

Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу

Стефан С. Милошевић

**Управљање квалитетом код
спојева материјала**

Мастер рад

Крагујевац, 2020.



Назив студијског програма:
Ниво студија: Мастер академске студије
Модул: Аутомобилско инжењерство
Предмет: Управљање квалитетом
Број индекса: 386/2016

Стефан С. Милошевић

Управљање квалитетом код спојева материјала

Мастер рад

Комисија за преглед и одбрану:

1. Проф. Др Фатима Живић

2. _____

3. _____

Датум
одбране: _____

Оцена: _____

Задатак рада:

У овом раду потребно је описати основне методе управљања квалитетом производа, са нагласком на завареним спојевима, као и пример формулара за прикупљање података у производном погону. Приказати једну студију случаја са испитивањем. Студија случаја: квалитет финалног споја од алуминијума у зависности од врсте материјала и процесних параметара. Практични рад у лабораторији и фирми.

Препоручена литература:

- [1] Станић Ј., Управљање квалитетом производа, Београд, 1991.
- [2] Brumbaugh J. E., Miller R.: Audel Welding Pocket Reference; Wiley, 2007.

Садржај

1. Увод.....	7
2. Алуминијум као производни материјал.....	8
2.1 Класификација алуминијума и његових легура.....	13
2.1.1 Легуре са силицијумом и магнезијем (6000).....	14
3. Управљање квалитетом производа	16
3.1 Основне карактеристике квалитета	16
3.2 Појам управљања квалитетом	17
3.3 Дефиниција контроле квалитета.....	19
3.4 Обезбеђење квалитета заварених спојева	21
4. Врсте машинских спојева	22
5. Заваривање и заварени спојеви	24
5.1 Структура заварених спојева.....	27
5.2 Технологија заваривања алуминијума и његових легура.....	28
5.2.1 Поступци заваривања алуминијумских легура	29
5.2.2 Додатни материјал.....	32
5.2.3 Захтеви за заварљивост материјала и заварених спојева.....	34
5.2.4 Грешке при заваривању	35
5.2.5 Припрема за заваривање	37
5.3 Безбедност на раду при заваривању	38
5.4 Аутоматизовани процеси заваривања	39
6. Експериментална испитивања заварених спојева	42
6.1 Механичке особине материјала	42
6.2 Испитивања заварених спојева.....	42
6.2.1 Испитивања са разарањем.....	43
6.2.3 Металографска испитивања.....	44
6.2.4 Металографска испитивања заварених спојева	46
7. Закључна разматрања	58
8. Литература	59

Резиме

У овом раду је разматран алуминијум као производни материјал данашњице, затим најзаступљеније технологије спајања материјала, посебно технологија заваривања, нарочито алуминујума и његових легура. Описане су основне карактеристике управљања квалитетом производа. Експериментални рад заснован је једној студији случаја где је вршено испитивање узорака завареног споја, са нагласком на микро-анализи и упоређивању заварених узорака код којих су коришћена два различита додатна материјала.

Кључне речи: заваривање, алуминијум, квалитет, микро-анализа.

Abstract

In this paper, aluminum as a production material of nowadays is considered and described, then the most common technologies of joining materials, especially welding technologies, especially welding of aluminum alloys. The basic characteristics of product quality management are described. The experimental work is based on a case of study where welding samples were tested, with an emphasis on micro-analysis and comparison of welded samples in which two different additional materials were used.

Keywords: welding, aluminum, quality, microscopic-analyse.

1. Увод

Са развојем разних грана индустрије у којима се све више захтева висок квалитет, поузданост и економичност, долази до све веће примене и развоја самих производних система технологија, од којих једна од најзаступљенијих технологија извођења нераздвојивих спојева је технологија заваривања.

Циљ овог рада је разрада технологија спајања машинских склопова са детаљним описом, посебно са нагласком на заваривање и то алуминијумских легура, уз детаљни опис изведених експеримената који се примењују у производним процесима, са потребним лабораторијским испитивањима. Рад се састоји из теоретског и практичног дела.

Први део теоријског рада обухвата историјски развој и особине алуминијума као производног материјала који данас има све већу примену у разним гранама индустрије. Поред тога, описана је класификација алуминијума и његових легура, као и њихово означавање и обележавање. Даље, описане су основе управљања квалитетом производа, као једном од најбитнијих ставки у сваком производном процесу.

У следећем делу рада разрађена је технологија заваривања, посебно технологија заваривања алуминијума и његових легура. Описани су најзаступљенији поступци заваривања, додатни материјали за заваривање, као и грешке које се јављају при самом процесу заваривања. Такође, описан је процес аутоматизације и роботизације технологије заваривања, која се све више примењује у индустрији због својих многобројних предности у односу на ручно заваривање у серијској производњи, где се елиминишу грешке изазване људским фактором.

Последњи део рада представља експериментално испитивање, односно микро-анализа заварених узорака и упоређивање резултата микро структуре заварених узорака где су коришћена два различита додатна материјала.

2. Алуминијум као производни материјал

Алуминијум је метал IIIa групе периодног система, спада у групу лаких метала (специфичне масе $2,7\text{g/cm}^3$) и припада групи материјала ниске чврстоће. Трећи је по распрострањености елемент на планети, који је 1827. године открио и изоловао Фридрих Велер. Челик је у том тренутку човечанству био познат већ читава четири миленијума и представљао је најјачу узданицу металургије, производне индустрије, бродоградње и саобраћаја. Ипак, откриће алуминијума и налажење практичне примене за овај по много чему фасцинантан елемент, унеће бројне промене не само у привреду, већ и у свакодневицу обичних људи, и тако ће бити све до данас. Сам проналазак алуминијума номинално јесте ствар прве половине 19. века, али као што ће се показати у наредних 170 година, његова универзалност је учинила да буде неизоставни, понекад чак кључни састојак многих предмета и материјала без којих не бисмо могли да замислимо живот, обезбедивши му тако бесмртни карактер. Ово се нарочито односи на поље грађевинске индустрије и савремене архитектуре, али и аутомобилске и шинске индустрије, због чега алуминијум без сумње може да носи епитет материјала 21. века.

Алуминијумски системи представљају релативно новију технологију у индустрији а настали су као лагана и ефикасна замена за конструкције које су се раније правиле најчешће од челика и биле су изузетно тешке.

Својство привлачења кисеоника омогућава алуминијуму да сам себе штити од корозије.

Алуминијум као елемент има велики афинитет према кисеонику. У чистом облику брзо почиње да оксидише и бива „пресвучен“ површинским слојем алуминијум-оксида, који штити од корозије, због чега се и користи за заштиту осталих метала. Ова његова особина примењује се и за добијање чистог облика многих других метала из њихових руда процесом алуминотермије, у ком алуминијум, везавши се са кисеоником хемијском реакцијом оксидације, практично истисне тражени метал у елементарном виду. Мала густина (алуминијум спада у лаке метале) и велика отпорност на корозију разлози су зашто је баш на алуминијум пао избор основне индустријске и грађевинске сировине за израду столарије, кровних конструкција, те бројних грађевинских конструкција које је неопходно поставити на одређеној висини тако да буду довољно чврсте и постојане, а да истовремено не представљају сувише велико оптерећење за цео систем и с тим у тесној вези – алуминијумских фасада. Све ово не би било могуће без два важна оперативна процеса кроз које мора да прође сирови алуминијум, како би се од њега за финални производ добили различити архитектонски или индустријски профили.

Генерално, све легуре алуминијума се могу пресовати, али су неке мање погодне од осталих јер захтевају већи притисак, мању брзину пресовања (смањују дневну норму машине), или дају неприхватљиво лошу површину и недовољно формиран облик, као што је на пример састав алуминијум-цинк-магнезијум-бакар. На слици 1.1 приказани су ваљци од алуминијума спремни за даљу прераду и обликовање.

Као што је већ поменуто, својство привлачења кисеоника омогућава алуминијуму да сам себе штити од корозије. Но, како је тај слој алуминијум-оксида дебљине свега 1 микрон и даје естетски незадовољавајућу површину, пресовани профили морају да прођу кроз вештачку оксидацију. Тај процес назива се елоксажа, а назив је акроним

онога што процес заправо и представља – електролитичку оксидацију алуминијума. Елоксирање се обавља у специјално дизајнираним кадама приближних димензија 6m x 1m x 2,5m, напуњеним тачно одређеним хемикалијама и поређаним по утврђеном редоследу, у које се помоћу крана потапају профили. Потапању претходи припрема за елоксирање у виду механичког уклањања слоја оксида жичаним четкама и десетоминутног одмашћивања у детерџенту, на температури од 65°C до 75°C. [1]

Последњих дана, о алуминијуму се навише дискутује на међународној јавној сцени и ускоро би могао постати предмет трговинских ратова међу најразвијенијим економијама света. Алуминијум је метал са највећим економским утицајем у САД, док алуминијумска индустрија доприноси са више од 186 милијарди долара или 1% БДП-а (подаци American Aluminium Association). Према економским аналитичарима, алуминијум је једна од ретких сировина који утиче на сваког човека у Америци а индустрија подржава готово 713.000 радних места.



Слика 1.1: Алуминијумске сировине [1]

Тренутно, алуминијум је други најчешће коришћен метал на свету, који се почиње комерцијално производити 1886. године. У 1900. години, годишња производња алуминијума је износила свега 1000 тона, док 2016. године производња достиже 58 милиона тона.

Шта чини алуминијум тако траженим материјалом?

Чврст, лаган и могућ да се рециклира, алуминијум је материјал који је јединствен да одговори потребама и изазовима 21. века. Алуминијум има различите примене у скоро свакој индустрији и производњи. Однос снаге и тежине чини га нарочито корисним као грађевински материјал који тежи до 65% мање од челика. У исто време, употреба алуминијума има велики потенцијал за повећање ефикасног коришћења енергије. На пример, лагани алуминијум доприноси економичнијој потрошњи горива у возилима – од аутомобила до оклопних тенкова. Заиста, 2009-те године употреба

алуминијума у производњи друмских возила, смањила је за више од 90% емисију свих штетних гасова, у производњи алуминијума у Северној Америци.

Једна од најновијих примена алуминијума су фотонапонски уређаји и микро ветрењаче које се могу интегрисати директно у електричну мрежу зграда. Најсавременији фотонапонски систем може се интегрисати директно у алуминијумску фасаду. Интеграција уређаја за обновљиву енергију у шкољке зграда у густо насељеним градским срединама је решење за постизање статуса нулте енергије.

Будућност одрживе изградње је незамислива без алуминијума. Производи од алуминијума су направљени од легура отпорних на атмосферске утицаје, корозију и штетне ефекте УВ зрачења. Ово омогућава коришћење алуминијума у екстремним условима. Његова способност да рефлектује до 95% сунчеве светлости доприноси хлађењу зелених зграда и повећава енергетску ефикасност.

Јединствене карактеристике и квалитет алуминијума, укључујући и бројне легуре алуминијума изазивају креативност дизајнера, архитеката и инжењера да осмишљавају нове стилизоване, футуристичке и авангардне производе како аутомобилске и свемирске компоненте тако и компоненте зграда са параметричким облицима.

Основне карактеристика алуминијума:

- температура топљења је 660°C , и кристалише по кубној површински централизираној решетки.
- велика електрична и топлотна проводљивост,
- висока корозивна отпорност јер се на његовој површини образује хомогени слој алуминијум оксида који га штити од даљих утицаја,
- отпоран је на многе органске киселине, посебно је отпоран на азотну киселину.

Јединствена комбинација особина поставља алуминијум и његове легуре међу најприлагодљивије материјале у инжењерству и градњи. Све легуре су лагане, ипак неке су чак чвршће од челика. Већина легура је веома издржљива, не појављују се обојене соли које могу нпр. да скину боју са производа са којима дођу у контакт. Алуминијум и његове легуре добро проводе струју и топлоту и имају висок степен рефлектовања светлости.

Алуминијум и већина легура се могу лако обликовати и веома су захални за површинску обраду.

Можда најпознатија карактеристика алуминијума је његова мала тежина са густином од $2,7\text{g/cm}^3$ на 20°C , док је код гвожђа 7.9 g/cm^3 и код бакра 8.9 g/cm^3 . Чист алуминијум може да поднесе напрезање на истезање од око 90 МПа. Због тога је његово коришћење као структурални материјал ограничено. Ипак, обрадом, као што је хладно извлачење, издржљивост се може дуплирати. Веће повећање издржљивости може се постићи комбиновањем алуминијума са једним или више других метала као што су манган, силицијум, бакар, магнезијум или цинк.

Алуминијум има високу отпорност према корозији на површинама изложеним спољним утицајима. Одмах се формира танак слој оксида који спречавају даљу оксидацију. Осим ако је изложен супстанцама или условима који оштећују овај танак слој оксида, метал остаје заштићен од корозије. Веома је отпоран на временске услове,

чак и у индустријској атмосфери која уништава друге метале. Такође је отпоран на многе киселине, али директно излагање алкалоидним супстанцама оштећује заштитни слој оксида, самим тим и алуминијум.

Неке легуре су мање отпорне на корозију, углавном су то легуре са високим коефициентом издржљивост. По чврстим дизајнерским принципима, треба избегавати директан контакт са неким металима у присуству електролита, јер може доћи до галванске корозије на месту контакта.

Алуминијум је један од два метала који имају довољну пропусност струје да би могли да се користе као проводници. Степен пропусности електро-проводника (легура 1350) је око 62% од прописаног Међународног Стандарда Прекаљеног Бакра. Због тога што алуминијум има 1/3 масе бакра, алуминијумски проводник еквивалентне струјне преносивости има дупло мању тежину од бакарног проводника.

Висока термална пропусност алуминијума је примећена при првој комерцијалној примени овог метала у великим размерама – у кулинарске сврхе. Ова особина је важна при преносу термалне енергије са једног медијума на други, било грејање или хлађење. Алуминијум је такође и одличан рефлектор енергије зрачења од ултра-љубичастих преко видљивог спектра до интро-цевених, као и електромагнетних таласа радија и радара.

Алуминијум рефлектује светлост преко 80 одсто, што је довело до његове широке примене у осветљењу и као материјала за изолацију. На пример, грађевине са алуминијумским кровом су лети хладније и зими топлије зато што се велики проценат сунчеве топлоте рефлектује.

Не толико позната особина алуминијума је и то да не варничи и да се не може намагнетисати, што га чини погодним за прављење кућишта за разне електричне или магнетне уређаје.

Алуминијум може да се изради у било ком облику. Може да се излије; може да се извлачи до жељене дебљине (фолије која је тање од папира); алуминијумске плоче могу се ковати, извлачити, савијати у ролне. Скоро да не постоји граница у којим облицима се може истиснути.

Већина алуминијумских легура се може обрађивати машинама брзо и лако, што доприноси ниској цени завршених алуминијумскијх делова. Метал се може обрађивати на стругу, глодалици, бушилици или некој другој машини. Делови се могу спајати на скоро сваки начин – закивањем, заваривањем, лемљењем, итд.

У многим случајевима алуминијум не треба да се додатно заштићује или украшава; сама површина је прихватљива чак и без завршне обраде. Механичке завршне обраде, као што су полирање, чишћење пешчаним млазом или жичаном четком, испуњава разне потребе. Тамо где таква површина није прихватљива, може се приступити било којој од широког асортимана завршне обраде.

Захваљујући свим претходно наведеним особинама, алуминијум има разноврсну примену. Углавном комбинација две или више ових особина долази до изражаја, на пример: мала тежина у комбинацији са његовом снагом обезбедила му је место у авијацији, железници (слика 1.2.) итд.



Слика 1.2: Алуминијумски вагон [3]

Захваљујући високој отпорности на корозију и високој проводности топлоте алуминијум је веома погодан за хемијску и нафтну индустрију, а када се на те особине још дода и не токсичност овог метала јасно је зашто је веома заступљен у прехранбеној индустрији.

Атрактиван изглед заједно са високом отпорношћу на временске услове и лаким одржавањем је одлична комбинација за коришћење алуминијума у грађевинске сврхе [2].

У циљу заокруживања „животног“ циклуса алуминијумских производа врло важну улогу има рециклажа алуминијума, односно алуминијумски отпад. Многи произвођачи алуминијумске столарије у сарадњи са својим купцима, су покренули активности откупа алуминијумских отпада који настају приликом прераде алуминијумских профила у готове производе. Од прикупљеног алумијумског отпада прерадом се добијају алуминијумске легуре у блоку. Прерадом ових легура поново се добијају одговарајући алуминијумски профили, а на овај начин се директно учествује у очувању човекове околине.

Врсте алуминијумског отпада за рециклажу

На првом месту се налазе такозвани „меки“ отпадни профили од производа добијених пластичном деформацијом приликом процеса ваљања, пресовања и извлачења:

- отпад (бојени и небојени) у виду делова од профила и лимова без пластичних примеса,
- отпад (бојени и небојени) у виду делова од профила са термопрекидом,
- отпад у виду жице или ужета и сл.

Следе такозвани „тврди“ отпадни профили од производа добијених ливењем:

- отпад од делова мотора са унутрашњим сагоревањем (очишћени од других примеса и уља),
- отпад од делова возила, машина и конструкција без гвоздених и цинканих елемената,
- отпад у облику комада чија је основа алуминијум или његове легуре и сл..

Израда легура алуминијума прерадом алуминијумског отпада. Прерадом горе наведених врста отпада најчешће се добијају следеће врсте легура:

- алуминијумски блок за дезоксидацију различитог садржаја алуминијума (од 95% па до 99% Al),
- легура AlSi11Cu2(Fe) (ознака EN AC 46100) познатија као L132,
- легура AlSi9Cu3(Fe) (ознака EN AC 46000) познатија као L226 или DIN 226,
- легура AlSi12(b) (ознака EN AC 44100) познатија као L11 или DIN 230,
- легура AlSi12Cu1 (ознака EN AC 47100) познатија као L231 или DIN 231.

