу на ниским температурама. На основу постављене хипотезе, на крају увода су дати основни циљеви истраживања.

Комисија сматра да су у уводном делу проблематика и значај понашања АДИ материјала на ниским температурама адекватно дефинисани. Потреба за испитивањем је јасно образложена и указано је на основне факторе за које се претпоставља да имају висок утицај на понашање на ниским температурама. Дата хипотеза је правилно формулисана, а циљеви су јасни, оствариви и омогућују успешну реализацију дисертације.

1. Преглед досадашњих истраживања

У овом поглављу систематски је дат преглед досадашњих истраживања везаних за АДИ материјале, полазећи од ливених гвожђа, као групе материјала којима и АДИ припада, преко карактеристика и особина нодуларног лива који служи као полазни материјал за добијање АДИ-ја. Затим је дат обиман приказ добијања и особина АДИ материјала и утицај значајних фактора од којих су издвојени параметри аустемперовања и опсег процесирања. Описане су микроструктуре АДИ материјала које су добијене различитим техникама карактеризације. Посебан осврт је посвећен стабилности задржаног аустенита (високо-обогаћеног и ниско-обогаћеног угљеником) у условима виших температура, дејства напона или пластичне деформације, и ниских температура. Поред тога, дат је и значај утицаја трансформације задржаног аустенита на механичке особине. У прегледу досадашњих истраживања, поред литературних навода дат је и критички осврт на приказане резултате. Констатовано је да постоје неусаглашености, недоследности и неуједначености код појединих аутора, као и између различитих аутора. Поред тога, дат је и преглед стандардизације, механичких особина и примене АДИ материјала. На крају прегледа дата су досадашња сазнања о прелазној температури и понашању нодуларног лива и АДИ материјала приликом испитивања енергије удара на сниженим температурама.

Сматра се да је преглед досадашњих истраживања написан јасно и обухваћени су сви неопходни аспекти за истраживања спроведена у дисертацији. Посебно се истиче квалитетан критички приступ литературним подацима и уочавање разлика између појединих аутора.

2. Експериментална процедура

Сходно постављеном циљу истраживања, у експерименталном поглављу прегледно је дат редослед и опис процедура добијања и карактеризације материјала. За истраживање је коришћен нелегирани полазни нодуларни лив, феритни нодуларни лив, и различите класе АДИ материјала произведене у дисертацији. Технике карактеризације су описане јасно и са довољним нивоом детаља који омогућују лако разумевање накнадно остварених резултата и њихову поновљивост. За карактеризацију је коришћен велики број различитих техника, од којих треба нагласити: светлосну микроскопију на термички обојеним узорцима; скенинг електронску микроскопију; рендгеноструктурну анализа дифракцијом x -зрака за одређивање количине задржаног аустенита и садржаја угљеника у задржаном аустениту; и испитивање енергије удара на инструментираним Шарпијевом клатну. Поред тога, детаљно је описан поступак испитивања енергије удара у температурном интервалу од -196 до $+100^{\circ}\text{C}$, као и статистичка метода предложена од стране Тодинова (оригинално коришћена за челичне материјале у нуклеарним постројењима), а у дисертацији примењена за израчунавање криве прелазне температуре код АДИ материјала.

Комисија сматра да је описани избор метода, техника, узорака и експерименталних процедура адекватан и јасно приказан, да омогућује поновљивост свих експеримената и успешну реализацију постављених циљева докторске дисертације.

3. Резултати

Први део резултата односи се на свеобухватну карактеризацију полазног нодуларног лива, феритног нодуларног лива и различитих класа АДИ материјала добијених у целокупном опсегу аустемперовања, као што је наведено у експерименталној процедури. Приказани резултати су јасни и систематски, а груписани су по врсти испитиваног материјала. За сваки материјал, резултати обухватају хемијски састав, микроструктуру, механичке карактеристике и морфологије лома. У другом делу дати су резултати карактеризације посебно изабраних АДИ материјала и феритног нодуларног лива за температурни интервал од -196 до $+100^{\circ}\text{C}$. На основу резултата добијених на инструментираним Шарпијевом клатну, одређене и приказане су криве зависности енергије удара од температуре, као и вредности саме прелазне температуре. Затим су приказани резултати микроструктуре, рендгеноструктурне анализе и изгледа површина лома за температурни интервал од -196 до $+100^{\circ}\text{C}$. У овом делу, резултати су груписани по врсти испитивања или прорачуна, а затим приказани појединачно за сваки испитивани материјал.

