

Назив техничког решења: РАДНО МЕСТО ЗА ЕКСПЕРИМЕНТАЛНА ИСТРАЖИВАЊА ПОСТУПКА ЗАВАРИВАЊА ТРЕЊЕМ СА МЕШАЊЕМ

Категорија техничког решења: (М83) Ново лабораторијско постројење, ново експериментално постројење, нови технолошки поступак

Аутори техничког решења: др Мирослав Мијајловић, дипл. инж. маш, асистент, др Драган Милчић, редовни професор, мр Слободан Јовановић, дипл. инж. маш, асистент, Драган Јовановић, дипл. инж. маш, асистент.

Развијено у оквиру пројекта технолошког развоја:

ИСТРАЖИВАЊЕ ПРИМЕНЕ САВРЕМЕНИХ НЕКОНВЕНЦИОНАЛНИХ ТЕХНОЛОГИЈА У ПРОИЗВОДНИМ ПРЕДУЗЕЋИМА СА ЦИЉЕМ ПОВЕЋАЊА ЕФИКАСНОСТИ КОРИШЋЕЊА, КВАЛИТЕТА ПРОИЗВОДА, СМАЊЕЊА ТРОШКОВА И УШТЕДЕ ЕНЕРГИЈЕ И МАТЕРИЈАЛА (Научно - истраживачки пројекат у оквиру програма технолошког развоја. Пројекат финансиран од стране Министарства за науку и технолошки развој Републике Србије. Евиденциони број ТР 35034. Реализација пројекта 2011.-2014.).

Руководилац пројекта: др Мирослав Радовановић, редовни професор,

Година реализације техничког решења: 2011. година,

Примена реализације техничког решења: Август, 2011. година надаље,

Кратак опис техничког решења:

Једна од неконвенционалних технологија која је истраживана у оквиру пројекта ТР 35034 јесте поступак заваривања трењем са мешањем - ЗТМ (енглески: Friction Stir Welding - FSW). ЗТМ је поступак спајања материјала у чврстој фази (без значајног топљења основног метала), без додатног материјала а уз помоћ посебног профилисаног алата у облику глодала који ротира око своје осе, деформише и дроби материјал основног материјала, меша и обликује у монолитни спој који се депонује иза алата као метал шава. Експериментална истраживања ЗТМ поступка су вршена на плочама од легуре алуминијума 2024 Т351 и имала су неколико циљева: избор оптималне геометрије алата, избор оптималних технолошких параметара заваривања, идентификација, истраживање и дефинисање параметара и величина који доминантно утичу на генерисање топлоте при ЗТМ поступку, као и њихово мерење (експериментално одређење) током заваривања.

Експериментално мерење дефинисаних параметара и величина (обртни момент на алату, момент трења, отпори кретању алата, температура основног материјала и алата итд.) важних за процес генерисања топлоте при ЗТМ, односно, за сам поступак ЗТМ, захтевало је дефинисање, пројектовање и конструисање радног места за истраживање ЗТМ, и изградњу експерименталног постројења које може да испуни наметнуте захтеве експерименталних истраживања.

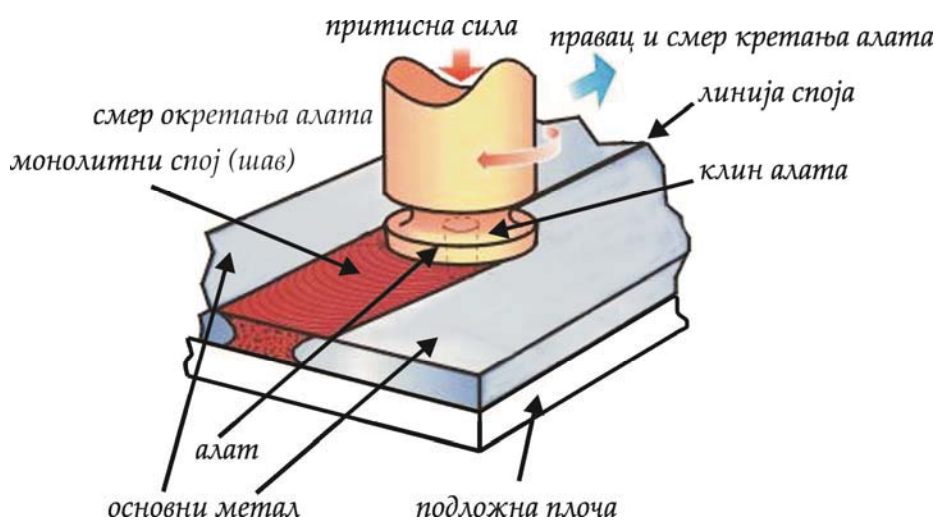
Рецензенти техничког решења: др Драган Стојиљковић, редовни професор, Универзитет у Нишу, Технолошки факултет у Лесковцу; др Миомир Вукићевић, ванредни професор, Универзитет у Крагујевцу, Факултет за машинство и грађевинарство у Краљеву.

Корисник техничког решења: Универзитет у Нишу, Машински факултет у Нишу, „Микротехника“ д.о.о. Ниш.

РАДНО МЕСТО ЗА ЕКСПЕРИМЕНТАЛНА ИСТРАЖИВАЊА ПОСТУПКА ЗАВАРИВАЊА ТРЕЊЕМ СА МЕШАЊЕМ

Заваривање трењем са мешањем

Заваривање трењем са мешањем – ЗТМ (енглески: Friction Stir Welding – FSW) је поступак спајања делова поступком заваривања трењем где се, за разлику од већине конвенционалних поступака заваривања, стварање монолитног споја два или више материјала врши у чврстом стању (нема знатног топљења основног и/или додатног материјала). Друга специфичност овог процеса у односу на друге, често називане „конвенционалне поступке заваривања“, је да се заваривање врши помоћу специјалног ротационог алата, на одговарајућој машини која може да оствари обртно кретање алата. Код конструкционог извођења са алатом у облику глодала, пре самог заваривања делови који се заварују (основни метал) постављају се у положај за заваривање (поставе се тако да се додирују по линији заваривања) на подложној плочи, која се поставља на радни сто машине (Слика 1). Подложна плоча има задатак да обезбеди формирање корене стране завара. Цео систем се чврсто везује за радни сто како би се спречило померање делова који се заварују и подложне плоче током заваривања. Алат који је, најчешће, цилиндричног или конусно-цилиндричног облика, поставља се у обртну главу машине.



