

Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу



Назив студијског програма: Машинско инжењерство

Ниво студија: Мастер академске студије

Модул: Производно машинство

Предмет: Наука о заваривању

Број индекса: 363/2015

Марина З. Арнаутовић

Избор најповољније технологије заваривања алуминијума и његових легура

Мастер рад

Комисија за преглед и одбрану:

1. Проф. др Вукић Лазић- ментор

2. _____

3. _____

Датум одбране: _____

Оцена: _____

У оквиру овог мастер рада кандидат треба да опише основне карактеристике алуминијума и да посебно истакне особине заварљивости овог материјала. Неопходно је и истаћи чињенице о заваривању уопште, као и појавама приликом заваривања алуминијума и његових легура и у складу са тим навести практичан пример избора најповољније технологије заваривања ове врсте матала, а и његових легура.

Препоручена литература:

1. М. Јовановић, Д. Адамовић, В. Лазић, Н. Ратковић: *Машински материјали*, универзитетски уџбеник, Машински факултет у Крагујевцу, ИСБН 86-80581-55-0, Крагујевац, 2003.
2. М. Јовановић, В. Лазић: *Технологија ливења и заваривања*, Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу, ИСБН 978-86-6335-011-3, Крагујевац, 2015
3. М. Јовановић, Д. Адамовић, В. Лазић: *Приручник за технологију заваривања*, Југословенско друштво за трибологију, YU ИССН 0513-85232, Крагујевац, 1995.

...

Крагујевац, март, 2017.

Ментор:

Проф. др Вукић Лазић

Abstract

This paper work first described the method of connecting parts by welding and then the basic characteristics of aluminum and its alloys. In addition to the basic facts about its weldability, the selection of the best welding technology for this type of metal has been described, too. An example of the selection of the most convenient welding technology is given on a practical case, that is, during the conquering of the mentioned technology in the aluminum processing industry and its alloys.

Key words: welding, aluminum, welding technology, TIG, MIG method

Резиме

У оквиру овог рада је најпре описана метода спајања делова заваривањем, а потом и основне карактеристике алуминијума и његових легура. Осим основних чињеница о његовој заварљивости, такође је описан и избор најповољније технологије заваривања ове врсте метала. Пример избора најповољније технологије је дат на практичном примеру, односно освајање поменуте технологије у индустрији обраде алуминијума и његових легура.

Кључне речи: заваривање, алуминијум, технологија заваривања, TIG, MIG метода

Interni memorandum

Od: Marina Arnautović

Za: Tehnički direktor

Datum: 22.08.2017

Predmet: Master rad „Izbor najpovoljnije tehnologije zavarivanja aluminijuma i njegovih legura“

Molim Vas da mi odobrite korišćenje dokumentacije za zavarivanje podsklopa „LANGTRAEEGER ÖBB“ radi izrade i odbrane Master rada na Fakultetu inženjerskih nauka, u Kragujevcu.

OBRAZLOŽENJE:

Pošto sam odradila praksu, a potom i zasnovala radni odnos u „Milanović Inženjeringu“, u službi zavarivanja, obraćam Vam se sa željom da iskustvo i znanje koje sam do sada stekla iskoristim u cilju izrade i odbrane Master rada baš iz oblasti zavarivanja.

S poštovanjem,

Marina Arnautović, maš.inž.

Saglasan:

Bronko Spasić
B. Spasić



Tehnički direktor „Milanović Inženjeringa“

Предговор

Искрену захвалност за избор теме овог Мастер рада, велику помоћ и сугестије приликом израде истог, дугујем ментору, проф. др Вукићу Лазићу, редовном професору на Факултету инжењерских наука у Крагујевцу. Захваљујем се и колеги Душану Арсићу на указаној помоћи.

Реализација овог рада је омогућена и захваљујући фирми „Милановић Инжењеринг“ у којој сам најпре била на стручној пракси, а затим примљена у радни однос - у служби заваривања. Односно, значајан допринос су пружили координатори заваривања у оквиру ове фирме и којима се најсрдачније захваљујем.

Такође, велику захвалност дугујем и својој породици на помоћи, стрпљењу и разумевању при изради овог рада.

Садржај

1. Увод.....	7
2. Алуминијум и његове легуре.....	11
2.1 Технички чист алуминијум.....	14
2.2 Легуре алуминијума	17
2.2.1 Структура и термичка обрада легура алуминијума	19
2.2.2 Легуре алуминијума за прераду деформисањем (ковне легуре).....	22
2.2.3 Легуре алуминијума за ливење	26
2.3 Означавање легура алуминијума.....	29
2.3.1 Фамилије алуминијумских легура за пластично деформисање (ковање), примена и заваривање	30
3. Оцена заварљивости алуминијума и његових легура	33
4. Методе заваривања алуминијума и његових легура (GPZ, REL, TIG, MIG)	44
4.1 Гасни поступак заваривања (GPZ)	44
4.2 Ручно-електролучно заваривање (REL).....	45
4.2.1 REL заваривање алуминијума и његових легура	46
4.3 TIG заваривање алуминијума и његових легура	49
4.3.1 Оцена заварљивости легура алуминијума TIG поступком:.....	55
4.4 MIG поступак заваривања алуминијума и његових легура.....	58
4.4.1 Извор напајања и помоћна опрема за MIG поступак заваривања	59
5. Избор технологије заваривања алуминијума и његових легура	64
5.1 Избор технологије заваривања за пројекат „Langtraeger ÖBB“	66
5.1.1 План процеса заваривања	69
5.1.2 Квалификација процеса заваривања – WPQR и претходна спецификација технологије - pWPS	75
5.1.3 Спецификација поступка заваривања – WPS.....	86
5.1.5 План израде радних проби.....	91
5.1.7 План контроле зава – SPP	96
5.1.8 Технолошки поступак	96
5.1.9 Атести заваривача.....	103
5.1.10 Атести уређаја	104
5.1.11 Протокол испитивања	107
5.1.12 Извештај о испитивању без разарања – NDT (Non Destructive Testing).....	107
6. Закључак	108
7. Литература.....	109

1. Увод

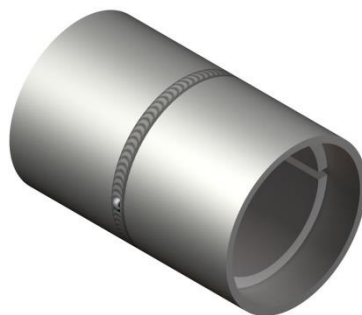
Заваривање има веома широку и веома разнородну примену у машинству и другим индустријским гранама. Омогућује израду машинских делова и читаве конструкције спајањем делова једноставног облика, претежно израђених од железарских полупроизвода - лимова, плоча, профила или у комбинацији са одливцима и отковцима. Примењује се и при репаратури или регенерацији похабаних и оштећених делова или целе опреме.

Заваривање је процес израде нераздвојивог 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. Заваривањем се успешно спајају: метал и метал, неметал и неметал, као и неметал и метал. Ипак, најширу примену има спајање метала.

Суштина заваривања метала јесте образовање металуршког споја, тј. споја створеног дејством међуатомских привлачних сила, које су узрок повезивања површине метала, то значи сила које одржавају веома ефикасно узајамне положаје и растојања атома који образују кристалне решетке унутар дела. Истовремено, обезбеђују стални облик металних предмета (супротно од механичких операција-закривљања, везе остварене помоћу завртњева и др).

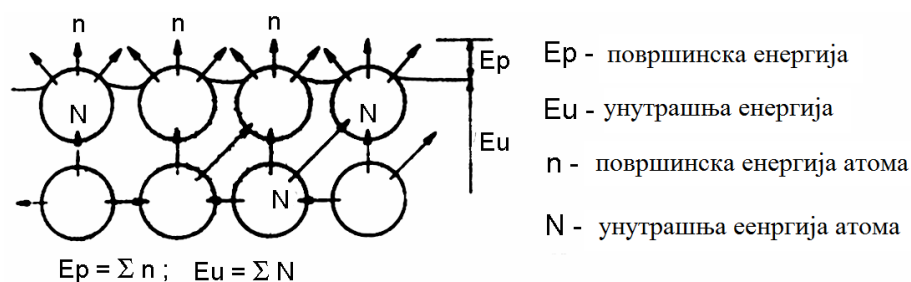
Да би између атома граничних површина два метала почеле деловати привлачне силе потребно је приближити атоме на размак мањи од параметра кристалне решетке. Ако се то оствари по целој додирној површини два метала нестаће граница између њих и добиће се мање или више савршен шав (спој) [1].

На слици 1.1 је приказан пример завареног споја две алуминијумске цеви.



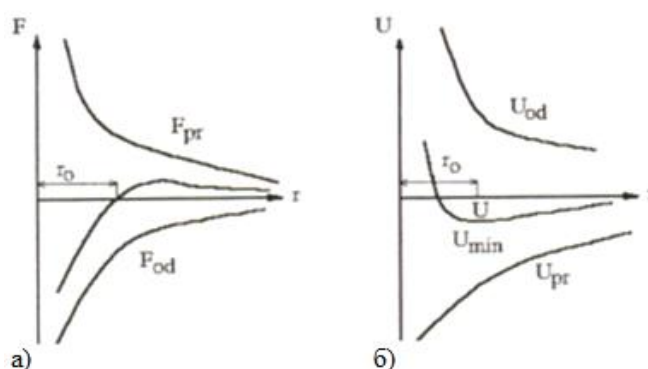
Слика 1.1 Две алуминијумске цеви спојене поступком заваривања у заштити инертног гаса [2]

У случају када су спољне енергетске побуде довољно велике може доћи до савлађивања тзв. енергетске баријере између додирних површина два предмета метала, а тиме и образовања заједничке металне везе, услед активације валентних електрона и формирања заједничког електронског облака (слика 1.2) [1].



Слика 1.2 Приказ енергетског стања атома [1]

Ниједним поступком механичке обраде, чак ни полирањем дијамантским прахом не може се остварити да средња висина неравнина буде мања од параметра кристалне решетке, већ се довођењем спољне енергије (топлоте) или механичког притиска атоми могу довољно примаћи да настане атомска веза. У случају заваривања притиском за време приближавања два тела настају електростатичке силе привлачења и одбијања услед дејства јона и електрона распоређених на граничним површинама и гравитациона сила. На неком растојању r_0 укупне силе привлачења и одбијања, F_{pr} и F_{od} , су у равнотежи (слика 1.3а), при чему настаје највећа разлика одговарајућих потенцијалних енергија, U_{pr} и U_{od} (слика 1.3б), што се назива енергетском баријером. Равнотежно међуатомско растојање r_0 приближно одговара параметру кристалне решетке, а даљим приближавањем граничних површина настаје метална веза [1].



Слика 1.3 Зависност сила (а) и енергија (б) од међуатомског растојања [1]

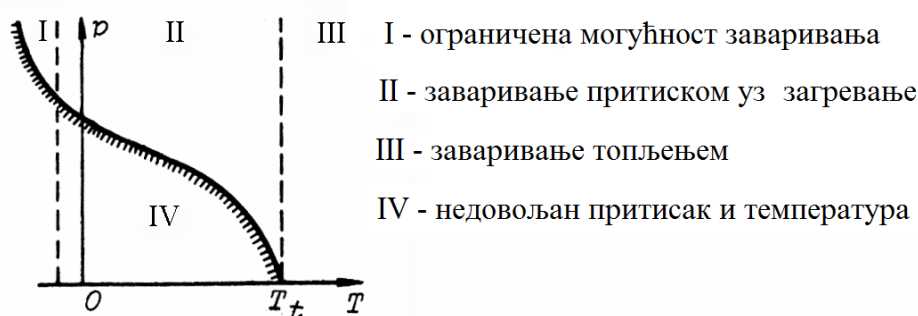
Стога произлази да се спајање заваривањем може остварити само истовременим деловањем следећих фактора [1]:

- Међусобним приближавањем делова (слика 1.4 - а),
- Довођењем потребне количине енергије, нпр. притиска (слика 1.4 - б) и
- Дифузијом и прекристализацијом (слика 1.4 - в).



Слика 1.4 Фазе образовања споја притиском [1]

Уколико се допунски доведе топлотна енергија, делови се загревају и омекшавају, а повећава се њихова пластичност, побољшавају дифузиони процеси па тиме расте и могућност да површински атоми лакше савладају енергетску баријеру. Из овога произлази да се са физичке тачке гледишта спајање заваривањем може остварити деловањем притиска, довођењем топлоте и комбиновано (довођењем топлоте и дејством притиска). Услови за образовање завареног споја могу се приказати и помоћу дијаграма притисак - температура (слика 1.5). За сваки метал се могу конструисати овакви дијаграми и одредити граничне вредности и подручја притисака и температуре потребних за остварење споја [1].

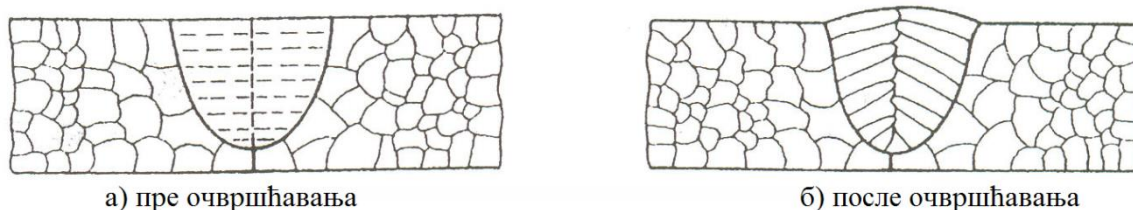


Слика 1.5 Приказ граничних параметара заваривања (T_t - температура топљења) [1]

Према појавама које условљавају образовање завареног споја разликују се [1]:

- Заваривање топљењем,
- Заваривање притиском и
- Комбиновано (термомеханичко) заваривање.

Заваривање топљењем је процес нераздвојивог спајања завариваних делова при температурама на месту спајања вишим од температуре топљења, уз примену додатног материјала или без њега (слика 1.6). За заваривање топљењем неопходни су снажни извори топлоте за локално топљење метала. Тако се образује метални растоп - заваривачко купатило, чијом кристализацијом настаје шав. Практично се користе покретни извори топлоте који се крећу дуж линије споја. У овом случају енергетска баријера је савладана, јер се атомске везе успостављају хлађењем и очвршћавањем металне купке (металног купатила) [1].



Слика 1.6 Заваривање топљењем [1]

Заваривање притиском је процес спајања применом механичког дејства силе, статичког или динамичког карактера (слика. 1.3).

У пракси ови процеси спајања нису увек јасно разграничени. Ако се код појединих метода допуњују - спајање спада у поступке **термомеханичког заваривања**.

Исто тако, у методе сродне заваривању убрајају се: термичко резање (сечење), жлебљење, наваривање, метализација, а такође и лемљење и лепљење [1].

Због бројних начина и поступака заваривања постоји већи број могућих класификација, према [1]:

- Намени (заваривање, наваривање, метализација);
- Агрегатном стању (топљењем, притиском);
- Врсти електрода (топливом, нетопливом, голем, обложеном, са језгром итд.);
- Заштити растопа (без заштитне атмосфере или у заштитној атмосфери - инертног или активног гаса);
- Стању електричног лука (са отвореним луком, покривеним луком итд.);
- Врсти енергије (хемијска, електрична).

У поступке заваривања **притиском** спадају: хладно заваривање, заваривање трењем, заваривање ултразвуком, заваривање експлозијом и др.

У поступке заваривање **топљењем** спадају: гасно заваривање (заваривање пламеном или окси-ацетиленско заваривање), електричним луком обложеном електродом (или ручно - електролучно заваривање - РЕЛ, понекад се у литератури означава и као Е - заваривање), аутоматско заваривање под прахом (ЕПП), електричним луком у заштитном гасу (MIG, MAG, TIG), електролучно под троском (ЕПТ), термитно (алуминотермијско) заваривање, плазмено заваривање, заваривање електронским снопом, ласерско заваривање и др.

Термомеханичко заваривање остварује се превођењем зоне спајања у стање пластичности и затим увођењем силе притиска. Сила притиска може бити ударна (ковачко заваривање), или се уводи постепено: заваривање електричним отпором, плазмено заваривање притиском, термитно заваривање притиском, индукционо заваривање притиском и др.

Подела поступка заваривања по **методи заштите**: заваривање у ваздуху, вакууму, заштитним гасовима, под прахом, са топитељем и са комбинованом заштитом. Од заштите могу се применити: активни гасови (CO_2 , N_2 , водена пара, смеша активних гасова), инертни гасови (Ar , He , $\text{Ar} + \text{He}$), такође смеша инертних и активних гасова [1].

Најчешће врсте контроле заварених спојева су [1]:

- Визуелна (очна),
- Магнетна,
- Пенетрантна,
- Рендгенска (х или γ зрацима),
- Ултразвучна,
- Металографска и др.

2. Алуминијум и његове легуре

Алуминијум је елемент који спада у групу обојених (нежелезних) метала. Нежелезни метали је скупни назив за све метале осим гвожђа. Карактерише их велика примена због добре електричне и топлотне проводљивости (Cu, Al), мале тежине (Mg, Al, Ti), високе температуре топљења (W, Mo, Ta), специјалне физичке способности (Ti), корозивне отпорности (Ti, Cu, Al) и др [3, 28].

Основна подела нежелезних метала је на основу њихове специфичне тежине [3]:

- Лаки нежелезни метали ($\rho < 5000 \text{ kg/m}^3$) у које спадају Li, Mg, Be, Al, Ti;
- Тешки нежелезни метали ($\rho > 5000 \text{ kg/m}^3$) у које спадају сви остали нежелезни метали.

Примена лаких метала је највише заступљена у авио-индустрији и транспортној техници и за друге примене где је битна што мања тежина. Управо овој групи припада алуминијум, који представља најважнији конструкциони материјал, поред магнезијума и титана. Улогу легирајућих елемената имају берилијум и литијум који је најлакши од свих метала ($\rho^{\text{Li}} = 0.533 \text{ g/cm}^3$) [3].

Подела нежелезних метала према температури топљења (T_f) [3]:

- Нискотопљиви нежелезни метали (T_f до 600°C): Zn, Ca, Sn, Pb, Sb, Bi, Li, In;
- Средњетопљиви нежелезни метали (T_f од 600 до 1538°C): Al, Fe, Mn, Cr, Ni, Cu;
- Високотопљиви нежелезни метали (T_f преко 1538°C): Ti, Zr, V, Nb, Cr, Mo, W, Ta.

Највећу примену и највећи обим производње управо има алуминијум (слика 2.1) и његове легуре [3].



Слика 2.1 Изглед котуре алуминијуске траке [4]

Алуминијум је метал око три пута лакши од гвожђа и поседује густину од 2.7 g/cm^3 . Поступак добијања овог метала се изводи из руде боксита сложеним електрометалуршким методама. Боксит се претежно састоји од алуминијумових хидроксида и примеса оксида силицијума SiO_2 , затим оксида и хидроксида гвожђа. Најчешће је црвене боје и ситнозрнасте структуре.

Боксит у највећим количинама настаје на месту оксидације алуминосиликатних стена у топлим крајевима, тако да је ова руда најраспрострањенија у Аустралији, где се и највише експлоатише [3, 5, 28].

Алуминијум се одликује добром електричном ($38 \text{ MS}\cdot\text{m}^{-1}$) и топлотном проводношћу ($209 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$) [3].

На слици 2.2 је приказана руда боксита.



Слика 2.2 Изглед руде боксита [6]

Алуминијум је неалотропски метал који при загревању задржава површински центрирану кубну кристалну решетку (Al) све до температуре топљења; може се обрађивати деформисањем на топло и хладно, отпоран је атмосферску корозију, док му је механичка отпорност релативно ниска. Температура топљења алуминијума износи око 660°C . Примесе највише заскупљене у алуминијуму су Fe и Si (главни легирајући елемент у ливачким легурама алуминијума). Ове примесе потичу из почетних сировина, а тешко се одстрањују [3].

У табели 2.1 су дате механичке и технолошке особине хемијски чистог Al (99,99%) и технички чистог Al (99,5%), односно металуршког алумијума. На основу података из дате табеле се може уочити утицај чистоће Al на његове механичке особине. И мале примесе негативно утичу на технолошке особине алуминијума и на његову отпорност на корозију [3].

Табела 2.1 Особине чистог Al у жареном стању при температури 20°C [3]

Механичке особине	Al 99.99	Al 99.5
Технички напон течења ($R_{p0.2}$, МПа)	15	50
Јачина на кидање - затезна чврстоћа (R_m , МПа)	50	80
Издужење ($A_{5.65}$, %)	45	30
Суужење – контракција (Z , %)	90	70
Модул еластичности (E , МПа)	71000	71000
Тврдоћа (НВ)	15	20
Технолошке особине		
Обрадивост на хладно	Веома добра	
Обрадивост на топло	Веома добра	
Обрадивост резањем	Добра	
Ливкост	Отежана	
Заварљивост	Веома добра, условна	
Лемљивост	Добра	
Електрична и топлотна проводљивост	Добра	
Корозивна отпорност	Добра	
Декоративна способност	Добра	

Садржај гвожђа изнад 0.05% (граница α - чврстог раствора) узрокује појаву еутектикума ($\alpha + Al_3Fe$) који погоршава обрадивост деформисањем и отпорност на корозију. Растворљивост Si у Al (α - чврст раствор) је вишег реда него гвожђа, а изнад граничне растворљивости 11.7% Si јављају се груби игличасти кристали силицијума (фаза β) који на особине алуминијума утичу слично као и еутектикум ($\alpha + Al_3Fe$). При истовременој појави примеса Fe и Si снижава се чистоћа алуминијума на 99.5% и мање, па се уместо фазе β (чистих кристала Si) образује комплексна фаза Al_mFe_nSi . Ефикасно уситњавање зрна ливеног Al постиже се додавањем ситних честица Ti које у растопу стварају више центара кристализације. Алуминијумски одливци склони су ка порозности због растварања водоника који потиче из влажних пешчаних калупа пошто се при ливењу у сувим калупима, у одливцима при хлађењу око солидус температуре појављују прслине на топло; тај проблем се не јавља при ливењу у кокилама било гравитационо или под притиском. Сличне тешкоће настају и при заваривању алуминијумских легура, па се морају применити технологије које дају веома низак садржај водоника у металу шави (углавном заваривање у заштити аргона, TIG или МИГ) [3, 7].

2.1 Технички чист алуминијум

Примена

Технички чист алуминијум (Al 99,5) се одликује добром електричном проводљивошћу, тако да је његова примена заступљена на далеководима и на нисконапонској мрежи за пренос електричне струје. Пошто су такве жице мале јачине, оне се упредају око носеће челичне жице (затезне јачине око 1200 МПа). Примењује се и за тролејбуске мреже, као и за немотаје статора код генератора и електромотора [3].

Поред електричне, алуминијум поседује и добру топлотну проводљивост, затим велику отпорност на штетно деловање великог броја хемикалија и животних намирница, тако да овај метал има велику примену у хемијској и прехамбеној индустрији, као и у домаћинству. Алитирање је поступак метализације наношењем слојева алуминијума који се најчешће јавља у бродоградњи, вагоноградњи и архитектури. Технички чист алуминијум се користи као дезоксидатор у металургији челика и као састојак мешавине за термитно заваривање [3].

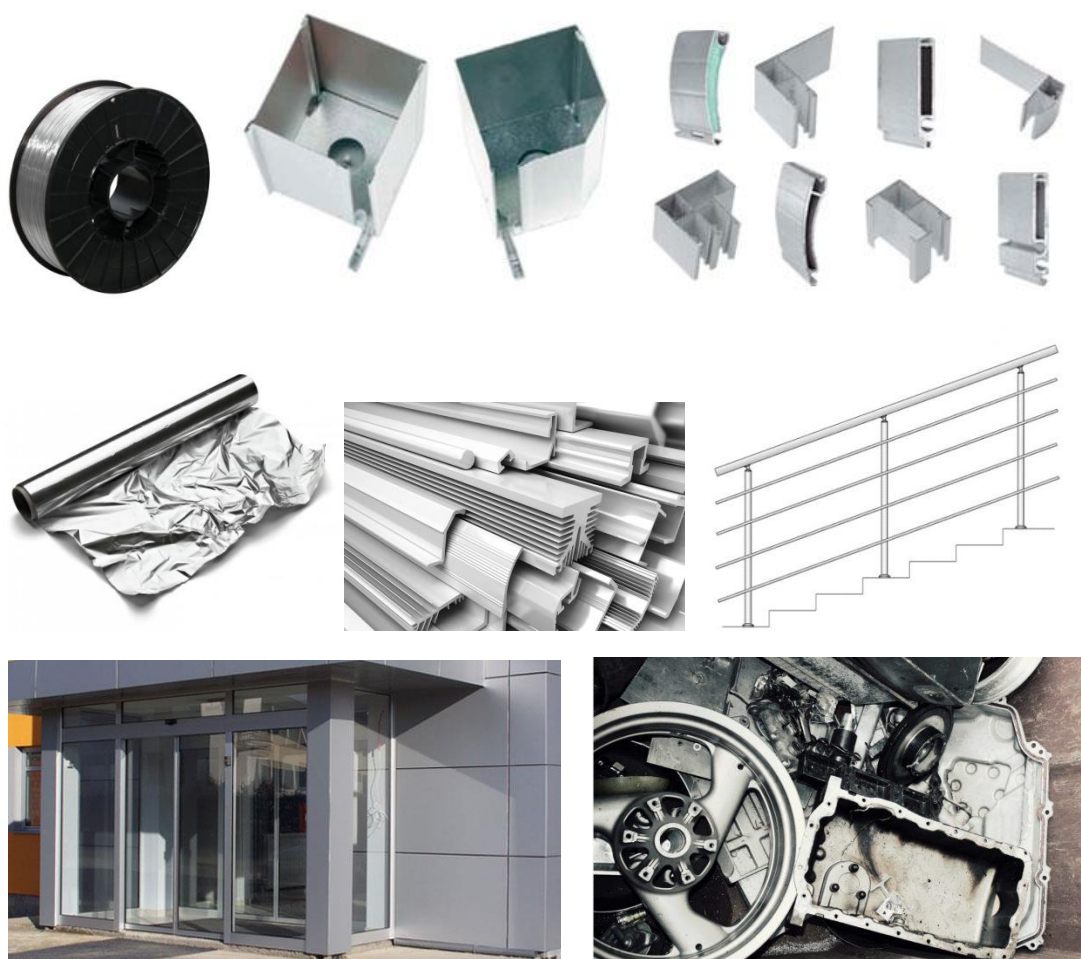
Поступком елоксирања се вештачки поправља природна отпорност алуминијума на корозију, односно повећава се почетна дебљина спонтано формиране оксидне скраме (превлаке) (Al_2O_3) са 0.10 на 10 μm , ова примена је карактеристична за хемијску и прехамбену индустрију [3].

Високи специфични однос чврстоће према тежини омогућава да је алуминујум веома заступљен код ваздухоплова, цистерни, камиона, аутомобила итд, као и у свим применама где су битне мала маса и штедња енергије при превозу. Нарочито је у последње време приметан тренд повећања учешћа у ауто и камионској индустрији. Због велике топлотне проводљивости, користи се и за посуде за кување у домаћинству, али и за клипове у моторима са унутрашњим сагоревањем. Дobar је проводник електричне струје (око 63% од оне код бакра), али је далеко лакши од бакра. Користи се у грађевинарству, за носеће конструкције, за украсе, за прозоре и тсл. Што су температуре ниже, алуминијум је јачи, а задржава своју жилавост па се користи у криогеној индустрији. Лако се обликује и извлачи, па се веома користи у прехрамбеној индустрији као за конзерве за пића и др. [8].

Добра страна је и та што се алуминијум може рециклирати, па је и због тога данас веома пожељан метал за даљу примарну прераду. Могуће је добити доста легура, у облику одливака, отковака, екструдираних профила, фолија, лимова, плоча итд [8].

Од укупне количине произведеног технички чистог алуминијума, око 35% се прерађује у полупроизоде, а око 65% служи за производњу алуминијумских легура (силумина, дурала, супедурала и др) [3].

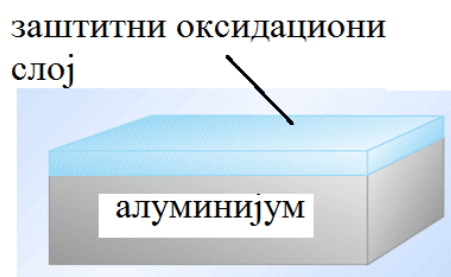
На слици 2.3 су дати неки од примера примене алуминијума (жице, профили, фолије, столарија, ауто-делови и сл).



Слика 2.3 Различити примери примене алуминијума [9]

Отпорност алуминијума на корозију

Отпорност алуминијума према корозији се постиже природним образовањем оксида Al_2O_3 (слика 2.4) који чини алуминијум стабилним на ваздуху и у морској води. У корозивно активним срединама алуминијум боље одолева корозији уколико је чистији. Међутим, подлеже електрохемијској корозији у хидроксидима (NaOH, KOH) и киселинама халогених елемената: хлороводоничној (HCl) и флуороводоничној (HF) [8, 10].



Слика 2.4 Алуминијум са образованим оксидним слојем који штити материјал [11]

Механичке особине чистог алуминијума

Прерадом на хладно је могуће технички чистом алуминијуму повећати својства отпорности, који иначе има релативно ниска својства. На величину деформационог ојачања, при истом степену прераде, утиче чистоћа алуминијума (слика 2.5 - а), ток опорављања, односно пораст истељивости - $A_{5.65}$ и смањење јачине - R_m при рекристализационом жарењу (слика 2.5 - б). Степен прераде на хладно се дефинише односом [3]:

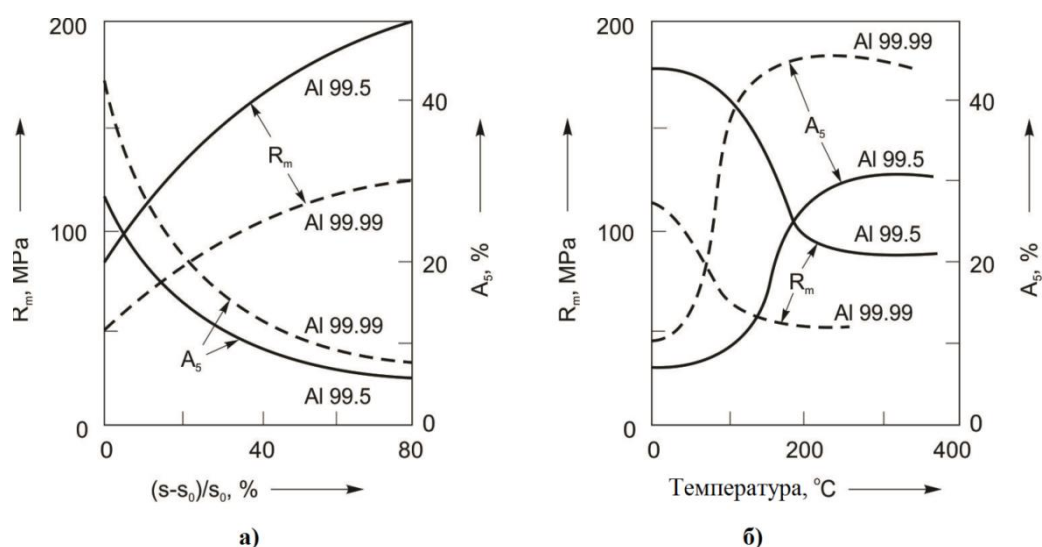
$$\frac{(s - s_0)}{s_0}, \quad (2.1)$$

Где је [3]:

s_0 - почетна дебљина деформисаног лима, траке и тсл.

s - крајња дебљина деформисаног лима, траке и тсл.

У току опорављања настаје полигонизација (издужена зрна постају равноосна), што успорава појаву и раст нових зрна. Код веома чистог алуминијума и већих степена хладне прераде те промене започињу већ и на собној температури. Рекристализациона температура Al 99.5 при средњем степену прераде, износи око 150°C (слика 2.3 - б). Практично се термичка обрада (рекрстализационо жарење) алуминијума обавља на температури 300-400°C [3, 10].



Слика 2.5 Промена јачине R_m и истељивости $A_{5.65}$ технички чистог алуминијума:

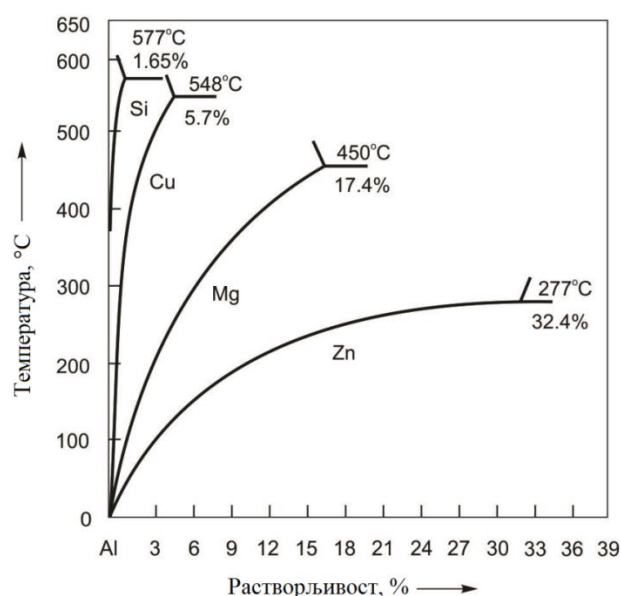
а) у зависности од степена прераде на хладно $\frac{(s - s_0)}{s_0}$, б) у зависности од температуре

рекрстализационог жарења ($\frac{(s - s_0)}{s_0} = 50\%$, време жарења 1 h) [3]

Прерада алуминијума на топло, како је уосталом то правило и код других метала, одвија се изнад температуре рекристализације, углавном при 350-500°C. Алуминијумски полупроизводи добијени хладним деформисањем: шипке, профили, цеви, лимови, траке и жице израђују се од топионичких производа - гредица или слабова добијених континуалним ливењем. Жице већег пречника израђују се у две фазе: најпре ваљањем, а потом вучењем. Жице мањих пречника обликују се вучењем на хладно кроз различите калибрисане отворе у челичној плочи [3].

2.2 Легуре алуминијума

Механичке и технолошке особине чистог алуминијума (пластичност и ливкост) се могу поправити легирањем елементима: Si, Cu, Mg, Mn, Zn итд, који граде са алуминијумом ограничене чврсте растворе. Гранични чврсти раствори Si, Cu, Mg и Zn у Al дати су на слици 2.6 [3].

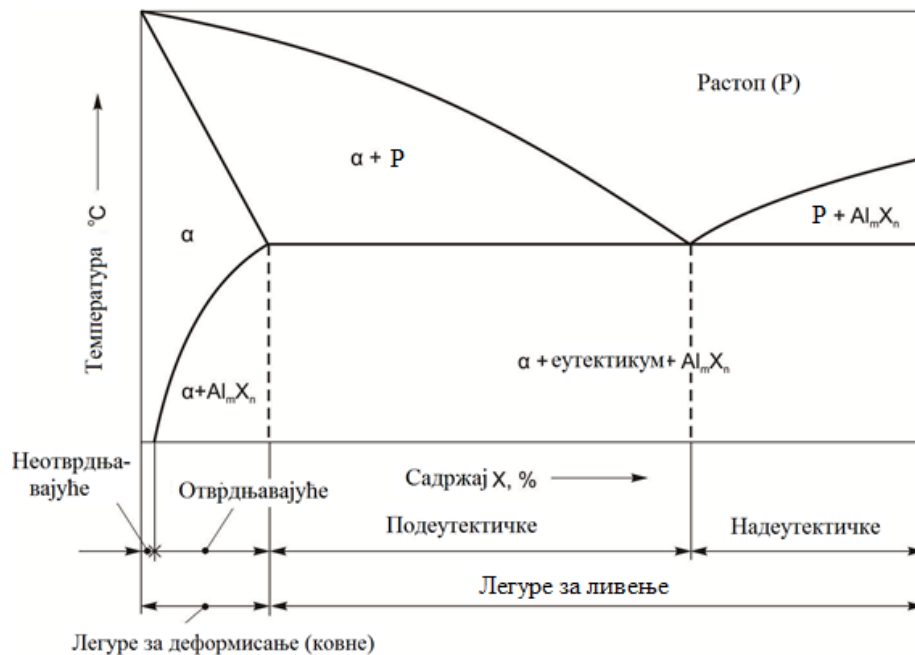


Слика 2.6 Растворљивост Si, Cu, Mg и Zn у алуминијуму [3]

О подобности легура алуминијума за пластичну прераду може се закључити разматрањем равнотежног дијаграма Al - легирајући елемент. У циљу упрошћења приказан је уопштени бинарни систем Al-X (слика 2.7), мада су алуминијумске легуре претежно вишекомпонентне. Хомогене легуре, или легуре које загревањем могу прећи у хомогено стање (α - фаза), имају добру истегљивост па су погодне за пластичну обраду (ваљање, ковање, пресовање); уопштено се каже да су ковне. Легуре које у структури садрже еутектикум погодне су за ливење.

Код неких легура на собној температури настаје преципитација тј. таложно ојачавање (излучивање честица унутар металних зрна).

Преципитационо ојачавање се као вид термичке обраде понекад избегава, јер пораст механичких особина може бити праћен падом корозивне отпорности [3].



