

Универзитет у Крагујевцу  
Факултет инжењерских наука

ФАКУЛТЕТ ИНЖЕЊЕРСКИХ НАУКА  
УНИВЕРЗИТЕТ У КРАГУЈЕВЦУ

Бр. 01-1/2018

18.06.2018 год.  
КРАГУЈЕВАЦ

## НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ ФАКУЛТЕТА ИНЖЕЊЕРСКИХ НАУКА

**Предмет:** Извештај Комисије за оцену и одбрану докторске дисертације кандидата Милана Ђорђевића, мастер инжењера машинства

Одлуком Већа за техничко-технолошке науке Универзитета у Крагујевцу бр. IV-04-455/8 од 13. 06. 2018. године, именовани смо за чланове Комисије за оцену и одбрану докторске дисертације кандидата Милана Ђорђевића, мастер инжењера машинства, под насловом:

### **„МОДЕЛ КЛИЗАЊА ИЗМЕЂУ РАВНИХ ПОВРШИНА ОБОДА ПРИ ПРОМЕНЉИВИМ КОНТАКТНИМ УСЛОВИМА У ПРОЦЕСУ ДУБОКОГ ИЗВЛАЧЕЊА ТАНКИХ ЛИМОВА”.**

На основу увида у приложену докторску дисертацију и Извештаја комисије за оцену подобности кандидата и теме докторске дисертације, која је одобрена за израду Одлуком Факултета инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу бр. 01-1/2092-11 од 18.06.2015. године и Одлуком Стручног Већа за техничко-технолошке науке Универзитета у Крагујевцу бр. IV-04-318/11 од 10.06.2015. године, а на основу Правилника о пријави, изради и одбрани докторске дисертације Универзитета у Крагујевцу, Комисија подноси Наставно-научном већу Факултета инжењерских наука следећи:

### **ИЗВЕШТАЈ**

#### **БИОГРАФИЈА КАНДИДАТА**

Милан Ђорђевић је рођен 25. 12. 1985. године у Алексинцу. Основну школу је завршио у Алексинцу. У родном граду завршава и средње образовање у Техничкој школи „Прота Стеван Димитријевић“ са одличним успехом, где дипломира 2004. године.

Школске 2004/2005 уписује Вишу техничку школу у Трстенику. Дипломирао је јуна 2007. године, са просечном оценом 9,57 и стекао стручно звање *машински инжењер*.

Октобра 2008. године уписује Машински факултет у Крагујевцу као студент треће године основних академских студија, после положених диференцијалних испита. Ове

студије завршио је, изработом завршног рада у октобру 2009. године, са просечном оценом 9,43 и стекао стручни назив *инжењер машинства*.

Студије наставља на истом Факултету уписом двогодишњих мастер академских студија на смеру за Производно машинство. Дипломирао је јуна 2011. године, са просечном оценом 9,88 и на тај начин стекао стручно звање *мастер инжењер машинства*.

Даље усавршавање наставља уписом докторских академских студија (школске 2011/2012. године) на Машинском факултету у Крагујевцу (сада Факултету инжењерских наука у Крагујевцу) са усмерењем из области технологије пластичног обликовања, код консултанта - ментора др Србислава Александровића, ред. проф. На докторским студијама положио је све предвиђене испите са просечном оценом 10 (десет). На истраживачком раду ангажован је у Лабораторији за обраду деформисањем и машинске материјале. Поседује сертификате средњег нивоа знања из енглеског језика и основни ниво знања из руског и немачког језика. Тренутно запослење кандидата је на Факултету техничких наука у Косовској Митровици Универзитета у Приштини у звању асистента-сарадника.

### **Радно искуство на Факултету инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу**

1. Истраживач-сарадник 2012 - 2014.
2. Истраживач - сарадник 2014 -2017.

### **Педагошки рад**

На Факултету инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу, у периоду од фебруара 2012. године до марта 2017. године, изводио је наставу (лабораторијске вежбе) на пет предмета из области Технологије пластичног обликовања и Машинских материјала, са процентом ангажовања 100%. Предмети су:

1. Машински материјали
2. Производне технологије
3. Производне технологије 2
4. Савремени поступци пластичног обликовања
5. Савремени обрадни системи и поступци

### **Радно искуство на Факултету техничких наука у Косовској Митровици Универзитета у Приштини**

1. Асистент-сарадник од 01.03. 2017. године до данас.

### **Педагошки рад**

На Факултету техничких наука у Косовској Митровици Универзитета у Приштини, у периоду од марта 2017. године до данас, изводи наставу (лабораторијске вежбе) на укупно 7 предмета модула Машинско инжењерство и Индустијско инжењерство, са процентом ангажовања од 14 часова недељно. Предмети су:

1. Технологија обраде деформисањем

2. Технологије обраде
3. Процеси обраде резањем
4. Технолошки системи
5. Производни системи
6. Погонски материјали
7. Трибологија у индустрији

Кандидат учествује у реализацији научноистраживачког пројекта *"Развој технолошких поступака ливења под утицајем електромагнетног поља и технологија пластичне прераде у топлом стању четворокомпонентних легура Al-Zn за специјалне намене"* (бр. пројекта код ресорног Министарства ТР 34002). Руководилац пројекта је др Александра Патарић, научни сарадник, запослена на Институту за технологију нуклеарних и других минералних сировина (ИТНМС) Београд.

### 1. Опис докторске дисертације

Докторска дисертација кандидата Милана Ђорђевића, мастер инжењера машинства, под називом **„Модел клизања између равних површина обода при променљивим контактним условима у процесу дубоког извлачења танких лимова“**, представља резултат научноистраживачког рада у актуелној научној области која се односи на управљање процесом пластичног обликовања танких лимова симултаним задавањем променљивог притиска (силе држања) за време трајања процеса, применом сложене експерименталне методе истраживања. Процес се одвија у потпуно реалним условима (материјал, мазива, алати и др.), применом оригиналног компјутеризованог експерименталног уређаја. Као излазни параметри процеса добијају се вучна сила (сила трења), стварни (измерени) притисак у контакту, коефицијент трења и храпавост површина. На основу тога, могуће је проценити у којој мери је могуће управљање процесом и излазним параметрима. Из аспекта предмета истраживања и добијених резултата, ова дисертација представља јединствен научни рад.

### 2. Значај и допринос докторске дисертације са становишта актуелног стања у одређеној области

Кандидат је извршио критичку анализу и систематизацију постојећих знања, искустава и научних резултата компетентних истраживача из области истраживања ове докторске дисертације. На основу спроведене анализе предности и недостатака до сада коришћених приступа у овој области, метода и модела, кандидат је дефинисао предмет и циљ сопствених истраживања.

Дубоко извлачење танких лимова спада у значајне технологије савремене индустрије. Томе, пре свега, доприноси интензиван развој аутомобилске индустрије. Примењују се савремене врсте материјала са измењеним особинама у односу на нискоугљенични челични лим који је доминирао неколико деценија, а у великој мери сачувао свој значај и данас. Процес обликовања се најчешће реализује тако што се сви параметри и услови процеса (сила држања, брзина деформисања, смањење или повећање трења и др.) подешавају пре почетка радног хода машине. Процес аутономно

траје до краја. Постоје знатне тешкоће у остваривању било каквих дејстава док процес траје. У садашњим условима то су само две могућности: сила држања променљивог интензитета и затезна ребра променљиве висине. Оба дејства захтевају сложене управљачке системе.