Слика 1 Шема поступка заваривања трењем са мешањем

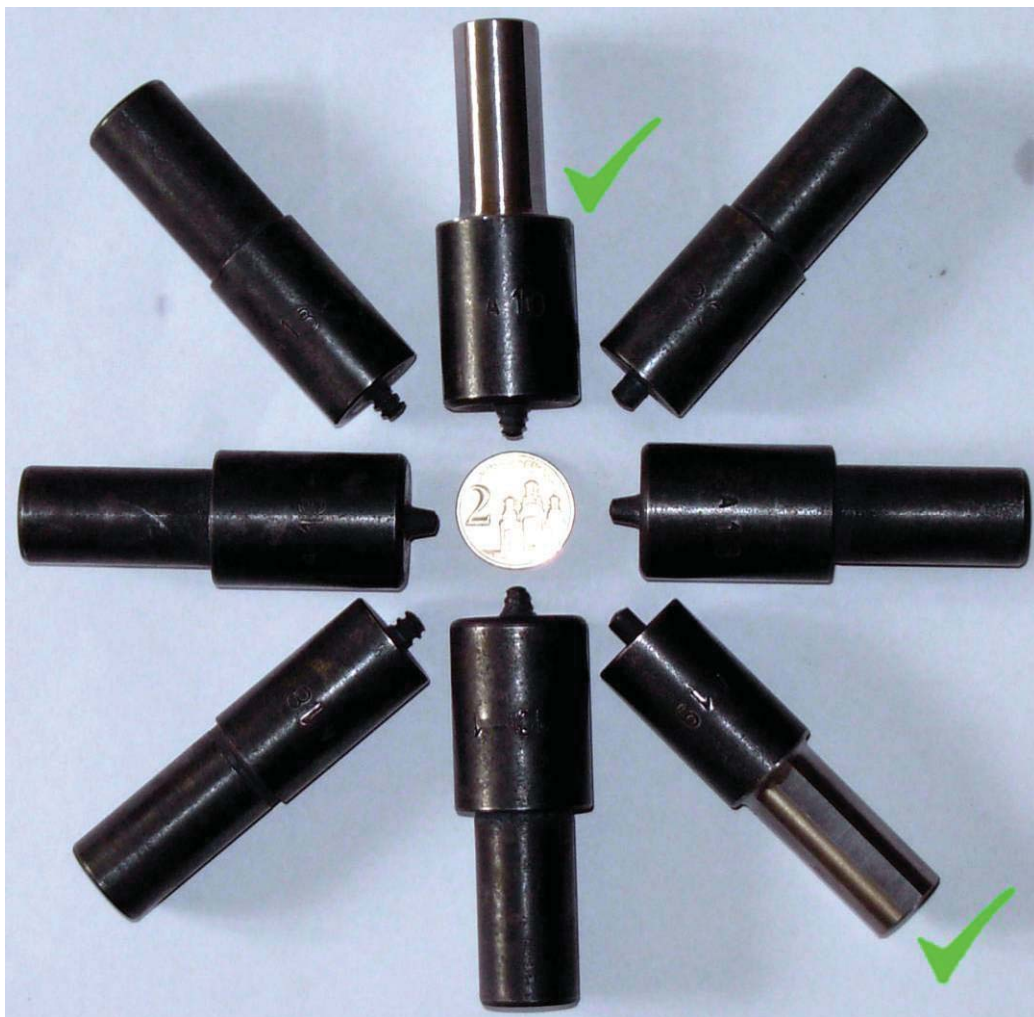
Заваривање почиње тако што алат започиње ротацију око своје осе и лагано продира у материјал делова који се заварују, у почетној тачки шава која се налази на линији спајања делова који се заварују. Током продирања, алат локално деформише материјал делова који се спајају а услед кретања (ротације алата) долази до загревања алата и плоча које се заварују. По завршетку продирања алата (до дубине која приближно одговара дебљини делова који се заварују), алат започиње кретање дуж линије споја. При том алат захвата одређену дебљину материјала оба дела која заварује, при том тај материјал деформише, загрева, а истовремено алат и клизи преко дела материјала на који наилази. При том се (услед ротације алата, геометрије алата, сила адхезије, кохезије, трења, итд) деформисане честице метала мешају и алат их депонује у зони коју напушта. На тај начин се, у зони иза алата а дуж линије спајања и око ње, формира монолитан спој настао загревањем и мешањем честица основног метала - шав. По заваривању жељене дужине, алат престаје са транслацијом, али наставља ротацију и извлачи се из споја те тако прекида процес заваривања. Делови остају заварени а на месту извлачења алата остаје рупа као отисак алата.

Алат за заваривање

Заваривање трењем са мешањем врши се дејством посебног алата на радне комаде (Слика 2). Алат ротира око своје осе и додатно се аксијално креће у односу на основни материјал. У односу

на стварање завареног споја, функције алата су да: предгреје основни метал у зони заваривања, деформише основни метал и изврши мешање материјала и направи завар.

Предгревање основног метала у зони заваривања врши се услед контакта алата и основног метала и генерисања топлоте на контакту што олакшава деформисање основног метала и његово мешање у монолитни спој.



Слика 2 Фотографија коришћених алата

Бројне су и другачије конструкције алата, али, све су сагласне основном облику алата. Постоје конструкције са додатним жлебовима на клину, са профилисаним челом клина, са цилиндричним упуштењем на челу носача итд. Постоје конструкције које искључују примену подложне плоче јер саме врше регулацију сила отпора. Примена одговарајуће конструкције алата (Табела 1) на одређени материјал утиче на квалитет завареног споја у истој мери као и технолошки параметри процеса заваривања (број обртаја алата, брзина кретања алата итд.).

