

УНИВЕРЗИТЕТ У КРАГУЈЕВЦУ

Факултет инжењерских наука у Крагујевцу

Катедра за производно машинство

Дипломски рад

Предмет: **Производне технологије I**

Назив теме:

**РЕПАРАТУРНО ЗАВАРИВАЊЕ ОШТЕЋЕНИХ РАДНИХ ДЕЛОВА
МАШИНСКИХ СИСТЕМА**

1. Основни узроци оштећења радних делова
2. Преглед најважнијих поступака заваривања топљењем
3. Оцена заварљивости и основни принципи при избору додатног материјала
4. Избор технологије репаратурног заваривања и наваривања неких карактеристичних оштећених делова
5. Закључак
6. Литература

У Крагујевцу

Кандидат:

06. 09. 2016. године

Марија Влашковић, бр. индекса: 108/2001

Дипломски задатак издао:

Предметни наставник:

Др Вукић Лазић, ред. проф.

Листа табела

Табела 1 - Карактеристике поступака наваривања [1]	24
Табела 2 - Утицај структуре додатног материјала на излазне особине превлаке	40
Табела 3 - Упоредне ознаке $\check{C}L3134$, механичке особине и хемијски састав.....	53
Табела 4 - Особине додатног материјала	53
Табела 5 - Наваривање РЕЛ поступком (параметри)	54
Табела 6 - Резултати мерења масе зуба пре и након експлоатације од 3200 часова	60
Табела 7 - Приказ електрода за заваривање сивог лива и параметара заваривања	66

Листа дијаграма

Дијаграм 1 - Избор микроструктура за различите врсте хабања	47
Дијаграм 2 - Губитак масе ненаварених и наварених зуба	60

Листа слика

Слика 1 - Лом алуминијумске ручице услед замора материјала [2]	12
Слика 2 - Гасно заваривање (лево), електролучно заваривање (десно)	16
Слика 3 - Шематски приказ регенерисаних спојева	17
Слика 4 - Поступак метализације [5]	18
Слика 5 - Облици заварених спојева	18
Слика 6 - Основни елементи завареног споја	19
Слика 7 - Основни елементи жлеба	19
Слика 8 - Врсте шавова	19
Слика 9 - Основни положаји заваривања	20
Слика 10 - Приказ континуитета шавова	20
Слика 11 - Површине које треба очистити [6]	21
Слика 12 - Приказ исправно изведеног завава	22
Слика 13 - Електролучно заваривање нетопљивом електродом (ТИГ)	25
Слика 14 - Електролучно заваривање топљивом електродом у заштити гаса (МИГ)	27
Слика 15 - Обложена електрода	27
Слика 16 - Врста обложених електрода са ручним електролучним наваривањем	28
Слика 17 - Етапе репаратурног наваривања матрица за ковање челика [1]	29
Слика 18 - Припрема делова за заваривање стелитом [1]	29
Слика 19 - Шема гасног наваривања и препоручено регулисање окси-ацетиленског пламена	30
Слика 20 - Технике гасног наваривања [1]	31
Слика 21 - Гасно наваривање прашком	32
Слика 22 - Гасно наваривање унутрашње површине цилиндра прашком	32
Слика 23 - Навар добијен гасним наваривањем прашком	32
Слика 24 - Попречни пресек пуњених жица	33
Слика 25 - Пресеци пуних и пуњених жица и трака за наваривање под прахом	34
Слика 26 - Шема ЕПП наваривања под прахом	34
Слика 27 - Наваривање под трошком	35
Слика 28 - Принципијална шема уређаја за наношење плазма поступком	36
Слика 29 - Шема плазменог наваривања прашком	37
Слика 30 - Шематски приказ ТИГ наваривања плазмом	37
Слика 31 - Шематски приказ МИГ наваривања плазмом	38
Слика 32 - Промена тврдоће навара Хадфилдовога челика пре деформације	44

Слика 33 - Микроструктура навара пре деформације	44
Слика 34 - Промена тврдоће навара Хадфилдовога челика након деформације	45
Слика 35 - Микроструктура навара након деформације	45
Слика 36 - Расподела тврдоће и микроструктуре навара	46
Слика 37 - Избор микроструктура за различите врсте хабања - легуре за наваривање	47
Слика 38 - Зуби багера утоваривача на кашики [7]	50
Слика 39 - Изглед зуба утоварне кашике - оштећени производ	51
Слика 40 - Изглед зуба утоварне кашике - нови производ	51
Слика 41 - Електрода ABRADUR 58 [8]	54
Слика 42 - Редослед полагања навара	55
Слика 43 - Расподела тврдоће и микроструктура карактеристичних зона навара	55
Слика 44 - Расподела тврдоће и микроструктура типичних зона навара	56
Слика 45 - Трибометар TPD-93 и остала опрема за извођење триболошких тестова	57
Слика 46 - Похабаност блокова	57
Слика 47 - Изглед наварених зуба	58
Слика 48 - Редослед монтирања зуба на кашику утоваривача након 360 сати ефективног рада	58
Слика 49 - Изглед наварених зуба након 1600 часова ефективног рада	59
Слика 50 - Изглед наварених зуба након 3200 часова ефективног рада	59
Слика 51 - Приказ појаве угљеника код сивог ливеног звожђа	61
Слика 52 - Прслине у ливеној плочи (изнад) и израда жлеба за заваривање (испод)	62
Слика 53 - Пресек плоче од сивог лива наварене РЕЛ поступком на хладно - електроде од меког челика	64
Слика 54 - Комбиновано заваривање сивог лива на хладно	64
Слика 55 - Примери припреме жлебова за заваривање сивог лива (прилагођавање SL)	67
Слика 56 - Изглед оштећења кућишта редуктора од сивог лива	69
Слика 57 - Репаратурно заваривање на основу пукотина према пресецима	70
Слика 58 - Репаратура прслине у пресеку „А-А“ (лево) и „В-В“ (десно)	71
Слика 59 - Репаратура прслине у пресеку "С-С" (лево) и "D-D" (десно)	72

Abstract

In this paper work in the introduction is explained very nature of repair, as well as the most common welding processes. Described are the main causes of damage to the working parts, which is very important to choose the appropriate procedure surfacing due to reduced replacement costs and increasing life span of certain vital parts and assemblies of devices and machines. In addition, the surfacing of new parts is very important, where necessary hardness of the surface layers is achieved by applying a hard alloys instead of conventional cementation methods. The above mentioned are the most important actions for fusion welding. Basic principles in the selection of filler material are provided, where the structure and chemical composition of the main factors predestined to regenerate during the election materials. Rating weldability means predictable properties of welded joints after welding of metals and alloys. The last chapter describes a selection technology repair welding and surfacing of some characteristic of damaged parts. When a cracked damage to the gear unit housing need repair welding of the current repairs, preparations лебо through depositing weld to the final closing of thermal and mechanical processing. While, in case of damage star cracks are probably caused by overloading stars, and some were made after the original repair. Cracked star will weld the complex welding process - preparing the groove and the possibility of applying heat treatment - transient, current and ex post. In addition to the operational things fall and available welding equipment, training of personnel for welding and basic division of labor with the repair of damaged star.

Key words: repair welding, steel

Резиме

У овом дипломском раду у уводном делу је објашњен сам значај репаратуре, као и најчешћи поступци заваривања. Описани су основни узроци оштећења радних делова, где је јако битан избор одговарајућег поступка наваривања због смањења трошкова замене, односно повећања века појединих виталних делова и склопова уређаја и машина. Поред тога и наваривање нових делова је јако битно, где се потребна тврдоћа површинских слојева постиже наношењем тврдих легура, уместо класичним методама цементације. Поменути су најважнији поступци заваривања топљењем. Основни принципи при избору додатног материјала су дати, где структура и хемијски састав представљају главне факторе предодређене за регенерацију током избора материјала. Оцена заварљивости представља предвиђање особина заварених спојева након заваривања метала и легура. У последњем поглављу је описан избор технологије репаратурног заваривања и наваривања неких карактеристичних оштећених делова. Код оштећења напрслог кућишта редуктора је потребно репаратурно заваривање од самог тока репаратуре, припреме жлебоа преко полагања завара па до завршне финалне термичке и машинске обраде. Док, код оштећења звезда прслине су вероватно настале услед преоптерећења звезде, а неке су настале и након првобитне репаратуре. Напрсла звезда ће се заварити сложеним процесом заваривања – припрема жлеба и могућношћу примене термичке обраде – преходне, текуће и накнадне. Поред тога у опративне ствари спадају и расположива опрема за заваривање, обученост кадра за заваривање и основне поделе посла код репаратуре оштећене звезде.

Кључне речи: репаратурно заваривање, челик

Садржај

Резиме	5
1. Увод	8
2. Основни узроци оштећења радних делова.....	11
2.1. Теорија трења	12
2.2. Теорија хабања	13
2.3. Термомеханички замор	14
3. Преглед најважнијих поступака заваривања топљењем.....	16
3.1. Облици заварених спојева.....	18
3.2. Наваривање.....	21
3.2.1. Електролучно заваривање нетопљивом електродом (ТИГ).....	25
3.2.2. Електролучно заваривање заштитом у инертном и активном гасу.....	26
3.2.3. Ручно електролучно наваривање (РЕЛ)	27
3.2.4. Гасно наваривање.....	30
3.2.4.1. Гасно наваривање жицом или шипком	30
3.2.4.2. Гасно наваривање прашком	31
3.2.5. Наваривање отвореним луком	33
3.2.6. Наваривање под прахом	33
3.2.7. Наваривање под трошком.....	34
3.2.8. Наваривање плазмом	35
3.2.8.1. Плазмено наваривање прашком.....	36
3.2.8.2. Плазмено ТИГ наваривање	37
3.2.8.3. Плазмено МИГ наваривање	38
4. Оцена заварљивости и основни принципи при избору додатног материјала	39
4.1. Додатни материјал	39
4.1.1. Додатни материјали за ТИГ заваривање.....	41

4.1.2.	Додатни материјали за МИГ/МАГ заваривање	41
4.1.3.	Додатни материјали за ручно електролучно заваривање	42
4.1.4.	Додатни материјал за гасно заваривање	42
4.1.5.	Карбиди	42
4.1.6.	Материјали отпорни на хабање	43
4.2.	Оцена заварљивости	47
5.	Избор технологије репаратурног заваривања и наваривања неких карактеристичних оштећених делова	49
5.1.	Зуби багера утоваривача	49
5.1.1.	Сврха и радни услови зуба утоварних кашика.....	51
5.1.2.	Одабир процеса коришћења технологије заваривања и додатног материјала	52
5.1.3.	Пробна испитивања на моделима и зубима утоварне кашике.....	54
5.1.4.	Уопштено о заварљивости ливених гвожђа (РЕЛ заваривање) коришћено за репаратуру оштећења кућишта редуктора и звезде	61
5.2.	Избор репаратуре кућишта редуктора	65
5.2.1.	Технологија репаратуре	68
5.3.	Избор репаратуре оштећене звезде.....	70
6.	Закључак.....	73
7.	Литература.....	74

1. Увод

Још из старог века датирају почеци заваривања и то заједно са почецима метала и руде. Стари Сумерани (14. век пре нове ере) су знали за заваривање бакра. Грчки историчар Хердот спомиње заваривање као и римски Плиније млађи. Данас се сматра да је 98% заваривања применљиво у пракси, а с тим и лемљење, што је дефинисано по стандарду ISO 4063 (EN 24063).

Заваривање представља процес израде нераздвојивог споја успостављањем међуатомских веза између делова који се заварују, где се или комбиновано или појединачно користи механичка и топлотна енергија, а по потреби и додатни материјал. Заваривањем је могуће спајање метала са металом, неметала са неметалом и метала са неметалом, док се у практичном смислу подразумева спајање метала са металом. Најчешћи поступак поправљања делова је заваривање које се примењује током одржавања приближно половине делова технолошких система. Примењује се у циљу спајања поломљених делова, као и за затварање шупљина (рупа) и за сам поступак дораде током других механичких оштећења. У процесе сродне заваривању спадају и термичко резање, жљебљење, наваривање, метализација, као и лемљење и лепљење [1]. Класификација заваривања има доста због бројних начина и поступака заваривања и то према:

- 1) Намени (заваривање, наваривање, метализација);
- 2) Агрегатном стању (тољењем, притиском),
- 3) Врсти електроде (топљивом, нетопљивом, голом, обложеном, са језгром и др.);
- 4) Заштити растопа (без заштитне атмосфере или у заштитној атмосфери – инертног, активног гаса);
- 5) Стању електричног лука (са отвореним, покривеним луком и др.);
- 6) Врсти енергије.

Наваривање је наношење додатног материјала на основу. Обично је различитог хемијског састава од подлоге када је у питању регенерација, а приближно истог састава када се поправљају ливачке грешке на одливцима. Користи се у случајевима потребе враћања на почетне димензије истрошених површина и повећања њихове отпорности на хабање. Данас постоје разноврсне методе наваривања и термичке метализације. Метализација представља процес наношења растопљеног метала на оштећену површину распрскивањем. Код репаратуре делова алатних машина најраспрострањенија је електролучна метализација. Уколико се поступак наваривања користи за репаратуру делова и као заштита од хабања, тада је избор одговарајуће легуре за заштиту велики проблем због великог броја легура (неколико хиљада различитих материјала – легура се користи за наваривање) и различитих услова у којима делови раде.

По правилу се, након нормалног хабања или хабања услед неких незгода, могу регенерисати сви заменљиви елементи, као и други делови уграђени у разне склопове и

подсклопове машина, алатки, пољопривредних и грађевинских машина, друмских и шинских возила, железарских ваљака, преса и ковачких чекића.

*Репаратура*¹ представља тачно прописан редослед операција који треба доследно спровести код оштећених и разорених машинских делова и/или конструкција у циљу повратка показатеља (параметара) радне способности. Економски је исплативо репарирање више од половине заменљивих делова и поновна уградња у одговарајуће уређаје и машине. Током експлоатације, делови машинских конструкција су изложени различитим видовима запреминских и површинских општећења и разарања. Према испитивањима, у 80 – 90% случајева настају запреминска разарања машинских делова услед замора материјала. Исто тако и машински делови најчешће губе радну способност услед површинских оштећења. Поред тога постоје и неповољне структурне промене, напрслине, заостали напони и друге последице које прате репаратурно наваривање.

Због тога неки од делова, нпр. делови лифтова, дизалица, управљачког и кочионог система моторних возила се не смеју наваривати. Односно, могу се регенерисати али цена дораде би превазишла цену новог дела због додатне термичке обраде и пооштрене контроле током дораде. Постоји велики избор поступака и додатних материјала за наваривање где је одабир одговарајуће технологије и технике знатно сложенији у односу на само заваривање. Током комплексног истраживања појава које прате наваривање, у обзир се узима више чинилаца и то: температурски циклуси и температурно поље, заостали термички и структурни напони, металуршке реакције растопа основног метала и превлаке, врста накнаде машинске обраде и друго. Међутим када дође до оштећења често није могућа замена са одговарајућим новим делом већ се ужурбано тражи и по могућности што трајније решење. Проблем настаје ако се услед незнања одбаце скупи делови који се могу квалитетно поправити и уз нижу цену од набавке новог, а квалитетног као и нови део [1].

Да би се избегли велики економски трошкови због прекида производње у неком предузећу и ангажовању великих ресурса, људских и материјалних, потребно је приступити послу као актуелној производној пракси а не повременом раду наметнутом услед штете на деловима и уређајима. Код репаратурне технологије заваривања, наваривања, распршивања и лемљења репаратура може бити *код пукотина и ломова*, и да има модификацију појединих оштећених делова заваривањем; затим *код истрошених делова наваривањем*; и *код истрошених делова распршивањем на површину*. Распршивање се користи када се из неког разлога не сме користити наваривање. За то су највише заступљени челици и сиви лив.

Поред тога значајна је и јачина везе између основног материјала и превлаке са аспекта радних карактеристика наварених делова, као и у неким случајевима отпорност навара на хабање и корозију. Током наваривања температурски градијент знатно утиче на корисне особине навара, затим прелазни и заостали структурни и термички напони, и разлика коефицијената термичког ширења подлоге и превлаке. Смањењем брзине хлађења у критичном температурском интервалу структурни напони се могу (пошто се

¹ Термин потиче од латинске речи „*reparatio*“ – обнављање, поправка, поновно успостављање.

не могу математички одредити) свести на најмању меру. Француски физичар и математичар Фурије (енгл. *Jean Baptiste Joseph Fourier*) који се бавио истраживањима везаним за простирање топлоте у металима дао је значајан допринос проучавању тригонометријских редова. Пре његовог рада није постојала општа топлотна једначина преко које се могло израчунати простирање топлоте. Према Фуријеовој једначини простирања топлоте, коришћењем аналитичких израза које је извео Рикалин за делове једноставнијег геометријског облика, као и применом нумеричких метода (методе коначних елемената, методе коначних разлика и остало) одређују се температурски циклуси и температурско поље.

Велике су могућности у одабиру оптималног поступка репаратурног заваривања и санацији штете, поготово у данашње време када постоји богата понуда опреме и уређаја за заваривање, додатних материјала, могућности брзе и поуздане анализе функције и својства основних материјала. Стручни кадар такође има кључну улогу у свему, јер њихово стручно знање треба да има и потребно решење за сва питања и задатке који се свакодневно отварају на том подручју.

2. Основни узроци оштећења радних делова

Постоје различити узроци превременог отказа радних делова машина, уређаја и њихових елемената у експлоатационим условима. Према истраживањима узрока оштећења делова машина и уређаја, закључак је да они у више од 50% случајева настају током триболошких процеса у мање-више нормалним условима експлоатације. Могуће су грешке и у самом пројектовању приликом одабира материјала, његовом димензионисању, обликовању, топлотној обради и слично. Потребно је из тог разлога познавати могуће механизме хабања спрегнутих делова за пројектовање технологије регенерације оштећених делова. Све већу примену налазе поступци репаратуре и приликом наношења антикорозивних превлака, обнављању похабаних делова, а и услед дораде нових делова израђених са грешком (као што је већ споменуто).

Исто тако је јако битан избор одговарајућег поступка наваривања због смањења трошкова замене, тј. повећања века појединих виталних делова и склопова уређаја и машина. Поред тога и наваривање нових делова, где се потребна тврдоћа површинских слојева постиже наношењем тврдих легура, уместо класичним методама цементације тј. нитрирања. То све доприноси заузимању јако важног места наваривања међу тзв. напредним (престижним) технологијама. Уобичајено је да цена регенерације дела за извођење репаратуре не превазилази цену израде новог дела, сем код уникатних машина и уређаја где се код делова великих димензија и масовне производње изводи репаратура без обзира на цену [1].

У основи се сви откази деле на:

- 1) откази и застоји настали из техничких разлога - огледају се првенствено у трошењу материјала услед триболошких процеса (трење и хабање), онда у превременом отказу делова услед преоптерећења машина и отказима изазваним другим узроцима (сл. 1) тј. утицајима (корозија и слично);
- 2) откази изазвани људским утицајем, односно субјективним факторима – неодговарајуће и непланско одржавање техничких система, неправилно изведене конструкције, нестручно руковање, погрешан одабир режима рада, недовољно обучено особље итд.

На слици 1 је дат приказ лома алуминијумске ручице услед замора материјала. Спори раст пукотине представљају тамна подручја, а светла подручја означавају насилни лом.

Неки машински елементи захтевају посебне начине одлагања, паковања, транспорта и складиштења. То се највише односи на елементе израђене од материјала осетљивих на корозију, делове који су посебно брушени и на третиране делове који захтевају посебне направе и помагала за превоз и складиштење. Код неодговарајуће манипулације материјалом могу настати последице трајне димензионалне промене и оштећења обрађених површина. Дobar пример основног материјала који „памти“ лошу манипулацију од транспорта и складиштења до технолошке недисциплине код заваривања, уградње и производње је челик *Cr-Ni* (*хром-никл*). Када се уграђују већ оштећени елементи у било којем облику (услед изостанка контроле), постоји потенцијални узрок и новог квара и застоја у раду.



Слика 1 - Лом алуминијумске ручице услед замора материјала [2]

2.1. Теорија трења

Трење са енергетске тачке гледишта представља процес у коме настаје промена механичке енергије (рад сила, деловање трења тела приликом кретања) у друге облике енергије у складу са првим принципом термодинамике². Такође се јавља и током релативног померања честица унутар чврстих материја, гасова и течности (унутрашње трење). Сам процес трења се дефинише као процес супротстављања кретању тела у међусобном додиру. Мери се деформацијом средине где се тело креће и утрошком рада неопходног за реализацију тог кретања. На контактним површинама два тела током њиховог релативног кретања уз деловање нормалног контактнoг оптерећења, јавља се трење настало у механичким системима. То доводи до преноса масе и енергије, односно тзв. „спољашње трење“ и захваљујући сили трења се ствара отпор кретању у тангенцијалном правцу.

У зависности од врсте релативног кретања спрегнутих тела, постоје трења:

- ❖ клизања;
- ❖ котрљања;
- ❖ ротације и
- ❖ комбиновано.

У основне теорије трења спадају адхезивна, модификована адхезивна, молекуларна, молекуларно-механичка и енергетска.

Како би се побољшало смањење храпавости, јачине и самог века компоненти, третирање површина је једна од најбрже развијаних области у производној индустрији. Стално се усавршавају нове методе наношења превлака, као и технологије наваривања трењем. Методе су:

- ❖ наваривање трењем са нагнутом подлогом – погодно за наношење танких превлака на равне плjosнате или равне попречно ожлебљене плоче.

²Први принцип термодинамике гласи: *укупна доведена енергија неком систему троши се на извршени рад и на повећање унутрашње енергије система.*

- ❖ наваривање трењем процесним ковањем – погодно за примену код израда резних ивица индустријских ножева, чиме се смањује учешће машинске обраде а самим тим и уштеда у основном и додатном материјалу.
- ❖ наваривање трењем композитно-металних материца – погодно за побољшавање својства површине и повећање отпорности на хабање, корозију и омогућен рад на повишеним температурама.