Слика 2.7 Шема бинарног равнотежног дијаграма Al - X (X - легирајући елемент) [3]

Из дијаграма на слици 2.7 могу се уочити две врсте Al- легура [3]:

- Легура алуминијума за деформисање (термички необрадиве легура и термички обрадиве легура) и
- Легура алуминијума за ливење (ливачке легура).

Примери примене ковних и ливачких легура су дати на слици 2.8 (четири примера).



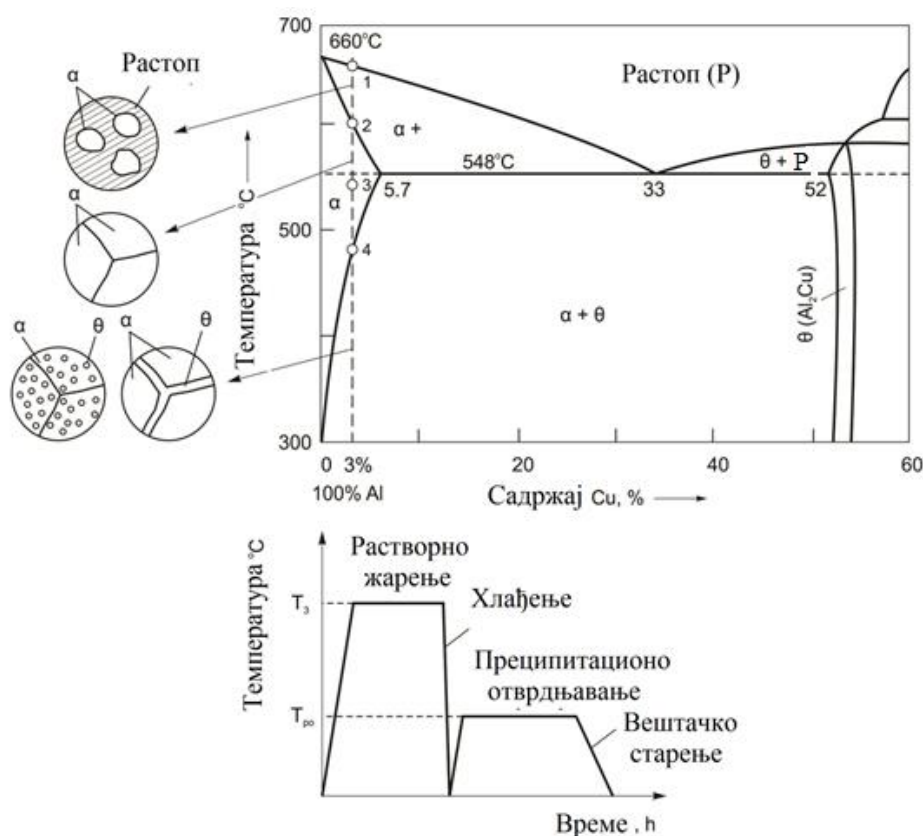
Слика 2.8 Примери примене ковних (десно) и ливачких (лево) легура [12]

2.2.1 Структура и термичка обрада легура алуминијума

Одливци алуминијумских легура, па чак и неке легуре у стању после прераде на хладно, често имају малу јачину, али велику истегљивост. Помоћу термичке обраде која се састоји из загревања предмета до нешто изнад солвус линије, држања (прогревања) при тој температури и затим брзог хлађења у води, повећава се јачина и на тај начин задржава презасићен чврст раствор и на околној температури. Термички третман који обухвата загревање, прогревање (тзв. растворно жарење) и хлађење назива се *презасићење*. После тога одвијају се веома сложени металуршки процеси таложног (преципитационог) ојачавања, које се назива *старење*. Ова појава донедавно је објашњавана дисперзионим излучивањем нове фазе из презасићеног чврстог раствора. Типична термичка обрада већине Al- легура управо је преципитационо отврдњавање, настало таложењем фино диспергованих честица које делују као препрека кретању дислокација што ојачава легуру [3].

Суштина микроструктурних процеса који се одвијају при таложном ојачању може се најлакше уочити на примеру бинарног система Al-Cu (слика 2.9). Растворљивост Cu у чврстом раствору α опада са 5.7% при 548°C на свега 0.10% на собној температури, чиме је испуњен основни услов за образовање презасићеног чврстог раствора при брзом хлађењу из α - зоне. Загревањем хетерогене легуре ($\alpha + \theta$) која има 3% Cu, се може превести у хомогену (α - фазу); прегревање у тачки 3 зове се *растворно жарење*. При брзом хлађењу α - фаза ће се задржати и на околној температури.

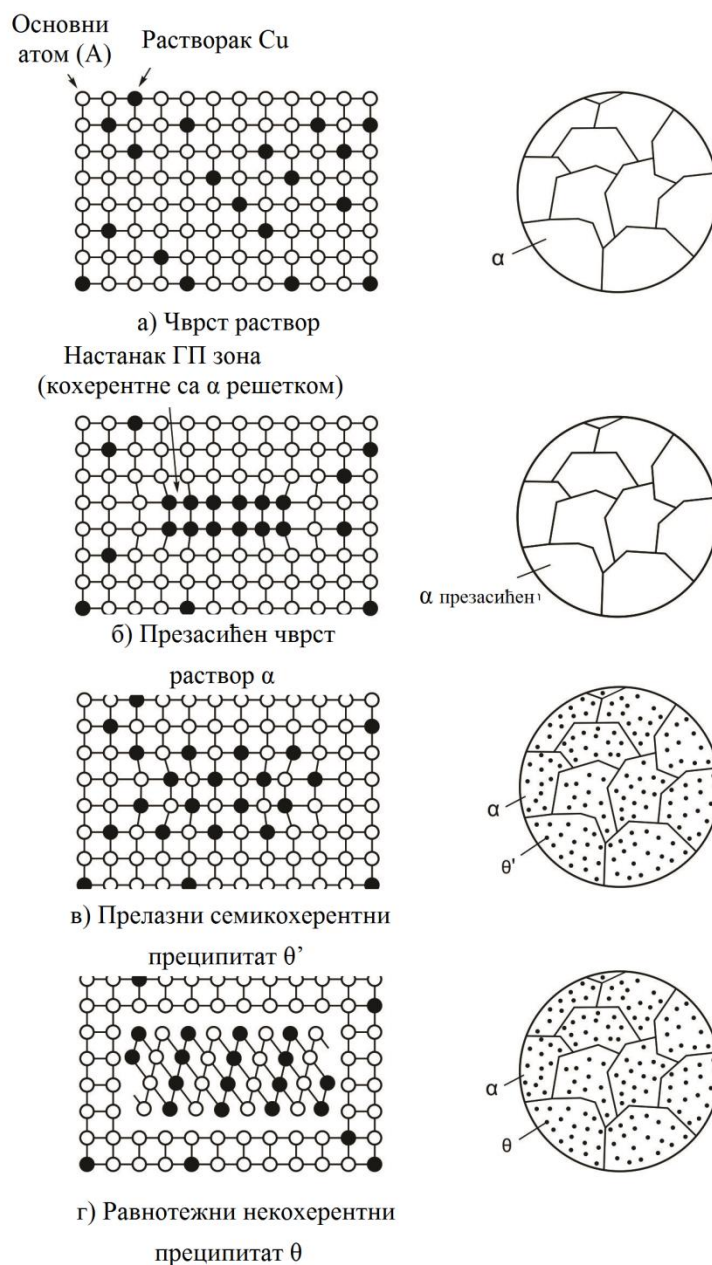
Описано стање је нестабилно, па ће убрзо почети излучивање једињења Al_2Cu , тј. θ - фазе по границама алуминијумских зрна. Релативни удео θ - фазе расте ако се почетни састав легуре приближава максималној растворљивости бакра (5.7%) у α - фази (слике 2.6 и 2.9) [3].



Слика 2.9 Бинарни равнотежни дијаграм Al - Cu (горе) и шематски приказ температура растворног жарења и отврдњавања (доле) [3]

На слици 2.10а је дата кристална мрежа алуминијума у којој су по закону случајне расподеле смештени атоми бакра. На доњим мрежама (слика 2.10б,в,г) виде се Гиније-Престонове зоне (Guinier-Preston, 1937) - тзв. ГП-зоне, у којима се у току старења групишу атоми бакра. Формирање ових зона се одвија у три етапе [3]:

- **I етапа старења** (слика 2.10б): У једној области нагомилавају се атоми бакра који имају радијус атома мањи од радијуса атома алуминијума, па се решетка локално скупља, док се задржава кохеренција мрежа, што доводи до великог пораста тврдоће и ојачања легуре. Ова етапа при вештачком старењу траје до 100°C (слика 2.11);
- **II етапа старења** (слика 2.10 - в): Бакар се концентрише на појединим местима па се образују једињења Al_2Cu која изазивају преплитање металних јона и појаву семикохерентних преципитата θ' ;
- **III етапа старења**: Преципитати фазе θ групишу се у равнотежне мреже (слика 2.10 - г). Даљи пораст температуре и времена старења доводи до пада тврдоће и јачине, па се каже да је легура престарела.

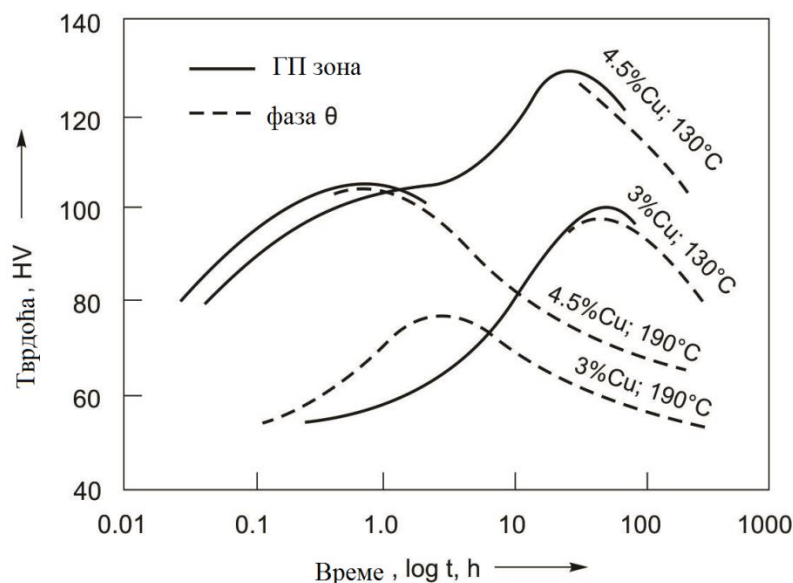


Слика 2.10 Схематски приказ етапа старења и микроструктура легуре $AlCu_3$ [3]

Напонско поље које се јавља у кристалној решетки, поред реципитационог старења, узрокује отврдњавање легуре Al-Cu. Ове структуре се могу уочити само електронским микроскопом.

Отврдњавање се може убрзати вештачким старењем, односно прогревањем презасићене легуре до испод солвус линије и задржавањем на тој температури (доња слика 2.9).

На слици 2.11 су дате легуре са различитим процентом Cu и ток отврдњавања са протоком времена [3].



Слика 2.11 Пораст тврдоће HV у зависности од времена старења за две легуре (3% Cu и 4.5% Cu) и две температуре старења (130 и 190°C) [3]

Брзина старења расте са повишењем температуре, али само до неке граничне температуре које нема нових ГП-зона, па остаје једино преципитационо отврдњавање. Сличне промене микроструктуре, праћене ојачавањем и отврдњавањем дешавају се и код других сложенијих система као што су вишекомпонентне легуре алуминијума [3].

Као што је напред споменуто, алуминијум има релативно ниску чврстоћу (ниску јачину), која зависи од чистоће. Са порастом нечистоћа чврстоћа се повећава, али само до одређене границе. Повећање ниске чврстоће алуминијума могуће је [13]:

- хладном деформацијом – ковањем,
- легирањем,
- термичком обрадом и
- комбинацијом ових могућности.

Алуминијумски материјали су већином легуре алуминијума са једним или више од пет главних легирајућих елемената: Cu , Mg , Zn , Si и Mn , и знатно мањим учешћем Fe , Cr , Ti , а у новије време Sc (скандијума). За посебно легирање додају се легирајући елементи: Ni , Co , Ag , Li , V , Zr , Sn , Pb , Cd и Bi , и у траговима: Be , B и Na [13].

2.2.2 Легуре алуминијума за прераду деформисањем (ковне легуре)

У ковним легурама алуминијума или легурама за прераду деформисањем су највише заступљени Mn , Mg , Cu , Zn и Ni

За манган (Mn) је карактеристично да се незнатно раствара у α - фази, да повећава јачину, ковност, рекристализациону температуру, отпорност на корозију и да ограничава раст зрна при растворном жарењу. Магнезијум (Mg) доводи до пораста јачине, деформационог ојачања и до повећања отпорности на корозију. Бакар (Cu) у ковним легурама алуминијума ојачава материјал при преради на хладно и на тај начин се добијају дурали и супердурали, легуре које се највише примењују у авио-индустрији, поред литијума (Li). Никл (Ni) позитивно утиче на механичке особине, нарочито на вишим температурама, а има својство и да повећа отпорност на корозију [3].

Ковне легуре алуминијума које таложно не ојачавају су (табела 2.2) [3]:

- двокомпонентне легуре *Al-Mn* и
- двокомпонентне легуре *Al-Mg*.

Легуре мангана се испоручују у облику лимова, штапова, цеви, жица, профила. Садржај Mn ограничава се на 1.5%, јер се већ при 2% Mn образују примарни кристали фазе Al_6Mn , који погоршавају механичке особине [3, 13].

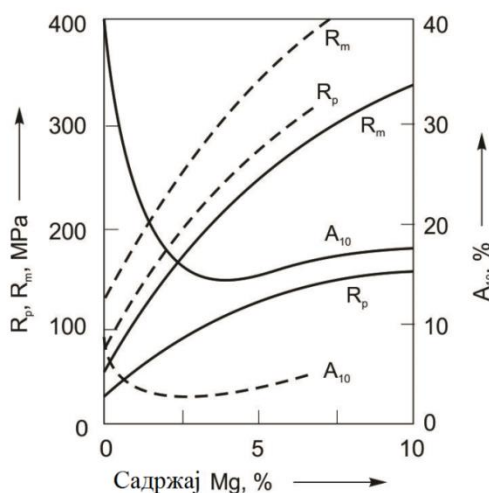
Табела 2.2 Легуре Al за пластичну прераду (бројеви иза легирајућег елемента означавају процентуални садржај тог елемента) [3]

Хемијски састав легура	Примена
AlMn1	Мање оптерећени делови у хемијској и прехранбеној индустрији, заварени резервоари за течност и гасове; служи и за платирање.
AlMg1, AlMg2 AlMg3, AlMg5	Компоненте транспортних средстава, хемијска и прехранбена индустрија, грађевинарство. Легуре AlMg5 познате су под називом хидроналиум.
AlCu4Mg AlCu4Mg1	Авиони, друмска возила, аутомобили (дурали и супердурали); по потреби се елоксирају.
AlCu2Mg	Закивци.
AlCu2Mg2Ni AlMg1Si	Компоненте турбокомпресора, авио и ауто индустрија, прехранбена индустрија, прецизна механика.
AlMgSiFe	Електропроводљива легура.
AlZn4Mg1	Компоненте за средства ваздушног и железничког транспорта, судови под притиском.
AlZn6Mg2Cu	Високооптерећене компоненте.

Легуре Al-Mn су склоне крупнозрнастој и стубичастој кристализацији. Ова структура се може спречити микролегирањем са Ti, V и Zr. Ове легуре имају добру отпорност на корозију, добру заварљивост, а после прераде на хладно достижу $R_m = 200 \text{ MPa}$ (деформационо ојачање) [3].

Код легуре Al-Mg је растворљивост Mg у Al већа је него Mn, али се избегава преципитационо отврдњавање, јер би незнатно повећање јачине довело до великог пада истегљивости. Из тог разлога се производе легуре које садрже до 5% Mg, јер преко тога расте удео фазе β (Al_3Mg_2) која погоршава обрадивост деформацијом и отпорност на корозију [3].

Зависност механичких особина пластично прерађених легура Al-Mg од њиховог хемијског састава и стања дата је на слици 2.12. Јако ојачане легуре Al-Mg лако се опорављају, често и на температури околине, а задржавају добре механичке особине и при ниским температурама. Карактерише их отпорност на корозију у води и у атмосфери сланих испарења [3].



Слика 2.12 Утицај Mg на механичке особине ковних легура Al-Mg у жареном стању (пуна линија) и у ојачаном стању (испрекидана линија) [3]

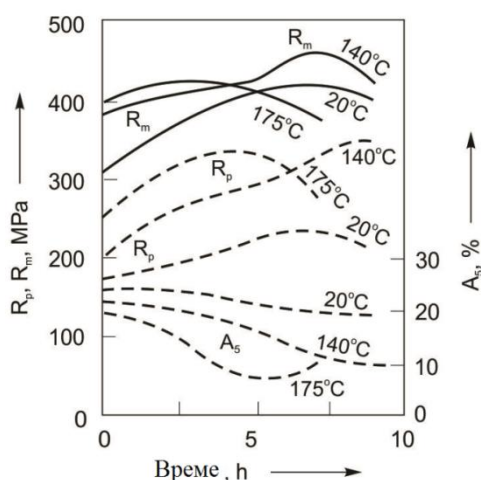
Ковне легуре алуминијума које таложно ојачавају:

- Al-Cu-Mg-(Ni) (дурал и супердурал),
- Al-Mg-Si и
- Al-Zn-Mg-(Cu).

Највећу примену имају легуре типа Al-Cu (слика 2.9).

Дурали су легуре састава Al-Cu4-Mg, а **супердурали** имају састав Al-Cu4-Mg1 и оне су са повећаним саджајем магнезијума. Карактерише их способност отврдњавања услед растворног жарења и таложним отврдњавањем које траје неколико дана.

За то време излучује се тврда фаза Al_2CuMg која доводи до пораста напона течења и јачине, али пада издужење A_5 (слика 2.13). На датој слици је такође приказано максимално ојачање које одговара вештачком старењу при 140°C , међутим, уочава се да је ојачање праћено великим падом истегљивости. Из тог разлога је боље оставити радне предмете да природно остаре при 20°C , а тиме се постиже јачина од 400 MPa код дурала и 450 MPa код супердурала. Дурали су мање отпорни на атмосферску корозију него чист алуминијум, па се често елоксирају. Односно, врши се наношење заштитне превлаке од технички чистог алуминијума (99.5%). Може се обрађивати пластичним деформисањем и на топло и на хладно. Јачина супердурала је после природног старења око 450 MPa , а после хладног обликовања и преципитације достиже 480 MPa [3].



Слика 2.13 Зависност механичких особина легуре Al-Cu4-Mg1 од времена и температуре старења (испрекидана линија) [3]

Легуре Al-Cu-Ni имају додатак до 2% Ni који спречава пад тврдоће на повишеним температурама (до 200°C). После преципитације достижу: $R_m = 400\text{ MPa}$ и $A_5 = 20\%$ [3].

Легуре Al-Mg-Si такође, ојачавају старењем, али имају мању јачину а бољу жилавост и антикорозивне особине него легуре Al-Cu-Mg . Таложно отврдњавање изазива сегрегату Mg_2Si . Комбинацијом прераде на хладно и сегрегације добија се R_m до око 400 MPa . Ове легуре се највише користе за транспортну опрему у прехранбеној индустрији [3].

Новији развој довео је до појаве *тернарних* легура Al-Li-Mg и *кватернарних* Al-Li-Cu-Mg , а за авио-индустрију и легура Al-Li(+Zr) која има знатно већу јачину од сада коришћених легура, па се маса авиона смањује за око 7.5%. Ако се после природног старења покаже смањена отпорност на корозију, изводи се елоксирање са Al 99.5 или платирање легуром AlMg1 (табела 2.2). Дурали и супердурали испоручују се као лимови алуминијумом платирани лимови, отковци, штапови, цеви, профили (пре свега за авионску индустрију) [3].

2.2.3 Легуре алуминијума за ливење

Легуре алуминијума за ливење имају повећан садржај легирајућих елемената попут Si, Cu, Mg, Mn и Ni који повећавају удео еутектике у структури, а самим тим побољшавају ливкост. Повољне технолошке особине алуминијумских легура омогућавају ливење у пешчаним калупима, кокилама или ливење под притиском. Начин ливења утиче на особине одливака, слично као и хемијски састав или термичка обрада. На пример, при ливењу под притиском услед бржег хлађења лива, добија се ситнозрнаста структура одливака у којима је α - фаза презасићена примесима, па се природно старење одвија и без претходног растворног жарења [3].

Чист алуминијум карактерише мала јачина и лошија ливкост, па се од технички чистог алуминијума одливци израђују само за потребе електротехнике пошто они поседује добру електричну проводљивост. Насупрот чистом алуминијуму, неке његове легуре имају добру ливкост, те су погодне за израду танкозидних делова сложеног облика. Алуминијумске легуре лију се у влажним пешчаним калупима, у металним калупима (кокилама) или под притиском. Такође, код неких одливака пожељно је преципитационо отврдњавање, а код других може бити штетно због пада истегљивости и корозивне отпорности [3].

Ливачке легуре које таложно не ојачавају (табела 2.3) [3]:

- Вишекомпонентне легуре типа Al-Si,
- Вишекомпонентне легуре типа Al-Mg и
- Вишекомпонентне легуре типа Al-Cu.

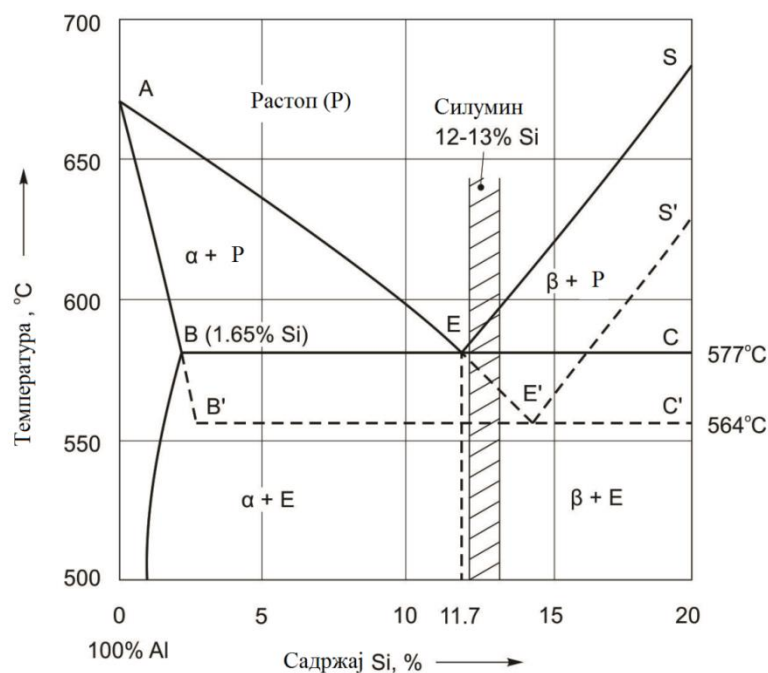
Табела 2.3 Одабране ливачке легуре алуминијума

Ознака хемијског састава	Примена
AlSi13Mn	Танкозидни одливци, непропустљиви за течност.
AlSi10Mn	Прибор који долази у додир са животним намирницама.
AlMg5SiMn	Ребрасте цилиндарске главе МСУС, компоненте у архитектури.
AlMg9MnBe	Одливци отпорни на атмосферичке и морску воду.
AlSi10MgMn	Танкозидни одливци у авио и ауто индустрији.
AlSi12Ni2Cu	За рад на високим температурама (клипови мотора СУС).
AlSi8Cu4Mn	Високооптерећени сложени одливци (блок мотора).
AlCu4Ni2Mg	Клипови већих димензија.
AlCu8FeSi	Кућишта и кошуљице клизних лежишта.

Легуре типа **Al-Si - силумини** садрже 5-20% Si и друге легирајуће елементе, најчешће Mn, који елиминише неповољан утицај примеса Fe на истегљивост, жилавост и ливачке особине. Додатком Cu повећава се заморна јачина, мада се погоршава отпорност према корозији.

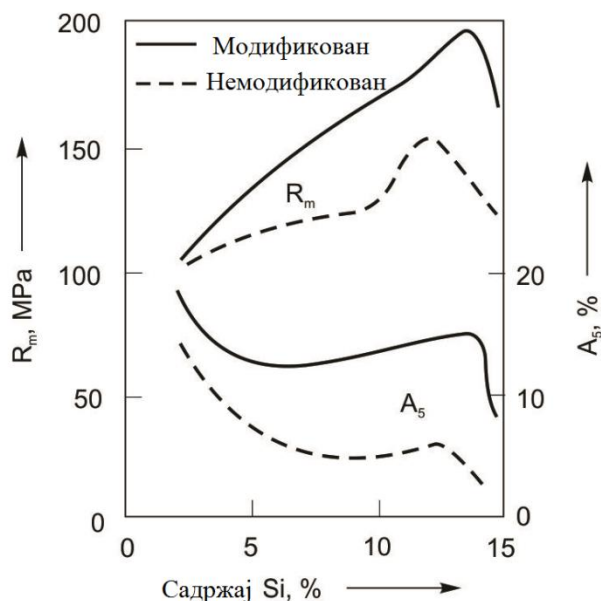
Најбоље ливачке особине имају еутектички силумини који садрже 9-13% Si (слика 2.15). Еутектику образују фазе ($\alpha+\beta$); β - фаза представља чисте кристале Si, јер је Al нерастворљив у Si. Чист силицијум брже кристалише него чврст раствор Si у Al, α - фаза, која ће каснити за β - фазом (чистим Si) [3].

Равномерна кристализација ($\alpha + \beta$) би била повољнија јер даје ситнозрнасту структуру. Силумински лив се модификује додацима (0.10% Na или 2% NaCl + NaF), који смањују брзину кристализације β - фазе. На тај начин растоп очвршћава уз веће потхлађивање тако да настаје ситан еутектикум. Захваљујући потхлађивању, еутектичка температура се снижава са 577 на 564°C (слика 2.15), што одливку даје боље механичке особине. Модификација није неопходна при ливењу у кокилама или под притиском, јер тада настаје спонтано потхлађивање металним калупима. Утицај модификације на положај еутектичке легуре приказан је тачком E' на слици 2.15 [3].



Слика 2.15 Равнотежни дијаграм легура Al-Si [3]

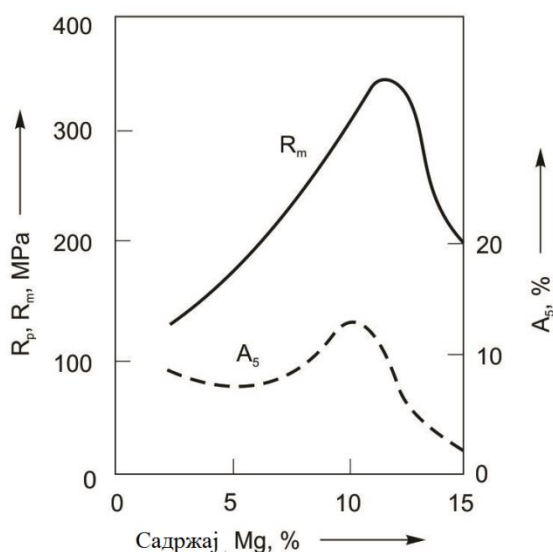
Силумини се карактеришу малом густином (2.65 g/cm^3), имају добру отпорност према корозији и добре ливачке особине, велику течљивост, мало скупљање (0.50%) и незнатну склоност ка прслинама, али се тешко полирају. Пораст Si доводи до повећања јачине и до благог пада истегљивости силумина (слика 2.16). Легуре алуминијума припремају се за ливење у гасним јамским пећима, електропећима (отпорским и индукционим), и у пећима на чврсто или течено гориво. За производњу лива полазни материјали су алуминијумске гредице из топioniца, повратни материјали (производни отпад), струготина, понекад и предлегури; пећ се пуни осушеним предгрејаним материјалом, а у току хлађења додају се легирајући елементи (при око 700°C). Затим се температура повећава на 800°C и лив испушта у преносни лонац у коме се обавља дегазација [3].



Слика 2.16 Утицај Si на механичке особине ситумина ливених у кокилама [3]

Ливачке легуре алуминијума типа Al-Mg садрже 3 до 11% Mg. Уз мали додатак Mn елиминише се штетан утицај примеса Fe, а додатак Si побољшава ливачке особине. Микроструктуру чине фазе α , сегрегат β (Al_3Mg_2), као и нерастворљива фаза AlFeMnSi , а код легура ливених под притиском или у кокилама јавља се још и 6 до 7% еутектикума

($\alpha + \text{Al}_3\text{Mg}_2$). Појава еутектике при $\text{Mg} < 7\%$ последица је неравнотежне кристализације при убрзаном хлађењу у кокили. Допатак Mg утиче на промену механичких особина, као што је приказано на слици 2.17. Легуре Al-Mg лију се у песку и кокилама, лаке су (2.5 g/cm^3), високоотпорне према корозији и добро се полирају [3].



Слика 2.17 Утицај % Mg на механичке особине одливака из пешчаних калупа [3]

Ливачке легуре алуминијума типа **Al-Cu** се употребљавају за цилиндарске главе мотора СУС. Имају велики температурски интервал кристализације што узрокује лоше ливачке особине, као и склоност ка прслинама при очвршћивању одливака. Понекад се додају Si, Zn, а ређе Ni и Mg. Ако легура има низак % Cu (на пример мање од 3%) структура се састоји од чврстог раствора Cu у Al и секундарног преципитата Al_2Cu али без еутектике [3].

Ливачке легуре које таложно ојачавају [3]:

- Ливачке легуре типа Al-Cu,
- Ливачке легуре типа Al-Mg,
- Ливачке легуре типа Al-Ni и остале легуре са додацима наведеним у табели 2.3.

Силумини са додатком Mg преципитационо ојачавају, захваљујући таложењу фазе β' (Mg_2Si). У ојачаном стању достижу $R_m = 200 - 250 \text{ MPa}$, али је издужење само од 1 до 3%. Добра отпорност на хабање довела је до примене неких легура Al-Cu-Si за клизне лежајеве. После ливења у пешчаним калупима могу се термички ојачати, чиме се достиже $R_m \approx 200 \text{ MPa}$ што је незнатно изнад термички необрађених одливака из металних калупа ($R_m \approx 180 \text{ MPa}$) [3].

2.3 Означавање легура алуминијума

Основна подела алуминијума и легура је на тзв. серије, односно фамилије. Назив материјала се састоји од најмање 4 цифре где прва означава серију тј. фамилију код легура за гњечење и 3 цифре код легура за ливење. Када се идентификује серија онда се према њој бира и додатни материјал и технологија заваривања. Проблем идентификације, односно који је материјал је понекад нерешив на први поглед. У сваком случају, потребно је учинити напор и пре заваривања идентификовати материјал, јер неки додатни материјали (жице итд) нису металуршки компатибилни са неким основним материјалима, док су неки основни материјали осетљиви на унос топлоте, неки су незаварљиви или се заваривање не препоручује због тога што унос топлоте доводи до великог пада чврстоће, негде само треба избећи велико, а негде мало мешање додатног и основног материјала да би се избегле прслине и пад чврстоће [8].

Означавање легура је приказано у табели 2.4. Бројчане ознаке метала-легирног елемента су према *AA Aluminium Association*, које се користе у Америци, Канади, појављују се у литератури, а словне ознаке су према ISO стандарду [13].

Табела 2.4 Означавање легура алуминијума [8]

Al	Cu	Mn	Si	Mg	Mg, Si	Zn	друго
1xxx	2xxx	3xxx	4xxx	5xxx	6xxx	7xxx	8xxx

Ознака се састоји од 4 цифре, типа XXXX. Прва цифра Хххх означава серију - фамилију према главном легирајућем елементу. Друга цифра, ако је већа од 0, хХхх означава модификацију саме легуре, а задње 2 цифре ххХХ означавају конкретну легуру у својој фамилији. На пример, материјал 5183 означава следеће [8]:

- 5 - фамилија легура са главним легирајућим елементом магнезијумом - Mg.
- 1 - прва модификација претходног материјала 5083,
- 83 - ознака конкретног материјала у фамилији 5ххх.

Одступање је само код серије 1ххх где две задње цифре показују проценат Al преко 99%. На пример, 1050 значи да је чистоћа 99.50% [8].

2.3.1 Фамилије алуминијумских легура за пластично деформисање (ковање), примена и заваривање

Постоји и алфанумеричко означавање нпр AlMg1Si0.5 где се користе хемијски симболи и њихов садржај [8].

1) Серија 1ххх - чист алуминијум

Ради се о алуминијуму чистоће преко 99%. Намењен је за посуде и цеви у прехранбеној индустрији, резервоаре итд. Има добру отпорност на атмосферске утицаје, одличан је проводник струје, па га има у електричним уређајима. Одликује се малом чврстоћом. Ова фамилија се најчешће заварује додатним материјалом који је чист алуминијум, али може и помоћу додатних материјала класае AlSi5, AlSi12, AlMg5 итд. Ако је у питању нека посуда у хемијској индустрији или електропроводник онда је први избор истородни материјал, тј. чист алуминијум типа Al99.5 или Al99.8. Ако је у питању мање одговорна репаратура, могу се користити и ове друге жице уз поштовање минималног степена мешања са основним материјалом (важи за жице AlMg5 па и AlSi5). Кад се примењује AlSi12 опасности коју носи повећан степен мешања материјала овде нема [8].

2) Серија 2ххх - легуре алуминијума са 2-10% Cu (дуралуминијум)

Ови материјали су своју велику чврстоћу добили термичком обрадом као и накнадним старењем. Спадају у тешко заварљиве а неке легуре су практично незаварљиве. Највећа примена је у ваздухопловству и најчешће је спајање закивцима. Ову врсту легура треба избегавати ако се ради о делу који има повећану моћ ношења у некој конструкцији. Ако је у питању конструкција која није одговорна или мање одговорна репаратура, најбоље је користити додатни материјал класе AlSi12 или AlSi5. Иначе за делове који се заварују у одговорним конструкцијама користи се истородни материјал познат као ER2319. Треба истаћи да ипак постоје заварљиве легуре у овој класи, рецимо 2014, 2219, 2519. Тешко се леме али се лако заварују електроотпорским поступком заваривања. Корозивна отпорност није велика па се често плакирају чистим алуминијом. Осим авио-индустрије користе се у војној индустрији, а неки клипови за моторе аутомобила су управо израђени од ових легура.

Материјали из ове серије, као и серије 7ххх на границама својих зрна излучују и нискотопљива једињења што повећава интервал очвршћавања и чине их изузетно склоним топлим прслинама при заваривању, односно лако настају прслине због напона

изазваних скупљањем после заваривања, јер на тим местима такве напоне та новонастала једињења не могу да издрже [8].

3) Серија 3xxx - легуре алуминијума са Mn

Ради о чистом алуминијуму са нешто мангана који подиже отпорност на повишеним температурама и који поседује добру корозивну отпорност. Легура AlMgMn је најчешће коришћена легура за израду конзерви за пиће. Делови клима инсталација у колима углавном се израђују од овог материјала. Заваривање се изводи или чистим алуминијумом Al99.5 или AlSi5, AlSi12 и AlMg5. Реч је о танким цевчицама које се затим леме. Лем је или на бази AlSi12 или специјални тврди лем са тачком топљења од 440°C. Постоји на тржишту и меки лем на бази цинка, калаја, који се може користи за ове сврхе [8].

4) Серија 4xxx - легуре алуминијума са Si

Ово су најчешће жице за заваривање или лемљење. Неки погрешно у ову групу сврставају одливке типа главе мотора, блокова, али они не припадају овој групи. Они припадају групи 3xx из легура за ливење [8].

5) Серија 5xxx - легуре алуминијума са Mg

Врло је важно да се оне никада не заварују са AlSi жицама, пошто у том случају долази до излучивања једињења Mg₂Si које доводи до појаве кртог лома и прслина. Из тог разлога је препорука да се AlSi жице користе само за заваривање AlMg легура са максималним садржајем 2.5% Mg. Легура AlMg5 није погодна за примену на температурама преко 60 - 70°C. Увек треба употребити жице за заваривање типа AlMg5, евентуално AlMg3 или AlMg4.5Mn и тсл. То су, запаво, лимови и плоче. Типичан пример су лимови за бродове и чамце. Ове легуре се користе у неким конструкцијама и због велике чврстоће. Легуре са више од 2.5% Mg се тешко леме или се не могу лемити (због Mg - оксида). Када се поставља „закрпа“ на пукотину или у случају репаратурног заваривања треба водити рачуна да се не бира овај 5xxx материјал већ материјал класе 6xxx [8].

6) Серија 6xxx - легуре алуминијума са Mg и Si

Ове легуре се најчешће израђују као екструдирани профили и лимови. Први избор за заваривање је жица AlSi5 која је у ствари и развијена за заваривање серије 6xxx. Може се применити и AlMg5 као и AlSi12, мада ова легура има већу цену. Испитивања су показала да нема неке велике разлике у чврстоћи при коришћењу AlSi5 и AlMg5 при сучеоним спојевима али при угаоним AlMg5 даје већу чврстоћу споја. Врло је важно не заваривати делове од ове легуре без додатног материјала. Иначе, са додатним материјалом су одлично заварљиве уз правилан избор облика и геометрије жлеба [8].