Технолошки режими ЗТМ

Како је пракса показала, на формирање квалитетног завара поступком ЗТМ, доминантно утичу: алат (геометрија, материјал, стање активних површина алата итд.), аксијална сила и технолошки параметри поступка.

У најважније технолошке параметре поступка спадају број обртаја алата n и брзина заваривања v_x . Оба параметра су подједнако важна за поступак заваривања и важно је усагласити их, како међусобно, тако и са геометријским параметрима алата и радних комада (дебљина радних комада).

Одабир одговарајуће геометрије алата и технолошких параметара заваривања са којима је могуће извршити квалитетно заваривање је, за сада, могуће одредити само експериментално. Аксијална сила, као и остала оптерећења на алату (сила заваривања, обртни момент, ангажована снага на алату, момент трења, температура алат и основног метала итд.) су зависни од алата, основног метала и параметара заваривања, али су зависни и међусобно, те је најпрецизнији метод њиховог одређивања, такође, експерименталан.

Табела 1 Облик и димензије алата

	d [mm]	D [mm]	h [mm]	h_n [mm]	α [°]	\square [°]	H [mm]	H_{max} [mm]	P [mm]
<p>Ц10</p>	5	20	5	35	×	≈6		×	
<p>К11</p>	5	25	5	35				1,5	

Експериментална истраживања ЗТМ поступка

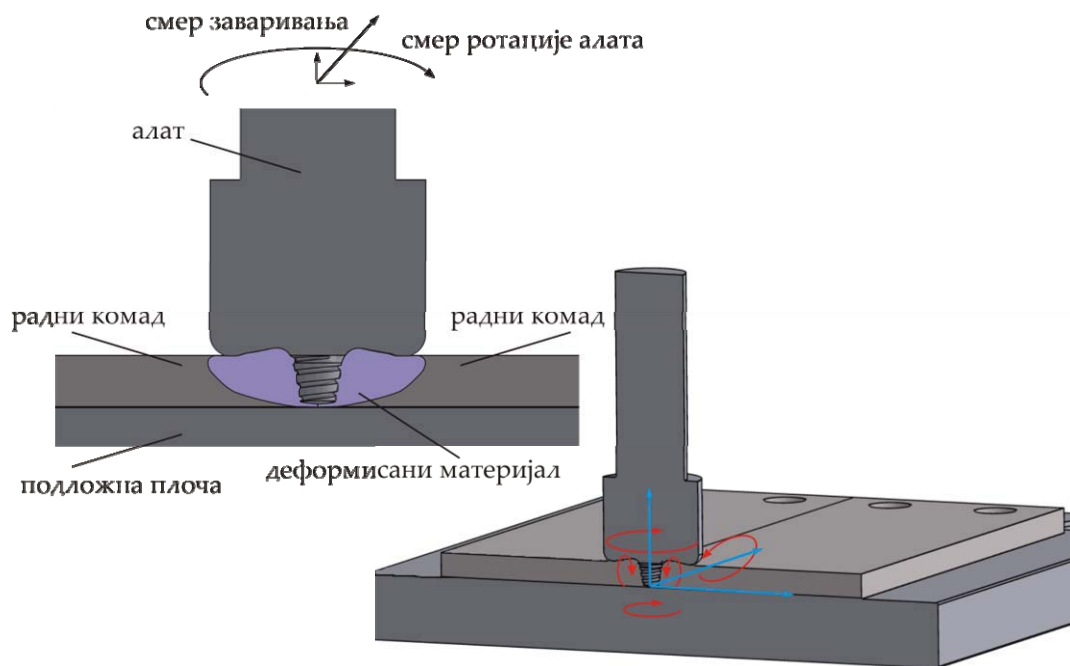
Експериментална испитивања ЗТМ поступка су усмерена ка два циља:

- Мерење важних физичких величина самог ЗТМ поступка – обртни момент, сила продирања, температура радних комада итд. при анализи и тражењу технолошких режима заваривања који су оптимални;
- Мерење важних физичких величина самог ЗТМ поступка – обртни момент, сила продирања, момент трења итд. при различитим режимима заваривања, са различитим алатима али са циљем одређивања коефицијента трења, количине генерисане топлоте, напона, деформација итд.

Постојећи проблеми при експерименталним истраживањима ЗТМ поступка

Заваривање трењем са мешањем плочастих делова алатом у облику глодала представља сложен геометријско-кинематски склоп алата, подложне плоче, елемената за притезање и основног метала, праћен драстичним деформисањем материјала основног метала, његовим премештањем, мешањем и депоновањем у зони иза алата, генерисањем топлоте, загревање материјала, појава вибрација итд. Фрикциони процеси (трење, адхезија, кохезија, хабање, клизање итд.) су, такође, вреома бројни и учестали. Алат и основни материјал могу да се крећу један у односу на други, док је алат круто повезан за подложну плочу, односно, радни сто алата, и они се не крећу један у односу на други. Баш такав концепт усложњава експериментално праћење процеса заваривања трењем са мешањем:

- Крута веза основног материјала и подложне плоче отежава праћење и мерење сила које оптерећују алат, односно, основни метал (аксијална сила која дејствује дуж осе ротације алата, сила заваривања која дејствује дуж линије спајања, попречна сила која дејствује управно на линију спајања радних комада (Слика 3).
- Одређивање/Мерење момента трења, односно, силе трења која делује на контакту алата и радних комада, отежано је услед сложене геометрије алата и непрекидне промене положаја алата у односу на радне комаде (уз додаток кретања деформисаног материјала око алата).
- Контактна мерење температуре алата/радних комада у зони заваривања је отежано због кретања алата/материјала итд.