2.1 Класификација алуминијума и његових легура

Алуминијум је врло подесан за пластично обликовање (јер има добру истезљивост), али има слаба механичка својства. Са порастом нећистоћа чврстоћа се повећава, али само до одређене границе. Повећање ниске чврстоће алуминијума могуће је :

- Легирањем
- Хладном деформацијом
- Термичком обрадом
- Комбинацијом ових могућности

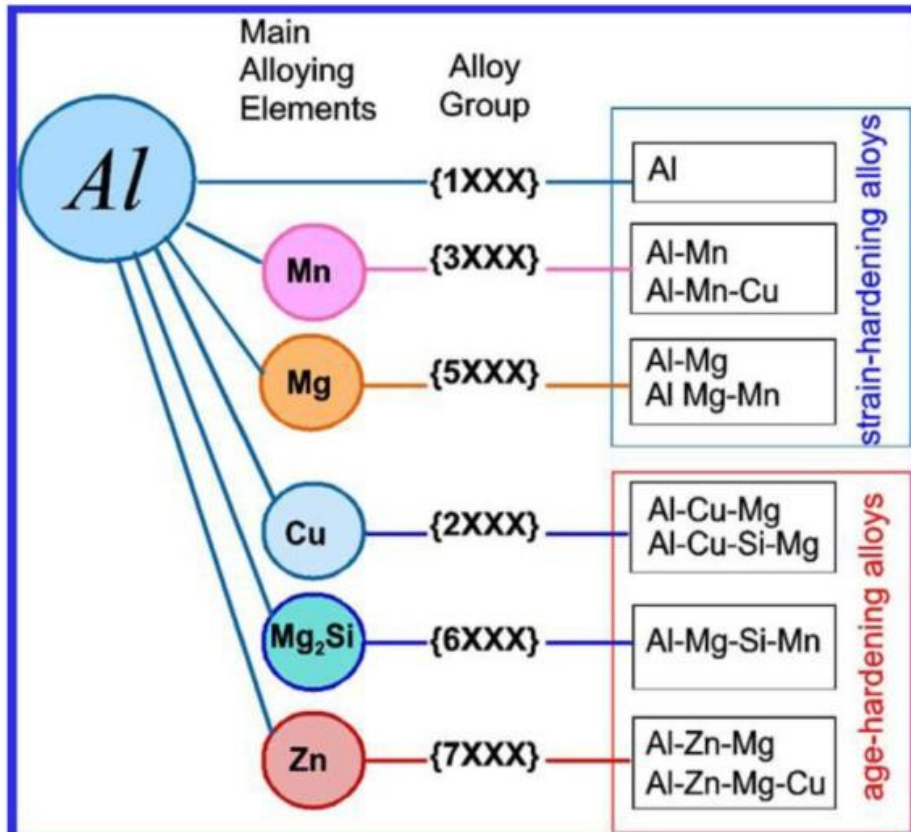
У односу на врсту и степен легираности, као и начина производње, разликују се:

- Легуре за ливење
- Легуре за пластичну прераду (гњечење)

Граница између ових легура није јасно повучена. Неке легуре за гњечење погодне су и за ливење [4].

Алуминијум се легира углавном са једним од 5 главних легирајућих елемената: Cu (бакар), Mn (манган), Si (силицијум), Mg (магнезијум) и Zn (цинк), те је тако и извршена подела истих. Такође се у мањим количинама налазе елементи као што су Fe (железо), Cr (хром), Ti (титан) а у новије време и Sc (скандијум). За посебно легирање додају се легирајући елементи: Ni (никл), Co (кобалт), Ag (сребро), Li (литијум), V (ванадијум), Zr (цирконијум), Sn (калај), Pb (олово), Cd (кадмијум), Bi (бизмут) и у траговима: Be (берилијум), B (бор) и Na (натријум).

На слици 1.3 шематски је приказано означавање алуминијумских легура.



Слика 1.3: Означавање Ал-легура [9]

2.1.1 Легуре са силицијумом и магнезијем (6000)

Премда су у овом раду за екпериментални део коришћене легуре из групе **6xxx**, дат је пример означавања тих двеју легура, а то су:

- EN AW 6005A T6 (или EN AW – AlMgSi 0,7-T6) – легура за гњечење
- EN AW 6082 T6 (или EN AW – AlSiMgMn-T6) – легура за гњечење

Где ознаке имају следећа значења:

- EN – указује да је то европска норма
- A – означава да је у питању алуминијум
- W – означава ковано стање
- 6005/6082 – дефинише припадност групе легуре, односно хемијски састав
- A – варијација претходно наведене легуре
- T6 – врста термичке обраде, у овом случају је то растворно жарење и вештачко старење (повећање механичких карактеристика на повишеној температури током краћег времена него код природног старења које се изводи дуже и на нормалној температури).

Легирајући елементи Si и Mg ове фамилије легура, праве очвршћавајуће интерметално једињење Mg₂Si, које доприноси ојачању. Поседују осредње механичке

вредности. Изванредно се обликују. Добро се заварују и поседују добра антикорозивна својства. Легуре се могу поделити у две групе:

- богатије по садржају Si и Mg уз додатак Mn, Cr, Zr. Имају боља (већа) механичка својства. Употребљавају се у носивим елементима. То су најчешће легуре EN AW 6005, EN AW 6061, EN AW 6082 и EN AW 6351.
- сиромашније у садржају Si и Mg, што им омогућује велике брзине пресовања и одличну обликовљивост уз нешто лошија механичка својства. Ова фамилија има широку примену нпр. За декорације, прозоре, врата, фасаде, заварене делове, цеви, транспортну опрему, каросерије, за вагоне возова и сл. Типичан представник је EN AW 6060 [9].

3. Управљање квалитетом производа

Квалитет производа човековог рада стар је колико и најупрошћенији вид производње. Да би се обезбедило остваривање квалитета људског рада потребни су услови којима се побуђује стицање знања и искуства, тражење тренутних или систематских решења, услови за примену теоријских знања у пракси.

Откада постоје трагови који карактеришу делатност и развој човека, отада се наилази на трагове који који карактеришу однос човека према квалитету сопственог рада. Почетком XVIII века јављају се значајна техничка открића, која су условила настанак индустријске револуције. Та индустријска револуција је изазивала процесе у којима се област квалитета производа претворила у облик специфичних послова у процесу производње, а касније и у пословању индустријских предузећа уопште.

Нови производи и нове производне могућности, као и ширење тржишта индустријских производа, који прелазе границе националних економија, постављају главно питање: како обезбедити квалитет производа који ће потпуно задовољити купца?

Дакле, карактеристике квалитета дефинишу квалитет производа и ако је остварен предвидени квалитет успешно је савршен производни задатак а циљ сваке савремено организоване производње је квалитет производа. Што значи да квалитет производа представља излазну карактеристику процеса производње коју одређују бројне улазне карактеристике у процес производње (захтеви тржишта, производна политика или програм производње, окружење и ограничења предузећа итд.) [5].

3.1 Основне карактеристике квалитета

Преглед основних карактеристика квалитета

Број карактеристика квалитета је врло велик у зависности о каквом је производу реч. У производном машинству квалитет дефинишу следеће карактеристике:

- Класификационе
- Функционалне
- Конструкцијске
- Технолошке
- Економске
- Карактеристике поузданости
- Карактеристике унификације и стандардизације
- Ергономске
- Естетске
- Транспортабилне

- Карактеристике безбедности
- Патентно-правне
- Еколошке
- Остале карактеристике

3.2 Појам управљања квалитетом

Систем управљања квалитетом неког производа обухвата све фазе пословне политике неке производне или услужне организације. Под појмом управљања квалитетом подразумева се утврђивање и спровођење те политике квалитета. Политиком квалитета дефинишу се основни циљеви и целовити програм квалитета. Политику квалитета утврђује највиши орган управљања предузећа. Дакле, управљање квалитетом обухвата планирање, програмирање, распоред ресурса за производњу и друге системске мере.

Управљање квалитетом, поред техничко технолошке, садржи и низ других категорија, као што су друштвена, организациона, правна, комерцијална, економска и др.

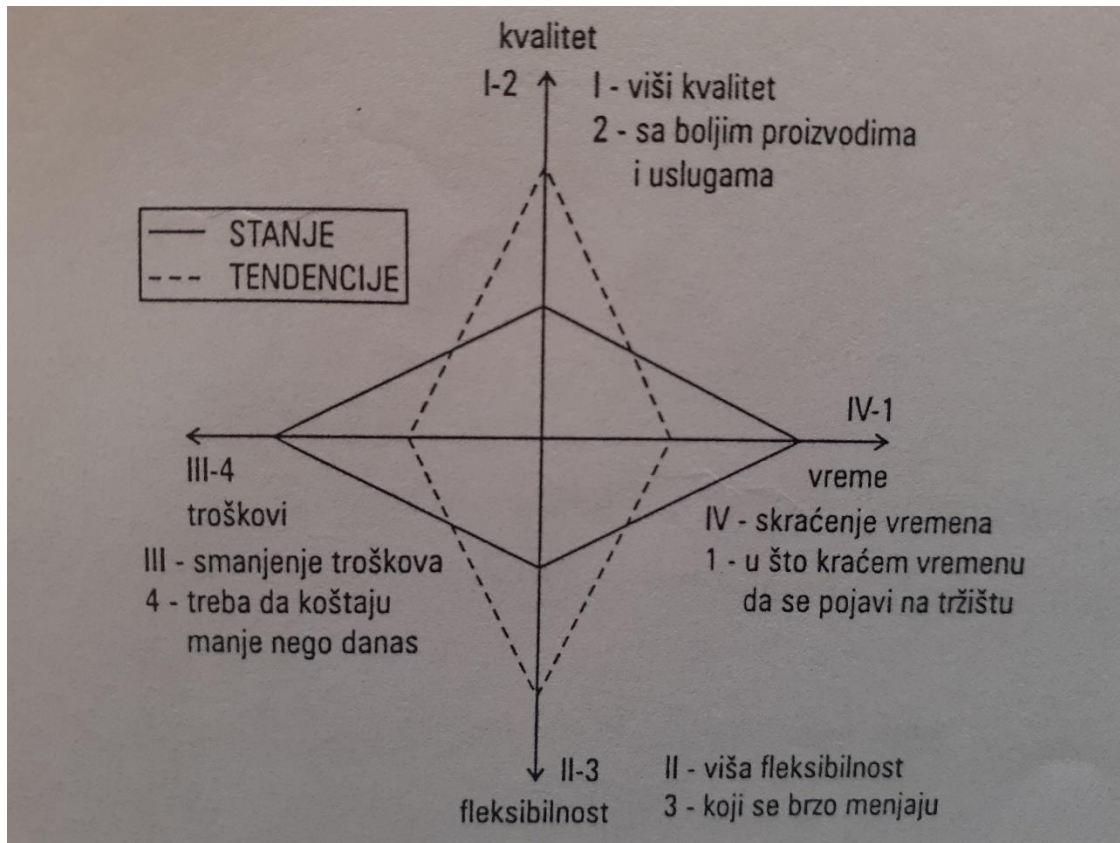
Предмети (обејкти) управљања квалитетом (производа, процеса, услуга) су све активности радне организације (предузећа) па од туда управљање квалитетом није само задатак одговарајућих ужих стручних органа, већ и свих запослених те радне организације.

Управљање квалитетом је комплексна делатност чије се концепције, програми и алгоритми безусловно темеље на савременим научним и техничким дисциплинама и на високим модерним технологијама. На овим ставовима темељи се савремена концепција комплексног тоталног или интегралног управљања квалитетом.

За укључење на међународно тржиште потребни су (слика 3.1):

- максимална флексибиност,
- висок степен квалитета,
- снижења трошкова (тежња остварењу и одржавање трошкова на нивоу неопходног минимума)
- скраћење времена развоја, обликовања и израде производа и/или услуга

У условима раста учесталости промена на релацији систем-околина, потребно је да се у што краћем року појављују на тржишту са конкурентним производима и/или услугама, ефективним изменама и стално у времену, са нижим трошковима.



Слика 3.1: Стање и тендеције на светском тржишту [5]

Промене на тржишту су довеле и до новог приступа квалитету, по коме је квалитет производа и услуга условљен карактеристикама производа, димензијама квалитета, параметрима квалитета, ефикасношћу у производњи и контролом квалитета, а такође обухвата и тржишни приступ.

Репутација производне организације зависи од компетитивних елемената квалитета, поузданости, рока и услова испоруке и цене.

Полазећи од циљева за квалитет који се могу систематизовати кроз:

- остварење пројектованог, потребног и довољног квалитета производа и/или услуга у датом времену и датим условима околине,
- смањење трошкова квалитета у процесима рада,
- смањење стања у отказу процеса рада,
- задовољење корисника производа и услуга,
- смањење рекламација од корисника и
- брже и успешније освајање нових производа.

Из ових циљева, произилазе и задаци целог система а тиме и функције квалитета. Ти се циљеви остварују кроз:

- уградњу квалитета у проузвод у свим процесима сих функција организације у развојној, припремној, процесној и завршној фази.

- сповођење систематских анализа за одржавање потребног нивоа квалитета производа и/или услуга,
- повећање стручног нивоа учесника у процесима рада,
- повећање ефикасног система управљања квалитетом,
- мотивацију за квалитет и
- дугорочно планирање развоја квалитета производа и/или услуга.

Да би се отклониле препреке у међународном промету и сарадњи, указала се потреба да се стандарди из подручја система квалитета усагласе [6].

3.3 Дефиниција контроле квалитета

Са појмом управљања квалитетом везан је и појам контроле квалитета. Постоје различита схватања контроле квалитета која се углавном могу свести на две дефиниције овог појма.

Наиме, прописани ниво квалитета конформности производа обезбеђује се помоћу метода регулисања континуалним регулисањем обрадних, технолошких и производних процеса непосредно на основу резултата директног или индиректног мерења карактеристика квалитета.

Основне функције управљања квалитетом конформности су:

- функција идентификације (мерења),
- функција компарације (упоређења),
- функција одлучивања и
- функција модификације (регулисања, подешавања, примене).

Прве две функције чине, у ужем смислу, функцију контроле квалитета конформности. Према томе, функцијом контроле квалитета или инспекцијом или оценом квалитета одређује се стање квалитета у појединим деловима или на крају дате производне линије. Дакле, контрола квалитета представља основни кључни део управљања квалитетом производње.

Последња функција, тј. функција модификације састоји се у регулисању (на бази идентификације и компарације, односно контроле и одлучивања) међусобног положаја алата и обратка преко вршних и радних органа машине. На овај начин помоћу четири горе поменуте функције обавља се управљање квалитетом конформности, а значи да карактеристике квалитета, преко којих се и изражава квалитет, задржавају увек унутар прописаних граница толеранције.

Друга дефиниција темељи се на савременијем схватању овог појма. Под контролом квалитета не подразумевају се само оне активности помоћу којих се утврђује специфицирани ниво квалитета него и оперативни поступци и активности усмерени на праћење процеса и уклањање узрока незадовољавајућег рада у појединим фазама спирале квалитета приказаним на слици 3.2. То значи да контрола квалитета представља плански циклус активности на основу којег се постиже жељени циљ или стандард. Ова

шира дефиниција контроле квалитета изједначаје појмове контроле управљања квалитетом. То је ново поимање појма контроле квалитета према којем се поистовећује систем контроле квалитета са системом управљања квалитетом у неком предузећу. Контрола квалитета има активно тј. управљачко дејство на квалитет конформности неког производа са разлику од претходног пасивног односа према квалитету. Основу управљања квалитетом представља систем квалитета. Њега карактеришу став о структурној потпуности и став о заланчености подсистема квалитета. Према првом ставу, систем квалитета мора да поседује довољан број структурних компоненти у које спадају:

- организација управљања квалитетом,
- информациони систем за управљање квалитетом,
- методологија управљања квалитетом,
- технологија управљања квалитетом,
- технике за управљање квалитетом,
- способност за реализовање одређеног нивоа квалитета,
- тачно дефинисана одговорност за квалитет у свим фазама и нивоима његовог стварања.



Слика 3.2: Спирала квалитета [5]

Ове компоненте система квалитета, заједно, омогућавају да се изврши специфицирани (тражени) ниво квалитета, односно да се управља квалитетом производа, процеса и/или услуга.

Другим ставом тврди се да се систем квалитета састоји из релативно већег броја подсистема који су везани за поједине пословне фазе стварања квалитетног производа. Подсистеми су међусобно ланчано повезани, па се према овом ставу систем квалитета пројектује за сваку појединачно и за све заједно фазе пословања у нешто детаљнијем

облику, а према националном стандарду, ове фазе приказане су помоћу тзв. спирале квалитета ланца узајамно повезаних фаза пословања предузећа.

3.4 Обезбеђење квалитета заварених спојева

Опште обезбеђење квалитета подразумева следеће ставке:

- сви процеси/активности морају бити дефинисани (прописани);
- организације морају бити доказано компетентне за послове које обављају;
- сви учесници у процесима/активностима морају бити доказано компетентни (сертификовани);
- све што је прописано мора да се проверава.

Стандарди из серије ISO 9000:2000/15 прописују следеће захтеве за систем управљања квалитетом:

- ISO 9000:2015 – дефинише основе система и речник
- ISO 9001:2015 – дефинише захтеве за систем менаџмента квалитетом
- ISO 9004:2009 – додатна упутства за побољшање ефикасности и ефикасности организације
- ISO 19011 – стандард (упутство) за проверавање система менаџмента

Стандард ISO 3834 прописује специфичне захтеве квалитета само за квалитет заварених производа. Обезбеђује проактивно оријентисан процесни приступ у производњи и контроли заварених производа. Стандард којим се прописују захтеви за фабрички систем управљања при производњи заварених конструкција-производа [6].

Стандарди из серије ISO 3834 обухватају:

- ISO 3834:2005 – захтеви квалитета за заваривање металних материјала
- ISO 3834-1:2005 – критеријуми за избор одговарајућег нивоа захтева квалитета
- ISO 3834-2:2005 – општи захтеви квалитета
- ISO 3834-3:2005 – стандардни захтеви квалитета
- ISO 3834-4:2005 – елементарни захтеви квалитета
- ISO 3834-5:2005 – документација која се примењује
- ISO/TR 3834-6:2005 – упутство за имплементацију ISO 3834

Да би се обезбедио потребан ниво квалитета, уколико је у питању ручно заваривање, потребно је да заваривачи имају уверења о стручној оспособљености према SRPS EN ISO 9606-1 (за челик и његове легуре) и SRPS EN ISO 9606-2 (за алуминијум и његове легуре). Поред атеста заваривача, пре израде сваког производа код заваривања, неопходна је квалификација процеса заваривања, према EN ISO 15614-11. Осим наведених ставки, потребно је и да опрема и уређаји за заваривање, као и основни и додатни материјал имају посебне атесте и сертификате.

4. Врсте машинских спојева

Задатак машинских спојева је да машинске делове, подсклопове и склопове повежу међусобно у јединствену целину у циљу обезбеђења одговарајућег односа у склопу, односно машинском систему, преношења оптерећења, кретања, итд. Машински спојеви имају задатак да испуне низ услова, као што су: преношење оптерећења уз обезбеђење одговарајуће чврстоће склопа, међусобну покретљивост или непокретљивост спојених делова, одговарајућу крутост односно еластичност споја, раздвојивост или нераздвојивост, херметичност и др.