7) Серија 7xxx - легуре алуминијума са Zn

Ово су најјаче легуре алуминијума (осим цинка садрже и Mg и евентуално Cu). Неке легуре ове врсте имају чврстоћу (чврстину) челика, а од којих су неке незаварљиве (типично легура 7075). Најјаче су оне легуре са бакром. Један типичан пример су решеткасти антенски стубови, а такође и делови у ваздухопловству, рамови бицикала, бејзбол палице и тсл. Оне које се могу заваривати, заварују се легурама на бази AlMg и то најчешће AlMg4.5MnZr и AlMg4.5Mn. Унос топлоте, као и термички циклус морају бити прописани од стране технолога односно инжењера заваривања [8].

8) Серија 8xxx - све остале легуре са познатим елементима

То су све остале легуре са познатим елементима (нпр. са Li итд). Технологија заваривања се, у овом случају, потражује од стране произвођача легуре [8].

9) Серија 9xxx - легуре са неутврђеним легирајућим групама

Серије 1xxx, 3xxx и 5xxx су легуре које своју чврстоћу (чврстину, јачину) добијају пластичном деформацијом, а не термичком обрадом. Ово треба имати у виду при евентуалном избору неке легуре за дату конструкцију. Препорука је изабрати легуру серије 5xxx, јер не изазива проблеме при заваривању, као легуре које добијене термичком обрадом, а серија 5xxx има прилично већу чврстоћу за разлику од серија 1xxx и 3xxx. Недостатак је тај што неке легуре серије 5xxx имају пад чврстоће на температурама преко 60°C [8].

3. Оцена заварљивости алуминијума и његових легура

Заварљивост је комплексна технолошка карактеристика материјала којом се углавном изражава утицај процеса заваривања на заварени спој и његово понашање у топлотном и деформационом смислу у току и после заваривања. Стога се може рећи да појам заварљивости одређује релативну способност материјала да ствара заварене спојеве одабраном технологијом заваривања, а да изведени спојеви удовољавају свему што се од њих тражи у радним условима [1].

Посебно се разматрају следеће врсте заварљивости: *металуришка, конструкциона и технолошка* заварљивост.

Металуришка заварљивост материјала зависи од низа фактора: хемијског састава, почетне структуре, начина производње материјала, садржаја гасова и неметалних укључака итд. На овај вид заварљивости утичу све металуршке промене у материјалу које настају под дејством топлоте унете при заваривању. Утврђено је да су метали и легуре незаварљиви са металуршке тачке гледишта ако се њихови саставни хемијски елементи међусобно не растварају у чврстом агрегатном стању већ образују тврда и крта хемијска једињења. Насупрот томе, металуршки су заварљиви сви хомогени метални материјали који образују чврсте растворе и нееутектичке или еутектичке смеше, односно сви материјали који поседују металуршку заварљивост могу се успешно заварити, ако се одабере одговарајући метод (поступак) и технологија заваривања.

Конструкциона заварљивост показује утицај низа параметара на пројектовање заварене конструкције, пре свега, дебљине, врсте, броја и распореда шавова, које конструктор поставља пројектним захтевом за дати случај, све према врсти оптерећења и другим радним условима.

Технолошка заварљивост обухвата технолошке параметре који утичу на особине заварених спојева, нпр. додатни материјал, метод и поступак заваривања, погонску енергију (унос топлоте), брзину хлађења итд. Проверава се да ли се морају применити посебне мере (предгревање, догревање у току и отпуштање после заваривања, рад у специјалним условима), а оцена се доноси према предузетим мерама и добијеним резултатима. Са оперативног становишта које се односи на понашање неких материјала у току заваривања или наваривања, они се оцењују као "добро заварљиви" када је шав чист и хомоген, тј. када се основни и додатни материјал стапају у хомогену легуру, а при томе топе без тешкоћа, без великог прштања (разбризгавања) и појаве прслина, гасних мехурова и других грешака. Нечистоће на страницама жлеба и околини: прљавштине, масти и уља, коварина и тсл. погоршавају оперативну заварљивост, па је неопходно да се све споменуто одстрани из зоне топљења и њене околине у оквиру припреме за заваривање.

Општа заварљивост представља глобалну оцену појединачно објашњених компонената заварљивости при чему се за коначну оцену процењује већи број фактора као што су: основни и додатни материјал, заваривачки рад, врста напрезања у шавовима и у близини концентратора напона [1, 7].

Коначне особине завареног споја, за дати материјал и одабрану технологију, зависе од процеса и појава који се одвијају и настају у основним зонама завареног споја [1, 7]:

- у шаву, где се основни материјал потпуно топи и меша са додатним материјалом, а затим очвршћава,
- у прелазној зони - зони стапања - полуистопљеног материјала и
- у зони утицаја топлоте (ЗУТ-у), где се основни материјал у чврстом агрегатном стању различито понаша због неједнаких максималних температура и брзина хлађења у појединим тачкама ЗУТ-а.

Дефиниција заварљивости Међународног института за заваривање гласи [1]: "Метални материјал се сматра, на одређени начин заварљив, ако помоћу заваривања, при коришћењу одговарајуће технике спајања, настају јединствени метални спојеви, који испуњавају захтеве, који се постављају за својства локалних шавова и њихов утицај на чврстину конструкције".

Из наведеног се запажа да за оцену заварљивости треба увек узимати у обзир узајамну везу (1) конструкције (крутост, дебљина, врста споја), (2) материјала (способност заваривања) и (3) технологије (могућност заваривања).

Алуминијум је један од највише коришћених обојених метала за израду заварених конструкција. Он се примењује у многим стандардним облицима, а може се примарно прерађивати свим познатим методима механичке технологије. Полупроизводи од алуминијума могу се спајати свим познатим методима заваривања метала и легура, али се данас предност даје методима заваривања топљењем у заштити инертних гасова (TIG и MIG).

Алуминијум се одликује малом тежином, задовољавајућом јачином и добром корозивном отпорношћу. Веома је погодан за нискотемпературске примене; користи се у комерцијално чистом стању или легиран металима (Mn, Mg, Cu, Zn, Ni) и неметалом, силицијумом (Si). На тржишту се могу набавити полупроизводи од легура алуминијума у различитим облицима: ваљаном и пресованом, вученом, екструдираним, кованом или ливеном. Сви поменути полупроизводи, изузев ливеног, припадају ковном алуминијуму. Најчешћи полупроизводи добијени пластичном прерадом су: плоче, ваљани профили, екструдирани профили и алуминијумске цеви [1].

Припрема алуминијумских предмета за заваривање

Комерцијално се алуминијум примењује било у хладно деформисаном или ливеном стању. Методи заваривања за оба стања су слични, али у поступцима постоје извесне разлике. Неке карактеристике алуминијума чине га веома неповољним металом за заваривање [1].

Неповољне карактеристика алуминијума су пре свега [1]:

- лака оксидација на повишеним и високим температурама;
- топљење алуминијума се одвија без промене боје;
- температура топљења оксида алуминијума ($\text{Al}_2\text{O}_3 \approx 2037^\circ\text{C}$) је много виша, него чистог алуминијума (660.4°C);
- знатно већа специфична (запреминска) маса оксида алуминијума ($\approx 3.8 \text{ g/cm}^3$) него чистог алуминијума (2.7 g/cm^3).

Без обзира на ове тешкоће, могу се добити шавови чија својства отпорности не заостају за основним металом. Додатни метал се бира по правилу тако да по хемијском саставу приближно одговара основном материјалу. Зато инжењер заваривања, технолог заваривања, а понекад и заваривач, пре избора додатног материјала, морају бити упознати са хемијским саставом основног материјала [1].

Заварљивост алуминијума се суштински своди на добијање једног, непропусног, беспорозног шав, без прслина, са што је могуће већом чврстоћом чистог метала шав али и што уже зоне утицаја топлоте (ЗУТ-а). Већ је напред указано да једна класа легура своју чврстоћу добијаја гњечењем тј. пластичном деформацијом, а друга класа термичком обрадом. Уносом топлоте при заваривању, већа део зоне око шав је изложен високим температурама која омекшава у случају заваривања ковних легура, а при заваривању ливених легура мења се структура и слаби читава зона око споја. Конструктори алуминијумских структура из тих разлога морају то узети у обзир и у прорачуне унети корекционе факторе (коефицијенте) слабљења материјала или зоне са завареним спојевима поставити даље од места највећих напрезања. То се мора узети у обзир и при репаратурном заваривању. Заваривањем алуминијумских легура, у највећем броју случајева долази до пада јачине читаве зоне споја, тако да конструкцију треба ојачавати ребрима или сличним решењима, а за време експлоатације избегавати екстремна оптерећења тих зона [8].

Неке од најважнијих карактеристика алуминијума су:

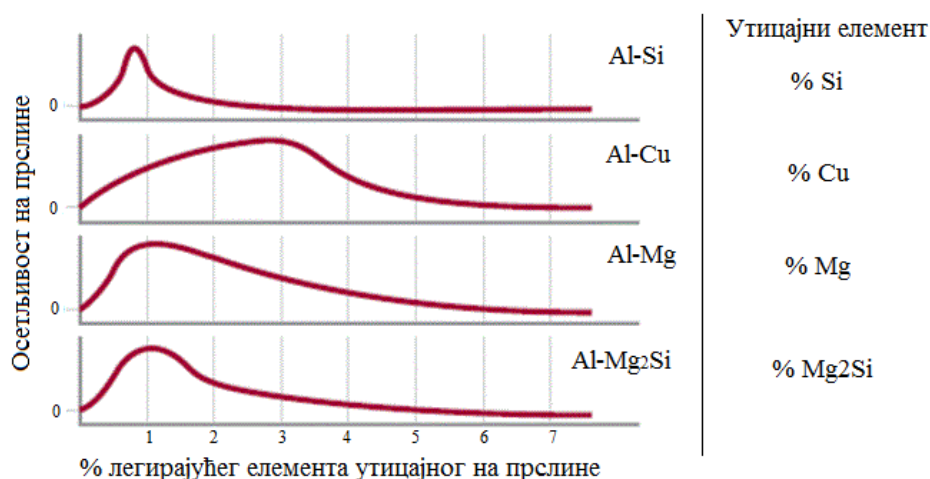
- **Велика термичка проводност (топлотна проводљивост)**

То је једна од најважнијих карактеристика алуминијума, те се мора се узети у обзир и према том својству прилагодити, пре свега, унос топлоте. То значи да иако је тачка топљења алуминијума релативно ниска (око 660°C), потребна је знатно већа погонска енергија заваривања (унос топлоте) него нпр. при заваривању нискоугљеничних и нисколегираних челика исте дебљине. Дакле, при заваривању алуминијумских лимова и плоча, потребне су врло велике јачине струје (у мајсторском жаргону "ампеража"), а понекад се мора користити и предгревање. На тај начин се у литератури могу наћи врло контрадикторне препоруке, нпр. препоручује се јачина струје од 45 A за 1 mm дебљине, која понекад није довољна на почетку заваривања, а онда током устаљивања процеса долази до прогоревања (тзв. "топлотног пролома") јер је то превелика струја за даљи рад. Заваривач почетник често нема избора, па да не би прогорео материјал често прекида процес заваривања да би сачекао да се материјал охлади, што веома успорава сам процес и смањује ефикасност (продуктивност) заваривања. Ти чести прекиди процеса заваривања, по правилу, најчешће представљају идеално место за настанак грешака, а само подешавање параметара за „hot-start“ представља велики проблем. Овај проблем се може успешно превазићи правилним избором најповољније технологије и технике заваривања за сваку врсту споја (према врсти ОМ и ДМ и дебљини спајаних делова), односно избором TIG заваривања [8].

- **Широк интервал кристализације (велика разлика између ликвидус и солидус температуре)**

Растоп неке легуре (метално купатило) алуминијума при хлађењу почиње да очвршћава на некој температури (нпр. на 680°C) а потпуно се завршава на нештој нижој (нпр. 620°C). У интервалу хлађења од 680°C до 620°C егзистирају и чврста и течна фаза. Чврстоћа овакве чврсто - течне фазе је веома мала и често су овакве легуре склоне прслинама, било због стварања унутрашњих напона, било због тзв. осетљивости на топле прслине. За време очвршћавања прво кристалишу спољни делови растопа уз зидове жлеба, а течна фаза заостаје у средини металног купатила где је достигнута највиша температура. Та зона има веома ниску напонску-деформациону отпорност, па често долази до настанка најопаснијих грешака у завареним спојевима (типа топлих прслина) [8].

Склоност неких легура ка топлим прслинама илустративно је приказана на слици 3.1.



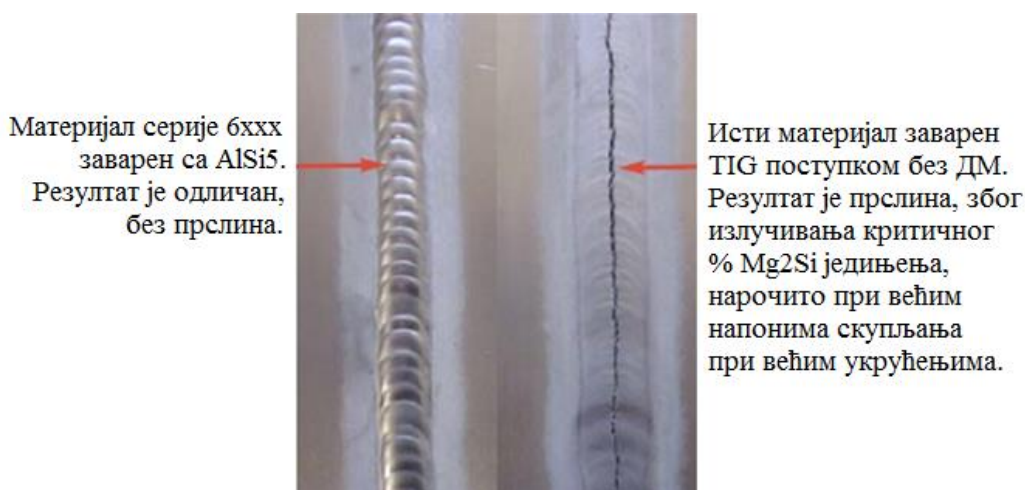
Слика 3.1 Схематски приказ утицаја неких легирајућих елемената на прслине у легурама алуминијума [8]

Са слике 3.1 се може закључити какав је утицај појединих елемената на тренд настанка прслина. Дакле, да би се избегле споменуте грешке, треба употребити додатни материјал подобан основном материјалу (што сличнијих особина). Ако алуминијумска легура има хемијски састав близак критичним вредностима настанка прслина, потребно је користити додатни материјал са што вишим % легирајућих елемената, уз правилан избор геометрије жлеба и уноса топлоте, да би се добио метал шава са садржајем утицајних елемената ван критичног подручја [8].

Са слике 3.1 може се закључити да је легура алуминијума са око 0.5–2.0% Si веома склона ка настанку прслина. У случају заваривања чистог алуминијума додатним материјалом AlSi5 (са 5% Si) и ако се користи мала јачина струје, а жлеб је такав да метал шава садржи више основног материјала, добија се опасно подручје, јер ће метал зава (који је мешавина основног и додатног материјала) имати негде око 2% Si. У том случају, при заваривању чистог алуминијума жицом AlSi5, потребно је користити мању јачину струје у циљу добијања мањег степена мешања, а неопходно је и пројектовати такав облик жлеба који ће омогућити да метал шава буде од AlSi5 жице, тј. да садржи око безбедних 2.5-3% Si [8].

Такође, са слике 3.1 може се закључити да је и легура алуминијума Mg_2Si веома склона ка настанку прслина. Зато овај материјал треба обавезно заваривати са додатним материјалом који је "више легиран". Конкретно, баш за овај материјал је развијена легура $AlSi5$ као додатни материјал у облику жице, а одлични заварени спојеви се могу остварити са $AlMg5$ уз нешто већу опрезност при заваривању [8].

На слици 3.2 је дат пример заваривања легуре алуминијума серије бxxx, са и без додатног материјала, где је уочено да се при заваривању без ДМ јавља прслина због излучивања критичне количине кртих фаза и неповољних једињења [8].



Слика 3.2 Пример заваривања легуре алуминијума са и без ДМ [8]

Да би се извело успешно заваривање оваквих легура потребно је знати која је легура у питању, који је њен опсег очвршћавања, па на основу тога изабрати и додатни материјал.

При избору додатног материјала треба водити рачуна о степену мешања и спречавању настанка нискотопљивих фаза, као и смањења склоности ка настанку топлих прслина. Веома је важно правилно изабрати параметре заваривања за што временски краћи пролазак кроз интервал очвршћавања. То се најчешће постиже већом брзином заваривања, коришћењем пулног MIG метода заваривања и другим технолошким параметрима заваривања, уз правилно пројектовање жлеба ради потребног мешања додатног и основног материјала. Дакле, осим опсега кристализације, битна је и брзина очвршћавања. Брже очвршћавање ће омогућити настапак финијег (ситнијег) металног зрна, а тиме и бољих механичких својстава од споријег хлађења [8].

• Прелази, пресеци и зарези

И код легура које своју јачину остварују термичком обрадом и код легура које своју чврстоћу добијају пластичном деформацијом, може се очекивати да ће после заваривања метал шава и ЗУТ имати нижу чврстоћу. Конструктори морају ово узети у обзир и пројектовати дебље пресеке на месту шавова или шавове померити у зоне нижег оптерећења. Такође, треба водити рачуна да су алуминијумске легуре веома осетљиве на концентрацију напона, тј на оштре прелази и зарезе. Зато их треба избегавати и на месту заварених спојева [8].

- **Порозност**

Порозност је често неизбежна, а некад у извесној мери чак и прихватљива. Стварање пора је могуће код легура са широким појасом температуре очвршћавања, пошто један део течног метала не испуњава простор између већ очврслог метала. Појава се дешава пре код чистог алуминијума, него код легура. Зато је понекад лек за овај проблем што мање метално купатило или заваривање са додатним материјалом који има мали опсег температуре очвршћавања [8].

Највећи узрочник настанка порозности су *гасни укључци*, који посредно долазе из ваздуха (лоша гасна заштита), од прљавштине са основног и/или додатног материјала, из оксида који није одстрањен, од лошег квалитета заштитног гаса и тсл. Гасни укључци најчешће настају због присуства атомног водоника који апсорбује течни метал при заваривању. Алуминијум има велики афинитет ка редукцији, односно ка везивању кисеоника. Редукује влагу, тј. воду, одузима јој кисеоник и остаје водоник. Растворљивост водоника у алуминијуму опада са падом температуре и тада настају гасне поре. Настају како у унутрашњости тако и у завршном кратеру при заваривању. За овај други случај решење је попуна завршног кратера, што искуснији заваривачи свакако раде и при заваривању свих метала. Треба рећи да је сам оксид, односно оксидна превлака на алуминијуму хигроскопна, тј. садржи влагу па ако се не одстрани, остаје опасност да водоник доспе у метал шава и направи поре. Порозност не даје леп естетски изглед шава, некад снижава чврстоћу а некад доводи до нехерметичности (пропуштања флуида) [8].

Решење за порозност јесте темељно чишћење, предгревање, коришћење аргона високе и проверене чистоће, бржи рад, примена метода TIG и MIG заваривања, што мање метално купатило и тсл. Конкретно, са инверторским TIG апаратима је могуће радити брже, са мањим и концентрисанијим луком, а тиме и мањим растопљеним металом, а код MIG метода заваривање се изводи углавном апаратима са пулсним струјама. Странице жлеба треба очистити пре заваривања.

То се постиже *механички* - четком од нерђајућег челика или *хемијски* - урањањем радних предмета у средство за чишћење, а затим испирањем у води. Морају се поштовати све мере предострожности кад год се за чишћење користе хемијски раствори [1].

Оксидни укључци се при заваривању топе на 2050°C, понекад не бивају одстрањени нити претопљени, па доспевају у метал шава као "чврсте честице" и имају исту улогу као укључци троске код челика. Треба истаћи да се понекад не могу избећи, па зато треба створити услове да њихов удео буде што мањи [8].

Укључци волфрама при TIG заваривању се јављају пошто је чест случај додиривања металног растопа волфрамском електродом. Јавља се најчешће при примени волфрамске нетопљиве електроде мањег пречника која није прописно наоштрена (потпуно зашиљена) и том приликом опадају чврсти неистопљени делићи волфрама. Нарочито је неповољна појава волфрама лошег квалитета, чији се врхови распадају при заваривању. Када се заварује алуминијум, никада се не користе најјефтиније нетопљиве волфрамске електроде, већ се врши избор најквалитетних волфрамовских електрода [8].

- **Предгревање**

Предгревање може бити корисно код алуминијума али мора бити у складу са конкретном легуром, јер понекад може бити штетно, поготово ако су температуре предгревања веома високе (нпр. легуре типа AlMg5 не треба предгревати на више од 60-70°C због великог пада чврстоће на вишим температурама). У неким случајевима није ни потребно предгревање, јер оно нема већи утицај, ако су на апарату за заваривање правилно подешени технолошки параметри заваривања (јачина струје, врста пулсне струје, радни напон, проток заштитног гаса и тсл.).

Предгревањем се може постићи сагоревање и испаравање нечистоћа, спречити налепљивање на самом почетку заваривања, побољшати пенетрација при заваривању апаратима са одговарајућим густинама струје и тсл. Код легура које механичка својства добијају термичком обрадом, повећава се унос топлоте, време заваривања, смањује се време хлађења што све негативно утиче на структуру ЗУТ-а. Код алуминијумских легура серија 2xxx долази до растварања излучених фаза које дају потребну чврстоћу, или доводе настанка неповољне микроструктуре и додатног излучивања код легура серије bxxx [8].

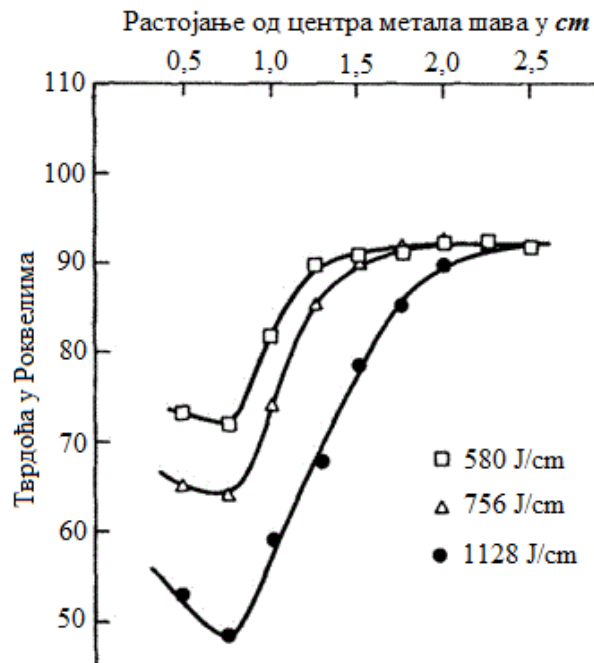
- **Унос топлоте и брзина заваривања**

Што је већа брзина хлађења шави, односно брзина очвршћивања, добија се повољнија и финија структура. Метално купатило мањих димензија даје бољу структуру, али ако се претера у димензијама и буде мање од неке критичне вредности, могуће су прслине услед термичких напона, тј. напона при хлађењу и скупљању, а поготову при већем укрућењу завариваних делова и спојева дебљих пресека. Такође водити рачуна да се из веће запремине шави лакше одводе гасови који иначе могу узроковати порозност и лошија механичка својства. Код дебљих пресека када треба нанети неколико слојева/пролаза препоручује се да се жлеб попуни са што мање слојева/пролаза пошто је пожељније положити мањи број дебљих слојева у односу на полагање већег броја тањих слојева.

То је важно јер је време излагања температури заваривања мање и повољније утиче на структуру ЗУТ-а. Из овога произлази да је за добијање најбољих механичких својстава најбоље полагати праволинијске заваре без додатног њихања (осцилаторног померања) пиштоља односно горионика [8].

Пад тврдоће легуре алуминијума у појединим зонама завареног споја јавља се у зависности од количине унете топлоте (легуре алуминијума неопходну чврстоћу добијају легирањем, гњечењем, термичком обрадом и тсл.), тј. заваривањем, пошто се на тај начин деградирају особине споја и основног материјала.

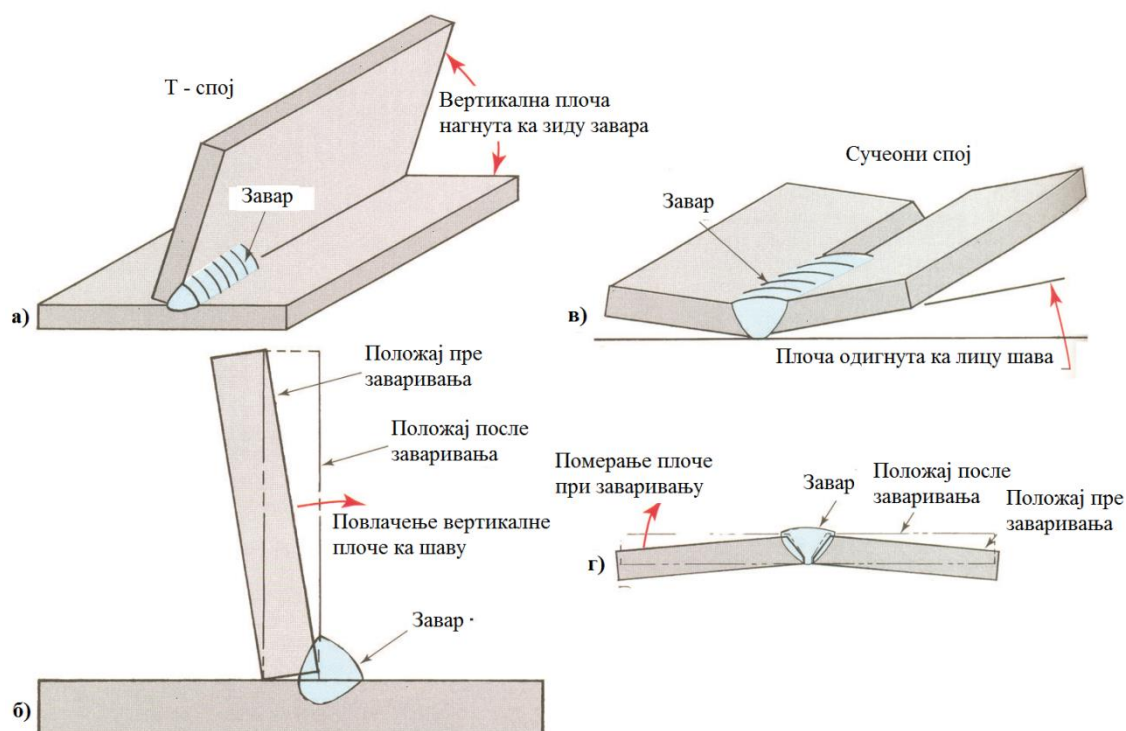
На слици 3.4 се запажа како већи унос топлоте снижава тврдоћу материјала у већој мери и у широј зони у односу на мањи унос топлоте [1, 8].



Слика 3.4 Пад чврстоће легуре алуминијума [1]

- **Мере за спречавање деформација (кривљења)**

Дилатације и контракције доводе до великих деформација танких радних предмета (слика 3.5 а,в), јер алуминијум има малу крутост ($E^{Al} = 71000 \text{ MPa}$, $E^C = 210000 \text{ MPa}$). Понекад и припојни шавови не могу да спрече претерано кривљење, па је потребно спојне елементе тако поставити да се после заваривања добије правилан облик. Пример погодног размештаја Al- плоча које се заварују дат је на слици 3.5 б,г. Слично се може поступити и код других метала и легура, али водећи рачуна о томе да се они мање деформишу од алуминијума [1, 8].



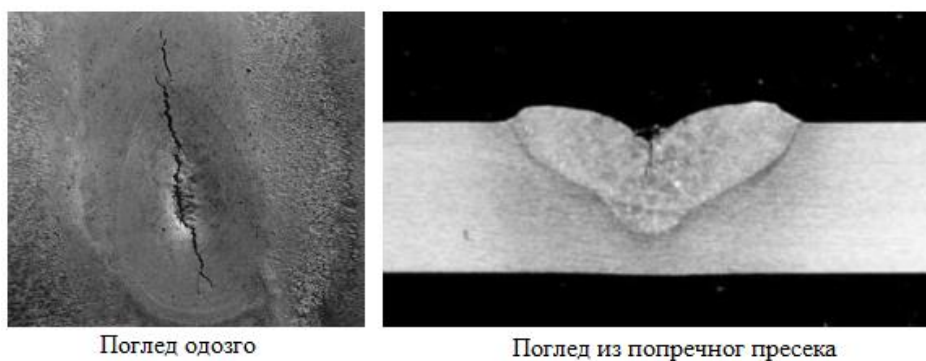
Слика 3.5 Примери погодног постављања Al-плоче при извођењу различитих спојева [1]

Како би се избегло кривљење, препоручују се оптималне димензије жлеба односно метала шав. Термички напони услед загревања - ширења и хлађења - скупљања треба да буду што мањи. Дакле, од велике важности је прорачунати, одредити коректну величину пресека шав а не претеривати по принципу "више је боље" (што је обичај код заваривања угаоних спојева од стране самоуких/приучених мајстора). Потребно је упознати завариваче са овом препоруком и снадбети их мерилима или шаблонима да би контролисали димензије шав, нарочито код угаоних спојева. Код сучеоних, угао отвора жлеба, зазор и затупљење треба да буде што мањи. Потребно је избећи превелико надвишење покривног слоја. Решење може бити и примена X-жлебова уз симетрично/двострано заваривање, уместо V- жлеба и једностраног заваривања. Уколико је неопходно извести једнострано заваривање предност треба дати Y- облику жлеба у односу на V- жлеб. Треба дати предност прекидним шавовима у односу на континуалне, затим смањити број слојева и пролаза. Избегавање кривљења се може извести и помоћу повећане брзине заваривања. На пример, пулсни MIG поступак је бољи од TIG-а. Треба припремити погодан план редоследа заваривања, са повратним кораком и прескоцима. Најбоље је изводити заваривање од центра ка споља и од фиксираног дела ка слободном делу [8].

У циљу спречевања кривљења често се користе стезна тела, тако да се укрути структура која се заварује, и отпушта се тек када се део охлади. Искусни заваривачи некад користе и одмицање у једну страну приликом заваривања. Корисно је користити делимичне заваре (припоје), при чему их касније треба одстранити или претопити приликом заваривања. Уколико се претапају, пожељна је њихова делимична обрада брушењем ради лакшег каснијег претапања [8].

- **Завршни кратер**

Ако се завршни слој не попуни правилно, појавиће се у њему кратер и прслине, које касније могу да се прошире (слика 3.6). Разлог за појаву овог кратера је притисак електричног лука. При гашењу лука, алуминијум се брзо кристалише и може настати кратер. У кратеру, док је још врућ, постоје велики притисни напони (напони скупљања) и то може довести до прслина. Избегавање ове појаве се изводи правилним попуњавањем завршног слоја. Данас сви савремени пулсни TIG и MIG апарати имају програме за правилно попуњавање кратера што је веома корисно [8].



Прслина у завршном кратеру
Слика 3.6 Прслина која у завршном кратеру [8].

Да би се изегла прслина у завршном кратеру, осим поменутих програма, могуће је користити и следеће технике [8]:

- заваривање прекинути ван шава, на тзв завршној плочици или
- повратним заваром (кораком) на већ положен шав.

- **Подлошке**

За заваривање сучеоних спојева могуће је коришћење подлошки од керамике, бакра, нерђајућег челика, анодизираних алуминијума итд. Подлошке могу бити привремене и трајне ако улазе у метал шава (у овом случају од истородног материјала као основни). Када се користе привремене подлошке обичај је да нема зазора у жлебу, а када се користи трајна подлошка, треба оставити одговарајући зазор [8].

- **Брушење коренског дела шава и наношење новог пролаза**

Чест је случај да се после заваривања са једне стране, брушењем, односно одговарајућим глодалом или на други начин, одстрани корена страна и да се претопи у циљу добијања "потпуне пенетрације". Понекад, потребно је разјаснити са технологом заваривања да ли је дозвољено брушење („вађење“) корена и накнадно наношење новог зава. Циљ ове операције јесте елиминација могућих грешака у коренском делу шава, због смањене гасне заштите односно штетног утицаја гасова из ваздуха, пре свега кисеоника и азота [8].

- **Топли пролом**

Један проблем који се јавља при заваривању алуминијума, а није уочен код других легура, јесте тзв. **топли пролом**. Кад се загревањем достигне температура топљења, алуминијум нагло губи чврстину. Заваривачка купка и околна површина могу се скроз проломити и пропасти кроз жлеб остављајући рупу у споју.

Често је потребно да се заваривани Al-делови чврсто стегну и да тако остану пре, у току и после заваривања. Ако се полажу широки завари на танком лиму може се догодити топли пролом, јер алуминијум нагло губи чврстину непосредно пре топљења. То се манифестује тиме што се купка и околни метал одвајају и испадају те остаје рупа у основном металу. Ово се спречава помоћу подложне траке или плоче постављене испод жлеба. Препоручује се да трака, односно плоча буду од нерђајућег челика (18Cr10Ni). Кад је коренска страна неприступачна, проламање се може спречити технолошким мерама тј. Правилним избором параметара заваривања који стварају купку најмање запремине [8].

- **Заваривање одливака и ливених легура**

Овај сегмент је веома занимљив свим стручњацима и заваривачима, јер многи делови који се сломају и донесу на поправку су одливци, као на пример: блокови мотора, главе, носачи мотора, кућишта алата и машина и тсл. Одливци су легуре типа AlSi са Mg и/или Cu. Карактерише их присуство микропорозности. Ово представља тешкоћу, јер су одливци често третирани хемијским средством ради попуњавања порозности, тј. добијања непропусности/херметичности. У другом случају, у ове микропоре улазе разни гасови, уља и нечистоће. При заваривању долази и до испаравања и до мешања са металом шавом што веома отежава заваривање. Одливци су често компликоване геометрије, са доста танких и дебелих зидова, па је корисно применити предгревање на температури од 100 - 200°C [8].

4. Методе заваривања алуминијума и његових легура (GPZ, REL, TIG, MIG)

4.1 Гасни поступак заваривања (GPZ)

Гасно заваривање (слика 4.1) се сврстава у методе заваривања топљењем, јер се чврст спој између завариваних делова остварује топљењем и затим очвршћивањем њихових ивица. Иако се као гориви гас највише примењује ацетилен, у неким областима заваривања и сродним поступцима користе се и други гасови. Осим техничких гасова за заваривање се употребљавају и додатни материјал, а понекад и топителји [15, 8, 26].



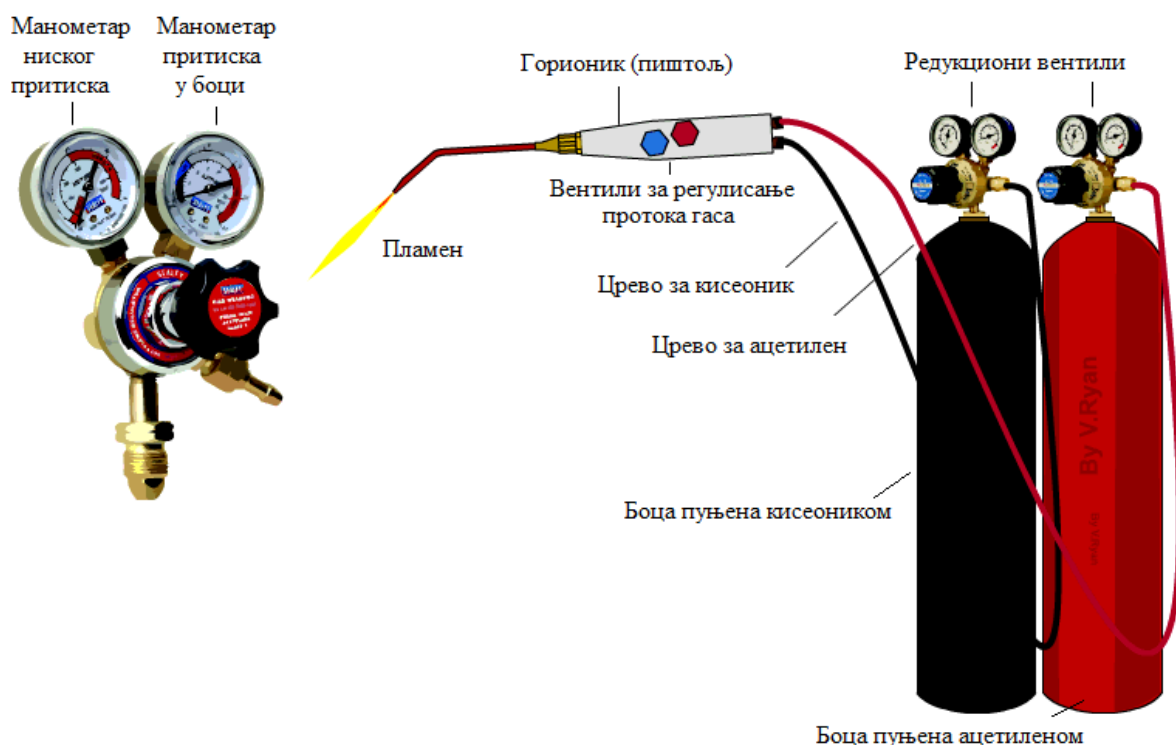
Слика 4.1 Поступак гасног заваривања [14]

За заваривање и сечење *гориви гас* је пре свега ацетилен C_2H_2 . Други гориви гасови, као водоник, нафтни гас, коксни гас, земни гас, метан, бензинске паре не користе се за заваривање челика због ниже температуре пламена и јаког оксидишућег дејства. Могу бити коришћени за предгревање, жарење или сечење, као и за заваривање неких нискотопљивих метала и њихових легура.