Постоји **адхезивна теорија трења** која се заснива на процесу пластичне деформације материјала у зонама контаката, па све до тренутка када настане реални контакт површине и равнотеже спољашњег оптерећења и унутрашње силе – напона. Такође, заснивање на претпоставци да раст реалне површине контакта не зависи само од величине нормалних сила, већ и од тангенцијалних-смичућих сила које настају током релативног кретања једног елемента по другом, представља **модификовану адхезивну теорију трења**. Чињеница да се у зонама контаката два елемента јављају одбојне и привлачне молекулске силе чини **молекуларну теорију трења**. Док се, **молекуларно-механичка теорија трења** заснива под претпоставком да је сила трења двојачке природе и да се може разложити на два дела. На основу претпоставки да је на процес трења могуће применити први закон термодинамике, затим да постоји директна веза између количине рада која се утроши на савладавање трења и количине продуката који притом настају, као и да је током процеса трења могуће да се појави промена физичко-хемијских карактеристика контактних слојева елемената у додиру – све то доводи до **енергетске теорије трења** [1].

2.2. Теорија хабања

Непожељно оштећење површинских слојева (промена димензија чврстих тела) се дефинише као хабање, било узајамним дејством контактних површина или радних површина и околне средине која изазива хабање. Дакле, процењују се сви фактори који су доминантни – материјал и особине радних површина, квалитет и особине контактних површина, температура, величина оптерећења особине честица насталих током хабања, итд. Као одстрањивање или премештање делића масе похабане површине механичким дејством се испољава, а понекад и потпомогнутим утицајима као што су хемијска, електрична, електрохемијска или термичка.

Хабање може бити:

- ❖ **линијско** – губитак (деформисање) спојних слојева које се дефинише помоћу линеарних мера управно на површину трења. Изражава се у mm или μm ;
- ❖ **површинско** – губитак (маса) материјала са површином трења; и
- ❖ **запреминско** – губитак масе са контактних површина приликом истовременог деловања више чинилаца (узрока), као што су трибо-хемијски процеси и трење.

Хабање утиче на промену облика и карактеристика елемената система. У механизме хабања спадају поделе:

- 1) Класификација елементарних механизма процеса хабања и
- 2) Карактеристике основних врста хабања:

- ❖ адхезионо;
- ❖ абразивно;
- ❖ ерозионо;
- ❖ кавитационо;
- ❖ заморно;
- ❖ комбиновано;
- ❖ хабање услед оксидације;
- ❖ термичко;
- ❖ скафинг (енгл. *Scufing*);
- ❖ спелинг (енгл. *Spaling*);
- ❖ питинг (енгл. *Piting*);
- ❖ фретинг (енгл. *Freting*).

За услове високих притисака и удара (делови дробилица и млинова, чланци гусеничних платна, зуби кашике багера, зуби кофице роторног багера, ножеви булдожерских даски, скретница трамвајских и железничких шина), односно за поменуте делове изложене хабању употребљава се високолегирани мангански челик Č3160 (1,2% C, 12,5% Mn). Када је примена високолегираних манганских челика отпорних на хабање употребљава се нисколегирани челик Č3134 (0,5% C, 1,8% Mn) [1].

2.3. Термомеханички замор

У зависности од врсте метала и услова оптерећења, поновљени циклуси веома брзог загревања и спорог хлађења доводе до појаве термичких напона. То прекорачује одређене вредности у зависности од врсте метала и услова оптерећења. Погоршање особина материјала под утицајем температуре без додатног оштећења изазваног спољним силама, представља термички замор. Јако важну улогу игра хабање на повишеним температурама у случају алата намењених за топлу прераду метала (ковање, ваљање). Брзо загревање површинских слојева ковачких алата се дефинише као ударно. И код велике брзине загревања која прелази 100°C/s настаје ударно загревање, тако да су мање штетни за материјал изазвани удари који настају за време интензивног хлађења, него они изазвани великим брзинама загревања.

Повећањем садржаја угљеника се смањује отпорност челика на термички замор, где у већини случајева манган (*Mn*) поправља отпорност на термички замор. Исто тако и хром (*Cr*) поправља отпорност челика у степену зависном од садржаја волфрама (*W*). Разарање материјала у процесу термомеханичког замора, настаје у три фазе [1]:

- ❖ падом јачине снаге;
- ❖ нагомилавањем дислокација и
- ❖ појавом напрелина.

Према испитивању челика за ковачке алате најмању отпорност у температурној области од 200-760°C на термички замор имају материјали са већим садржајем волфрама. Процес хабања алата за ковање на топло је веома сложен. Између осталог што и приликом ковања долази до додатног загревања, до температуре која је виша (што је већа маса отковака) и дуже време контакта алата и отковака. Препорука је интензивно хлађење појединих елемената, као и код ковања великих серија (нпр. ковање лежишних прстенова) да се сви делови ковачких алата израђују у истом квалитету.

На основу свега наведеног, најбитнији чиноиоци за процес хабања (код обликовања метала пластичним деформисањем на топло) су:

- ❖ градијент температуре у пресеку гравуре (матрице (термин који се често користи у индустријској пракси)),
- ❖ расподела јединичних притисака, и
- ❖ њена структура и особине.

3. Преглед најважнијих поступака заваривања топљењем

Како је већ споменуто изнад, за наношење антикорозивних превлака, репаратуру похабаних делова машина и уређаја, као и дораду нових одливача израђених са грешкама се примењује наваривање и термичка метализација. На основу начина спајања, методе заваривања су подељене у две групе [1]:

- 1) **Заваривање топљењем** – заваривање материјала у растопљеном стању на месту споја, уз додатни материјал или без њега. Може бити гасно (сл. 2 - лево) [3] - кисеоник ацетилен; кисеоник пропан; кисеоник водоник; електролучно – заваривање (сл. 2 – десно) [4] где се потребна топлотна енергија добија од једног или више електричних лукова; аутоматско заваривање под прахом (ЕПП); електричним луком у заштитном гасу (МИГ, МАГ, ТИГ), електролучно под трошком (ЕПТ), плазмено заваривање, ласерско заваривање, заваривање електронским снопом итд.



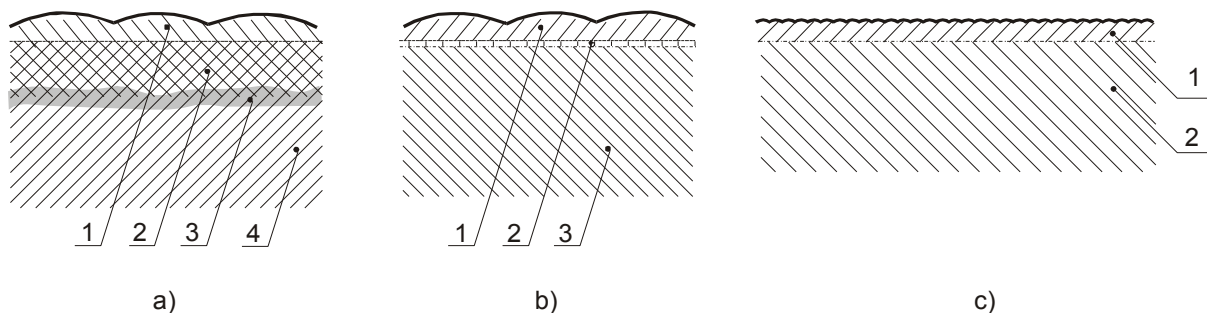
Слика 2 - Гасно заваривање (лево), електролучно заваривање (десно)

- 2) **Заваривање притиском** – заваривање материјала у чврстом или омекшаном стању на месту споја уз помоћ притиска или ударца. Може бити заваривање трењем, хладно заваривање, заваривање ултразвуком, заваривање експлозијом итд.

У складу са поменутим, на слици 3 је дат шематски приказ регенерисаних спојева металације и наваривања. Према томе, са слике 3 је:

- a) наварена превлака: 1 – навар, 2 – прелазна зона, 3 – зона утицаја топлоте (ЗУТ – део основног материјала уз шав, где је дошло до хемијско-физичких и структурних промена услед топлоте током заваривања), 4 – основни материјал;
- b) превлака добијена методом металације: 1 – метализирани слој, 2 – зона делимично стопљеног основног материјала, 3 – основни материјал;

- с) превлака добијена метализацијом прскањем: 1 – прскани слој, 2 – основни материјал.



Слика 3 - Шематски приказ регенерисаних спојева

Да би се испунили неки од наведених захтева бирају се хемијски састав и дебљина заштитне превлаке. У данашње време се за поступак наношења превлаке најчешће употребљавају електрична (галанска) техника, метод потапања, термичка метализација и наваривање, дифузна метализација и метализација у високом вакууму. Наваривање је понекад заједничко за све поступке. Поред тога заједничко је и да се особине превлаке знатно разликују од особина метала подлоге. Атмосферска корозија највеће штете изазива јер напада грађевинске и машинске конструкције у загађеној атмосфери, поготово у морској води, рудницима, градским срединама, индустријским зонама, у земљи и остало. Спречавање корозије у условима атмосферске, хемијске и гасне корозије представља основни задатак металних превлака. Како превлаке не штите само механички од околне атмосфере, већ и хемијским деловањем метала подлоге на метал превлаке, тада се отпорност на корозију разматра и као отпорност анодних и катодних превлака (у зависности од електродног потенцијала подлоге).

Код термичке метализације (сл. 4) заштитни метали се могу наћи у облику жице, праха или керамичких штапова. Жице за метализацију се израђују од бронзе, легуре никла, месинга, алуминијума, цинка, олова, бакра, кадмијума, паладијума и њихов пречник износи од 1 до 8 mm. Топљење жице, прашка или керамике може бити гасним горионицима, док за електролучну и плазмену метализацију служе пиштољи.

Пиштољи могу бити електролучни за електролучну метализацију и плазмени за метализацију прашком, док гасни горионици са прашком могу да се наносе поступцима на хладно (метализација на хладно за делове изложене адхезионом хабању, корозији и кавитацији) и топло (метализација на топло за делове који су изложени корозији, ударним оптерећењима, абразији и високим температурама). Као додатни материјал служи гасни горионик са жицом који омогућава посебно довођење мешавине горивог гаса и компроминованог ваздуха за набацивање и распршивање растопљених капљица на подлогу. Слично метализацији помоћу жице је и метализација керамичким штапом (односно гасни горионик са керамичким додатним материјалом). Једина је разлика је у различитој конструкцији горионика због виших температура [1].

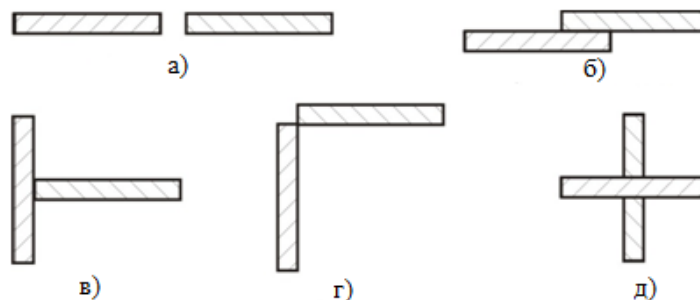


Слика 4 - Поступак метализације [5]

Слично са ТИГ наваривањем само без топљења материјала подлоге је лучна метализација нетопљивом електродом, која се одликује високим квалитетом остварених превлака, релативно једноставним процесом и ниском ценом.

3.1. Облици заварених спојева

Део нераздвојивог споја изведен заваривањем од елемената завариваног материјала представља **заварени спој**. Заварени спој се састоји од основног материјала и шав од кога су израђени елементи који се спајају заваривањем. **Шав** (вар) је део завареног споја који се образује очвршћивањем растопа мешавине истопљеног основног и додатног материјала на месту споја. Код заваривања на танким лимовима шав се образује само стапањем и очвршћивањем ивица основног материјала. Спојеви радних комада који се заварују се деле на: сучеоне, преклопне (рубне), крстасте (кружне), Т-спој (сл. 5). Заварени спој добијен термомеханичким поступцима спајања се састоји од основног материјала, контактне зоне и условне зоне утицаја топлоте.



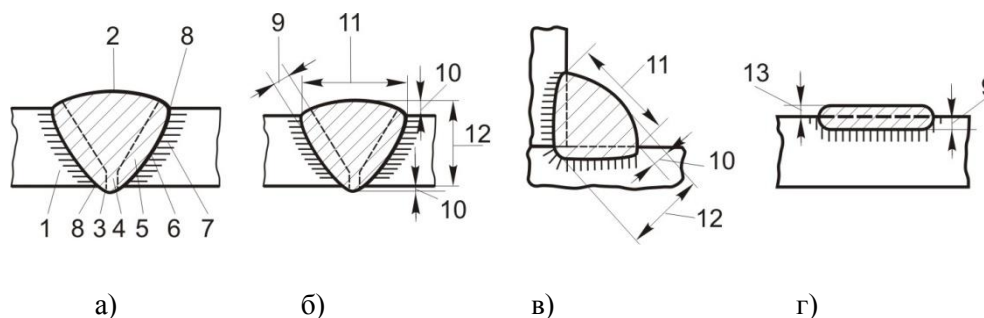
Слика 5 - Облици заварених спојева

а) – сучеони; б) – преклопни; в) – ивични или рубни; г) – Т-спој; д) – крстасте или кружни

На слици 6 испод је дат приказ конструктивне целине, коју чине - ба): 1 – основни метал и метал шав (шав), који има 2 – лице шав, 3 – наличје шав, 8 – ивицу шав. У процесу заваривања, део основног метала који се топи и улази у састав метала шав назива се чувар (5) чија је граница на слици ба) обележена са (6), док на сл. бб) је обележена дубина са (9). Са слике ба): 7 – зона утицаја топлоте је део основног

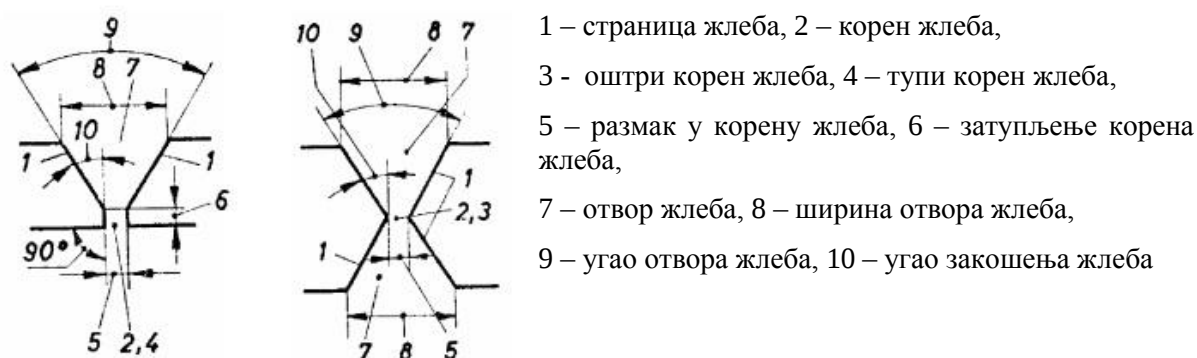
материјала који је под утицајем хлађења и загревања претрпео извесне структурне промене, али испод температуре топљења. Са слике 6б) за случај сучеоног споја и 6в) за случај угаоног споја виде се основне димензије шавова: 10 – надвишење, 11 – ширина, 12 – дебљина. Док за наварени слој 6г) је битна дебљина (13) и дубина (9) [1].

Ивице основног метала је потребно припремити пре заваривања како би се добио жлеб (његови основни појмови су дефинисани стандардом). Током процеса заваривања топљењем може да се испуни припремљени жлеб у једном или у више пролаза, или чак у више слојева. То зависи од дебљине основног материјала.

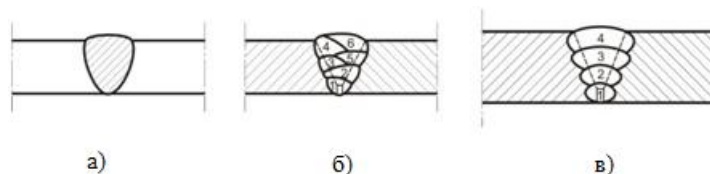


Слика 6 - Основни елементи завареног споја

На слици 7 су дати основни елементи жлеба, док је на слици 8 приказ врсте шавова - завар је део метала који је настао у једном пролазу или слоју.



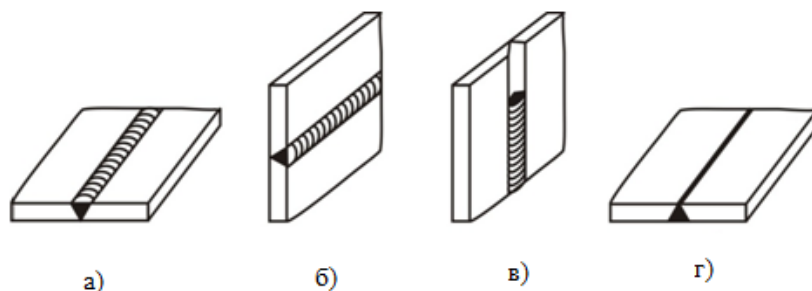
Слика 7 - Основни елементи жлеба



Слика 8 - Врсте шавова

а) – једнопролазни завар; б) – вишепролазни завар; в) – вишеслојни завар

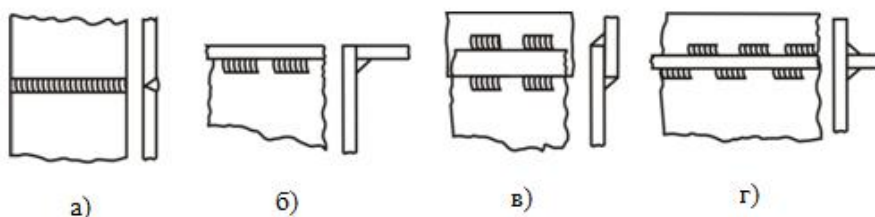
На основу положаја и простора шав може бити (сл. 9): а) хоризонталан, б) хоризонталан у вертикалној равни, в) вертикалан, г) изнад главе (надглавни).



Слика 9 - Основни положаји заваривања

*а) – хоризонтални положај;
б) – хоризонтално-вертикални положај; в) – вертикални положај; г) – надглавни положај*

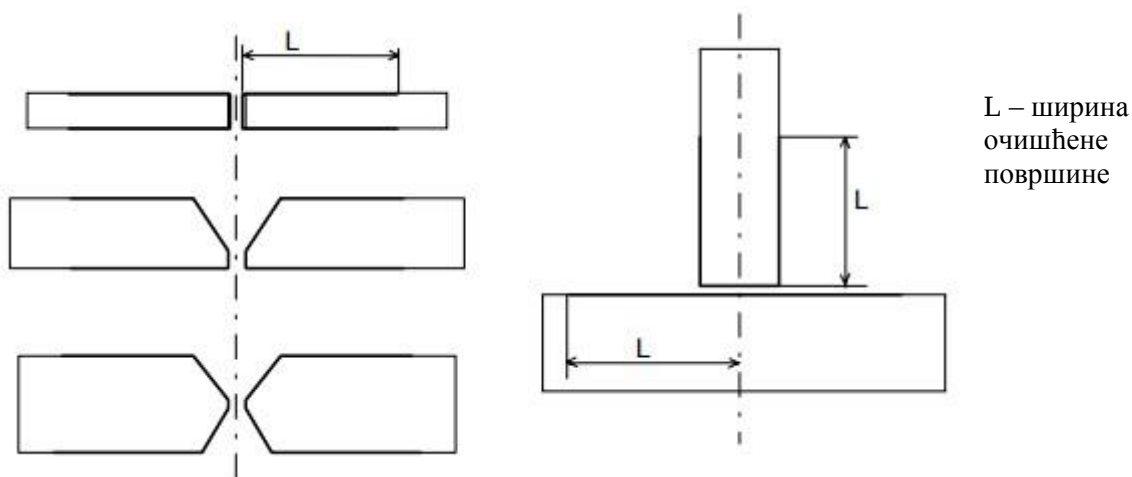
На основу континуитета шав (сл. 10) може бити: а) непрекидан, или б) испрекидан. Када су обострано испрекидани могу бити упоредно в) и наизменично испрекидани шавови (г). Они се користе за спајање делова веће дужине.



Слика 10 - Приказ континуитета шавова

*а) – непрекидан; б) – испрекидан; в) – испрекидан;
г) – испрекидан*

Од чистоће страница жлеба и околине зависи и успех изведеног заваривања, зато што то може изазвати низ грешака у завареном споју. На слици 11 је дат приказ површина (и околине) које је потребно чистити пре самог заваривања. Током ручног електролучног заваривања ширина очишћене површине најмање треба да износи 10 mm, док код заваривања под прашком треба најмање да износи 30 mm. Неприступачна места се чисте гасним пламеном, као нпр. код репаратурног заваривања, а код приступачних места (површина) чисте се механички – пескарењем, челичним четкама [1].



Слика 11 - Површине које треба очистити [6]

3.2. Наваривање

Како је изнад поменут сам значај наваривања, постоји још једна ствар јакo значајна а то је степен мешања или према америчкој терминологији „разблаживање“ навара основним материјалом. Репаратурним наваривањем одређених делова се може регенерисати радни облик, односно постижу се потребне особине на појединим радним површинама или његовим деловима. Према томе, могу се у неким случајевима заменити поступци термичке обраде наваривањем и то цементација, нитрирање и површинско каљење.

Изводе се експерименти снимањем температурских циклуса у различитим тачкама око навара, ради потврде прорачунатих температурских циклуса. Тада се региструје температура у току времена наваривања и хлађења. Избор поступака наваривања је да разблаживање буде што мање како би се избегао дебљи навар него што је потребно за радне услове. Дакле, иако је тежња да се наваривањем постигну тражене особине, потребно је тежити и да се на најмању могућу меру сведе разблаживање навара основним материјалом, као што је и напоменуто. Из тог разлога се у неким случајевима разблаживање своди на минимум и наноси се пластичан међуслој између првог слоја легуре за наваривање и подлоге. Тиме се због разлике у коефицијентима термичког стања материјала подлоге и превлаке поништавају штетне последице. Да би се смањило разблаживање навара потребно је да дубина уваривања буде што мања, јер је већа вероватноћа да се разликују хемијски састави подлоге и легуре за наваривање. Односно, то би омогућило да се са мање пролаза постигну особине декларисане у каталозима произвођача легура за наваривање. Стога се успоставља корелација улазних параметара и оствареног квалитета навара као излазне величине. На слици 12 је дат приказ изгледа исправно изведеног завареног дела, ручно електролучним поступком. Позивајући се на технолошке могућности анализом добијених резултата се ствара основа за даљи развој, надградњу и производну-практичну примену те методе регенерације. И све то за различите врсте основних и додатних материјала, за различите облике наварених делова, тј. током различитих извора топлоте.