У актуелним публикованим истраживањима других аутора примењују се различити триболошки физички модели, али ниједан није узимао у обзир променљиве интензитета нормалне силе (функције линеарног и нелинеарног типа) из аспекта управљања процесом дубоког извлачења. Досадашња истраживања, која се баве процесом дубоког извлачења танких лимова, углавном су базирана на задавању константне вредности притиска држача (силе држања) и примени релативно једноставне експерименталне апаратуре. Суштински значај и допринос ове дисертације базиран је на остваривању ефеката променљивих интензитета силе држања за време процеса дубоког извлачења и унапређивању знања о утицајима на ток процеса дубоког извлачења, као и могућностима за управљање тим процесом.

За потребе истраживања изведено је пројектовање и реализација оригиналног експерименталног триболошког теста заснованог на физичком моделу клизања трака лима између равних површина. Особеност теста је остваривање линеарних и нелинеарних функција промене контактеног притиска за време трајања процеса. Извршено је формирање нелинеарних и линеарних функционалних зависности симултане промене силе држања (контактеног притиска) за време процеса, зависно од времена или хода траке лима. Примењене су аналитичке функционалне зависности континуалног типа, као и константне вредности различитих интензитета. Изведено је прецизно квантификовање ефеката конкретних утицаја (врсте лима, параметара алата и контактних услова) на вучну силу, коефицијент трења и промене храпавости површина лима и алата у условима променљивог контактеног притиска.

Предвиђање понашања материјала за време пластичног обликовања има битну улогу код унапређивања савремене производње, у циљу добијања производа жељених карактеристика (тачности облика, димензија, квалитета обрађених површина), уз истовремено смањење губитака материјала и енергије потребне за реализацију неког процеса.

Детаљнијим познавањем одзива (реакције) вучне силе и коефицијента трења на испитиване утицаје отвара се могућност реализације, приступачнијих управљачких система мање сложености за рад у конкретним погонским условима. Код ових система постоји потреба за управљање силом држања (контактним притиском). То подразумева познавање унапређених функција параметара који гарантују успешан ток процеса. Ово експериментално истраживање је корак у правцу упознавања тих функција.

### **3. Оцена да је докторска дисертација резултат оригиналног научног рада кандидата у одговарајућој научној области**

Комисија сматра да докторска дисертација кандидата Милана Ђорђевића, мастер инжењера машинства, под насловом „**Модел клизања између равних површина обода при променљивим контактним условима у процесу дубоког извлачења танких лимова**“ представља резултат оригиналног научног рада. Обрађена тема је веома актуелна, садржајно квалитетна и даје конкретне научне резултате, посебно ако се има у виду да је извршен развој оригиналног компјутеризованог уређаја за испитивање утицаја променљивог притиска за време процеса у потпуно реалним

условима. Кандидат је тему обрадио студиозно и детаљно, користећи при томе теоријске основе научних дисциплина релевантних за ову проблематику. Критички је анализирао и вредновао бројне научне радове који се односе на проблематику разматрану у оквиру ове дисертације.

Оригиналност научног рада и истраживања остварених у оквиру докторске дисертације огледају се у следећим елементима:

- Дефинисање и практична реализација оригиналног експерименталног теста чија је особеност реализација сложених нелинеарних и линеарних функција притиска у контакту лима и алата. Анализирајући постојећа решења уређаја и опреме, као и доступну литературу која је непосредно повезана са разматраном облашћу ове дисертације, кандидат је уочио да постоји могућност пројектовања оригиналног компјутеризованог уређаја у циљу истраживања управљања процесом дубоког извлачења задавањем променљивог притиска. Као полазна основа рада изведено је пројектовање, израда и тестирање сложене компјутеризоване мерно-управљачке апаратуре. Њен основни задатак је остваривање широког дијапазона функционалних зависности контактеног притиска и прецизно мерење њиховог утицаја на промену вучне силе. Велика база остварених резултата показала је да је тај задатак успешно остварен. Поред тога, остају и значајне могућности за нова истраживања са истом конфигурацијом апаратуре или са одговарајућим изменама и побољшањима. Реализација ове апаратуре има шири значај као алтернативни приступ у једној области високе технологије;
- Добијање серије резултата који дају зависност вучне силе и коефицијента трења од хода траке или времена при варирању различитих услова (притисак, материјал лима, параметри алата, мазива). Резултати ових истраживања представљају једну ширу базу података, са мноштвом елемената који се могу успешно користити у даљим истраживањима управљања трењем и укупним процесом дубоког извлачења. Оваквим испитивањима, са коришћеном експерименталном апаратуром, могуће је дефинисати значајне податке за нумеричке симулације и непосредну примену у пракси при дубоком извлачењу делова сложене геометрије;
- Резултати истраживања су показали да се на овај начин може добити велики број различитих зависности вучне силе, тј. затежућег напона у траци лима (челик и А1 легура), што представља основу за израчунавање коефицијента трења на ободу лима. Показано је да се са одговарајућим различитим функционалним променама контактеног притиска могу добити зависности вучне силе сличног тренда, при чему се тренд дијаграма коефицијента трења разликује од карактера промене притиска, тј. нормалне силе (силе држања) и зависи од односа интензитета вучне силе и вредности променљивог притиска у сваком тренутку процеса.
- Примена контактних површина различите храпавости у комбинацији са различитим мазивима има различите ефекте на вучну силу и коефицијент трења. На то добрим делом утиче и карактер функционалне промене притиска. Квантификација тих ефеката значајно доприноси управљању трењем у процесу дубоког извлачења.
- Основна замисао кандидата у овом истраживању је била анализа и процена утицаја различитих функционалних промена контактеног притиска на зависност вучне силе од хода (или времена) и зависност коефицијента трења од хода. Значајни допринос ове дисертације је анализа могућности преноса функција притиска на промену коефицијента трења, тј. у којој мери је могуће управљати трењем на ободу симултаним задавањем променљивог контактеног притиска.

Испитивање природе тог утицаја одвијало се у потпуно реалном окружењу контактних услова (мазиво, различита врста и храпавост контактних површина алата) и врсте материјала лима. На тај начин се могу појавити одређена пригушења у преносу функција притисака на зависности вучних силе (сила трења), а тиме и на коефицијенте трења. На основу тога изведена је детаљна процена утицаја триболошких услова на управљање трењем преко задавања променљивог притиска у контакту.