Машински спојеви могу бити остварени на више начина и то:

- Физичко хемијским спајањем материјала делова у нераздвојиву целину посредством молекуларних сила (заваривање, лепљење и лемљење).
- Трењем између додирних површина спојених делова, услед чега се у току остваривања везе или у раду мора између њих остварити притисак односно одговарајућа нормална сила (пресовани спојеви, стезни спојеви, итд.).
- Обликом, где спојени делови својим обликом преносе оптерећења и остварују везу (ожлебљени спојеви, спојеви клином без нагиба, зглобне везе, итд.).
- Комбиновани спојеви трењем и обликом (клин са нагибом).

Класификација машинских спојева може се извршити на различите начине, док је класификација технологија спајања у машинству извршена у две групе: раздвојиве и нераздвојиве спојеве. Акценат је стављен на завареним спојевима из групе нераздвојивих спојева који ће детаљније бити разматрани у наредном поглављу.

Раздвојиви спојеви су чврсти или еластични спојеви машинских делова који се по потреби могу раздвојити и поново спојити, без оштећења делова споја. У ову групу спадају навојни, стезни и жлебни спојеви, спојеви клином, чивијама и прстеновима, зглобни и еластични спојеви.

Нераздвојиви спојеви су чврсти, непокретни спојеви машинских делова који се, једном спојени, не могу без разарања раздвојити. У ову групу спадају:

- Заковани спојеви, спојеви два елемента посредством трећег (заковица) и не могу се раздвојити без разарања елемента за везу. Због тога се сврставају у групу нераздвојивих спојева, а често се комбинују са лепљењем.
- Заварени спојеви, спојеви који се остварују посредством топлоте, растапањем и сједињавањем основног материјала са или без додатка материјала (електроде). Постоји низ начина и поступака заваривања и сматра се да је у машинству најзаступљенија технологија спајања. Као енергија за стварање топлоте код заваривања користе се хемијска, електрична, механичка и др. Осим метала могу се заваривати и термопластичне масе.
- Залемљени спојеви, спојеви два метала у чврстом стању истопљеног

додатног материјала лема, чија је температура топљења нижа него код основног материјала. Основна разлика у односу на заваривање је што се при лемљењу не топе ивице основног материјала него се топи само додатни материјал. Спој се остварује, првенствено, узајамном дифузијом између истопљеног лема и основног материјала и у мањој мери адхезијом. Лемљењем се могу спајати скоро све врсте метала. Јефтинији је начин спајања од заваривања, лакше се изводи али је знатно мања јачина споја у односу на заваривање.

- Залепљени спојеви, спојеви остварени посредством лепка. Последњих година се све више примењује спајање лепљењем свих чврстих делова, од којих су један или оба метали, углавном помоћу синтетичког лепка.
- Цилиндрични спојеви са јаким преклопом, спојеви два чврста елемента који су спојени посредством силе и након растављања споја више се не може остварити првобитна чврстоћом споја [7].

5. Заваривање и заварени спојеви

Заваривање је процес израде нераздиојивог споја успостављањем међуатомских веза између делова који се заварују, при коме се појединачно или комбиновано користи топлотна и механичка енергија, а по потреби и додатни материјал. Поступци заваривања, који се најчешће користе у пракси, засновани су на локалном загревању материјала изнад температуре топљења, када заварени спој настаје очвршћавањем (нпр. електролучно заваривање), или на локалном загревању материјала до температуре топљења, када заварени спој настаје уз додатно деловање притиска (нпр. електроотпорно заваривање). Заваривањем је могуће спајање метала са металом, неметала са металом и метала са металом, али се углавном у практичном смислу подразумева спајање метала са металом.

Историјски посматрано, неки поступци заваривања су стари колико и откриће метала, као нпр. ковачко заваривање гвожђа. Међутим, развој савремених поступака заваривања почиње крајем XIX века, а њихова значајна примена средином XX века. Први успешни покушаји електролучног заваривања нетопљивом графитном електродом су били 1881. године у Француској (Демеритон - спајање оловних акумулаторских плоча) и 1882. године у Русији (Бенардос - заваривање челика струјом из акумулатора). Примена Бенардосовог поступка је остала на нивоу ограничене репаратуре и наваривања због два проблема: први, због присуства честица угљеника од делимично истопљене графитне електроде, услед чега се добијао тврд и крт спој, и други, због апсорпције гасова (првенствено кисеоника и азота из ваздуха), што је неповољно утицало на квалитет споја.

Следећи значајан корак направио је руски инжењер Славјанов, који је 1889. године успешно применио топљиву электроду у електричном луку једносмерне струје, добијене посебним генератором. Тиме је отклоњен први од наведених проблема, што је омогућило квалитетније спајање два метална предмета. Други проблем је решио шведски инжењер Кјелберг 1907. године увођењем обложене електроде, што је омогућило да средином двадесетих година ручно електролучно заваривање постане основни поступак заваривања. С друге стране, у циљу заштите од околне атмосфере и постизања стабилнијег лука, тридесетих година у САД и СССР су развијени поступци електролучног заваривања топљивом електродном жицом под прашком, чиме је значајно повећана и производност. Поступци електролучног заваривања у заштити инертних гасова су 1941. године (нетопљива волфрамова електрода) и 1948. године (топљива електродна жица) уведени у САД, док је активни гас (угљен-диоксид) први пут примењен 1953. године у СССР.

Сучеоно електроотпорно заваривање је први пут применио Томсон у САД 1886. године, док је тачкасто заваривање освојено 1905. године, а шавно 1922. године.

Гасно заваривање је познато још од 1894. године, а његова шира примена почиње 1902. године, када је пронађен јефтин поступак добијања кисеоника из ваздуха, док је ацетилен добијен још 1892. године у Канади. Нешто касније, 1911. године, у САД је ацетиленски пламен коришћен за резање челика.

Специјални поступци заваривања су уведени у праксу углавном после II Светског рата, у складу са технолошким развојем и потребама њихове примене. Тако се заваривање плазмом користи од 1955. године, трењем од 1956. године, електронским

снопом од 1957. године, дифузно заваривање од 1959. године, заваривање ласером и експлозијом од 1960. године. Осим конвенционалних (електролучно, електроотпорно и гасно) и специјалних поступака заваривања, и већ поменутих поступака сродних заваривању (резање, лемљење и лепљење), треба поменути и наваривање, као процес идентичан заваривању, који се не користи за спајање материјала, већ за наношење површинског слоја. Исту сврху има и метализација, с тим да је код ње процес наношење површинског слоја нешто другачији. Коначно, жлебљење као процес уклањања дела материјала са површине такође спада у поступке сродне заваривању.

Заваривањем се у подручју завареног споја сједињавају материјали спајаних машинских елемената у мање или више хемијски и структурно хомогену целину. При спајању заваривањем загревају се делови елемената у подручју споја те формира заједнички флуид (растопљена метална купка) након чијег хлађења и скрућивања елементи остају трајно спојени [8].

Основна својства завареног споја:

- нерастављив (не могу се раставити без разарања завара и/или делова елемената),
- непомичан (спојени елементи не могу се узајамно помицати),
- непосредан (спојени су материјали од којих су израђени елементи),
- технолошко топлотни (уз довођење/одвођење топлоте одвија се процес топљења/очвршћавања) и
- механички у случају заваривања силом притиска.

Заварени су спојеви погодни за:

- пренос механичких оптерећења (силе и моменти – заварене конструкције),
- извођење непропусних спојева (енергетика, процесна техника, цевоводи),
- спајање елемената који се излажу вишим и високим погонским температурама (енергетика, процесна техника),
- јефтину израду вишеделних система (заварене конструкције),
- испуњавање услова лаког одржавања.

У начелу, постоје основни начини спајања елемената приликом заваривања, и то:

- довођењем топлоте (заваривање топљењем),
- обављањем механичког рада (заваривање притиском) и
- комбинација довођења топлоте и обављањем механичког рада.

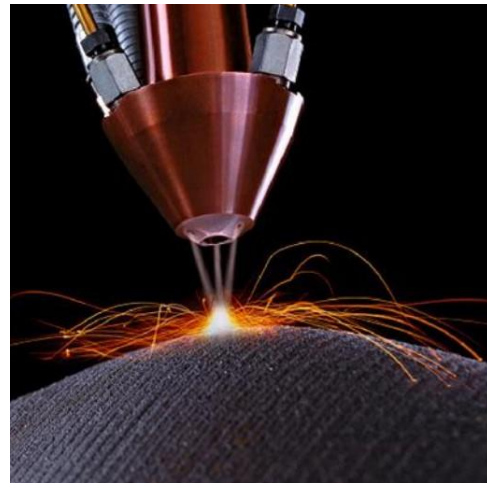
Међутим, мање или веће грешке при заваривању су честе те у раду са завареним спојевима стално треба имати на уму да сваки заварени спој може бити најслабије место склопа или целине ("Ланац је јак колико му је јака најслабија карика"), а откази неких заварених спојева могу довести до катастрофалних последица. Ретки су иоле сложенији савремени машински производи без заварених спојева. Данас су заварени спојеви најчешће коришћени нерастављиви спојеви оптерећених (механички, топлотни)

машинских елемената, у појединачној и малосеријској производњи. Користе се у машинству (индустрије стројева, возила, бродова и ваздухоплова, те термоенергетика и процесна техника), у изведби грађевинских објеката (мостови, зграде, комунална инфраструктура) те постројења хемијске, нафтне и петрохемијске индустрије. Заварени спојеви су посебно погодни за санацију пукотина и ломова машинских елемената насталих током експлоатације.

Данас се без већих проблема постижу механичка својства завара различитих материјала једнака механичким својствима основног материјала, а примена заварених спојева се и на даље шири. На сл.5а је приказан рад групе специјализованих робота за заваривање у масовној производњи аутомобилске индустрије, а на сл.5б рад главе ласера у прецизној индустрији.



Слика 5а: Роботи за заваривање [8]



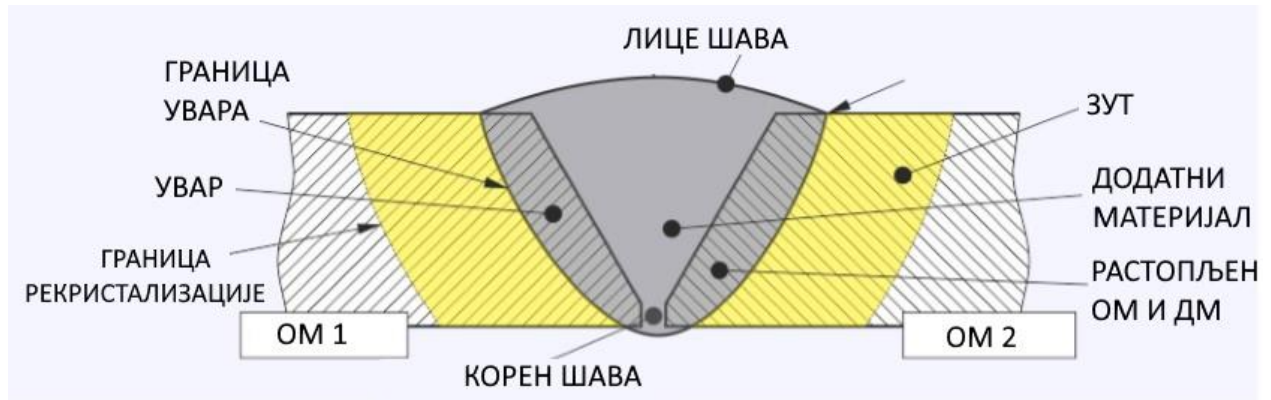
Слика 5б: Глава ласера за заваривање [8]

Европска норма која важи за завривање металних материјала у производњи и одржавању железничких возила и њихових делова је EN 15085. Група европских норми EN 15085 „Железничке примене – Заваривање железничких возила и делова железничких возила“ се састоји од следећи делова:

- Део 1: Опште
- Део 2: Захтеви који се тичу квалитета и сертификација заваривачких погона
- Део 3: Задаци конструкције
- Део 4: Захтеви који се тичу производње
- Део 5: Испитивање и документације

5.1 Структура заварених спојева

Заварени спој (слика 5.1.1) обухвата сам завар (шав) и делове спајаних елемената (укључиво ЗУТ – зона утицаја топлоте) који се налазе непосредно уз завар.



Слика 5.1.1: Елементи завареног споја [8]

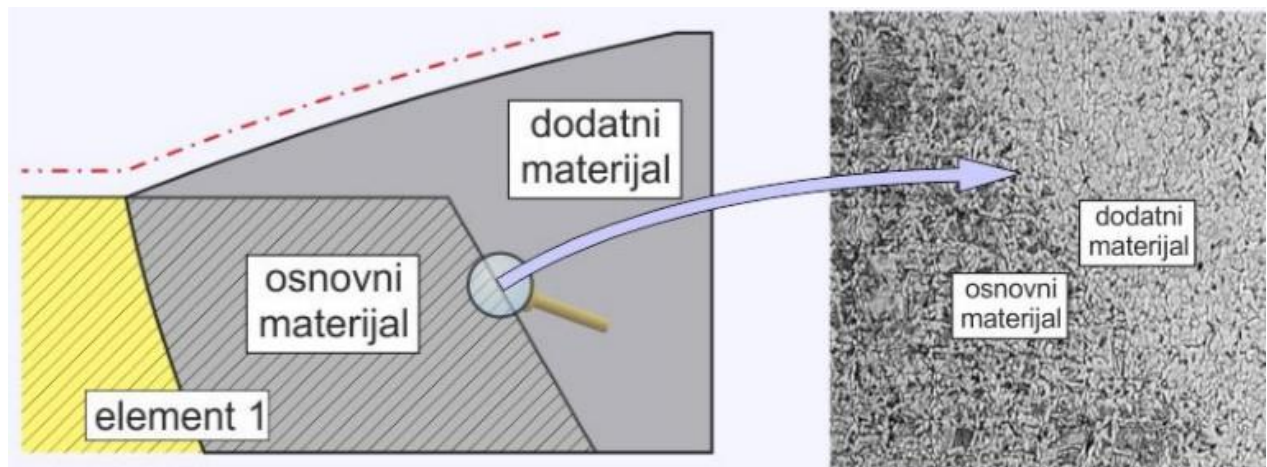
Основни материјал (ОМ) – материјал од кога је израђен елемент.

Додатни материјал (ДМ) – материјал који се додаје током процеса заваривања.

Увар – подручје завариваног елемента обухваћено топљењем.

Маса завара једнака је зброју маса увара и додатног материјала.

ЗУТ – зона утицаја топлоте у којој се током заваривања одвијају фазне промене. Завари имају мање или више хомогену грађу – процесом заваривања сједињују се материјали спајних елемената (Слика 5.1.2).



Слика 5.1.2: Приказ спојених делова додатног и основног материјала [8]

5.2 Технологија заваривања алуминијума и његових легура

Са повећањем употребе алуминијума у индустрији, повећава се и опсег производних технологија неопходних за израду конструкција од овог материјала. Самим тим, заваривање алуминијума и његових легура у последње време има све већу примену, поготово у тешкој индустрији, попут железнице и бродоградње.

Заварљивост алуминијума и његових легура различитим поступцима одређена је стањем развоја и технике процеса и материјала, који се и надаље унапређују. Од посебног значаја за заваривање алуминијума су неке од физичких особина које чине разлике у условима заваривања у поређењу са челиком:

- Висока топлотна проводљивост, која за Ал износи $2,3 \text{ W/cm K}$, а код различитих Ал легура достиже до $1,60 \text{ W/cm K}$. Мада је температура топљења од $660 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ниска, због високе топлотне проводљивости за заваривање је потребна велика количина топлоте.
- Зависно од легуре, шири је интервал топљења.
- Велико топлотно ширење, двоструко веће од железа. Коефицијент линеарног издужења чистог алуминијума износи $24 \cdot 10^{-6} \text{ 1/K}$, што се одражава већим напонима при скупљању. Зато се за спречавање јаког витоперења при заваривању морају да предузму одређене специјалне мере.
- Има велики афинитет према кисеонику што доводи до стварања оксидног слоја или пак укључака. Присутан површински оксидни слој - Al_2O_3 , високе тачке топљења, мора се код заваривања уклонити и спречити његово поновно настајање.
- Има велику растворљивост водоника у течној фази, која се током очвршћавања брзо смањује.

Као резултат термичког циклуса при процесу заваривања, заварен спој карактеришу међусобно металуршки различита подручја:

- Подручје метала шава (МШ), настало очвршћавањем заваривачке купке и делимично претопљеног основног материјала, чије особине зависе од легуре додатног материјала, легура насталих мешањем додатног и основног материјала, и начина њихове кристализације (очвршћавања).
- Подручје утицаја топлоте при заваривању на основни материјала (ЗУТ), чија ширина зависи од количине унете топлоте, а особине од утицаја топлоте на промене структурног стања, а тиме механичких особина, посебно чврстоће основног материјала.

Са становишта топљења, у зони претапања могуће је смањење садржаја легирајућих елемената ниске тачке топљења. Мера за спречавање је примена додатног материјала повећане легираности са оним елементима који одгоревају (испарavaju).

Са становишта очвршћавања, могућ је настанак кристализационих прслина, а у подручју делимичног претапања настанак ликвацијских прслина. У зони утицаја топлоте услед заваривања (ЗУТ) унета топлота током заваривања доводи до растварајућег жарења, рекристализације или опорављања или старења, зависно од материјала и растојања од зоне стапања, као и од количине унете топлоте. Код већине легура последице су снижење чврстоће основног материјала [4].