Слика 12 - Приказ исправно изведеног зава

Код репаратурног наваривања сличног су хемијског састава када се поправљају поломљени делови или одливци изливени са грешкама, а разликују се од хемијског састава материјала подлоге код легура за наваривање.

На основу различитих поступака наваривања може се извести:

- ❖ Репаратурно наваривање – регенерација делова и уређаја оштећених током трења, прелома, различитих видова хабања, корозије;
- ❖ Производно наваривање – наваривање површине или делова површине нових елемената;
- ❖ Дорада нових одливака од легуре гвожђа или нежелезних метала (уколико се завршном контролом открије нека од спољних ливачких грешки).

Помоћу додатног материјала који по хемијском саставу одговара нерђајућем челику изводи се наваривање челичних делова од којих се тражи корозиона отпорност.

Данас се наварују алати (за обраду ливењем, резањем, деформисањем), коленаста вратила, зупчаници, делови мотора СУС, облоге судова у хемијској индустрији, радни делови машина за обраду земље и разни делови транспортних уређаја, ваљци ваљаоничких станова и др. Такође се поправљају неке ливачке грешке на одливцима од ливеног гвожђа, челичним одливцима, месинга, бронза, алуминијума итд. Док на пример делове као што су чељусти дробилице за камен, радни елементи неких пољопривредних машина, ведрице багера није потребно накнадно машински обрађивати. Али се зато код наваривања зупчаника, блокова мотора, седишта вентила мора бирати легура за наваривање која се може машински обрађивати [1].

Процентуално мешање је битно код основног и додатног материјала за различите поступке наваривања. Квалитет завареног споја се погоршава појавом мешања основног и додатног материјала. Али понекада може однос мешања применом одговарајућег међуслоја да се знатно смањи, а самим тим да се и смање нежељене последице које настају услед различитих коефицијената ширења, тј. скупљања додатног и основног материјала. Однос мешања се отприлике узима у границама до 5 % код наваривања гасним пламеном, од 10 – 30 % за РЕЛ, МИГ и наваривање пуњеним жицама, док је код ЕПП поступка од 10 – 40 %. Однос мешања се може

мењати у оквиру наведених вредности (за исте материјале и поступке наваривања) у зависности од основних параметара процеса, поготово од јачине струје, брзине полагања навара и величине преклапања суседних навара. Код разноврсних материјала минимална дебљина навара је уобичајено од 0,8 до 5 mm, а сам однос се креће од 1 – 60 % у зависности од технике и поступка наваривања. Вишеслојно наваривање се примењује када се траже веће дебљине навареног споја. У том случају приликом избора додатног материјала (технологије) одговарајуће мере треба узети у обзир због кртости наварених спојева.

У напредној технологији наваривања трењем третирају се површине због побољшања јачине, смањења хрупавости и повећања века компоненти. Може бити наваривање трењем са нагнутом подлогом, процесним ковањем и наваривање композитно-металних матрица.

Код наваривања *трењем са нагнутом подлогом* се контактана зона додира доводи у тестасто стање због силе трења. Тако се образује дифузно-адхезиони спој и овакав метод је повољан за наношење танких превлака на равне пљоснате плоче. То је зато што је додатни материјал изложен аксијалном притиску и изводи осцилаторно полукружно кретање по нагнутој подлози која се истовремено помера. *Наваривање трењем процесним ковањем* се примењује код израде резних ивица индустријских ножева. Заснива се на постављању претходно обликованог додатног материјала који одговара форми будућег слоја. На тај начин се смањује учешће машинске обраде и праве уштеде у додатном и основном материјалу. Код *наваривања трењем композитно-металних матрица* се омогућава наваривање трењем композитних материјала металне основе са другим металима (никлом, нерђајућим челицима итд.). Тако се побољшавају својства површине и повећава отпорност на хабање, корозију, омогућава рад на повишеним температурама.

У табели 1 су дати поступци наваривања, облици легура за наваривање, препоручене дебљине слоја и одговарајуће врста легура за наваривање, степен могуће механизације, разблажавање, брзина депоновања.

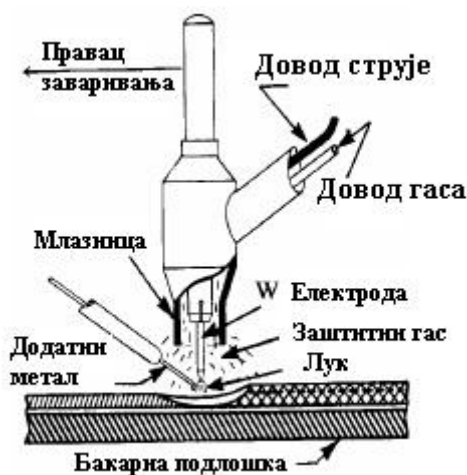
Табела 1 - Карактеристике поступака наваривања [1]

Р.бр.	Поступак наваривања	Начин извођ.*	Облик легуре за тврдо наваривање	Разблаживање основним металом	Брзина депоновања, kg/h	Мин. дебљина стапања, mm	Препоручене легуре за наваривање
1	Окси-ацетиленски	R	ливене шипке, пуњене шипке, прашак, јако дуге ливене шипке, пуњена жица	1÷10	0.45÷2.7	0.8	Легуре на бази: Fe, Ni, Co; композите карбиде W
		R		1÷10	0.45÷6.8	0.8	
		A		1÷10	0.45÷2.7	0.8	
2	Ручно електро-лучно	R	обложене ливене и пуњене шипке	15÷25	0.45÷2.7	3.2	Легуре на бази: Fe, Ni, Co; композите карбиде W
3	Отворен лук	½ A	легурама пуњене жице	15÷25	2.27÷11.35	3.2	на бази Fe
		A	легурама пуњене жице		2.27÷11.35	3.2	на бази Fe
4	ТИГ	R	ливене шипке, пуњене шипке пуњене жице, дуге ливене шипке (300mm), карбид W у ливеној шипки или пуњеној жици	10÷20	0.45÷3.6	2.4	Легуре на бази: Fe, Ni, Co; композите карбиде W
		A		10÷20	0.45÷3.6	2.4	
5	Под прахом	½ A	голе пуњене жице	20÷60	4.5÷9	3.2	на бази Fe
		A ₁	голе пуњене жице	30÷60	4.5÷11.3	3.2	на бази Fe
		AV	голе пуњене жице	15÷25	11.3÷27	4.8	на бази Fe
6	Плазмени лук	A	прашак са или без гранула карбида W	5÷30	0.45÷6.8	0.8	Легуре на бази: Fe, Ni, Co; композите карбиде W
* R - ручно; A - аутоматски; ½ A - полуаутоматски; A ₁ - аутоматски, једна жица; AV – аутоматски, више жица.							

3.2.1. Електролучно заваривање нетопљивом електродом (ТИГ)

Наваривањем ТИГ (Т – енгл. *tungsten* (волфрам) материјал електроде; ИГ – инертан гас) поступком се добијају најквалитетније површине навара, а најгрубље електролучним наваривањем обложеним електродама. Иако је прво уведен као поступак заваривања алуминијума и његових легура, због ефекта катодног чишћења је његова примена данас знатно већа. То је због одличног квалитета споја који се између осталог постиже бољом контролом унесене топлоте и додатног метала захваљујући раздвајању улога електроде и додатног метала. Ефекат катодног чишћења се састоји од разбијања и уклањања скраме тешко топљивог оксида Al_2O_3 из металне купке. Односно може бити и са њене површине да делују електрони који се крећу од основног метала ка електроди, чиме се спречава његово таложење у дну метала шава и омогућава заваривање алуминијумом. Ручни ТИГ поступак одликује веома мали депозит, што има за последицу јако добар квалитет завареног споја [1].

За репаратурне радове је јако широк спектар примене ручног електролучног наваривања, а такође и за nanoшење тврдих навара на радне површине различитих делова и алата. Могу се ручним електролучним наваривањем наваривати делови од легура никла, алуминијума, бакра, као и од челика. Неопходно је код репаратуре похабаних делова или поновном наваривању брушењем одстранити оштећена места, поготово када су уочене прслине које могу деловати као концентратори напона. На слици 13 је дат шематски приказ електролучног заваривања нетопљивом електродом у заштити гаса. Ту је поступак спајања метала топљењем и очвршћивањем дела основног метала и додатног метала (уколико се користи жица за заваривање), где се инертан гас користи као заштита. Активни гасови би изазвали оксидацију врха електроде, тако да они не могу да се користе. Бројчана ознака завареног споја током поступка заваривања за ТИГ (инертни гас) је 141.



Слика 13 - Електролучно заваривање нетопљивом електродом (ТИГ)

Недостаци ТИГ заваривања су релативно мала продуктивност и топлотна моћ, потребна је посебна обученост заваривача и тешкоћа код заштите завареног споја током заваривања на отвореном. Предности су било који положај заваривања, одличан квалитет споја без грешака, одлична контрола (облика) корена, без распрскивања (додатни материјал се топи у металној купки и не преноси се кроз лук), могућа примена и без додатног материјала, добра контрола извора топлоте и начина увођења додатног материјала, као и применљивост на велики број основних метала.

3.2.2. Електролучно заваривање заштитом у инертном и активном гасу

Изван (приказане изнад) табеле 1 постоји и метод наваривања који се понекад користи, а то је тзв. MIG/MAG поступак - наваривање електролучном методом (енгл. GMAW - *Gas Metal Arc Welding*):

- ❖ MAG (заваривање метала у активном гасу, енгл. *Metal Active Gas*) или
- ❖ MIG (заваривање метала у инертном гасу, енгл. *Metal Inert Gas*).

Односно, наваривање за MIG поступак је са чистим гасовима аргоном (Ar)³, хелијумом (He) или њиховим комбинацијама које се понашају као инертан гас, а за MAG поступак је са угљен-диоксидом (CO_2)⁴ или мешавином гасова, уз додатак мале количине кисеоника (од 3 до 5 % O_2), па се понаша као активни гас. Бројчана ознака завареног споја током поступка заваривања је за MIG (заштиту у инертном гасу) – 131, док је за MAG (заштиту у активном гасу) – 135. Најчешће се у репаратурама користи полуаутоматски поступак [1].

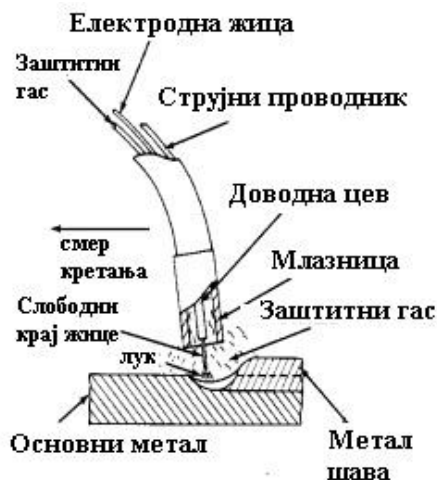
На слици 14 је дат приказ електролучног заваривања топљивом електродном жицом у заштити гаса. Недостаци код овог поступка су опасност од грешака током спорог заваривања из разлога што истиче течан метал испод електричног лука, као и опасност у почетку заваривања, релативно компликована обука заваривача (за обојене метале и високолегиране челике) и тешкоћа приликом заваривања на отвореном (струјање ваздуха). Док су предности велика брзина заваривања, универзална примена са тачке гледишта основног материјала, велика брзина топљења, релативно једноставна обука заваривача (за нисколегиране и нелегиране челике), мали инвестициони трошкови (за стандардну варијанту), једноставна механизација поступка и применљив у принудним положајима.

Код заваривања челика електродна жица треба да има повећан садржај Si и Mn у циљу дезоксидације метала шави и надокнаде сагорелих елемената у електродном материјалу. Код избора додатног материјала узима се у обзир хемијски састав као и

³ *Аргон је инертан гас без боје, мириса и укуса. Иако није отрован у затвореној просторији може да смањи концентрацију кисеоника. Аргон штити зону заваривања и спречава продор атмосферских гасова. Боце са аргоном се не празне до краја, већ се увек оставља довољан натпритисак да спречи продирање ваздуха у боцу.*

⁴ *Угљен-диоксид је гас без боје мириса и киселкастог укуса. До концентрације 2,5% CO_2 није опасан за удисање (краће време) док у већој концентрацији или током дуготрајнијег дејства може да буде штетан.*

механичка својства основног материјала, положај заваривања, стање и чистоћа основног материјала, и облик преноса додатног материјала.

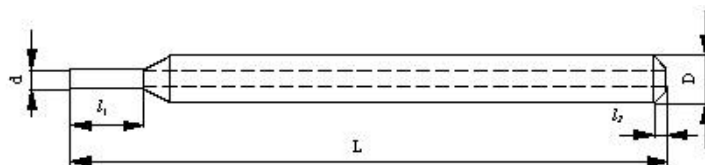


Слика 14 - Електролучно заваривање топљивом електродом у заштити гаса (МИГ)

3.2.3. Ручно електролучно наваривање (РЕЛ)

Ручно електролучно заваривање представља један од најзаступљенијих поступака топљењем, где је бројчана ознака поступка заваривања 111. Из електричног лука се добија топлотна енергија, где се претвара у топлоту и растопи основни и додатни материјал. Извори струје могу бити наизменични или имати исти правац, с тим да је код истог правца струје електрода спојена на позитиван (+) и негативан (-) пол, што зависи од саме електроде. У изворе струје спадају исправљачи, трансформатори и генератори. Тек у трећем пролазу се добија састав чистог метала навара захваљујући рецептури електроде и то све због разблаживања у границама од 10 до 40%. Електроде могу бити киселе, базичне, рутилне или рутилно-базичне за потребе наваривања. Један слој пролаза има дебљину од 1 до 5 mm. Јако битан параметар за ручно електролучно наваривање је дужина електричног лука. Дужина електричног лука код заваривања електродом са киселом облогом је отприлике као пречник електроде, док код базичних електрода је мало мања.

Језгро обложене електроде преноси струју као део струјног кола (слободни крај је повезан држачем електроде за извор струје) и служи истовремено као додатни материјал. Електрода за РЕЛ поступак је обложена осим на слободном крају, металним језгром (сл. 15) [1].

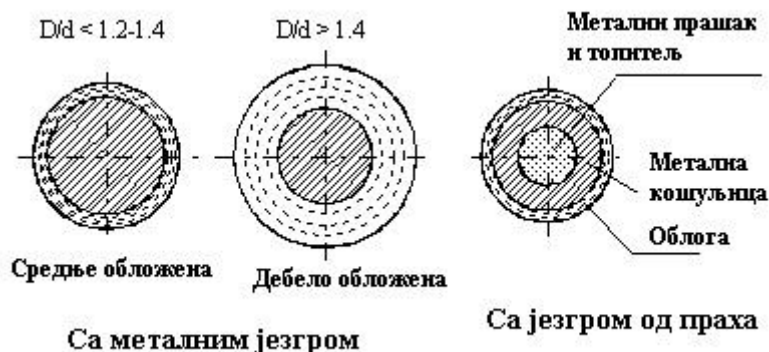


d - пречник електроде; I_1 - слободни крај;
L - дужина електроде; D - пречник облоге

Слика 15 - Обложена електрода

Код електролучног поступка заваривања обложеним електродама сам поступак је једноставан за руковање и спроводи се за наваривање и заваривање свих врста метала са истосмерном и наизменичном струјом.

На сл. 16 су приказане врсте обложених електрода, које могу бити пречника од 2,5-6 mm и пуњене прашком пречника од 4-11 mm.



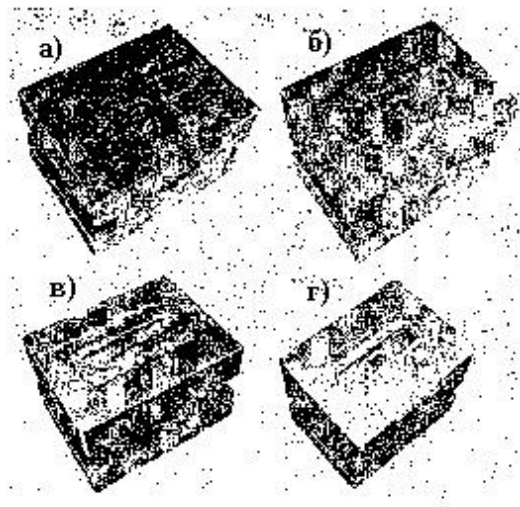
Слика 16 - Врста обложених електрода са ручним електролучним наваривањем

Главна предност код овог поступка је што се могу готово сви материјали заварити (користи се за све конструкцијске челике Cu, Ni, Ti ...), опрема је јефтина (широк спектар електрода и за све дебљине заваара од 1 mm до 10 mm), прилагодљив је у свим положајима заваривања и такође је руковање једноставно. Недостатак је тај што је слабија продуктивност уз знатнији отпад облоге електроде (искористивост око 60%) и стварају се знатне количине гасова. Такође даје пуно дима – потребна је вентилација и могуће су грешке када долази до прекида и успостављања лука. Код зупчаника, зупчасте летве, кука, дизалаца, ваљака и осталих локално оштећених делова репаратура се изводи базичном електродом легираном молибденом. Ту се предвиђа и додатак за механичку обраду код наношења навара.

Док код скретница железничких и трамвајских шина, точкова шинских возила репаратура се обавља нисколегираном базичном електродом чистог метала навара 0,2% C, 2% Mn, 0,6% Si, 0,6% Cr. Она у сировом стању даје тврдоћу 26-37 HRC (поступак испитивања конусом – Роквелова метода за тврде материјале, као што су нпр. топлотно обрађени челици), а након отпуштања ($400^{\circ}\text{C}/5\text{h}$) 34 HRC. Код мерења Роквеловом (енгл. *Rockwell*) методом пошто се неповратном дубином отиска коју начини утискивач (дијамантски конус HRC и челична куглица HRB) на површини узорка испитиваног материјала недостаци представљају могућност лома дијамантског конуса и непрецизност ± 2 HRB/HRC. А предности су плитак отисак, већа брзина мерења тврдоће и непосредно читавање тврдоће на уређају [1].

Ручним електролучним наваривањем се могу наваривати алатни челици и брзорезни челици за рад на хладно и топло. Потребно је предгревање пред наваривање на $300-350^{\circ}\text{C}$, затим одржавање те температуре током наваривања, потом споро хлађење и на крају механичка обрада на коначне димензије. Код топлог ковања за репаратуру ковачких матрица употребљавају се нисколегиране челичне електроде које дају чист метал навара приближан алатном челику (0,32-0,60 % C, 0,5-2,6 % Cr,

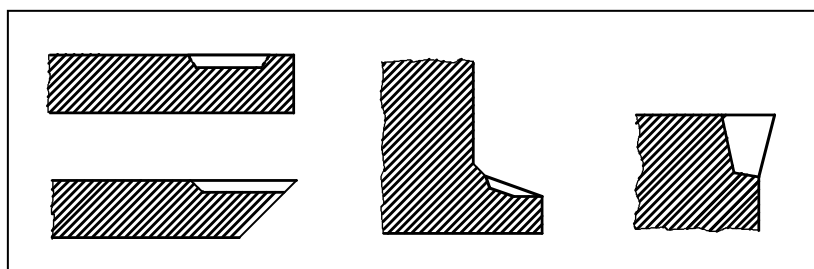
1,4-1,8 % Ni, 0,25-0,7 % Mo, као и Si, Mn, P, S). На слици 17 се види приказ етапа репаратурног наваривања матрица за ковање челика: 17а) похабана матрица, 17б) „окрајцована“ гравура, 17в) наварена гравура, 17г) матрица након механичке обраде.



Слика 17 - Етапе репаратурног наваривања матрица за ковање челика [1]

Код алата који раде на хладно, репаратурно наваривање може бити на радне површине, нпр. извлакача, матрица и др. Поред репаратурног наваривања може бити и израда нових делова од конструкционог челика и наваривање радне површине алатним челицима.

Ручно електролучно наваривање је могуће и стелитним електродама када је потребна велика тврдоћа на повишеним температурама, велика отпорност на корозију у сагорелим гасовима и прегрејаној пари. Стелитни навари имају високу отпорност на термичке ударе, абразију и добре клизне особине и могућност полирања. У облику шипки и обложених електрода се израђују додатни стелитни материјали, па је могуће ручно електролучно наваривање, као и наваривање ТИГ поступком. Стелитне електроде се пре коришћења суше на температури од 300°C, за период од 2 до 4 сата. На слици 18 је дат приказ припреме оштећених делова, како би се у одговарајућим гнездима сместила стелитна легура. Наваривање се извршава са што мањом јачином струје и са струјом позитивног поларитета (E+), најмање са два слоја. Наварени део се предгрева до 600°C након површинске припреме и одржава ту температуру све време наваривања. У пећи коришћеној за предгревање је најбоље хлађење до 400°C и не брже од 50°C/h.



Слика 18 - Припрема делова за заваривање стелитом [1]

3.2.4. Гасно наваривање

Како је споменуто на почетку овог поглавља гасно наваривање, потребно је још и нагласити да користи исту опрему као и заваривање, једино што додатни материјал може бити пуна (пуњена) жица, шипка или прашак. Једини гас који сагорева у две фазе и има јасно одвојене зоне пламена (сл. 19) је *ацетилен*⁵ (C_2H_2), што олакшава заваривачке радове. Са слике 19 је: 1) језгро, 2) редукциона зона (перо), 3) оксидишућа зона, 4) гасни горионик, 5) гасни пламен, 6) шипка, 7) навар [1].

Бројчана ознака за гасно заваривање окси-ацетиленским пламеном је 311. Како би се омогућило сагоревање у струји кисеоника, кисеоник и гориви гас се из специјалних посуда под притиском (боца или некако другачије) доводе у горионик, откуда излазе помешани у одговарајућој размери. Тако је омогућено сагоревање горивог гаса на врху горионика и заједно са гориоником, цревима за довод гасова и боцама за складиштење, као и додатним и помоћним уређајима (нпр. редукционим вентилима) чини опрему за гасно заваривање.