#### 4. Преглед остварених резултата кандидата у одређеној научној области

Као аутор или коаутор, кандидат Милан Ђорђевић, мастер инжењер машинства, до сада је објавио укупно 62 научна рада (3 рада у истакнутим међународним часописима категоризације M22, 6 радова у међународним часописима категоризације M23, 4 рада у часописима међународног значаја верификованих посебном одлуком категоризације M24, 28 саопштења са међународних скупова штампаних у целини категоризације M33, 2 саопштења са међународних скупова штампана у изводу категоризације M34, 1 рад у водећем часопису националног значаја категоризације M51, 1 рад у часопису националног значаја категоризације M52, 15 радова у научним часописима категоризација M53, 2 саопштења са скупова националног значаја штампана у целини категоризације M63), учествовао је у реализацији 1 техничког решења. Списак публикованих резултата усклађен је са Правилником о поступку, начину вредновања и квантитативном исказивању научноистраживачких резултата истраживача, Министарства просвете науке и технолошког развоја:

##### Рад у истакнутом међународном часопису [M22]:

1. V. Lazić, A. Sedmak, I. Samardžić, S. Aleksandrović, D. Milosavljević, D. Arsić, **M. Đorđević**: *Determination of bond strength between the hard-faced (HF) layer and the base material (BM) of forging dies*, Metalurgija - Metallurgy, ISSN 0543-5846, Vol. 55, No. 1 (2016), pp. 91-94.
2. D. Arsić, V. Lazić, A. Sedmak, R. Nikolić, S. Aleksandrović, **M. Đorđević**, R. Bakić: *Selection of the optimal hard facing (HF) technology of damaged forging dies based on cooling time  $t_{8/5}$* , Metalurgija - Metallurgy, ISSN 0543-5846, Vol. 55, No. 1 (2016), pp. 103-106.
3. V. Lazić, S. Aleksandrović, D. Arsić, A. Sedmak, A. Ilić, **M. Djordjević**, L. Ivanović: *The influence of temperature on mechanical properties of the base material (BM) and welded joint (WJ) made of steel S690QL*, Metalurgija - Metallurgy, ISSN 0543-5846, Vol. 55, No. 2 (2016), pp. 213-216.

##### Рад у међународном часопису [M23]:

4. **M. Đorđević**, D. Arsić, S. Aleksandrović, V. Lazić, D. Milosavljević, R. Nikolić, V. Mladenović: *Comparative Study of an Environmentally Friendly Lubricant with Conventional Lubricants in Strip Ironing Test*, Journal of the Balkan Tribological Association, ISSN 1310-4772, Vol. 22, No. 1 A-II (2016), pp. 959-970.
5. **M. Đorđević**, V. Mandić, S. Aleksandrović, V. Lazić, D. Arsić, R. R. Nikolić, Z. Gulišija: *Experimental-numerical analysis of contact conditions influence on the*

*ironing strip drawing process*, Industrial Lubrication and Tribology, ISSN 0036-8792, Vol. 69, No. 4 (2017), pp. 464-470.

6. D. Arsić, V. Lazić, I. Samardžić, R. Nikolić, S. Aleksandrović, **M. Đorđević**, B. Hadžima: *Impact of the hard facing technology and the filler metal on tribological characteristics of the hard faced forging dies*, Tehnički Vjesnik – Technical Gazette, ISSN 1330-3651, Vol. 22, No. 5 (2015), pp. 1353-1358.
7. D. Arsić, V. Lazić, S. Aleksandrović, M. Babić, D. Milosavljević, **M. Đorđević**, N. Ratković: *Reparatory hard facing of working parts made of martensitic stainless steel in confectionary industry*, Journal of Balkan Tribological Association, ISSN 1310-4772, Vol. 22, No. 1 A-I (2016), pp. 605-618.
8. D. Arsić, V. Lazić, S. Mitrović, D. Džunić, S. Aleksandrović, **M. Đorđević**, B. Nedeljković: *Tribological behavior of four types of filler metals for hard facing under dry conditions*, Industrial Lubrication and Tribology, ISSN 0036-8792, Vol. 68, No. 6 (2016), pp. 729-736.
9. D. Arsić, **M. Đorđević**, J. Zivković, A. Sedmak, S. Aleksandrović, V. Lazić, D. Rakić, *Experimental-Numerical Study of Tensile Strength of the High-Strength Steel S690QL at Elevated Temperatures*, Strength of Materials, ISSN 0039-2316, Vol. 48, No. 5 (2016), pp. 687-695.

#### Рад у часопису међународног значаја верификованог посебном одлуком [M24]:

10. D. Arsić, V. Lazić, S. Aleksandrović, R. Nikolić, P. Marinković, **M. Đorđević**, N. Ratković: *Theoretical-experimental fracture analysis of a responsible machine parts*, Structural Integrity and Life, ISSN 1451-3749, Vol. 14, No 2 (2014), pp. 141-146.
11. V. Lazić, R. Čukić, S. Aleksandrović, D. Milosavljević, D. Arsić, B. Nedeljković, **M. Đorđević**: *Techno-economic justification of reparatory hard facing of various working parts of mechanical systems*, Tribology in Industry, Vol. 36, No. 3 (2014), ISSN 0354-8996, pp. 287-292.
12. S. Aleksandrović, **M. Đorđević**, M. Stefanović, V. Lazić, D. Adamović, D. Arsić: *Different ways of friction coefficient determination in stripe ironing test*, Tribology in Industry, Vol. 36, No. 3 (2014), ISSN 0354-8996, pp. 293-299.
13. V. Lazić, A. Sedmak, I. Samardžić, S. Aleksandrović, D. Arsić, D. Milosavljević, **M. Đorđević**: *Shear strength testing of hard-faced samples using special tool on an universal testing machine*, Structural Integrity and Life, ISSN 1451-3749, Vol. 15, No 1 (2015), pp. 15-18.

#### Саопштење са међународног скупа штампано у целини [M33]:

14. **M. Đorđević**, S. Aleksandrović, T. Vujinović, M. Stefanović, R. Nikolić, V. Lazić: *Computer controlled experimental device for investigations of tribological influences in sheet metal forming*, 17<sup>th</sup> International PhD student's seminar SEMDOK 2012, Zilina-Terchova, Slovakia, 25-27 January 2012, ISBN 978-80-554-0477-6, pp. 13-17.
15. M. Stefanović, S. Aleksandrović, **M. Đorđević**, M. Stanojević-Đorović, D. Adamović, Z. Gulišija: *Ecological metal forming technologies-possibilities and*