Повећање заварљивости, и тиме обезбеђење захтеваних особина завареног споја се постиже одговарајућим технолошким решењима заваривања:

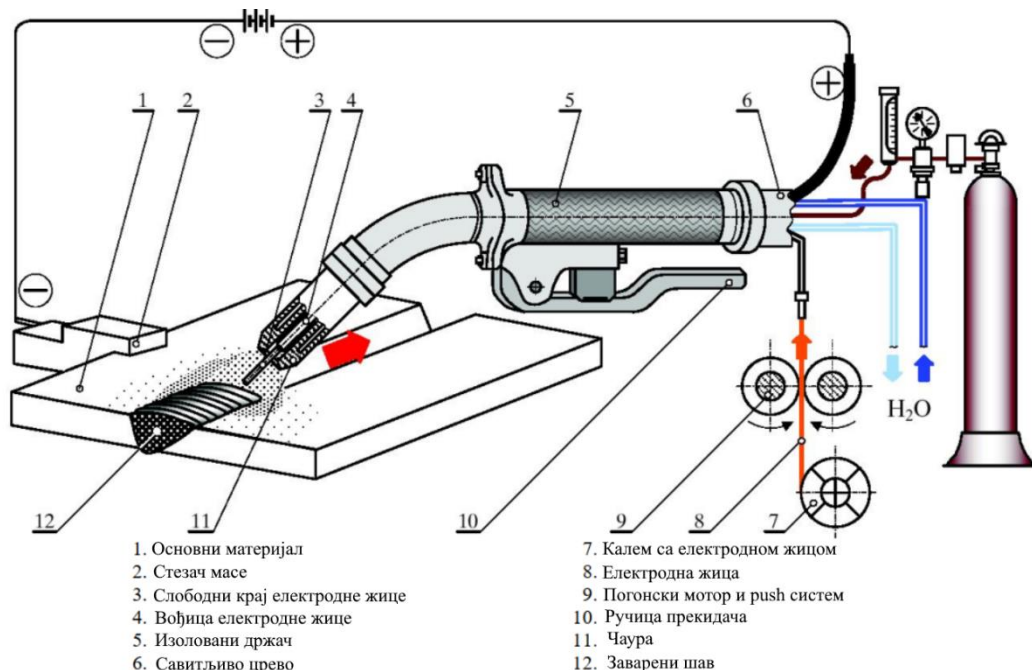
- избором додатног материјала,
- припремом жлеба споја,
- применом предгревања и
- избором заштитног гаса.

5.2.1 Поступци заваривања алуминијумских легура

Алумијум и његове легуре у принципу се могу заваривати свим уобичајеним поступцима заваривања топљењем. Способност заваривања за различите поступке битно зависи од садржаја легирајућих елемената. Она је одређена мером утицајних фактора и склоношћу ка настајању грешака у подручју завареног споја.

Од поступака топљењем најчешће се користи ТИГ и МИГ. За одређене захтеве заваривања користи се електронски сноп и заваривање ласером. Од поступака заваривања притиском најчешће је заступљено електроотпорно заваривање. Релативно често се среће и заваривање хладним притиском, трењем, ултразвучно и дифузионо заваривање.

МИГ поступак заваривања: Електролучно заваривање топљивом електродном жицом у заштитној атмосфери инертног гаса (МИГ) је поступак заваривања топљењем, где се електрични лук успоставља и одржава између топљиве жице и радног комада који се заварује. Најчешћи је коришћен поступак заваривања алуминијума и његових легура.



Слика 5.2.1: Принципијална шема рада МИГ заваривања [10]

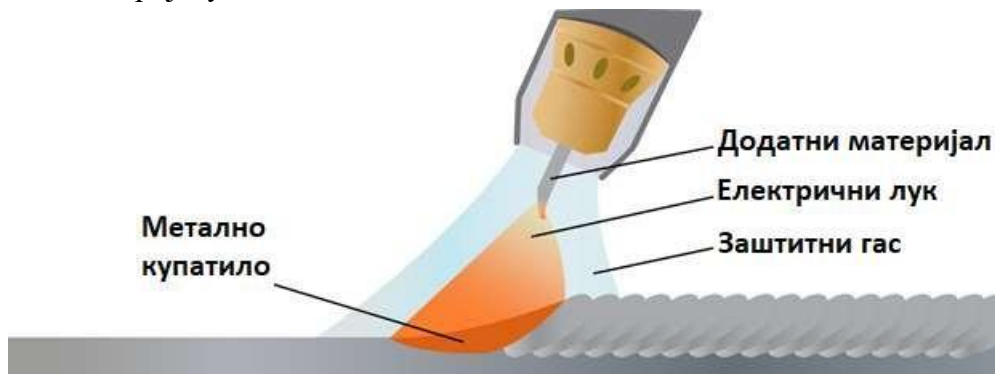
Због утицаја топлоте електричног лука, топи се жица (која се доводи константном брзином) и ОМ на месту заваривања, чиме се остварује заварени спој. Код заваривања

Ал процес се обавља у заштитној атмосфери коју омогућује инертни гас аргон (Ar) или мешавина аргона и хелијума (Ar/He).

МИГ заваривање алуминијума је успешан поступак, а нарочито данас када електроника преузима контролу над електричним луком и појавом пулсног заваривања и његових варијација (пулс - у једном моменту је струја јако велика, рецимо 300 А, у другом свега 80 А а просечна је рецимо 180 А. Разливање је као да се ради нормалним спреј режимом са 250 А, што ће рећи, унос топлоте је мали, могуће је заваривање у вертикалном положају, разливање и пенетрација су одлични, укупан негативни утицај уноса топлоте и зона утицаја топлоте је мања самим тим и већа чврстоћа споја, итд.

Код МИГ/МАГ поступака заваривања, постоје четири главна типа преноса метала (кратким спојем, спрејом, пулсом, крупно-капљичасто). Заваривање алуминијума се не може радити кратким спојем јер је унета топлота, тј. лук који се пали и гаси је хладан и не може довољно истопити ни основни материјал нити утопити капљицу са жице, нити се оксид може очистити, већ се ради у спреју и пулсу. Спреј се користи за дебљине веће од 3 mm, а данашњи пулсни апарати већ могу радити и дебљине од 1 mm.

Захтеви за заваривање алуминијума у спреју су: МИГ/МАГ апарат од барем 200 А (пожељно барем 300 А), са фином или континуалном регулацијом напона, 4 точкића за гурање алуминијумске жице са „У“ жљебовима на сваком од њих, тефлонски бужир у поликаблу, дизна за алуминујум, гас (Ar) или мешавина аргона и хелијума (Ar/He). и наравно жица за заваривање алуминијума. Најбоље се у спреју ради са жицама 1.2 mm мада је могуће добре резултате добити и жицом пречника 1.0 mm. Спреј је струја малих капљица, мањих од пречника жице, које теку од жице ка растопљеном металу на основном материјалу. [4]



Слика 5.2.2: МИГ поступак заваривања [4]

МИГ поступком заваривање се изводи електродном жицом на позитивном полу извора што омогућава интензивно топлеење ДМ и дубоко уваривање. Јачина струје се подешава према врсти и дебљини ОМ, те облику жљеба. Дужина лука треба се одржавати 4-6 mm. Заштитни гас мора бити чист и без примеса водоника (водоник мора бити мање од 0,4%), а осим тога не сме бити влажан. МИГ варијанта заваривања се користи углавном за дебљине преко 3 mm. При заваривању алуминијума и његових легура дебљина испод 3 mm електрични лук није стабилан, нарочито при преносу у млазу на мањим вредностима јачине струје. Потребно је да јони аргона разбију оксид (код МИГ-а жица је увек на + полу, тако је на свим апаратима по дефиницији). Ако је могуће, усмеривач гаса (шоба) требало би да буде цилиндричан а не конусни ради боље заштите на месту заваривања. Удаљеност врха усмеривача гаса од места заваривања је

нешто већи из разлога што алуминијум брзо догорева па на тај начин спречавамо да се жица залепи за контактну дизну.

За заваривање се користи чист Аг (99,99%) или мешавина Аг/Не (Не може бити од 20-90%). Принципијелно до дебљине ≤ 8 mm треба користити Аг, а за веће дебљине (>8 mm) треба користити мешавину Аг/Не или ARCAL 33N. Жица треба имати исту тачку топљења као ОМ, а дебљина жице ($\varnothing 1,2$ или $\varnothing 1,6$) mm због лакшег допремања. Заваривање жицом пречника мањег од 1,2 mm је отежано због недовољне чврстоће Ал. Због веће топлотне проводљивости него код челика, потребно је унети више топлоте при заваривању (без обзира што је тачка топљења Ал нижа). За исте дебљине ОМ и исте пречнике жице, струја заваивања за Ал мора бити већа за око 50-60 А у односу на челик. Ово је разлог зашто је је интезитет електричног лука већи при завривању Ал. Како је струја заваривања директно пропорционална брзини дотура жице, мора ова да буде већа при заваривању Ал. Услед тога је капацитет депоновања метала шава (топљења) већи (већа количина истопљеног метала шава у јединици времена). Захтеви занатске вештине и физичко оптерећење заваривача су због тога сигурно већи при заваривању Ал него при истоврсном заваривању челика.

Све вођице у систему су тефлонске, полиамидне или графитне да би се смањило трење жице, односно да би се избегло да класични спирални челични бужир оштети жицу. За вођење жице се користи тефлонска вођица и дизна за, због мањег трења жице.

Раширеност овог поступка је остварена захваљујући његовој прилагодљивости разним производним условима, доприносу у остварењу високог квалитета заваривања скоро свих металних материјала, релативно ниској цени коштања и ниским трошковима експлоатације. Основне његове предности су:

- могућност заваривања скоро свих металних материјала и скоро свих дебљина,
- висок степен искоришћења додатног материјала електроде, обично 93÷98%,
- у поређењу са другим електролучним поступцима, већа продуктивност по сваком параметру поређења, веће искоришћење времена рада заваривача,
- висока економичност; при истоветним условима припреме материјала постижу се већи депозити, нижа цена коштања, односно нижи производни трошкови,
- погодан за појединачну и масовну производњу, као и за репаратурна заваривања,
- заваривање у свим просторним положајима,
- низак топлотни инпут у односу на друге електричне поступке,
- минимално распрскавање и отсуство шљаке омогућује добијање чистих и одмах завршених шавова,
- најниже присуство водоника, генерално мање од 5 ml/100 g депозита,
- од прихватљивог до изванредног визуелног изгледа шава,
- једноставност поступка не захтева се дуготрајна обука заваривача,
- побољшани услови рада заваривача,
- добијају се шавови високих механичких особина; примена за

најодговорније конструкције,

- лака адаптација роботизованим, високо и средње аутоматизованим производним процесима,
- мања количина димова у односу на РЕЛ/Е или МИГ/МАГ са прашком пуњеном жицом.

Мане МИГ поступка:

- Код полуаутоматског заваривања остварени квалитет зависи од вештине заваривача,
- квалитет завареног споја је нижи у односу на квалитет ТИГ заварених спојева (како са естетског изгледа тако и са становишта грешака и механичких особина завареног споја),
- отежан приступ месту заваривања због млазнице којом се заклања електрични лук и течно купатило,
- код самозакаљивих челика повећавају се могућности стварања хладних прслина између тога и зато што нема треске која би успорила хлађење,
- дуготрајни рад може да погорша здравље заваривача (реума, оштећења дисајног система, вид...),
- поступак је осетљив на струјања ваздуха при заваривању у отвореном простору и у затвореном где је присутна повећана промаја долази до одувавања заштитног гаса и до погоршања његове заштитне функције,
- снажан и отворен електрични лук емитује интензивно светлосно зрачење уз стварање велике количине гасова због чега мора да се примењује добра заштита како заваривача тако и околине, као и добра вентилација радног простора.

Према степену аутоматизованости МИГ поступци могу да буду:

- полуаутоматски аутоматско довођење електродне жице у зону електричног лука,
- потпуно механизован примењени механички системи за раванско или просторно вођење пиштоља, односно електричног лука и/или радног предмета,
- аутоматски поред претходног, примењен је систем аутоматског вођења процеса (регулисање параметара процеса), и свих осталих система процеса на бази примене рачунара,
- роботизовани када је поступак вођен помоћу рачунара уз примену робота.

5.2.2 Додатни материјал

Правилан одабир додатног материјала за заваривање је од великог значаја за квалитетно извођење завара. Основна методологија приликом одабира додатног материјала код алуминијума заснива се према саставу основног материјала као и његове

дебљине, и поступка којим ће се изводити.

Опште упутство за избор додатног материјала је да то буде материјал истог квалитета као и основни материјал. Чврстоћа завареног споја у критичном подручју може да се побољша избором додатног материјала више чврстоће од основног материјала, да би се добио метал шава и ЗУТ унаколико различите чврстоће у поређењу са основним материјалом. Међутим хемијски састав основног и додатног материјала мора бити сличан да би се очувала отпорност на корозију и избегла појава прелина у металу шава и ЗУТ-у. Осетљивост на прелине и чврстоћа су обично у супротности једна са другом. У принципу, све електродне жице које постоје за ТИГ, постоје и у МИГ верзији. Потребно је водити рачуна на чињеницу да жице AlSi боље проводе струју од жица AlMg (зато на пулсним апаратима увек постоји посебан програм за AlSi жице и посебан за AlMg жице).

За МИГ поступак заваривања, у заштитном гасу према стандарду EN ISO 14175, материјал се бира према основном материјалу, углавном из каталога произвођача где се могу наћи и препоруке који додатни материјал одговара одређеном основном материјалу. Додатни материјал за заваривање алуминијума и његових легура дефинише стандард EN ISO 18273. Додатни материјал се може сврстати у четири групе (ISO/TR 17671-4) приказане у табели 1.1.

Табела 1.1: Систем груписања додатног материјала

Тип	Ознака легуре	Хемијска ознака	Напомене
Тип 1	R-1450 R-1080A	Al 99,5Ti Al 99,8	Ti смањује подложност прелинама у металу шава ојачавањем зрна
Тип 3	R-3103	Al Mn1	
Тип 4	R-4043A R-4046 R-4047A R-4018	Al Si5 Al Si10Mg Al Si12(A) Al Si 7 Mg	Легуре овог типа оксидирају при атмосферском утицају и тако дају тамно сиву боју, чији се интензитет повећава са повећањем садржаја Si. Према томе, овај тип легуре неће имати поклапање боје са основним материјалом добијеним ковањем. Ове легуре се посебно користе у циљу спречавања солидификацијских прелина у спојевима укључујући велико разређивање.
Тип 5	R-5249 R-5754 R-5556A R-5183 R-5087 R-5356	Al Mg2Mn0,8Zr Al Mg3 Al Mg5,2Mn Al Mg4,5Mn0,7(A) Al Mg4,5MnZr Al Mg5Cr(A)	Уколико се захтева висока корозиона отпорност и добро поклапање боје са ОМ, онда садржај Mg треба бити усклађен са садржајем у основном материјалу. Уколико се захтева висока чврстоћа и непропусност метала шава, онда треба користити ДМ са 4,5-5% Mg.

			Легуре са Сг и Зг смањују подложност прслинама ојачавањем зрна. Зг смањује ризик од појаве топлих прслина
--	--	--	---

5.2.3 Захтеви за заварљивост материјала и заварених спојева

Основни захтев за алуминијумски материјал за заваривање је да не сме имати склоност ка настајању прслина. Општи захтеви за заварени спој се односе на захтевану чврстоћу, потребну деформабилност, довољну корозиону отпорност, и што је могуће бољи ефекат обојености током анодизације.

Поре или укључци се могу прихватити у ограниченом обиму, само ако се испоштују претходни захтеви. Код термички отврднутих и хладно ојачаних алуминијумских материјала у ЗУТ завареног споја настаје опадање чврстоће.

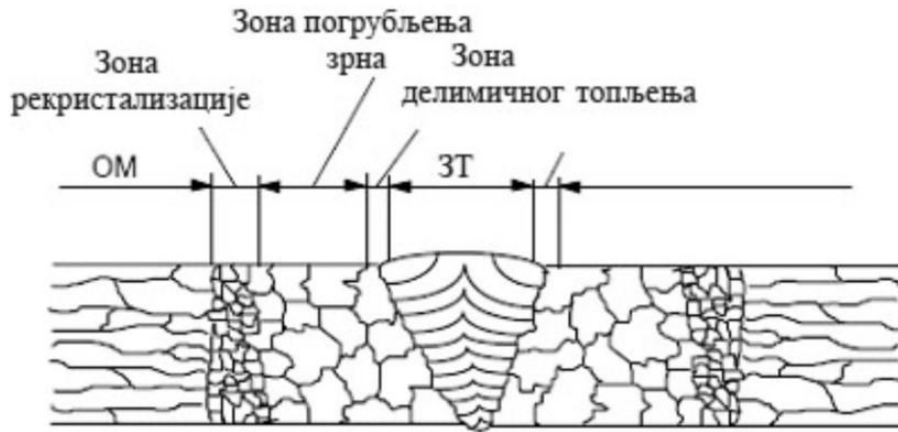
Због тога, за заварене спојеве конструкција од алуминијумских материјала не може се рачунати на вредности чврстоће основних материјала. Конструктивно, заварени спојеви могу да буду у оквиру подручја са нижим оптерећењима.

Често се поставља захтев за одређеном минималном вредношћу издужења или савијања, на шта веома утиче порозност. Проблем је што се и у шаву и у ЗУТ деформабилност оштро мења. Такође, жилавост алуминијумских материјала и у незавареном стању је тако мала да ово испитивање, без потврде о способности нема сврхе.

Са металуршког аспекта заварљивост алуминијумских материјала се оцењују према:

- осетљивости ка настанку врућих прслина, и склоности ка настајању других грешака у завареном споју;
- променама, посебно смањењу чврстоће, у ЗУТ.

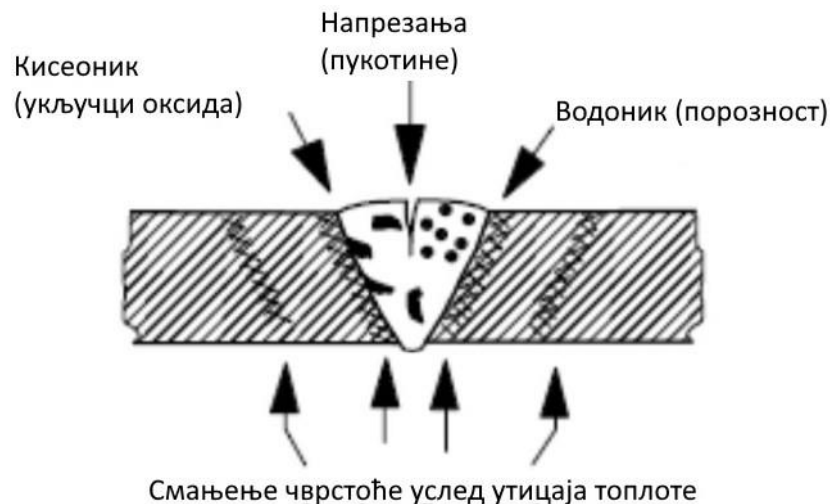
Треба узети у обзир да ЗУТ и метал шава имају ниже вредности механичких особина у односу на основни материјал. За основни материјал дебљине 10 mm, ЗУТ је ширине око 20 m са обе стране од подужне осе завара. Ако је правац заваривања нормалан на превац деловања силе, ЗУТ је најслабије место на конструкцији. При конструисању о овоме треба водити рачуна. На слици 5.2.3 приказане су зоне једног сучеоног завареног споја.