Слика 19 - Шема гасног наваривања и препоручено регулисање окси-ацетиленског пламена

3.2.4.1. Гасно наваривање жицом или шипком

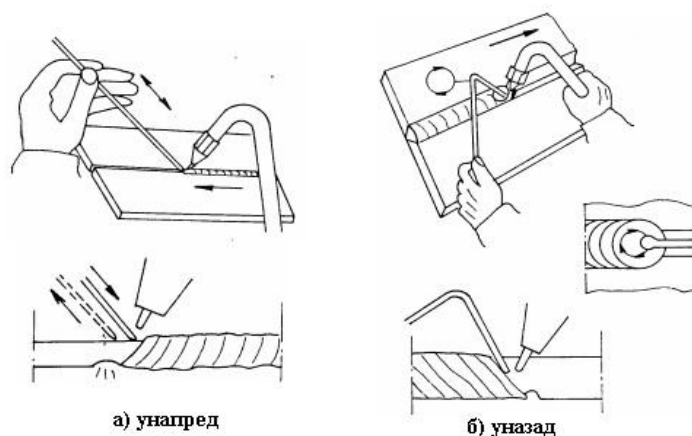
За челике, уколико је чиста и сува радна површина, није потребан топитељ⁶ за чишћење пре наваривања, међутим уколико су неке површине неприступачне за механичко чишћење потребно је пажљиво очистити одговарајуће површине (потребан је топитељ). Да би се добио гладак и навар тражених особина неопходна је велика вештина заваривача, из разлога што се додатном жицом и пламеном рукује синхронизовано. У облику жице или шипке се крај додатног материјала подгрева на ивици пламена, па се помера у зону највише температуре где се стапа. Тако се репарирају или тврдо наварују делови од челичног лива, бронзе, челика, месинга,

⁵ *Ацетилен* је гориви гас без боје, карактеристичног мириса, неотрован и растворљив у води у односу 1:1, и у ацетону у односу 1:25, на собној температури и атмосферском притиску. Ацетилен је веома експлозиван у присуству кисеоника или ваздуха. Транспортује се и чува у челичним боцама по притиском од 15 бара. За добијање ацетилена користе се још и поступци пиролизе угљоводоника и делимичног сагоревања метана у кисеонику.

⁶ *Топитељ* представљају материје чијим се наношењем на додатни или основни материјал спречава оксидација течног метала и снижава температура топљења оксида.

ливеног гвожђа. Делови се након чишћења по потреби предгревају и загревају гасним пламеном до црвеног усијања, не узимајући и обзир да ли су предгревани или не. Постоји:

- ❖ **Техника гасног наваривања унапред** – где је пламен усмерен ка ивицама основног метала (сл. 20 – лево), што је једноставније за рад. Жица се држи испред пламена, врх јој је близу места заваривања и повремено урања у метално купатило (метална купка)⁷ где треба да буде у заштити пламена. Код сучеоног споја „I“ на танком лиму (до 3 mm) жица се води без попречних осцилација, док горионик иде од једног до другог краја метала попречним („цик-цак“) или кружним кретањем и нагиби су им око 45°;
- ❖ **Техника гасног наваривања уназад** – где је пламен усмерен ка металу шава⁸ (сл. 20 – десно), боље је искоришћење топлоте и боља заштита металне купке. Жица пламена се држи и налази између горионика и основног материјала. Непрестано је врх жице уроњен у растоп, помера се у круг и стално меша растоп. Код сучеоног вара „V“ на лиму дебљине преко 3mm, жица је нагнута под 45° и помера се у круг од ивице до ивице метала. Горионик је нагнут 45-70° у зависности од дебљине и креће се праволинијски.



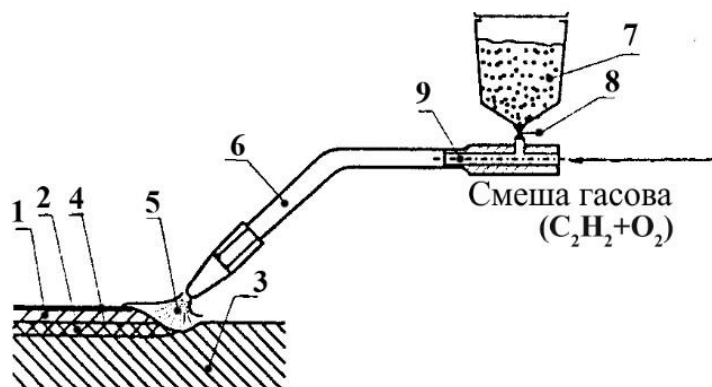
Слика 20 - Технике гасног наваривања [1]

3.2.4.2. Гасно наваривање прашком

Специјално конструисан горионик са резервоаром и дозатором за прашак, као и ручицом за пуштање праха је потребан за овакав поступак гасног наваривања прашком. На слици 21 је дат приказ гасног наваривања прашком, где је: 1 – навар, 2 – зона стапања (разблаживање 2-10%), 3 – основни материјал, 4 – трошка, 5 – растопљени метални прах, 6 – горионик, 7 – резервоар са металним прахом, 8 – вентил за дозирање, 9 – комора. Док је на слици 22 дат приказ гасног наваривања унутрашње површине цилиндра прашком. [1]

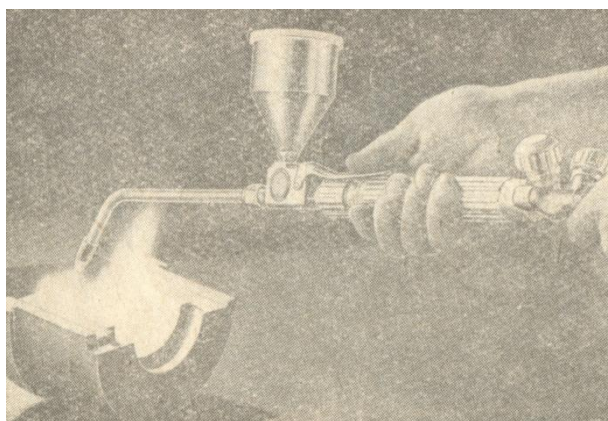
⁷ Метално купатило је локално истопљени и удубљени део основног материјала на месту спајања где је једновремено унет и умешан део истопљеног додатног материјала.

⁸ Метал шава је очврсла мешавина растопине металног купатила, односно купке.



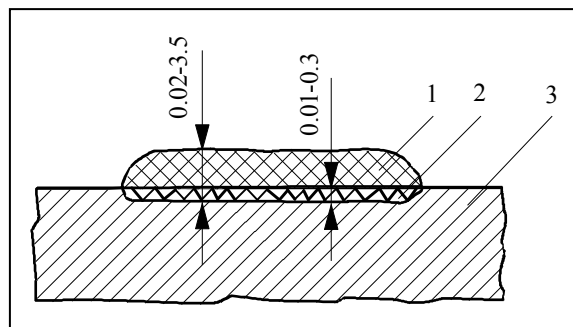
Слика 21 - Гасно наваривање прашком

Посредан слој за наваре дебљине до 0,5 mm није потребан, већ је довољан једнопролазан навар. Код оваквог поступка наваривања недостатак је тај што није потребно само предгревање, већ и накнадна термичка обрада у већини случајева, због заосталих напона и структуралних промена. А предност је што не зависе много од вештине заваривача, као код случаја наваривања жицом.



Слика 22 - Гасно наваривање унутрашње површине цилиндра прашком

Такође има могућност за наваривање закошених површина, цилиндричних, равних, минималног уваривања и високог квашења навара. На слици 23 је дат приказ како изгледа навар добијен гасним наваривањем прашком, где је 1 – навар, 2 – зона стапања (разблаживање 2-10 %), 3 – подлога.

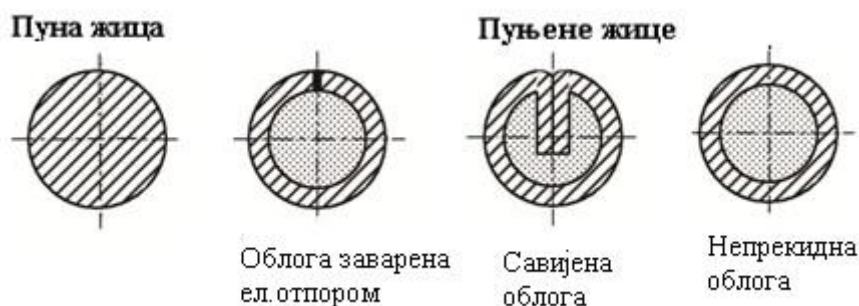


Слика 23 - Навар добијен гасним наваривањем прашком

3.2.5.Наваривање отвореним луком

Наваривање отвореним луком спада у најједноставније методе полуаутоматског заваривања или наваривања, са истим пиштољем и истим извором напајања као за GMAW поступак. то је из разлога што има једноставнију опрему у односу на друге електролучне поступке, без сложених прибора за довођење заштитног гаса или прашка. То је полуаутоматски поступак наваривања без заштитног гаса и топитеља, из разлога што њихову улогу преузима електродна жица напуњена спрашеним легирајућим елементима и дезоксидаторима. [1]

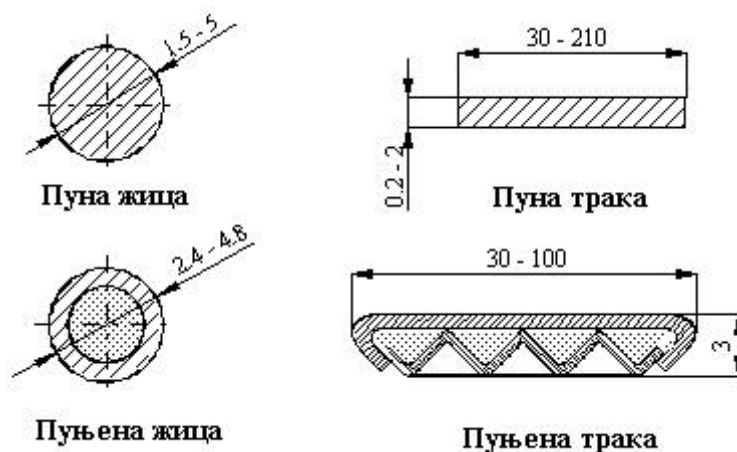
Код равних и цилиндричних површина потребна су бар два слоја пролаза. У једном пролазу дебљина навареног слоја је од 3 до 6 mm, али се већ у првом пролазу постижу потребне експлоатационе особине. На слици 24 је дат попречни пресек пуњених жица које су најчешће пречника од 0,5 до 1,6 mm, ређе 2,4 mm или 4-8 mm. Током наваривања могу се користити извори и наизменичне а и једносмерне струје.



Слика 24 - Попречни пресек пуњених жица

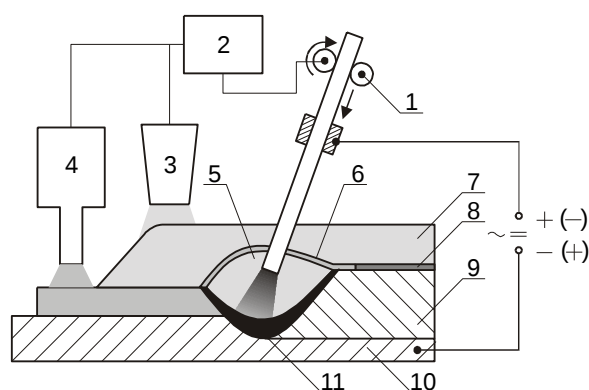
3.2.6.Наваривање под прахом

Велике цилиндричне и равне површине се искључиво у положеном положају наварују под прахом. Овај поступак је у већини случајева аутоматизован и њиме се изводи како и наношење превлака од нерђајућих легура и метала, тако и репаратурни радови. Легуре за наваривање су у облику пуњене (пуне) жице, односно пуњене (пуне) траке, што их доводи непрекидно у зону наваривања (сл. 25) [1].



Слика 25 - Пресеци пуних и пуњених жица и трака за наваривање под прахом

Извори константног напона се препоручују за ЕПП наваривање жицом пречника до 3 mm или траком (12.5-30)х0,5, док се за веће димензије препоручују извори константне струје. На слици 26 је дат приказ шеме ЕПП наваривања под прахом, где је 1 – вођица жице, 2 – управљачки модул, 3 – резервоар за прах, 4 – резервоар за метални прах, 5 – гасни простор, 6 – течна трошка, 7 – прашак, 8 – очврсла трошка, 9 – навар, 10 – подлога, 11 – заваривачко. Код овакве врсте поступка недостаци су могуће успешно наваривање једноставних делова али немогуће наваривање у условима теренског рада, велико разблаживање (30 - 40 %) тако да је потребно нанети два или три слоја дебљине од 2 до 8 mm. Док у предности спадају безбедан рад, велика брзина депоновања (2-40 kg/h), без пуштања ужарених металних честица и равномерни облик и димензије навара.



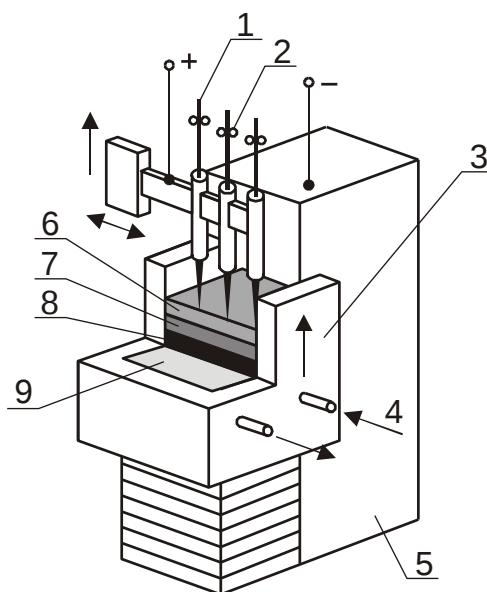
Слика 26 - Шема ЕПП наваривања под прахом

3.2.7. Наваривање под трошком

Специјална опрема која омогућава формирање навара се користи за овакав поступак наваривања, као на слици 27. Са слике се примећује: 1) електродна жица, 2) вођице, 3) калуп, 4) расхладна вода, 5) наварени део, 6) прашак, 7) растоп траке, 8) заваривачко купатило, 9) навар [1].

У односу на све методе наваривања карактерише се највећом продуктивношћу, посебним особинама оствареног навара, па није потребна накнадна машинска обрада. У остале предности овог поступка спадају и мања потрошња електричне енергије за око 30%, мањи је утрошак прашка и електродне жице, већа продуктивност од 15 пута због веће брзине заваривања (2-8 пута), заваривање се изводи једнослојно и без припреме страница жлеба независно од дебљине и за делове већег пресека ($s > 100 \text{ mm}$) користи се већи број електродних жица. У недостатке спада ограничена примена само на делове релативно велике дебљине и велика цена уређаја. Температура топљења додатног и основног материјала мора бити мања од температуре течне трошке, јер се тада топе ивице основног материјала и део електродне жице је уроњен у трошку.

Техником заваривања се углавном изводе сучеони и Т-спојеви, а баш изузетно у неким приликама и рубни шав. На одређено растојање (од 20 до 35 mm) се постављају делови пре спајања у зависности од дебљине лима, а и његовог начина кретања, пречника, броја жица и слично.

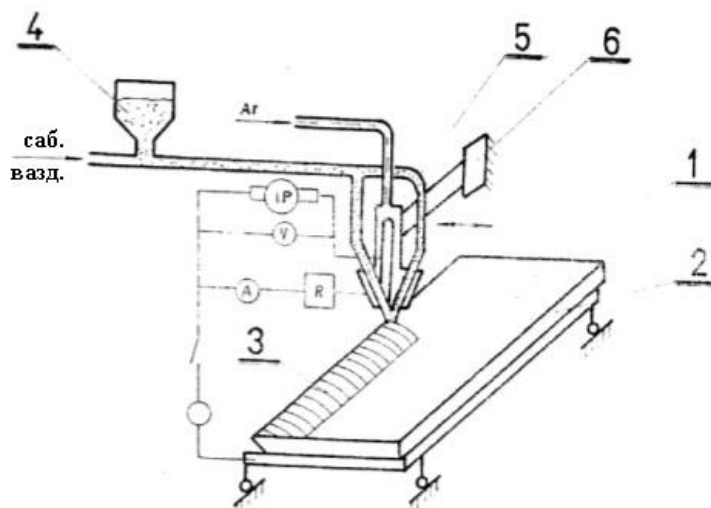


Слика 27 - Наваривање под трошком

3.2.8. Наваривање плазмом

Сама реч плазма је старогрчког порекла и означава материју. За заваривање је значајна термичка плазма, која је у ствари јонизован гас састављен од слободних електрона, неутралних атома и позитивних јона. У већини случајева плазмом се заварују легирани челици, нерђајући челици, угљенични челици, ватроотпорне легуре, легуре никла, бакра и титана. Наваривање плазмом може бити плазмено наваривање прашком, плазмено ТИГ наваривање, плазмено МИГ наваривање. Тако да на основу тога плазма наваривање обухвата избор одговарајућег поступка заваривања, избор додатног материјала, дефинисање припремних радњи, одређивање параметара заваривања, утврђивање редоследа заваривања, предлагање технике рада и елиминисање заосталих напона. Поступак наваривања плазмом се примењује код

репарације, наношења антифрикционог материјала, декорације, антикорозивне заштите и израде модела. Додатни материјал се доводи слично као код гасно пламеног поступка наваривања или се наноси пре наваривања и онда се стапа са млазом плазме. На слици 28 је дат приказ општег поступка наваривања плазмом.

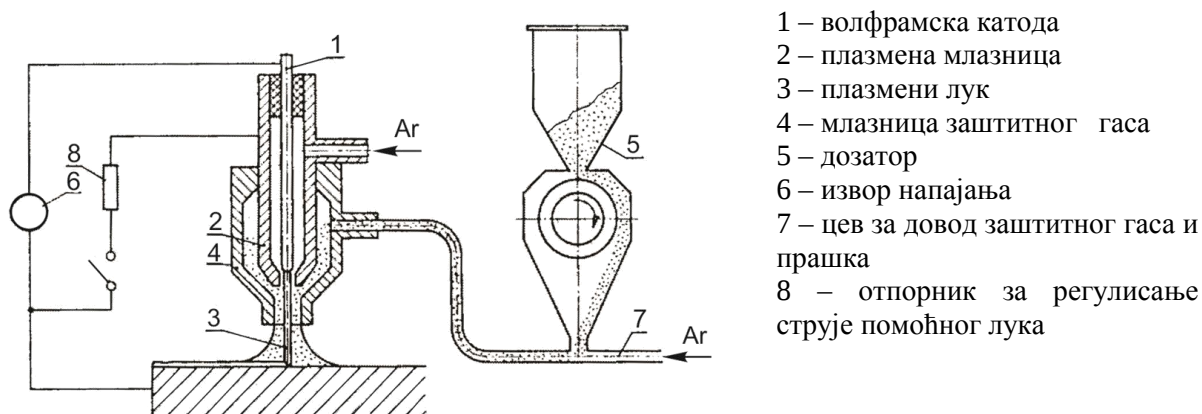


1 - део који се наноси на превлаку; 2 - механизам за померање; 3 - нанети слој;
4 - дозатор; 5 - водохлађени плазматрон; 6 - вибратор

Слика 28 - Принципијална шема уређаја за наношење плазма поступком

3.2.8.1. Плазмено наваривање прашком

Поступак који је погодан за аутоматско или полуаутоматско наваривање. Извођење наваривања је у једном пролазу, а дебљина навара може бити од 0,25 до 6-7 mm. Код веће дебљине навара примењује се вишеслојно наваривање. На слици 29 је дат приказ шеме плазменог наваривања прашком, где је; 1 – волфрамска катода, 2 – плазмена млазница, 3 – плазмени лук, 4 – млазница заштитног гаса, 5 – дозатор прашка, 6 – извор струје, 7 – цев за пренос прашка, 8 – отпорник за регулисање струје помоћног лука. Са слике 29 се примећује да се спрашена легура за наваривање усмерава дуж плазмене млазнице, потискује кроз сужени отвор и убрзава до брзине звука. Тада температура плазме достиже 18000°C. У површински стопљену подлогу удара великом брзином стопљени прах и тако формира навар са минималним разблаживањем (5-10 %).

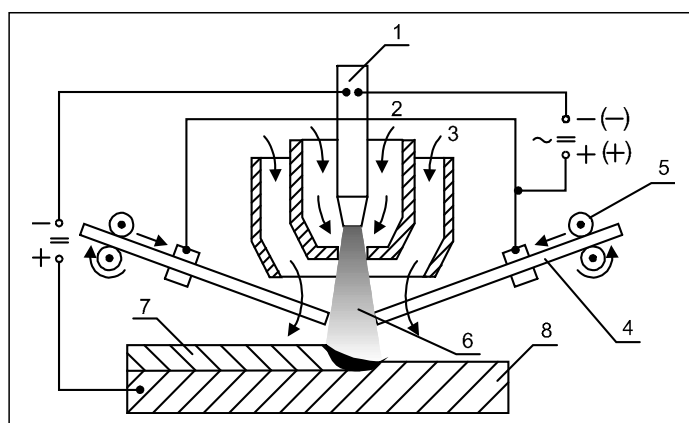


Слика 29 - Шема плазменог наваривања прашком

За репаратуру или производно наваривање делова мотора СУС (вентили и др.), ивица резних алата за земљане радове, спиралних бургија, алата за обраду резањем, рукаваца железарских ваљака и остало се користи у пракси плазмено наваривање прашком [1].

3.2.8.2. Плазмено ТИГ наваривање

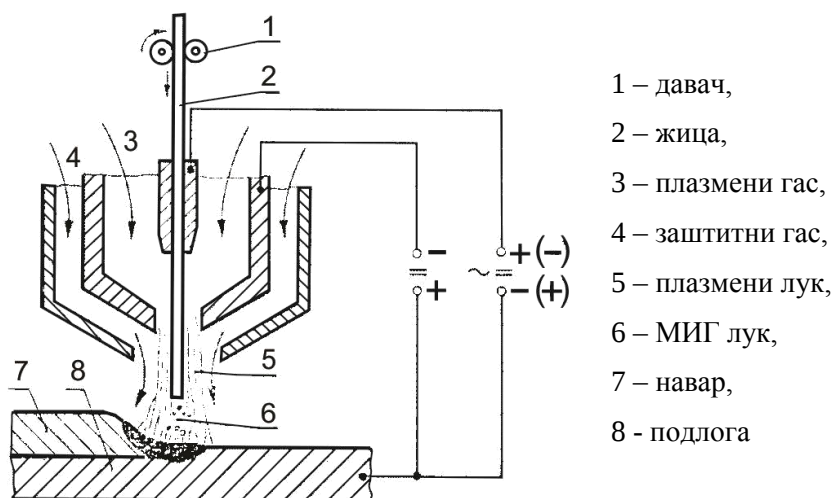
Код оваквог поступка предност је што се електрични лук одржава између додатне жице и волфрамске електроде, па процес није осетљив на одмицање (примицање) пиштоља, у односу на предмет. Навар се образује тако што је поступак (потпуно механизован) заснован на довођењу хладне или вруће жице у зону лука која се топи и стапа са површинским слојем подлоге. Дебљина депонованог навара је од 2-15 mm. На слици 30 је дат приказ шеме за ТИГ наваривање плазмом, где жица загревана електричним отпором обезбеђује већу продуктивност и мање уваривање. На слици су: 1) волфрамска електрода, 2) плазмени гас, 3) заштитни гас, 4) жица, 5) давач, 6) лук плазме, 7) навар, 8) подлога.



