

УНИВЕРЗИТЕТ У ПРИШТИНИ
ФАКУЛТЕТ ТЕХНИЧКИХ НАУКА
КОСОВСКА МИТРОВИЦА

ПРИМЉЕНО	21. 09. 2018
БРОЈ ДЕЛА	935/1

НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ ФАКУЛТЕТА ТЕХНИЧКИХ НАУКА У КОСОВСКОЈ МИТРОВИЦИ

Одлуком Наставно-научног већа ФТН у Косовској Митровици бр. 685/3-1 донетој на седници одржаној 29.06.2018. године именована је Комисија за преглед, оцену и одбрану докторске дисертације

ПРИЛОГ ИСТРАЖИВАЊУ УТИЦАЈА ХЕМИЈСКОГ САСТАВА НА МИКРОСТРУКТУРУ, ОТПОРНОСТ НА ХАБАЊЕ И МОГУЋНОСТ ПРИМЕНЕ КОВНИХ ВИСОКОХРОМНИХ ЧЕЛИКА

кандидата Вукоја Вукојевића, дипл. инж, металургије у саставу:

1. др Александар Тодић, доцент., ФТН Косовска Митровица - председник,
2. др Александар Седмак, ред. проф., Маш. факултета Београд - ментор,
3. др Бранко Пејовић, ред. проф., ФТН Косовска Митровица – члан.

Након прегледа докторске дисертације и увида у целокупну документацију и делатност кандидата, сагласно Закону о Универзитету, Закону о Високом образовању и Статуту Факултета техничких наука у Косовској Митровици. Комисија подноси Наставно-научном већу следећи

ИЗВЕШТАЈ

о урађеној докторској дисертацији

1. БИОГРАФСКИ ПОДАЦИ

Вукоје Вукојевић, дипл. инж. металургије, рођен је 20. 04. 1956. године у Лепосавићу. После завршене основне школе, уписао је и завршио средњу техничку школу, „Никола Тесла“ у Лепосавићу, 1975. године. Дипломирао је на Рударско-металуршком факултету, Универзитета у Приштини, 1981. године и стекао звање дипломирани инжењер металургије.

После дипломирања и одслужења војног рока запослио се у ковачници у Лешку која је пословала у саставу система "Иво Лола Рибар" - Београд, где и данас ради. Његова професионална каријера приказана је у табели:

- | | |
|------------|--|
| 1984-1990. | Технолог - конструктор, ИЛР - Фабрика машинских делова, Лешак |
| 1990-1995. | Руководилац конструкционо-технолошког бироа, ИЛР - Фабрика робота и алата, Београд |
| 1995-2015. | Директор Лола-ФОТ Фабрика отковака д.о.о. Београд-Лешак |
| 2015-2017. | Технолог техничког бироа Лола-ФОТ Фабрика отковака д.о.о. Лешак |
| 2009-2013. | Председник Привредне коморе Косова и Метохије |

У професионалној пракси, кандидат Вукоје Вукојевић углавном се бавио решавањем технолошких проблема везаних за производњу отковака од

угљеничних, легираних и специјалних челика. Као дугогодишњи директор привредне компаније био је ангажован и на изради инвестиционих програма и пројеката који су изведени у компанији *Лола-ФОТ Фабрика отковака д.о.о.* Лешак, као и различитих пројекта из области заштите животне средине (студије изводљивости, стратегије заштите животне средине, стратегије одрживог развоја, управљање отпадом, итд.) које су директно биле везане за пословање фабрике којом је руководио.

Био је укључен као сарадник на два иновациона пројекта које је финансирало Министарство за науку, технологије и развој Републике Србије и једном којег је финансирало Министарство заштите животне средине. Ови пројекти су реализовани заједно са Факултетом техничких наука, Универзитета у Приштини.

Био је ангажован и у научно-истраживачком раду, највише у областима: везаним за специјалне челике отпорне на хабање, киселоотпорне и ватроотпорне челике. Поред тога бавио се и решавањем еколошких проблема, посебно новим технологијама у области рециклаже и управљања отпадом.