Слика 5.2.3: Зоне сучеоног завареног споја [9]

5.2.4 Грешке при заваривању

Постоји много врста грешака или недостатака који се могу настати при заваривању алуминијума, слика 5.2.4. Све дозвољене вредности неправилности у зависности од нивоа квалитета шави (В, С или D) су дефинисане у стандарду EN ISO 10042. Бројчане ознаке грешака су у складу са стандардом EN ISO 6520-1.



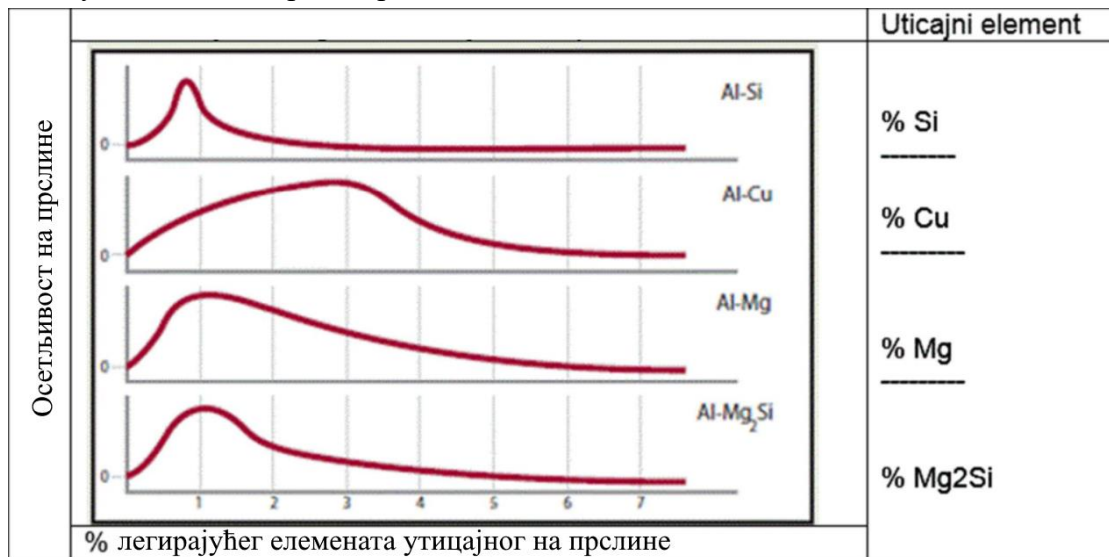
Слика 5.2.4: Најчешће грешке заварених спојева код алуминијума [9]

Порозност је „основна“ и увек присутна неправилност код заваривања алуминијума и његових легура. Последица је задржавање водоника у растопу током топљења и хлађења. Стварање пора је могуће код легура са широким појасом температуре очвршћавања, тако што један део течног метала не испуњава простор између већ очврслог. Мера спречавања појаве порозности је мање метално купатило или заваривање са додатним материјалом који има мали опсег температуре очвршћавања. Такође је врло битно темељно чишћење (отуд беле рукавице и одела у радионицама за заваривање алуминијума), предгревање, коришћење аргона високе и проверене чистоће, бржи рад и у ТИГ и у МИГ поступку, мање метално купатило, итд.

Оксидни укључци, који се при заваривању топе на 2050 °С, понекад не бивају одстрањени нити претопљени па улазе у метал шави као „чврсте честице“ и имају исти смисао као укључци шљаке код челика. Треба рећи да се понекад не могу избећи, зато треба створити услове да њихова количина буде што мања.

Образовање прслина

Као склоност настајању прслина при заваривању означава се раздвајање материјала у металу шави и ЗУТ. Образовање прслина у одговорним завареним спојевима може се умањити применом одговарајућих мера предвиђених технологијом заваривања. Највећу могућност пружа избор додатних материјала. Погодним комбинацијама основних и додатних материјала може се умањити осетљивост према прслинама. На слици 5.2.5 је приказан утицај садржаја легирајућег елемента на релативну осетљивост према прслинама.



Слика 5.2.5: Утицај садржаја легирајућих елемената на релативну осетљивост према прслинама [9]

Укупни утицајни фактори на склоност настајању врућих прслина су: хемијски састав основног и додатног материјала, термички циклус заваривања и величина термичких напона услед скупљања при очвршћавању, односно хлађењу. Мере за смањење ризика настајања су:

- избор додатног материјала који ће са претопљеним основним материјалом обезбедити метал шави неосетљив на прслине;
- додатни материјал треба да садржи и елементе за уситњење зрна, као Ti, Zr и B;
- избор комбинације параметара заваривања који ће обезбедити повољно мешање основног и додатног материјала, уз смањено прегревање металне купке;
- предгревање, за смањење напона услед скупљања.

5.2.5 Припрема за заваривање

Добра припрема за заваривање је 60 % квалитета завареног споја. Алуминијуски лимови и профии су углавном покривени филмом уља или масти који се ствара при производњи или се примењује временска заштита. Важно је да се са површина које се заварују уклоне сви трагови масноћа.

Пре заваривања потребно је припремити ивице основног метала, чиме се добија жлеб за заваривање, чији су основни појмови дефинисани стандардом SRPS С.ТЗ.001. Облик и димензије жлеба су одређени стандардом SRPS ISO 9692, а најчешће коришћени жлебови и изглед одговарајућег шава су дати у табели 1.2.

Припремљени жлеб у процесу заваривања топљењем може да се испуни у једном или у више пролаза, или у више слојева, што првенствено зависи од дебљине основног материјала.

Према облику лица шава разликују се равни, удубљени и испупчени шавови, а према континуитету шавови се деле на непрекидне и непрекидане.

У фази припреме, потребно је извршити чишћење основног материјала у зонама где ће се вршити спој, и то прво уклањање масноће и прљавштине са површине и затим скидање, најчешће делимично, оксида са површине. Најчешће се масноћа и прљавштина скидају индустријским ацетоном или неким благим алкалним раствором, при чему је неопходно водити рачуна због запаљивости ацетона. Ако је сам заварени спој веома битан, препорука је чишћење са три крпе, једна за другом. Пазити да не заостане нешто ацетона, јер може да се запали при заваривању, или ако се користи неки варничећи алат.

Оксид алуминијума се најчешће скида четком са оштрим чекињама од нерђајућег челика или грубом турпијом од тврдог метала. Могуће је користити и хемијска средства која су за то намењена. Четкати само у једном правцу да би се избегло утрљавање делића оксида у алуминијум. Четку користити само док је оштра, само за алуминијум и ни за шта више. Не притискати превише, јер је потребно само разбити оксидни слој, а никако утрљати честице оксида у меки алуминијум. После неких осам сати чишћења четку очистити ацетоном колико је могуће. Чистити само зону заваривања и блиску околину а не цео комад. Чишћење и скидање оксида је најбоље извести пре самог заваривања, јер се оксидни слој тренутно формира преко чистог метала и постаје током времена све дебљи. Тренутно се ствара дебљина од неких 1,5-4 nm, а током времена достиже 25-50 nm. Сам оксид је електрични изолатор али због мале дебљине могуће је упалити електрични лук на њему. По могућности, ивице жлеба истурпијати, а код сучеоног споја ивице корене стране такође оборити да би се избегло скупљање оксида по централној линији шава.

Ако се не уклони барем већи део површинског оксида, при заваривању може доћи до великих проблема. Рецимо, да се код танких лимова „направи рупа“ а не метално купатило, услед топлоте алуминијум пређе у течно стање али површински оксид не, па дође до промене унутрашњости а површински оксидни омотач прати нови облик. Оксид који се јавља изазива нестабилност лука, меша се као чврсто тело са растопљеним металом, а пошто је оксид порозан, у њему увек има влаге (нарочито су оване склони оксиди магнезијума у легурама типа AlMg), самим тим се у растопљени метал уноси пре свега водоник који је касније крив за порозност метала шава, за касније цурење флуида, за прелине, мању чврстоћу.

Да би се смањиле деформације на што мању вредност, потребно је извршити стезање лимова, који се заварују механички (стегама), пнеуматски или хидраулично и специјалним алатима. Због високе топлотне проводљивости Ал, направе и приборе за стезање треба израђивати од метала који имају малу топлотну проводљивост (високолегирани нерђајући челици). Када се поставља маса на радни комад од Ал, између стезалки масе постављају се прохромске плочице како би се избегао додир Ал са црним челиком.

Пре почетка рада морају се проверити сви спојеви на цревима за гас и сама црева, као и каблови (да нису настављани, да имају добру изолацију и сл.) [10].

Табела 1.2: Препоручени типови жлебоа/шавова за МИГ поступак

Тип жлеба/шав	Карактеристична мера	Вредност	Ознака	
Једнострани или двострани I–шав	Дебљина лима, δ , mm	8÷20		
	Корени размак, s, mm	0÷3		
Једнострани или двострани Y–шав	Дебљина лима, δ , mm	8÷30	Y	
	Корени размак, s, mm	0÷3		
	Угао отвора жлеба, α , °	60÷70		
	Угао закошења жлеба, β , °	30÷35		
	Затупљење корена жлеба, h, mm	3		
Једнострани U–шав	Дебљина лима, δ , mm	>20	U	
	Корени размак, s, mm	0÷3		
	Угао закошења жлеба, β , °	15÷20		
	Затупљење корена жлеба, h, mm	2÷4		
	Полупречник кривине, r, mm	6		
Двострани двоструки V–шав (X–шав)	Дебљина лима, δ , mm	> 8	> 20	X
	Корени размак, s, mm	0÷3		
	Угао отвора жлеба, α , °	~70		
	Затупљење корена жлеба, h, mm	3÷6	6÷10	

5.3 Безбедност на раду при заваривању

Алуминијум је веома реактиван метал, лако се спаја са кисеоником при повишеним температурама чиме настају врло стабилни оксиди.

Заваривање алуминијума врши се при високој температури тако да мале рукавице нису довољне. Потребно је користити дуге рукавице да прекрију подлактице и заштитне руке. Операција заваривања доводи до испарења и прскања и стога треба водити рачуна да се правилно контролише, смањи прскање и формирање прашине. Одговарајућа заштитна опрема се мора користити да би се избегло удисање. Алуминијум као метал није нарочито опасан или отрован. Прашина алуминијум оксида је непријатна. С друге стране Ал прашина је запаљива те мора пажљиво руковати. Приликом заваривања,

емисија честица дима и гасова зависи од начина заваривања, примењеног додатног материјала и врсте легуре.

ТИГ поступак заваривања даје мање испарење од МИГ поступка, због ниже енергије лука и чињенице да се додатни материјал не налази у екстремно врелом центру лука. Највећа количина дима се добија коришћењем Al-5%Mg додатног материјала.

Прашина се ствара у виду испарења и честица. Честице су често већих димензија и падају у непосредној близини радног места, али честице дима су мање и могу далеко да путују од радног места. Због тога треба много труда уложити у минимизирање загађења ваздуха. Један од највећих проблема при заваривању Ал је формирање озона. МИГ поступак заваривања производи више озона него ТИГ заваривање. Износ такође зависи од струје заваривања, дужине лука, времена заваривања и врсте легуре.

Силицијумски додатни материјал производи највећу количину озона, док је производња озона много мања када се користи додатни материјал типа Mg. Да би се смањила количина озона, правилна вентилација на радном месту је строго неопходна. Друга могућност је употреба заштитног гаса који реагује са озоном тј. додатак мале количине азотног оксида (NO) заштитном гасу. Азотни оксид одваја молекуле озона у кисеоник и азот диоксид (NO₂).

Заваривање алуминијума поред озона, такође ствара штетне гасове као што су угљен моноксид, угљен диоксид и друге нитро-гасове. Удисати ове гасове је јако штетно, тако да је проветравње просторије неопходно, а погодно је и ношење респираторне маске. Алуминијум није токсичан, међутим када се топе оксиди са површине, долази до испаравања у виду плавог дима (стога је потребна добра вентилација).

Алуминијум не гори али је запаљив у облику финог праха који са ваздухом може створити и експлозивну смесу. Алу,онијумска прашина и опилци преостали од сечења или брушења могу се запалити, посебно ако се помеша са челичном прашином.

Запаљени алуминијум у облику праха може се гасити специјалним средствима за гашење металних прахова, песком или графитом. Не сме се гасити водом [4].

5.4 Аутоматизовани процеси заваривања

За увођење роботизације, аутоматизације и механизације у заваривању постоји низ разлога, од којих су два најважнија:

- повећање продуктивности и квалитета
- хуманизација рада

Груба процена неких карактеристика заварених спојева указује на следеће:

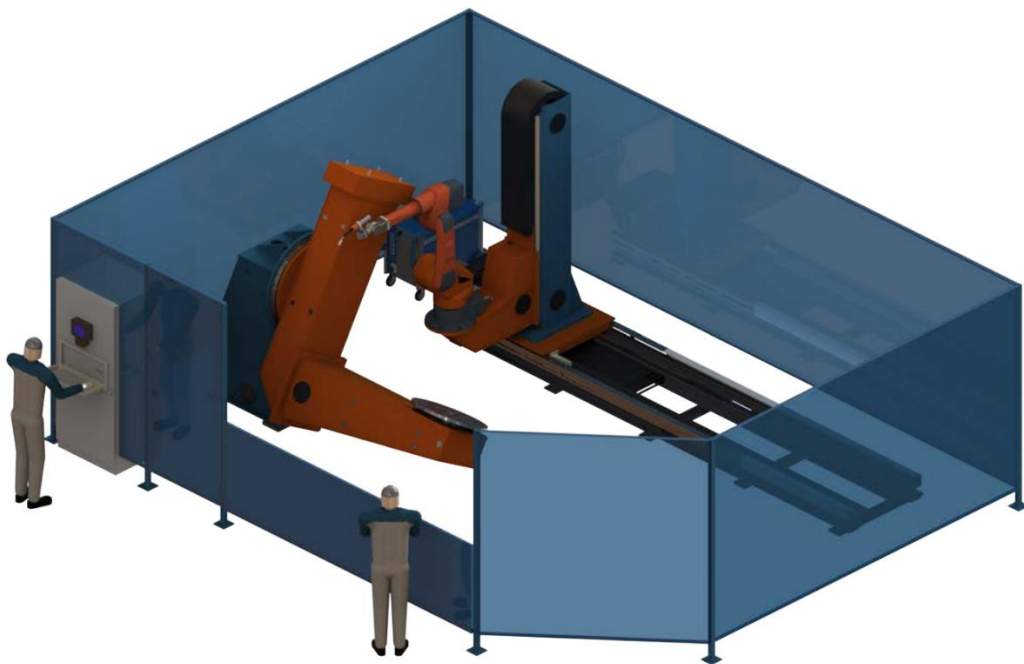
- 75% делова за заваривање се производи у годишњим серијама од 100 до 5000
- 85% делова за заваривање има масу мању од 40 kg
- 80% заварених спојева су угаони спојеви
- 70% делова за заваривање има дебљину 3, 4 или 5 mm
- 40% заварених спојева су кружни

- 85% заварених спојева је краће од 2 m.

Ове податке свакако треба имати у виду када се размишља о увођењу роботизације. У основне аргументе за увођење роботизације спадају и недостатак искусних заваривача, као и дуг период њихове обуке.

Роботи се највише примењују за електроотпорно тачкасто заваривање, а све више и за електролучно заваривање, посебно за поступке у заштити гаса и под прашком. Задатак робота за електролучно заваривање је у општем случају да направи што више дужих или краћих спојева у различитим положајима, при различитим дебљинама лимова и при различитим облицима жлебова. Робот се програмира тако да води поступак заваривања, зависно од положаја, одговарајућом брзином по жлебу [10].

Индустријски робот може да се дефинише као вишенаменски уређај, чије кретање може да се програмира у разним правцима, сл. 1-16.3, уз евентуалну контролу сензорима. Функционални делови робота („руке“) могу да се снабдеју различитим алатима да би обавили потребне радње. Покретање робота може да буде пнеуматско, хидраулично или помоћу аналогних или корачних мотора. Данас се највише користе корачни мотори због брзине повратних веза, преноса сигнала и заштите околине. С обзиром на управљање и регулацију, и кретање руке робота, које се постиже микропроцесорски, разликује се дисконтинуално кретање од тачке до тачке или континуално кретање. На слици 5.4 приказан је изглед једне роботске ћелије за заваривање марке „Cloos“.



Слика 5.4: Робот за заваривање марке „Cloos“ [11]

Коришћењем базе података омакроима значајно се смањује напор и време потребно за писање софтвера. Осим програмирања, битно је решити проблеме интеграције интелигентних сензорских система и коришћење CAD/CAM података, који су доступни у већини компанија. Могући приступ је модуларна градња контролног система, који користи CAD податке о радном комаду, његовој геометрији и захтевима у

вези са завареним спојем. Припрема споја која не би одговарала овим САД подацима се у том случају региструје интегрисаним ласерским сензорима.

Робот је одговоран само за кретање горионика (пиштоља за заваривање) дуж задане путање, заданом брзином и правцем. Да би се кретање горионика прилагодило стварној путањи на основу података од сензора, неопходно је обезбедити комуникацију између робота, сензора и контролног система, зашта се користе интерфејси. Споља утврђене и прорачунате корекције кретања помоћу сензора који се крећу испред горионика морају да се узму у обзир при прорачуну путање који обавља контролни систем. У случају одступања од заданих параметара интерфејс треба да обезбеди пренос података о грешци и заустављању даљег рада. Флексибилност система модуларне градње се огледа и у могућности да се више робота веже у један ФПС (флексибилни производни систем).

Аутоматско праћење путање и лука се остварује на различите начине, од најједноставнијих (оптичких и фотоелектричних системи „читања заданих путања“, па до најновијих система са сензорима оптичког типа (укључујући ласере) који снимају жлеб или задану путању и информацију о томе преносе роботу. Фотоелектрични систем може врло успешно да се примени код аутоматског гасног резања, тако што читач добија информацију о облику радног комада са цртежа или слике, а погонски мотор обебеђује кружно кретање читача око вертикалне осе, које се преноси на синусно-косинусни функционални давач, преко пара зупчаника у односу. Функционални давач преко посебног високофреквентног генератора добија референтни напон у зависности од брзине кретања машине, која се унапред задаје на командном ормару

Манипулатори се користе да поставе конструкцију у погодан положај за заваривање и да је окрећу по потреби. Манипулатор опште намене се састоји од хваталке, обртне главе и зупчаника за подешавање нагиба.