Слика 30 - Шематски приказ ТИГ наваривања плазмом

3.2.8.3. Плазмено МИГ наваривање

Овакав поступак се користи најчешће за репарацију седишта вентила, железничких ваљака, похабаних рукаваца, као и за наношење плакирних слојева на зидове челичних резервоара и слично. Високим механичким особинама навара, лаком аутоматизацијом процеса, а и великом продуктивношћу процеса се оправдава јако скуп уређај за плазмено МИГ наваривање. На слици 31 је дат приказ шеме плазменог МИГ наваривања. Заштитни пламени лук херметички обавија електрични лук и на тај начин елиминише у потпуности прскање. Заваривачким МИГ луком се између додатне жице и основног метала успоставља лук и након свега неколико милисекунди се полако пали плазмени лук између навариваног предмета и млазнице.



Слика 31 - Шематски приказ МИГ наваривања плазмом

Навар је дебљине од 5-6 mm, ширине од 40-50 mm и разблаживање је у границама од 5-15 % (односно удео основног материјала раствореног у навару) [1].

4. Оцена заварљивости и основни принципи при избору додатног материјала

Постоје разне класификације када је у питању додатни материјал за дораду недоливених одливака, регенерацију похабаних елемената и израду нових елемената. На основу националних стандарда, научно техничким друштвима итд., постоје различите поделе код избора материјала превлаке, а и у зависности од поступака. Међутим основа је свима иста и то:

- ❖ дефинисано стање испоруке додатног материјала (прах, шипке, жице и електродне траке (пуне и пуњене), електроде);
- ❖ хемијски састав који је одговарајућ;
- ❖ дефинисане тачно димензије и маса упакованог додатног материјала (димензије траке, пречник гранула прашка (карбида), пречник жице (шипке), маса катура жице (трака), топитеља, дужина електрода, маса прашка и сл.);
- ❖ препоруке за одговарајуће услове рада;
- ❖ препоруке за параметре регенерације (напон, проток горивог гаса, напон, проток заштитног гаса, прашка, смеше и сл.);
- ❖ дефинисане излазне особине додатног материјала (структурне, механичке, отпорност на хемијско-термичке утицаје и на хабање итд.).

4.1. Додатни материјал

Структура и хемијски састав су главни фактори предодређени за регенерацију током избора материјала [1]. На основу стандарда легуре за наваривање отпорне на корозију и хабање се деле на:

- 1) челике,
- 2) ливена гвожђа,
- 3) карбиде волфрама,
- 4) легуре кобалта,
- 5) легуре никла и
- 6) легуре бакра.

На хабање су најотпорнији материјали велике тврдоће, јер тврдоћа навара у већини случајева служи за контролу квалитета додатног материјала за наваривање. У табели 2 је дат приказ легура, структуре и отпорности на узроке који доводе до хабања.

Табела 2 - Утицај структуре додатног материјала на излазне особине превлаке

Р. бр.	Структура	Главне особине		
1.	Перлитна структура	отпорност на ударно оптерећење, абразивно хабање		
2.	Карбиди W у мекој основи	велика отпорност на абразивно хабање, навар је релативно крт		
3.	Аустенитна структура са већим садржајем Cr ($Cr \geq 12\%$)	добра отпорност на ерозију, корозију и оксидацију		
4.	Аустенитна легура са већим садржајем Co	добра отпорност на високим температурама (500-1000°C), оксидацију, корозију и абразивно хабање		
5.	Аустенитне легуре са већим садржајем Ni	добра отпорност на корозију и оксидацију		
6.	Мартензитна структура	велика отпорност на абразивно хабање, и на отпорност на притисак (гњечење)		
7.	Мартензитни челици	добра отпорност на абразивно хабање, ударно оптерећење, дејство притискајућих сила итд.		
8.	Аустенитни челици	8.1	Аустенитни нерђајући челици - CrNi	добра отпорност на оксидацију и корозију, средња отпорност на абразивно хабање
		8.2	Аустенитни мангански челици (1.2% C, $\approx 13\%$ Mn)	велика отпорност на ударно оптерећење, поготово након сабијања на хладно
9.	Фосфорне бронзе	отпорне на адхезију и корозију		
10.	Алуминјумске бронзе	отпорне на удар, корозију и кавитацију		
11.	Никал – алуминијумске бронзе	отпорне на удар и кавитацију		

4.1.1.Додатни материјали за ТИГ заваривање

За ТИГ заваривање додатни материјали су жице за заваривање:

- ❖ алуминијума – легиране су силицијумом⁹, спојеви су јако отпорни на корозију и сјајни, међутим нису предвиђени за накнадну топлотну обраду. Аргон се користи као заштитни гас.
- ❖ високолегираних челика – садржи мали део угљеника и користи се за заваривање високолегираних CrNi челика. Легирани челици типа CrNi<1.8-1 су склони прслинама на топло. Аргон 1-3% O₂ је заштитни гас (по препоруци). Препоручљиво је за заваривање опреме у фармацеутској, хемијској и индустрији целулозе.
- ❖ нисколегираних челика – обложених бакром, нисколегирана жица за заваривање котловског челика, цеви и делова под притиском. Као заштитни гас се и овде користи аргон, али чист. Отпорни су заварени спојеви на јако споро кретање до радне температуре од 500°C.

Током ТИГ заваривања у потрошни материјал спадају и волфрамске¹⁰ електроде, чији облик и квалитет као и легирајуће компоненте (које се додају волфраму) представљају важан фактор код ТИГ заваривања [1].

4.1.2.Додатни материјали за МИГ/МАГ заваривање

Код додатних материјала за МИГ/МАГ заваривање могу бити жице за:

- ❖ МИГ заваривање алуминијума – легиране силицијумом, спојеви отпорни на корозију и сјајни али непредвидиви за накнадну топлотну обраду. Аргон се користи као заштитни гас, као и код ТИГ додатних материјала.
- ❖ МИГ заваривање високолегираних челика – користи се за заваривање високолегираних CrNi челика и жица садржи мали део угљеника. Препоручена мешавина аргона и 2 % O₂ је у својству коришћења заштитног гаса. Исто као и за ТИГ додатне материјале препоручљиво је за заваривање опреме у фармацеутској, хемијској и индустрији целулозе.
- ❖ МИГ заваривање нисколегираних челика – исто као и за ТИГ додатне материјале, где је обложена бакром, чији се као заштитни гас користи аргон.
- ❖ МИГ/МАГ заваривање конструкционих челика – жица је класична обложена бакром и користи се за заваривање нелегираних конструкцијских челика,

⁹ *Силицијум не погоршава заварљивост код садржаја до 0,3% у обичним конструкционим челицима. Код повећања његовог садржаја преко 0,5% долази до пада жилавости. Изазива смањење отпорности навара ка прслинама на топло, поготово код већег садржаја угљеника.*

¹⁰ *Волфрам се за прокаљивост челика повећава јако мало, док код заварљивости се погоршава када дође до пораста тврдоће зоне око навара (поготово код већег садржаја угљеника). Ситнозрнасту грађу даје волфрам челику, на рачун образовања тешко растворљивих карбида. Током наваравања јако се оквидише и донекле повећава корозиону отпорност, а и отпорност ка међукристалној корозији аустенитних челика.*

котловског и бродског лима у заштити CO_2 или мешавине Ar/CO_2 . Ту може да се стави жица пуњена прашком и жица која није обложена бакром.

4.1.3.Додатни материјали за ручно електролучно заваривање

Електроде чине додатне материјале за ручно електролучно заваривање и то за:

- ❖ заваривање нелегираних челика,
- ❖ заваривање нелегираних и нисколегираних челика,
- ❖ заваривање челика постојаних приликом повишених температура,
- ❖ заваривање високолегираних челика,
- ❖ заваривање обојених метала,
- ❖ жлебове и
- ❖ заваривање ливеног гвожђа.

У већини случајева се примењују обложене електроде док су голе, чије су челичне жице дужине од 200 до 450 mm. Основна улога облоге је да штити растоп од спољне атмосфере, да пречисти метал шав, стабилизује лук, легира шав и продужи време хлађења шав (односно успори хлађење) [1].

4.1.4.Додатни материјал за гасно заваривање

Додатни материјал за заваривање истог или сличног хемијског састава се употребљавају за дебље лимове, док за танке лимове (дебљине до 2 mm) заварује се гасно без додатног материјала. Додатни материјал се за заваривање:

- ❖ и наваривање челика испоручују у облику жица,
- ❖ алуминијума¹¹ и његових легура испоручују у облику жица и шипки,
- ❖ бакра испоручују у облику жица, и
- ❖ бронзе испоручују у облику жица и шипки.

4.1.5.Карбиди

Карбиди представљају највећи број легирајућих елемената у ливеном гвожђу и челику, који образују интерстицијалне фазе или сложене структуре сједињујући се са угљеником. Карбиде у челицима образују елементи који на сваком енергетском нивоу

¹¹ *Алуминијум* као додатак у количини од 0,02-0,2% утиче на величину зрна првобитног аустенита због кочионог деловања нитрида алуминијума и Al_2O_3 . Отпорност на оксидацију се повећава додатком алуминијума нерђајућим челицима.

(односно у сваком електронском слоју) имају подслој (d^1) који је мање поседнут електронима него гвожђе. Карбид је стабилнији када елемент има мањи број електрона у подслоју (d), јер је тада склоност ка образовању карбида већа. Реакцијом карбида са водом ослобађа се гориви гас ацетилен. Карбид се производи у специјалним карбидним пећима из ситног кокса и печеног креча и чува се у херметички затвореном лименом бурету од 100 kg. Уколико случајно дође до утицаја влаге на карбид, постоји опасност од експлозије. У већини случајева карбидоотворни елементи могу да се кристалишу у кристалографске системе:

- 1) кубном,
- 2) хексагоналном и
- 3) ромбичном.

Карбиди хрома и њему слични, као нпр. карбиди мангана са аспекта отпорности на хабање могу бити у:

- 1) кубном систему,
- 2) хексагобалном систему Cr_7C_3 и Mn_7C_3 и
- 3) ромбоичном Cr_3C_2 и Mn_3C .

Већу тврдоћу него цементит или мартензит имају специјални карбиди. Што је карбид тврђи то је већи утицај када је распрострањеност у тврдој основној мартензитној маси која повећава отпорност на хабање. Поред тога тврдоћа је условљена и њиховом величином, обликом и распоредом. Смањење отпорности против хабања у великој мери се смањује када су карбиди излучени на границама зрна и распоређени линијски.

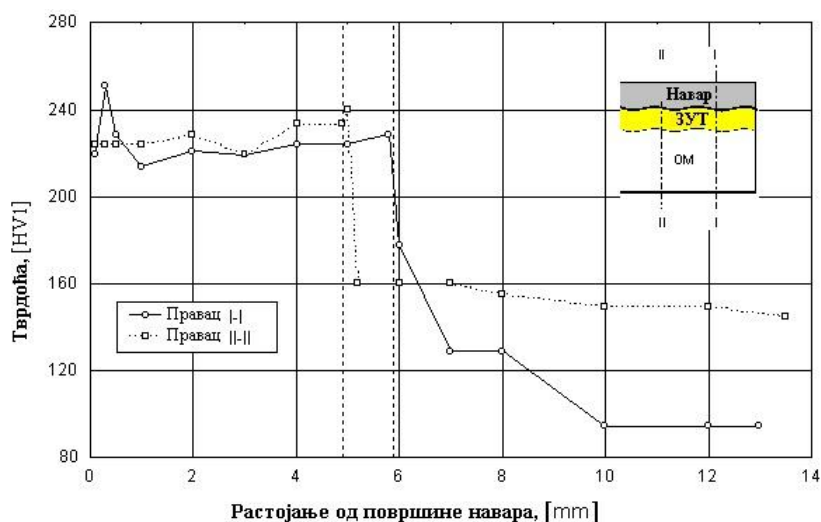
4.1.6. Материјали отпорни на хабање

Као што је споменуто у *тачки 2.*, у карактеристике основних врста хабања спадају адхезионо, абразивно, ерозионо, кавитационо, заморно, вибарционо, и остале врсте хабања. Тако да у складу са тим споменуће се материјали који су отпорни на ове врсте хабања [1].

Код **адхезионог хабања** отпорност се повећава наношењем тврдых превлака (применом тврдог наваривања) на површине делова, и применом спрегнутих парова уз добро подмазивање - челик-пластична маса, челик-лежишни метал. Код овакве врсте хабања показала су се јако отпорна бела ливена гвожђа (кокилни „гус“) на бази хрома тврдоће од 55 до 65 HRC.

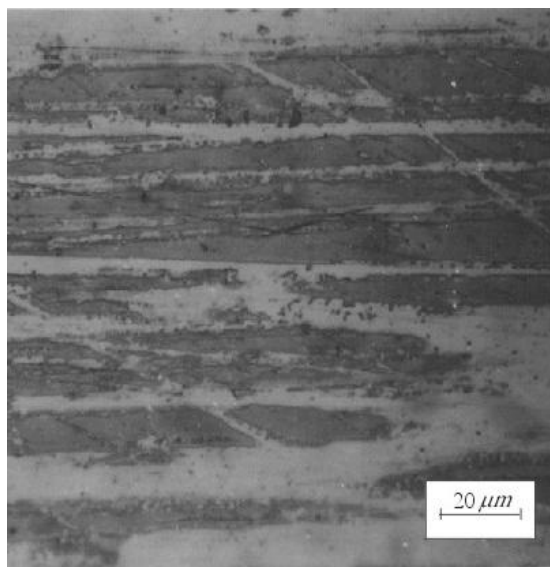
Код **абразивног хабања** отпорност је *ударно дејство абразива* – настајање великих специфичних притисака на месту контакта радних површина и абразивних честица; и *дејство расутих материјала* – на радне површине делују расути материјали па на контактним местима настају мали специфични притисци. Базичном манганском електроном се репарирају предмети отпорни на абразивно хабање, израђени од манганског аустенитног челика или челичног лива. Код ударног абразивног хабања

најотпорнији је мангански аустенитни челик (тзв. Хадфилдов челик - Š3160) који садржи 1,2% C, 13% Mn, у неким случајевима и 1% Cr.



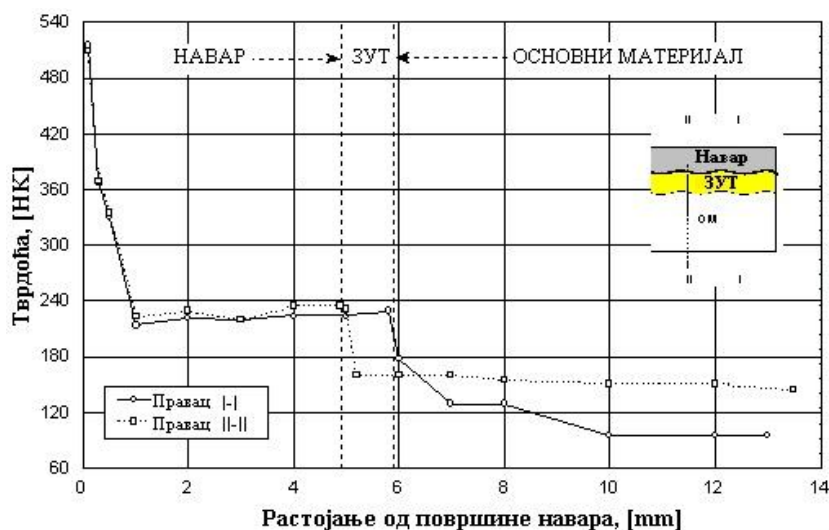
Слика 32 - Промена тврдоће навара Хадфилдовог челика пре деформације

На слици 32 је дат приказ поменутог челика пре деформације. Челик легиран азотом има већи напон течења од обичног Хадфилдовог челика и користи се за делове који раде у условима ударног хабања. Са слике ОМ – основни материјал. Након наваривања тврдоћа поменутих легура је око 200-220 HV1, док је структура аустенитна (сл. 33) [1].



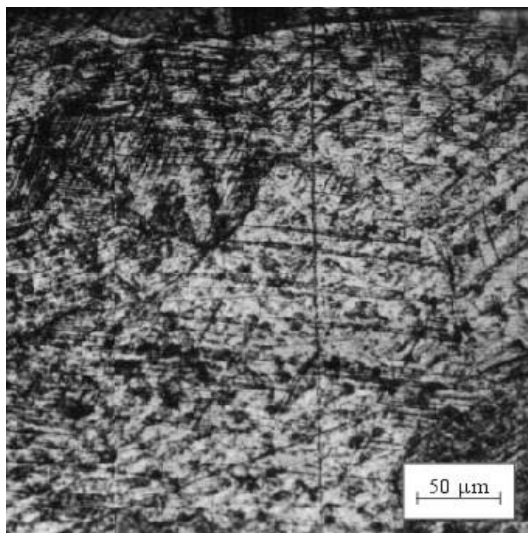
Слика 33 - Микроструктура навара пре деформације

На слици 34 је дат приказ након деформације, где се примећује да након дејства локалног ударног оптерећења тврдоћа расте до око 515 НК. То је све последица трансформације аустенита у мартензит у приповршинским слојевима [1].



Слика 34 - Промена тврдоће наvara Хадфилдовога челика након деформације

Уколико је навар изложен дејству мирног притиска на преси (од 1500 до 2000 daN) или ударном притиску може да се установи пораст тврдоће у површинским слојевима, као на слици изнад 34. па се код промене микроструктуре у структури појављује и мартензит (сл. 35). Током читавања микроструктуре и уколико дође до одређених тешкоћа приликом мерења, ширина трансформисане зоне (око 0,5 mm) и снимање трансформисане структуре (иглице мартензита у аустенитном зрну). Навари који имају велику отпорност на хабање расутим материјалима (и подносе осредње ударно оптерећење), као и добру отпорност на абразивно хабање су они чији је навар изведен високолегираном рутилном електродом EL E 650 R [1].



Слика 35 - Микроструктура наvara након деформације

На дијаграмима и сликама су приказани експерименти који су извођени на моделима, а и на реалним деловима навареним у једном и два слоја. Век овако наварених делова вишеструко надмашује век нових ненаварених делова. На слици 36 је

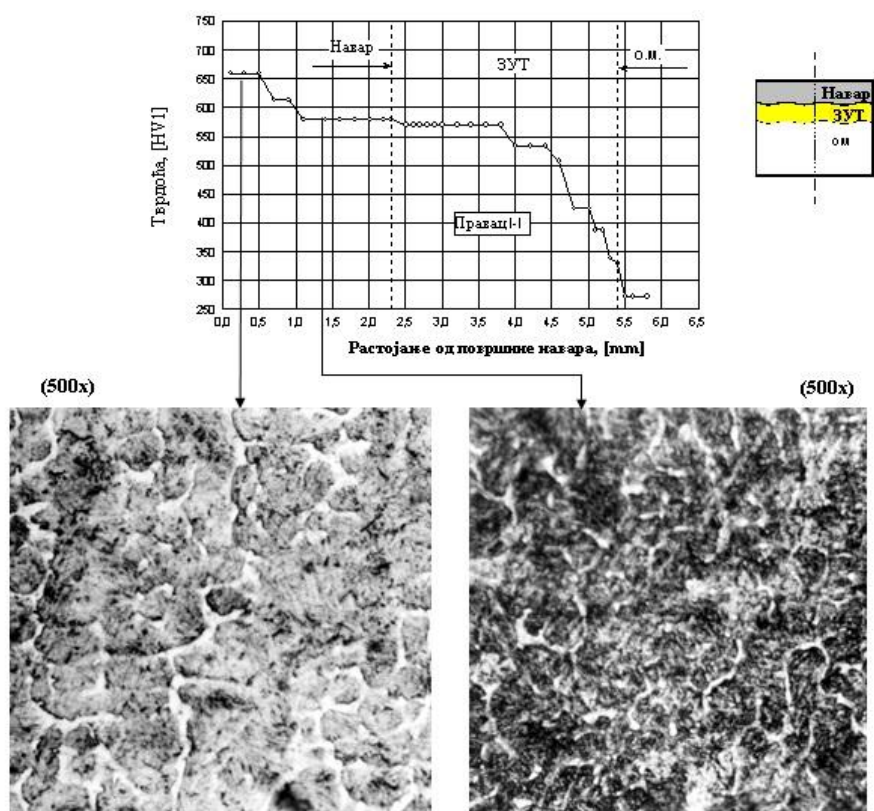
дат приказ тврдоће карактеристичним зона наvara и микроструктура једнослојног наvara, где је мартензит са излученим карбидима по границама зрна [1].

Код **ерозионог хабања** отпорност је најбоља за тврде металне материјале и неметале (каљени челици, тврди навари, цементиран и нитрирани слојеви итд.).

Код **кавитационог хабања** од легура највећу отпорност показује мартензит. Док са стране производње, поправке и израде машинских елемената од челика мартензитног типа постоје тешкоће. Исто тако добро се одупиру кавитационом хабању материјали са хомогеном структуром. Поред тога и легуре на бази никла, које садрже карбиде хрома или хром бориде (током рада на високим температурама).

Код **заморног хабања** јако штетан утицај имају оксиди, а сулфиди делују корисно јер формирају превлаку преко тврдых оштроуглих оксидних инклузија и тако умањују ефекат зареза.

Код **вибрационог хабања** утиче релативно кретање контактних површина, специфични притисак, време вибрационог хабања и карактер средине. Од особина њихових оксида зависи отпорност металних материјала који има већу тврдоћу и специфичну запремину од одговарајућег метала.



Слика 36 - Расподела тврдоће и микроструктуре наvara

С обзиром да се највећи број индустријских делова повлачи из експлоатације из разлога хабања (абразивно – 53 %, адхезионо – 24 %, удар – 10 % и остале врсте) и корозије 13 % приказани су на дијаграму 1 и слици 37. Они показују зависност између

легирајућих елемената и потребног садржаја угљеника у легурама за наваривање а најчешће за видове хабања [1].