Сматра се да су сви резултати приказани систематски и прегледно за сваки материјал и одговарајуће параметре аустемперовања. Резултати су дати табеларно, дијаграмски или у виду фотографија код микроструктура и морфологије лома. Приказани резултати су свеобухватни и квалитетни, и као такви представљају добру подлогу за квалитетну дискусију и процену утицаја појединих фактора на особине АДИ материјала.

4. Дискусија

У четвртном поглављу извршена је детаљна анализа резултата и дата је аргументована дискусија о карактеристикама полазног нодуларног лива, феритног нодуларног лива и произведених АДИ материјала. Код АДИ материјала, посебно је вреднован утицај параметара аустемперовања на микроструктуру и механичке особине. За температурни интервал од -196 до $+100^{\circ}\text{C}$, адекватно је уочен утицај стабилности и количине задржаног аустенита на понашање материјала при ударном дејству оптерећења. Дефинисана су подручја у коме доминантан утицај на прелазну температуру има количина задржаног аустенита (више температуре) и подручја где је значајнији утицај стабилности задржаног аустенита, тј. његова обогатеност угљеником (ниске температуре). Дата дискусија о трансформацији задржаног аустенита у мартензит или у смешу ферита и карбида у зависности од температуре и његове стабилности (обогатености угљеником) представља посебан научни допринос ове дисертације о АДИ материјалима.

Комисија сматра да је дискусија на високом научном нивоу, нарочито део који се односи на поређење сопствених резултата са резултатима других аутора, процену значаја појединих утицајних фактора, као и њихове међусобне зависности. На крају, сматра се да је дискусија одговарајућа, са високим научним приступом, аргументована и свеобухватна.

5. Закључци

У петом поглављу дата су закључна разматрања и сумирани резултати добијени у оквиру докторске дисертације. Закључци су јасно и прегледно приказани у 9 тачака у складу са логичким целинама о особинама материјала или утицајних фактора на понашање на ниским температурама. Комисија сматра да закључци дају одговоре на постављену хипотезу и циљеве дисертације.

6. Литература

Списак коришћене литературе је дат у завршном поглављу и садржи 212 литературних навода. Од тога су 50 референци из периода 2011-2015 и 36 из периода 2006-2010, што заједно представља 41% референци из задњих 10 година. Висок проценат приказаних и кориштених најновијих литературних навода додатно потврђује да је тема дисертације научно актуална.

VI СПИСАК НАУЧНИХ И СТРУЧНИХ РАДОВА КОЈИ СУ ОБЈАВЉЕНИ ИЛИ ПРИХВАЋЕНИ ЗА ОБЈАВЉИВАЊЕ НА ОСНОВУ РЕЗУЛТАТА ИСТРАЖИВАЊА У ОКВИРУ РАДА НА ДОКТОРСКОЈ ДИСЕРТАЦИЈИ

Таксативно навести називе радова, где и када су објављени. Прво навести најмање један рад објављен или прихваћен за објављивање у часопису са ISI листе односно са листе министарства надлежног за науку када су у питању друштвено-хуманистичке науке или радове који могу заменити овај услов до 01. јануара 2012. године. У случају радова прихваћених за објављивање, таксативно навести називе радова, где и када ће бити објављени и приложити потврду о томе.

У периоду од пријаве докторске дисертације, кандидат је био аутор и ко-аутор на 26 радова везаних за проблематику АДИ материјала. Од тога су 4 рада у врхунском међународном часопису- M21, 1 рад у истакнутом међународном часопису-M22, 11 саопштење са међународног скупа штампано у целини-M33, 2 рада у часопису националног значаја-M52, 3 предавања по позиву са скупа националног значаја штампано у целини-M61, 2 техничка решења - нови материјал-M82, 2 техничка решења - битно побољшан постојећи производ или технологија-M84 и 1 техничко решење - база података-M86.