Главне области интересовања у његовој професионалној делатности биле су: технологија пластичне деформације метала, термичка обрада челика, стратегија и оптимизација производње челичних отковака, специјални челици отпорни на хабање, киселоотпорни и ватроотпорни челици, еколошки материјали, композитни и тврди материјали.

По природи свог професионалног ангажовања бавио се и проблематиком индустријског менаџмента, руковођењем привредних и инжењеринг послова, проблематиком стратегије и трендова у производњи и пласману челика, проблематиком организације инжењеринга и истраживања у великим привредним системима, итд.

2. ПОДОБНОСТ И ОБЈАВЉЕНИ РАДОВИ КАНДИДАТА

Кандидат је положио све испите предвиђене студијским програмом докторских студија *Машинско инжењерство* чиме је испунио услове и стекао право да пријави тему докторске дисертације. Његова средња оцена положених испита на докторским студијама износи 9,25 (девет и 25/100).

Кандидат је аутор више радова, објављених у домаћим и међународним часописима или саопштених на међународним научним конференцијама. Научно-истраживачка и стручна активност кандидата верификована је кроз објављене радове из области инжењеринга материјала, металургије и машинства и то:

- 1. научни рад са SCI листе категорије M21 у врхунском међународном часопису,
- 2. научна рада са SCI листе категорије M23 у међународном часопису,
- 2. научна рада категорије M33 саопштена на међународним научно-стручним скуповима и конференцијама и публикованих у зборницима радова у целости, од којих је на једном раду аутор а на другом коаутор.

3. ПРЕДМЕТ, ОКВИР И ХИПОТЕЗЕ ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ

Докторска дисертација: *Прилог истраживању утицаја хемијског састава на микроструктуру, отпорност на хабање и могућност примене ковних високохромних челика*, према Правилнику о листи стручних, академских и научних назива (Сл. гласник РС, 30/2007, 112/2008, 72/2009, 81/2010, 39/2011 и

54/2011) и Правилнику о научним и уметничким областима, пољима и ужим областима (Сл. гласнику РС", 27/2010) припада научном пољу: *Техничко-технолошке науке*, научној облсти: *Производно машинство* и ужој научној области: *Наука о материјалима*

Предмет ове докторске дисертације је дефинисање утицаја ванадијума на механичка својства, отпорност на хабање и структуру високолегираног хром-молибденског челика са 1% угљеника. Утицај ванадијума на овај квалитет челика до сада није био предмет детаљних научних истраживања и у том смислу ова докторска дисертација представља нови научни допринос у области науке о материјалима, а посебно у домену инжењеринга материјала. Једна од важних карактеристика ове групе челика, по којој се они разликују од осталих високоугљеничних, високолегираних хром-молибденских челика, је да они само у малој мери садрже изразито крти еутектички микроконституент у микроструктури, али се ипак сврставају у фамилију ледебуритних челика.

То омогућава да се под одређеним, дефинисаним условима могу обрађивати пластичном деформацијом, ваљањем или ковањем, па ће финални производ имати боља механичка својства од одливака, пре свега, већу жилавост и знатно бољи однос жилавости и тврдоће, што су основни услови да материјали буду отпорни на хабање. У раду су разматране све фазе технолошког поступка израде узорака, од ливења до завршне термичке обраде финалног производа. Дефинисање утицаја ванадијума показало је да је, под одређеним условима, могуће истовремено добити и довољно тврду и довољно жилаву структуру ових челика, односно микроструктуру која може да обезбеди високу отпорност на хабање и дуг век трајања хабајућих делова. Такође, истраживања су показала да ванадијум има значајан и пресудан утицај на побољшање ударне жилавости и жилавости лома и да се оптимизацијом технолошких параметара: хемијског састава, односно садржаја ванадијума, температуре ковања и режима термичке обраде отковака могу добити производи са изузетно високом отпорношћу на све типове хабања, посебно на абразионо и корозионо-абразионо хабање.

Проблем хабања је присутан у техници од најстаријих времена, а технологије добијања квалитетних материјала отпорних на хабање имају дугу историју и везане су за сам почетак примене легура гвожђа. Нагли развој нових материјала отпорних на хабање започео је крајем шездесетих и почетком седамдесетих година прошлог века, као резултат упознавања процеса трења и хабања, механизма деструкције метала и уопште развојем физике чврстог стања и инжењерства материјала.