Дијаграм 1 - Избор микроструктура за различите врсте хабања



Слика 37 - Избор микроструктура за различите врсте хабања - легуре за наваривање

4.2. Оцена заварљивости

Само предвиђање особина заварених спојева након заваривања представља оцену заварљивости метала и легура. Током заваривања одређеног материјала потребно је утврдити да основни материјал поседује не само неопходна својства отпорности, већ и добру жилавост и пластичност [1].

Због повезаности чинилаца конструкције (дебљина, врста споја, крутост), материјала (способност заваривања) и технологије (могућност заваривања) није увек могуће оценити заварљивост само једном врстом практичних проба заварљивости. Из тог разлога се за челике уводе допунски показатељи који се односе на: структуру, компактност, механичка својства итд. Два приступа за оцену заварљивости су уобичајена у пракси:

- 1) процена задовољавајућих вредности показатеља заварљивости за испитани облик споја, начин заваривања (тестирање материјала) и материјал;
- 2) избор услова и других мера током заваривања како би се постигли одговарајући и задовољавајући резултати (потврда технологије).

Процена заварљивости непознатог материјала је одређивање механичких особина и хемијског састава и за то се користи *рачунска и емпиријска метода*, и *практична проба заварљивости*.

Код међусобног заваривања одливака од легура и челика потребно је знати да се њихове структуре, хемијски састави и механичке особине знатно разликују. Ни код заваривања нерђајућег челика за меки челик, нерђајућег челика и других легура, нисколегираног челика за меки челик и легура никла се не могу занемарити поменуте разлике. Електрода се пажљиво бира како би се добиле потребне карактеристике новонастале легуре у шаву (шав према отпорности може бити веће или мање јачине од основног метала). Препоручују се праволинијски завари и попуна жлеба вишеструким праволинијским заварима. Са стране метала више температуре топљења потребно је почети полагање завара и то се назива облагање жлеба. Због велике кртости (тј. због ниских својстава пластичности) је ливено гвожђе осетљиво на заваривање. Када се обавља облагање жлеба са једне или обе површине онда се побољшава металуршка спојивост неопходна за даље попуњавање жлеба.

Ливено гвожђе се због већег протока растопа, због велике крутости ЗУТ-а и ниске пластичности теже заварује него челик. Ливено гвожђе може бити сиво, бело, ковно (темперовано) и нодуларно. Висок садржај угљеника (од 2 до 4 %) имају све врсте техничких легура Fe-C које се сврставају у ливено гвожђе. Лакше се заварују нодуларни и темперовани лив јер су пластичнији. Нежељене микроструктуре и прслине у металу око шав се стварају високом температуром заваривања и неконтролисаном брзином хлађења. Цементит (карбид гвожђа) се образује на границама шав, исто као и високоугљенични мартензит. Те структуре имају малу јачину на кидање и јако су крте. До појаве високих унутрашњих напона у поменутим кртим металима доводи неравномерна расподела температура у радном предмету.

Као и код челика, величина пламеника за заваривање ливеног гвожђа се бира исто – исте дебљине. Као додатни материјал се користи топитељ и метална ливена шипка одговарајућег хемијског састава, а као основни материјал неутралан пламен. Увртањем голих завртњева у странице жлеба се ојачавају спојеви од ливеног гвожђа. Од меког су челика и претапају се током заваривања и на крају улазе у састав метала шав. За одливке од сивог лива (зато што он има највећу течљивост од свих техничких легура гвожђа) се препоручује постављање подложне траке испод корена жлеба како би се спречило цурење растопа [1].

Може се мерењем тврдоће попречно на шав приметити да се мењају својства отпорности. Познатим методама (Бринел, Роквел, ...) се мери тврдоћа и за испитивање пробе се припремају прво поравнањем лица и корена шав са основним материјалом, а онда брушењем. За оцену трансформационе кртости, као критеријум се узима највећа тврдоћа измерена испод завара. Визуелна контрола (спољашњи изглед) спада у испитивање без оштећења завареног споја, као и проба непропустиљивости (херметичност), магнетна и ултразвучна испитивања. Код визуелне контроле је циљ да се успостави да ли облик и димензије шав одговарају техничкој документацији. Исто тако могу да се уоче неке спољне грешке које утичу на механичке особине завареног споја.

5. Избор технологије репаратурног заваривања и наваривања неких карактеристичних оштећених делова

Водич за анализу избора поступака код репаратуре елемената наваривањем је:

- ❖ одређивање димензије елемената;
- ❖ одређивање димензија и облика површине на којој је потребно применити поступак;
- ❖ описивање карактеристике рада и величине хабања елемената;
- ❖ одабир материјала за наваривање који је отпоран на предметну врсту хабања;
- ❖ дефинисање поступака којима је могуће нанети потребан слој;
- ❖ одабир поступака, узимајући у обзир величину елемената; величину и облик површине на којој је потребно применити поступак; потребну дебљину нанетог слоја; дозвољене специфичне притиске; потребну силу везивања између основног и нанетог материјала; продуктивност; могућност и природу промене структуре основног материјала и величину деформације;
- ❖ одабир величине серије елемената за примену поступака;
- ❖ одређивање трошкова додатног материјала;
- ❖ одређивање односа вредности уређаја и укупних трошкова примене поступака; и
- ❖ извршење избора оптималног (економичног) поступка.

5.1. Зуби багера утоваривача

У овом поглављу је дат пример репаратуре наваривања зуба утоварне кашике, као и избор оптималне технологије. Како би се оптимална технологија одабрала код репаратуре зуба утоварних кашика утоваривача, багера и ровокопача који раде у условима интензивног абразивног хабања, постиже се захваљујући експерименту који је одрађен. Ту се пре свега разматрају основни видови хабања и коришћен је поступак ручног електролучног наваривања. Процеси абразивног хабања имају највећи утицај на оштећење делова који су у директном контакту са расутим материјалом. [1]

Код овог примера који је разматран експериментално – зуби багера утоваривача, абразивном хабању (са умереним до средњим ударима) су изложени највише зуби утоварних кашика и рипери. Док су зуби утоварних кашика истовремено изложени и отвореном и затвореном моделу абразивног хабања. На слици 38 је дат приказ изгледа зуба багера утоваривача на кашики. Код хабања процењују се још и материјал и особине контактних површина, карактеристике релативног померања између радних површина, величина оптерећења, особине медијума између контактних површина, температура, честице (особине и количина) настале током хабања и остало. Закључак на основу експерименталних истраживања је да је завршни процес хабања у ствари процес замарања.



Слика 38 - Зуби багера утоваривача на кашики [7]

Закаљен челик је отпорнији челик феритно-карбидне структуре. Из разлога што је абразивно хабање условљено могућношћу утискивања абразива у површинске слојеве челика, па онда чврстином везе структурних компонената на границама металних зрна. Код мање тврдоће мартензитна структура је отпорнија од мартензитно карбидне структуре. Али без обзира на пад тврдоће, отпорност на хабање се повећава у мартензитно-карбидној структури на рачун заосталог аустенита, од стране смањене количине мартензита. Према томе, карбид се лакше „чупа“ са абразивним честицама, него из аустенитне основе из мартензитне матрице.

Од геометријског облика зрна зависи и дубина продирања абразивног зрна у материјал (а не само од његове тврдоће). Негативно дејство се повећава са порастом димензија абразивних честица, што је утврђено на основу испитивања. Однос, односно једна од најважнијих карактеристика је:

$$k = H/H_a \quad (1.1)$$

где је:

H – тврдоћа основног метала,

H_a – тврдоћа абразива,

k - коефицијент.

У случајевима када коефицијент (k) постане већи од 0,5 – 0,6 отпорност челика на хабање знатно расте. Поред тога, друге битне карактеристике су специфичан притисак, дужина путање хабања, хемијски утицај радне средине и релативне влажности.

5.1.1.Сврха и радни услови зуба утоварних кашика

Током експлоатације зуба утоварних кашика долази до проблема током рада, а то је:

- 1) код жилавијих зуба – мања тврдоћа, и јавља се пластична деформација и интензивно хабање;
- 2) код кртих материјала – велика тврдоћа, и јавља се лом приликом већих ударних оптерећења. То је приказано на слици 39 [1].



Слика 39 - Изглед зуба утоварне кашике - оштећени производ

То се све дешава јер је сам задатак зуба утоварних кашика да уситне и одвоје одговарајући материјал, као и да заштите кашику од хабања током утовара. На слици 40 је дат приказ самог изгледа зуба утоварне кашике. У зависности од намене (вађење шљунка, копање канала, утовар материјала и остало) облик и број зуба се разликују. Поред тога, број зависи и од величине утоварне кашике и креће се најмање од 3 комада (кашике ровокопача) до 15 комада (кашике утоваривача већег капацитета).



Слика 40 - Изглед зуба утоварне кашике - нови производ

Израђивање зуба је од челичног лива или ливеног гвожђа, масе по 3,5 килограма по комаду. Монтирање кашике је на два начина:

- а) директним спајањем раздвојивом везом помоћу завртњева или
- б) заваривањем нових држача за кашику, па затим причвршћивањем завртњима за држач.

Највећи проблеми се јављају код рада грађевинских машина на површинским коповима руда и угља или каменоломима зато што одломљено метално парче зуба може доспети у дробилична постројења и изазвати незгоду. Такође, могу да доспеју и у постројења за производњу асфалта и бетона и да изазову такође велике незгоде и застоје у раду.

5.1.2.Одабир процеса коришћења технологије заваривања и додатног материјала

Прво је потребно извршити одабир одговарајућег додатног материјала, поступка и најповољније технологије наваривања, а затим и најбољу технологију репаратуре који највише одговарају предвиђеним условима рада сваког конкретног дела. У табели 3 је дат приказ хемијског састава, механичких особина и упоредних ознака челика на основу које се анализира материјал зуба утоварних кашика [1].

У складу са табелом узето је у обзир да се тврдоћа у експерименту (оштећеног зуба) кретала од 340 до 420 HV1, док је микроструктура процењена као мартензитна¹² са извесном количином заосталог аустенита. Међутим, пошто се није показала отпорном на абразивно хабање микроструктура, то доводи до релативно брзог хабања зуба поготово у раду у условима изразитог абразивног хабања. Због тога је покушан да се продужи век похабаних и нових зуба репаратурним и производним наваривањем, уместо (до сада) уобичајене замене новим зубима.

У табели 4 су дате особине додатног материјала који је коришћен. У питању је високолегирана рутилна електрода произвођача „Abradur“ – ручно електролучним поступком. Према произвођачу електроде имају велику отпорност на интензивно абразивно хабање и подносе осредње ударе приликом експлоатације. Поготово су повољне за наваривање делова где су наварене површине изложене трењу са минералима. Ту спадају елементи конвејера изложени интензивном хабању, зуби на кашикама багера, ножеви на кашикама булдожера, лопатице на багерима, сечива ножева, дробилице итд. Навари се код оваквог типа електроде могу само механички обрађивати брушењем.

¹² Мартензитни челици се обично користе у побољшаном стању.

Табела 3 - Упоредне ознаке ČL3134, механичке особине и хемијски састав

	Хемијски састав, %					Механичка својства				Повезаност са другим стандардима	
	C	Si	Mn	P	S	R_m , МРА	R_{eH} МРА	A_5 , %	Тврдоћа, НН1	Микроструктура	ДИН
Прописан	0.45	0.50	1.80	0.040	0.040	780- 930	390	7	340- 430*	Мартензитно-бејнитна и заостали аустенит	GS-36MnS
Анализиран	0.35	0.20	1.65	0.020	0.020	'	'	'	340- 420		

*Остварена тврдоћа и микроструктура након побољшања ненаварених узорака.

Табела 4 - Особине додатног материјала

Хемијски састав, [%]					Ознака електроде		Врста струје	Мех. особине навара	Напомена
C	Si	Mn	P	S	FIPROM Jesenice	ДИН			
3.6	-	-	32	-	DIN 8555 E 10-UM-60-GR	Abradur 58	~ = (+)	56-62 HRC	Са минералима у хладном стању, наваривање алата изложених абразивном хабању
0.12	0.8	7	19	9	DIN 8556 E 18 8 6 Mn B 20+	Inox B 18/8/6	~ = (+)	KV > 80 J	Међусобна аустенитна базична електрода

За репаратуру ових делова погодно је наношење међуслоја са Inox B 18/8/6. Како је наваривање извођено РЕЛ поступком у табели 5 је дат преглед одабраних параметара. Електрода ABRADUR 58 (сл. 41) је рутилна електрода¹³ (даје леп изглед и добре механичке особине шава) за тврдо наваривање делова, где се навари (као што је изнад поменуто) третирају брушењем, а међуслој електроде за површине би најбољи био INOX B 18/8/6.



Слика 41 - Електрода ABRADUR 58 [8]

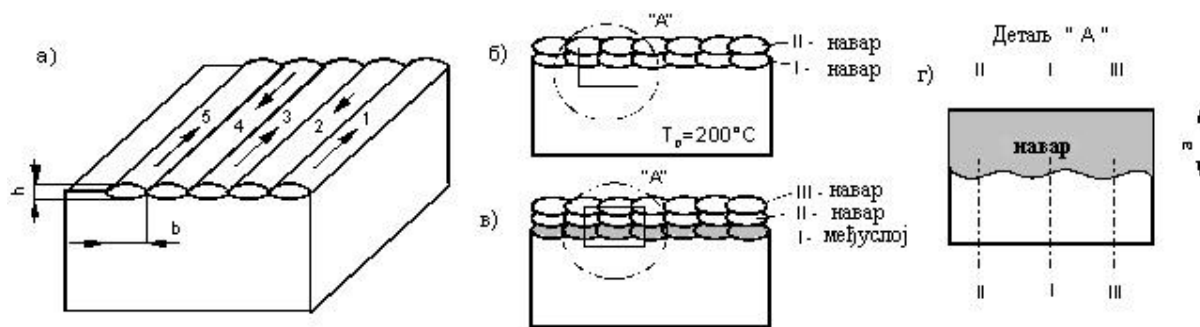
Табела 5 - Наваривање РЕЛ поступком (параметри)

Ознака електроде		Пречник језгра d_e , mm	Струја заваривања, I , A	Напон, U , V	Брзина наваривања, v_z , cm/s	Погонска енергија, q_l , J/cm
FIPROM Jesenice	ДИН					
ABRADUR 58	E 10-UM-60-GR	3.25	130	25	0.124	20968
INOX B 18/8/6	E 18 8 6 Mn B 20+	3.25	100	24	0.136	14118

5.1.3. Пробна испитивања на моделима и зубима утоварне кашике

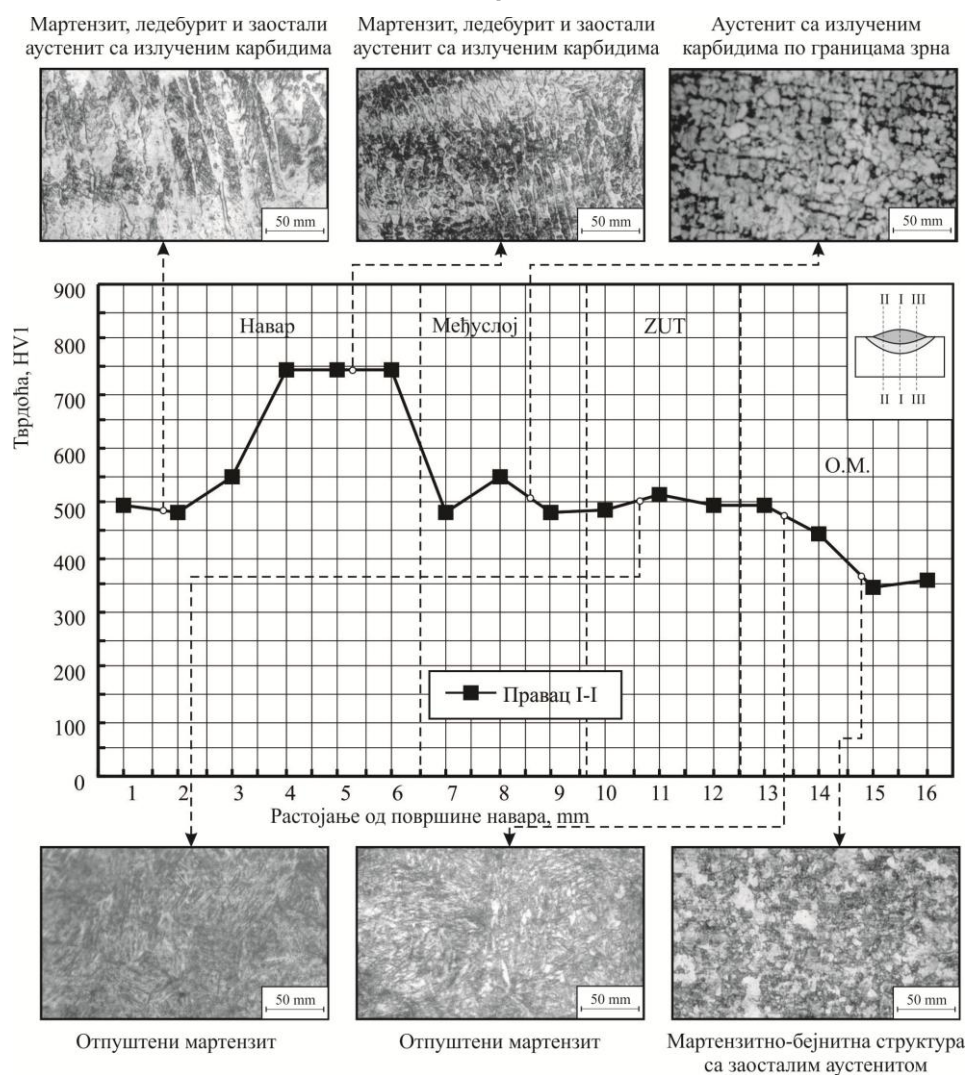
Према анализама истраживања потребно је одредити оптималну технологију наваривања. На слици 42 је дат приказ редоследа полагања наваривања са и без предгревања, где је: а) један слој; б) два слоја; в) три слоја; док је на детаљу „А“ слике 42г) металографски избрусак (блок) за триболошка испитивања. Микрострукура је са анализа мартензитно-лебдуритна са излученим карбидима по границама зрна и са малим учешћем аустенита, док је тврдоћа измерена од 551-742 HV1. Отпуштени мартензит са прелазом у међуфазне структуре, тврдоће од 456-613 HV1 представља на основу анализа структуру у зони под утицајем топлоте (ЗУТ-а). Код међуслоја микроструктура је адекватна аустенитно-карбидној, тврдоће око 482 HV1. [1]

¹³ Хемијски састав рутилне електроде: rutil, alumosilikati, ferolegure.

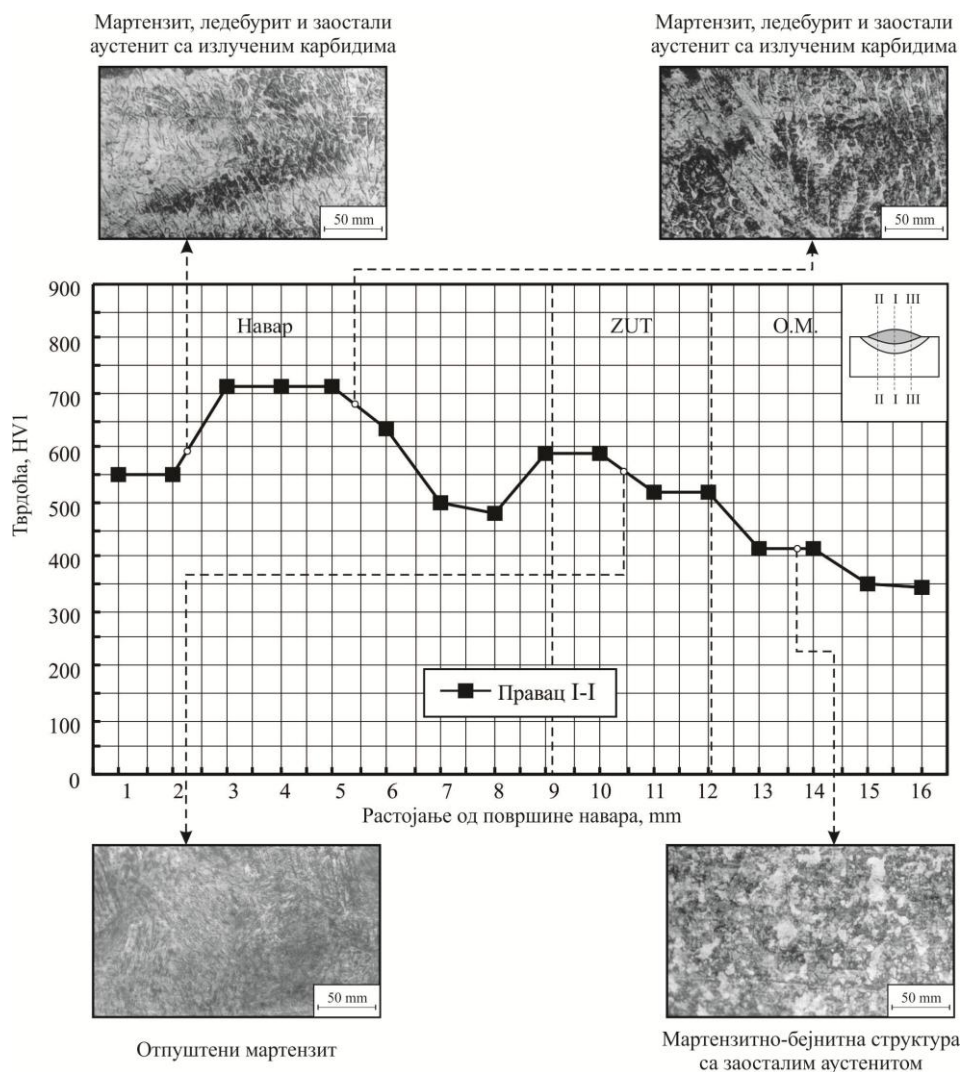


Слика 42 - Редослед полагања наvara

На слици 43 је дат приказ расподеле тврдоће и микроструктуре карактеристичних зона наvara код трослојног наваривања (међуслој + два слоја, $T_0 = 20^\circ\text{C}$), док је на слици 44 приказана расподела тврдоће и микроструктуре карактеристичних зона наvara за двослојно наваривање (два слоја, $T_p = 200^\circ\text{C}$).