Позиционери и окретаљке су једноставније конструкције јер обављају само један од два посла манипулатора. Позиционери не могу да окрећу конструкцију, већ је само постављају у потребан положај, док окретаљке не могу да мењају нагиб конструкције. Окретаљке су вертикалне, или хоризонталне, и најчешће се користе за заваривање или наваривање цилиндричних елемената. За окретање цилиндричних елемената често се користе окретаљке са точковима [10].

6. Експериментална испитивања заварених спојева

Заварени спојеви су веома одговорни елементи склопова и конструкција. Потребно је обезбедити поуздану везу појединих елемената како би склоп или конструкција била функционална. С тога, у зависности од одговорности одређене конструкције, пројектант дефинише и ниво квалитета израде заварених спојева. На квалитет завареног споја утичу многобројни фактори, почевши од самог састава и механичких особина основног и додатног материјала, преко услова рада, припреме, уноса енергије (топлоте) као и вештине самог заваривача.

6.1 Механичке особине материјала

Механичке особине, говорећи уопштено, карактеришу понашање материјала под дејством сила које изазивају напрезање у материјалу. Утврђују се посебним поступцима испитивања узорака који су направљени од материјала предвиђеног за израду машинских елемената и других конструкционих делова или од самог машинског елемента. У групу механичких особина спадају: чврстоћа, еластичност, пластичност, жилавост, тврдоћа, отпорност против трошења - хабања и отпорност на трење.

Чврстоћа материјала је отпор који пружа материјал при деловању спољних сила. Код метала и легура (чврстих и хомогених тела) деловање силе споља распоређује се подједнако по целом пресеку материјала. Зависно од начина и смера деловања спољашњих сила на материјал, чврстоћа може бити: на затезање, притисак, на савијање, смицање, увијање или торзију и извијање.

Поједини машински елементи и конструкције могу бити истовремено изложени двема врстама или већем броју врста напрезања (нпр., притисак и савијање). Таква напрезања називамо сложеним напрезањима. У стручним приручницима и свакодневној пракси као карактеристика материјала најчешће се наводи његова затезна чврстоћа. Затезна чврстоћа представља максимално оптерећење (по јединици површине првобитног пресека (нормалног на силу затезања) које материјал може издржати.

Еластичност је особина материјала да након престанка деловања спољашњих сила које су изазвале одређену промену облика и димензија прими поново свој првобитни облик и димензије. Деформација која остаје у материјалу и након престанка оптерећења назива се пластична деформација. Напрезање које лежи на граници еластичних и пластичних деформација називамо граница еластичности [12].

6.2 Испитивања заварених спојева

Испитивања заварених спојева могу се сврстати у две велике групе:

- методе испитивања без разарања (ИБР) и
- методе испитивања са разарањем.

ИБР методама могу се установити површинске и запреминске грешке на завареном споју. Површинске грешке могу бити поре, површинске прслине, налепљеност (неувареност) и сл. Поред површинских, могу се употребити и

запреминске ИБР методе, као што су ултразвук и радиографско снимање. Међутим, на одговорним конструкцијама, поготово пре почетка серијске производње, овим методама се не могу детаљно установити све грешке које се могу наћи у целој запремини завареног споја. За та детаљнија испитивања потребно је употребити методе са разарањем завареног споја, која врше посебно специјализована лица у посебним лабораторијама за спровођење испитивања.

Све дозвољене вредности неправилности у зависности од нивоа квалитета шави (В, С или D) су дефинисане стандардом EN ISO 10042. Бројчане ознаке грешака су у складу са EN ISO 6520-1.

6.2.1 Испитивања са разарањем

Механичко-технолошка испитивања метала и заварених спојева су један од најважнијих, ако не и најважнији сегмент провере квалитета материјала. Основна сврха ових испитивања је да се експерименталним путем утврде својства, коришћењем узорака који најбоље репрезентују или сам материјал или полуфабрикат и конструкцију израђену од испитиваног материјала. Како је развој метода испитивања метала и заварених спојева, историјски посматрано, текао упоредо са освајањем нових легура и усавршавањем поступака заваривања, тако су значајно расли и захтеви за испитивањем на рационалан начин, и уз обезбеђење максималне сличности са експлоатацијским условима. У том смислу, готово сва испитивања која се изводе на основном металу, изводе се и на завареном споју.

Начин и обим испитивања је условљен експлоатацијским условима основног метала и заварених спојева, и ти услови су, на данашњем степену развоја технике, веома разнолики.

Разлика механичких испитивања заварених спојева, у односу на испитивања основног материјала, је чињеница да је заварени спој геометријски и микроструктурно нехомоген. Због тога се испитивања прилагођавају испитивању зоне утицаја топлоте (ЗУТ) и/или метала шави (МШ). Посебност су и технолошке пробе заваривости у циљу утврђивања отпорности на настанак прслина у завареним спојевима у граничним условима заваривања [12].

Механичка својства материјала одређују се лабораторијским испитивањима, при којима је потребно, колико је то могуће, остварити и одржавати стварне услове експлоатације. Фактори о којима се мора водити рачуна су:

- врста оптерећења (затезање, притисак, савијање, смицање, увијање уз могућност њиховог комбиновња),
- начин дејства силе (статичко или динамичко),
- температура испитивања (најчешћа је $20 \pm 5 [^{\circ}\text{C}]$, а може се испитивати и на ниским и повишеним температурама).

Механичка испитивања која се врше на завареним спојевима су:

- испитивање затезањем,
- испитивање савијањем,
- испитивање тврдоће,

- испитивање ударне жилавости и
- испитивање динамичке чврстоће.

6.2.3 Металографска испитивања

Металографска испитивања су део провере квалитета заварених спојева. Ове анализе се обављају у циљу:

- Идентификације макро и микроструктурних грешака;
- Испитивања металографске структуре у карактеристичним зонама завареног споја: ШАВ, зона утицаја топлоте (ЗУТ) и ОСНОВНИ МАТЕРИЈАЛ;
- Мерање тврдоће у ШАВУ, зони утицаја топлоте (ЗУТу) и ОСНОВНОМ МАТЕРИЈАЛУ;
- Одређивање проценталног удела структурних микроконституената;
- Одређивање просечне величине зрна;
- Одређивање других параметара структуре (ниво расподеле фаза, степена деформације, ниво оријентације).

У зависности од величине структурних конституената, испитивање се може обавити помоћу оптичког или електронског микроскопа. Може се постићи увећање 160.000:1.

Металографска анализа се спроводи ради:

- Провере основних материјала;
- Контроле технологија заваривања;
- Провере и усвајање нових заваривачких материјала (електрода и жица);
- Провера термичког третмана након заваривања (PWHT);
- Одређивање разлога (узрока) оштећења.

Металографска испитивања могу пружити информације о:

- Присуству кртих компонената у зони утицаја топлоте и ШАВУ;
- Грешкама током заваривања (врста, број, величина);
- Вршним тврдоћама у различитим зонама (највећих пикова);
- Структури ОСНОВНОГ МЕТАЛА, зони утицаја топлоте (ЗУТ) и ШАВУ;
- Типу и расподели секундарних фаза.

Узимање узорка

Узорци за металографска испитивања се узимају према одговарајућем стандард. Металографски узорци морају да укључе све карактеристичне зоне. Ово је разлог што се узима попречни пресек завареног споја. У зависности од циља истраживања, узорци се узимају на различите начине. У случају анализе оштећења, узимање узорка се обавља у складу са радним условима, историјом оштећења и врстом материјала. У

многим случајевима обавља се поређење између узорака неоштећење зоне (или сировог материјала) и коришћеног материјала. За проверу материјала и технологије заваривања, узорци морају бити репрезентативни. У противном се могу донети погрешни закључци са озбиљним последицама [12].

Металографска припрема узорака

За добијање равне површине примењује се стругање, глодање, брушење или полирање. Полирање се обавља металографским папиром различите финоће зрна. У зависности од величине зрна, полирање може бити:

- Фино, ако је металографски папир финозрне структуре (100, 150, 220, 280);
- Врло fine, ако је металографски папир врло fine структуре зрна (1/0, 2/0, 3/0, 4/0, 5/0.....

Полирање се може обавити ручно или машински. За ручно полирање:

- Металографски папир се поставља на равну плочу глаткоће стакла;
- Металографски узорак се помера у једном правцу напред-назад;
- Када се промени папир, узорак се ротира за угао од 90°;
- Полирање започиње са грубозрним металографским папиром и наставља се са финозрним папиром, док се припрема завршава најфинијом гранулацијом папира.

Ручно полирање се препоручује за веће величине компоненти (узорака). За машинско полирање примењују се :

- Хоризонталне и вертикалне машине за полирање;
- Металографски папир се фиксира за ротациони диск за полирање.

Операција полирања има неколико правила:

- Металографски папир веће гранулације се користи када су елиминисане све неуниформности узорка;
- Металографски папир мора бити чист од металне прашине и абразива;
- Током полирања, компоненте (узорци) се не смеју загревати;
- Не користити исти металографски папир за железне и не железне легуре;
- Након полирања, компоненте се перу, да би се уклонили укључци.

Полирање завареног споја се обавља машином за полирање. На диску за полирање се монтира вунени филц. Филц се импрегнира суспензијом алуминуијум или магнезијум оксида, дијамантском пастом различите гранулације. Након полирања, површина узорака мора бити глатка као метално огледало. Полирани узорак се испира у води и одмашћује са алкохолом.

Након ове операције, узорак се суши у струји топлог ваздуха. Металографским нагризањем, постаје видљива кристална структура. Полирана површина се нагриза адекватним хемијским реагенсима. Нагризања се изводи урањањем узорка у хемијски реагенс или импрегнацијом хемијских реагенса на вату. Основни хемијски агенси су приказани у табели 1.3.

Табела 1.3: Основни хемијски агенси за алуминијум и његове легуре

Број	Назив и хемијски састав реагенса	Услови нагризања	Поље припреме и запажања
30	<i>Такеров реагенс,</i> 15 cm ³ флуороводоничне киселине 45 cm ³ соне киселине 15 cm ³ азотне киселине 25 cm ³ воде	-	Развијање макроструктуре
31	<i>Фликов реагенс,</i> 10 cm ³ флуороводоничне киселине 15 cm ³ соне киселине 90 cm ³ воде	Нагризати 10-20 секунди, након тога потопити у топлу воду и у концентровану азотну киселину	Развијање макроструктуре
32	Флуороводонична киселина, 0,5 cm ³ 40% флуороводоничне киселине 100 cm ³ воде		Опште средство за нагризање, развијање макроструктуре
33	Натријум хидроксид, 1g натријум хидроксида 100 cm ³ воде	Припрема се свеж пре употребе	Развијање микроструктуре
34	Вилела реагенс, 20 cm ³ флуороводоничне киселине 10 cm ³ азотне киселине 30 cm ³ глицерина	Време нагризања 25мин.	Развијање микроструктуре, нагризање граница зрна

Ако узорак није довољно нагрижен, операција се мора поновити. Уопштено, узорци се морају нагризати разблаженим растворима, нешто дуже време. За испитивање при великом повећању може се користити слабо нагризање. Заварени узорак је нагрижен, када постане таман и благо нераван (изгуби метални сјај) Јако нагризање лоше утиче на структуру. Након металографског нагризања, узорци се перу водом и алкохолом и суше топлим ваздухом или филтер папиром [12].

6.2.4 Металографска испитивања заварених спојева

Металографско испитивање заварених спојева укључује:

- Макроскопску анализу,
- Микроскопску анализу

Макроскопско испитивање се обавља на металографским узорцима припремљеним према упутствима из табеле 2.26.1. Ова анализа се може обавити очним прегледом или увећањем 50:1. Макроскопским испитивањем открива се:

а) У зони шава:

- облик шава;
- број и дебљина слојева при заваривању;

- дефекти ако их има;
- прслине нису дозвољене.

б) У зони утицаја топлоте (ЗУТ):

- прслине нису дозвољене

в) У основном металу:

- структурне карактеристике морају да буду у складу са стандардним спецификацијама.

Испитивање шави се спроводи у попречном пресеку и води до откривања дефеката (прслина, укључака, пора, недостатак стапања, недостатак проваривања). У зони шави нису дозвољене микропрслине, терцијални цементит и високи проценат δ -ферита (за челик).

У основном металу (ОМ), металографска структура мора да буде у складу са стандардним спецификацијама. Међутим, у угљеничном челику нису дозвољене перлитне сегрегације и терцијални цементит.

Електронска микро сонда ЈСХА-50Å са рачунаром има значајну улогу у испитивању расподеле легирајућих елемената. Ова апаратура ради у опсегу повећања између 50:1 и 140.000:1 слично електронском микроскопу. Електронска микро сонда ЈСХА-50Å се користи за:

- Топљење нових материјала за заваривање и везивање
- Наношење превлака са нерђајућим челиком
- Испитивања присуства укључака у основном металу и депонованом металу.

Ако апаратом управља рачунар, може се применити за квалитативне и квантитативне анализе.

Анализа лома

Фрактографија је анализа површина прелома. Испитује се: макрографски и микрографски помоћу оптичког микроскопа и електронског микроскопа, трансмисионог или скенинг типа. Предности електронског микроскопа су: већа дубина поља, лакше подешавање увећања, минимална припрема узорака (при СЕМ).

Припрема узорака

Испитивање оптичким микроскопом: чишћење површина прелома. Испитивање ТЕМ: директно узимање реплика, директно хемијско, директно електролитичко, екстракциона реплика, реплика близанац. Испитивање помоћу СЕМ: чишћење, вакуумска метализација.

Макрографским испитивањем одређујемо:

- Место прелома,
- Степен деформације,
- изглед прелома

Микрографским испитивање:

- Оптички (увећање од 50 до 150 пута),

- Електронски (увећање 50 до 100.000 пута) – помоћу ТЕМ и помоћу СЕМ

Класификација ломова

У односу на степен пластичне деформације:

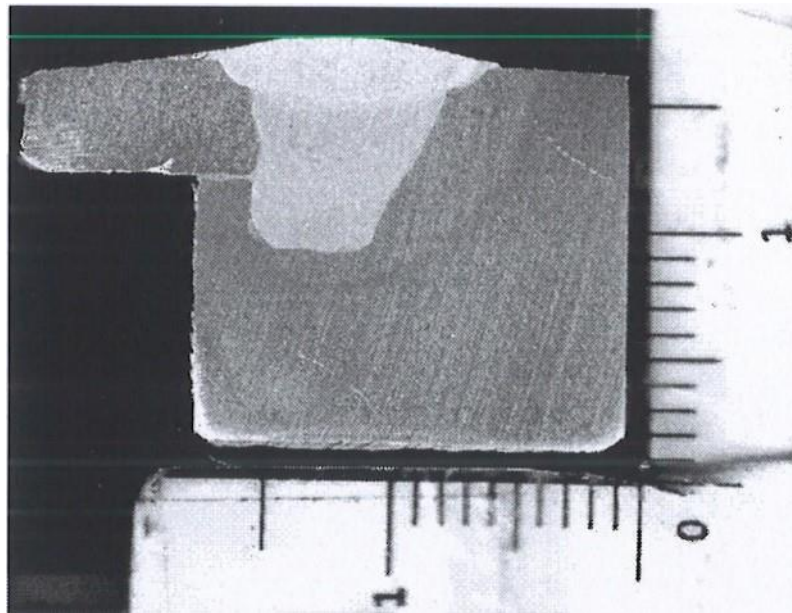
- велики степен пластичне деформације (пластични),
- мали степен деформације (крти лом, лом по границама зрна и заморни лом).

У односу на механизам стварања:

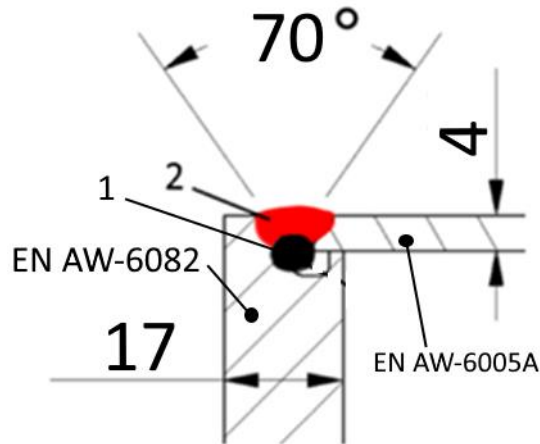
- са пластичним микродеформацијама (пластични),
- љуштење у слојевима (крти лом) – раздвајање,
- услед таложења по границама зрна (лом по границама зрна),
- циклично оптерећење (заморни лом).

У овом раду, вршено је експериментално испитивање завареног споја на носећем делу шасије пода вагона израђеног од легуре алуминјума. С обзиром на одговорност ове конструкције, у овом случају, купац је захтевао додатна испитивања са разарањем завареног споја пре серијске производње целог склопа. Поред стандардних металографских испитивања са разарењем, од којих је најчешће макро анализа, додатно је рађена и микро анализа завареног споја [12].

Макроскопски изглед завареног споја је приказан на сл. 6.1.



Слика 6.1: Макроструктура завареног споја [13]



Слика 6.2: Скица датог завареног споја

Основни материјал

У првом делу експеримента, вршено је заваривање основних материјала од легуре алуминијума. Основни материјал 1 је плоча ознаке EN AW6082-T6 дебљине 17mm, а основни материјал 2 је профил рекристализоване структуре ознаке EN AW6005A-T6, дебљине 4 mm.

Пре самог почетка процес заваривања, као што је већ наведено, неопходно је извести правилну припрему. Температура предгревања спада у припремни процес и игра битну улогу у самом квалитету завареног споја. Када је у питању температура предгревања, за разлику од челика где се температура предгревања врши прорачуном, код алуминијума се узима из литературних препорука, тако да се негде може наћи да се комад предгрева тек када дебљина прелази 8mm, или у неким литературама се може наћи да су то и веће дебљине, реда 10mm или 12mm. Такође, у случају вишеслојног заваривања, битно је пратити и међуслојну температуру. Што се тиче температуре предгревања и препорука на којој температури треба вршити предгревање, дато је сл. 6.3, која је узета из стандарда EN 1011-4, где се температура предгревања разликује зависно којој групи припада легура.

Parent metal	Preheat temperature °C max.	Interpass temperature °C max.
Non-heat treatable alloys		
1xxx		
3xxx		
5xxx	120 ^a	120 ^a
AlSi cast		
AlMg cast		
Heat treated alloys		
6xxx		
AlSiMg cast	120 ^a	100
AlSiCu cast		
7xxx	100 ^a	80

Слика 6.3: Препоруке температуре предгревања и међуслоја [4]

У табели 1.4а је приказан хемијски састав основног материјала EN AW6082-T6, а у табели 1.4б су приказане његове механичке карактеристике [14].