Делови и склопови, израђени од високолегираних хром-молибденских челика, имају изузетно добра експлоатациона, односно технолошка својства када су изложени абразионом, корозионо-абразионом, сувом атхезионом или комбинованом хабању. Међутим, у условима ударно-заморног хабања, због недовољне жилавости ових легура, постоји опасност од замора материјала и лома делова. У том смислу, да би се проширио њихов домен примене, потребно је побољшати ово технолошко својство, како ударну жилавост тако и жилавост лома.

Тела изложена ударно-заморном хабању, а посебно у комбинацији са абразионим хабањем морају да имају добру жилавост без карактеристичне појаве кртог лома. Тврди материјали са израженим кртим ломом и малом жилавошћу, на пример нелегирано бело гвожђе, не могу да се користе за било

коју врсту хабајућих тела. У току експлоатације долази до брзог одвајања крупних дебриса створених кртим ломом, а у великом броју случајева и до лома целог хабајућег тела. Са друге стране, жилави материјали са израженим жилавим ломом ће, без обзира на почетну тврдоћу, побољшавати своја хабајућа својства у току експлоатације. Наиме, током рада долази до брушења и глачања радне површине па ће напонско стање површинских слојева бити ниже, а жилавост боља. Осим тога жилави материјал хабајућих тела омогућава да се у току експлоатације изврши ојачавање површинског слоја хладном деформацијом која је последица сталних удара којима су тела изложена. Овај ефекат деформационог ојачавања који је у корелацији са жилавошћу или прецизније дуктилношћу материјала веома повољно утиче на продужење века трајања хабајућих тела.

У одређеним случајевима, лом хабајућег тела услед недовољне жилавости може да изазове хаварију целог агрегата па чак да доведе у питање безбедност радника. На пример, ротациони млинови чекићари захтевају да чекићи који ударима дробе материјал имају добру чврстоћу, жилавост и динамичку чврстоћу. Лом чекића не само што изазива застој ради замене, већ може тешко да оштети млин и изазове хаварију целог система. У тим случајевима, обично се бира материјал веће жилавости који, због мање тврдоће има краћи век трајања. У овом раду испитан је утицај хемијског састава, а посебно ванадијума на микроструктуру, отпорност на хабање и могућности примене ковних, високохромних челика са 12% хрома, 1% угљеника, и 1% молибдена, са идејом да се оптимизацијом хемијског састава и поступка термичке обраде добије нова легура, односно нови квалитет челика, који има високу жилавост и високу тврдоћу и који је као такав отпоран на атхезионо, абразионо, корозионо-абразионо и ударно-заморно хабање. Садржај ванадијума, варирао је од 1,0 до 5,0 процената и показало се да он има позитиван утицај на наведени високолегирани Cr-Mo челик. Ванадијум утиче на ток очвршћавања ове легуре тако што сужава температурни интервал кристализације. Осим тога, у току издавајања примарног аустенита из растопа формирају се V_6C_5 карбиди који блокирају даљи раст аустенитних дендрита и на тај начин помажу добијање ситнозрне структуре. Као што је познато ситнозрна структура је услов да се жилавост челичних отковака повећа.

Ванадијум се, поред тога што образује V_6C_5 карбиде, једним делом распоређује између фаза присутних у структури челика, карбида $(Cr,Fe)_7C_3$ и аустенита. Већи садржај ванадијума омогућава и формирање $(Cr,Fe)_{23}C_6$ карбида и његово таложење у аустениту који се у току процеса хлађења, у локалним подручјима око финих карбидних честица трансформише у мартензит. Другим речима ванадијум смањује количину заосталог аустенита и на тај начин побољшава прокаљивост челика.