Слика 3 Приказ поступка ЗТМ и шема кретања алата и материјала око алата

Стање решености проблема мерења појединих величина при ЗТМ поступку

Плочасти делови се поступком ЗТМ, по правилу, најчешће заварују у хоризонталном положају („РА“, према ISO 6947: 2005). Овај положај је наметнут специјализованим радним машинама за ЗТМ са вертикалним осама ротације стезне главе али и најједноставнијим захтевима према учвршћењу радних комада, подложне плоче и радног стола. При том се подразумева да се алат креће транслаторно у односу на радне комаде док они мирују. Уколико се заваривање врши на машинама алаткама, најчешће се транслаторно креће радни сто док алат (само транслаторно гледано) мирује. У таквом случају је једноставније поставити сензоре силе којима је могуће мерити силе које индукује кретање алата. Позната су решења где се читав радни сто са алатом и радним комадима доводи у стање “лабилне равнотеже” која је успостављена са три до шест сензора силе (у аксијалном, подужном и попречном правцу кретања алата). Оваква решења мерног система за силе код ЗТМ поступак су потенцијално опасна по оператере јер и мали дебаланси система доводе до превртања радног стола са радним комадима. Стабилна конструкција за мерење сила које индукује дејство алата је са мерним тракама, међутим, тачност мерења код овакве конструкције је веома дискутабилна. Мерење сила при ЗТМ поступку у положају различитом од хоризонталног није забележено у литератури.

Мерење обртног момента на алату је једноставно изводљиво на више начина (постављањем сензора обртног момента на самом алату или на вези алата и стезне главе машине, посредним мерењем јачине електричне струје коју повлачи електромотор погона радне машине при раду, која се по принципу аналогије трансформише у обртни момент). Светска литература ни не помиње као проблем мерење обртног момента при ЗТМ.

Мерење температуре алата и радних комада при ЗТМ поступку је изводљиво контактним или бесконтактним методама. Према литературним изворима, предност при коришћењу код ЗТМ

поступка даје се бесконтактним методама (термо-камере) док се незнатно ређе, као контактна метода, користе термопарови или микротермометри. Проблеми при коришћењу термо-камера, поред мерења само температуре површине радних комада, јесу рефлексивност и физичко заклањање зоне заваривања (алатом) те је мерење условљено положајем заваривања, машином, димензијама радних комада итд. Мерење термопаровима је условљено припремом плоча које се заварују (бушење одговарајућих отвора/рупа у плочама) и захтева удаљење термопарова од зоне заваривања како не би били механички уништени током самог заваривања.

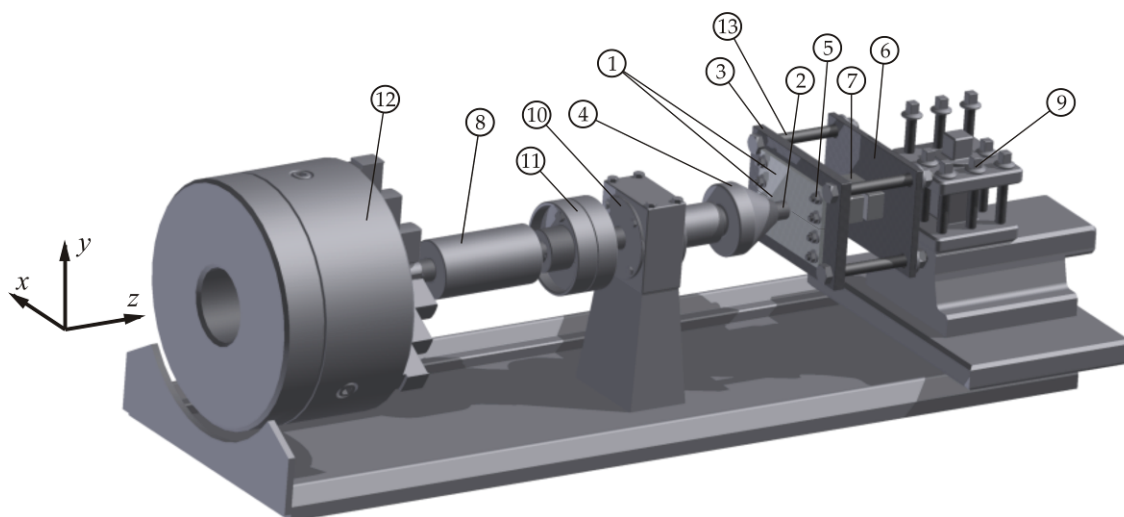
Мерење величина које дефинишу коефицијент трења при ЗТМ (сила трења, момент трења, параметри хабања, клизања итд.) су најслабије објашњени у литератури. Ове величине су, најчешће, претпостављане, моделиране или занемариване, иако сам поступак заваривања носи назив према доминантној појави – трењу.