За заваривање челика употребљавају се разне врсте *додатних материјала* (жица) који се бирају зависно од врсте завариваног челика. Неопходно је да жице буду глатке и чисте, тј. без оксида, масти, боја и других нечистоћа. Треба их чувати и од влаге. У случају појаве корозије, потребно је да се жице пре употребе очисте брусним папиром.

Топитељи су средства у облику праха или пасти неопходних за заваривање ливеног гвожђа, бакра, месинга, бронзи, алуминијума и нерђајућих челика и других легура. Топитељи штите течан метал од оксидације у процесу заваривања, везују тешко топљиве оксиде градећи једињења која као лакша од метала испливају на површину. Према хемијском саставу, топителји могу бити кисели или базични, а њихово дејство заснива се на чињеници да метали растварају сопствене оксиде, а оксиде других метала преводе у треску [15, 8].

Опрема за гасно заваривање састоји се из: боца за гасове, редукционих вентила, осигурача (сувих или водених), разводних црева и горионика (слика 4.2) [8, 15].



Слика 4.2 Опрема за гасно заваривање [16]

4.2 Ручно-електролучно заваривање (REL)

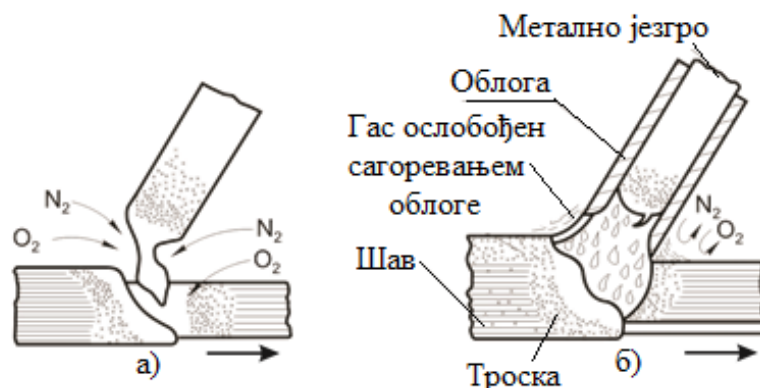
Метод REL заваривања се заснива на успостављању и одржавању лука између радног предмета и додатног материјала (електроде). У пракси електрични лук се успоставља најпре примицањем електроде ка радном предмету (слика 4.3а), затим њиховим додиром (слика 4.3б) и најзад наглим одвајањем (слика 4.3в). При одмицању електроде струјно коло тежи да се и даље одржи те настаје лук. Ручним електролучним заваривањем, постиже се већа концентрација топлоте, а самим тим и брже заваривање и ужа зона под утицајем топлоте него при окси-ацетиленском заваривању [17].



Слика 4.3 Успостављање електричног лука код РЕЛ заваривања [17]

Приликом РЕЛ заваривања примењују се обложене електроде (слика 4.4 - б) којима се постижу боље особине метала шави и ЗУТ-а и стабилнији лук у току заваривања, јер приликом коришћења голих електрода (слика 4.4 - а) растопљени метал бива директно изложен кисеонику и азоту из ваздуха.

При овој појави механичке особине шави су веома ниске, а нарочито пластичност и ударна жилавост. Стога је такво спајање метала било неприменљиво.



Слика 4.4 Гола (а) и обложена електрода (б) приликом заваривања [17]

Основна улога облоге електроде јесте да [17]:

- штити металну капљицу, купку и зону заваривања од кисеоника и азота из ваздуха (спољне атмосфере) где се најпре ствара заштитни гасни омотач око металне капљице на путу кроз електрични лук;
- дезоксидише растоп, тј. редукује оксид гвожђа (FeO) из купке образујући оксиде других елемената који су нерастворљиви у гвожђу и прелазе у троску;
- легира метал шави хемијским елементима садржаним у облози;
- доприноси стабилизацији електричног лука (захваљујући елементима K , Na , Ca и оксида Fe);
- прекрива купку течном троском која као топлотни изолатор продужава време хлађења шави и штити га од ваздуха.

На слици 4.5 је приказана обложена електрода.



Слика 4.5 Обложена електрода код REL методе заваривања [18]

Према **металуришким карактеристикама** облоге, електроде могу бити: киселе (оксид гвожђа), кисело-рутилне, базичне, целулозне, оксидне, рутилне-средња дебљина облоге, рутилне-дебела облога и друге [17].

4.2.1 REL заваривање алуминијума и његових легура

Приликом заваривања алуминијума овом методом, користе се специјалне обложене електроде. Пречник електроде намењен за поуну II и V - жлеба (слика 4.6) одређује се према изразу [17]:

$$d_e = s + 1. \quad (4.1)$$

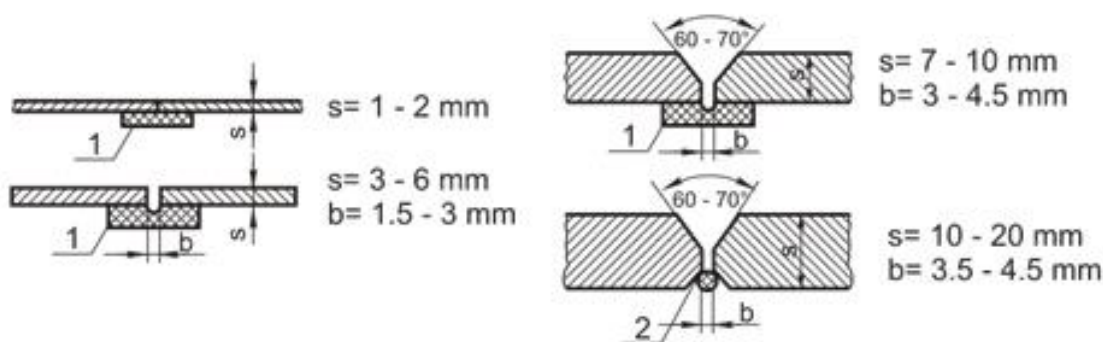
За X – жљеб пречник електроде износи [1]:

$$d_e = s/2 + 1, \quad (4.2)$$

Где је: s - дебелина радног предмета у mm .

Код плоча дебелине 6 - 10 mm потребно је предгревање на 200-250°C, а за плоче дебелине 10-16 mm препоручује се предгревање на 300-350°C. Облоге електрода намењених за заваривање алуминијума веома су хигроскопне, па се пре заваривања оне обавезно суше на 250-350°C у интервалу од 2 до 3 сата. Положаји заваривања могу бити природни (хоризонталан) и принудни (вертикалан, зидни и надглавни), а електрода се води праволинијски уз што краћи електрични лук [17].

Припрема страница радних предмета, сходно њиховој дебелини, приказана је на слици 4.6. Веома брзо одвођење топлоте из зоне заваривања (3.7 пута брже код Al него код челика) може се умањити постављањем графитних подлошки (позиција 1 на слици 4.6) или уметањем графитног штапића (позиција 2 на слици 4.6) у корен жлеба [17].



Слика 4.6 Припрема алуминијумских лимова и плоча за електролучно заваривање [17]

После заваривања, троска се одстрањује челичном четком. Предности REL заваривања алуминијума у односу на гасно, јесу већа продуктивност и боља отпорност споја према корозији. Својства отпорности и пластичности REL шава, могу бити блиска основном материјалу. Мана, која нема већи практични значај, јесте микропорозност на лицу шава и у прелазној зони. Микропоре се уочавају само под микроскопом и не погоршавају механичка својства споја, али у извесној мери смањују корозивну отпорност. Знатно штетнији могу да буду гасни мехурићи који се појављују при коришћењу влажних електрода или ако се алуминијумске плоче заварују без предгревања. Без обзира на ове недостатке, РЕЛ заваривање алуминијума, још увек налази примену, мада се предност даје методима заваривања у заштити аргона (TIG и MIG) [1].

Чињеница је да постоји 4 типа алуминијумских електрода (чист Al , $AlMn$, $AlSi5$ и $AlSi12$, од којих је ова последња најчешће коришћена). Облога електроде садржи соли за растварање оксида, као и елементе за стабилизацију лука и заштиту од спољашње атмосфере [8].

Недостаци који су се јавили у пракси REL заваривања алуминијума су следећи[8]:

- не могу сви REL апарати заваривати са алуминијумским електродама, потребан је добар „hot start“ и резерва радног напона. Препорука је испробати апарат пре куповине, како ради са алуминијумском електродом;
- када се лук упали и повлачи електрода, њено трошење је такво да се мора буквално гурати у шав (нарочито она од 2.5 mm);
- јако је тешко разазнати шта се дешава у металном купатилу, па тек по прекидању заваривања и уклањању шљаке може се видети резултат;
- порозност је веома извесна код овог поступка;
- шљака често остаје у металу шава;
- шљака је иначе корозивна и потребно ју је темељно одстранити (у пракси је заступљено да се прво нанесе један пролаз, потом се заваривачким чекићем уклони већи део шљаке, а онда брусилцом одстрани онај део метала заваара који има шљаку).

Резултат завареног споја REL технологијом је такав да је постојан али готово никада није одличан, мерено нивоима квалитета по одговарајућем стандарду. То иде толико далеко да стандард SRPS EN ISO 9606-2: 2009 (који описује процедуру атестације заваривача за заваривање алуминијума) уопште не признаје REL метод, већ само TIG и MIG. Другим речима, не постоји могућност да неко добије атест за заваривање алуминијума РЕЛ поступком [8].

Принцип рада

Електрода се, приликом примене REL метода за заваривање алуминијум и његових легура, прикључује на плус пол (E+). У току рада води се вертикално са кратким луком, што практично значи, због брзе потрошње електрода се буквално гура током брзог вођења. Овај начин "брзо гурање + брзо вођење" не постоји ни код једне друге електроде, па и највештији заваривач мора да се допунски увежбава. Због малог укупног локалног уноса топлоте, делове преко од 4 до 5 mm је увек потребно предгрејати на 100-250°C. Метално купатило се током процеса заваривања тешко прати, поготово код лошијих алуминијумских електрода, па се не може предвидети каква ће се врста заваара добити. Тек када се шљака скине, може се тачно видети резултат. Шљака (троска) је склона корозији и треба је тотално уклонити. Процес скидања шљаке се изводи механички - чекићем и четком, али ако је потрбно, неопходно је и обрусити део метала са заробљеном шљаком. Уколико је електрода делимично потрошена, пре паљења лука је потребно скинути скраму створену на врху електроде. На нашим просторима је било неколико случајева постизања одличних заварених спојева. У питању је било репаратурно заваривање глава и блокова мотора, уз употребу електрода највишег квалитета [8].

Облога електроде је, као што је описано хигроскопна, односно склона ка упијању влаге, па се препоручује опрезно руковање приликом сладиштења. Иначе, у ливницама се електрода користи за репаратуру шупљина и других грешака у одливцима.

Постоје случајеви када се обложена електрода може искористити за [8]:

- заваривање гасним пламеном, нарочито AlSi12 типом електроде где облога има улогу топителја;
- TIG заваривање са волфрамом на минус полу (E-) који даје већу пенетрацију а облога хемијски раствара оксиде са површине основног метала.

Изглед шави на алуминијуму, добијен обложеном електродом, је дат на слици 4.7.



Слика 4.7 Изглед шави добијен обложеном електродом [8]

На слици 4.9 је дат практичан пример извођења заваривања веће цевне прирубнице обложеном електродом типа AlSi12 (електрода беле боје). Резултат је био добар и постигнута је тражена херметичност. Процес се изводио у шахту водоводног предузећа [8].



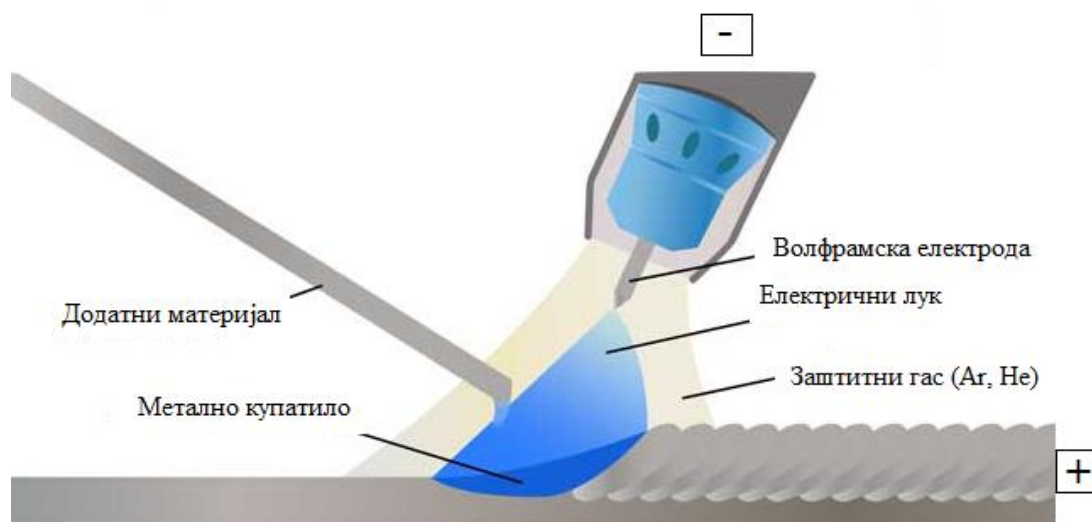
Слика 4.6 Пример извођења заваривања прирубнице [8]

Закључак је да је у принципу могуће заваривати алуминијум РЕЛ начином, пре свега за мање одговорне спојеве. Могуће је прилично добро наваривати удубљена места, уз чишћење шљаке и брушење после сваког пролаза. Уз доста труда је могуће репаратурно заваривати картере, блокове, главе мотора, али овај метод је тотално инфериоран у односу на TIG или пулсни MIG поступак заваривања [8].

4.3 TIG заваривање алуминијума и његових легура

TIG заваривање представља електролучно заваривање нетопљивом волфрамском електродом ($T_t \approx 3410^\circ\text{C}$) у заштити гаса где се спајање метала извршава топљењем и очвршћавањем дела основног и дела додатног материјала (жица – ако се користи), при чему се примењује инертан (неутралан) гас који неће стварати хемијска једињења са елементима из окружења. Активни гасови (CO_2) и њихове смеше не долазе у обзир, јер би изазвали оксидацију врха електроде [19, 26].

Код TIG метода заваривања (Tungsten Inert Gas), електрични лук се успоставља и одржава између волфрамске електроде и радног предмета, а у заштити инертних гасова (Ar, He) (слика 4.9) [19].



Слика 4.9 TIG метод заваривања [20]

Лимови (плоче) дебљине мање од 6 mm се могу међусобно спајати овим поступком без додатног материјала, стапањем страница волфрамском електродом, где је заварени спој - рубни (ивични) шав [19].

У нормалним радним условима волфрамска електрода се не топи па се за формирање заваривачког купатила, осим претопљеног материјала, посебно доводи и додатни материјал сличан основном материјалу. Тај материјал, у виду жице или шипке мањег пречника, топи се у електричном луку на ивици купке.

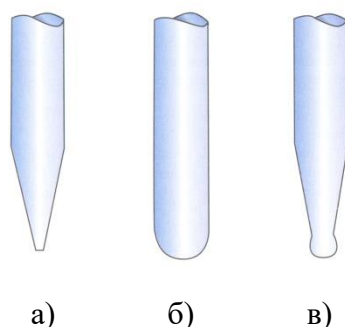
Пошто се врх усијане волфрамске електроде лако оксидише (контаминира) кисеоником из ваздуха, неопходна је потпуна заштита врха волфрамске електроде и заваривачког купатила од гасова из ваздуха. Показало се да инертни гасови (аргон - Ar и хелијум - He) дају стабилан електрични лук и одличну заштиту волфрамске електроде и металне купке [19].

TIG поступак се може механизовати помоћу посебних аутомата за довођење додатног материјала-жице пречника до 2.5 mm [19].

Термомеханичке особине чистог волфрама су [19]:

- јачина на кидање: $R_m = 3447 \text{ MPa}$;
- тврдоћа: 45 HRC;
- температура топљења: 3410°C ;
- температура кључања (испаривања): 5630°C ;
- термичка проводност: $\lambda = 199.2 \text{ W/mK}$.

При TIG заваривању струјом обрнутог поларитета (E+), највећа количина топлоте ослобађа се на врху електроде, па је потребно обликовати врх према слици 4.10в.



Слика 4.10 Основни облици врхова *W*-електрода: а) тачкасти; б) полулоптасти и в) кугличасти [19]

На нашим просторима за TIG заваривање се као заштитни гас најчешће примењује **аргон (Ar)** високе чистоће 99,95 до 99,99%. Испоручује се у челичним боцама под високим притиском од 150 ± 3 bara. На излазу је редукциони вентил који даје радни притисак од 3.5 bara [19].

Пошто аргон има нижи потенцијал јонизације од хелијума, лакше се у аргону успоставља лук и мањи је пад напона. С обзиром на то да је аргон тежи 10 пута од хелијума, аргонска заштита знатно је делотворнија у хоризонталном положају него хелијумска. Такође, и за заваривање наизменичном струјом подобнији је аргон, јер се лакше успоставља електрични лук кад је електрода на позитивном полуталасу наизменичне струје, која омогућава површинско катодно чишћење. Најзад, аргон је погоднији за ручно TIG заваривање, јер случајна промена дужине лука незнатно утиче на његову стабилност [19, 26].

Хелијум (He) се више користи у Америци, јер је јефтинији будући да се тамо добија као примеса земног гаса. После пречишћавања, хелијум се директно може употребити као заштитни гас. Без обзира на то што аргон има више предности, ипак се за неке специфичне случајеве препоручује хелијум: може се одржавати лук веома мале дужине и тако се добија дубок, танак завар који најбоље одговара за полагање коренског пролаза при изради шавних цеви, хелијум је повољнији за радове у надглавном положају, јер се као лакши од ваздуха подиже у зону заваривања ефикасније штитећи купку [19].

Да би се искористиле добре особине оба гаса (Ar и He), у неким случајевима се препоручује употреба мешавине, нпр. 75% He + 25% Ar [26].

Код заваривања алуминијума и његових легура, најчешће се примењује мешавина Ar и He у односу 70% He + 30% Ar.

Мешавином се постиже дубље уваривање и омогућава рад са наизменичном струјом, којом се остварује тзв. катодно чишћење неопходно за заваривање алуминијума и његових легура [19].

Извори напајања за TIG-заваривање

TIG заваривање се углавном изводи ручно а само у ретким случајевима и механизовано. Струјно - напонска карактеристика извора напајања је слична као код РЕЛ уређаја.

Таква струјно - напонска карактеристика извора напајања означава да се на излазу извора добија $I = \text{const}$, што одговара стрмопадајућој струјно-напонској карактеристици. На савременим изворима за TIG заваривање може се одабрати [19]:

- наизменична струја ($\sim$)
- једносмерна струја (—)
- наизменична и једносмерна струја ($\sim, \text{—}$)

За радове на терену користе се агрегати који производе наизменичну или једносмерну струју. Енергетски параметри лука (напон лука – U_l и јачина струје у луку – I_l), повезани су следећим релацијама [19]:

$$U_l = 10 + 0.04 \cdot I_l, V \text{ при } I_l < 600 A \text{ и} \quad (4.1)$$

$$U_l = 34 V \text{ при } I_l > 600 A \quad (4.2)$$

У зависности од удела људског рада, разликују се следећи начини TIG заваривања [19]:

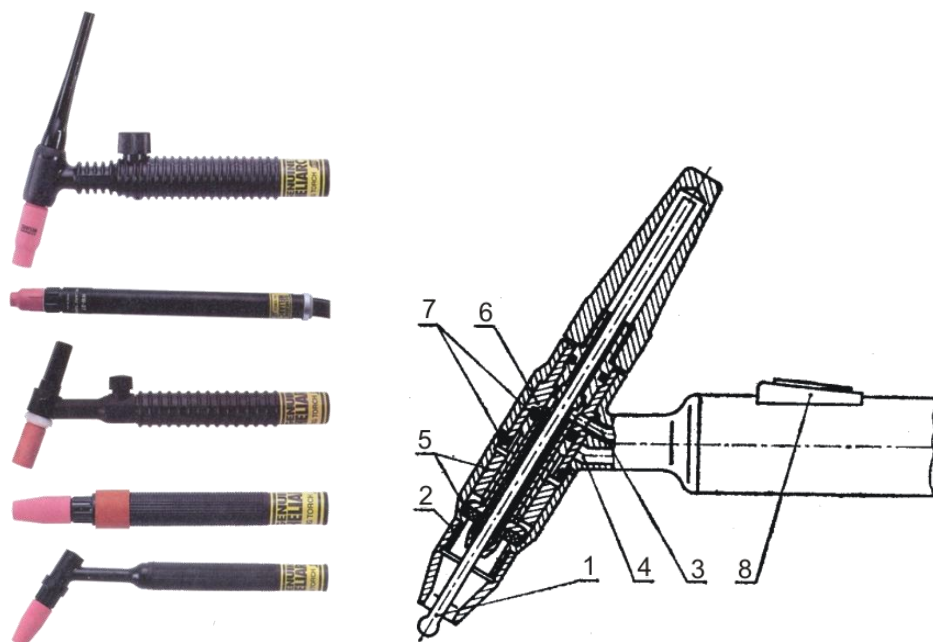
- Ручно,
- Механизовано,
- Аутоматско и
- Роботизовано.

Механизација TIG-а, односи се на довођење додатног материјала у лук и померање радног предмета (помоћу малог електромотора једносмерне струје, слика 4.11) [19].



Слика 4.11 Схема механизованог TIG - заваривања врућом жицом [19]

Различити типови горионика су дати на слици 4.12-лево. Горионик се састоји из (слика 4.12-десно): W- електроде (1), гасне млазнице (2), прикључака за Ar и H_2O (3, 4), изолације (5), вођице електроде (6), заптивача (7) и стартера (8) [19].

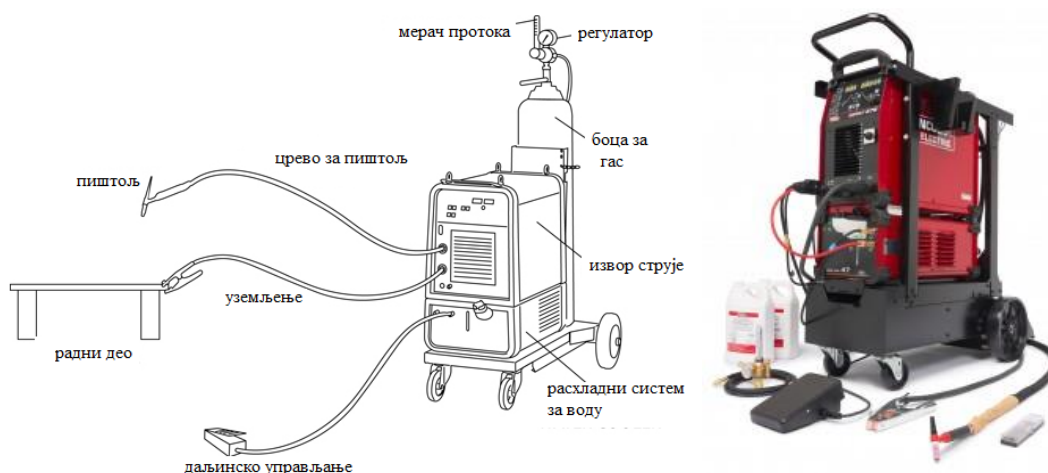


Слика 4.12 Типови горионика (лево) и делови горионика (десно) [19]

TIG заваривање алуминијума је један од доминантних метода заваривања алуминијума, поготово када је битна естетика, када су у питању танки делови, прецизни спојеви и тсл. У последње време део TIG подручја заваривања алуминијума и његових легура је преузео MIG уз помоћ напредних функција електронске контроле лука [8].

Треба напоменути да је за заваривање TIG-ом, потребно имати AC/DC апарат, тј. алуминијум се заварује у AC режиму. AC режим значи да струја у луку мења поларитет, час је негативна а час позитивна. У општем случају фреквенција AC струје лука прати фреквенцију струје из мреже (50 Hz). Разлог за ово је природа алуминијума, односно формирање оксидног слоја, као и природа TIG заваривања [8].

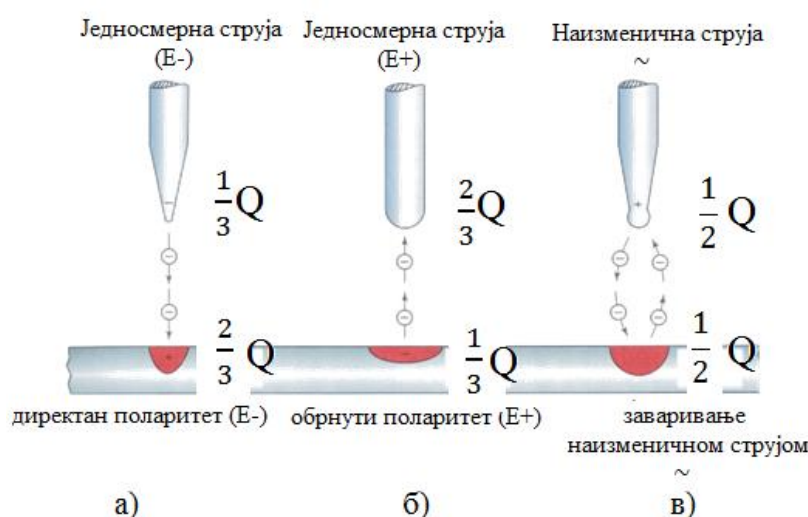
Схема уређаја за TIG заваривање је дата на слици 4.13.



Слика 4.13 Схема уређаја за TIG заваривање [21]

Ефекат катодног чишћења

Код TIG заваривања, када је електрода на минус полу (E-) сматра се да се у основни материјал уноси 70% ($\frac{2}{3} Q$) топлоте лука, а 30% ($\frac{1}{3} Q$) се преноси на волфрамску электроду (слика 4.14 - а). Када је електрода на плус полу (E+), обрнут је случај, 70% ($\frac{2}{3} Q$) топлоте се предаје волфрамској електроди, а 30% ($\frac{1}{3} Q$) се преноси у основни материјал (слика 4.14 - б). Конкретно то значи да је уваривање, тј. пенетрација у материјалу већа када је електрода на минус полу. Међутим, ако би се заваривало само на E- у заштити аргона, топлота не би била довољна да разбије, а ни да растопи оксидни слој, већ би га уносила у метал шав. При заваривању на E+ дешава се да се оксидни слој разбија и разбацује ван места заваривања. Ранија теорија је била да електрони чистог алуминијума ударају у оксидни слој и разбијају га. Најновија теорија (јер стара теорија није могла да објасни како електрони који практично немају масу могу нешто да разбију) каже да јони гаса, који имају масу, а тиме и знатну кинетичку енергију, ударају и разбијају оксидни слој. Зато се користи наизменична струја за заваривање алуминијума аргонем (слика 4.14 - в) где се 50% ($\frac{1}{2} Q$) топлоте одводи у ОМ, а 50% ($\frac{1}{2} Q$) одводи на волфрамску электроду. У једној фази када је електрода на плус полу, јони гаса разбијају оксид, а када је електрода на минус полу, следи растапање основног материјала и дубоко уваривање [8].



Слика 4.14 Утицај врсте струје и поларитета на расподелу топлоте при TIG-заваривању [19]

Електрони, заправо не разбијају оксид јер немају масу, али са друге стране потенцијал јонизације саме легуре је већи од потенцијала јонизације оксида. Ово доводи до парадокса. Чист метал укључујући и онај у растопљеном стању је лош емитер електрона. Зато препоруку за скидање оксида не треба схватити буквално, јер ако се сав оксид уклони, лук ће постати нестабилан. Из разлога стабилности лука, потребно је да остане нешто оксида после чишћења [8].

Додатни метали могу бити у облику шипки, жица или жица намотаних на калем као и топлјивих уметака. Посебни стандарди дефинишу додатни метал за разне техничке метале: легуре алуминијума, легуре бакра, легуре магнезијума, легуре никла, угљеничне челике, нерђајуће челике и легуре титана. Стандардизовани пречници жица/шипки крећу се од 0.76-6.4 mm, номиналне дужине 920 mm, жица 0.5-4.8 mm, а спољни пречник калема се креће од 100 до 300 mm [19].

A5.10 је ознака за жице и голе електроде за заваривање Al и легура Al по стандарду AWS (*American Welding Society*) [19].

Још једном се наглашава да додатне жице за TIG метод морају да се одржавају беспрекорно чисте, у стању у каквом су испоручене. Свака прљавштина, мазиво, смоласте материје, уље или чак и ознаке оловком преносе се у шав. Отворене кутије за чување жица, запрљане или замашћене заваривачке рукавице, нечиста опрема, све отежава израду шавова задовољавајућег квалитета. Зато се каже да се додатне жице контролишу "белим рукавицама", па ако на њима остане траг, жице се морају још очистити. У заваривачници, жице се држе у чистом орману и у затвореним кутијама. Свака кутија мора да има налепницу која садржи: пречник жице, хемијски састав и ознаку жице. Треба имати у виду да се жице од нерђајућих челика продају у паковању од 11-22 kg [19].

Основа за добијање "здравих" шавова је правилна припрема страница радних предмета (или закошавање страница) која се изводи брусним плочама или на машинама алаткама (струг, глодалица, рендисалка). Брусне плоче морају да буду чисте и да се користе само за метал који се заварује. У супротном, задржане честице страних метала прелазе са плоче на странице жлеба и као страни укључци остају у металу шав. После брушења, а непосредно пре заваривања, потребно је очистити странице жлеба жичаном четком. Такође се мора водити рачуна и о мазивима коришћеним при машинској изради жлебова. Обавезна је употреба новог или филтрираног средства за хлађење и подмазивање које не садржи остатке честица од претходне обраде резањем. У сваком случају, странице жлеба и ближу околину треба очистити од површинских оксида, влаге и свих страних материја. Радни предмети дебљине до 3 mm, могу се у сучеоном споју заваривати без закошења, тј. у природном I-жлебу. То се односи на лимове од угљеничних, нисколегираних и нерђајућих челика и алуминијума [19].

4.3.1 Оцена заварљивости легура алуминијума TIG поступком:

Иако се TIG-ом могу заварити готово сви технички метали и њихове легуре, ипак треба имати у виду да аргонско заваривање није јефтин процес, како због скупог уређаја, скупог заштитног гаса, специјалних додатних материјала и скупог рада висококвалификованих заваривача. Због тога се TIG користи само за тешко заварљиве метале и легуре (нерђајуће челике, легуре алуминијума, магнезијума, титана, бакра и др) [19].

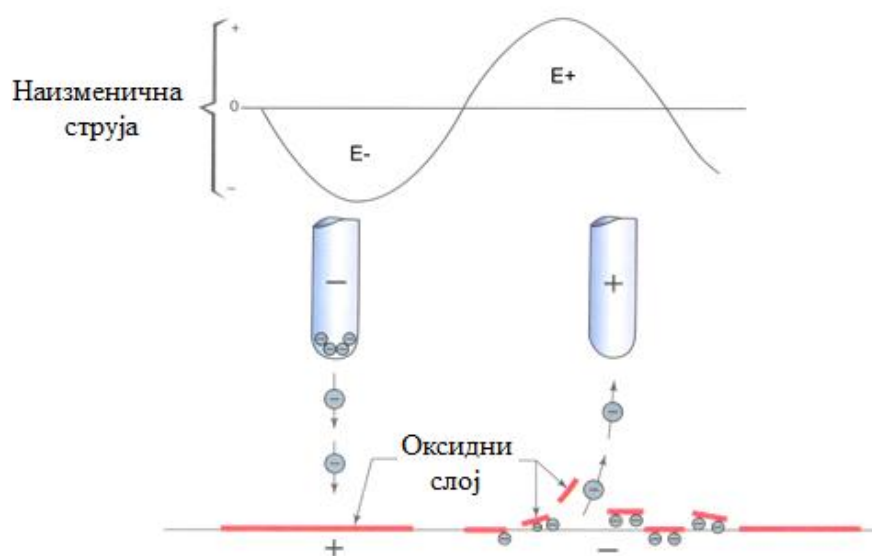
Нежелезни метали и њихове легуре најуспешније се заварују у заштити инертног гаса (методима TIG и MIG). То се односи на легуре алуминијума, бакра, магнезијума, никла, титана, берилијума и цирконијума [19].

Највећи утицај на заварљивост алуминијума и његових легура имају следећи фактори [19]:

- велика склоност алуминијума ка оксидацији и формирању тешко топљивог површинског оксида Al_2O_3 високе температуре топљења ($2038^{\circ}C$), која је око 3 пута већа од температуре топљења алуминијума ($660.4^{\circ}C$), а самим тим и од температуре заваривања.

Густина оксида алуминијума (око 3.96 g/cm^3) је знатно већа од густине основног метала (2.699 g/cm^3) па се оксидна скрама мора уклонити пре заваривања, јер у супротном Al_2O_3 тоне у металну купку и остаје у металу шава као неметални укључак;

- велико линеарно термичко ширење, што при загревању доводи до знатних деформација и заосталих напона, као и бројних грешака (прслина и деформација); зато се при заваривању алуминијума и његових легура бирају поступци који дају минималан унос топлоте;
- велика термичка проводност Al (четири пута је већа од нискоугљеничних челика, а 13 пута већа од нерђајућих челика);
- велика електропроводљивост (два пута већа од бакра при истој маси јер је Al знатно лакши);
- велика склоност ка апсорпцији гасова из ваздуха, што може проузроковати порозност шавова (нарочито због водоника из водене паре);
- алуминијум при загревању не мења боју што отежава визуелно праћење процеса топљења;
- легуре алуминијума су склоне ка сегрегацији у ЗУТ-у, што погоршава механичке особине споја и отпорност према корозији;
- термичка дисоцијација водене паре при $550\text{--}650^\circ\text{C}$ доводи до сједињавања Mg са водоником што ствара порозност шава код легура Al-Mg;
- Све горе наведено може проузроковати грешке у завареним спојевима, познате као: топле прслине, хладне прслине и порозност шава;
- Алуминијум и његове легуре успешно се заварују МИГ-ом и ТИГ-ом, јер се ефектом катодног чишћења (слика 4.15) разбија и уклања тешко топљиви оксид Al_2O_3 .



Слика 4.15 Ефекат катодног чишћења [19]

Алуминијум и његове легуре углавном се заварују наизменичном струјом, с тим што дужину лука треба одржавати уз што мања одступања, јер то утиче на стабилност лука. Дубина уваривања и контура зава са су веома важни да се спрече грешке зване - заједи. Јачина струје и величина електроде бирају се према конкретном радном предмету. Додатни метал може, али не мора увек да се употреби зависно од врсте завареног споја и дебљине метала.

Добро подешавање спајаних елемената, чишћење жлеба и додатног метала и прецизна контрола процесних параметара, основни су предуслов за добијање шавова задовољавајућег квалитета [19].

TIG методом заваривања се могу изводити и тачкасто заварени спојеви углавном за преклопне спојеве приступачне само са једне стране. То се посебно односи на заваривање ребрастих лимова. Тачкастим заваривањем се углавном спајају делови шкољке аутомобила, склопови двоструких зидова, резервоари, конзоле за танкозидне љуске и лимове, као и танке љуске за дебље предмете.

Тачкасто заваривање TIG-ом може да се изведе не само на преклопним спојевима, већ исто тако и на сучељеним лимовима. Овде је реч о прекидним правоугаоним шавовима који се полажу дуж спојне линије [19].

Предности TIG метода су [19]:

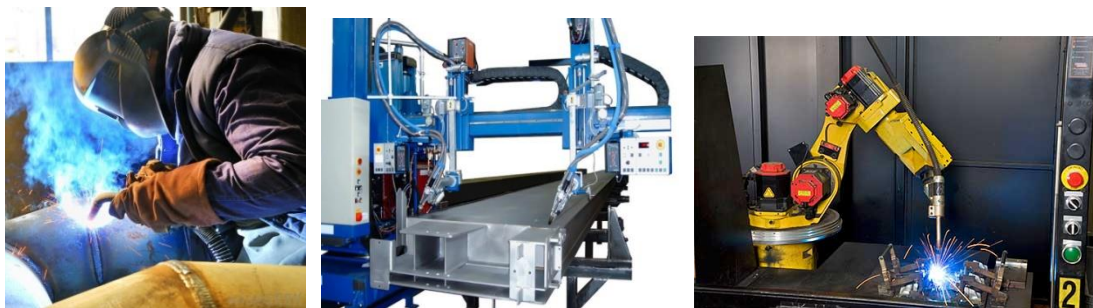
- врхунски квалитет споја, скоро без грешака;
- нема распрскавања-ДМ се топи у металној купки, не преноси се кроз лук;
- могућа примена и без ДМ;
- одлична контрола облика корена;
- прецизна контрола параметара заваривања;
- применљив на велики број ОМ;
- добра контрола извора топлоте и начина увођења ДМ;
- нема треске;
- могуће заваривање у свим положајима.