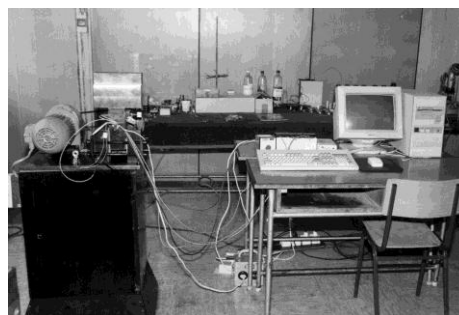
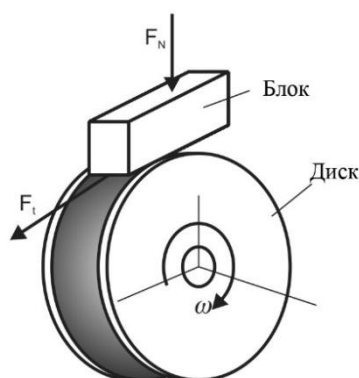
Слика 43 - Расподела тврдоће и микроструктура карактеристичних зона наvara



Слика 44 - Расподела тврдоће и микроструктура типичних зона наvara

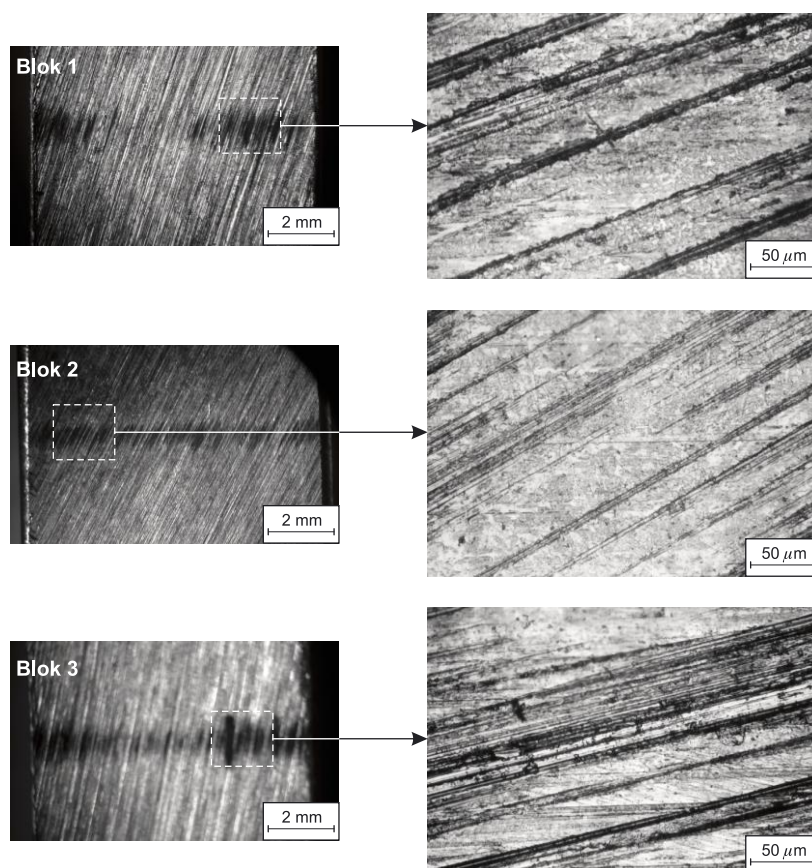
На Факултету инжењерских наука у Крагујевцу су изведена триболошка испитивања приликом контакта блок-диск, на трибометру TPD-93. То је приказано на слици 45 где је циљ одређивање отпорности на хабање основних материјала, као и нанетих превлака (наvara) [1].

Код испитивања коришћено је моторно уље GLX 2 SAE 15-W-40. Призматични блокови за триболошка испитивања (6,5x15x10 mm) су коришћени из наварених узорак (два из наvara и један из основног материјала). Линијски контакт се остварује код самог испитивања (енгл. *block on disk*). На самим узорцима биле су спољашње варијабиле и то – брзина клизања, сила контакта и средство за подмазивање. Извршено је одређивање триболошких карактеристика блокова. Прво је вршено испитивање за мерење топографије диска и блока на компјутерском мерном систему, након чега је оствариван контакт где је усвојена нормална сила $F_N = 300\text{ N}$ и $v_{kl} = 1\text{ m/s}$, као и за време контакта од $\approx 60\text{ min}$ регистрована промена трења.



Слика 45 - Трибометар TPD-93 и остала опрема за извођење триболошких тестова

Затим је мерен појас похабаности блока (топографија површина блока и диска) након прекида контакта. На универзалном микроскопу (UIM-21, са увећањем од 50х) је мерена ширина појаса хабања. Након тога је извршена анализа макроскопских и микроскопских оштећења, где су на слици 46 приказана та оштећења на анализираним блоковима (блок 1, 2, 3 и изглед макро - 5х; микро - 200х).



Слика 46 - Похабаност блокова

На основу свега наведеног одређена је оптимална технологија и коришћена за реалне делове. Уз примену међуслоја, трослојно наваривање, с обзиром на ограничење у погледу дебљине основног материјала, пречника електроде и висине оствареног

навара, је ипак најбоље након изведених испитивања. Радне површине зуба су навариване са стране грудног и леђног угла:

- ❖ уздуж зуба (сл. 47 а));
- ❖ попречно по ширини зуба (сл. 47 б));
- ❖ саћасто-комбиновано (сл. 47 в)).



а)



б)



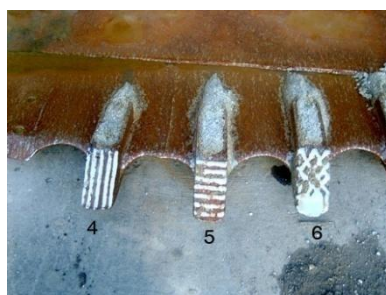
в)

Слика 47 - Изглед наварених зуба

Висина навара је износила око 4 mm, док је ширина навара око 10-12 mm. Пошто је на централном делу кашике највеће дејство абразије, ту су и монтирани овако наварени зуби (сл. 48), где је на (сл. 48 б) изглед леђне површине зуба – зуби 4, 5 и 6), док су крајњи зуби уграђивани као нови (сл. 48 а) изглед грудне површине зуба – зуби 1, 2, 3, 7, 8, 9). Након 360 часова ефективног рада је контролисан појас хабања зуба што се види на слици 48 в) где је приказан изглед површине зуба. После тога је контролисан након 1600 часова ефективног рада (сл. 49 а) грудна површина и 49 б) леђна површина) и најзад након 3200 часова (сл. 50 а) грудна површина и 50 б) леђна површина) [1].



а)



б)



в)

Слика 48 - Редослед монтирања зуба на кашику утоваривача након 360 сати ефективног рада



а) грудна површина



б) леђна површина

Слика 49 - Изглед наварених зуба након 1600 часова ефективног рада



а) грудна површина



б) леђна површина

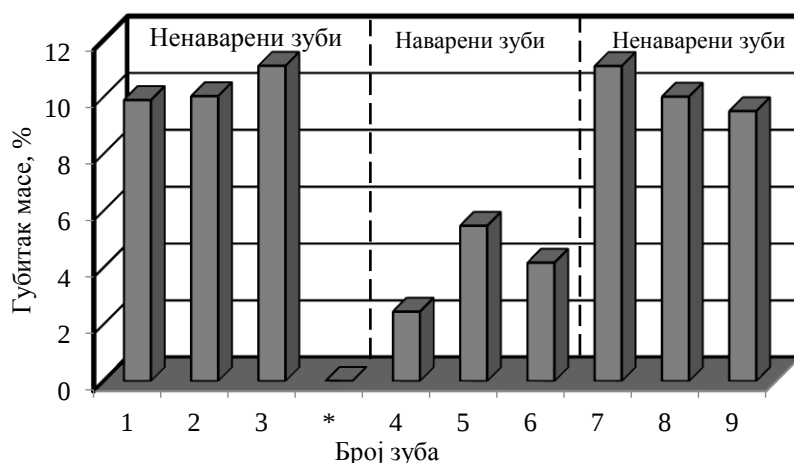
Слика 50 - Изглед наварених зуба након 3200 часова ефективног рада

У табели 6 је дат приказ измерене масе зуба пре монтаже, а и након експлоатације у реалним условима што је у овом случају износило 3200 часова, јер су зуби демонтирани и опет мерена њихова маса. Дијаграмски приказ губитка масе новонаварених и наварених зуба је дат испод (дијаграм 2). На основу добијених резултата дошло се до закључка да је очекивани радни век наварених зуба (у зависности од технике наваривања) већи од ненаварених зуба два до четири пута.

Највећу отпорност на абразивно хабање (товар дробљеног стенског материјала) за саму технику наваривања дају зуби са уздужно нанетим наварима, а онда сањасто нанети навари и за крај попречно нанети навари [1].

Табела 6 - Резултати мерења масе зуба пре и након експлоатације од 3200 часова

Број зуба	Нови - ненаварени			Наварени (уздужно, попречно и сањасто)			Нови - ненаварени		
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Маса зуба пре експлоатације, <i>kg</i>	8.60	8.58	8.62	9.02	9.05	9.62	8.67	8.60	8.64
Маса зуба након експлоатације, <i>kg</i>	7.75	7.72	7.84	8.80	8.65	9.22	7.62	7.74	7.82
Губитак масе, <i>kg</i>	0.85	0.86	0.78	0.22	0.50	0.40	0.95	0.86	0.82
Процентуални губитак масе, %	9.88	10.02	11.09	2.44	5.46	4.16	11.08	10.00	9.49



Дијаграм 2 - Губитак масе ненаварених и наварених зуба

Степен похабаности леђне површине зуба је око три пута већи у односу на грудну површину зуба, што је закључено на пробном испитивању (обрађеном у овом поглављу), односно мерењем дебљине материјала на клинастом делу зуба и геометрије оштећених зуба. Пошто је такође урађена анализа наваривања нових зуба, ипак је већа исплативост производног и репаратурног наваривања радних дела грађевинских машина. Уштеда у односу на цену новог дела и радног века, репаратуре се креће од око 225 %, а за репаратуру наваривања уштеда је чак и преко 300 %.

Након оваквог приказа избора технологије репаратурног наваривања зуба багера утоваривача, у следећим поглављима биће речи о репаратури заваривањем оштећеног кућишта редуктора и звезде.

5.1.4. Уопштено о заварљивости ливених гвожђа (РЕЛ заваривање) коришћено за репаратуру оштећења кућишта редуктора и звезде

Наиме, за предузеће Енергетика д.о.о. у реконструирању из Крагујевца је било потребно извршити прописивање технологије репаратуре оштећеног кућишта редуктора – позитивно континуалног ланца (енгл. *Positively Infinitely Variable Chain - PIV*) варијатора додавача котла К-4. Визуелно су биле очигледне разне прслине и јако погрешан начин припреме жлебова, па је самим тим могућност репаратуре била знатно отежана. У питању је јако сложена репаратура (материјал кућишта – сиви лив SL250).

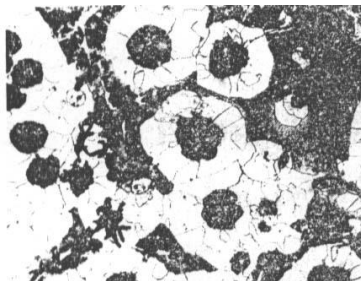
Док за фабрику ФКС опреме из Јагодине је било потребно прописивање технологије репаратуре оштећене звезде. Визуелно су примећене прслине, оштећења, као и оцењена динамичка и статичка оптерећења која су довела до појаве грешака. Напрслу звезду је могуће заварити уз термичку обраду и сложену процедуру заваривања, јер је у питању јако сложена репаратура (материјал звезде – сиви лив SL250) [1].

У сиво ливено гвожђе (од којих се израђују разне врсте одливака), спадају:

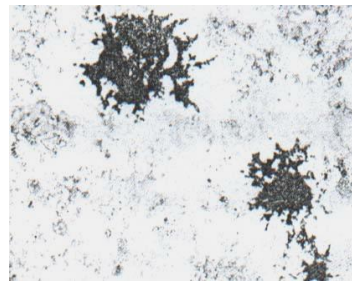
- ❖ сиви лив (ознака SL) - угљеник у облику ламеларног графита (сл. 51а) структура сивог лива),
- ❖ нодуларни лив (ознака NL) - угљеник у облику цементита (сл. 51б) структура нодуларног лива),
- ❖ црни темпер лив (ознака CTeL) - угљеник у облику темпер графита (сл. 51б) структура темпер лива), и
- ❖ вермикуларни лив – графит је издвојен у облику вермикуларног (црвастог) облика (сл. 51в) структура у непрекидном облику тј. повећање 200х).



а)



б)



в)

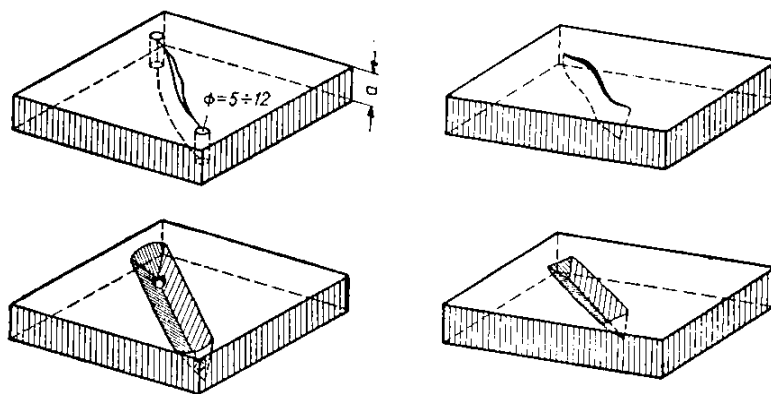
Слика 51 - Приказ појаве угљеника код сивог ливеног гвожђа

Пошто је сваки случај заваривања посебан, јако је тешко дати уопштене технолошке препоруке за репаратуру одливака. У већини случајева гвоздени одливци су изложени заваривању због репаратуре одливака поломљених или похабаних у раду, репаратуре нових одливака изливених са грешком и продукције сложених заварених склопова од мањих ливених делова. Проблеми за давање уопштене препоруке репаратуре се поготово јављају за делове од ливеног гвожђа где се током рада наталожило машинско уље на местима графитних ламела и микропрслина. Такође је проблем за оштећење одливака у експлоатацији. Обично су то одливци од сивог лива који су радили (или били изложени) на повишеним температурама, у мазивима, уљима и другим агресивним материјалима. Ту спадају напрсли вентили, кућишта мењача, блокови мотора, цилиндарске главе, лежишне поврпине и остало.

У односу на нискоугљеничне челике много је теже заваривање ливеног гвожђа због повећане количине угљеника и силицијума, услед чега велика течљивост растоп доводи до пораста тврдоће (велике кртости) и металуршких промена. Те промене могу бити у металу шава, а и у зони под утицајем топлоте. Из тог разлога увек постоји неједнородност између основног метала шава и зоне под утицајем топлоте, па је јако битна припрема жлеба (пажљиво да се део трајно не оштети). Није лако установити крај прслине и припремити жлеб око тог краја (сл. 52). У већини случајева је потребно извести термичку обраду у импровизованим условима, а у неким случајевима озидати пећ за загревање прилагођене величине и облика огромних одливака.

Код припреме одливака за репаратурно заваривање је битно:

- 1) одстрањивање довољно метала око прслине како би се по дубини дошло до његовог краја (сл. 52) и
- 2) израда жлеба где се манипулише електродом и заваривачким клештима.



Слика 52 - Прслине у ливеној плочи (изнад) и израда жлеба за заваривање (испод)

Код великог оштећења израђује се V-жлеб, са углом отвора жлеба од $60-80^\circ$, док се двоструки V-жлеб припрема за зидове дебље од 25 mm. Потребно је поставити подметач са коренске стране жлеба (увек када је то могуће) уколико прслина пробија

цео зид одливка. За разраду технологије заваривања мора се прописати претходна, текућа и накнадна термичка обрада, као и изабрати додатни материјал [1].

Претходна термичка обрада је уско повезана са врстом додатног материјала и прва фаза која се узима у обзир је предгревање одливака, што следи након дефектаже и припреме жлеба. Захваљујући загревању одливака могу се умањити штетни ефекти и то:

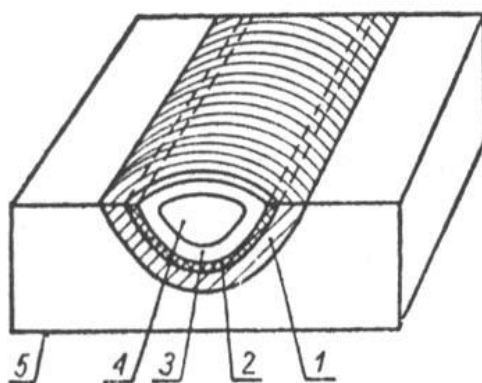
- ❖ крте зоне у шаву добијене због брзе кристализације метала шави и даљег наглог хлађења шави и околног основног метала;
- ❖ умањена способност споја да се одупре сопственим прелазним напонима неизбежним приликом заваривања.

Током заваривања са малим уносом топлоте се добија уска зона под утицајем топлоте (ЗУТ), што даље имплицира да температура предгревања може бити релативно ниска. Тада се предгревањем смањује брзина хлађења, а самим тим и тврдоћа и ниво заосталих напона, уз знатно побољшање машинске обрадљивости.

Термичка обрада након заваривања представља отпуштање напона (потпуно жарење). Увек је боље споро хлађење након заваривања него скупа (често и немогућа) накнадна термичка обрада из разлога што се накнадно потпуно жарење заснива на загревању одливака до аустенитног подручја, прогревањем и јако спорим хлађењем у пећи у интервалу фазних промена аустенита у друге фазе. Жарење се препоручује при 900°C уколико је потребно омекшавање метала шави и околне зоне (до највише зоне), као и попуштање заосталих напона (до најнижег нивоа).

Додатни материјали који се користе за побољшање квалитета завареног споја за РЕЛ заваривање ливеног гвожђа могу бити базичне електроде и то од ливеног гвожђа, нискоугљеничног челика, легура на бази никла и бакра. За сиви и нодуларни лив се примењује заваривање обложеним електродама, док у мањој мери за темпер лив.

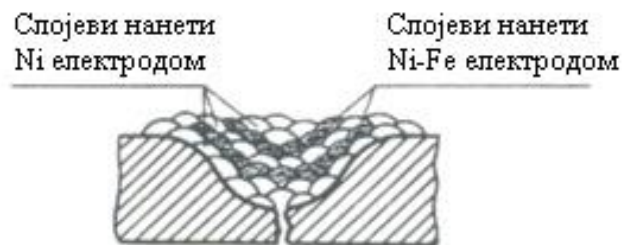
На слици 53 је дат приказ карактеристичне зоне завареног споја делова од сивог лива изведеног ручено електролучним поступком на хладно, са електродом од меког челика. Па је приказано са поменуте слике 53: 1) ЗУТ (мартензит), 2) зона испод зава (ледебурит), 3) зона високоугљеничног челика, 4) зона средњеугљеничног челика, 5) сиво ливено гвожђе.



Слика 53 - Пресек плоче од сивог лива наварене РЕЛ поступком на хладно - електроде од меког челика

За заваривање (репаратурно) одливака од сивог лива поред наведеног изнад „заваривања сивог лива на хладно“ које представља заваривање са додатним материјалом потпуно другачијим од основног материјала без примене предгревања или са нискотемпературним предгревањем (тзв. полутопло заваривање), постоје још и „заваривање сивог лива на топло“ (примена високотемпературног предгревања).

Код хладног заваривања ливеног гвожђа електроде могу бити од бронзе или од чистог никла, легуре никл-гвожђе, легуре никл-бакар. Најбоље је комбиновани поступак за хладно заваривање ливеног гвожђа. Помоћу електроде од чистог никла¹⁴ се наносе први слојеви на странице жлеба, затим други слојеви електродом од легуре никл-гвожђе¹⁵ и тако даље наизменично до попуне жлеба, што је и приказано на слици 54. Електрода што мањег пречника се бира за извођење првог слоја у жлебу, као и најмања могућа јачина струје заваривања. Из тог разлога што се тада најбоље искоришћавају добре особине и једне и друге електроде. Да би се нанео следећи завар мора се претходни завар толико охладити да може да се додирне руком. Тако да не сме да се успостави на основном материјалу електрични лук за наредно заваривање, већ на крају претходног завара [1].



Слика 54 - Комбиновано заваривање сивог лива на хладно

¹⁴ Електрода од чистог никла даје добро везивање и „пузење“ (могућност завара од Ni да прати деформацију ширења и скупљања без појаве прслина), са основним материјалом.

¹⁵ Електродом никл-гвожђе је потребна јачина шава.

5.2. Избор репаратуре кућишта редуктора

Како је већ изнад утврђено, за репаратуру кућишта редуктора, прегледом документације и мерењем тврдоће, реч је о ливеном гвожђу, ознаке SL250. Затезна чврстоћа износи $R_m > 250 \text{ MPa}$, а хемијски састав кућишта редуктора, односно појединих елемената је прописан:

- а) Угљеник (C): 2.80 – 3,30 %,
- б) Силицијум (Si): 1,50 – 3,00 %,
- с) Манган (Mn): 0,20 – 0,60 %,
- д) Сумпор (S): 0,04 – 0,15 %,
- е) Фосфор (P): 0,040 – 0,50 %.

Репаратура оштећеног кућишта редуктора се изводи РЕЛ поступком заваривања на хладно локално предгревање (око 80°C), уз могућу примену електрода других произвођача али истих особина. И то у сарадњи са комбинованим заваривањем додатних материјала за:

- ❖ облагање жлеба додатни материјал од чистог никла - CAST Ni (Словенске железаре, Железарна Јесенице), пречника 2.5, 3.25 и 4.0 mm (табела 7).
- ❖ попуну жлеба додатни материјал од Ni-Fe – CAST Ni-Fe (Словенске железаре, Железарна Јесенице), пречника 3.25 и 4.0 mm (табела 7).
- ❖ обезбеђивање и цевасте електроде за ваздушно електролучно жлебљење пречника (6, 8 или 10 mm). Цена износи од 27 до 47 дин/ком.