У наставку су дати најзначајнији радови везани са радом на докторској дисертацији.

M21 Рад у врхунском међународном часопису

1. **D. Rajnovic**, S. Balos, L. Sidjanin, O. Eric Cekic, J. Grbovic Novakovic: Tensile properties of ADI material in water and gaseous environments, *Materials Characterization*, Vol. 101, 2015, 26-33, (ISSN 1044-5803)
2. M. Dojcinovic, O. Eric **D. Rajnovic**, L. Sidjanin, S. Balos: Effect of austempering temperature on cavitation behaviour of unalloyed ADI material, *Materials Characterization*, Vol. 82, 2013, 66-72 (ISSN: 1044-5803)
3. Sidjanin, **D. Rajnovic**, O. Eric, R. E. Smallman: Austempering study of unalloyed and alloyed ductile irons, *Materials Science and Technology*, Vol. 26, No. 5, 2010, 567-571 (ISSN 0267-0836)

M22 Рад у истакнутом међународном часопису

4. **D. Rajnovic**, O. Eric, L. Sidjanin: The standard processing window of alloyed ADI materials, *Kovove Materialy - Metallic Materials*, Vol. 50, no. 3, 2012, 199 - 208 (ISSN 0023-432X)

M33 Саопштење са међународног скупа штампано у целини

5. **D. Rajnovic**, O. Eric Cekic, D. Labus, M. Dramicanin, S. Balos, L. Sidjanin: The microstructure characterization of unalloyed austempered ductile iron, *Proceedings of 18th International Microscopy Congress, Prague, Czech Republic, 7 - 12 September, 2014, MS-4-P-3014, 1-2* (ISBN 978-80-260-6720-7)
6. **D. Rajnovic**, D. Labus, S. Balos, M. Dramicanin, O. Eric Cekic, L. Sidjanin: Influence of water and gaseous environments on tensile properties of austempered ductile iron, *45th International October Conference on Mining and Metallurgy, Bor, Serbia, October 16-19, 2013, 495-498* (ISBN 978-68-6305-012-9)
7. **D. Rajnovic**, L. Sidjanin: The ductile to brittle transition temperature of unalloyed ADI material, *Proceedings of the 11th International Scientific Conference on Advanced Production Technologies - MMA 2012, Novi Sad, Serbia, September 20-21, 2012, 485-488* (ISBN 978-86-7892-419-4)
8. **D. Rajnovic**, O. Eric, M. Novovic, V. Grozdanic, S. Balos, L. Sidjanin: The SEM study of crack nucleation and propagation path in alloyed ADI materials, *Proceedings of the 15th European Microscopy Congress EMC2012, Manchester, UK, 16-21 September 2012, PS1.4, P538, 1-2*
9. **D. Rajnović**, O. Erić, M. Damjanović, S. Balos, L. Sidjanin: The crack propagation study in alloyed ADI materials, *Proceedings of 34th International Conference on Production Engineering, Niš, Serbia, September 28-30, 2011, 231-234* (ISBN 978-86-6055-019-6)
10. **D. Rajnovic**, O. Eric, S. Balos, M. Damjanovic, L. Sidjanin: The microstructure and fracture mode study of alloyed ADI materials at low temperature, *Proceedings of 10th Multinational Congress on Microscopy 2011, Scientific Compus Urbino University, »Carlo Bo«, Urbino, Italy, September 4-9 2011, 621-622*

M61 Predavanje po pozivu sa sкупа nacionalnog značaja štampano u celini

11. L. Šidanin, **D. Rajnović**, S. Balos: Mikrostruktura i osobine naprednih materijala za livenje, *Zbornik radova XVII Savetovanja o međulaboratorijskim ispitivanjima materijala, Komitet za međulaboratorijska ispitivanja materijala, Jagodina, Srbija, 28.-29. Septembar 2011., 51-57* (ISBN 978-86-911831-3-4)