Недостаци TIG метода су [19]:

- релативно мала топлотна моћ и веома ниска продуктивност;
- захтева се посебна обученост заваривача;
- тешкоће у заштити завареног споја при заваривању на отвореном.

4.4 MIG поступак заваривања алуминијума и његових легура

MIG поступак се заснива на континуалном довођењу и топљењу додатног материјала у виду електродне жице у заштити инертних гасова, аргона и/или хелијума (слика 4.17). Овом методом је техно-економски оправдано заваривати лимове, плоче и конструкционе профиле. Предност MIG-а у односу на друге поступке је лакша механизација и аутоматизација чиме се добија знатно већа брзина заваривања, а самим тим и продуктивнији рад пошто се процес одвија без прекида. Механизација се може извести тако што се помоћу малог електромотора и одговарајућег механизма жица континуално доводи у жлеб. На тај начин заваривач само помера заваривачки пиштољ дуж линије споја. Развојем MIG/MAG, EPP и електроотпорске технологије заваривања развијени су и заваривачки аутомати, роботи који замењују људе на напорним, монотоним и по здравље опасним радним местима (слика 4.16) [22, 23].



Слика 4.16 MIG поступак заваривања (ручно, аутоматски, роботом) [24]

Могу се применити пуне жице (на бази челика, Al, Cu, све зависно од врсте основног материјала) и пуњене жице (челичне фолије се пуне спрашеним металима и топитељима: рутилом TiO_2 и кречњаком CaCO_3 и тсл). Заштитни гасови (Ar, He) штите заварени спој од штетног утицаја атмосферилија [22, 23].

MIG поступком се највише заварују легирани челици и нежелезни метали до 20 mm, помоћу жице пречника $1 \div 2,5 \text{ mm}$ [22, 23].

Основне карактеристике MIG поступка заваривања [22, 23]:

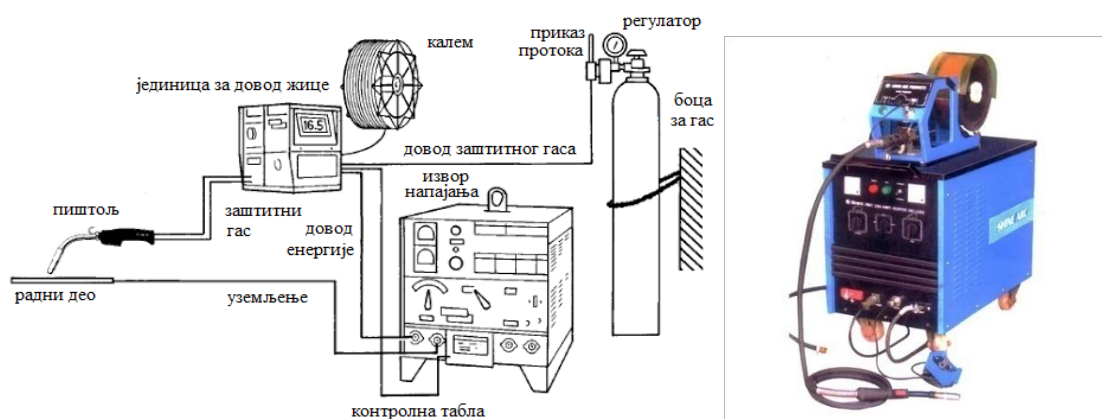
- Заваривање је могуће у свим положајима;
- Параметри завривања: $I = 150 \div 500 \text{ A}$, $U = 20 \div 30 \text{ V}$, $v_z = 6 \div 90 \text{ m/h}$;
- Проток аргона: $q = 20 \text{ l/min}$;
- Струјање: ламинарно;
- Спољна карактеристика извора: равна (пад 2 V на 100 A);
- Струја завривања: једносмерна обрнутог поларитета.

Овом технологијом се успешно заварују А1 и његове легуре из следећих разлога [22, 23]:

- није потребна употреба топитеља,
- применом једносмерне струје обрнутог поларитета (E+) долази до катодног чишћења-разарања оксидног слоја на ОМ,
- омогућавање већих брзина заваривања,
- ужи ЗУТ,
- мање деформације и
- релативно кратка обука заваривача.

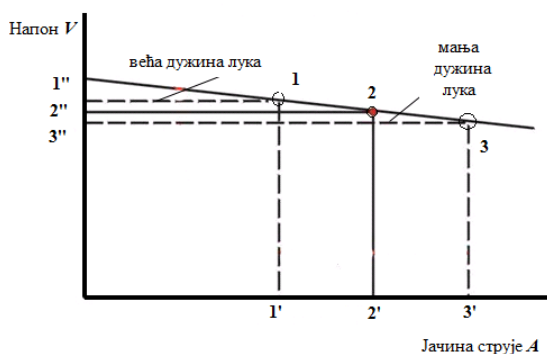
4.4.1 Извор напајања и помоћна опрема за MIG поступак заваривања

Извор напајања и помоћна опрема за MIG поступак заваривања су дати на слици 4.17. Извор напајања је заваривачки трансформатор са исправљачем који на секундарном намотају има равну или благо растућу струјно-напонску карактеристику, односно напон је константан (слика 4.18)



Слика 4.17 Извор напајања и опрема за MIG метод заваривања [25]

Наизменична струја се из секундарног намотаја трансформатора доводи у исправљач да би се добила једносмерна струја неопходна за MIG поступак заваривања, при чему се напон мења у врло малом опсегу, односно напон је константан и близак напону празног хода. Струјно-напонска карактеристика је при томе непромењена [22, 23].



Слика 4.18 Струјно-напонска карактеристика MIG поступка заваривања ($U \approx \text{const}$) [27]

Захваљујући томе што извор напајања на излазу даје константан напон могућа је саморегулација дужине електричног лука. Механизам саморегулације може се објаснити ако се прати промена јачине струје при неизбежном одступању дужине електричног лука од номиналне вредности (слика 4.18). На овој слици приказане су и статичке карактеристике лука: дужег и краћег у односу на номинални. Ако се при заваривању случајно скрати лук, нпр. због наилажења врха жице на припојне шавове у жлебу, јачина струје ће знатно порасти (од 1' до 2' до 3', сл. 4.18) те ће се врх жице брже топити, па се дужина лука враћа на номиналну вредност. Супротно томе, ако се дужина лука повећа, јачина струје се смањује до 1', успорава се топљење жице, те се дужина лука опет враћа на номиналну вредност. Ово одржавање сталне дужине лука, без утицаја заваривача, носи назив **саморегулација** [7, 22, 23].

Одабрани напон и брзина довођења жице одређују јачину струје и напон лука а тиме и облик преноса металних капљица од жице у купку; разликују се *краткоспојени пренос* и *пренос кроз лук*: *крупнокапљичаст*, *млазни* и *пулсирајући* [7, 22, 23].

Заваривачки пиштољ код МИГ методе поседује расхладни систем који може бити у зависности од јачине једносмерне струје (I_z) (слика 4.19) [7]:

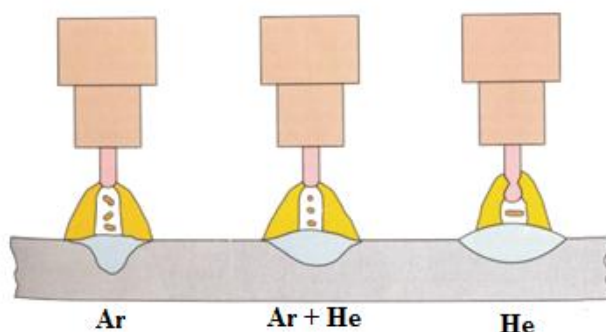
- за $I_z < 350\text{ A}$ – са ваздушним хлађењем (слика 4.19-1);
- за $I_z > 350\text{ A}$ – са воденим хлађењем (слика 4.19-2);
- код тачкастог заваривања-комбиновано (слика 4.19-3).



Слика 4.19 Облици пиштоља за MAG/MIG поступак заваривања – лево и заваривачки пиштољ марке „Miller“ за MIG поступак - десно [29]

Тачкасто MIG/MAG заваривање разликује се од електроотпорског по томе што овде формирање тачкастог шава почиње од горњег лима а делимично се преноси на доњи лим. Код електроотпорског тачкастог заваривања формирање шава започиње на додиру два лима, а сочиво се симетрично распоређује у горњи и доњи лим. Тачкастим MAG/MIG-ом могу се спајати лимови неједнаких дебљина, чак и ако су претходно офарбани. Поступак се често користи за припајање делова („хефтање“) било преклопних или угаоних спојева [7, 22, 23].

Дубине уваривања и облици навара добијени у заштитним гасовима Ar, Ar+He и He дати су на слици 4.20.



Слика 4.20 Утицај заштитних гасова на облик шави и дубину уваривања при MIG заваривању [22]

Инертни гасови се углавном користе за заваривање нерђајућих челика и нежелезних метала и њихових легура (Al, Mg, Cu). Уместо аргона, препоручује се хелијум за заваривање дебелих предмета од метала високе топлотне проводљивости (Al, Cu).

За спајање танких делова од метала мање термичке проводности боље је и јефтиније користити аргон; за Al, Mg и Cu може се употребити смеша Ar+He [7, 22, 23].

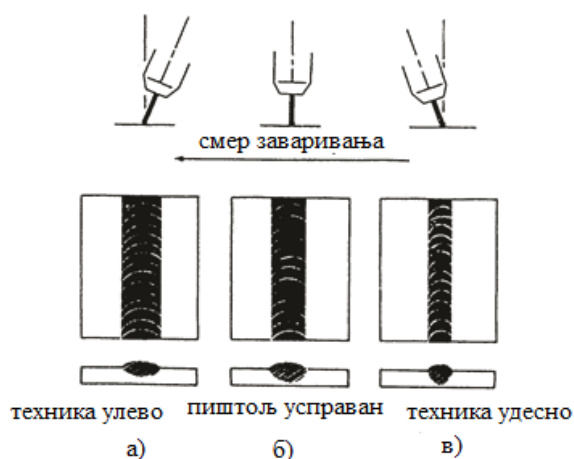
У табели 4.1 је дат преглед заштитних гасова за различите основне материјале.

Табела 4.1 Преглед заштитних гасова за заваривање различитих основних материјала [7]

Гасови	Основни материјали за заваривање
Ar	Сви метали
He	Сви метали
Ar + 35-75% He	Al; Cu; Ni (вертикалан положај)
Ar + 0.5% O ₂	Al и његове легуре
Ar + 1-2% O ₂	Високолегирани Cr-Ni челици
Ar + 3-5% O ₂	Нискоугљенични и нисколегирани челици
Ar + 5-10% H ₂	Аутоматско заваривање високолегираних Cr-Ni челика
Ar + 25-30% N ₂	Cu и његове легуре
Ar + 20-50% CO ₂	Нискоугљенични и нисколегирани челици
70% Ar + 20% CO ₂ + 2% O ₂	Нискоугљенични и нисколегирани челици
CO ₂	Нискоугљенични и нисколегирани челици

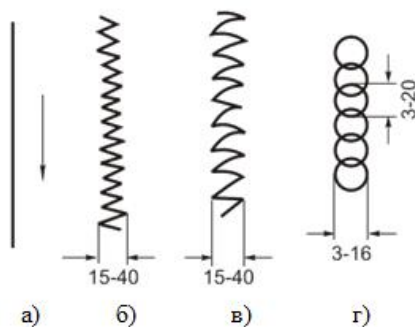
Заштита зоне заваривања аргоним спречава продор ваздуха до течног метала капљица и металне купке, а хемијска неутралност заштитног гаса омогућава хемијске реакције које мењају састав растопљеног метала. Ако је додатни метал исти као и основни, онда се при заваривању у заштити инертног гаса шав неће по хемијском саставу разликовати од основног. То не значи да се при заваривању у заштити инертног гаса не могу појавити одређене грешке. Наиме, хемијски активне примесе у заштитном гасу (кисеоник, азот, водена пара) могу довести до порозности шави као и погоршања њихових корисних особина. Извор хемијски активних гасова може бити такође и основни метал

Техника полагања завара зависи од дебљине радних предмета, положаја заваривања, основног материјала, заштитног гаса и др. Неправилна техника полагања завара и вођења пиштоља може проузроковати више грешака у завареним спојевима: гасне мехурове, непровар или испупчено лице шави. Разликују се технике *улево* и *удесно*. Улево се заварују тањи радни предмети, полажу коренски завари и изводе радови у принудним положајима. Овом техником добија се шав лепшег изгледа него кад се заварује удесно (слика 4.21) [7].



Слика 4.21 Утицај положаја пиштоља на облик шави и дубину уваривања; а) заваривање уназад; б) неутралан положај пиштоља; в) заваривање унапред (пиштољ нагнут у смеру заваривања) [7]

У зависности од дебљине завариваних предмета, кретање пиштоља може бити чисто праволинијско за положаје РА (хоризонталан) и РС (зидни) (слика 4.21а) или праволинијско уз бочно њихање (слика 4.21б,в,г) [7].



Слика 4.21 Препоручене технике кретања жице при MIG/MAG заваривању [7]

Овде се истиче да је пре увођења МИГ-а, алуминијум завариван окси-ацетиленски, РЕЛ-ом и ТИГ-ом. Тешкоће које проистичу због обавезне примене топителја код ГПЗ-а и РЕЛ-метода, превазиђене су ТИГ-заваривањем, али су остали проблеми који се односе на извођење угаоних шавова тешко приступачних за ТИГ-горионике, ниску продуктивност, као и недовољну концентрацију топлоте за дебеле пресеке. Те се тешкоће превазилазе МИГ-ом, нарочито кад се изводе угаони шавови на које отпада највећи број спојева у завареним алуминијумским конструкцијама (око 80%) [7].

Предности МИГ поступка заваривања су [7]:

- универзална примена са тачке гледишта ОМ,
- велика брзина топљења,
- велика брзина заваривања,
- релативно једноставна обука заваривача (за нелегиране и нисколегиране челике),
- једноставна механизација поступка,
- применљив у принудним положајима,
- мали инвестициони трошкови (за стандардну варијанту) и тсл.

Мане МИГ поступка су [7]:

- опасност од грешака у почетку заваривања,
- опасност од грешака при спором заваривању, због истицања течног метала испред електричног лука,
- релативно компликована обука заваривача (за високлегиране челике и обојене метале),
- тешкоће при заваривању на отвореном (струјање ваздуха).

5. Избор технологије заваривања алуминијума и његових легура

У оквиру ове тачке је описан избор најповољније технологије заваривања алуминијума и његових легура. Претходни текст описује неке основне теоретске чињенице о заварљивости ове врсте метала различитим технологијама, док је у оквиру ове тачке дат практичан пример одабира одговарајућег поступка заваривања алуминијума и његових легура и који се извршио од стране координатора заваривања у фирми „Милановић Инжењеринг“. Област пословања фирме укључује: пројектовање, инжењеринг, третман вода и машинску производњу.

Ова компанија има за циљ да буде препозната као поуздан партнер у индустрији шинских возила широм света. То им може омогућити сертификат, односно стандард који поседују – **IRIS** (*International Railway Industry Standard*). Овај стандард тежи развоју и имплементацији заједничких глобалних система за развој управљачких система у оквиру индустрије шинских возила, базираних на кључним принципима стандарда ISO 9001. Међународним стандардом ISO 9001 се специфицирају захтеви за систем менаџмента квалитетом онда када организација: а) треба да покаже своју способност да доследно обезбеђује производ или услугу који испуњавају захтеве корисника и применљивих закона и осталих прописа и б) има за циљ да повећа задовољство корисника ефективном применом система, укључујући процесе сталног побољшавања система и доказивање усаглашености са захтевима корисника и применљивих закона и осталих прописа. „Милановић Инжењеринг“ поседује интегрисани систем квалитета дефинисан стандардима 14001 и 18001 [30].

„Милановић Инжењеринг“, између осталог, производи заварене конструкције високог квалитета. Најчешће се врши заваривање легура алуминијума, угљеничних и нисколегираних конструкционих челика и високолегираних Cr-Ni нерђајућих челика. Пратећи највише захтеве клијената, фирма, инжењери заваривања и заваривачи поседују све неопходне сертификате и лиценце у области заваривања. Од поступака заваривања се примењују полуаутоматизовани MIG/MAG поступак и ручни TIG поступак за заваривање челика односно алуминијума, као и аутоматски MIG поступак за заваривања Al.

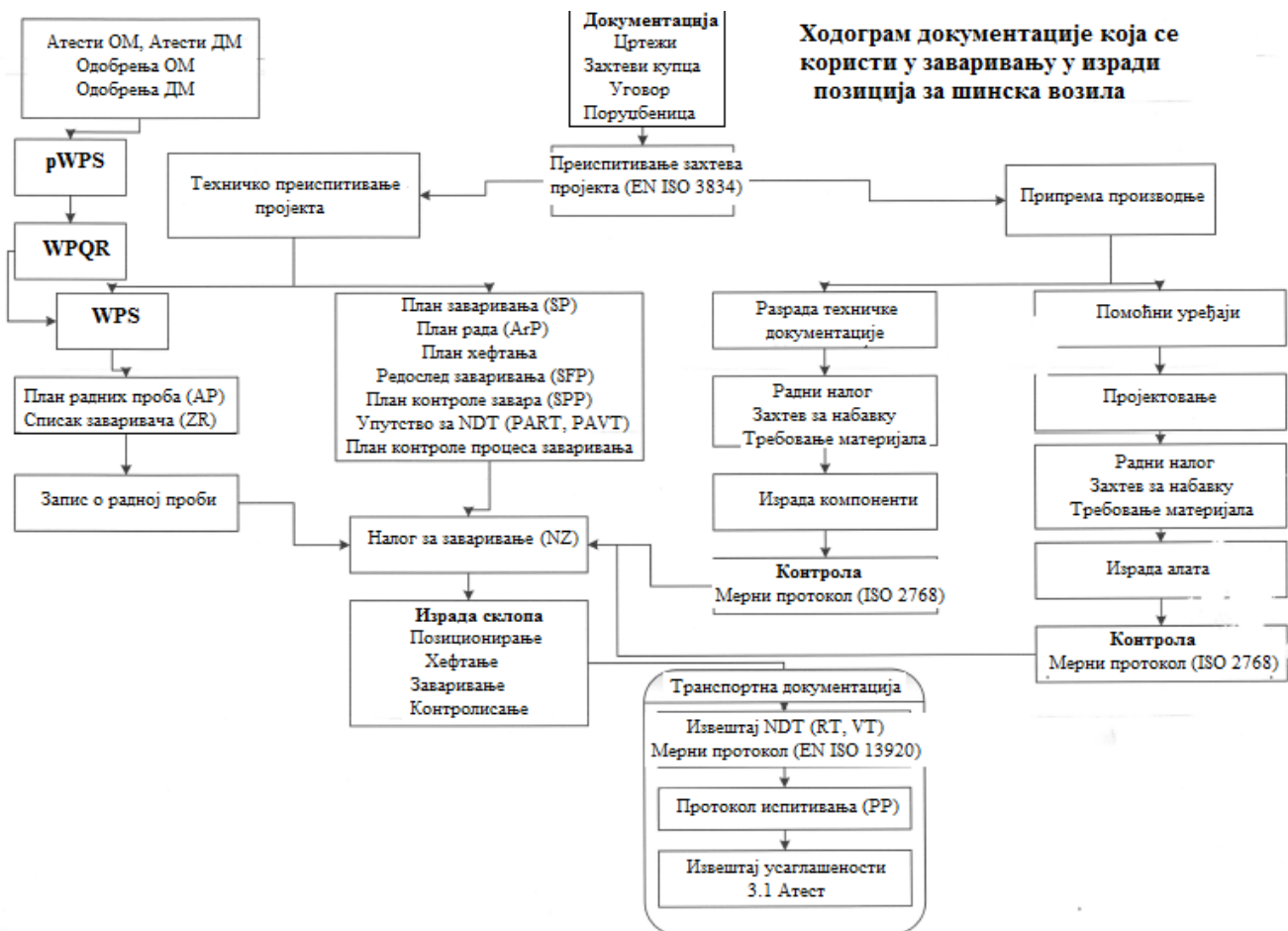
Поред наведеноих стандарда, примењују се и обавезни стандарди: EN 15085-2 Class CL1, (за израду шинских возила и њихових компоненти) EN ISO 3834-2 (оспособљеност фирме за извођење заваривачких радњи), ISO 14001:2004 (системи менаџмента животном средином - захтеви са упутством за коришћење), OHSAS 18001:2007 (систем управљања заштитом здравља и безбедношћу на раду - захтеви) и EN 1090-1:2009+A1:2011 (извођење челичних и алуминијумских конструкција - део 1: Захтеви за оцену усаглашености конструкцијских компонената) тј. EN 1090-2, 3 извршне класе EX4 (израда челичних и Al конструкција) [31].

„ Основни материјали који се најчешће заварују (у складу са ISO/TR 15608) припадају групама-подгрупама 1.1, 1.2, 2.2, и 8.1 (челици) и 22.4, 23.1 (Al).

Сви наведени поступци и основни материјали су у покривени одобрењима поменутих сертификата. За све ентуално нове поступке и/или материјале раде се нове квалификације (WPQR-ови) и атестације заваривача.

Главни купац, односно кооперант „Милановић Инжењеринга“ је немачка фирма „Siemens“, за коју се и производе шинска возила, односно вагони за возове „Eurostar“ (пројекат „Vagon ÖBB“).

На слици 5.1 је дат ходограм документације која се користи у заваривању у изради позиција за шинска возила.



Слика 5.1 Ходограм документације која се користи у заваривању у изради позиција за шинска возила

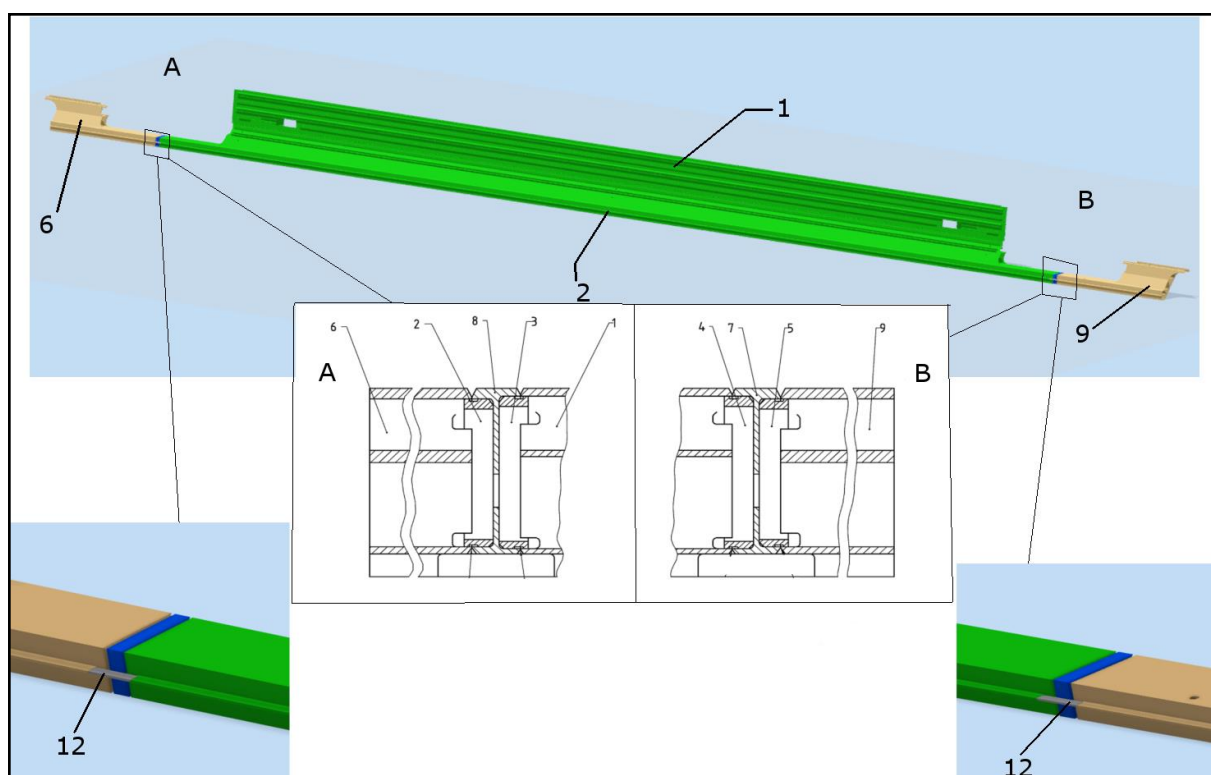
5.1 Избор технологије заваривања за пројекат „Langtraeger ÖBB“

Део пројекта - „Vagon ÖBB“ који се, између осталих заварује, је радни део „Langtraeger ÖBB“ (слика 5.2). Он представља бочни део пода вагона. Врста овог радног дела је профил и он укључује и ручно заваривање, као и заваривање помоћу аутомата.



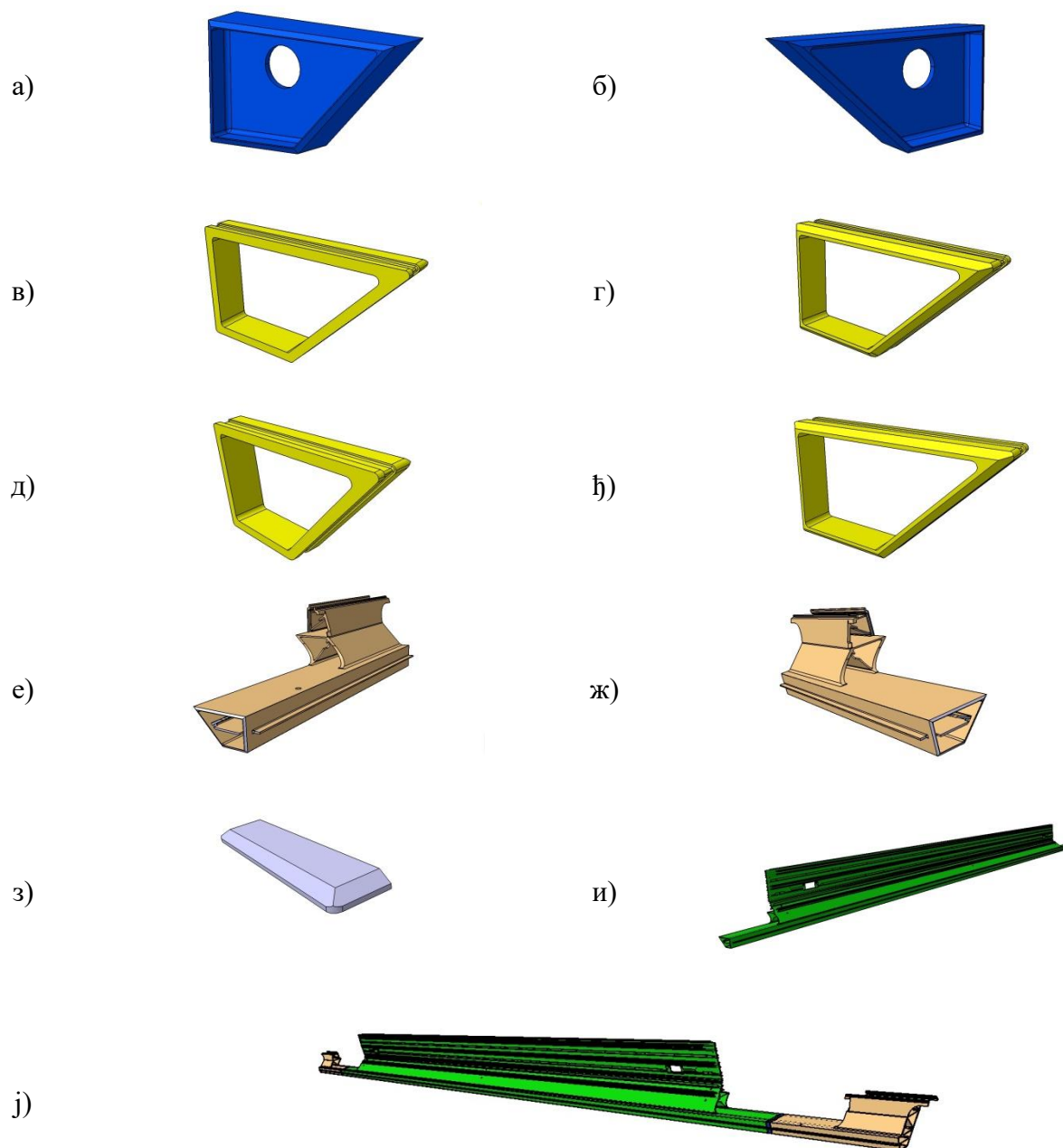
Слика 5.2 Подсклоп „Langtraeger ÖBB“ за време дораде страница

Означене позиције, врсте завара и 3Д модел радног дела дати на слици 5.3, док је у прилогу 5.1 је дата техничка документација радног дела „Langtraeger ÖBB“.



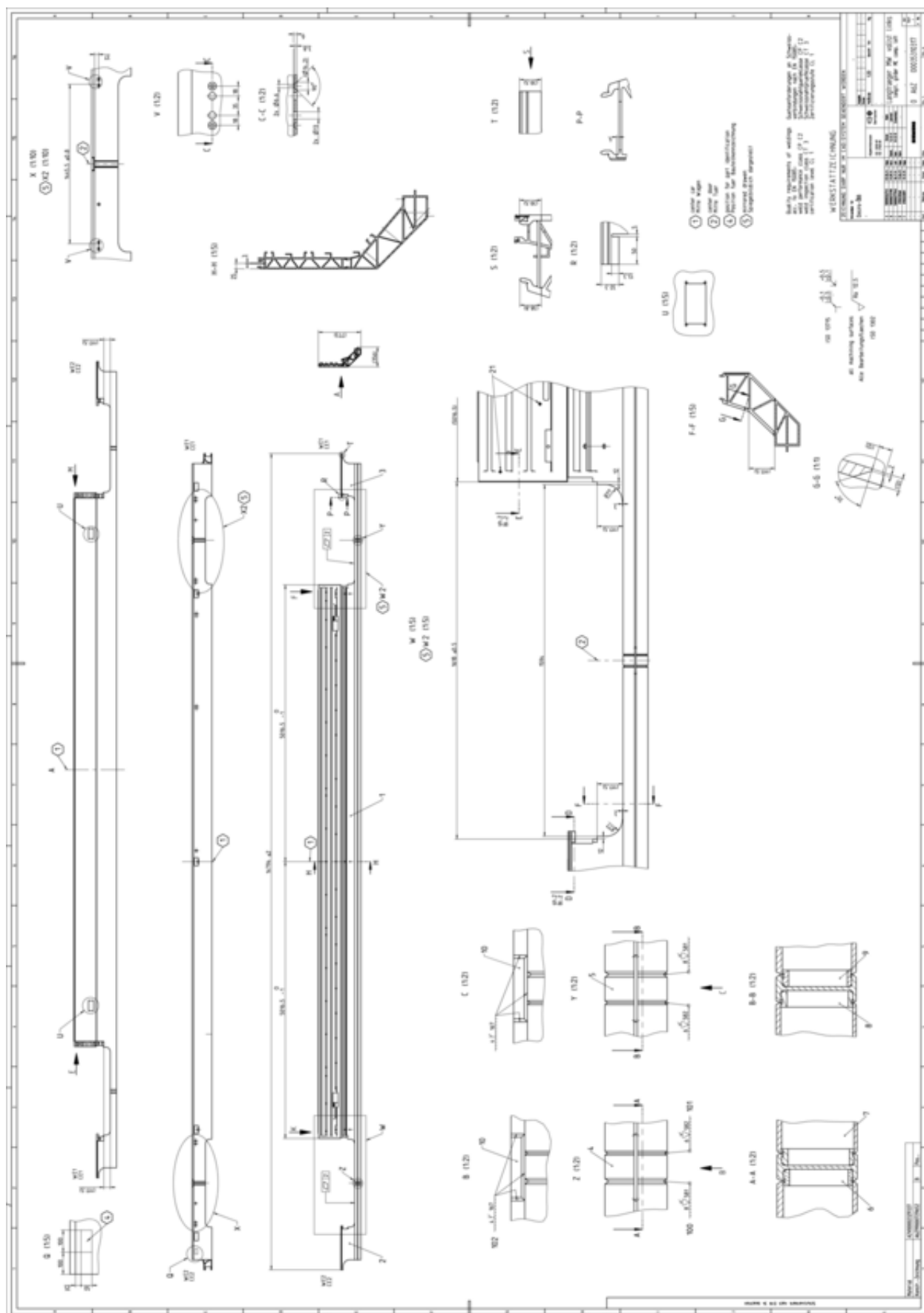
Слика 5.3 Тростандардни модел бочног дела пода вагона „Langtraeger ÖBB“ са означеним позицијама (1 – профил 1; 2 – профил 2; 3, 4 и 5 –корене летве; 6 и 9 – леви и десни прикључак; 7 и 8 – прикључци за повезивање профила)

Позиције са слике 5.3 су појединачно приказане на слици 5.4, где су: а) и б) прикључци за повезивање профила; а под в), г), д), и ђ) су корене летве; е) и ж) леви и десни прикључак; з) плочица; и) заварени профили 1 и 2; ј) склопни модел.



Слика 5.4 Саставни делови подсклопа „Langtraeger ÖBB“

Прилог 5.1: Техничка документација радног дела „Langraeger ÖBB“



После пријема комплетне техничке документације са захтевима купца и цртежима из компаније „Siemens“, конструкциони биро, припрема производње и служба заваривања поступају сходно ходограму на слици 5.1, односно, разрађују и прилагођавају документацију. Служба заваривања добија документацију са неопходним бројем завара и након тога започиње процедуру неопходну за прописивање технологије заваривања. Такође, врши се и преиспитивање уговора према стандарду EN ISO 3834-2 који се односи на захтеве квалитета код заваривања топљењем металних материјала, односно описује опште захтеве квалитета код ове врсте спајања матала. У овом случају се од произвођача тражи да по EN ISO 13018, EN ISO 17637 заварени спој буде испитан визуелном методом испитивања у потпуности (СТЗ: VT – 100%, EN ISO 10042: „С“ – „СТЗ“), посебно се тражи и испитивање пенетрантима у потпуности (РТ - 100%), док се испитивање радиографијом врши тако што се испита првих 5 комада у потпуности (RT-100%), остатак заварених спојева само 10%.

У оквиру ове тачке биће представљена неопходна документација, потребна за извођење процеса заваривања која се састоји из:

- Плана процеса заваривања;
- Квалификације процеса заваривања - WPQR;
- Спецификација технологије заваривања – WPS;
- Ознака завара;
- Плана израде радних проби;
- Извештаја о радним пробама;
- Плана контроле завара;
- Технолошког поступка;
- Атеста заваривача;
- Атеста уређаја;
- Атеста основног материјала;
- Атеста додатног материјала;
- Протокола испитивања;
- Извештаја о испитивању без разарања.

5.1.1 План процеса заваривања

Планирање заваривања је модул где су наведени подаци везани за:

- **Техничку документацију цртежа** – на њој су представљени бројеви цртежа конструкције коју треба заваривати са свим припадајућим деловима и завареним склоповима, као и помоћни алати;
- **Опште информације везане за:** основни материјал, додатни материјал, поступак заваривања, заштитни гас, квалификацију заваривача и оператера (испити заваривача према EN ISO 9606-2, испит оператера према EN ISO 14732), процедуру заваривања (WPQR, WPS), положаје заваривања и групу завара;
- **Предгревање;**
- **Инспекцију завара;**
- **План испитивања;**
- **Редослед заваривања;**
- **Радне пробе.**

Као **основни материјал** за проиводњу „ÖBB“ возова, компанија „Siemens“ користи профиле на бази легуре алуминијума из групе материјала 23.1 и 22.4. Група 23.1 представља легуру која је термички обрађена, тачније легуру на алуминијума у комбинацији са магнезијумом и силицијумом, док група материјала 22.4 представља легуре које су термички необрађене, на бази чистог алуминијума са мање од 1% нечистоћа или легирајућих елемената, прецизније - са садржајем магнезијума мање од 3,5 % (EN ISO/TR 15608). То су заправо легуре алуминијума са следећим ознакама:

- Према EN 755-2 (шипка, цев или профили добијени пресовањем истискивањем) - EN AW 6005A;
- Према EN 485-2 (лим, трака и дебели лим) - EN AW 5083-H111 и 5083-H321.

Легура EN AW 6005A је легура која се добија помоћу екструзије и има примену опште намене, односно погодна је за конструкције средње чврстоће. Легуре 5083 задржавају изузетну снагу након заваривања. Поседују највишу чврстоћу међу легурама које се термички необрађују, али се не препоручује за употребу на температурама изнад 65 °C.

Додатни материјал који се применио за заваривање је жица на катуру и у шипци, типа S-Al 5183 (Al Mg4,5Mn) трговачке ознаке „Union AlMg4,5Mn“ – Böhler, пречника Ø 1,2 mm (ручни MIG поступак), Ø1,6 mm (аутоматски vMIG поступак) и Ø3,2 mm (ручни TIG поступак).