- limitations*, KODIP, Budva, Montenegro, 26-29 June 2012, ISBN 978-9940-527-24-2, pp. 135-142.
16. D. Arsić, V. Lazić, R. R. Nikolić, S. Aleksandrović, P. Marinković, **M. Đorđević**: *Application of high strength steel of the S690QL class for application to welded structures*, 18<sup>th</sup> International PhD. students' seminar SEMDOK 2013, Žilina-Terchová, 30 January - 1 February, 2013, Proceedings, ISBN 978-80-554-0629-9, pp. 5-9.
  17. **M. Đorđević**, S. Aleksandrović, V. Lazić, M. Stefanović, R. R. Nikolić, D. Arsić: *Influence of lubricants on the multiphase ironing process*, 18<sup>th</sup> International PhD. students' seminar SEMDOK 2013, Žilina-Terchova, 30 January - 1 February 2013, Proceedings, ISBN 978-80-554-0629-9, pp. 22-26.
  18. S. Aleksandrović, M. Stefanović, V. Lazić, D. Adamović, **M. Đorđević**, D. Arsić: *Different ways of friction coefficient determination in stripe ironing test*, 13<sup>th</sup> International conference on tribology, SERBIATRIB '2013, Kragujevac, Serbia, 15 – 17 May 2013, Proceedings, ISBN 978-86-86663-98-6, pp. 359-363.
  19. S. Aleksandrović, T. Vujinović, M. Stefanović, V. Lazić, **M. Đorđević**, D. Milosavljević: *Defining of pressure and drawbead height functions in sheet metal stripe tensile test over drawbead with variable parameters*, 11<sup>th</sup> International conference on accomplishments in Electrical and Mechanical Engineering and Information Technology DEMI 2013, Banja Luka, RS, B&H, May 30 – June 1 2013, Proceedings, ISBN 978-99938-39-46-0, pp. 397-402.
  20. V. Lazić, R. R. Nikolić, S. Aleksandrović, D. Arsić, **M. Đorđević**, M. Mutavdžić: *Selection of the Optimal Reparation Technology for Working Parts Subjected to Abrasive Wear*, 10<sup>th</sup> European Conference TRANSCOM 2013, 24 – 26 June 2013, University of Žilina, Žilina, Slovak Republic, ISBN 978-80-554-0694-7, pp. 93-96.
  21. V. Lazić, S. Aleksandrović, R. Nikolić, P. Marinković, D. Arsić, **M. Đorđević**, B. Krstić: *Determination and analysis of causes for a catastrophic failure of a responsible machine parts*, Degradácia Konštrukčných Materiálov, University of Žilina, Žilina, Slovak Republic, 4 – 6 September 2013, Proceedings, ISBN 978-80-554-0741-8, pp. 70-76.
  22. D. Arsić, **M. Đorđević**, V. Lazić, S. Aleksandrović, R. Nikolić: *Selecting the optimal welding technology of high strenght steel of the S690QL class*, 19<sup>th</sup> International PhD. students' seminar SEMDOK 2014, Žilina-Terchová, 29 – 31 January 2014, Proceedings, ISBN 978-80-554-0832-3, pp. 5-9.
  23. V. Lazić, D. Arsić, R. Nikolić, S. Aleksandrović, **M. Đorđević**, P. Marinković, R. Čukić: *Optimalan metod i tehnologija zavarivanja čelika povišene jačine S690QL*, Savetovanje sa međunarodnim učešćem ZAVARIVANJE 2014, Beograd, 04-07 Jun 2014, Proceedings, ISBN 978-86-82585-11-4, pp. 55-63.
  24. D. Arsić, V. Lazić, A. Ilić, L. Ivanović, S. Aleksandrović, **M. Đorđević**: *Dependence of mechanical properties of the base metal and welded joint of the high strength steel S690QL on elevated temperatures*, 8<sup>th</sup> International Conference „Heavy Machinery-HM 2014“, Zlatibor, 25-28 June 2014, Proceedings, ISBN 978-86-82631-74-3, pp. 55-59.
  25. S. Aleksandrović, T. Vujinović, M. Stefanović, V. Lazić, **M. Đorđević**, D. Arsić: *Influence of variable drawbead height and variable contact pressure in Al alloy sheet strip drawing process*, 5<sup>th</sup> International Conference on Manufacturing



- Engineering ICMEN 2014, 1 – 3 October, Aristoteles University of Thessaloniki, Mechanical Engineering Department, Thessaloniki, Greece, Proceedings, ISBN 978-960-98780-9-8, pp. 71-78.
26. D. Arsić, V. Lazić, S. Aleksandrović, D. Milosavljević, B. Krstić, P. Marinković, **M. Đorđević**: *Application of high strength steels for responsible welded structures on motor vehicles*, International Congress Motor Vehicles & Motors 2014, 9 - 10 October 2014, Faculty of Engineering, Kragujevac, Serbia, Proceedings, ISBN 978-86-6335-010-6, pp. 453-458.
  27. **D. Arsić**, R. Nikolić, V. Lazić, B. Hadžima, S. Aleksandrović, **M. Đorđević**: *Weldability estimates of some high strength steels*, 42<sup>th</sup> International Conference Zvaranie 2014, Slovak Welding Society, Tatranská Lomnica, 12 - 14 November 2014, Slovakia, Proceedings, ISBN 978-80-89296-17-0, pp. 11-21.
  28. V. Lazić, R. Nikolić, B. Hadžima, S. Aleksandrović, D. Arsić, **M. Đorđević**: *Experimental measurements of residual stresses in welding of steels operating at high temperatures*, 42<sup>th</sup> International Conference Zvaranie 2014, Slovak Welding Society, Tatranská Lomnica, 12 - 14 November 2014, Slovakia, Proceedings, ISBN 978-80-89296-17-0, pp. 57-67.
  29. D. Arsić, **M. Đorđević**, S. Aleksandrović, V. Lazić, R. Nikolić, B. Hadžima: *Variation of the normal anisotropy coefficient of austenitic stainless steels at elevated temperatures*, 20<sup>th</sup> International PhD. students' seminar SEMDOK 2015, Žilina-Terchová, 28 – 30 January, 2015, ISBN 978-80-554-0981-8, pp. 5-8.
  30. D. Arsić, V. Lazić, M. Mutavdžić, R. Nikolić, S. Aleksandrović, S. Mitrović, **M. Đorđević**: *Experimental investigation of wear resistance of models hard faced with various filler metals*, 14<sup>th</sup> International conference on tribology - SERBIATRIB '15, Belgrade, Serbia, 13 – 15 May 2015, Proceedings, ISBN 978-86-7083-857-4, pp. 170-175.
  31. **M. Đorđević**, S. Aleksandrović, V. Lazić, D. Arsić, M. Stefanović, D. Milosavljević: *Two-phase ironing process in conditions of ecologic and classic lubricants application*, 14<sup>th</sup> International conference on tribology - SERBIATRIB '15, Belgrade, Serbia, 13 – 15 May 2015, Proceedings, ISBN 978-86-7083-857-4, pp. 407-413.
  32. V. Lazić, D. Arsić, **M. Đorđević**, R. Nikolić, B. Hadžima: *Joining of copper alloys and low-carbon steels by electrical resistance spot*, International Conference on Engineering Sciences and Technologies – ESaT, 27 - 29 May 2015, High Tatras Mountains – Tatranska Štrba, Slovak Republic, Proceedings of "International Conference on Engineering Sciences and Technologies - ESaT2015", ISBN 978-80-553-2042-7, pp. 137-140. CD-paper 35.
  33. V. Lazić, D. Arsić, R. Nikolić, S. Aleksandrović, **M. Đorđević**, B. Hadžima: *Optimization of welding of the truck's rear axle semi-housing*, 11<sup>th</sup> European Conference TRANSCOM 2015, 22-24 June 2015, University of Žilina, Žilina, Slovak Republic, Proceedings, ISBN 978-80-554-1047-0, pp. 172-177.
  34. V. Lazić, D. Arsić, M. Mutavdžić, R. Nikolić, S. Aleksandrović, **M. Đorđević**, I. Samardžić, B. Hadžima: *Technology for reparatory hard facing of snow plough blades*, 8<sup>th</sup> International Scientific-Professional Conference „DESIGN, PRODUCTION AND SERVICE OF WELDED CONSTRUCTIONS AND