M84 Техничко решење - Битно побољшан постојећи производ или технологија

12. O. Erić Cekić, S. Baloš, **D. Rajnović**, L. Šidanin, M. Dramićanin, D. Labus, M. Dojčinović: Postupak proizvodnje nelegiranih ADI materijala sa poboljšanim otporom na kavitaciju, *Tehničko rešenje - Bitno poboljšan postojeći proizvod ili tehnologija, Inovacioni centar Mašinskog fakulteta u Beogradu, korisnik: Livnica Topola a.d., Topola, projekat: „Projektovanje, razvoj i primena nove generacije ADI materijala“ TR34015, 2014, 1-16*

13. S. Baloš, **D. Rajnović**, L. Šidanin, M. Dramićanin, D. Labus, O. Erić Cekić: Postupak proizvodnje nelegiranih ADI materijala sa poboljšanom otpornošću na abrazivno habanje, Tehničko rešenje - Bitno poboljšan postojeći proizvod ili tehnologija, Fakultet tehničkih nauka u Novom Sadu, korisnik: Livnica Topola a.d., Topola, projekat: „Projektovanje, razvoj i primena nove generacije ADI materijala“ TR34015, 2014, 1-14

M86 Tehničko rešenje - Baza podataka

14. **D. Rajnović**, S. Baloš, L. Šidanin, D. Labus, M. Dramićanin, O. Erić: Pregled karakteristika i izbor ADI materijala, Tehničko rešenje - Baza podataka, Fakultet tehničkih nauka u Novom Sadu, korisnik: „Industrijski kombinat Guča“ a.d., Guča, projekat: „Projektovanje, razvoj i primena nove generacije ADI materijala“ TR34015, 2012, 1-11

VII ZAKЉUČICI OДНОСНО РЕЗУЛТАТИ ИСТРАЖИВАЊА

На основу изведених експеримената и добијених резултата у овој докторској дисертацији изведени су следећи закључи.

- 5.1 Нодуларни лив истраживан у овој дисертацији према механичким особинама припада класи EN-GJS-450-10, чије су карактеристике полазне микроструктуре (графитних нодула и металне основе) омогућиле добијање високо-квалитетних АДИ материјала.
- 5.2 Поред полазног нодуларног лива, феритизационим жарењем добијен је феритни нодуларни лив који је кориштен за упоређење понашања чисто феритне микроструктуре са комплексном аусферитном микроструктуром АДИ материјала на ниским температурама. Феритни нодуларни лив према механичким особинама припада класи EN-GJS-400-18.
- 5.3 Применом различитих параметара аустемперовања, у целом опсегу аустемперовања, добивене су 4 класе АДИ материјала, почевши од најдуктилније до најјаче: 400°C/1h - EN-GJS-900-8; 400°C/2÷3h - EN-GJS-1050-6; 350°C/1÷3h - EN-GJS-1200-3; 300°C/1÷3h - EN-GJS-1400-1.
- 5.4 Закључено је да аусферитна микроструктура металне основе добијених АДИ материјала зависи од параметара аустемперовања, односно првенствено од температуре и времена изотермне трансформације. На нижим температурама (300 и 350°C), услед брже аусферитне реакције, и мање дифузије угљеника ствара се игличаста морфологија аусферита, са мањом количином задржаног аустенита који садржи већу количину угљеника. Са друге стране, при вишим температурама (400°C) изотермне трансформације долази до успоравања процеса настанка феритних клица уз олакшану дифузију угљеника, што погодује расту феритних плочица и настанку плочасте морфологије аусферитног ферита, са већом количином задржаног аустенита, али са мањим садржајем угљеника. Дугачка времена трансформације (300°C/3h и 400°C/3h) узрокују смањење удела задржаног аустенита, односно долази до другог стадијума трансформације када задржани аустенит почиње да се распада на ферит и карбиде, тј беинит.
- 5.5 Закључено је да механичке особине на собној температури зависе од морфологије аусферита и количине задржаног аустенита, односно од примењених параметара аустемперовања. Игличаста морфологија и нижи садржај задржаног аустенита, добијени на нижим температурама трансформације, дају вишу чврстоћу, ниже издужење, мање енергије удара и већу тврдоћу. Супротно, са променом морфологије од игличасте до плочасте и повећањем количине задржаног аустенита са порастом температуре трансформације, чврстоћа и тврдоћа се смањују, а издужење и енергија удара се повећавају. Поред тога, на издужење и енергију удара утиче и време изотермне трансформације. При дужим временима издвајају се карбиди и смањује количина задржаног аустенита, што има за последицу пад издужења и енергија удара.
- 5.6 У складу са променом механичких особина и количине задржаног аустенита мења се и морфологија лома АДИ материјал. Крта морфологија лома јавља се када је у структури присутна мала количина задржаног аустенита или због карбида насталих током другог стадијума изотермне трансформације. Потпуно дуктилни лом је присутан код узорака који имају висок садржај задржаног аустенита, односно високу енергију удара и издужење. У зависности од односа количине задржаног аустенита и присутности карбида јавља се мешовити лом. Морфологија лома епрувета без зареза и епрувета са „V“ зарезом је слична за исте термичке третмане. Код епрувета са „V“ зарезом олакшан је настанак прелине, тако да је енергија потребна за настанак прелине и до 22 пута мања у односу на епрувете без зареза.