4. ЦИЉ, ЗНАЧАЈ И НОВИ НАУЧНИ ДОПРИНОС ИСТРАЖИВАЊА

Основни циљ ове докторске дисертације као истраживачког пројекта био је да се истражи утицај ванадијума на микроструктуру, механичка својства и отпорност на хабање високохромних челика са 1% угљеника и 1% молибдена. Овај квалитет челика разликује се од челика који су често били предмет истраживања у дисертацијама и научним радовима по томе што је садржај угљеника знатно нижи па он у микроструктури садржи врло малу количину

изразито кртог еутектичког микроконституента, ледебурита. То омогућава да овај челик може да се обрађује пластичном деформацијом, односно ковањем. Финални производ, отковак, има боља механичка својства од одливка, пре свега већу жилавост и знатно бољи однос жилавости и тврдоће. Да би се дошло до оптималног резултата разматране су све фазе технолошког поступка израде пробних узорака, од ливења до завршне термичке обраде. Кроз резултате истраживања дефинисани су технолошки параметри производње, хемијски састав и утицај ванадијума, начин ливења и поступак ковања, односно термичке обраде, тако да се добију оптимална својства отковака у погледу отпорности на различите услове хабања. Испитивања су показала да је под одређеним, прецизно дефинисаним условима, могуће истовремено добити довољно тврду и довољно жилаву структуру челика која може да обезбеди високу отпорност на хабање и дуг век трајања хабајућих делова. Такође, истраживања су доказала да ванадијум има веома позитиван утицај на својства отпорности материјала, која обезбеђују отпорност на хабање, посебно на жилавост. Поред тога истраживања су омогућила оптимизацију технолошких параметара производње: хемијског састава челика, садржаја ванадијума, температуре ковања, начина термичке обраде отковака и других. На тај начин створени су услови да се у техничку праксу, односно комерцијалну примену уведе нови квалитет кованог челика, који по неким микроструктурним, механичким и технолошким својствима, а посебно по отпорности на хабање има боља својства од до сада коришћених материјала. Добијени резултати представљају, не само нови научни допринос већ и реалну стручну основу за даљу практичну реализацију ове идеје.

Основни проблем у изради и примени високолегираних Cr-Mo челика је како поред високе тврдоће својствене овим легурама, обезбедити истовремено и високу жилавост. Дуго година је решење тражено у постизању жељене структуре металне основе. Сматрало се да основа мора бити потпуно мартензитна, што се код ових легура постиже каљењем у струји вадуха или у загрејаном уљу. Међутим ниска жилавост мартензитне структуре условила је да истраживања крену у другом правцу и данас су актуелна истраживањима која се односе на могући утицај ванадијума, ниобијума и неких лантанида на стереолошке карактеристике присутних фаза у структури, првенствено карбида. Морфологија и величина карбида имају значајан утицај на особине ових челика па и на жилавост. У раду је посебна пажња посвећена морфологији, стереолошком распореду и крупноћи карбидних фаза, па и у том смислу ова дисертација представља допринос науци, како на примењеном тако и на фундаменталном нивоу.

У докторском раду су врло пажљиво обрађене врсте и механизми фазних трансформација које се одигравају у структури Cr-Mo челика као последица легирања са ванадијумом. Истраживања су показала да су промене у микроструктури проузроковане присуством ванадијума условиле побољшање особина испитиваних челика

Ова докторска дисертација пружила је нова теоријска и практична сазнања о могућностима побољшања својстава високолегираног хромног челика у погледу структуре, механичких својстава и отпорности на хабање променом хемијског састава, а посебно додавањем ванадијума као легирајућег елемента.

До сада је објављен значајан број радова са сличном тематиком, али ово је један од првих са резултатима добијеним после процеса ковања и термичке

обrade челика побољшањем. Знатно нижи садржај угљеника у челику (1,0 мас.% C) омогућио је да се узорци обраде пластичном деформацијом, односно да се после ливења откују поступком слободног ковања. У том смислу, рад представља значајан, допринос, како у теоријским разматрањима физичке металургије ових легура, тако и у будућој производњи и примени нове врсте челика. Заправо, резултати истраживања ће трасирати пут за освајање новог квалитета челика намењеног изради хабајућих делова, а резултати истраживања представљаће нови научни допринос у области инжењеринга материјала.