- PRODUCTS, SBZ 2015.“, Slavonski Brod, Croatia, 21-23 October 2015, ISBN 978-953-6048-80-9, pp. 135-142.
35. **M. Đorđević**, S. Aleksandrović, A. Sedmak, R. Nikolić, V. Lazić, D. Arsić: *Flat Die Sliding Model with Variable Contact Pressure in Deep Drawing Process*, TEAM 2016, 8<sup>th</sup> International Scientific and Expert Conference, Trnava, Slovakia, 2016, 19-21 October, ISBN 978-80-8096-237-1, pp. 255-259.
36. V. Lazić, D. Arsić, R. R. Nikolić, S. Aleksandrović, **M. Đorđević**, B. Hadžima: *Estimate of weldability and selection of optimal welding technology for the cover of a tube girder made of the Cr-Mn high strength steel*, 44<sup>th</sup> International conference ZVARANIE 2016, Tatranska Lomnica, Slovakia, 2016, 09-11 November, ISBN 978-80-89296-19-4, pp. 17-27.
37. **M. Đorđević**, S. Aleksandrović, R. Nikolić, V. Lazić, D. Arsić, B. Hadžima: *Experimental apparatus for investigation of draw bead influence in deep drawing process*, 7<sup>th</sup> International Conference Manufacturing Technology – PILSEN 2017, University of West Bohemia, Pilsen, Czech Republic, 2017, 7-8 February, ISBN 978-80-261-0636-4, pp. 54-60.
38. S. Aleksandrović, S. Đačić, **M. Đorđević**, V. Lazić, D. Arsić: *Influence of process parameters on the friction coefficient in AlMg3 alloy strip ironing drawing test*, 15<sup>th</sup> International conference on tribology, SERBIATRIB '17, Kragujevac, 2017, 17-19 May, ISBN 978-86-6335-041-0, pp. 351-356.
39. S. Aleksandrović, S. Đačić, M. Stefanović, **M. Đorđević**, V. Lazić, D. Arsić: *Influence of process parameters on the friction coefficient in one and multi phase steel strip drawing ironing test*, 13<sup>th</sup> International Conference on Accomplishments in Mechanical and Industrial Engineering – DEMI 2017, Banja Luka, Republic of Srpska, Bosnia and Herzegovina, 2017, 26-27 May, ISBN 978-99938-39-73-6, pp. 77-86.
40. **M. Đorđević**, S. Aleksandrović, V. Lazić, R. R. Nikolić, D. Arsić: *Influence of tribological conditions and continuously variable contact pressure on the process of the thin sheet sliding during the flat-die test*, 6<sup>th</sup> International conference on manufacturing engineering – ICMEN 2017, Thessaloniki, Greece, 2017, 5-6 October, ISBN 978-618-80878-5-9, pp. 173-183.
41. D. Arsić, V. Lazić, R. R. Nikolić, S. Aleksandrović, **M. Đorđević**: *Mechanical properties of hot-work tool steel at elevated temperatures*, 23<sup>rd</sup> International seminar of PhD students SEMDOK 2018, Western Tatras, Yuberec, Slovakia, 2018, 24-26 January, ISBN 978-80-554-1411-9, pp. 7-12.

**Саопштење са међународног скупа штампано у изводу [M34]:**

42. **M. Đorđević**, S. Aleksandrović, R. Nikolić, V. Lazić, D. Arsić: *Influence of the variable contact pressure on the tensile force in the process of strip sliding in the flat die in ironing*, 21<sup>st</sup> International PhD. students' seminar SEMDOK 2016, Žilina-Terchová, Slovakia, 27-29 January 2016, ISBN 978-80-554-1175-0, pp. 10.
43. D. Arsić, V. Lazić, R. Nikolić, S. Aleksandrović, **M. Đorđević**: *Influence of the sliding speed on the wear resistance of parts hard faced by the high-alloyed filler metal which operate in conditions without lubrication*, 21<sup>st</sup> International PhD. students' seminar SEMDOK 2016, Žilina-Terchová, Slovakia, 27-29 January 2016, ISBN 978-80-554-1175-0, pp. 8.

**Рад у водећем часопису националног значаја [M51]:**

44. V. Lazić, D. Arsić, M. Zrilić, S. Aleksandrović, **M. Đorđević**, N. Ratković: *Eksperimentalno merenje zaostalih napona u navarenim slojevima kod termopostojanog čelika*, Zavarivanje i zavarene konstrukcije, ISSN 0354-7965, Vol. 62, No. 1 (2017), pp. 19-26.

**Рад у часопису националног значаја [M52]:**

45. D. Arsić, V. Lazić, S. Aleksandrović, D. Milosavljević, B. Krstić, P. Marinković, **M. Đorđević**: *Application of high strength steels to responsible welded structures on motor vehicles*, Mobility and Vehicle Mechanics, Vol. 40, No. 4 (2014), pp. 81-88.

**Рад у научном часопису [M53]:**

46. **M. Đorđević**, S. Aleksandrović, T. Vujinović, M. Stefanović, V. Lazić, R. Nikolić: *Computer controlled experimental device for investigations of tribological influences in sheet metal forming*, Materials Engineering – Materialove inženierstvo, ISSN 1335-0803, Vol. 19, No. 2 (2012), pp. 88-94.
47. **M. Djordjević**, S. Aleksandrović, V. Lazić, M. Stefanović, R. R. Nikolić, D. Arsić: *Experimental analysis of influence of different lubricants types on the multi-phase ironing process*, Materials Engineering - Materialove inženierstvo (MEMI), ISSN 1335-0803, Vol. 20, No. 3 (2013), pp. 147-152.
48. D. Arsić, V. Lazić, R. R. Nikolić, S. Aleksandrović, P. Marinković, **M. Đorđević**, R. Čukić: *Application of the S690QL class steels in responsible welded structures*, Materials Engineering - Materialove inženierstvo (MEMI), ISSN 1335-0803, Vol. 20, No. 4 (2013), pp. 174-183.
49. D. Arsić, V. Lazić, R. R. Nikolić, S. Aleksandrović, B. Hadžima, **M. Đorđević**: *Optimal welding technology of high strength steel S690QL*, Materials Engineering - Materialove inženierstvo (MEMI), ISSN 1335-0803, Vol. 22, No. 1 (2015), pp. 33-47.
50. D. Arsić, **M. Đorđević**, S. Aleksandrović, V. Lazić, R. R. Nikolić, B. Hadžima: *Analysis of the austenitic stainless steel's r-value behavior at elevated temperatures*, Materials Engineering - Materialove inženierstvo (MEMI), ISSN 1335-0803, Vol. 22, No. 2 (2015), pp. 66-76.
51. V. Lazić, D. Arsić, **M. Đorđević**, R. R. Nikolić, B. Hadžima: *Electrical resistance brazing of copper alloys and low-carbon steels*, International journal of interdisciplinarity in theory and practice, Editura Adoram, ISSN 2344-2409, Vol. 7, No.- (2015), pp. 214-220.
52. V. Lazić, D. Arsić, R. R. Nikolić, S. Aleksandrović, D. Milosavljević, **M. Đorđević**, R. Čukić: *Reparation of damaged forging dies by hard facing (HF) technology*, Production Engineering Archives, Poland Institute of Production Engineering, ISSN 2353-5156, Vol. 6, No. 1 (2015), pp. 26-29.