Табела 1.4а: Хемијски састав основног материјала EN AW6082-T6

Si [%]	Fe [%]	Mn [%]	Mg [%]	Cr [%]	Zn [%]	Ti [%]	Al [%]
0.9	0.33	0.51	0.7	0.03	0.03	0.03	ostatak

Табела 1.4б: Механичке карактеристике основног материјала EN AW6082-T6

Temperatura T [°C]	Napon tečenja Rp _{0.2} [MPa]	Zatezna čvrstoća Rm [MPa]	Izduženje A ₅ [%]
20	≥255	≥300	13

У табели 1.5а је приказан хемијски састав основног материјала EN AW6005A-T6, а у табели 1.5б су приказане његове механичке карактеристике [14].

Табела 1.5а: Хемијски састав основног материјала EN AW6005A-T6

Si [%]	Fe [%]	Mn [%]	Mg [%]	Cr [%]	Zn [%]	Ti [%]	Al [%]
0.5 - 0.9	≤ 0.35	≤ 0.5	0.4 - 0.7	≤ 0.3	≤ 0.2	≤ 0.1	ostatak

Табела 1.5б: Механичке карактеристике основног материјала EN AW6005A-T6

Temperatura T [°C]	Napon tečenja Rp _{0.2} [MPa]	Zatezna čvrstoća Rm [MPa]	Izduženje A ₅ [%]
20	≥225	≥270	6

Избор додатног материјала

Правилан одабир додатног материјала за заваривање је такође веома битна ставка за квалитетно извођење зава. Основна методологија приликом одабира додатног материјала код алуминијума заснива се према саставу основног материјала као и његове дебљине, и поступка којим ће се изводити. Пошто је у овом случају као поступак изабран МИГ, у заштитном гасу према EN ISO 14175: I3-ArHe-30 (Аргон 70% и хелијума 30%), материјал је биран према основном материјалу EN-AW6082-T6 и EN-AW6005A-T6 из каталога произвођача „Böhler“ где се могу наћи и препоруке који додатни материјал одговара одређеном основном материјалу. Додатни материјал за заваривање АЛ и његових легура дефинише стандард EN ISO 18273. Додатни материјал се може сврстати у четири групе (ISO/TR 17671-4) приказане у табели 1.2.

На следећој слици 6.4 приказане су препоруке додатног материјала из каталога произвођача „Böhler“. Ово су материјали намењени за конструкције високе чврстоће, где наравно спадају и железничка возила.

Böhler Welding product names	Classification		Materials to be welded		
	AWS A5.10	EN ISO 18273	EN 573-2 / EN 1780-2	Material no.	EN 573-2 / EN 1780-2
Union AlMg 4,5 Mn Zr	ER5087	S Al 5087 (AlMg4,5MnZr)	AW-AlMg4,5Mn AW-AlMg4Mn AW-AlMg5 AW-AlMgSi0.5 AW-AlMgSi0.7 AW-AlMgSi1 AW-AlMgSiCu AW-AlZn4.5Mg1	3.3547 3.3545 3.3555 3.3206 3.3210 3.2315 3.3211 3.4335	AW-5083 [AlMg4.5Mn0.7] AW-5086 [AlMg4] AW-5019 [AlMg5] AW-6060 [AlMgSi0.5] AW-6005A [AlSiMg(A)] AW-6082 [AlSi1MgMn] AW-6061 [AlMg1SiCu] AW-7020 [AlZn4.5Mg1]
Union AlMg 4,5 Mn	ER5183	S Al 5183 (AlMg4,5Mn0,7(A))	AW-AlMg4,5Mn AW-AlMg4Mn AW-AlMg5 AW-AlMgSi0.5 AW-AlMgSi0.7 AW-AlMgSi1 AW-AlMgSiCu AW-AlZn4.5Mg1	3.3547 3.3545 3.3555 3.3206 3.3210 3.2315 3.3211 3.4335	AW-5083 [AlMg4.5Mn0.7] AW-5086 [AlMg4] AW-5019 [AlMg5] AW-6060 [AlMgSi0.5] AW-6005A [AlSiMg(A)] AW-6082 [AlSi1MgMn] AW-6061 [AlMg1SiCu] AW-7020 [AlZn4.5Mg1]
Union AlMg 5	ER5356	S Al 5356 (AlMg5Cr(A))	AW-AlMg5 AW-AlMg3 AW-AlMg4Mn AW-AlMgSi0.5 AW-AlMgSi0.7 AW-AlMgSi1 AW-AlMg1SiCu AW-AlZn4.5Mg1 AW-AlMg2.7Mn	3.3555 3.3535 3.3545 3.3206 3.3210 3.2315 3.3211 3.4335 3.3537	AW-5019 [AlMg5] AW-5754 [AlMg3] AW-5086 [AlMg4] AW-6060 [AlMgSi0.5] AW-6005A [AlSiMg(A)] AW-6082 [AlSi1MgMn] AW-6061 [AlMg1SiCu] AW-7020 [AlZn4.5Mg1] AW-5454 [AlMg3Mn]

Слика 6.4: Препоруке из каталога [15]

У овом првом случају експеримента, као додатни материјал изабран је материјал ознаке према стандарду EN ISO 18273: EN AW S-Al 5183 (Union AlMg4,5Mn0,7(A)-Böhler). У питању је жица на катуру, а пречник жице је Ø1,2 mm. Хемијски састав и механичке карактеристике додатног материјала приказане су у табелама 1.6.a и 1.6.b [15].

Табела 1.6.a: Хемијски састав додатног материјала EN AW S-Al 5183

Si [%]	Fe [%]	Mn [%]	Mg [%]	Cr [%]	Zn [%]	Ti [%]	Al [%]
0.01	0.09	0.5-1.0	4.3-5.2	0.05-0.25	< 0.01	< 0.15	ostatak

Табела 1.6.b: Механичке карактеристике додатног материјала EN AW S-Al 5183

Temperatura T [°C]	Napon tečenja Rp _{0.2} [MPa]	Zatezna čvrstoća Rm [MPa]	Izduženje A ₅ [%]
20	≥125	≥275	16

Одабир параметара заваривања

Приликом одабира параметара и пре самог почетка заваривања, неопходно је одрадити и прописати квалификацију технологије заваривања (WPQR) према EN ISO 15614-2 (квалификација технологије за алуминијум). У квалификацији технологије налазе се параметри који се прописују израдом проба и прописују се претходном спецификацијом технологије заваривања - pWPS-ом. Такође квалификација садржи и сва испитивања везана за тај заверени спој, као што су нпр. савијање, прелом, измерена тврдоћа, радиографска испитивања, приказ макро анализе итд.

Након одрађених радних проби, ако је постигнут захтевани квалитет метала шава, и ако је технологија успешно квалификована, параметри се прописују спецификацијом

технологије заваривања WPS листама које се израђују према стандарду EN 15609-1. У WPS листама се, осим параметара заваривања, налази и позив на квалификацију која је успешно спроведена. WPS листа за овај случај завареног споја приказан је на табели 1.7 (1.7.1, 1.7.2, 1.7.3).

Табела 1.7.1: Основни и општи подаци

	PRETHODNA SPECIFIKACIJA TEHNOLOGIJE ZAVARIVANJA (elektrolučno zavarivanje)	Redni broj /No./	
	PRELIMINARY WELDING PROCEDURE SPECIFICATION (pWPS) (ARC welding)	Datum /Date/	

Mesto: /Location/	Ispitivač ili ispitna organizacija: /Testing organization/
Proizvođač: /Manufacturer/	Spoljašnji prečnik cevi (mm): /Outside pipe diameter/
Ime operatera i žig: /Operator's name/	Postupak pripreme i čišćenje: /Method of preparation and clean/
Postupak zavarivanja EN ISO 4063: 131 (MIG) /Welding process/	Alkohol + prohromska četka /Alcohol + stainless steel brush/
Tip spoja i zavara: BW 4V, ss mb, ml /Type of joint and weld/	Specifikacija osnovnog materijala /Parent material specification/:
	EN 573-3: EN AW 6005A-T6 / EN 573-3: EN AW 6082-T6
	ISO/TR 15608: Gr.23.1
	Debljina osnovnog materijala (mm): t4 / t17 /Thickness of parent material/
	Položaj zavarivanja EN ISO 6947 : PA /Welding position/

Табела 1.7.2: Скица завара и параметри заваривања

Detalj pripreme spoja -šema: /Joint preparation- sheme/

Skica pripreme /Design of joint preparation/	Raspored zavara /Welding sequence/
	

Parametri zavarivanja /Welding parameters/

[illegible]

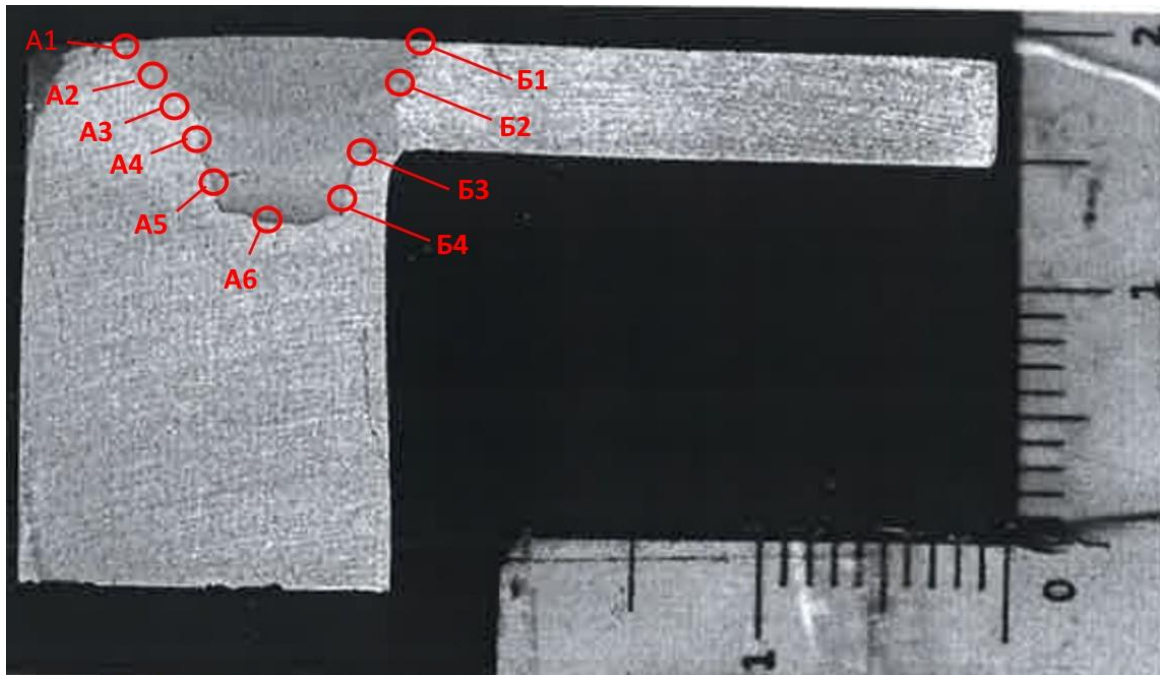
Табела 1.7.3: Додатне информације

Klasifikacija dodat. mat.: EN ISO 18273: EN AW S-Al 5183 (S-ALMg4,5Mn 0,7(A)) / Union ALMg4,5Mn - Böhler / /Klasification of filler metal/		Nivo kvaliteta: EN ISO 10042 "B" /Quality level/	
Posebni zahtevi za sušenje (elektroda/prašak): / /Special request for drying (electrode/flux)/		Detalji žlebljenja ili podloge: / /Desing of welding joint-details/	
Zaštitni gas/prašak:	lice /surface/: EN ISO 14175: I3 (Ar/He, 70/30) koren /root/:	Temperatura predgrevanja : 80±90 °C /Preheating temperature/:	
Protok gasa:	lice /surface/: 18-20 lit/min koren /root/:	Temperatura međuprolaza: ≤100 °C /Interpass temperature/	
Dodatne informacije: /Other data/	Način predgrevanja/Preheating mode/: Acetilen + kiseonik		Termička obrada posle zavarivanja : NE /Post-weld heat treatmen-PWHT/
	Prečnik šobe/Diameter nozzle/: Ø 12mm		Oscilacije(amplituda, frekvencija, vreme zadr.): / /Oscilation (Amplitude, frequency, dwell tim)/
	Tip/veličina volframove elektrode : / /Tungsten electrode type/size/		Prirodno starenje: min. 7 dana /Natural aging/ /min. seven days/
	Rastojanje šobe od OM/Distance nozzle from the BM/: 9-12 mm		Napomene: /Notes/
	Njihanje (max širina) Weaving (max width of run)/: bez njihanja		
	Ugao gorionika/Torch angle/: 90°, tehnika "unapred"		
Zaštitni gas-sastav/Shielding gas composition/: I3 (Ar/He, 70/30)			
Aparat/Machine/: TransPuls Synergic 400i - Fronius			

Ime, datum i potpis Name, date and signature	Izradio:	Kontrolisao:	Odobrio:	
---	----------	--------------	----------	--

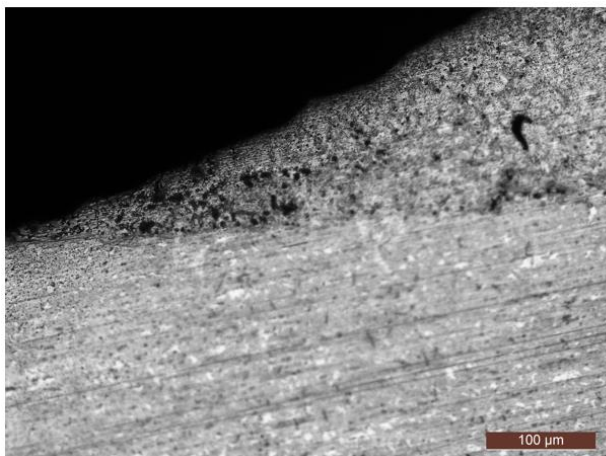
Микро анализа

Микроскопска анализа заварених спојева дозвољава идентификацију структурних конституената и дефеката. Испитане зоне су приказане на слици 4.6 где су на макроструктури обележене тачке које су снимане на микро анализи.

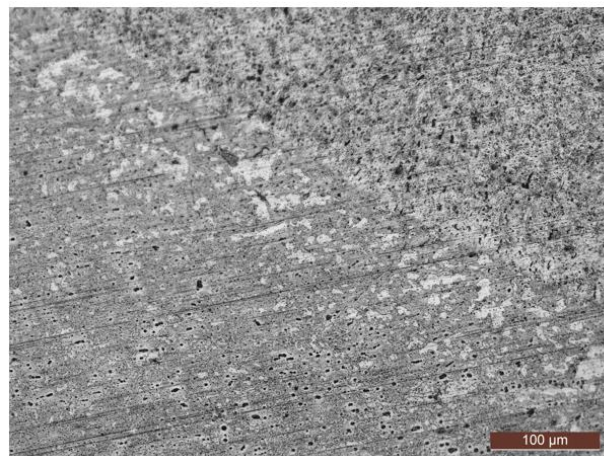


Слика 6.5: Испитане зоне на микро анализи [13]

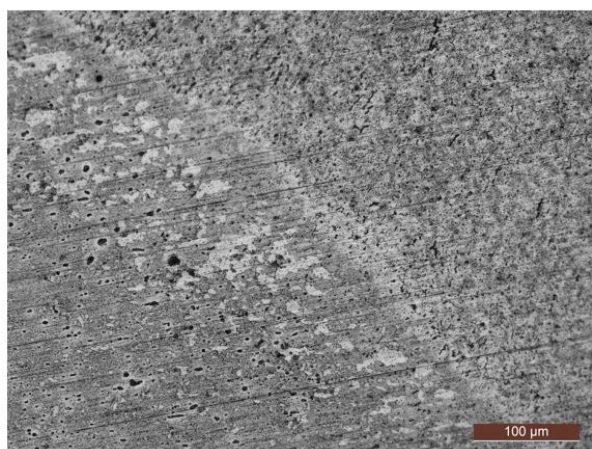
На следећим сликама је приказана микро структура издвојена по тачкама обележеним на слици 6.5.