- 5.7 Закључено да је математички модел Тодинова и пратећа статистичка процедура који су иницијално развијени и примењени за одређивање прелазне температуре челика за посуде под притиском у нуклеарним електранама, погодни и за примену код АДИ материјала, како за опис зависности енергије удара од температуре, тако и за одређивање једначина кривих прелазне температуре и саме прелазне температуре. Штавише, модел се може успешно применити и за одређивање криве прелазне температуре на основу процентуалног удела кртог и дуктилног лома на површини лома, што је и оригинално примењено у овој докторској дисертацији.
- 5.8 Микроструктура феритног нодуларног лива се не мења са снижавањем температуре у целом опсегу испитивања. Задржава се висока вредност енергије удара све до -60°C , након чега долази до наглог пада. Прелазна температура на основу критеријума 50% апсорбоване енергије износи -89°C при 78 J. Морфологија лома не одговара високим вредностима енергије удара и већ на температури од 0°C присутно је 42% удела кртог лома на површини прелома. Применом услова 50% дуктилног и 50% кртог лома добијена је прелазна температура од само -5.42°C , што је у складу са морфологијом лома и сматра се да више одговара општем понашању материјала који је крт на ниским температурама.
- 5.9 Закључено је да на понашање АДИ материјала на сниженим температурама највећи утицај има микроструктура (количина задржаног аустенита и његова стабилност, тј. обогаћеност угљеником). Стабилни, угљеником високо-обогачени, задржани аустенит, добијен при нижим температурама изотермне трансформације задржава своју стабилност све до -150°C . Позитиван ефекат високе стабилности задржаног аустенита изражен је за АДИ $300^{\circ}\text{C}/1\text{h}$, на температурама нижим од -101°C , где линија прелазне температуре има највеће вредности у односу на остале АДИ материјале. Прелазна температура за АДИ $300^{\circ}\text{C}/1\text{h}$ износи -18.9°C при $E_{0.5}=59\text{ J}$. Најниже прелазне температуре имају АДИ материјали изотермно трансформисани на 350°C (АДИ $350^{\circ}\text{C}/1\text{h}$, $T_{0.5}=-40.9^{\circ}\text{C}$ за $E_{0.5}=79.6\text{ J}$; и АДИ $350^{\circ}\text{C}/3\text{h}$, $T_{0.5}=-42^{\circ}\text{C}$ за $E_{0.5}=85.5\text{ J}$). Најниже вредности прелазне температуре су резултат најбоље комбинације између количине задржаног аустенита и његове стабилности. АДИ $350^{\circ}\text{C}/1\text{h}$ и АДИ $350^{\circ}\text{C}/3\text{h}$ имају највеће вредности енергије удара у односу на остале материјале у интервалу од -32.6 до -101°C , односно од -19 до -99°C , респективно. Најмања стабилност задржаног аустенита је присутна је код АДИ $400^{\circ}\text{C}/1\text{h}$, где се услед смањења температуре метастабилни, угљеником ниско-обогачени, задржани аустенит трансформише у мартензит. Настанак мартензита изазива релативно брзо смањење енергија удара са снижењем температуре, тако да АДИ $400^{\circ}\text{C}/1\text{h}$ има највеће енергије удара само до -32.6°C у односу на АДИ $350^{\circ}\text{C}/1\text{h}$, односно само до -19°C ако се упоређује са АДИ $350^{\circ}\text{C}/3\text{h}$. Прелазна температура за АДИ $400^{\circ}\text{C}/1\text{h}$ износи -24.2°C за $E_{0.5}=92.3\text{ J}$. Ако су у АДИ материјалу пре испитивања прелазне температуре присутни карбиди настали током другог стадијума изотермне реакције, као што је случај са АДИ $400^{\circ}\text{C}/3\text{h}$, долази до брзог пада енергија удара са снижавањем температуре испитивања. Такође, прелазна област је најужа и помера се у односу на друге АДИ материјале ка вишим температурама, а прелазна температура износи -11.5°C са $E_{0.5}=64.5\text{ J}$.