53. V. Lazić, D. Arsić, R. Nikolić, S. Aleksandrović, **M. Đorđević**, B. Hadžima, J. Bujnak: *Experimental determination of deformations of the hard faced samples made of steel for operating at elevated temperatures*, Procedia Engineering, ISSN 1877-7058, Vol. 111 (2015), pp. 495–501.
54. D. Arsić, V. Lazić, R. Nikolić, S. Aleksandrović, **M. Đorđević**, B. Hadžima, J. Vičan: *Influence of tempering on the deformation level of the multi-layer hard faced samples*, Procedia Engineering, ISSN 1877-7058, Vol. 111 (2015), pp. 49–56.
55. **M. Đorđević**, S. Aleksandrović, V. Lazić, D. Arsić, R. Nikolić, B. Hadžima, P. Koteš, *Investigation of the lubricants influence on the ironing process*, Procedia Engineering, ISSN 1877-7058, Vol. 111 (2015), pp. 149–154.
56. **M. Đorđević**, S. Aleksandrović, V. Lazić, D. Arsić, R. R. Nikolić, B. Hadžima: *The variable contact pressure influence on the tensile force in the process of strip sliding in the flat die in ironing*, Materials Engineering - Materialove inžinierstvo, ISSN 1335-0803, Vol. 23, No. 2 (2016), pp. 74-83.
57. V. Lazić, D. Arsić, R. Nikolić, D. Rakić, S. Aleksandrović, **M. Đorđević**, B. Hadžima: *Selection and analysis of material for boiler pipes in a steam plant*, Procedia Engineering, ISSN 1877-7058, Vol. 149 (2016), pp. 216-223.
58. **M. Đorđević**, S. Aleksandrović, V. Lazić, D. Arsić, R. Nikolić, B. Hadžima: *Investigation of the lubrication influence on single-phase and multi-phase ironing processes*, Procedia Engineering, ISSN 1877-7058, Vol. 149 (2016), pp. 40-47.
59. D. Arsić, V. Lazić, R. R. Nikolić, M. Mutavdžić, S. Aleksandrović, **M. Đorđević**: *Influence of the sliding speed on the wear resistance of parts which operate in conditions without lubrication hard faced by the high-alloyed filler metal*, Materials Engineering – Materialove inžinierstvo, ISSN 1335-0803, Vol. 23, No. 3 (2016), pp. 90-97.
60. V. Lazić, D. Arsić, R. R. Nikolić, S. Aleksandrović, **M. Đorđević**, B. Hadžima, *Welding of the tube girder cover made of the C-Mn steel*, Materials Engineering - Materialove inžinierstvo (MEMI), ISSN 1335-0803, Vol. 24, No. 1 (2017), pp. 26-35.

**Саопштење са скупа националног значаја штампано у целини [M63]:**

61. D. Arsić, V. Lazić, R. Nikolić, S. Aleksandrović, P. Marinković, **M. Đorđević**, R. Čukić: *Optimalan metod i tehnologija zavarivanja čelika povišene jačine S690QL*, Savetovanje sa međunarodnim učešćem ZAVARIVANJE 2014, Borsko jezero, 04-07 Jun 2014, ISBN 978-86-82585-11-4, pp. 55-63.
62. V. Lazić, D. Arsić, S. Aleksandrović, R. R. Nikolić, **M. Đorđević**, B. Hadžima: *Experimental investigation of the high-strength steel welded samples*, 45<sup>th</sup> International conference ZVARANIE 2017, Tatranska Lomnica, Slovakia, 2017, 8-10 November, pp. 16-28.

**Битно побољшан постојећи производ или технологија (уз доказ), ново решење проблема у области микроекономског, социјалног и проблема одрживог просторног развоја рецензовано и прихваћено на националном нивоу (уз доказ) [M84]**

63. З. Гулишија, З. Јањушевић, М. Михаиловић, А. Патарић, М. Стефановић, С. Александровић, В. Мандић, **М. Ђорђевић**: *Унапређење пројектовања технологије пластичне прераде у топлом стању делова од А1 легура коришћењем савремених поступака нумеричког моделовања*, ИТНМС Београд, TR34002, Бр. 1-55 од 24.12.2013. Верификовао МНО за материјале.

[http://www.itnms.ac.rs/downloads/tehnicka\\_resenja/Unapredjenje%20projektovanja%20tehnologije%20plasticne%20prerade.pdf](http://www.itnms.ac.rs/downloads/tehnicka_resenja/Unapredjenje%20projektovanja%20tehnologije%20plasticne%20prerade.pdf)

## 5. Оцена испуњености обима и квалитета у односу на пријављену тему

Докторска дисертација кандидата Милана Ђорђевића, мастер инжењера машинства под насловом „**Модел клизања између равних површина обода при променљивим контактним условима у процесу дубоког извлачења танких лимова**“, одговара по обиму и садржају прихваћеној теми од стране Наставно-научног већа Факултета инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу и Стручног Већа за техничко-технолошке науке Универзитета у Крагујевцу. По квалитету, обиму и резултатима истраживања у потпуности задовољава све научне, стручне и законске услове за израду докторских дисертација.

Резултати истраживања су у писменом делу докторске дисертације изложени на укупно 178 страна. Дисертација садржи 206 графичких приказа, 31 табелу, 108 библиографских јединица. Излагање је сврстано у 8 поглавља, којима претходе предговор, резиме рада на енглеском и српском језику, преглед значајнијих ознака и скраћеница и садржај рада. Наслови поглавља су:

1. Увод
2. Деформабилност и обрадивост танких лимова
3. Изучавања контактних проблема у процесима пластичног обликовања
4. Карактеристични модели клизања на ободу
5. Теоријска разматрања модела клизања
6. Концепција експерименталних истраживања
7. Резултати експерименталних истраживања
8. Закључна разматрања

У поглављу 1 (Увод) су представљена уводна разматрања која указују на значај и могућности управљања процесом дубоког извлачења. Управљачка дејства се одвијају само на два начина: преко трења на ободу и преко управљања клизањем на ободу. У првом случају кључни параметар представља сила држања, тј. специфични притисак држача, а у другом висина утискујућих затезних ребара. Утицај променљиве силе држања је, поред осталог, предмет изучавања овог рада. Наведени су и подаци који се односе на светску производњу челика и челичних лимова, као највише примењиваног материјала у технологији дубоког извлачења.

Поглавље 2 (Деформабилност и обрадивост танких лимова) садржи приступе при изучавању понашања материјала при пластичном обликовању. Комплексна проблематика деформабилности захтева сложен приступ, укључујући анализу свих фактора и сагледавање њиховог утицаја. Дата је анализа две врсте утицаја: фактори материјала и фактори услова обраде. Значајна пажња, у овом поглављу, посвећена је граничној деформабилности танких лимова и то у условима монотоног-пропорционалног деформисања и у условима немонотоног деформисања. Код монотоног деформисања гранична деформабилност лимова анализирана је у деформационој равни главних деформација, тј. преко дијаграма граничне деформабилности. За случај немонотоног деформисања истраживан је утицај тзв. историје деформисања. Коначно, разматрана је и обрадивост лимова дубоким извлачењем, анализом метода одређивања обрадивости и параметара обрадивости.