Конфигурације радног места за експериментална истраживања ЗТМ поступка

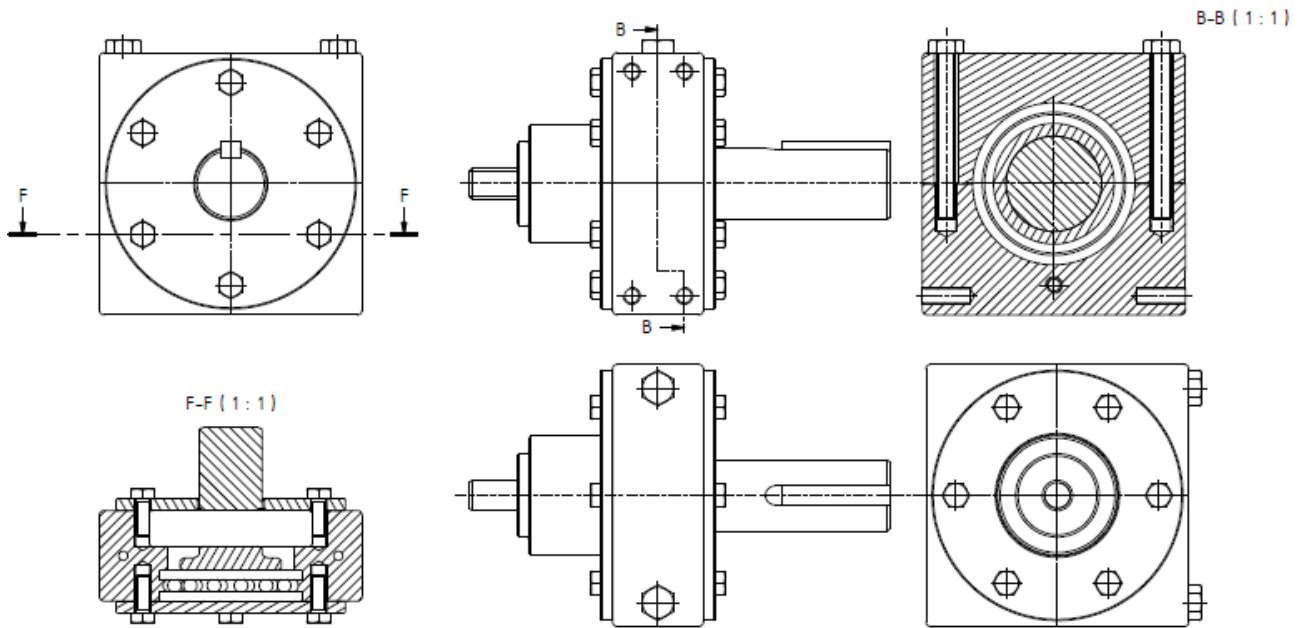
Са циљем остварења већине захтева који се намећу при експерименталном истраживању поступка заваривања трењем, након конструкционо-технолошких анализа дошло се до закључка да је неопходно формирати радно место које поседује особине лаке изменљивости и трансформације. Основни закључак је да је неопходно дефинисати опрему и неопходне алате тако да се заваривање може лако изводити у хоризонталном положају (оса алата је вертикална) као и у вертикалном положају (оса алата је хоризонтална). Стога су дефинисане две радне конфигурације мерног места – вертикална и хоризонтална (зависно од осе алата) – прво за мерење отпора при заваривању, обртног момента итд и друга за мерење момента трења и коефицијента трења.

Хоризонтална конфигурација

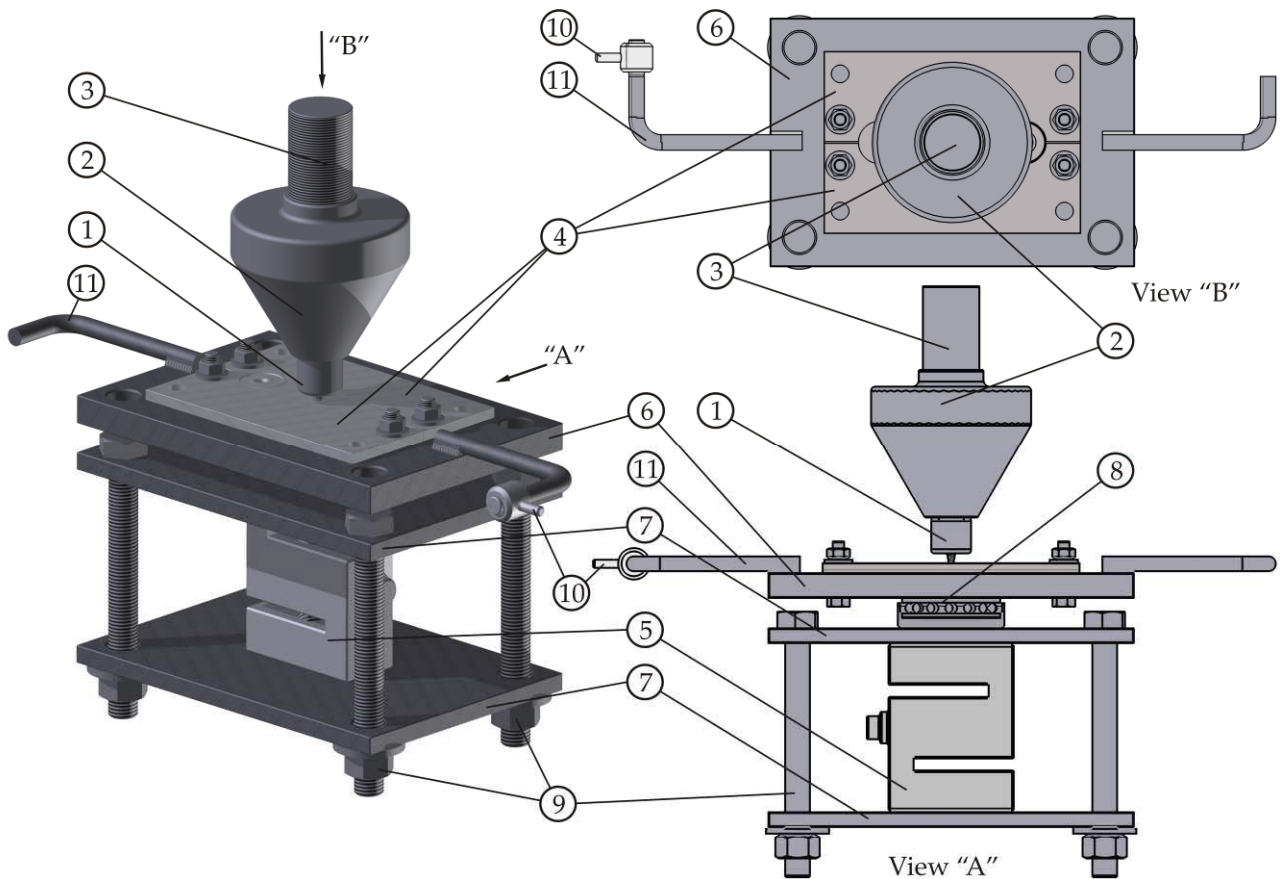
На слици 4 приказан је део опреме везан за позиционирање и стежање радних комада на хоризонталној конфигурацији 1 радног места. Радни комади - две припремљене плоче (позиција 1) се постављају на подложну плочу (позиција 3), позиционирају и притежу завртњевима (позиција 5) како би се спречило померање плоча током заваривања. Између подложне и ослоне плоче (позиција 6), које су повезане фундаменталним завртњевима (позиција 13), поставља се сензор силе (позиција 7) којим се мери сила продирања алата у плоче. Фундаментални завртњевима су пречника који је мањи од пречника отвора у плочама како би се свели на минимум контактни отпори који би могли да утичу на мерење аксијалне силе. Тако припремљен склоп се монтира на носач алата машине (позиција 9).