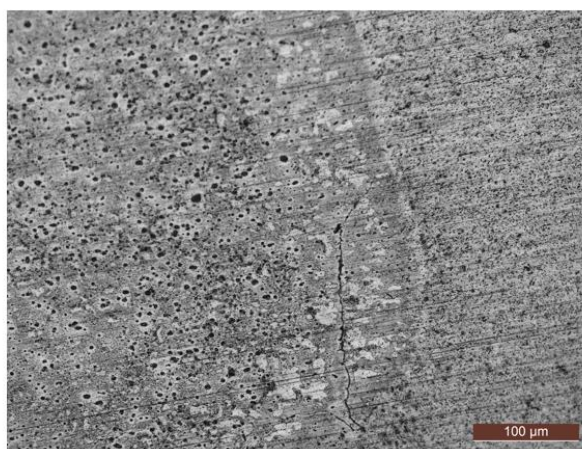
Слика 6.5.1: Микро структура у тачки A1 [13]



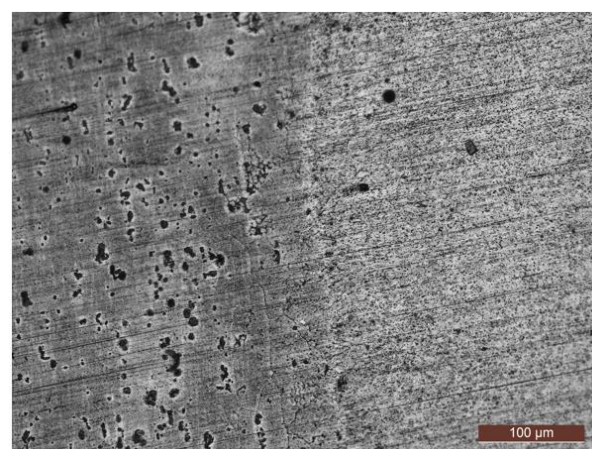
Слика 6.5.2: Микро структура у тачки A2 [13]



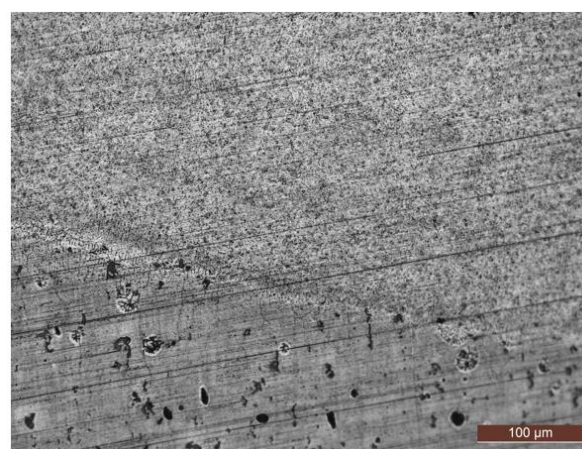
Слика 6.5.3: Микро структура у тачки A3 [13]



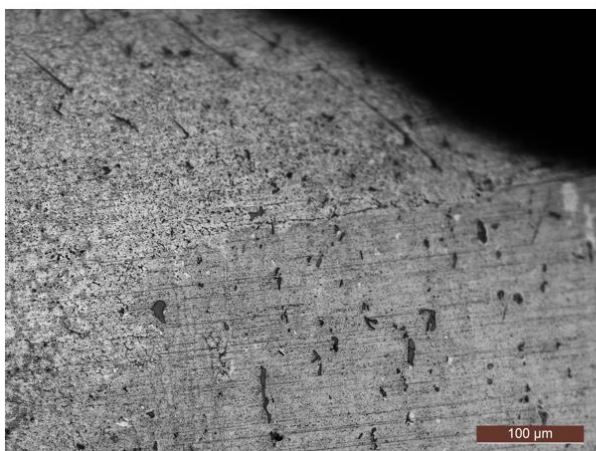
Слика 6.5.4: Микро структура у тачки A4 [13]



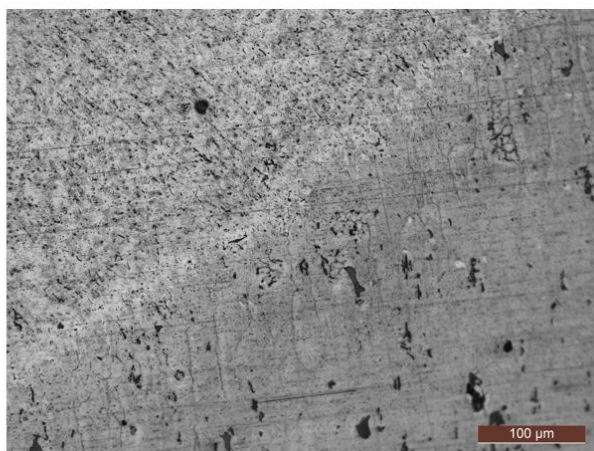
Слика 6.5.5: Микро структура у тачки A5 [13]



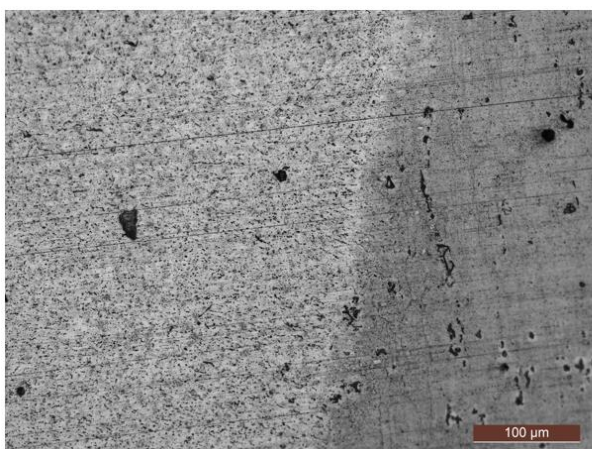
Слика 6.5.6: Микро структура у тачки A6 [13]



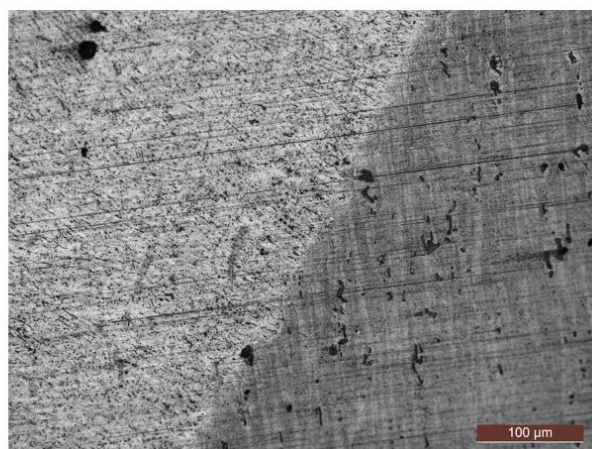
Слика 6.5.7: Микро структура у тачки Б1 [13]



Слика 6.5.8: Микро структура у тачки Б2 [13]



Слика 6.5.7: Микро структура у тачки Б3 [13]



Слика 6.5.8: Микро структура у тачки Б4 [13]

Други део експерименталног рада заснива се на истом типу завареног споја, са истом комбинацијом основних материјала, дакле EN-AW6082-T6 и EN-AW6005A-T6, исти је поступак заваривања (131-МИГ), исти заштитни гас (EN ISO 14175: I3-ArHe-30) исти параметри заваривања као у првом случају, али је изабран други **додатни материјал**, такође од произвођача „Böhler“ ознаке према стандарду EN ISO 18273: EN AW S-Al 5356 (Union AlMg5Cr (A)), жица на катуру, пречник жице је Ø1,2 mm.

Хемијски састав и механичке карактеристике додатног материјала приказане су у табелама 1.8.а и 1.8.б [15].

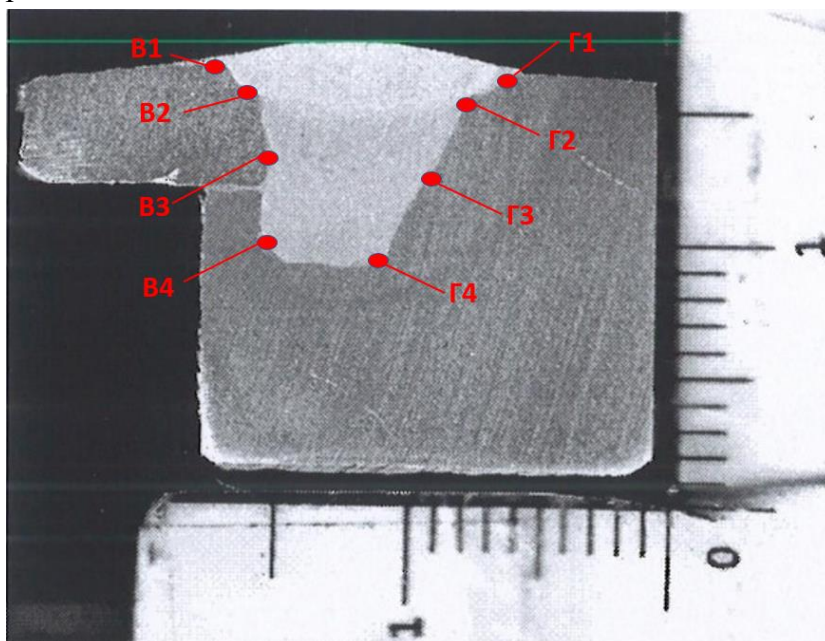
Табела 1.8.а: Хемијски састав додатног материјала EN AW S-Al 5356

Si [%]	Fe [%]	Mn [%]	Mg [%]	Cr [%]	Zn [%]	Ti [%]	Al [%]
0.04	0.14	0.14	4.8	0.13	< 0.01	0.10	ostatak

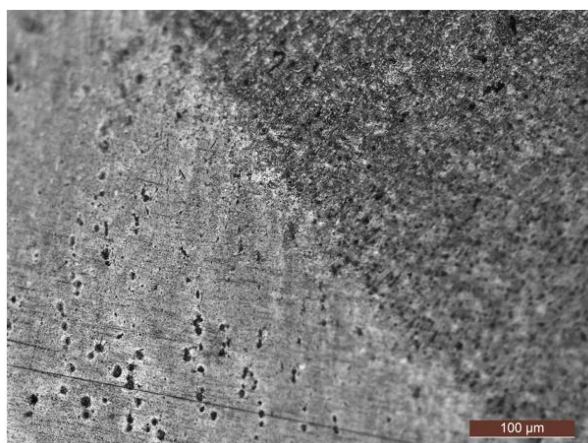
Табела 1.8.6: Механичке карактеристике додатног материјала EN AW S-Al 5356

Temperatura T [°C]	Napon tečenja Rp _{0.2} [MPa]	Zatezna čvrstoća Rm [MPa]	Izduženje A ₅ [%]
20	≥110	≥235	≥18

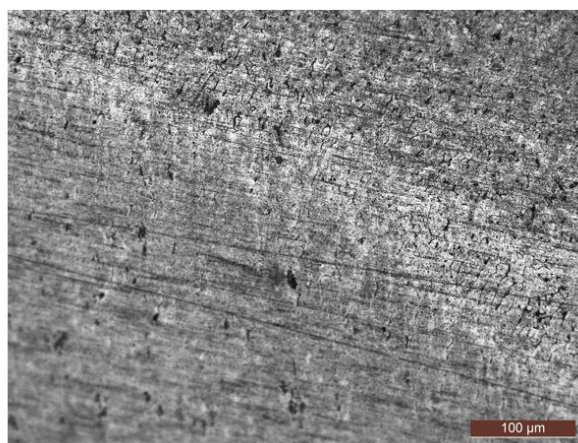
Испитане зоне другог узорка где је употребљен додатни материјал (EN AW S-Al 5356) приказане су на слици 6.6 где су на макроструктури обележене тачке које су снимане на микро анализи.



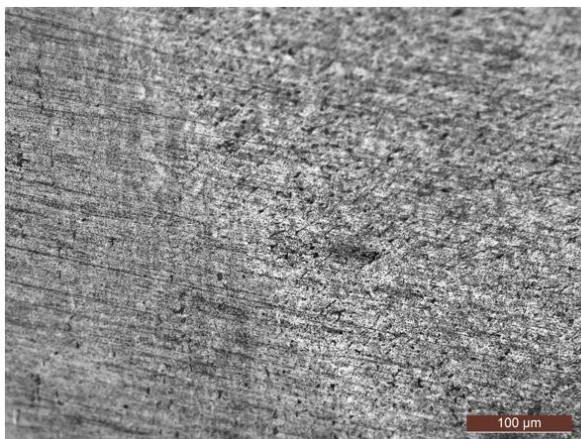
Слика 6.6: Испитане зоне на микро анализи [13]



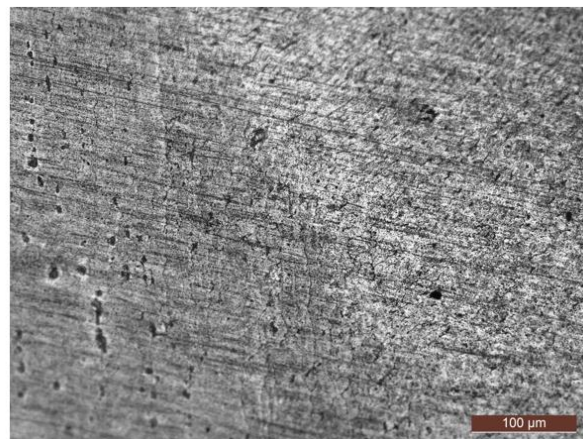
Слика 6.6.1: Микро структура у тачки B1 [13]



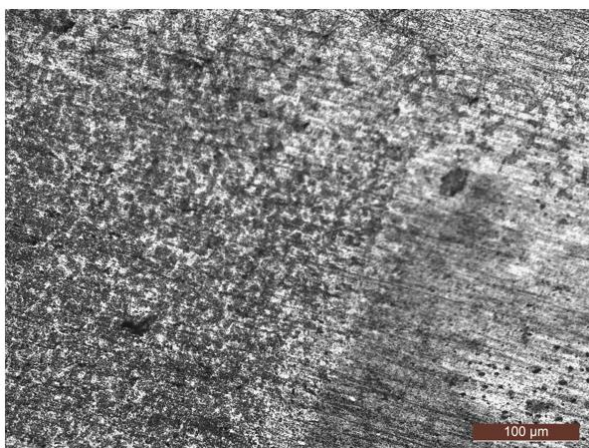
Слика 6.6.2: Микро структура у тачки B2 [13]



Слика 6.6.3: Микро структура у тачки B3 [13]



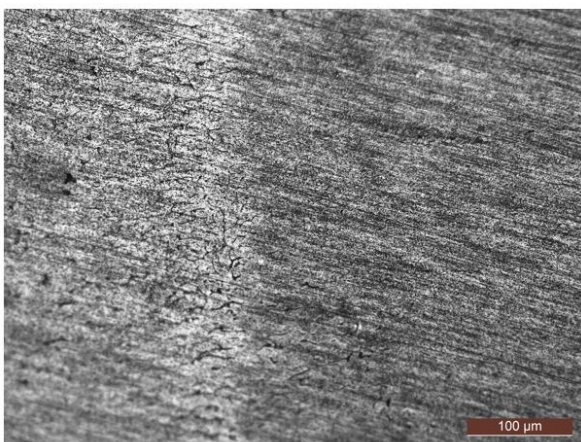
Слика 6.6.4: Микро структура у тачки B4 [13]



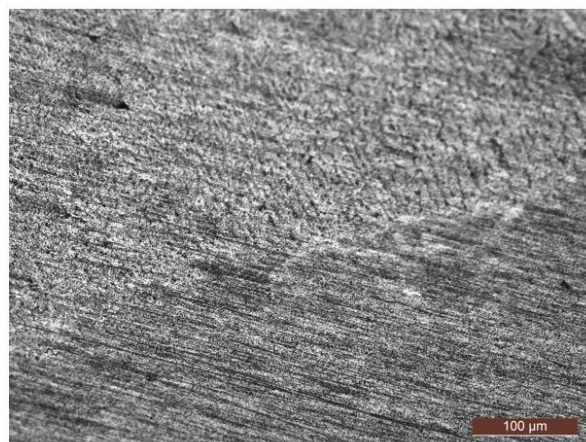
Слика 6.6.5: Микро структура у тачки Γ1 [13]



Слика 6.6.6: Микро структура у тачки Γ2 [13]



Слика 6.6.7: Микро структура у тачки Γ3 [13]



Слика 6.6.8: Микро структура у тачки Γ4 [13]

7. Закључна разматрања

Да би неки производ био комплетан, потребно је стално спровођење управљања квалитетом, у зависности од самог захтева за квалитетом неког производа, конструкције и сл. С тога, потребно је да сви запослени у предузећу имају ту свест о спровођењу и праћењу квалитета производа.

Кроз овај рад обухваћено је доста ставки које утичу на квалитет крајњег производа. С обзиром да се ради о заваривању, као једне од најзаступљеније технологије спајања материјала, свака ставка која улази у процес утиче на квалитет крајњег производа. Како је алуминијум и његове легуре као производни материјал све присутнији у разним гранама индустрије, тако се и производни процес технологија заваривања овог материјала све више развија и изучава.

У раду су обухваћене најбитније ставке у вези са технологијом заваривања алуминијума и његових легура, почевши од основног материјала, преко избора поступака за заваривање, избора додатног материјала, па и грешака које се јављају у завареним спојевима.

Грешке у завареним спојевима су и показатељ квалитета, и зато је битно вршење испитивања заварених спојева у циљу спречавања или ублажавања тих грешака а све то у циљу повећања квалитета.

Код железничких возила и њихових компоненти, квалитет заварених спојева зависи од одговорности компоненте, а самим тим и обим испитивања која се врше на одређеним спојевима. Поред стандардних, купац увек може да захтева додатна испитивања заварених спојева уколико сматра да је потребно.

У овом случају рађено је експериментално испитивање заварених узорака на споју два дела бочног носача шасије вагона од алуминијумских легура. Узета су у обзир два заварена узорка, истог типа завава и поступка заваривања, али су коришћена два различита додатна материјала, са циљем уклањања појаве микропрслина у металу шавова и зонама метала шавова.

На крају је вршено упоређивање резултата микро испитивања ова два узорка завареног споја, где се види разлика у микроструктури узорака заварених коришћењем различитих додатних материјала.

Може се закључити да при заваривању алуминијума и његових легура, поред многобројних наведених ставки у раду које утичу на квалитет завареног споја и самог метала шавова, једна од најбитнијих ставки је правилан избор додатног материјала за заваривање.

8. Литература

- [1] Инернет страница:
<https://www.grenef.com/zasto-je-aluminijum-materijal-21-veka/>, приступљено 06.08.2020.
- [2] Инернет страница:
<http://alupress.rs/nauka-u-praksi/nove-tehnologije/item/208-opste-karakteristike-aluminijuma-i-njegovih-legur>, приступљено 06.08.2020.
- [3] **AMM Manufacturing d.o.o**, MIND park
- [4] **Радовановић Ј.**, *Заваривање алуминијума и његових легура – теорија и пракса*, Милановић инжењеринг, Крагујевац, 2018.
- [5] **Станић Ј.**, *Управљање квалитетом производа*, Београд, 1991.
- [6] *Предавања са курса за Међународног инжењера заваривања – модул 4*, Центар за заваривање и заварене конструкције, Универзитет у Нишу, Машински факултет, Ниш, 2019.
- [7] **Милтеновић В.**, *Машински елементи – облици, прорачун, примена*, Универзитет у Нишу, Машински факултет, Ниш 2006.
- [8] **Brumbaugh J. E., Miller R.**: *Audel Welding Pocket Reference*; Wiley, 2007.
- [9] *Предавања са курса за Међународног инжењера заваривања – модул 2, Т2.20*, Центар за заваривање и заварене конструкције, Универзитет у Нишу, Машински факултет, Ниш, 2019.
- [10] *Предавања са курса за Међународног инжењера заваривања – модул 1*, Центар за заваривање и заварене конструкције, Универзитет у Нишу, Машински факултет, Ниш, 2019.
- [11] Интернет адреса: www.cloos.de, приступљено 02.09.2020.
- [12] *Предавања са курса за Међународног инжењера заваривања – модул 2, Т.2.23*, Центар за заваривање и заварене конструкције, Универзитет у Нишу, Машински факултет, Ниш, 2019.
- [13] **„IMW“ институт д.о.о. Лужнице**, MIND PARK
- [14] Атест основног материјала, *„Aalco Metals Ltd“*, 2018.
- [15] Интернет адреса: www.voestalpine.com/welding, приступљено 22.09.2020.