VIII ОЦЕНА НАЧИНА ПРИКАЗА И ТУМАЧЕЊА РЕЗУЛТАТА ИСТРАЖИВАЊА

Експлицитно навести позитивну или негативну оцену начина приказа и тумачења резултата истраживања.

На основу прегледа и анализе докторске дисертације Комисија сматра да је целокупан приказ дисертације (Увод; Преглед досадашњих истраживања; Експериментална процедура; Резултати; Дискусија; Закључци; Литература) добро и јасно структуриран, прегледан, систематичан и у складу је са пријављеном темом дисертације. Тумачење резултата је на високом научном нивоу, аргументовано и свеобухватно, а добијени закључци произилазе из остварених резултата. Комисија ПОЗИТИВНО оцењује начин приказа и тумачења резултата истраживања.

IX КОНАЧНА ОЦЕНА ДОКТОРСKE ДИСЕРТАЦИЈЕ:

Експлицитно навести да ли дисертација јесте или није написана у складу са наведеним образложењем, као и да ли она садржи или не садржи све битне елементе. Дати јасне, прецизне и концизне одговоре на 3. и 4. питање:

1. Да ли је дисертација написана у складу са образложењем наведеним у пријави теме

ДА - Дисертација је у потпуности написана у складу са образложењем наведеним у пријави теме.

2. Да ли дисертација садржи све битне елементе

ДА - Дисертација садржи све битне елементе: предмет и опис проблема, полазну хипотезу и циљеве истраживања, преглед досадашњих истраживања и актуелног стања у области АДИ материјала, експерименталну процедуру са савременим методама истраживања, прегледан приказ резултата, исцрпну дискусију и јасне закључке. Полазне претпоставке и циљеви истраживања су у потпуности остварени. Истраживање је оригинално, тумачења резултата су на високом научном нивоу, а закључци истраживања су концизно презентовани.

3. По чему је дисертација оригиналан допринос науци

Микроструктурно истраживање количине и стабилности задржаног аустенита у корелацији са процентуалним садржајем угљеника на ниским температурама и њихов комбиновани утицај на прелазну температуру код аустемперованог нодуларног лива (АДИ материјала) представља оригинални научни допринос дисертације.

4. Недостаци дисертације и њихов утицај на резултат истраживања

Дисертација НЕМА недостатака који утичу на резултат истраживања.

X ПРЕДЛОГ:

На основу укупне оцене дисертације, комисија предлаже:

- **да се докторска дисертација прихвати, а кандидату одобри одбрана**

ПОТПИСИ ЧЛАНОВА КОМИСИЈЕ

Проф. др Катарина Герић, редовни професор,
Факултет техничких наука – Нови Сад, председник

Проф. др Дамир Какаш, редовни професор,
Факултет техничких наука – Нови Сад, члан

Др Зијаж Бурзић, научни саветник,
Војнотехнички институт - Београд, члан

Др Оливера Ерић Цекић, доцент,
Факултет за машинство и грађевинарство – Краљево, члан

Проф. др Лепосава Шиђанин, професор емеритус,
Факултет техничких наука – Нови Сад, ментор

НАПОМЕНА: Члан комисије који не жели да потпише извештај јер се не слаже са мишљењем већине чланова комисије, дужан је да унесе у извештај образложење односно разлоге због којих не жели да потпише извештај.