Поглавље 3 (Изучавања контактних проблема у процесима пластичног обликовања) представља обимну анализу процеса трења код пластичног обликовања. Дат је преглед закона трења са њиховом применом. Такође, изложени су детаљи примене технолошких мазива (улога, класификација и карактеристике мазива). Посебно су анализирани триболошки параметри при дубоком извлачењу са акцентом утицаја силе држања на процес дубоког извлачења. У другом делу овог поглавља говорено је о тврдим превлакама на алатима за дубоко извлачење. Дат је преглед поступака nanoшења антихабајућих превлака са освртом на практични значај превлака. Изложена је анализа бројних научних и истраживачких радова из те области. Последњи део поглавља посвећен је антикорозивним превлакама на лимовима у оквиру кога су разматране галванске превлаке, превлаке добијене електрофорезним поступцима, превлаке у виду чврстих мазива, као и неорганске превлаке.

Поглавље 4 (Карактеристични модели клизања на ободу) се односи на физичко моделирање карактеристичних зона при извлачењу сложеног геометријског облика, као основа за потпуно триболошко моделирање. При томе структуру физичког модела чине: елементи система, особине елемената и њихово међудејство (триболошки процеси). Редослед при изучавању процеса код обликовања делова сложеног геометријског облика подразумева избор зоне (области), идентификацију шеме деформисања, формирање одговарајућег триболошког модела, параметарску, локалну или интегралну деформациону анализу. У складу са тим заступљено је укупно пет триболошких модела, који су посебно разматрани у поглављу 5.

Поглавље 5 (Теоријска разматрања модела клизања) представља опсежан и детаљан преглед свих триболошких модела процеса дубоког извлачења. Посебан нагласак се ставља на први модел: Модел клизања између равних контактних површина, примењен у овом раду. Овај модел је коришћен у циљу изучавања утицаја променљивог притиска држача (силе држања) који се задаје симултано за време процеса, при чему се прате промене деформационе силе, коефицијента трења и хрпаовост површина лима, при различитим контактним условима. Модел је веома погодан за проучавање процеса трења, због равних површина држача лима и матрице, и линеарног односа силе трења (вучне силе) и силе држања (притиска држача) преко коефицијента трења. Код осталих типова триболошких модела истраживање трења је веома сложено (често уз велике тешкоће) и захтева анализу бројних утицаја. Реч је о веома сложеним шемама деловања сила често између закошених површина контактних елемената и лима. Код тако сложене шеме деловања сила постоји опасност од изостављања појединих компонената и довођења у питање валидности постављеног модела. У наставку поглавља изложени су преостали триболошки модели процеса

дубоког извлачења и то: Модел клизања преко затезног ребра, Модел клизања преко ивице матрице, Модел двостраног затезања-развлачења и Модел чистог дубоког извлачења. Представљен је систематизовани преглед литературе, из области управљања процесом дубоког извлачења, превлака на алатима за дубоко извлачење, актуелних средстава за подмазивање у процесу дубоког извлачења. Актуелним истраживањима приказана су бројна технолошка решења система управљања у циљу добијања делова без дефеката и са значајним уштедама у енергији. На крају, посебно је истакнут значај променљивости параметара за управљање процесом.

Поглавље 6 (Концепција експерименталних истраживања) се односи на експериментални део рада. Планирање истраживања изложено је прегледним планом експеримента у коме су дефинисане функције промене притиска, контактни услови на алату, типови мазива, врста испитиваног материјала (лима). Оригиналноста истраживања је увођење у процес променљивих интензитета силе држања. Сила држања представља нормалну силу при генерисању трења у контакту. Кључни параметар, коришћен за квантификацију трења, јесте коефицијент трења који је успешно мерен за време трајања процеса. У овом поглављу је детаљно изложена експериментална опрема и уређаји за реализацију експеримента. У питању је оригинални компјутеризовани уређај који омогућава извођење планираног експеримента, а нарочито деловање променљивог притиска (силе држања) према претходно задатим функцијама. Систем се може рашчланити на неколико засебних целина (модула) и то: механичко-хидраулични модул, хидраулични модул, електроуправљачки модул. Поред тога, саставни део апаратуре је и мерни ланац, који омогућава регистровање и меморисање мерених величина (вучне силе и стварног притиска у контакту). Поред тога, дат је и кратак опис поступка рада и тока експеримента. На крају поглавља, изложене су основне карактеристике мазива коришћених у експерименту у складу са одговарајућим стандардима.

Поглавље 7 (Резултати експерименталних истраживања) представља најобимније поглавље. У првом делу изложене су основне карактеристике материјала које укључују: хемијски састав, механичке карактеристике, криве ојачања, дијаграме граничне деформабилности, храпавост површина и тсл. Наведене карактеристике дате су у облику табела, дијаграма и графичких приказа храпавости. Основни резултати истраживања модела клизања између равних контактних површина засновани су на дефинисању и практичном извођењу оригиналног експерименталног теста чија је особеност реализација сложених нелинераних и линеарних функција притиска у контакту лима и алата. Добијене су серије резултата које дају зависност вучних сила и коефицијената трења од хода, при варирању различитих услова (притисак, материјал лима, параметри алата, мазива). Изведено је и испитивање површинске храпавости клизних контактних елемената (алата) и лима у зависности од примењених услова. Највећи део резултата приказан је у форми дијаграмских зависности.

Поглавље 8 (Закључна разматрања) садржи изведена закључна разматрања научног истраживања спроведеног у дисертацији. Такође, дефинисани су могући правци даљих истраживања. Ово поглавље, такође, садржи преглед библиографских јединица коришћених као основа за истраживање у оквиру ове дисертације.

## 6. Научни резултати докторске дисертације

Кандидат Милан Ђорђевић, мастер инжењер машинства, је у оквиру дисертације извршио систематизацију постојећих знања и искустава из области трибологије дубоког извлачења и управљања процесом дубоког извлачења. У оквиру рада на дисертацији кандидат је дошао до резултата и закључака који заузимају значајно место, како у научно-теоријском, тако и у практичном смислу.

Најважнији научни резултати ове дисертације су:

- Основна замисао у овом истраживању реализована је преко анализе и процене утицаја различитих функционалних промена контактнoг притиска на зависности вучних сила од хода и зависности коефицијената трења од хода. Значајна је анализа могућности преноса функција притиска на коефицијент трења, односно могућности управљања трењем на ободу симултаним задавањем променљивог контактнoг притиска.

- Детаљнијим познавањем одзива (реакције) вучне силе и коефицијента трења на испитиване утицаје отвара се могућност реализације приступачнијих управљачких система мање сложености за рад у конкретним погонским условима. Код ових система постоји потреба за управљање силом држања (контактним притиском). То подразумева познавање оптимизованих функција параметара који гарантују успешан ток процеса. Ово експериментално истраживање је корак у правцу упознавања тих функција.

- Као полазна основа рада изведено је пројектовање, израда и тестирање сложене компјутеризоване мерно-управљачке апаратуре. Њен основни задатак је остваривање широког дијапазона функција промене контактнoг притиска и прецизно мерење њиховог утицаја на промену вучне силе. Велика база остварених резултата показала је да је тај задатак успешно остварен. Такође, остају и значајне могућности за нова истраживања са истом конфигурацијом апаратуре или са одговарајућим изменама и побољшањима.