Табела 7 - Приказ електрода за заваривање сивог лива и параметара заваривања

Електроде за заваривање сивог лива				Параметри заваривања		
Ознака електроде		Јачина на кидање / Тврдоћа	Врста струје	Електроде	Пречник електроде, mm	Јачина струје I, А
CAST Ni	98% Ni	300 MPa/160 HB	Једносмерна (E-)	CAST Ni	2,5	50 - 80
ISO 1071	E Ni BG 2				3,25	80 - 110
DIN 8573	E Ni BG 1				4,0	110 - 150
AWS A-5.15	E Ni-CI					
CAST NiFe	53 % Ni и 43% Fe	300 MPa/220 HB	Једносмерна (E-)	CAST NiFe	2,5	60 - 80
					3,25	90 - 110
ISO 1071	E Ni BG 2				4,0	130 - 170
DIN 8573	E Ni BG 1					
AWS A-5.15	E Ni-CI				5,0	170 - 200

Намена обложене електроде **CAST Ni** је заваривање ливеног гвожђа и обрадљивост зава је добра. Исто тако се користи за поправку (репаратурно) заваривања преломљених и истрошених делова од сивог лива. Цена електроде износи око 4000 до 4600 дин/кг, док је цена за CAST NiFe нешто нижа.

Намена аустенитне електроде **CAST NiFe** је за хладно заваривање, нодуларног лива, сивог и темпер лива, као и за заваривање тих ливова са челиком. Затезна чврстоћа зава је већа него чисто никлованих електрода. Обрадљивост зава је исто тако добра [1].

За поменуто извођење - електролучно ваздушно жлебљење (енгл. „arc-air“) припрема жлебова се прилагођава величини прслина и расположиви уређај мора да даје напон $U=28\text{ V}$ или више. Тај напон је мало виши од већине расположивих РЕЛ алата. Такође је потребно ручно брушење странице жлеба алатима (четкама од нерђајућег челика, турпијама и остало). Брушење брусним тоцилима се не препоручује зато што остају непожељни трагови као могући концентратори иницијалних грешака.

Код жлебљења су неопходна заштитна средства и све заштитне мере, као и код РЕЛ заваривања (заштитне рукавице, кацига (маска) и остале друге личне заштите). Прати се следећи редослед рада:

- 1) подешава се ваздушни притисак на 5,5 бара,
- 2) бира се јачина струје на основу пречника електроде (на основу упутства произвођача),
- 3) проверава се да ли млаз варница може да изазове пожар или повреду било кога у близини,
- 4) проверава се да је све безбедно и укључује РЕЛ апарат,
- 5) користе се потпуно суве кожане рукавице како би се избегао електрични удар, стави се електрода у држач тако да штрчи око 15 cm. Електрода не сме да дотакне било који метални део зато што може доћи до кратког споја,
- 6) укључује се ваздух за издувавање на глави држача електроде,
- 7) на очи се ставља (спушта) заштитна кацига,
- 8) полако се примиче електрода нагнута под углом од 30°, док додирне плочу на стартној ивици. Чује се оштар, јак звук када се успостави електрични лук,
- 9) на почетку прслине након што се успостави електрични лук електрода се води по линији прслине ка другом крају. Брзина и угао се одржавају константним,
- 10) горионик се подиже када се дође до другог краја прслине и лук се прекида,
- 11) заваривач подиже маску и искључује ваздух за издувавање,
- 12) остатак електроде се вади из држача, да не би случајно дотакла било шта.

Са површине жлеба се након хлађења метала пребруси се трошка (или одломи). На ширини од ± 3 mm мора да буде жлеб по дужини потпуно униформан као и на ширини $\pm 2,5$ mm по ширини и дубини. Накнадна обрада жлеба је потребна у случају да се не постигне тражена толеранција. На слици 55 је дат приказ припреме жлебова за заваривање сивог лива. Извор једносмерне струје се искључиво примењује за попуну жлебова са могућношћу погонске енергије заваривања. Електрода се веже за „минус“ пол, у складу са табелом 7. Уређај за гасно заваривање са неутралним пламеном (или пламеном пропан-бутана) се користи за предгревање и догревање радног комада.



Слика 55 - Примери припреме жлебова за заваривање сивог лива (прилагођавање SL)

5.2.1. Технологија репаратуре

Код технологије репаратуре прво иде предгревање, затим догревање и споро хлађење. За то је потребно да заваривач има помоћника који је обучен да рукује гасним пламеном. Правилно је да је извођење температура за *локално предгревање* приликом заваривања на $T_p = 21 - 315^\circ\text{C}$, где се усваја да је $T_p \approx 80^\circ\text{C}$. Усвојена температура се одржава и контролише све време извођења репаратурног заваривања назначене прслине. Код *локалног загревања* у зависности од положаја пукотине се изводи – симетрично у односу на прслину. По завршетку комплетне репаратуре једне прслине, шав и околину је потребно прекрити азбестним ћебетом како би се што *спорије хладило* или целу зону око шава прекрити топлим песком.

Код попуне жлеба за репаратуру је јако битно придржавати се упутстава:

- ❖ електрода се води вертикално уз што краћи електрични лук (око 4 mm),
- ❖ максимална ширина навара (завара) не сме да прелази двоструки пречник електроде,
- ❖ кратки и танки завари се стављају са најмањом јачином струје (малом „амперажом“),
- ❖ настала трошка се уклони или обије чекићем одмах након заваривања,
- ❖ дужина положеног навара (завара) како не би дошло до прекомерног загревања не сме да буде већа од десетоструког пречника електроде,
- ❖ пажљиво се искуца завар у топлом стању алатом са заобљеном главом (цилиндричним челичним алатом), уз то да не дође до видљивих пластичних деформација,
- ❖ како је заваривање прегревањем интерпас (енгл. *interpass*)¹⁶ температура је око 80°C ,
- ❖ примењује се заваривање повратним кораком како би се смањили заостали напони,
- ❖ стављају се два или више слоја (кад год је то могуће) због боље машинске обрадљивости,
- ❖ увек се успоставља електрични лук у жлебу и на крају нанетог завара, а никако на одливку,
- ❖ од средине се почиње заваривање по дужини жлеба, наизменично и онда лево и десно,

¹⁶ Представља међуслојну температуру односно најнижу температуру до које се охлади претходни слој пре него што се почне са полагањем следећег слоја.

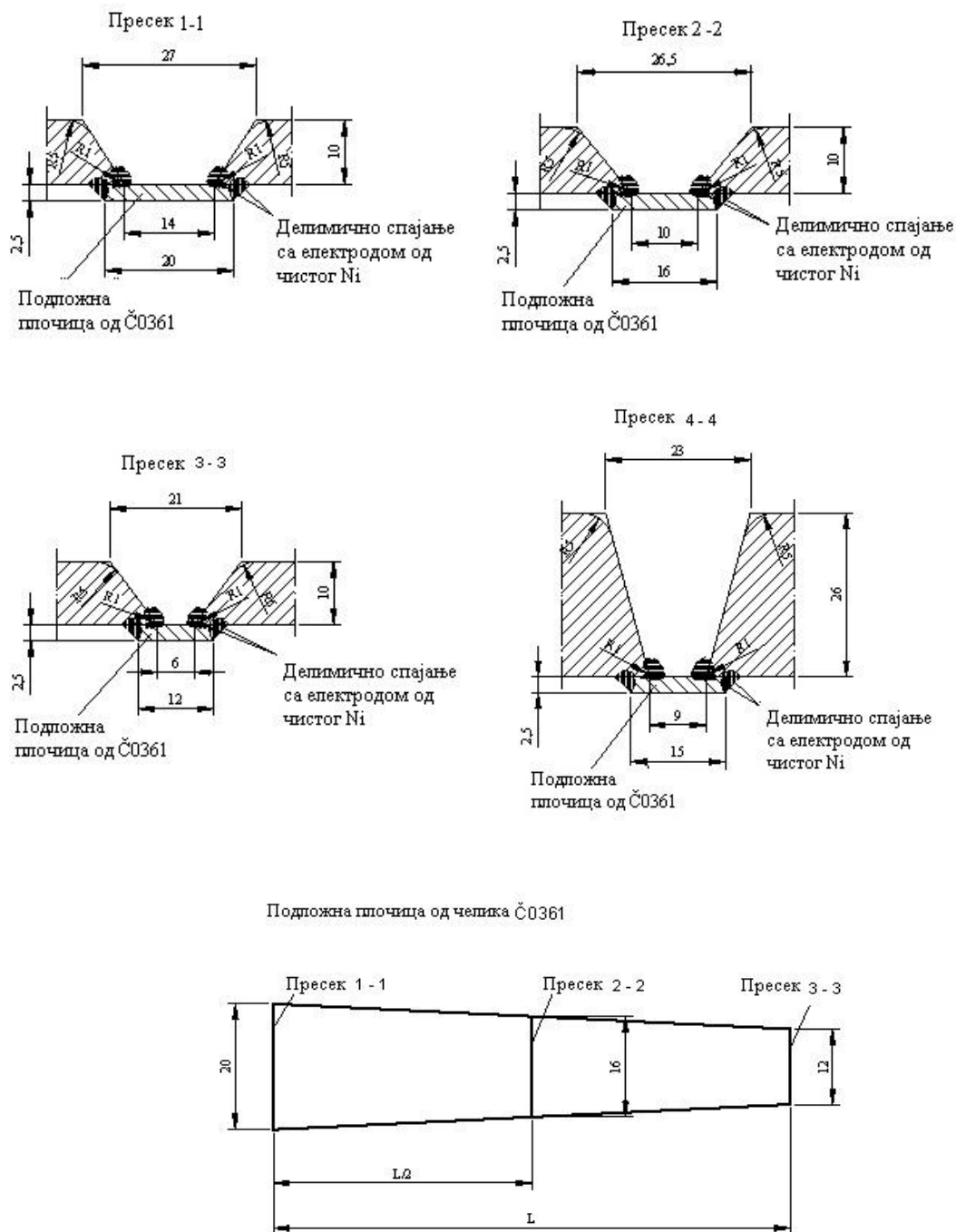
- ❖ заваривање се код отворених пукотина започиње од коренске стране ка лицу жлеба, наизменичним попуњавањем, почевши од подложне плочице па до лица шава,
- ❖ умањује се унутрашњу напон у материјалу који настају увек услед различитих коефицијената линерано термичког ширења сивог лива и додатног материјала. Зато се препоручује облагање свих страница са електродом од чистог никла,
- ❖ електродом Ni-Fe се изводе завари попуне, аналогно заварима од чистог Ni;
- ❖ спољна температура током извођења репаратуре не сме да буде нижа од 10°C,
- ❖ изоловано и ограђено мора бити радно место параванима од незапаљивих материјала.

На слици 56 је дат приказ места оштећења код редуктора. Након попуне жлеба пажљиво се обриси лице шава и зона подложних плочица. Потребна је стална визуелна контрола због откривања евентуалних спољних грешака. [1]



Слика 56 - Изглед оштећења кућишта редуктора од сивог лива

На основу пукотина према пресецима са слике 56 (изнад) је предложено на слици 57 (испод), да се погрешно припремљени жлебови репаратурно заварују.



Слика 57 - Репаратурно заваривање на основу пукотина према пресецима

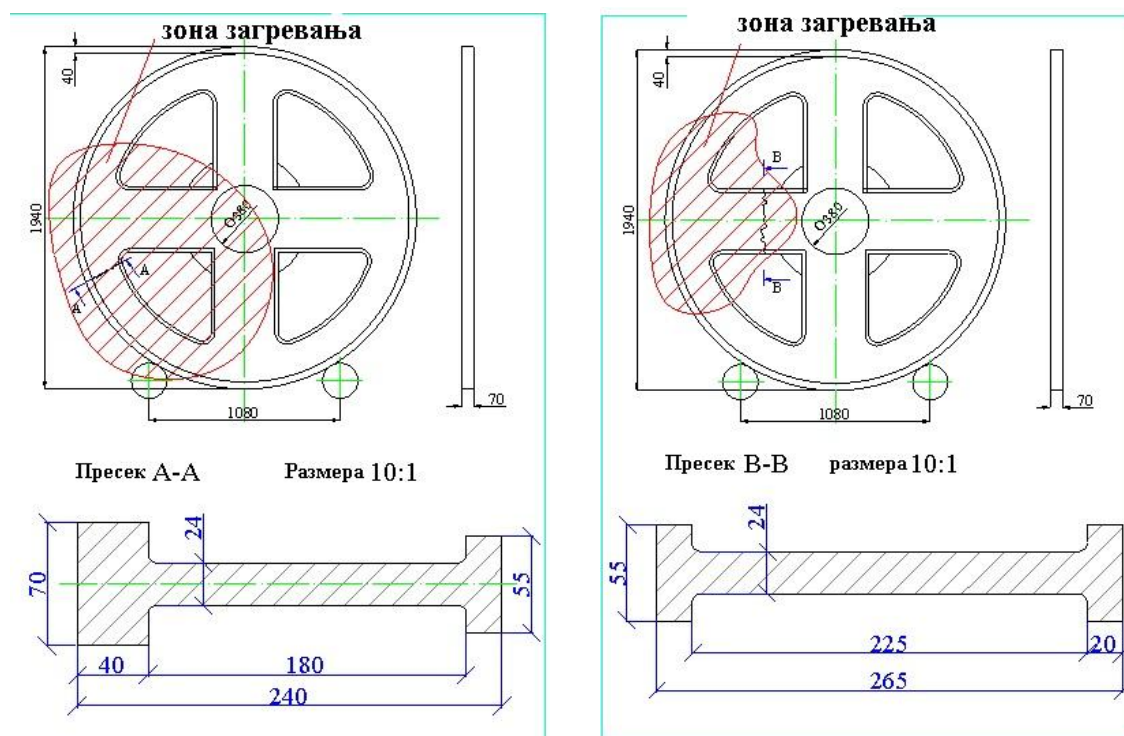
5.3. Избор репаратуре оштећене звезде

Како је већ (изнад утврђено) за репаратуру оштећене звезде, прегледом документације и мерењем тврдоће, реч је о ливеном гвожђу, ознаке SL250. Затезна чврстоћа износи $R_m < 250 \text{ MPa}$, а дебљина $s = 70 \text{ mm}$, за механичка својства, док хемијски састав кућишта редуктора, односно појединих елемената је прописан угљеник (C): 2,80 – 3,30 %; силицијум (Si): 1,50 – 3,00 %; манган (Mn): 0,20 – 0,60 %; сумпор (S): 0,04 – 0,15 %; фосфор (P): 0,040 – 0,50 % [1].

Код оштећења кућишта редуктора репаратура оштећене звезде се изводи РЕЛ поступком заваривања на хладно локално предгревање (100°C), уз могућу примену електрода других произвођача али истих особина (табела 7).

У овом случају усвојена температура за локално предгревање износи: $T_p = 100^{\circ}\text{C}$ и одржава се и контролише све време извођења репаратурног заваривања назначене прслине. Сви остали параметри су исти као и за оштећење кућишта редуктора, док се не дође до пресека прслина на самом зиду звезде (што се наравно разликује у односу на кућиште редуктора).

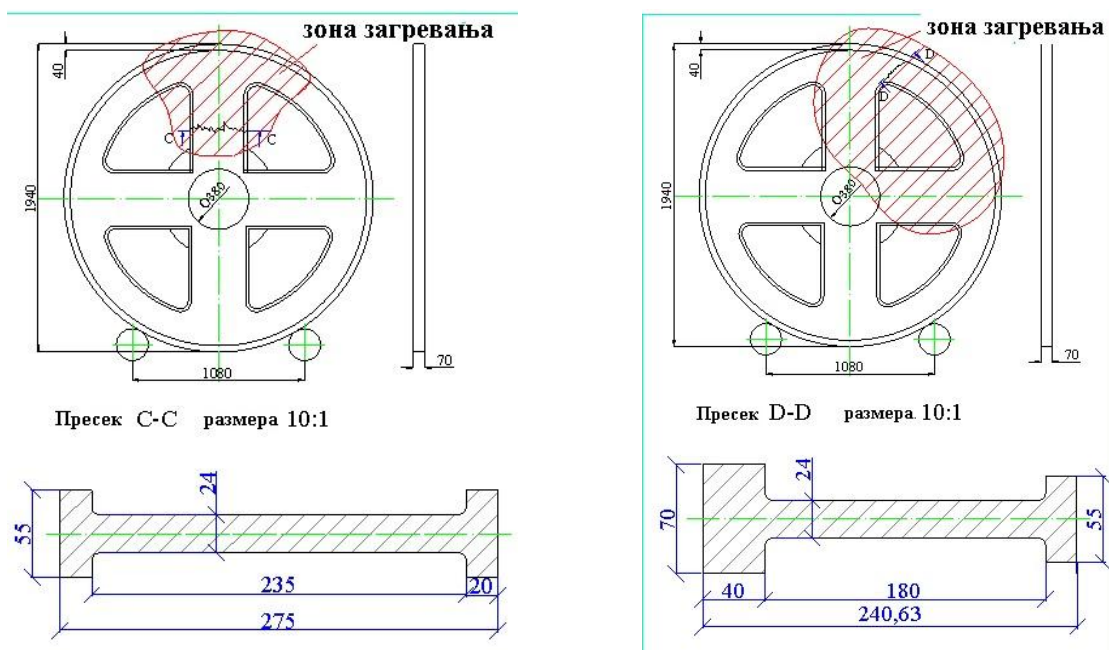
На слици 58 (лево) је дат приказ пресека „А-А“ где је уочена прслина на зиду звезде. Дакле прво се припреми жлеб (уобичајено двоструко „U“), а затим се заобле све оштре ивице. Код прегревања саме зоне загревања, непосредне околине и назначених зона звезде изводи се гасним гориоником уз одржавање и контролисање температуре. Укупна потрошња прслине у пресеку „А-А“ износи: $M_{uk} \approx 4.0 \text{ kg}$.



Слика 58 - Репаратура прслине у пресеку „А-А“ (лево) и „В-В“ (десно)

На слици 58 (десно) је дат приказ пресека „В-В“ где је уочена прслина на паоку звезде. Укупна потрошња прслине у пресеку „В-В“ износи: $M_{uk} \approx 3.5 \text{ kg}$.

Са слике 59 (лево) се види приказ пресека „С-С“, где је уочена прслина на паоку звезде. Укупна потрошња прслине у пресеку „С-С“, износи: $M_{uk} \approx 3.5 \text{ kg}$. На слици 59 (десно) се види приказ пресека „Д-Д“, где је уочена прслина на зиду звезде. Укупна потрошња прслине у пресеку „Д-Д“, износи: $M_{uk} \approx 4.0 \text{ kg}$.



Слика 59 - Репаратура прслине у пресеку "C-C" (лево) и "D-D" (десно)

Са великом пажљивошћу је потребно обрадити лице шав, након попуне жлеба, поготово у зони постављања подвезнице (попечне плочице). Код постављања тих плочица је битно да буду димензије 60x30x5 mm од меког челика Š1220, да се прегреју као и основни материјал до 100°C и да се изведу припојни шавови на средини и крајевима плочице (што краће, око 10 mm). Након тога је потребно постављати попречно плочице у односу на шав, само са једне стране и пребрусити припојне шавове, па тек онда извести комплетно заваривање плочице за основни материјал преклопним једнопролазним заваривањем. Редослед заваривања је потребно да буде од средине ка крајевима и да дужина зава не премаше $l \approx 10 \cdot d_e, mm$. Везивање плоча се обавља тек када се заврши репаратура једне прслине, како би се скратило време репаратуре и смањили трошкови енергије.

Као и код кућишта редуктора, потребна је стална визуелна контрола због уочавања евентуалних спољних грешака [1].

6. Закључак

Репаратурно наваривање се примењује у свим гранама индустрије, због чега је од велике важности за сваки посао. Међутим, своју примену највише налази у гранама индустрије где механичке компоненте, делови и уређаји нису квалитетно одржавани. Из тог разлога постоји потреба за обнављањем, односно репаратуром. Репаратура захтева доста знања из свеобухватне праксе - познавање материјала, поступака заваривања, делова за машине и друге ствари.

Када је у питању прави одабир технологије репаратурног наваривања и самим извођењем поступка долази се до одређених позитивних предности у односу на уградњу нових делова. Дакле, сам избор технологије наваривања је повезан са сложенем процедуром провере квалитета навара. Испитивања приказана у овом дипломском раду показују да се век правилно обновљених наварених делова продужава од два до четири пута од нових делова. Указано је и на то да се репаратурни радови могу изводити само у специјализованим радионицама за регенерацију, које располажу одговарајућом опремом и стручним кадром.

Поред тога наваривањем се остварују велике материјалне уштеде, скраћује се време застоја, повећава продуктивност, као и асортиман и количина неопходних резервних делова. Цена репаратуре је висока, али с обзиром на цену поправљеног комада је исплатива. Уз адекватну технологију је репаратура оштећених делова могућа, али и често сложенија од израде нове конструкције.

На основу свега, закључак је да је репаратурно заваривање озбиљна технологија којој треба приступати јако професионално из разлога што само квалитетно обнављање (поправка) даје резултате успеха, а самим тим и могућност поновне употребе одређеног дела (комада).

7. Литература

- [1] В. Лазић, М. Јовановић: *Технологија ливења и заваривања*, Крагујевац, 2015.
- [2] https://hr.wikipedia.org/wiki/Umor_materijala, преузето са интернет странице 16.09.2016.
- [3] <http://kawatlas.jayamanunggal.com/wp-content/uploads/2015/09/Jenis-Nyala-Pada-Las-Oksi-Asetilin.jpg>, преузето са интернет странице 18.09.2016.
- [4] [http://www.southernrealty.co.za/management-services/training-hospitality-realty/welding-courses-bioler-maker-argon-co2-steelcall-0737703930-988.htm#!prettyPhoto\[gallery\]/1/](http://www.southernrealty.co.za/management-services/training-hospitality-realty/welding-courses-bioler-maker-argon-co2-steelcall-0737703930-988.htm#!prettyPhoto[gallery]/1/), преузето са интернет странице 18.09.2016.
- [5] Б. Тасевски, Б. Момиров: *Репаратура вратила поступком метализације, Заваривање и заварене конструкције*, Београд, 2005.
- [6] <https://www.sfsb.hr/kth/zavar/tii/postupci1.pdf>, преузето са интернет странице 23.09.2016.
- [7] http://rs.usedspareparts.net/sites/default/files/styles/velika-watermark/public/blog_slike/r12001_2.jpg?itok=7XSvZ4u9&slideshow=true&slideshowAuto=true&slideshowSpeed=3000&speed=350&transition=elastic, преузето са интернет странице 22.09.2016.
- [8] <http://elektrode.demo.sij.si/sl/produkti/oplascene-elektrode/specialne-elektrode-za-navarjanje-delov-odpornih-proti-obraabi/>, преузето са интернет странице 21.09.2016.