Слика 4 Радно место за ЗТМ поступак, хоризонтална конфигурација 1: 1-радни комади, 2 - алат за заваривање, 3-подложна плоча, 4-стежна глава уређаја за заваривање, 5-завртњевима, 6- ослонна плоча, 7-сензор силе, 8-сензор обртног момент, 9-носач алата машине, 10-носач, 11-спојница, 12-стежна глава машине, 13-фундаментални завртњевима



Слика 5. Носач са радијалним-аксијалним лежајима



Слика 6 Радно место за ЗТМ поступак, хоризонтална конфигурација 2: 1-алат за заваривање, 2 - стезна глава уређаја за заваривање, 3-вратило машине, 4-радни комади, 5- сензор силе, 6- подложна плоча, 7- ослона плоча, 8-аксијални лежај, 9-завртњевци, 10-сензор силе, 11-полуга

Алат за заваривање (позиција 2) се поставља у стезну главу уређаја за заваривање (позиција 4), која је постављена на вратило, које је преко аксијалног и радијалног лежаја улежиштено у носачу (позиција 10) тако да се аксијална сила (сила продирања) не преноси даље од кућишта. Слободни крај вратила је спојницом (позиција 11) повезан са излазним вратилом сензора обртног момента (позиција 8) а улазно вратило сензора је стегнуто у стезној глави машине (позиција 12) од које добија погон – обртно кретање. Према томе, у оваквој конструкцији, главно кретање врши

алат – обртно кретање, док помоћно – транслаторно кретање, у 2 правца, врши носач алата са плочама које се заварују.

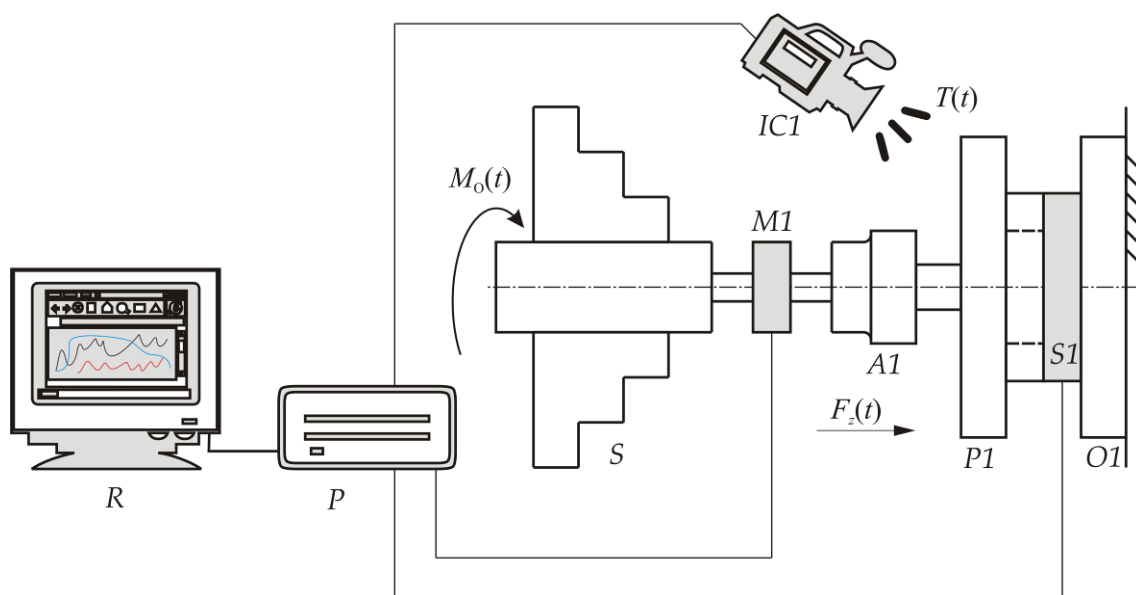
Носач (позиција 10) има задатак да спречи пренос аксијалне силе са алата на сензор обртног момента (круто место у трансмисији, слика 5).

Важан део опреме представља подложна плоча јер она директно утиче на стварање корена шави и одвођење топлоте током заваривања. Како алат не продире у радне комаде целом дужином клина (при максималном продору алата остаје мање од 0,5 mm од чеља клина до подложне плоче), подложна плоча представља крути ослонац на коме се обликује корен шави – загрејани материјал на корену шави је приморан услед кретања алата и већ покренутог метала из радних комади да се сједини у монолитан спој близу површине подложне плоче. Подложна плоча, такође, треба да спречи интензивно одвођење топлоте из зоне заваривања.

За разлику од хоризонталне конфигурације 1, која је намењена мерењу отпора при заваривању, хоризонтална конфигурација 2 (слика 6) је модификација конфигурације 1 у зони заваривања, са циљем да се омогући мерење момента трења/коэффициента трења. Алата продире у радне комаде који су причвршћени на подложној плочи и преко аксијалног лежаја постављени на сензор силе али тако да је отпор окретању плоче са радним комадима сведен на минималну меру. Преко полуге и другог сензора силе, мери се сила на краку полуге а множењем силе и дужине крака полуге добија се момент трења.

Технички детаљи мерног места

На слици 7 је приказана шема мерне конфигурације 1, а на сликама 8 и 9 мерно место са мерном конфигурацијом 1. У табели 2 је дат опис компоненти мерне конфигурације 1 са техничким детаљима.