- Приказана апаратура за мерење вучне силе и стварног притиска у контакту за време процеса клизања траке лима између равних контактних површина при променљивом контактном притиску (функција  $p_{(t)}$ ), омогућава прецизно регистровање утицаја променљивог притиска на силу трења, коефицијент трења и променом триболошких услова у контакту омогућава реално сагледавање могућности за управљање процесом трења.

- Реализација ове апаратуре и остварених резултата има и шири значај као алтернативни приступ у једној области високе технологије која захтева значајна улагања.

- Резултати истраживања су показали да се на овај начин може добити велики број различитих зависности вучне силе, тј. затежућег напона у траци лима од различитих материјала, што представља основу за израчунавање коефицијента трења на ободу лима. Показано је да се са одговарајућим различитим функционалним променама контактнoг притиска могу добити зависности вучне силе сличног тренда, при чему се тренд дијаграма коефицијента трења у одређеној мери разликује од карактера промене притиска и зависи од односа интензитета вучне силе и вредности променљивог притиска у сваком тренутку хода процеса.

- Повећање интензитета затежућег напона, које се манифестује порастом интензитета вучне силе (силе трења), настаје услед лошијих контактних услова, а тиме



посредно утиче и на повећање коефицијента трења. Избором погодне комбинације контактних површина и мазива, значајно се може умањити отпор клизања, тј. вучна сила (сила трења) и значајно ублажити ефекат ниског притиска код опадајућих функционалних зависности притиска приликом израчунавања коефицијента трења.

- Коришћена апаратура, са релативно једноставним изменама на механичком делу уређаја и софтверу, пружа могућност реализације експеримената заснованих на осталим триболошким моделима процеса обликовања дубоким извлачењем, клизање лима преко радијуса матрице, клизање траке лима преко затезног ребра и тсл. Примена нових материјала, као што су челични лимови са антикорозивним превлакама, лимови повишене јачине, нерђајући челични лимови, ламинатни лимови, TWB лимови итд. представља допунске могућности за коришћење апаратуре у наредним истраживањима. Надоградњом хардвера и софтвера могуће је подићи ниво управљања, чиме би се остварило активно управљање процесом и тиме добио нови квалитет експеримената.

## 7. Примењивост резултата у теорији и пракси

Резултати докторске дисертације кандидата Милана Ђорђевића, мастер инжењера машинства, под насловом „**Модел клизања између равних површина обода при променљивим контактним условима у процесу дубоког извлачења танких лимова**“, применљиви су и корисни, како у теоријском, тако и у практичном смислу. Развијена методологија даје низ значајних резултата који представљају нова сазнања из области технологије дубоког извлачења и управљања процесом дубоког извлачења.

Резултати ових истраживања представљају једну ширу базу података, са мноштвом елемената који се могу успешно применити у практичним условима управљања трењем и укупним процесом дубоког извлачења. Оваквим испитивањима, са релативно једноставном апаратуром, могуће је дефинисати значајне податке за нумеричке симулације и непосредну примену у пракси при дубоком извлачењу делова сложене геометрије.

Даља примена развијеног модела управљања у будућности би могла остварити позитиван утицај у области обликовања лимова дубоким извлачењем код делова сложене геометрије. Резултати спроведених истраживања би могли имати широку примену у аутомобилској индустрији, савременој индустријској производњи металних производа итд.

## 8. Начин презентовања резултата научној јавности

Део научних резултата који су проистекли из оквира разматране теме ове докторске дисертације презентован је објављивањем научних радова у међународним научним часописима, као и на међународним и националним научним скуповима.

Бројни резултати научноистраживачког рада представљени су домаћој научној и стручној јавности једним делом под покровитељством пројекта Министарства просвете, науке и технолошког развоја Републике Србије – ТР34002.

Комисија сматра да истраживања и необјављени резултати ове докторске дисертације пружају обиман и користан материјал за даљу публикацију у међународним и водећим националним часописима и скуповима, који се односе на област управљања процесом дубоког извлачења танких лимова и област утицаја трења на поменути процес.

На основу свега изложеног, Комисија доноси следећи:

## ЗАКЉУЧАК

Докторска дисертација кандидата Милана Ђорђевића, мастер инжењера машинства, у потпуности, како по обиму, тако и по квалитету, одговара одобреној теми дисертације, Одлуком бр. 01-1/2092-11 од 18.06.2015. године од стране Наставно-научног већа Факултета инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу и Одлуком Стручног Већа за техничко-технолошке науке Универзитета у Крагујевцу бр. IV-04-318/11 од 10.06.2015. године.

Кандидат је у приказу истраживања користио уобичајену и стандардизовану стручну терминологију, а структура докторске дисертације и методологија излагања су у складу са универзитетским нормама.

У току израде докторске дисертације, кандидат Милан Ђорђевић је дошао до оригиналних научних резултата, приказаних у дисертацији. Развијен је јединствен, оригинални компјутеризовани уређај за провлачење трака лима између равних контактних површина држача лима и матрице задавањем променљивог контактнег притиска држача (силе држања) за време трајања процеса. Обимним експерименталним истраживањима кандидат је дошао до оригиналних научних резултата, које је даље искористио за процену управљања процесом трења и уопште процесом дубоког извлачења танких лимова.

Кандидат је показао да влада методологијом научноистраживачког рада и да поседује способност систематског приступа и коришћења литературе. При томе је, користећи своје професионално образовање, показао способност да приступи свеобухватно сложеној проблематици, у циљу дефинисања суштинских закључака и добијању конкретних и применљивих резултата.

Докторска дисертација је резултат самосталног рада, а добијени резултати представљају веома значајан допринос знањима везаним за успешно управљање процесом трења у поступку дубоког извлачења танких лимова.

На основу свега изнетог, Комисија за оцену и одбрану докторске дисертације кандидата Милана Ђорђевића, мастер инжењера машинства, једногласно је закључила да докторска дисертација са насловом:

**„Модел клизања између равних површина обода при променљивим контактним условима у процесу дубоког извлачења танких лимова“**

по квалитету, обиму и резултатима истраживања у потпуности испуњава све научне, стручне и законске критеријуме за израду докторске дисертације. Стога, Комисија са задовољством предлаже Наставно-научном већу Факултета инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу, да овај Извештај у потпуности прихвати и закаже јавну усмену одбрану наведене докторске дисертације.

Чланови Комисије:

**Др Драгиша Вилотић, редовни професор, председник Комисије**  
Факултет техничких наука Универзитета у Новом Саду  
Ужа научна област: *Технологија пластичног деформисања, Адитивне и виртуелне технологије*

**Др Весна Мандић, редовни професор**  
Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу  
Уже научне области: *Производно машинство и Индустрijски инжењеринг*

**Др Слободан Митровић, редовни професор**  
Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу  
Ужа научна област: *Производно машинство*

**Др Нада Ратковић, доцент**  
Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу  
Уже научне области: *Производно машинство и Индустрijско инжењерство и инжењерски менаџмент*

**Др Вукић Лазић, редовни професор**  
Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу  
Уже научне области: *Производно машинство и Индустрijски инжењеринг*

У Новом Саду и Крагујевцу, јуна 2018. године.