Водећи се ходограмом са слике 5.1, између осталог, најпре се стиче увид у механичке карактеристике основног и додатног материјала који се примењује приликом заваривања. То се врши на основу атеста и одобрења за употребу основног и додатног материјала. У наредном прилогу 5.2 је дат пример атеста додатног материјала који се издаје поручиоцу, у овом случају „Милановић Инжењерингу“. Атести додатног материјала су издати од стране акредитоване лабораторије („Voestalpine Böhler Welding Germany GmbH“) и у њима су подаци везани са врсту додатног материјала, односно легуре алуминијума:

- S-Al 5183 (3,2 × 1000 mm) – прилог 5.1,
- S-Al 5183 (1,8 mm) и
- S-Al 5183 (1,2 mm).

У оквиру документације осим основних података о врсти материјала и димензијама, дат је хемијски састав материјала и механичке карактеристике, а на крају и одобрење за врсту додатног материјала за поступке заваривања 131 и 141 од стране акредитоване лабораторије („DB“) приказано у прилогу 5.3.

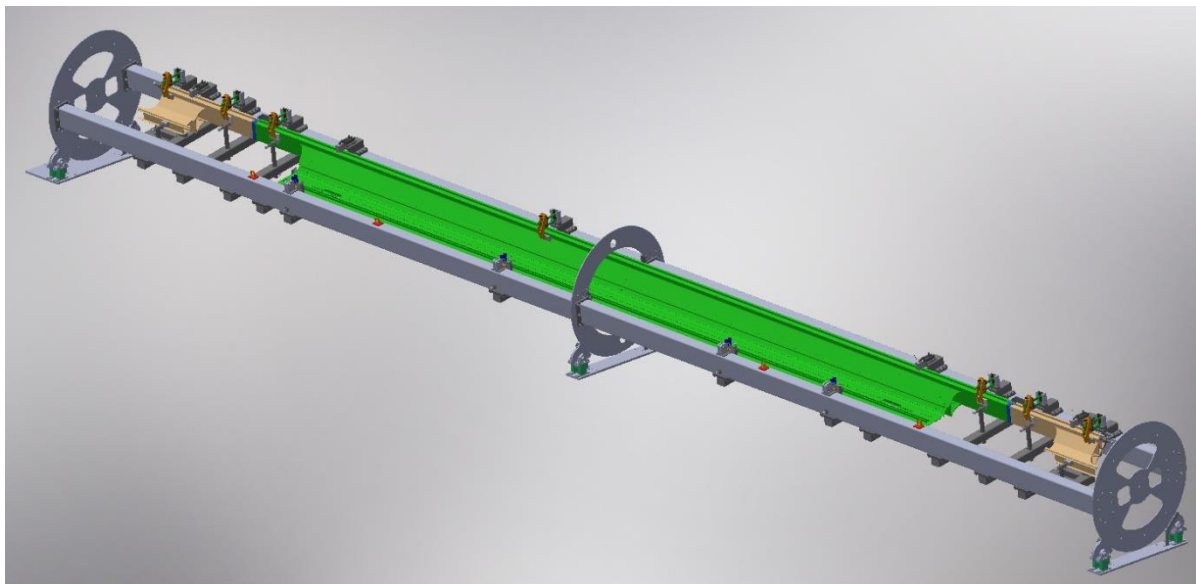
Прилог 5.2: Атести додатног материјала S-Al 5183 (3,2 × 1000 mm)

Kiel GmbH Schweißen und Schneiden Rheinstr. 61 45478 Muelheim Deutschland		Abnahmeprüfzeugnis 3.1 Inspection certificate 3.1 nach / as per : EN 10204 Nr. : 2016-2091090561-900005-014 Rev. C Seite / Page : 1 / 1											
Bestell-Nr.	PO no.	1068663	vom / of 01.08.2016										
Auftrags-Nr.	Order no.	1091064225											
Lieferschein/Pos./Splitt	Delivery note/pos./splitt	2091090561/000050/900005	vom / of 10.08.2016										
Produkt	Product	WIG-Stab-Draht / GTAW rod/wire	10204 30779 34510009 1013										
Handelsname	Trade name	UNION ALMG 4,5 MN											
Normbezeichnung	Standard designation	AWS A5.10: ER5183 EN ISO 18273 - S Al 5183 (AlMg4,5Mn0,7(A))											
Abmessung	Dimension	3,2 x 1000 mm											
Charge	Heat no.	5195166250											
Liefermenge	Quantity	20,0 KG											
Chemische Analyse in % des Produktes		Chemical composition in % of the product											
Si	Mn	Cr	Cu	Ti	Al	Fe	Mg	Zn	Be				
0,02	0,64	0,07	< 0,01	0,11	94,2	0,11	4,7	< 0,01	0,0003				
Mechanische Gütewerte		Mechanical properties		EN 10204 - 2.2									
Zugversuch		Tensile test											
T	ReL / Rp 0,2 MPa	Rp 1,0 MPa	Rm MPa	A (Lo = 5d) %	Z %	WSH PWHT	Bemerkung Remarks						
20°C	≥ 125		≥ 275	≥ 16									

Прилог 5.3: Одобрење од стране „DB“ за додатни материјал EN AW

Schweißzusatz:	SG-Drahtelektrode und -Schweißstab	DB-Zulassungs-Nr.:	61.132.03
Markenbezeichnung:	Union AlMg4,5Mn	Geltungsdauer:	30.06.2018
Normbezeichnung:	DIN EN ISO 18273-S Al 5183 (AlMg4,5Mn0,7(A))		
Geltungsbereich aufgrund der nach VA 918 490 durchgeführten Eignungsprüfung:			
Werkstoffe nach DIN EN ISO 573 ¹⁾ :	Mit dem Schutzgas nach DIN EN ISO 14175 - E EN AW-5083 [Al Mg4,5Mn0,7] EN AW-7020 [Al Zn4,5Mg1]		
Schweißprozess nach DIN EN ISO 4063:	131, 141		
Schweißpositionen nach DIN EN ISO 6947:	PA, PB, PC, PD, PE, PF		
Stromart und Polung:	131: = (+) 141: = -		
Durchmesserbereich:	131: 0,8 - 1,6 mm 141: 1,2 - 4,0 mm		

Приликом заваривања овог типа подскопа, био је потребан **помоћни алат**, тзв. „маскара“ (слика 5.5) која се примењивала приликом ручног заваривања и радни сто коришћен приликом аутоматизованог поступка заваривања (слика 5.6). Маскара служи са позиционирање и стезање радног дела приликом извођења процеса заваривања и њено пројектовање и монтажа су се извели у оквиру фирме „Милановић Инжењеринг“.



Слика 5.5 Маскара примењивана приликом ручног заваривања са постављеним радним делом



Слика 5.6 Аутоматизовано заваривање (MIG, TIG поступци заваривања)

Као **заштитни гас** (према EN ISO 14175) употребљен је гас ознаке „I3-ArHe-30“ (комбинација аргона - 70 % и хелијума - 30 %) код ручних MIG и TIG поступака заваривања и гас ознаке „I1“ (чист аргон Ar 5.0) код аутоматизованог заваривања.

Испити заваривача су изведени према стандарду *EN ISO 9606-2: 141/131 P BW 23/22 S t12 (3/9) PA ss mb* и *141/131 P BW 23/22 S t8 (3/5) PA ss mb*, односно:

- 141/131 – TIG и MIG комбинација поступака;
- P – заваривање плоча;
- BW – сучеони спој;
- 23/22 – ОМ је алуминијум из групе 23 и 22;
- S – додатни материјал је пуна жица;
- t12 (3/9) – дебљина ОМ је 12 mm, где је првих 3 mm изведено TIG поступком, а преосталих 9 mm MIG методом заваривања;
- t8 (3/5) – дебљина ОМ је 8 mm, где је првих 3 mm изведено TIG поступком, а преосталих 5 mm MIG методом заваривања;
- PA – хоризонталан положај заваривања;
- ss – једнострано заваривање (single side);
- mb – заваривање са подлошком.

Испит оператера је изведен према стандарду *EN ISO 14732: v131 P BW 23 S t4 PA ss mb*, односно:

- v131 – аутоматско заваривање MIG методом;
- 23 – ОМ је легура алуминијума из групе 23;
- t4 – дебљина ОМ је 4 mm.

Процедуру заваривања чине квалификације: WPQR 3-MI-2017, WPQR 5-MI-2017 и WPQR 2-MI-2017 и следеће спецификације:

- WPS 16/2017 (v131 P BW 23 S t4 PA ss mb, sl, I3-ArHe-30, 4V), поступак је изведен у једном пролазу – sl (single layer), у заштити гаса аргона (70 %) и хелијума (30 %) где је облик жлеба „V“ и висина завара „4V“;
- WPS 98/2016 (141/131 P BW 23/22 S t8 PA ss, ml, I3-ArHe-30, $T \geq 80$ °C, 8V), поступак је изведен у више пролаза – ml (multi layer), уз предгревање са температуром већом од 80 °C где је облик жлеба „4V“;
- WPS 99/2016 (141/131 P BW 23/22 S t6 PA ss mb, ml, I3-ArHe-30, $T \geq 80$ °C, 6V);
- WPS 100/2016 (131 P BW 23/22 S t6 PA ss mb, sl, I3-ArHe-30, $T \geq 80$ °C, 4HY), где је облик жлеба $\frac{1}{2}$ „Y“ чија је висина 4 mm.

Сви поступци заваривања су се изводили у **хоризонталном положају заваривања (PA)**.

Класа завара је **CP C2**, што значи да је перформанса завара средњег квалитета у категорији безбедности (потреба за сигурношћу) и у категорији напона (отпорност на напрезање) – табела 5.1, што је купац („Siemens“) и захтевао. Стандард којим се водимо приликом прописивања технологије заваривања дефинише и класу квалитета завареног споја, међутим, купац има право да тражи и већи ниво класе квалитета. Служба заваривања из „Милановић Инжењеринга“ приликом „освајања“ технологије заваривања увек усваја виши ниво од дефинисаног, како си се обезбедио неопходни квалитет.

Табела 5.1. Класе квалитета заварених спојева (EN ISO 150085-3)

Категорија напона (Отпорност на напрезање)	Категорија безбедности (Потреба за сигурношћу)		
	Висок ниво	Средњи ниво	Низак ниво
Висок ниво	CP A	CP B	CP C2
Средњи ниво	CP B	CP C2	CP C3
Низак ниво	CP C1	CP C3	CP CD

Класа испитивања је **СТ 3**, а том групом тестирања је обухваћено визуелно испитивање (100 % - испитивање свих завара), док површинско (испитивање пенетрантима – РТ и магнетно испитивање - МТ) и запреминско испитивање (ултразвучно – УТ и рендгенско испитивање - РТ) (табела 5.2) је неопходно само ако назначено у захтеву поручиоца или ако произвођач жели да потврди квалитет изведене технологије спајања заваривањем, што и јесте био случај. Из тог разлога испитивање које је вршено је VT – 100%, РТ – 100% и РТ – 100% (првих 5 комада, а остатак 10%). То је дато посебним захтвом купца описан у оквиру преиспитивања уговора, на шта има право.

Табела 5.2. Испитивања заварених спојева (EN ISO 150085-3)

Класа испитивања	Запреминска испитивања РТ/УТ	Површинска испитивања МТ/РТ	Визуелна испитивања VT
СТ 1	100 %	100 %	100 %
СТ 2	10 %	10 %	100 %
СТ 3	није потребно	није потребно	100 %
СТ 4	није потребно	није потребно	100 %

Предгревање (80 – 120 °C - EN ISO 1011-4) се изводи код дебљине плоча $t \geq 8$ mm, док је међупролазна температура ограничена на ≤ 100 °C.

Инспекција завара (класа СТ3 и СТ2) се врши најпре визуелно – VT. Испитивање се врши на свим завареним спојевима (VT-100 %), потом се врши површинско испитивање на могуће прслине течним пенетрантима – РТ и запреминско испитивање - РТ.

План испитивања дефинише редослед испитивање заварених спојева (редослед примењених метода испитивања), а **редослед заваривања** (заваривање, хефтање) и **план израде радних проба** је дат у посебној документацији.

5.1.2 Квалификација процеса заваривања – WPQR и претходна спецификација технологије - pWPS

У склопу документације, која се шаље акредитованој лабораторији за испитивање, шаље се и Претходна спецификација технологије - **pWPS** (Preliminary Welding Procedure Specification). У оквиру pWPS – а наводе се подаци везани за заваривање датог узорка и такозвани „Test Report“ - извештај у коме су дати параметри заваривања узорка за квалификацију поступка (прилог 5.4). Такође се прилажу и атести примењиваног основног и додатног материјала.

Прилог 5.4: Детаљи из претходне спецификације технологије pWPS

Mesto: **Cerovac, Kragujevac, Srbija**

/Location/

Kvalifikacija tehnologije zavarivanja:

/Welding procedure qualification record/ (WPQR):

Proizvođač **"Milanović Inženjering"**

/Manufacturer/

Ime Zavarivača i žig: **Milojković Vladimir, žig 7**

/Welder's name/

Postupak zavarivanja EN ISO 4063: **131 (MIG)**

/Welding process/

Tip spoja i zavora /Type of joint and weld/: **BW, 10V, ss mb, ml**

Ispitivač ili ispitna organizacija: **RD Dijagnostika, Beograd**

/Testing organization/

Postupak pripreme i čišćenje: **Alkohol + prohrumska četka**

/Metod of preparation and clean/

Specifikacija osnovnog materijala:

/Parent material specification/ **EN 755-2: EN AW 6082-T651**

EN 485-2: EN AW 5083-H111

CEN ISO/TR 15608: Gr.23.1 / Gr.22.4

Debljina osnovnog materijala (mm): **t10**

/Thickness of parent material/

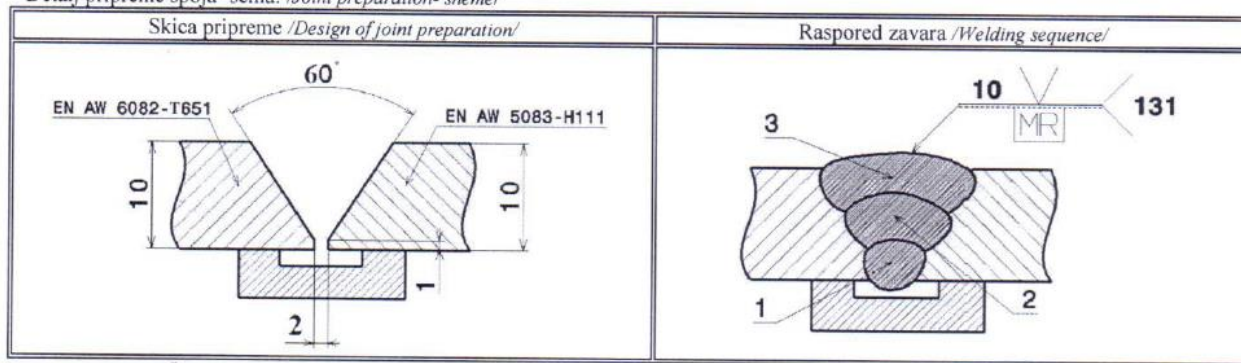
Spoljašnji prečnik cevi (mm): **-**

/Outside pipe diameter/

Položaj zavarivanja EN ISO 6947: **PA**

/Welding position/

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



Parametri zavarivanja /Welding parameters/

Prolaz /Run/ No.	Postupak /Process/ EN ISO 4063	Prečnik DM /Size of FM/ (mm)	Struja /Current/ (A)	Brzina žice /Wire feed/ (m/min)	Napon /Voltage/ (V)	Luk /Arc/	Vrsta struje i polaritet /Curent type and polarity/	Brzina zavar. /Welding speed/ (cm/min)	Prenos metala /Metal transfer/	Pogonska energija /Heat input / (kJ/cm)
1	131	Ø 1.2	190±5	12,2±0,3	24±1	-8±1	DC +	50±5	puls	3,71-5,2
2	131	Ø 1.2	215±5	13,8±0,3	24±1	-4±1	DC +	50±5	puls	4,21-5,86
3	131	Ø 1.2	195±5	12,7±0,3	24±1	1±1	DC +	50±5	puls	3,81-5,33

Klasifikacija dodat. mat.: **EN ISO 18273: EN AW S-Al 5183 (S-AlMg4,5Mn 0,7 (A)) / Union AlMg4,5Mn - Böhler /**

/Klasification of filller metal/

Прилог 5.4: Детаљи из претходне спецификације технологије рWPS – наставак

Posebni zahtevi za sušenje (elektroda/prašak):

/Special request for drying (electrode/flux)/

Zaštitni gas/prašak: lice /surface/: **EN ISO 14175: I3-ArHe-30**
/Shielding gas/flux/ koren /root/:

Protok gasa: lice /surface/ **17-19 lit/min**
/Shielding gas flow/ koren /root/:

Nivo kvaliteta (EN ISO 10042): **"B"**
/Quality level/

Detalji žlebljenja ili podloge:
/Desing of welding joint-details/

Temperatura predgrevanja: **≥ 80 °C**
/Preheating temperature/:

Temperatura međuprolaza: **≤ 100 °C**
/Interpass temperature/

Prečnik šobe /Diameter nozzle/: **Ø 12 mm**

Rastojanje šobe od OM: **8-12 mm**

Dodatne informacije: /Distance contact tube-workpiece/
/Other data/ Njihanje (max širina):

bez njihanja

Ugao gorionika /Torch angle/: **90 °, tehnika "unapred"**

Zaštitni gas-sastav: **I3 (Ar/He, 70/30)**

/Gas sheilding-composition

Aparat /Machine/:

TransPuls Synergic 4000-Fronius
No. 25193824

Termička obrada posle zavarivanja: **NE**
/Post-weld heat treatment-PWHT/

Prirodno starenje /Natural ageing/:

min. 7 (sedam) dana /min. 7 (seven) days/

Detalji o impulsu zavarivanja:

/Pulse welding details/

Oscilacije (amplituda, frekvencija, vreme zadr.)

TEST REPORT - praćenje parametara zavarivanja uzoraka za kvalifikaciju postupka

Firma:	Osnovni materijal: standard / oznaka / šarža :
MILANOVIĆ INŽENJERING CERČIĆ KRAJINJEVIĆ	EW 755-2: EW AW 6082-T651 ŠARŽA: 70105552 EW 485-2: EW AW 5083-H11 ŠARŽA: 100310456205
pWPS:	Dodatni materijal: standard / oznake / proizvođač / šarža:
26/2016	EW ISO 18273: S-AL 5183 (AlMg4,5Mn0,7)/Union Bahleu/ ŠARŽA: 5143166380 Ø 1,2mm
Datum zavarivanja:	Zavarivač - ime, prezime, datum i mesto rođenja, žig:
30.12.2016	Milošević VLADIMIR, 06.03.1988. JAGODINA ŽIG 7
	Položaj zavarivanja: PA

Prolaz br.	Struja zavarivanja (A)	Napon zavarivanja (V)	Vreme zavarivanja (s) (LOK)	Dužina zavara / prolaza (l, cm)	Brzina zavarivanja (cm/min)	Temperatura predgrevanja međuprolaza	Uneta toplota (kJ/cm)	Oznaka uzorka
1	190	23,4	41 (-8)	35	512	80	4,16	
2	220	23,8	40 (-4)	35	52,5	100	4,78	
3	200	23,7	43 (1)	35	488	95	4,66	

$V_2 = 120 \text{ cm/min}$
 $V_2 = 138 \text{ cm/min}$
 $V_2 = 141 \text{ cm/min}$

Уколико сва испитивања (сходно стандарду) задовоље, сматра се да је **pWPS** потврђен, односно квалификација успешно урађена. На основу званичних извештаја испитне организације (у овом случају који следе (**WPQR**-а) израђују се Спецификације процедуре заваривања (Welding Procedure Specification - **WPS**) за производњу у оквиру подручја важења сходно стандарду. Уколико су параметри (променљиве) изведбе процеса заваривања у оквиру подручја одобрења и уколико је узорак прошао на свим врстама испитивања, онда се сматра да је фирма квалификована за дати поступак заваривања.

Свака фирма која се бави заваривачким радовима треба да обезбеди адекватне квалификације процеса заваривања (према EN ISO 15614-2 - за материјале на бази Al). У прилогима 5.5, 5.6 је дат WPQR, број 2 – MI -2017 за MIG - поступак заваривања.

Прилог 5.5: WPQR, број 2 – MI -2017

KVALIFIKACIJA PROCESA ZAVARIVANJA (WPQR) / WELDING PROCEDURE QUALIFICATION / prema / according EN ISO 15614-2 SERTIFIKAT / CERTIFICATE Br. / No: 2 - MI - 2017

	Proizvođač / Manufacturer	Ispitna organizacija / Testing organization
Naziv / Name	Milanović Inženjering d.o.o	RD DIJAGNOSTIKA d.o.o
Adresa / Address	Sobovica bb, Cerovac, 34321 Kragujevac, Srbija	Gandijeva 210 11077 Novi Beograd
pWPS	26 / 2016	uzorak br. 2 / 2017
WPQR	-	031/17 -VT, PT, RT, zatezanje, savijanje, HT, makro, mikro
Datum / Date	zavarivanja / welding: 04.01.2017	izveštaja / test report: 24.01. 2017

Područje odobrenja / Rang of approval:

Promenljive / Variables	Detalji zavarivanja / Weld test details	Područje odobrenja / Rang of approval
Postupak zavarivanja / Welding process (EN ISO 4063)	131 (MIG)	131 (MIG)
Tip spoja / Joint type	P BW ss mb, ml	P BW ss mb, bs, ml P/T FW ml
Osnovni materijal / Base materijal (EN 485) / (EN 755)	EN AW 5083-H111 / EN AW 6005A-T651	CEN ISO/TR 15608: 22.4/23.1, 22.4, 23.1
Dodatni materijal / Filler metal (EN ISO 18273)	S-Al 5183 (Ø 1,2 mm) (Union AlMg4,5Mn Böhler)	isti tip / the same typ (tip/typ AlMg)
Zaštitni gas / Shielding gas (EN ISO 14175)	I3-ArHe-30	I3-ArHe-30
Debljina materijala / Material thickness	t = 10 mm	t = 3 - 20 (mm)
Debljina šava / Weld metal thickness	s = 10 mm	s = 3 - 20 (mm)
Spolj. prečnik cevi / Outside pipe diameter	-	D > 500 mm (ss mb)
Položaj zavari. / Welding posit. (EN ISO 6947)	PA	PA, PC, PE, PF
Tip struje zavarivanja / Typ of welding current	DC+ (puls)	DC+ (puls)
Prenosa dodat. mat. / Mode of metal transfer	pulsni / pulsed	pulsni / pulsed
Uneta toplota / Heat input Q (kJ/cm)	4,16 - 4,78	3,12 - 5,975
Temper. predgrevanja / Preheat temperature	≥ 80 °C	≥ 80 °C
Međuslojna temper. / Interpass temperature	≤ 100 °C	≤ 100 °C
Termička obrada / Post Weld Heat Treatment	-	-
Uređaj za zavarivanje / Welding machines	TransPuls Synergic 4000	TransPuls Synergic 4000

Прилог 5.6: WPQR, број 2 – MI -2017

Rezultati testova: uzorak br. 2 / 2017

- Datum zavarivanja: **04.01.2017**
- Poslato na ispitivanje: **11.01.2017**
- Ispitna organizacija: RD Dijagnostika, Beograd
- Postupak: EN ISO 4063: **131 (MIG)**
- Osnovni materijal: EN 755 : **EN AW 6005A-T651 / EN AW 5083-H111**
- Dodatni materijal EN ISO 18273: **S-Al 5183** (Union AlMg4,5Mn-Böhler, **Ø1,2 mm**)
- Zaštitni gas: EN ISO 14175: **I3-ArHe-30** (Ar/He, 70/30)
- pWPS br: **26 / 2016** (131 P BW 23/22 S t10 PA ss mb, ml)
- Zavarivač: **Vladimir Milojković, žig**

Tip ispitivanja	Obim ispitivanja	Zahtevi ispunjeni	Broj izveštaja (datum izveštaja)
VT (vizuelno) ispitivanje prema EN ISO 17637 Nivo kvaliteta „B“ prema EN ISO 10042	100%	DA	031/17 (24.01.2017)
RT (radigrafija „X“-zraci) ispitivanje prema EN ISO 17636-1 Nivo kvaliteta „B“ prema EN ISO 10042 Klasa ispitivanja 1 prema EN ISO 10675-2	100%	DA	031/17 (24.01.2017)
PT (penetranti) ispitivanje prema EN ISO 3452-1 Nivo kvaliteta „B“ prema EN ISO 10042 Nivo prihvatljivosti 2x prema EN ISO 23277	100%	DA	031/17 (24.01.2017)
Poprečno zatezanje prema EN ISO 4136	3 probe	DA	031/17 (24.01.2017)
Poprečno savijanje prema EN ISO 5173	4 probe	DA	031/17 (24.01.2017)
Makrošlif prema EN ISO 17639 Nivo kvaliteta „B“ prema EN ISO 10042	1 proba	DA	031/17 (24.01.2017)
Mikrošlif prema EN ISO 17639 Nivo kvaliteta „B“ prema EN ISO 10042	1 proba	DA	031/17 (24.01.2017)
HT (tvrdoća HBW 2,5/62,5) prema EN ISO 9015 i EN ISO 6506-1	1 proba	DA	031/17 (24.01.2017)

Испитивање се врши на завареном узорку (узорак број 2/2017) и изводи се од стране акредитоване лабораторије специјализоване за такву врсту испитивања.

Врста испитивања заварених спојева захтевана стандардом EN ISO 15614-2:

- Визуелна испитивања;
- Испитивања пенетрантима;
- Радиографска испитивања;
- Испитивања на затезање и савијање;
- Мерење тврдоће материјала (HT);
- Макро и микро испитивања.

Визуелна испитивања узорка (слика 5.7) (EN ISO 17637) се врше помоћу мерача за надвишење шава, лупе х5, метра, уз обим контролисања - 100 %. Испитна страна узорка је спољашна, а осветљење под којим се вршило испитивање је 500 lx. Пре испитивања се вршила припрема површине помоћу ручне прохромске четке. Грешке које су се контролисале овом методом су: прслине, порозност, површинске поре - pitting, непрекидан зајед, наизменични зајед, смакнуће, превелико надвишење и преливање (сходно EN ISO 10042).



Слика 5.7 Узорак 2/2017 намењен за визуелно испитивање

Извештај визуелне контроле је није показано ни једну од наведених грешака (прилог 5.6).

Прилог 5.6: Резултат визуелне контроле

1. REZULTAT KONTROLISANJA: RESULTS OF EXAMINATION Tabela nalaza: Table with defects:

Vrsta Graške/ <i>Type Defect</i>	Oznaka graške/ <i>Reference No. in ISO 6520</i>	Kriterijum prihvatljivosti/ <i>Criteria</i> B- EN ISO 10042	Nalaz/ <i>Indication</i>	Ocena nalaza/ <i>Acceptable</i>	
				Da/Yes	Ne/No
Prslina/ <i>Crack</i>	100	Nije dozvoljeno/ <i>Not permitted</i>	BN/NF	Yes	
Poroznost/ <i>Uniformly distributed porosity</i>	2012	$\leq 0,5 \%$	BN/NF	Yes	
Pojedinačne pore/ <i>Single pores</i>	2017	$d \leq 0,3s$	BN/NF	Yes	
Neprekidan zajed/ <i>Continuous undercut</i>	5011	Nije dozvoljeno/ <i>Not permitted</i>	BN/NF	Yes	
Naizmjenični zajed/ <i>Intermittent undercut</i>	5012	$h \leq 0,1t$	BN/NF	Yes	
Smaknuće/ <i>Linear misalignment</i>	507	$h \leq 0,2t$	BN/NF	Yes	
Nadvišenje/ <i>Excess weld metal</i>	502	$h \leq 1,5 \text{ mm} + 0,1b$	1,3 mm	Yes	
Prelivanje/ <i>Overlap</i>	506	Nije dozvoljeno/ <i>Not permitted</i>	BN/NF	Yes	

Мишљење и тумачење извештаја гласи да се на основу контролисања констатује да је квалитет завареног споја задовољавајући, што је и дато прилогом 5.7.

Испитивања узорка пенетрантима (слика 5.8) (EN ISO 3452-1) се изводило на собној температури на лицу метала шава и у ЗУТ-у при осветљењу од 500 lx. Припрема површине се извела чишћењем помоћу ручне прохромске четке. Средство – пенетрант, које се применило је марке „HELLING U 88“, одстрањивач је „HELLING U 87“, а развијач је марке „HELLING U 89“. Време пенетрирања је износило 15 min, а време развијања такође је износило 15 min.



Слика 5.8 Узорак на коме је нането средство намењено за испитивање пенетрантима

Обављеном контролом завареног споја пенетрантима нису се констатовале површинске грешке и закључено је да је његов квалитет задовољавајући.

Извештај о **радиографском испитивању** из прилога 5.7 (EN ISO 17636-2) издат од стране акредитоване лабораторије садржи податке о: врсти уређаја (Рендген ERESO 300/5), техници прозиравања (заваривање плоча и једнострана пенетрација), класи поступка, методи, растојању филма од извора (600 mm), времену експозиције (2,5 min), обради филма (ручно), типу филма (AGFA D4 – 100×480), типу фолије (Pb 0,1/01), густини зацрњења (> 2,3(3,4)) и обиму испитивања (100 %).

Прилог 5.7: Појединачни резултати контролисањарендгеном

1. REZULTATI KONTROLISANJA:

RESULTS OF EXAMINATION

Pojedinačni rezultati kontrolisanja dati su u tabeli: *The Test results are shown in table:*

Oznaka pozicije <i>Mark positions</i>	Broj nalaza <i>Indication No.</i>	IKS <i>IQI</i>	Parametri nalaza / <i>Indication parameters</i>					Napomena <i>Note</i>
		Br. <i>No.</i>	Oznaka <i>Identification</i>	Lokacija <i>location</i>	Dužina <i>Length</i>	Veličina <i>Size</i>	Ocena <i>Acceptable</i>	
2-2017-1	1	W 15	2011	/	/	/	1-Da/ Yes	Žig-7

Појединачни резултати контролисања из претходног прилога показују да нису присутне недозвољене грешке.

Извештај о **испитивању затезањем**, (EN ISO 4136) издат од стране акредитоване лабораторије, садржи податке о: коришћеној опреми (универзална кидалица), методи, контроли, критеријуму прихватљивости, припреми површине (машинска обрада).

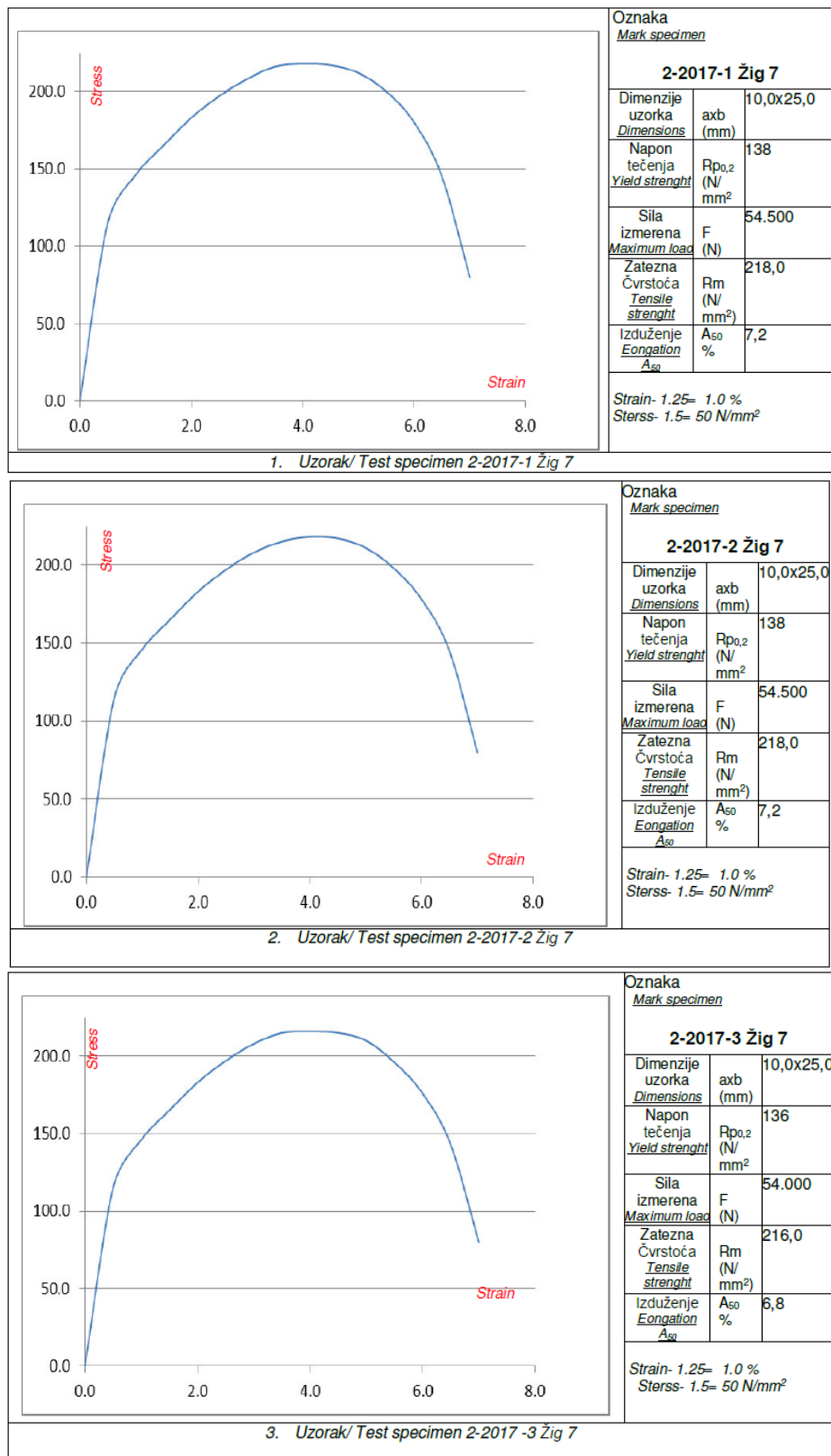
Испитивани узорци на затезање су приказани сликом 5.7.



Слика 5.7 Изглед испитиваних узорка (епрувета) после испитивања затезањем

Дијаграми затезања су дати у прилогу 5.8, док су резултати тих испитивања затезањем су дати прилогом 5.9.

Прилог 5.8: Дијаграми затезања за 1, 2 и 3 епрувету



Прилог 5.9: Резултати испитивања затезањем

1. REZULTAT KONTROLISANJA:

RESULTS OF EXAMINATION

Oznaka Mark specimen	Položaj zavarivanja Welding position	Dimenz. uzorka Dimensions	Napon tečenja Yield strenght Rp _{0,2} N/ mm ²	Sila izmerena Maximum load Fm (N)	Zatezna Čvrstoća Tensile strenght Rm (N/ mm ²)	Izduženje A ₅₀ Eongation A ₅₀ %	Mesto prekida Place of crack	Ocena Acceptable
			Zahtev Criterion		Zahtev Criterion	Zahtev Criterion		
			>115		>165	>6%		
2-2017-1 Žig 7	PA	10,0 x 25,0	138	54.500	218,0	7,2	Pukla u OM / Cracked in BM	Yes
2-2017-2 Žig 7	PA	10,0 x 25,0	138	54.500	218,0	7,2	Pukla u OM / Cracked in BM	Yes
2-2017-3 Žig 7	PA	10,0 x 25,0	136	54.000	216,0	6,8	Pukla u OM / Cracked in BM	Yes

Мишљење и тумачење испитивања затезањем је да су механичке карактеристике узорака у дозвољеним границама.

Приликом **испитивања савијањем** (EN ISO 5173) примењена је машина – универзална кидалица, са трном пречника од 100 mm и ослонцима пречника 50 mm. Наведени су подаци везани за методу и контролу. Припрема површина је изведена машинском обрадом а критеријум прихватљивости износи 180° без прелома.

Радијус савијања је израчунат према формули:

- $$D = (100 \times \frac{t}{8}) - t = (100 \times \frac{10}{8}) - 10 = 115$$

(4.1)

Резултат контролисања 4 радне пробе је дат у прилогу 5.10.

Прилог 5.10: Резултат контролисања савијањем

Prečnik trna : 100 (mm)											
Red. br. Probe No. test	Položaj Zavarivača Welding Position	Dimenzije probe, <u>Dimensions</u> test mm	Način Ispitivanja <u>Method</u> testing	Ugao savijanja <u>Angle of bending</u>		Ocena <u>Acceptable</u>	IZGLED PRELOMA <u>FRACTURE</u>				Ocena <u>Acceptable</u>
				Standard <u>Standard</u>	Ispitano <u>Testing</u>		Lokacija <u>Location</u>	Greške korena <u>Root</u> <u>defect</u>	Troska i poroznost <u>Porosity</u>	Naprslina i greške vezivanja <u>Crack and</u> <u>binding</u> <u>defect</u>	
1	PA	10,0 x 25,0	Lice <i>Face</i>	180°	180°	Yes					
2	PA	10,0 x 25,0	Lice <i>Face</i>	180°	180°	Yes					
BEZ PRELOMA No fracture											

Prečnik trna : 100 (mm)											
Red. br. Probe No. test	Položaj Zavarivača Welding Position	Dimenzije probe, <u>Dimensions</u> test mm	Način Ispitivanja <u>Method</u> testing	Ugao savijanja <u>Angle of bending</u>		Ocena <u>Acceptable</u>	IZGLED PRELOMA <u>FRACTURE</u>				Ocena <u>Acceptable</u>
				Standard <u>Standard</u>	Ispitano <u>Testing</u>		Lokacija <u>Location</u>	Greške korena <u>Root</u> <u>defect</u>	Troska i poroznost <u>Porosity</u>	Naprslina i greške vezivanja <u>Crack and</u> <u>binding</u> <u>defect</u>	
3	PA	10,0 x 25,0	Koren <i>Root</i>	180°	180°	Yes					
4	PA	10,0 x 25,0	Koren <i>Root</i>	180°	180°	Yes					
BEZ PRELOMA No fracture											

Мишљење и тумачење резултата испитивања је такво да они задовољавају критеријум према стандарду EN ISO 15614-2, тачка 7.4.3.