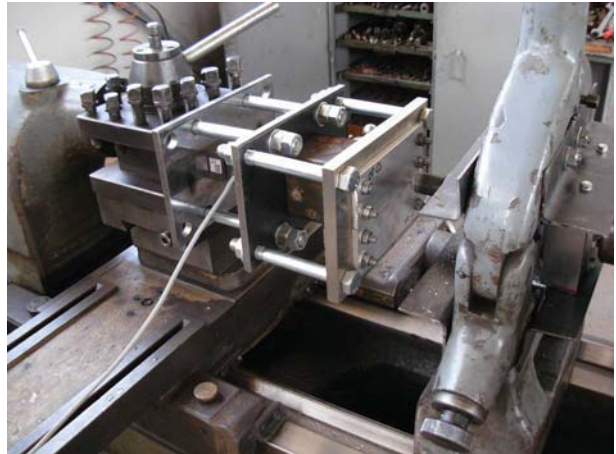
Слика 7 Мерна конфигурација 1 - мерење физичких величина код ЗТМ поступка

Табела 2 Компоненте мерне конфигурације 1

R	Рачунарска јединица: Macintosh PowerBook 520с, са софтверским пакетом BEAM 3.1
P	Појачивач: Hottinger Baldwin Messtechnik DMC 9012A
S	Стезна глава струга
M1	Сензор обртног момента: Hottinger Baldwin Messtechnik, Drehmoment-Messwelle T1 100 Nm
A1	Алат за заваривање
P1	Радни комади
S1	Сензор силе: HBM S7M
O1	Ослонац
IC1	Термовизијска камера: VARIOSCAN 3021

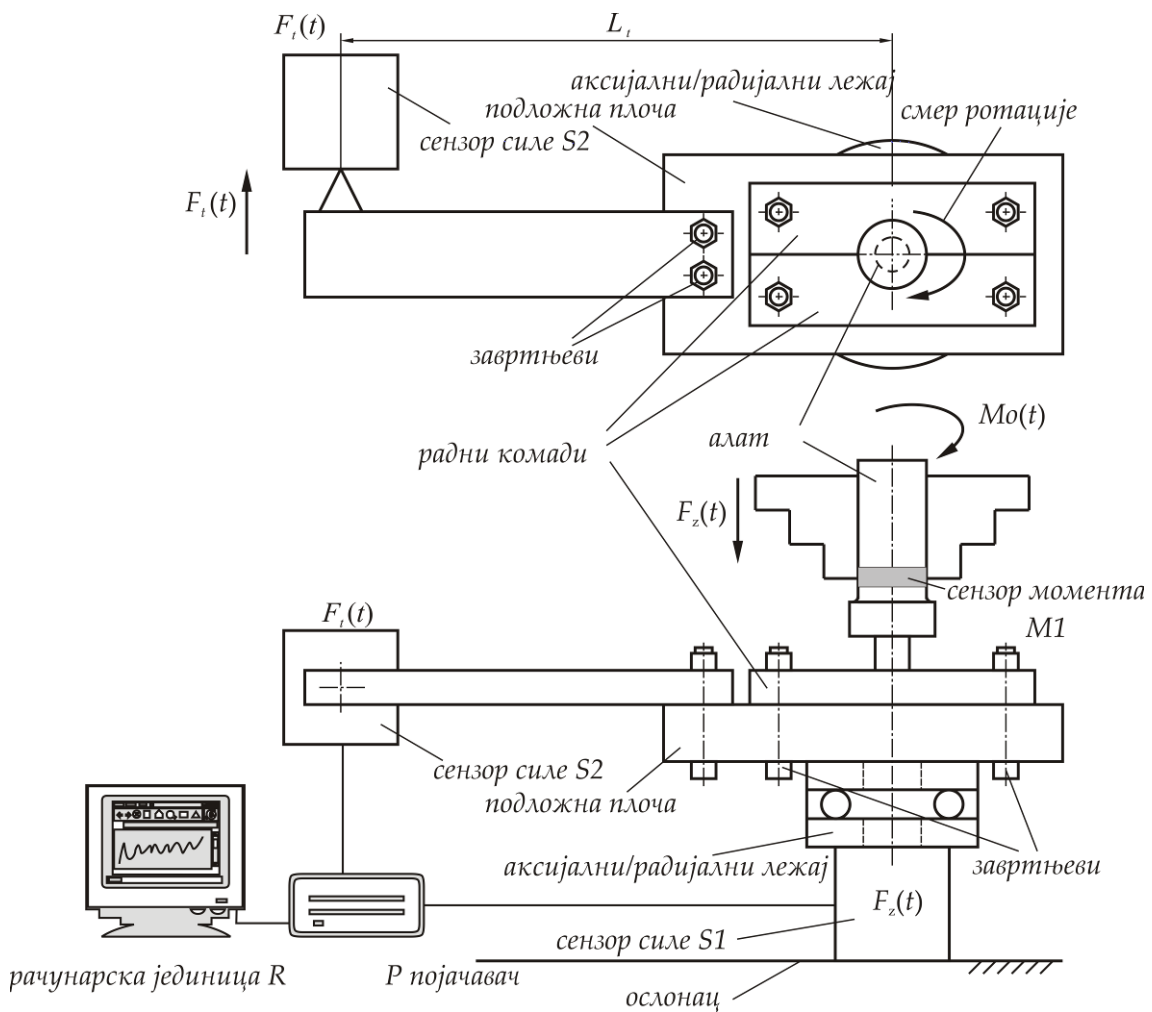


Слика 8 Мерна конфигурација 1



Слика 9 Мерна конфигурација 1 – детаљ

На слици 10 приказана је шема мерне конфигурације 2 чија намена је мерење величина помоћу којих је могуће одредити коефицијент трења на контакту алата и основног метала. У табели 3 приказани су технички детаљи о компонентама из мерне конфигурације 2, а на сликама 11 и 12 је приказано извођење мерне конфигурације 2 на радном месту.