5. ОЦЕНА О ИСПУЊЕНОСТИ ОБИМА И КВАЛИТЕТА РАДА У ОДНОСУ НА ПРИЈАВЉЕНУ ТЕМУ

Докторски рад написан је на 197. страница, а подељен је на Теоријски део и Експериментални део. Теоријски и Експериментални део садрже по 5. поглавља која представљају заокружене целине. У оквиру ових поглавља текст је илустрован са укупно 137. слика и 24. табеле. Урађена докторска дисертација по обиму и квалитету испуњава постављене захтеве у односу на предложену тему.

При оцени научне заснованости пријављене теме докторске дисертације постављени су следећи основни захтеви:

- Извршити детаљно истраживање утицаја ванадијума на механичка својства и структуру високолегираних хром-молибденских челика, са идејом да се оптимизацијом хемијског састава и поступка термичке обраде отковака остваре висока тврдоћа и висока жилавост добијених узорака. У циљу утврђивања утицаја ванадијума било је предвиђено да се изради низ пробних узорака, при чему је деловање ванадијума требало испитивати на високолегираним хром-молибденским челицима, са 1,0 мас.% угљеника. Испитивање утицаја ванадијума подразумевало је варирање садржаја овог легирајућег елемента у опсегу од 0,0 до закључно 5,0%. Сви наведени захтеви спроведени су у току израде докторске дисертације.
- Кроз резултате истраживања требало је дефинисати технолошке параметре: хемијски састав, посебно оптималан садржај ванадијума, затим начин ливења и поступак термичке обраде побољшањем, тако да се добију добра својства отковака у погледу структуре, механичких особина и отпорности на хабање. Сви наведени циљеви реализовани су кроз израду докторске дисертације. Поред тога микроструктурном анализом испитиваних легура прецизно је дефинисано понашање ванадијума који једним делом гради карбиде, другим делом се распоређује између присутних фаза у структури челика.

6. ЗАКЉУЧАК И ПРЕДЛОГ

На основу прегледа и детаљне анализе докторске дисертације под називом: *Прилог истраживању утицаја хемијског састава на микроструктуру, отпорност на хабање и могућност примене ковних, високохромних челика* кандидата Вукоја Вукојевића, дипл. инж. металургије, Комисија за преглед, оцену и одбрану докторске дисертације закључује да је:

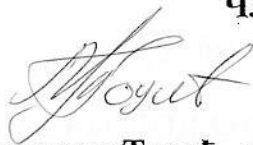
- Кандидат је испунио услове Правилника о пријави, изради и одбрани докторске дисертације;

- Тема предметне докторске дисертације подобна је и актуелна за истраживање;
- На основу приказаних резултата и закључака Комисија констатује да је кандидат, у складу са предвиђеним предметом и постављеним циљевима истраживања успешно завршио своју докторску дисертацију, при чему је дошао до оригиналних научних резултата који су верификовани испитивањима и анализама.
- Рад представља допринос како у научној теорији, тако у погледу могућности да се добијени резултати примене за развој нових типова легура из групе високолегираних Cr-Mo челика.
- Урађена докторска дисертација представља оригинално научно дело кандидата са доприносима у научном пољу: *Техничко- технолошке науке*, научној области: *Производно машинство* и ужој научној области: *Наука о материјалима*

Чланови Комисије предлажу Наставно-научном већу Факултета техничких наука у Косовској Митровици, да урађену и достављену дисертацију кандидата, Вукоја Вукојевића, под наведеним насловом, стави на увид јавности и упуту извештај на коначно усвајање Савету Универзитета у Приштини са седиштем у Косовској Митровици, а да се након тога кандидат позове на усмену јавну одбрану.

У Косовској Митровици 7. септембра 2018. године

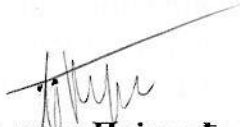
Чланови комисије:



4. др **Александар Тодић**, доцент, ФТН Косовска Митровица - председник



5. др **Александар Седмак**, ред. проф., Маш. факултета Београд - ментор



6. др **Бранко Пејовић**, ред. проф., ФТН Косовска Митровица – члан.