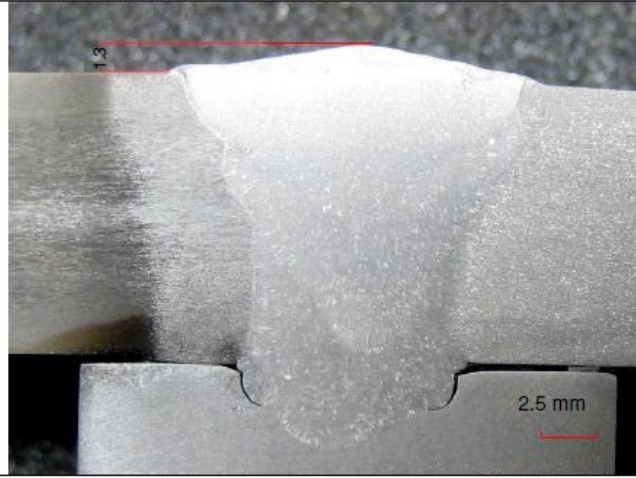
Металографска испитивања (EN ISO 17639) су спроведена на макро и микро нивоу. Сечење узорака се вршило тестером, а припрема површина машински - машином за полирање и хемијски – хлороводоничном киселином 30 %, азотном киселином 20 % и глицерином 50%. Извештај садржи и врсту методе, контроле и критеријума прихватљивости.

У прилогу 5.11 је дат резултат макро контролисања на коме нису уочени недозвољени дефекти (укључци, заједи, налепљивање, прслине и сл).

Прилог 5.11: Резултат макро контролисања

1. REZULTAT KONTROLISANJA: RESULTS OF EXAMINATION

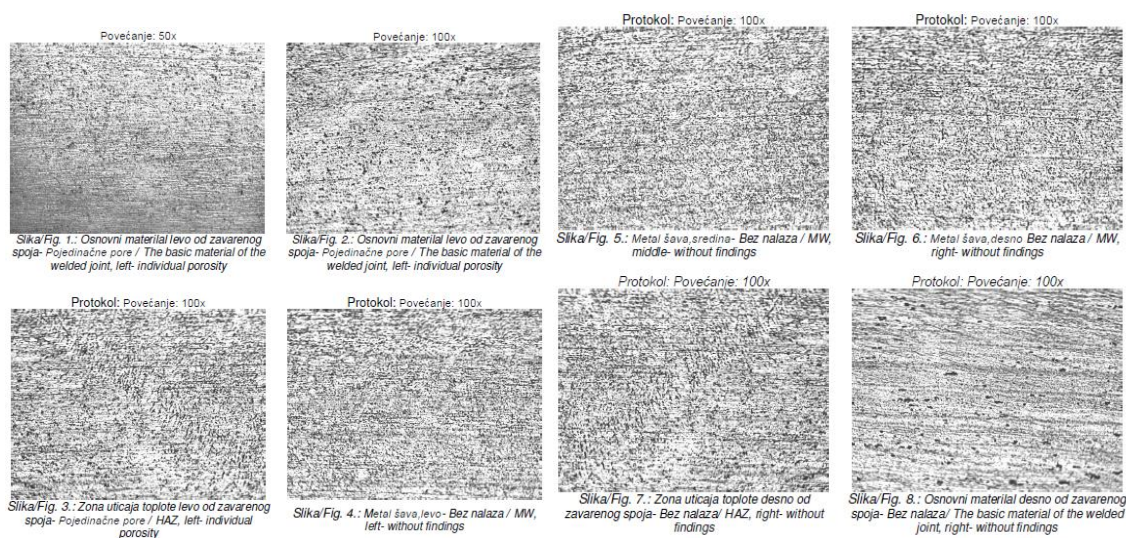
a) Makro struktura/ MACRO structure

	Proba:	2-2017 žig 7
	Uvećanje/magnification:	5 x
	Nagrizanje/ etched:	caustic soda
	Vreme/Time:	30 s
	Temperatura/	Room temper.
	Temperature:	
	Ocena/evaluation:	compliant (c)

Slika/ Fig. 1. PA

У прилогу 5.12 су дати резултати микро контролисања на коме нису уочени недозвољени дефекти (укључци, заједи, налепљивање, прслине и сл).

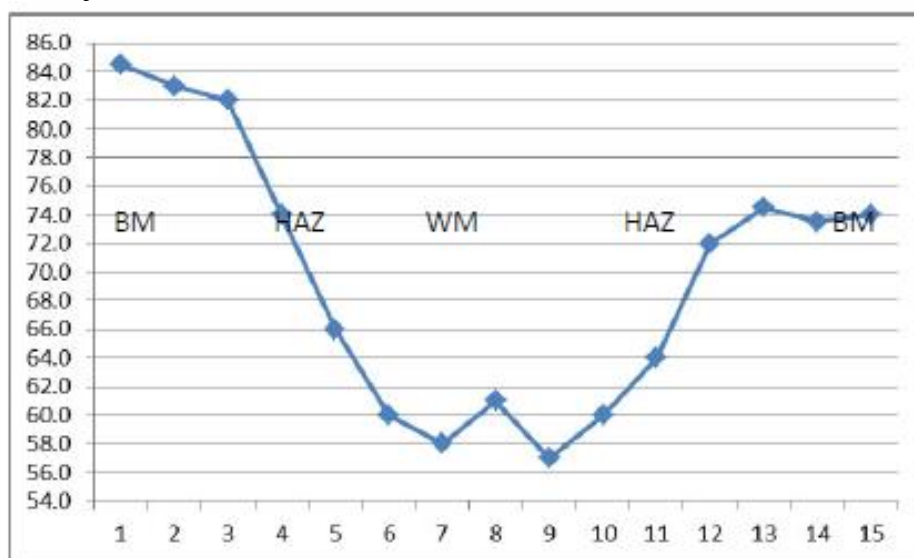
Прилог 5.12: Резултати микро контролисања у основном материјалу – лево и десно од завареног споја, зони утицаја топлоте (у ЗУТ-у) и металу шави.



Испитивањем попречног пресека завареног споја нису констатоване грешке у структури завреног споја (укључци, заједи, налепљивање, прслине), као и што се види из приложеног.

Мерење тврдоће материјала (EN ISO 9015-2) се врши Бринеловом методом (HBW) помоћу куглице пречника 2,5 mm и силе утискивања 62,5 N. Тип сонде је куглица 1,0, а тачност мерења износи 0,01. Површине су очишћене киселином (Villean reagents). Обим контролисања су у области – ОМ (BM – Basic metal), ЗУТ-а (HAZ - Heat-affected zone) и МШ (WM – Welding metal). У прилогу 5.13 су дати дијаграм измерене тврдоће и слика мерних места завареног споја.

Прилог 5.13: Дијаграм измерене тврдоће и слика мерних места појединих зона завареног споја



У прилогу 5.14 су дати резултати измерене тврдоће материјала.

Прилог 5.14: Резултати измерене тврдоће материјала

1. REZULTAT KONTROLISANJA: RESULTS OF EXAMINATION

IZMERENE VREDNOSTI TVRDOĆE MATERIJALA (HBW 2,5 F 62,5) / TEST RESULTS											
Merno mesto Measuring location	Merna tačka Measuring point	Rezultat Results	Merno mesto Measuring location	Merna tačka Measuring point	Rezultat Results	Merno mesto Measuring location	Merna tačka Measuring point	Rezultat Results	Merno mesto Measuring location	Merna tačka Measuring point	Rezultat Results
PA											
1	OM	84.5	5	ZUT	66.0	9	MŠ	57.0	13	OM	74.5
2	OM	83.0	6	ZUT	60.0	10	ZUT	60.0	14	OM	73.5
3	OM	82.0	7	MŠ	58.0	11	ZUT	64.0	15	OM	74.0
4	OM	74.0	8	MŠ	61.0	12	OM	72.0			

Закључак је да су вредности измерених тврдоћа су у очекиваним границама за заварен спој.

Осим квалификације – WPQR, под бројем 2-MI-2017 (заваривање МИГ поступком), у склопу документације за „Langtraeger ÖBV“ постоји и квалификација 3-MI-2017 (141/131 – само провар TIG методом заваривања) и 5-MI-2017 (v131 – аутоматско заваривање). Све три квалификације су урађене у акредитованој лабораторији.

5.1.3 Спецификација поступка заваривања – WPS

Спецификација поступка заваривања – WPS (Welding Process Specification) (EN ISO 15609-1) се израђује на основу квалификоване технологије (WPQR-a) и користи се у погону приликом израде дела и у атестном простору приликом узраде радних проба.

WPS садржи све релевантне променљиве величине параметара заваривања неопходних за квалитетну израду завареног споја.

У склопу документације приложено је 4 спецификације (WPS-ова) под ознака:

- **WPS 100/2016** - 131 P BW 23 S t6 PA ss mb ml (прилог 5.15);
- **WPS 98/2016** - 141 P BW 23 S t8 PA ss mb ml (прилог 5.16);
- **WPS 99/2016** - 141/131 P BW 23 S t6 PA ss mb ml;
- **WPS 16/2017** - v131 P BW 23 S t4 PA ss mb sl (прилог 5.17).

Прилог 5.15: WPS - 100/2016

Mesto: **Cerovac, Kragujevac, Srbija**

/Location/

Kvalifikacija tehnologije zavarivanja: **2-MI-2017**

/Welding procedure qualification record/ (WPQR):

Proizvođač **"Milanović Inženjering"**

/Manufacturer/

Ime zavarivača i žig:

/Welder's name/

Postupak zavarivanja EN ISO 4063: **131 (MIG)**

/Welding process/

Tip spoja i zavar: /Type of joint and weld/: **BW, 4HY, ss mb, sl**

Ispitivač ili ispitna organizacija:

/Testing organization/

Postupak pripreme i čišćenje: **Alkohol + prohromska četka**

/Metod of preparation and clean/

Specifikacija osnovnog materijala: **EN 755-2: EN AW 6005A-T6**

/EN 485-2: EN AW 5083-H111 i EN AW 5083-H321

/Parent material specification/ **CEN ISO/TR 15608: Gr. 23.1/22.4**

Debljina osnovnog materijala (mm): **t6**

/Thickness of parent material/

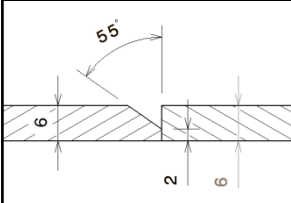
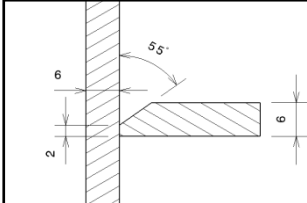
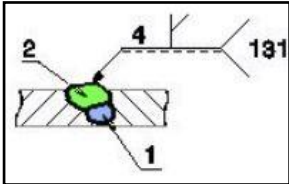
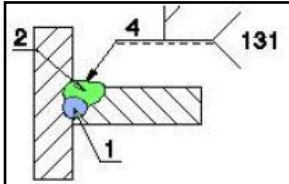
Spoljašnji prečnik cevi (mm):

/Outside pipe diameter/

Položaj zavarivanja EN ISO 6947: **PA**

/Welding position/

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

Skica pripreme /Design of joint preparation/	Raspored zavar: /Welding sequence/
 	 

Parametri zavarivanja /Welding parameters/

Prolaz /Run / No.	Postupak /Process/ EN ISO 4063	Prečnik DM /Size of FM/ (mm)	Struja /Current/ (A)	Brzina žice /Wire feed/ (m/min)	Napon /Voltage/ (V)	Luk /Arc/	Vrsta struje i polaritet /Current type and polarity/	Brzina zavar. /Welding speed/ (cm/min)	Prenos metala /Metal transfer/	Pogonska energija /Heat input / (kJ/cm)
1	131	Ø1.2	190±5	9.3±0.3	22±1	-7±1	DC+	50±5	puls	3.39 – 4.78
2	131	Ø1.2	195±5	9.3±0.3	22±1	-2±1	DC+	55±5	puls	3.19 – 4.42

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/

Posebni zahtevi za sušenje (elektroda/prašak):

/Special request for drying (electrode/flux/

Zaštitni gas/prašak: lice /surface/: **EN ISO 14175: I3-ArHe-30**

/Shielding gas/flux/ koren /root/

Protok gasa: lice /surface/ **16-18 lit/min**

/Shielding gas flow/ koren /root/

Prečnik šobe /Diameter nozzle/: **Ø 12 mm**

Rastojanje šobe od OM: **7-10 mm**

Dodatne /Distance contact tube-workpiece/

informacije: Njihanje (max širina): **bez njihanja**

/Other data/ /Weaving (max width of run/

Ugao gorionika /Torch angle/: **90 °, tehnika "unapred"**

Zaštitni gas-sastav: **Ar/He (70% / 30%)**

/Gas sheilding-composition

Aparat /Machine/: **TransPuls Synergic 4000**

Nivo kvaliteta (EN ISO 10042): **"C"**

/Quality level/

Detalji žlebljenja ili podloge: -

/Desing of welding joint-details/

Temperatura predgrevanja: **≤ 80°**

/Preheating temperature/

Temperatura međuprolaza: -

/Interpass temperature/

Termička obrada posle zavarivanja: **NE**

/Post-weld heat treatment-PWHT/

Prirodno starenje /Natural ageing/

Detalji o impulsu zavarivanja:

/Pulse welding details/

Oscilacije(amplituda, frekvencija, vreme zadr):

/Oscilation (Amplitude, frequency, dwell tim)/:

Прилог 5.16: WPS - 98/2016

Mesto: **Cerovac, Kragujevac, Srbija**

/Location/

Kvalifikacija tehnologije zavarivanja:

/Welding procedure qualification record/ (WPQR): **3-MI-2017**

Proizvođač

"Milanović Inženjering"

/Manufacturer/

Ime Zavarivača i žig:

/Welder's name/

Postupak zavarivanja EN ISO 4063: **141 (TIG) / 131 (MIG)**

/Welding process/

Tip spoja i zavara /Type of joint and weld/: **BW, 8V, ss mb, ml**

Ispitivač ili ispitna organizacija:

/Testing organization/

Postupak pripreme i čišćenje: **Alkohol + prohromska četka**

/Metod of preparation and clean/

Specifikacija osnovnog materijala:

/Parent material specification/ **EN 755-2: EN AW 6005A-T6**

EN 485-2: EN AW 5083-H321

CEN ISO/TR 15608: Gr.23.1/Gr. 22.4

Debljina osnovnog materijala (mm): **t8**

/Thickness of parent material/

Spoljašnji prečnik cevi (mm): **-**

/Outside pipe diameter/

Položaj zavarivanja EN ISO 6947 : **PA**

/Welding position/

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

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

Parametri zavarivanja /Welding parameters/

Prolaz /Run / No.	Postupak /Process/ EN ISO 4063	Prečnik DM /Size of FM/ (mm)	Struja /Current/ (A)	Napon /Voltage/ (V)	Balans (TIG) Luk (MIG)	Vrsta struje i polaritet /	Brzina zavar. (cm/min)	Prenos metala /	Pogonska energija /Heat input / (kJ/cm)
1	141	Ø 3.2	265-275	16-18	-5	AC	15-20	/	7,63-11,88
2	131	Ø 1.2	190-200	22-24	-3	DC+	65-70	puls	2,86-3,54
3	131	Ø 1.2	180-190	22-24	0	DC+	75-80	puls	2,37-2,91

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/

Posebni zahtevi za sušenje (elektroda/prašak):

/Special request for drying (electrode/flux)/

Zaštitni gas/prašak: lice /surface/: **EN ISO 14175: I3-ArHe-30**

/Shielding gas/flux/ koren /root/:

Nivo kvaliteta (EN ISO 10042) : **"C"**

/Quality level/

Detalji žlebljenja ili podloge:

/Desing of welding joint-details/

Protok gasa: lice /surface/ **15 lit/min (TIG) / 17-19 lit/min (MIG)**

/Shielding gas flow/ koren /root/

Temperatura predgrevanja : **≥ 80 °C**

/Preheating temperature/

Temperatura međuprolaza: **≤ 100 °C**

/Interpass temperature/

(TIG)

Prečnik šobe /Diameter nozzle/: **Ø 12 mm (MIG)**
/ **No.6 (Ø 9,5 mm) Wolfram WP(zeleni) Ø 2,4mm**

Rastojanje šobe od OM: **8-12 mm (MIG)**

Dodatne /Distance contact tube-workpiece/

informacije: Ugao gorionika /Torch angle/: **90 °, tehnika "unapred"**

(MIG)

/Other data/ Zaštitni gas-sastav: **I3 (Ar/He , 70/30)**

/Gas sheilding-composition

Aparat /Machine/: **MagicWave 4000 Job G/F (TIG)**

TransPuls Synergic 4000 (MIG)

zadr.):

Termička obrada posle zavarivanja : **NE**

/Post-weld heat treatment-PWHT/

Detalji o impulsu zavarivanja:

/Pulse welding details/

Oscilacije(amplituda, frekvencija, vreme

/Oscilation (Amplitude, frequency, dwell tim)/

Прилог 5.17: WPS - 16/2017

Mesto: **Cerovac, Kragujevac, Srbija**
/Location/

Ispitivač ili ispitna organizacija:
/Testing organization/

Kvalifikacija tehnologije zavarivanja: **5-MI-2017**
/Welding procedure qualification record/ (WPQR):

Postupak pripreme i čišćenje: **Alkohol+ prohrumska četka**
/Metod of preparation and clean/

Proizvođač: **"Milanović Inženjering"**
/Manufacturer/

Specifikacija osnovnog materijala: **EN 755-2: EN AW 6005A-T6**
/Parent material specification/ **CEN ISO/TR 15608: Gr. 23.1**

Ime operatera i žig:
/Operator name/:

Debljina osnovnog materijala (mm): **t4**
/Thickness of parent material/

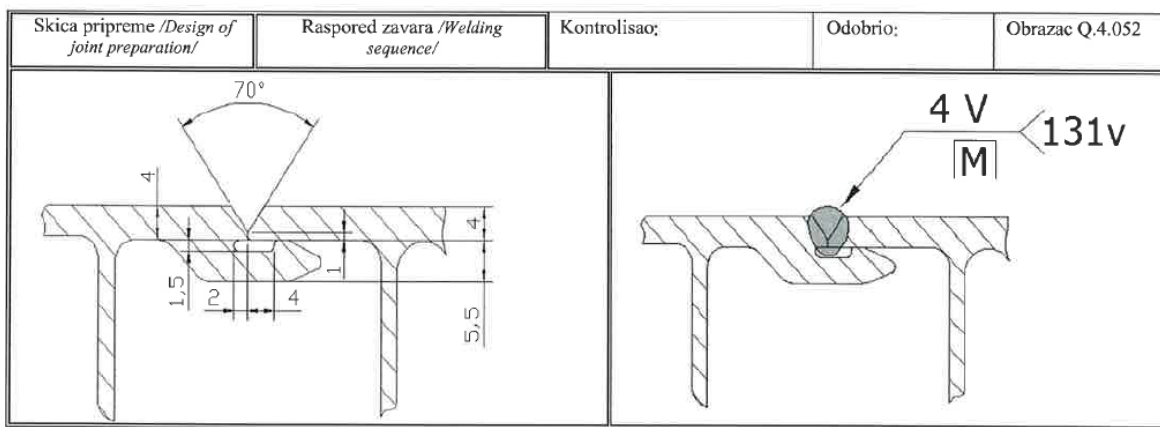
Spoljašnji prečnik cevi /Outside pipe diameter/ (mm):

Postupak zavarivanja EN ISO 4063: **v131 (vMIG-automat)**
/Welding process/:

Položaj zavarivanja EN ISO 6947: **PA**
/Welding position/:

Tip spoja i zavara/ Type of joint and weld/: **BW,4V,ss mb,sl**

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



Parametri zavarivanja /Welding parameters/

Prolaz /Run / No.	Postupak /Process/ EN ISO 4063	Prečni k DM /Size of FM/ (mm)	Struja /Current/ (A)	Brzina žice /Wire feed/ (m/min)	Napon /Voltage/ (V)	Luk /Arc/	Vrsta struje/ polaritet /Current type / Polarity/	Brzina zavar. /Welding speed/ (cm/min)	Prenos metala /Metal transfer/	Pogonska energija /Heat input / (kJ/cm)
1	131v (Automat br 2)	Ø 1,6	215	7,0	23,5		DC +	65	puls	3,73

Прилог 5.17: WPS - 16/2017 – наставак

Пodešavanje parametara na uređaju / Setting of parameters for the machine:

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/

Posebni zahtevi za sušenje (elektroda/prašak):
/Special request for drying (electrode/flux)/

Nivo kvaliteta (EN ISO 10042) : "C"
/Quality level/

Zaštitni gas/prašak: lice /surface/: **EN ISO 14175: II**
/Shielding gas/flux/ koren /root/:

Detalji žlebljenja ili podloge: -
/Desing of welding joint-details/

Protok gasa: lice /surface/ **18÷20 lit/min**
/Shielding gas flow/ koren /root/:

Temperatura predgrevanja : -
/Preheating temperature/:

Dodatne informacije: Prečnik šobe: **Ø 16 mm**
 Rastojanje šobe od OM: **7 - 10 mm**
 Njihanje (max širina): **bez njihanja**
/Other data/ */Weaving (max width of run)/*
 Ugao gorionika /Torch angle/: **85°÷95°, tehnika "unapred"**
 Zaštitni gas-sastav: **II (Ar 5.0)**

Temperatura međuprolaza: -
/Interpass temperature/

Termička obrada posle zavarivanja : NE
/Post-weld heat treatment-PWHT/

Napomene / notes:

Gorionik / brenner: No.1 (GLC 403 Quinto-No. 1020)

Mesto zavarivanja / welding place: Nova hala (automat br 2)

Brzina žice / Wire feed : 7,0 m/min

Frekvencija/ frequency: 243 Hz

Pulsni napon / pulse voltage: 31 V

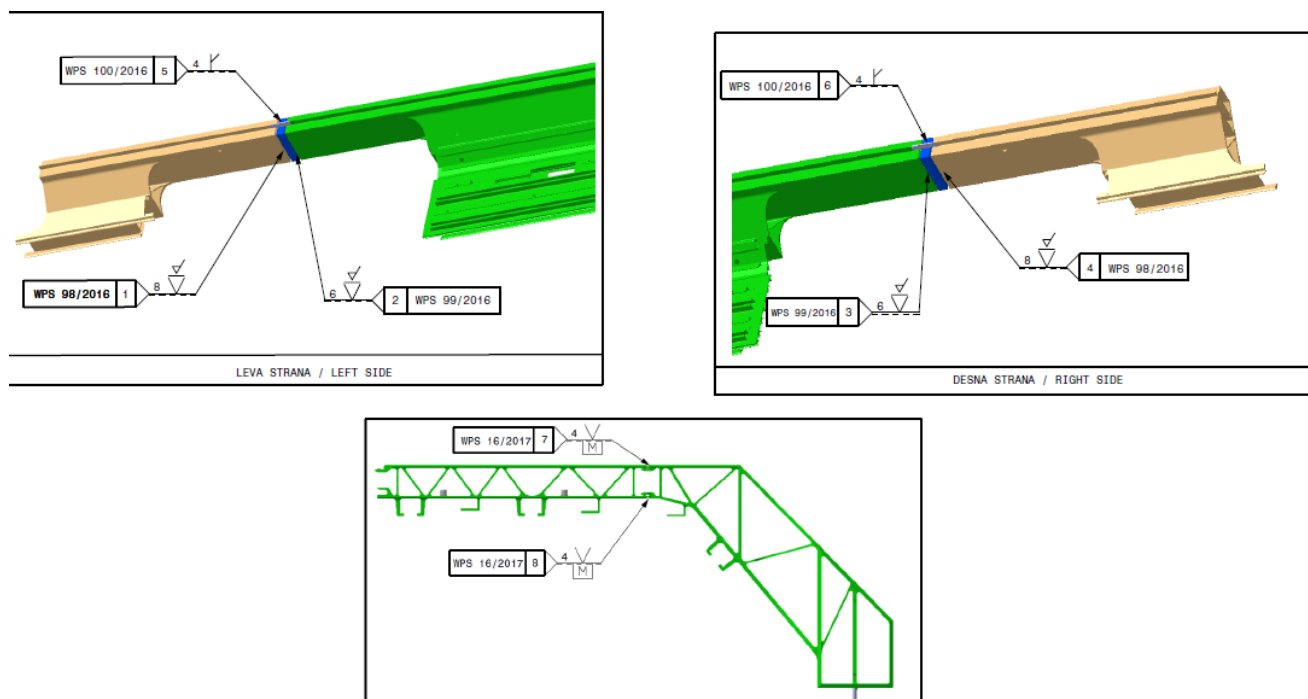
Vreme pulsa / pulse time: 1,7

Bazna struja / groundstom: 85 A

Puls special / pulsedge: Spez.3

5.1.4 Ознаке заваара – ОЗ

Ознаке заварених спојева са одговарајућим спецификацијама заваривања, WPS – овима су дате на слици 5.8.



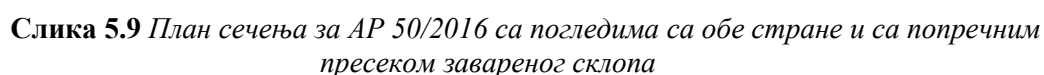
Слика 5.8 Ознаке заваара

Са слике 5.8 се види да се ручним поступцима заваривања заварују прикључци са леве и десне стране, док се аутоматским поступком заваривања спајају профили.

5.1.5 План израде радних проби

Радне пробе су заправо узорци намењени за испитивање поступка заваривања у оквиру производње. Оне се проверавају да би се утврдило да ли се завар може лако извршити у практичном заваривању – на реалном делу, визуелним испитивањем и додатно испитивањем са и без разарања (где је потребно). Неопхоно је направити план израде радних проби представља упутство у коме мора бити назначен:

- Број радних проби;
- Тип завареног споја;
- WPS;
- WPQR;
- Положај заваривања;
- Ознака заваара на цртежу;
- OM;
- Дебљина плоче (OM) за радну пробу;
- Ниво квалитета завареног споја;
- Стандард који се применио;
- Метода испитивања завареног споја;
- Потврда да је радна проба извршена.

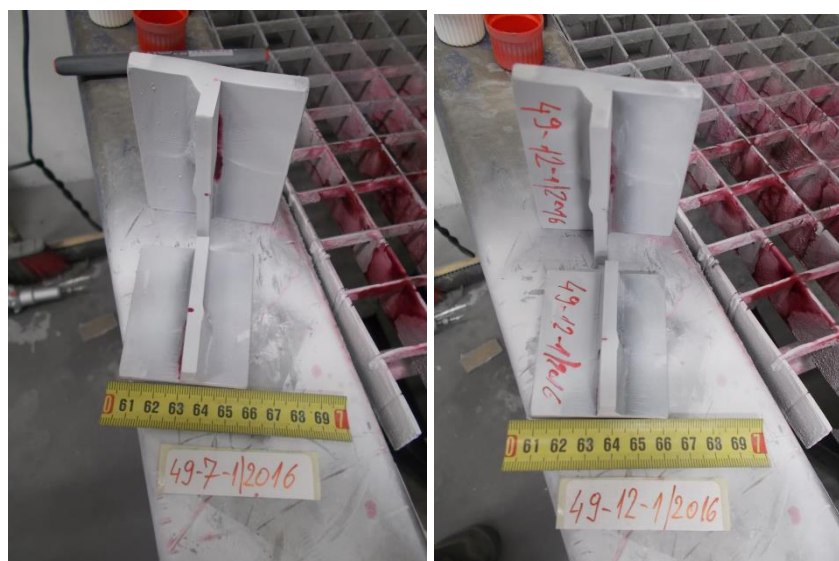


5.1.6 Извештај о радним пробама

Извештај о радним пробама садржи све меродавне податке за извршен поступак заваривања. У питању су две радне пробе – 49/2016 и 50/2016 чије је заваривање извело два заваривача, атестирана за те поступке, тако да се издаје четири извештаја.

У склопу тих извештаја издаје се и резултат контроле радних проби (VT) као и фотографија испитивања пенетрантима.

Фотографије радних проби под бројем AP 49-1/2016 са ручног заваривања MIG поступком од стране два заваривача са жиговима 7 и 12 су дате на слици 5.11.



Слика 5.11 Радне пробе заваривача – AP 49-7-1/2016 и AP 49-12-1/2016

Фотографије радних проби под бројем AP 50-1/2016 са ручног заваривања комбинованим поступцима MIG/TIG од стране два заваривача са жиговима 7 и 12 су дате на слици 5.12.



Слика 5.12 Радне пробе заваривача – AP 50-7-1/2016 и AP 50-12-1/2016

Као што се и види на сликама 5.11 и 5.12, радне пробе су испитане, осим визуелном методом и марко испитивањем, и помоћу пенетраната где се нису установиле никакве неправилности. Уколико се одређене грешке примете на радним пробама, врши се поновно заваривање нових радних проба све док се не постигне тражени квалитет завареног споја.

У наредном прологу 5.18 приказан је извештај радне пробе (АР 49-2016) заваривача где су истакнуте све потрбне информације о њој, као и методе испитивања дате радне пробе уз оцену након те контроле, односно да ли радна проба задовољава или не.

Број радне пробе је 49-7-1/2016, а оваква ознака представља следеће:

- 49 – редни број радне пробе;
- 7 – жиг заваривача који је израдио дату радну пробу;
- 1 – број покушаја заваривања радне пробе (први пут, у овом случају);
- 2016 – година изведбе:

Прилог 5.18: Детаљи радне пробе – AP 49-2016

Identifikacioni broj radne probe (Identification number of test piece):	49 – 7 - 1 / 2016		
Broj žiga zavarivača (Welder) :	7		
Ime i prezime zavarivača (Welders name and last name)	Milojković Vladimir		
Uverenje prema standardu (Certificate according to standard) EN ISO 9606 -1, 2	EN ISO 9606-2 : 141/131 P BW 23/22 S t12 (3/5) PA ss mb		
Radna proba prema pWPS ili WPS (Test piece according to pWPS ili WPS):	WPS 100/2016		
OM grupa OM (The parent metal group): (ISO/TR 15608):	Gr. 23.1 / Gr. 22.4		
OM kvalitet /standard oznaka/	EN 755-2: EN AW 6005A-T6/ EN 485-2: EN AW 5083-H111 / EN 485-2: EN AW 5083-H321		
DM (Filler metal) /standard /grupa /	EN ISO 18273: EN AW S-AI 5183 (S-AIMg4,5Mn0,7)		
DM (Filler metal) / Trgovačka oznaka DM – proizvođač -prečnik	Union AIMg4,5Mn – Böhler / Ø 1.2		
Uređaj za zavarivanje (Welding machine) / tip-proizvođač / br /	TransPuls Synergic – Fronius. No 27156099		
Zahtevani kvalitet (Quality required) : EN ISO 10042	EN ISO 10042: "B"		
Post. zavar. (Welding process) EN ISO 4063	131 (MIG)	Lim ili cev (P, T) (Plate or Tube)	P
Tip spoja, dimenzije (BW, FW) (Joint type)	BW, 4HY	Debljina OM (Thickness of parent metal) (mm):	t6
Način zavarivanja (method of welding)	ss mb	Spoljni prečnik cevi (Outer diameter of the pipe) (mm):	-
Zaštitni gas (Shielding gas) (EN ISO 14175)	I3-ArHe-30	Položaj zavarivanja(Welding position) (EN ISO 6947):	PA
Nadzor zavarivanja (potpis) (Supervision of welding (signature)) :	Jovan Radovanović		

VT zavarenog spoja (VT of welded joint) (EN ISO 17637)

Lice šava (Weld face)			Naličje šava (koren) (Weld root)		
Naziv greške (Defect category)	Tip greške (Type of imperfections) (EN ISO 6520)	Ocena (Grading)	Naziv greške (Defect category)	Tip greške (Type of imperfections) (EN ISO 6520)	Ocena (Grading)
/	BN	OK	/	BN	OK

Završna ocena vizuelnog pregleda (Final grading of visual test)

DA / YES

Ispitivanje spoja metodama (Testing inspection using methods) : PT (EN ISO 3452-1)		
Broj izveštaja (Report No.):		
IBR Metoda Nivo prihvatljivosti (NDT Method Acceptance criteria)	Tip greške (Type of imperfections) (EN ISO 6520-1)	Ocena (Grading)
EN SO 23277 2x	-	OK
Završna ocena pregleda (Final grading of test):		

Ispitivanje savijanjem zavarenog spoja (Bend testing of welded joint) (EN ISO 5173)		
Mesto merenja (place of testing)	Naziv greške (Defect category)	Ocena (Grading)
OM (PM)		
ZUT (HAZ)		
MŠ (WM)		
Završna ocena pregleda (Final grading of test)		

Fotografija makro snimka šava (Photo of macroscopic examination of welds)
(EN ISO 17639)



Sredstvo za nagrivanje (medium for etching) : HCl 33%

Produženje od strane ovlašćenog koordinatora zavarivanja na 6 mes.
(Prolongation for approval by employer welding coordinator for the lowing six months)

Konačna ocena(Comment):	Datum / Date	Potpis / Signatue	Tit
ZADOVOLJAVA: DA ☐ NE ☐			

5.1.7 План контроле завара – SPP

План контроле завара има информације о датом број завара које треба испитати, број и квадрант на техничкој документацији на основу које се може пронаћи место споја где треба извршити заваривање, затим позиција завара, врста споја, класа квалитета завареног споја, врста контроле (RT, PT, VT), број радне пробе, број WPS – а и евентуално неки коментар.

Наведени подаци се уносе у склопу документације везане за заваривање и координатори заваривања морају све то имати у виду, међутим, спровођење испитивања заварене контрукције се врши од стране засебне службе – контроле заваривања.

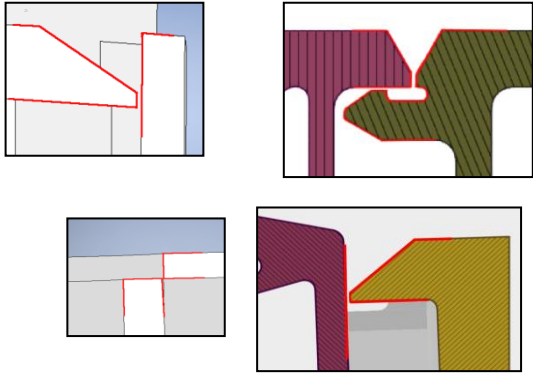
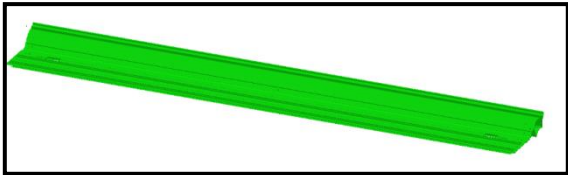
5.1.8 Технолошки поступак

Разрађена конструкциона документација је подлога за технолошку припрему. На основу ове документације врши се даља разрада, одређује се тачно свака позиција и опис рада сваког радног места, врши се нормирање времена, избор радника, машина, алата, прибора, сировина или готових полупроизвода како би се што ефикасније, односно јефтиније и квалитетније произвео производ који ће бити конкурентан на тржишту [32].

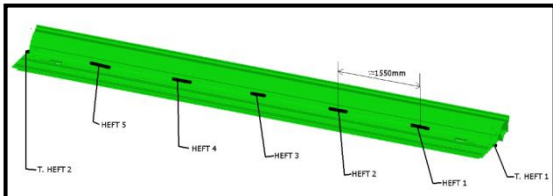
У оквиру технолошког поступка за „Langtraeger ÖBB“ дат је модел конструкције која се заварује - са извученим позицијама, као и модел алата за стезање и позиционирање радног дела током заваривања – маскаре, потом су описане и операције процеса заваривања - 11 операција у овом случају (прилог 5.19). У оквиру описа операција дати су подаци везани за број цртежа, особље, алат, уређаје и направе, помоћна средства, информације о безбедности на раду, документи везани за технолошки поступак и додатни коментари о процедурама које се спроводе за сваку операцију. Символи везани за безбедност на раду приказују да је обавезно примењивати заштитну опрему у току заваривања.