Слика 10 Мерна конфигурација 2 - мерење физичких величина код ЗТМ поступка

Табела 3 Компоненте мерне конфигурације 2

R	Рачунарска јединица: Macintosh PowerBook 520с, са софтверским пакетом ВЕАМ 3.1
P	Појачивач: Hottinger Baldwin Messtechnik DMC 9012A
S	Стезна глава струга
M1	Сензор обртног момента: Hottinger Baldwin Messtechnik, Drehmoment-Messwelle T1 100 Nm
A1	Алат за заваривање
P1	Радни комади
S1	Сензор силе: HBM S7M
S2	Сензор силе: HBM S725-M



Слика 11 Мерна конфигурација 2



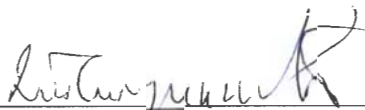
Слика 12 Мерна конфигурација 2 - детаљ

Обе мерне конфигурације су монтиране на истој радној машини при чему је стезна опрема модификована како би одговарала промењеној мерној конфигурацији.

Мишљење рецензента

На основу приказаног описа техничког решења и техничких детаља наведених у материјалу, као и на основу чињенице да је успешно спроведен велики број експерименталних истраживања помоћу наведеног техничког система, као рецензент сматрам да технички систем аутора Мирослава Мијајловића, Драгана Милчића, Слободана Јовановића и Драгана Јовановића назван "Радно место за експериментална истраживања поступка заваривања трењем са мешањем" представља оригинални научно-стручни допринос и, према важећим критеријумима, може се сврстати у категорију М82 - ново експериментално постројење.

Рецензент:



др Драган Стојиљковић, редовни професор,
Универзитет у Нишу, Технолошки факултет у Лесковцу;

Мишљење рецензента

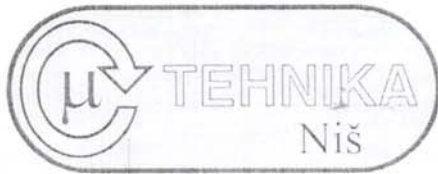
Техничко решење аутора Мирослава Мијајловића, Драгана Милчића, Слободана Јовановића и Драгана Јовановића названо "Радно место за експериментална истраживања поступка заваривања трењем са мешањем" представља материјализовани производ научно-истраживачког рада који је добро спрегнут са инжењерским приступом у реализацији проблема мерења физичких величина које се јављају током производних процеса.

Као такво, техничко решење "Радно место за експериментална истраживања поступка заваривања трењем са мешањем" представља оригинални научно-стручни допринос и као рецензент оцењујем да се према критеријумима може сврстати у категорију М82 - ново експериментално постројење.

Рецензент:



др Миомир Вукићевић, ванредни професор,
Универзитет у Крагујевцу, Факултет за машинство и грађевинарство у Краљеву



160-216685-18 Banca Intesa AD

Mat. br. 17031180

Š.del. 29560

MIKROTEHNIKA

D.o.o. za proizvodnju i inženjering

Anete Andrejević 25a, 18000 Niš

Tel. +381 18 245 535 Fax. +381 18 522 932 Mob. +381 63 470 511

info@mikrotehnika.co.rs

www.mikrotehnika.co.rs

IBAN: RS 35160005010023985743 Banca Intesa AD

PIB 100991061

PEPDV 131566092

Predmet: Mišljenje o tehničkom rešenju

Naziv tehničkog rešenja:

RADNO MESTO ZA EKSPERIMENTALNA ISTRAŽIVANJA POSTUPKA ZAVARIVANJA TRENJEM SA MEŠANJEM

Predloženo tehničko rešenje je realizovalo osoblje Mašinskog fakulteta u Nišu u saradnji sa firmom "Mikrotehnika d.o.o." i pri tom su korišćeni zajednički resursi Mašinskog fakulteta u Nišu i Mikrotehnike pri realizaciji. Zbog toga, kao saradnik u realizaciji ovog tehničkog rešenja, "Mikrotehnika d.o.o" daje svoje

MIŠLJENJE

o tehničkom rešenju

RADNO MESTO ZA EKSPERIMENTALNA ISTRAŽIVANJA POSTUPKA ZAVARIVANJA TRENJEM SA MEŠANJEM

1. Ovo tehničko rešenje predstavlja materijalizovani proizvod naučno-istraživačkog i stručnog rada.
2. Nakon osmišljavanja i izgradnje radnog mesta, do današnjeg dana, izvedeno je više od 50 uspešnih eksperimentalnih ispitivanja koja su dala odlične rezultate koji doprinose daljem razvoju postupka zavarivanja trenjem sa mešanjem.

Kao zaključak svega, možemo da potvrdimo konzistentnost i upotrebljivost ovog tehničkog rešenja za eksperimentalna istraživanja postupka zavarivanja trenjem sa mešanjem.

Mikrotehnika d.o.o.

Biljana Stanić-Jovanović



На основу члана 68., став 1. тачка 37. Статута Машинског факултета Универзитета у Нишу (Број: 612-262-2-1/2007 од 30.03.2007. године-пречишћен текст Статута), Наставно-научно веће Машинског факултета Универзитета у Нишу на седници одржаној 28. јануара 2013. године, доноси

О Д Л У К У

Члан 1.

Усваја се техничко решење под називом: „РАДНО МЕСТО ЗА ЕКСПЕРИМЕНТАЛНА ИСТРАЖИВАЊА ПОСТУПКА ЗАВАРИВАЊА ТРЕЊЕМ СА МЕШАЊЕМ“, чији су аутори: др Мирослав Мијајловић, дипл. инж. маш, асистент, др Драган Милчић, редовни професор, мр Слободан Јовановић, дипл. инж. маш, асистент, Драган Јовановић, дипл. инж. маш, асистент.

Одлуку доставити:

- Продекану за научно-истраживачки рад,
- Одсеку за људске ресурсе – архиви Машинског факултета.

НАСТАВНО-НАУЧНО ВЕЋЕ МАШИНСКОГ ФАКУЛТЕТА
УНИВЕРЗИТЕТА У НИШУ



ПРЕДСЕДНИК

Проф. др Властимир Николић