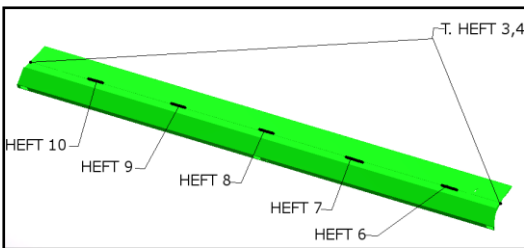
Операције заваривања за подсклоп „Langtraeger ÖBB“ су редом приказане у оквиру технолошког поступка који је дат у наредном прилогу 5.19.

Прилог 5.19: Технолошки поступак за пројекат „Langtraeger ÖBB“

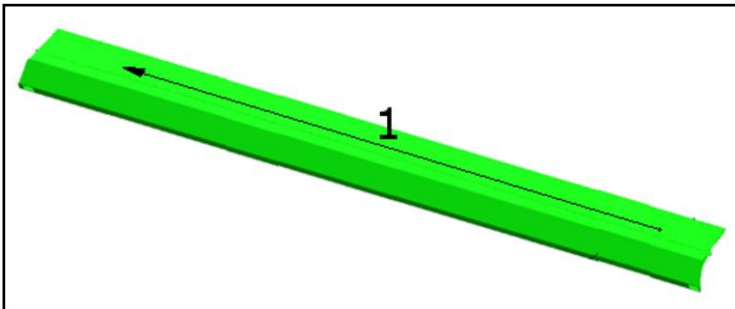
1. Operacija – provera dimenzija, čišćenje profila i priprema ivica za zavarivanje	
 <i>Karakteristični slučajevi pripreme spojeva za zavarivanje</i>	A2V00002329337/A6Z99000729652 A2V00002329338/A6Z99000729653
	Kvalifikovano osoblje - Proizvodni radnik (bravar) x2
Kontrola pozicija pre sklapanja Obezbediti radni sto, maskaru i postolja za postavljanje profila Pozicije postaviti ručno i kranom Uzeti alat i izvršiti neophodne pripreme Očistiti pozicije oko žljeba čistim krpama i alkoholom 96% i Skidanje oksidnog sloja vršiti prohromskim rotacionim četkama	Alat, uređaji i naprave: - Radni sto - Stezni alat - Ručne prohromske četke
	Pomoćna sredstva: - Metar, linear, vinkl i sl. - Alkohol 96% - Čiste bele krpe
Informacije o bezbednosti na radu 	
Povezani dokumenti: - Radni nalog - PP – protokol ispitivanja - Uputstvo za pripremu	
2. Operacija – Pozicioniranje pozicije 1 i 2 na radni sto	
	A2V00002329337/A6Z99000729652 A2V00002329338/A6Z99000729653
	Kvalifikovano osoblje Proizvodni radnik (bravar) x2
- Postavljanje pozicije 1 i 2 na radni sto i pričvršćivanje steznim alatom	Alat, uređaji i naprave: Radni sto , Stezni alat Ručne prohromske četke, Kran
	Pomoćna sredstva: Čiste bele krpe Metar, linear, vinkl i slično Kontrolni šabloni
Informacije o bezbednosti na radu 	
Povezani dokumenti: - Radni nalog - PP – protokol ispitivanja - Uputstvo za pripremu	

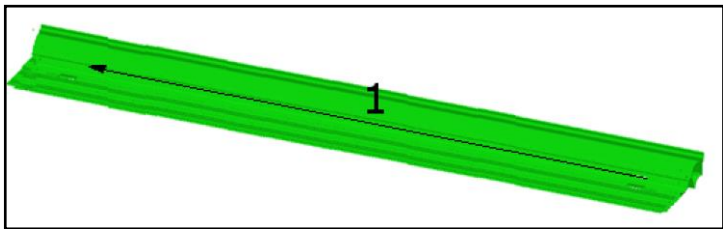
Прилог 5.19: Технолошки поступак за пројекат „Langtraeger ÖBB“

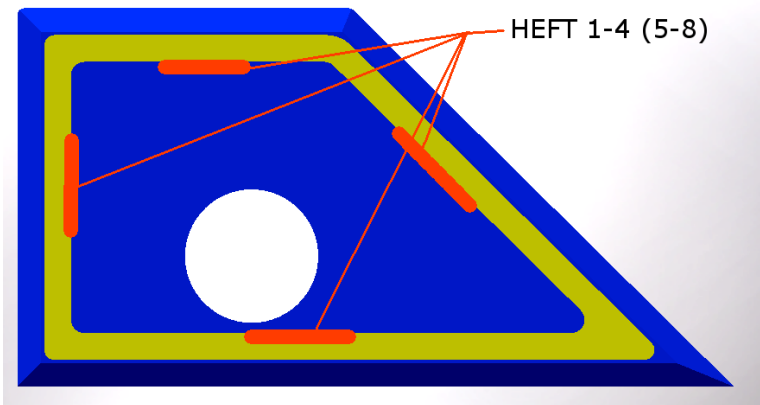
3. Operacija – Postavljanje heftova na pozicijama 1 i 2	
	A2V00002329337/A6Z99000729652 A2V00002329338/A6Z99000729653
	Kvalifikovano osoblje Proizvodni radnik (bravar) x2 Zavarivač (EN ISO 9606-2) x1
- Čišćenje pozicije oko žljeba čistim krpama i ručnom prohrmskom četkom - Postavljanje tačkastih heftova 1 i 2 - Postavljanje heftova 1-5 - VT heftova	Alat, uređaji i naprave: Radni sto, Maskara, Stezni alat, Aparat za zavarivanje: TransPuls Synergic 4000 x1
	Pomoćna sredstva: Čiste bele krpe, Metar, linear, vinkl i slično, Kontrolni šabloni
Informacije o bezbednosti na radu 	
Povezani dokumenti: Radni nalog, PP – protokol ispitivanja, Uputstvo za pripremu , Uputstvo za VT	

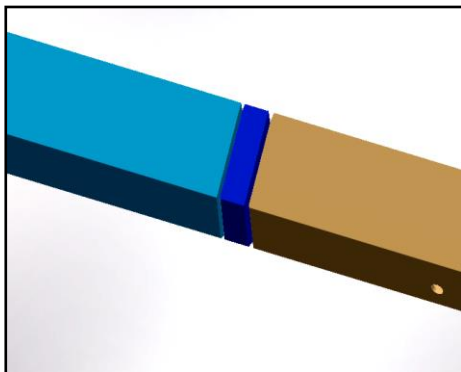
4. Operacija – Zaokretanje dela za 180 stepeni postavljanje heftova	
	Kvalifikovano osoblje Proizvodni radnik (bravar) x2 Zavarivač (EN ISO 9606-2) x2
	Alat, uređaji i naprave: Ručna prohrmska četka
Čišćenje pozicije oko žljeba čistim krpama i ručnom prohrmskom četkom Postavljanje tačkastih heftova 3 i 4 Postavljanje heftova 6-10 Nakon heftanja, heftove očistiti ručnom prohrmskom četkom VT heftova	Pomoćna sredstva: Čiste bele krpe, Metar, linear, vinkl i slično, Kontrolni šabloni
	Informacije o bezbednosti na radu 
Povezani dokumenti: Radni nalog PP – protokol ispitivanja Uputstvo za pripremu Uputstvo za VT	

Прилог 5.19: Технолошки поступак за пројекат „Langtraeger ÖBB“

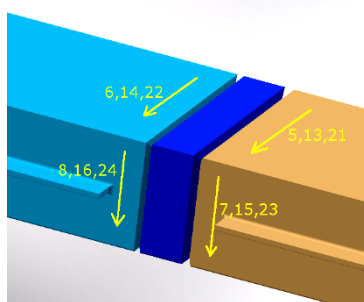
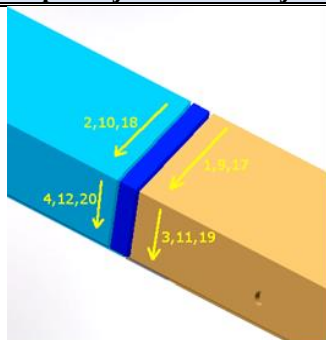
5. Operacija – Zavarivanje pozicija 1 i 2 na automatu	
	Kvalifikovano osoblje Proizvodni radnik (bravar) x2, Operater (EN ISO 9606-2) x1
	Alat, uređaji i naprave: Radni sto, Stezni alat, Ručna prohrumska četka x1, Automat za zavarivanje No.1 (GLC 403 Quinto-No.1020)
- Zavarivanje zavora 7 prema WPS 16/2017 - Čišćenje zavora ručnom prohrumskom četkom - VT zavora	Pomoćna sredstva: Čiste bele krpe, Metar, linea, vinkl i slično, Kontrolni šablon
	Informacije o bezbednosti na radu 
Povezani dokumenti: Radni nalog, PP – protokol ispitivanja, Uputstvo za pripremu, Uputstvo za VT, OZ 50/2016, WPS 16/201	

6. Operacija – Okretanje dela za 180° i zavarivanje zavora 8	
	Kvalifikovano osoblje Proizvodni radnik (bravar) x2, Operater x1
	Alat, uređaji i naprave: Maskara Stezni alat Automat za zavarivanje No.1 (GLC 403 Quinto-No.1020) Ručna prohrumska četka
Zavarivanje zavora 8 prema WPS 16/2017 Čišćenje zavora ručnom prohrumskom četkom VT zavora Otpuštanje dela iz steznog alata Mašinska obrada dela	Pomoćna sredstva: Čiste bele krpe Metar, linea, vinkl i slično Kontrolni šabloni
	Informacije o bezbednosti na radu 
Radni nalog PP – protokol ispitivanja Uputstvo za pripremu prema Uputstvo za VT – Q.3.030. OZ 50/2016 WPS 16/2017	

7. Operacija – Heftanje korene letve na adapter	
	Kvalifikovano osoblje Proizvodni radnik (bravar) x2, Operator (EN ISO 9606-2) x2
	Alat, uređaji i naprave: Maskara Stezni alat Aparat za zavarivanje: TransPuls Synergic 4000 x2
Heftanje korene letve 4 na adapter 7 (heft 1-4) Heftanje korene letve 5 na adapter 7 (heft 5-8) Na isti način se vrši heftanje korene letve 2 i 3 na adapter 8 (u ogledalu) Čišćenje heftova ručnom prohromskom četkom VT heftova	Pomoćna sredstva: Čiste bele krpe, Metar, lineal, vinkl i slično, Kontrolni šablon
	Informacije o bezbednosti na radu 
	Radni nalog PP – protokol ispitivanja Uputstvo za pripremu prema Uputstvo za VT

8. Operacija – Postavljanje dela na maskaru i postavljanje sklopa adaptera sa korenim letvom na poziciju 1 i 2	
	Kvalifikovano osoblje Proizvodni radnik (bravar) x2
	Alat, uređaji i naprave: Maskara Stezni alat Ručna prohromska četka Kran
Heftanje korene letve 4 na adapter 7 (heft 1-4) Heftanje korene letve 5 na adapter 7 (heft 5-8) Na isti način se vrši heftanje korene letve 2 i 3 na adapter 8 (u ogledalu) Čišćenje heftova ručnom prohromskom četkom VT heftova	Pomoćna sredstva: Čiste bele krpe Metar, lineal, vinkl i slično Kontrolni šabloni
	Informacije o bezbednosti na radu 
	Radni nalog PP – protokol ispitivanja Uputstvo za pripremu prema Uputstvo za VT

9. Operacija – Zavarivanje zavora 3 i 4 (istovremeno zavarivanje zavora 1 i 2 u ogledalu)



Zavarivanje sekvenci 1,3,5,7 zavora 4 (TIG) prema WPS 98/2016
 Zavarivanje sekvenci 2,4,6,8 zavora 3 (TIG) prema WPS 99/2016
 Zavarivanje sekvenci 9,11,13,15,17,19,21 i 23 zavora 4 (MIG) prema WPS 98/2016
 Zavarivanje sekvenci 10,12,14,16,18,20,22 i 24 zavora 4 (MIG) prema WPS 99/2016
 Čišćenje međupolaza ručnom prohromskom četkom
 Uklanjanje dela iz maskare i VT zavarenih spojeva
 Istovremeno se zavaruje i deo u ogledalu sa druge strane (zavari 1 i 2)
 *Napomena: Zavarivanje izvoditi naznačenim redosledom (broj sekvenci) uz okretanje dela i prilagođavanje PA položaju zavarivanja

Kvalifikovano osoblje

Proizvodni radnik (bravar)
 x2, Zavarivač (EN ISO 9606-2) x2

Alat, uređaji i naprave:

Maskara, Kran, Stezni alat
 Aparat za zavarivanje:
 TransPuls Synergic 4000 x2
 Aparat za zavarivanje:
 MagicWave 4000 Job G/F x1
 Aparat za zavarivanje:
 MagicWave 2500 Job G/F x1
 Ručna prohromska četka x2

Pomoćna sredstva:

Čiste bele krpe
 Metar, linea, vinkl i slično
 Kontrolni šabloni

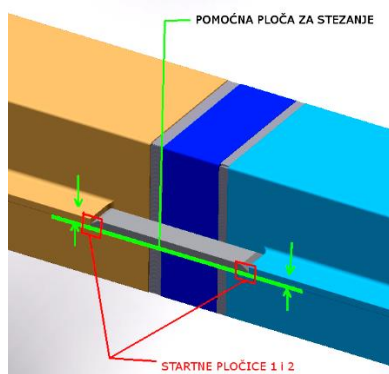
Informacije o bezbednosti na radu



Povezani dokumenti:

Radni nalog
 PP – protokol ispitivanja
 Uputstvo za pripremu prema Uputstvo za VT – Q.3.030.
 WPS 98/2016
 WPS 99/2016

10. Operacija – Postavljanje dela na maskaru i postavljanje sklopa adaptera sa korenom letvom na poziciju 1 i 2



Postaviti pomoćnu pločicu ispod pozicije 12 radi stezanja (kao što je naznačeno strelicama), Postavljanje startnih pločica 1 i 2, VT heftova pločica

Kvalifikovano osoblje

Proizvodni radnik (bravar)
x2 i Zavarivač x2

Alat, uređaji i naprave:

Maskara, Stezni alat, Merni pribor, Aparat za zavarivanje: TransPuls Synergic 4000 x2
Ručna prohromska četka x2

Pomoćna sredstva:

Čiste bele krpe
Metar, linea, vinkl i slično
Kontrolni šabloni

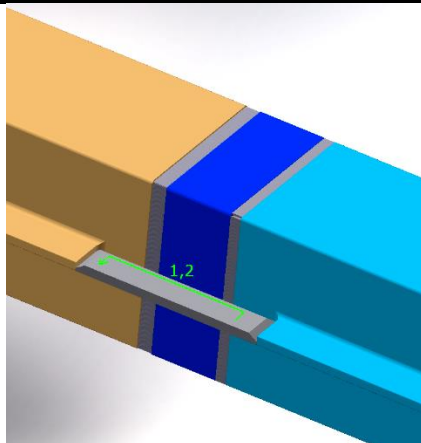
Informacije o bezbednosti na radu



Povezani dokumenti:

Radni nalog
PP – protokol ispitivanja
Uputstvo za pripremu prema
Uputstvo za VT – Q.3.030.
WPS 109/2016
OZ 52/2016

11. Operacija – Postavljanje stratnih pločica na poziciju 12 i stezanje pozicija steznim alatom



Zavarivanje sekvenci 1 i 2 zavora 5 (zavarivanje zavora 6 u ogledalu) prema WPS 100/2016

Čišćenje prolaza ručnom prohromskom četkom

VT zavora

Uklanjanje startnih pločica

Završna kontrola dela

Kvalifikovano osoblje

Proizvodni radnik (bravar)
x2 i Zavarivač x2

Alat, uređaji i naprave:

Maskara, Stezni alat, Merni pribor, Aparat za zavarivanje: TransPuls Synergic 4000 x2
Ručna prohromska četka x2

Pomoćna sredstva:

Čiste bele krpe
Metar, linea, vinkl i slično
Kontrolni šabloni

Informacije o bezbednosti na radu



Povezani dokumenti:

Radni nalog
PP – protokol ispitivanja
Uputstvo za pripremu prema
Uputstvo za VT
WPS 100/2016
OZ 50/2016

5.1.9 Атести заваривача

Атест заваривача (прилог 5.20) је документ који се издаје после положеног курса за заваривање за одређену технологију заваривања, одређени положај, врсту споја и сл. У оквиру овог пројекта постоје су 4 атеста за 4 заваривача која су изводила заваривање пројекта „Langtraeger ÖBB“, а један од њих, ради примера дат је у наредном прилогу.

Прилог 5.20: Пример атеста заваривача

SERTIFIKAT ZAVARIVAČA/CERTIFICAT OF WELDER'S

2.Oznaka/Designation **EN ISO 9606-2: 141/131 P BW 23/22 S t12 (3/9) PA ss mb**

3.Broj/Number MI-6/2017
 4.STZ / WPS pWPS 28/2016
 5.Dokument br./Document No 6/2017
 6.Ime zavarivača/Welder's name **Živković Igor (12)**
 7.Legitimacija/Legitimation 2751800, S. Palanka
 8.Način identifikacije./Metod of identification lična karta / identity card
 9.Datum, mesto rođenja/Date and place of birth 14.02.1985, Čuprija
 10.Poslodavac/Employer Milanović Inženjering, Cerovac, Kragujevac
 11.Propis, Standard/Code, Standard EN ISO 9606-2
 12.Poznavanje struke/Job knowledge položio / successfull

13.Promenljive/Variables	Detalji zav./Weld test details	Područje odobrenja/Rang of approval
14.Postupak zavarivanja/Welding process	141/131 (struja/curent AC/DC)	141 (struja/curent AC) 131 (struja/curent DC+puls)
15.Lim ili cev/Plate or tube	P	P, T [#] (D ≥ 500)
16.Tip spoja/Joint type	BW	BW, FW (sl / ml) (vidi (see 5.4))
17.Osnovni materijal/Base materijal	EN AW: 6005A-T6/5083-H111 (Gr: 23.1 / 22.4)	Gr: 23 / 22
18.Dodatni materijal/Filler metal	EN ISO 18273: S Al 5183	tipa/typ: AlMg i AlSi
19.Dodatni materijal, tip /Filler metal, type	Puna žica / Solid wire (S)	Puna žica /Solid wire (S)
20.Zaštitni gas, prašak/Shielding gas,flux	EN ISO 14175: I3-ArHe-30	EN ISO 14175: I3-ArHe-30
21.Pomoćna sredstva/Auxiliaries	-	-
22.Dejl. mater./Material thickness (mm)	t12 (141: s=3 mm) (131: s=9 mm)	141: 1,5- 6 131: ≥ 6
23.Spolj. prečnik cevi/Outside tube diam.(mm)	-	T [#] (PA, PB D ≥ 150)
24.Položaj zavarivanja/Welding positions	PA	PA, (PB za FW)
25.Detalji zavarivanja/Details of welding	ss mb	ss mb, bs
26.Dodatne napomene/Additional notes Validity determined with reference to 9.3a		
27. Tip ispitivanja	Izvršeno i prihvatljivo	Nije ispitano/ Not tested
28. /Typ of test	/Performed and accepted	
29.		
30.		
31.Vizuelno ispitivanje/Visual testing	X	
32.Radiogr. ispitivanje/Radiographic testing	X	
33.Ispitivanje prelomom/Fracture test		X
34.Ispitivanje savijanjem/Bend test	X	
35.Makro ispitivanje/Macro test	X	
36.Dodatna ispitivanja/Additional test	X	
37.Ispitivanje zatezanjem/Tensile test	X	
38.Napomena/Note	WPQR 3-MI-2017	

Pečat/Stamp

Mesto/Location Cerovac, Kragujevac
 Datum/Date 28.01.2017.
 Datum zavarivanja /Date of welding 04.01.2017.
 Važi do/Validity 03.01.2019.

Заваривач се сматра квалификованим за одређену технологију заваривања ако поседује атест заваривача. То се остварује након завршеног курса заваривања. Стандардом (EN ISO 9606-2 за заваривање алуминијума) су обухваћене све потребе информације везане за обуку заваривача.

Постоји и одређен број модула за обуку којим се дефинише врста основног материјала чије се спајање врши – лим, цев или плоча, положаји заваривања – хоризонтални, вертикални, надглавни и сл, тип споја – сучеони, угаони, преклопни и сл. У току обуке заваривач израђује радне пробе одређеног споја и положаја и ако оне прођу контролу од стране координатора заваривања (визуелно испитивање, прелом, макро, радиографско, испитивање савијањем и сл) сматра се да је заваривач обучен за тај тип заваривања. Међутим, да би институт или фирма у којој се врши обука, издала атест, неопходно је да заваривач има и одређен број часова теоријске наставе и да након тога полаже тест где ће се проверити његово теоријско знање. Тек након положеног теста и одађених свих потребних радних проба, заваривач се сматра квалификованим за одређену технологију заваривања.

Пример једног таквог атеста заваривача је дат у прилогу 5.20, где се може видети да се заваривач квалификовао за заваривање комбинације материјала из групе 22 и 23 (легуре алуминијума), дебљине 12 mm, помоћу додатног материјала (пуна жица) на бази једињења AlMg и AlSi. Технологија заваривања је комбинација MIG и TIG поступака заваривања где се најпре врши заваривање TIG поступком – 3 mm, па MIG поступком – 9 mm. Положај при заваривању је РА – хоризонтални, а спој је сучеони (BW) и изведен са једне стране са подлошком – кореном летвом (ss mb). Што се тиче испитивања завреног споја из прилога се види да су извршени разни типови испитивања, баш из разлога што је у питању комбинација материјала и комбинација поступака заваривања. У напомени је истакута и квалификација процедуре заваривања (WPQR) према којој се вршила атестација заваривача. У оквиру атеста дати су и лични подаци заваривача и датуми заваривања, издавања атеста и према томе и његов рок важења (за овај случај две године, уз продужавање атеста на сваких шест месеци где заваривач сваки пут израђује нове радне пробе ове врсте). Квалификација заваривача, за потребе фирме „Милановић Инжењеринг“, се врши у оквиру само фирме пошто је акредитована за такву врсту обуке (али само у оквиру фирме - интерно) или се израђене радне пробе шаљу у друге акредитоване институте које их испитују и додељују атесте заваривачима (екстерно).

5.1.10 Атести уређаја

Атест уређаја, који се примењивао за заваривање подсклопа „Langtaeger ÖBV“, (прилог 5.21) је документ који се издаје од стране акредитоване лабораторије за испитивање заваривачких уређаја („Гоша Институт“, Смедеревска Паланка). Лабораторија испитује исправност и перформансе уређаја и ако испуни све критеријуме испитивања, сматра се да је уређај атестиран, односно исправан.

Прилог 5.21: Пример атеста уређаја за MIG/MAG поступак заваривања, марке Fronius (тип „TransPlus Synergic 4000“)

Sistem menadžmenta
kvalitetom, usaglašen
sa ISO 9001:2008,
certifikovan od
TÜV MS GmbH

**Razvoj tehnologija
zavarivanja i obuka
kadrova**

**INSTITUT
GOSA**

11000 Beograd, Milana Ratkica 35,
tel: 011/2413-332, fax: 011/2410-977

11420 Smolanski, 1 Spaskog usanka 202,
tel: 026/314-044, fax: 026/314-767

Na osnovu zahteva standarda SRPS ISO 3834, EN 17662 Zakona o bezbednosti i zdravlju na radu (Sl. Glasnik RS 101/2005.) i obavljenih ispitivanja prema standardu SRPS N H9.201, EN 60974-1, EN 50504 i EN 17662 izdaje se:

UVERENJE

o ispravnosti uređaja

Broj 028 MIL/16

Aparat za MIG/MAG
Naziv uređaja

Fronius Proizvođač	TransPuls Synergic 4000 Tip	
25314587 Fabrički broj	18 Inventarski broj	2014 Godina proizvodnje

Milanović inženjering d.o.o, Sobovica bb, 34 321 Cerovac - Kragujevac, Srbija
Vlasnik (korisnik) uređaja

Na osnovu rezultata ispitivanja potvrđuje se da se uređaj
može koristiti za zavarivanje prema svojoj nameni

Datum ispitivanja: **10.09.2016.** Uverenje važi: **1 godinu**

Beograd, **12.09.2016.**

Odgovorni inženjer

Marko Ristić, dipl. inž. maš. spec. IWE

Overava

Mirko Ličina, dipl. maš. inž.

Прилогом 5.22 је дата и полеђина издатог атеста где су истакнути резултати испитивања, као и провера јачине струје и напона овог уређаја, на основу којих се сматра да је уређај исправан.

Прилог 5.22: Атест уређаја марке Fronius (тип „TransPlus Synergic 4000“)

**Karton ispitivanja uređaja za zavarivanje
Br. 28/16**

Podaci o uređaju

Vlasnik uređaja	Milanović inženjering d.o.o, Sobovica bb, 34 321 Cerovac - Kragujevac, Srbija
Vrsta uređaja/tip	TransPuls Synergic 4000
Proizvođač	Fronius
Inventarski broj	18
Fabrički broj	25314587
Godina proizvodnje	2014

Rezultati ispitivanja

	ZADOVOLJAVA	NE ZADOVOLJAVA
Kablovi, kontakti	X	
Klešta za masu	X	
Zavarivačka klešta	X	
Zavarivački pištolj	X	
Opšte stanje	X	

Strujne karakteristike

Provera jačine struje i napona				
	1	2	3	4
Prečnik elektrode/žice Ø(mm)	2.5	2.5	3.25	3.25
Zadata vrednost struje Iz (A)	85	90	125	135
Izmerena vrednost jačine struje I (A)	83-86	86-98	123-132	135-142
Dozvoljena vrednost struje I (A)	76.5-93.5	81-99	112.5-137.5	121.5-148.5
Zadata vrednost napona U (V)	17.5	18.5	20.3	20.8
Izmerena vrednost napona U (V)	17-18	18-19	20	22
Dozvoljena vrednost napona U (V)	15.75-19.25	16.65-20.35	18-22.3	18.8-22.88

Datum ispitivanja: 10.09.2016.

Ispitivanja vršio: Marko Ristić	Odobrio: Milan Prokolab	List 1 od 1
------------------------------------	----------------------------	-------------

На основу издатог уверења сматра се да уређај задовољава и да је атестиран за период од годину дана, након чега се врши поновно испитивање. Поред атеста за овај уређај, у склопу документације је и атест за MIG/MAG уређај исте марке али године производње – 2015 и један из 2016, аутомат за MIG заваривање марке „Cloos – GLC 403 Quinto“, TIG/E уређај марке „Fronius - TransPlus Synergic 4000“ и TIG/REL уређај марке „Fronius – Magic Wave 2500 Job G/F“.

5.1.11 Протокол испитивања

Протокол испитивања радног дела садржи податке везане за операције које се контролишу, карактеристике, врсте и опрему за испитивање, обим испитивања, тражене и стварне вредности, уз евиденцију особе задужене за испитивања извршиоца операције, евиденцију контролора и надзора заваривања.

5.1.12 Извештај о испитивању без разарања – NDT (Non Destructive Testing)

Врста испитивању без разарања је радиографија и она се изводи у акредитованој лабораторији („R Dijagnostika“) помоћу уређаја – рендген („Eresco 300/5“).

Радиографска контрола је врста испитивања без разарања која користи висококвалитетне системе за контролу зрачења коришћењем рендгенских икс зрака или гама зрака. Ово зрачење је у суштини електромагнетно зрачење . X - зраци и γ - зраци остављају траг на филмској емулзији (индустријски филм) који се заснива на радиографској контроли и тестирању грешака у унутрашњости материјала. Извор рендгенског зрачења је рендгенска цев са вакуумом , повезана са високим напоном до 400 kV (за вентилацију челичних предмета дебљине до 70 mm). Радиографска контрола се најчешће користи за откривање грешака код заварених спојева - порозности, укључака, непровара. Тешко је открити равне грешке као што су пукотине (могу се открити само пукотине у смеру зрачења).

Овом методом испитивања су подвргнути сучеони спојеви код заваривања „Langtraeger ÖBB“ чије се заваривање изводило комбиновањем MIG/TIG методом.

Сprovedена испитивања су показала да изведена технологија задовољава све задате услове, тако да је пројекат „Langtraeger ÖBB“ одобрен од стране поручиоца.

6. Закључак

Заваривање је процес израде нераздвојивог 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. Заваривањем се успешно спајају: метал и метал, неметал и неметал, као и неметал и метал. Тако да се овом технологијом успешно могу спајати и делови од алуминијума и његових легура.

Алуминијум спада у групу лаких - нежелезних и средњетопљивих метала. Поступак добијања овог метала се изводи из руде боксита електрометалуршким методама. Неке механичке и технолошке особине алуминијума и његових легура се могу поправити деформационим ојачањем, термичком обрадом и легирањем. Највише коришћени легирајући елементи су силицијум, бакар, магнезијум, манган, цинк и др.

Алуминијум и његове легуре спадају у тешко заварљиве материјале, пре свега због формирања тешко топљивог оксида алуминијума Al_2O_3 . Избор метода и технологије заваривања алуминијума се своди на добијање једног, непропусног и беспорозног шави, без прслина, са што је могуће већом јачином чистог метала шави али и зоне утицаја топлоте. Што се тиче избора најповољније технологије заваривања алуминијума и његових легура, стандардом SRPS EN ISO 9606-2 прописано је да се само TIG и MIG начинима заваривања може добити атестација за заваривање ове врсте метала, пошто се само овим методама може добити квалитетан заварени спој у погледу механичких и технолошких особина.

Као пример завариване алуминијумске конструкције, уз сагласност одговорних лица из фирме „Милановић Инжењеринг“ (Собовица, Церовац), приложен је део пројекта - подсклоп вагона – "Langtraeger ÖBB". Координација технологије заваривања се изводила од стране инжењера ове фирме. по поруџбини "Siemens"-а (Крефилд, Немачка). Целокупна процедура се изводила на основу обавезујућих стандарда за израду шинских возила и њихових компоненти (EN 15085), стандарда квалитета (ISO 9001), стандарда који квалификује фирму за извођење заваривачких радњи (EN ISO 3834), система менаџмента животном средином (ISO 14001), система управљања заштитом здравља (OHSAS 18001) и безбедношћу на раду при изради одговорних челичних и алуминијумских конструкција (EN 1090). У оквиру овог рад омогућено је објављивање документације квалификоване технологије - како ручним тако и аутоматским поступцима заваривања, на чему се најискреније захваљујем компанији.

Закључак је да се „освајање“ технологије заваривања код овог пројекта успешно извршило, тако да се фирма квалификовала за производњу ове врсте подсклопова, између осталих. Кажемо да је „Langtraeger ÖBB“ подсклоп из разлога што представља само један од многих, саставних делова који улазе у склоп вагона „ÖBB“ којег ће компанија „Милановић Инжењеринг“ по први пут произвести до краја године. А од следеће године, план је серијска производња ове врсте вагона, коју ће успешно извести пошто поседује значајно знање и велико искуство у инжењерингу, посебно у сврхе индустрије шинских возила. Управљање пројектима кроз све циклусе, од идеје до реализације, не представља само пројектни задатак већ професионални изазов и задовољство тима инжењера и поносна сам што то, од скоро, могу рећи и у своје име.

7. Литература

1. М. Јовановић, Д. Адамовић, В. Лазић: *Приручник за технологију заваривања*, Југословенско друштво за трибологију, YU ИССН 0513-85232, Крагујевац, 1995.
2. Интернет страница:
[https://www.aflglobal.com/getattachment/27313193-2ebc-4c2e-8bd1-f4eab78957c1/WS-AA-WS-E-AA-Welded-Couplers.aspx;";](https://www.aflglobal.com/getattachment/27313193-2ebc-4c2e-8bd1-f4eab78957c1/WS-AA-WS-E-AA-Welded-Couplers.aspx;), приступљено 28.03.2017.
3. М. Јовановић, Д. Адамовић, В. Лазић, Н. Ратковић: *Машински материјали*, универзитетски уџбеник, Машински факултет у Крагујевцу, ИСБН 86-80581-55-0, Крагујевац, 2003.
4. Интернет страница:
<https://3.imimg.com/data3/QM/JI/MY-7613800/aluminum-coil-250x250.jpeg>, приступљено 29.03.2017.
5. Интернет страница
<https://sr.wikipedia.org/sr-el/%D0%91%D0%BE%D0%BA%D1%81%D0%B8%D1%82>, приступљено 29.03.2017.
6. Интернет страница
<https://eucbeniki.sio.si/nar6/970/boksit1.jpg>, приступљено 01.04.2017.
7. М. Јовановић, Д. Адамовић, В. Лазић: *Технологија заваривања - приручник*, самостално издање, YU ISBN 0513-8523, СІР 621.791 (075.8), Крагујевац, 1996.
8. Интернет страница:
<http://svetzavarivanja.rs/index.php/znanje-o-zavarivanju/zavarivanje-aluminijuma-opste>, приступљено 29.03.2017
9. Интернет странице:
https://encryptedtbn2.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcRyTThM1OMh3kBOT_Im1dntHqSDmJULiU1G0RymMNH2v2A6rLzfyAKyLQw
<http://www.brams.rs/images/products/brams-sistem-siroke-namene.jpg>
http://mogujatosama.rs/sites/default/files/images/555_2.jpg
<http://www.prozorivrata.com/wp-content/uploads/2016/12/Eloksiranje-aluminijuma.jpg>
http://www.stolarija.rs/pages/upload/proizvod_15_26_105657971.jpg
<http://www.mwrolo.rs/images/mwrolo-proizvodnja.jpg>
<http://pvcialustolarija.rs/wp-content/uploads/2017/01/Otkup-aluminijuma-570x350.jpg>, приступљено 09.04.2017.
10. М. Јовановић, В. Лазић: *Технологија ливења и заваривања*, Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу, ИСБН 978-86-6335-011-3, Крагујевац, 2015
11. Интернет страница:
http://www.open.edu/openlearn/sites/www.open.edu.openlearn/files/imported/o_12442/corrosion_alum.gif, приступљено 29.03.2017.
12. Интернет странице:
http://www.deltaterm.com/slike/ART_7_1.jpg
http://www.minimarket.rs/files/images/ponude/lepota_i_zdravlje/aluminijumski-tiganj-za-palacinke-25.jpg
<http://www.brilum.rs/wp-content/uploads/2015/12/SVETILJKA-ZIVINA-STUBNA.jpg>
http://www.aluzaun.at/fileadmin/migrated/pics/Zierspitze_mit_Kugel_fuer_FR_15x15x1_5.jpg, приступљено 09.04.2017.
13. Интернет страница:
<https://prekucavanje.files.wordpress.com/2012/10/specijalisticki-rad-primer-2.pdf>, приступљено 04.04.2017.

14. Интернет страница:
<http://roa.h-cdn.co/assets/15/48/980x490/landscape-1448825915-roa120115dpt-boot-lostart-81.jpg>, приступљено 20.04.2017.
15. М. Јовановић, В. Лазић, Д. Адамовић, Н. Ратковић: *Гасно заваривање-приручник*, универзитетски уџбеник, Машински факултет у Крагујевцу, ИСБН 86-80581-68-2, Крагујевац, 2006.
16. Интернет страница:
http://www.technologystudent.com/equip_flsh/acety1a.gif, приступљено 20.04.2017.
17. М. Јовановић, В. Лазић, Д. Адамовић, Н. Ратковић: *РЕЛ заваривање-приручник*, универзитетски уџбеник, Машински факултет у Крагујевцу, Машински факултет у Крагујевцу, ИСБН 86-80581-69-0, Крагујевац, 2006.
18. Интернет страница:
http://upload.wikimedia.org/wikipedia/sh/thumb/9/95/Oblozena_elektroda.jpg/600px-Oblozena_elektroda.jpg, приступљено 11.05.2017.
19. М. Јовановић, В. Лазић, Д. Адамовић, Н. Ратковић: *ТИГ заваривање-приручник*, универзитетски уџбеник, Машински факултет у Крагујевцу, ИСБН 86-80581-71-2, Крагујевац, 2006.
20. Интернет страница:
https://media.licdn.com/mpr/mpr/shrinknp_800_800/AAEAAQAAAAAAAAAgzAAAAJDdjNmUxYzAwLTRIZDEtNDJhMS04NDQ3LTZhOTIyNjQwZDE3Ng.jpg, приступљено 11.05.2017.
21. Интернет страница:
<http://www.trade-equip.co.uk/blog/wp-content/uploads/2011/06/theweldingsystem.jpg>, приступљено 10.08.2017.
22. М. Јовановић, В. Лазић, Д. Адамовић, Н. Ратковић: *МАГ/МИГ заваривање-приручник*, универзитетски уџбеник, Машински факултет у Крагујевцу, ИСБН 86-80581-70-4, Крагујевац, 2006.
23. М. Јовановић, В. Лазић: *Практикум РЕЛ и МАГ/МИГ заваривања*, помоћни универзитетски уџбеник, Машински факултет у Крагујевцу, ИСБН 978-86-86663-11-5, Крагујевац, 2008.
24. Интернет страница:
<https://makemoneywelding.com/wp-content/uploads/2015/09/mig-welding-a-large-pipe.jpg>
<http://www.ogsindustries.com/images/products/robotic-mig-welding.jpg>
http://img.directindustry.com/images_di/photo-g/188297-11016255.jpg, приступљено 11.08.2017.
25. Интернет страница:
http://2.bp.blogspot.com/_G0jtuT7hiEk/SvmZbkwoYvI/AAAAAAAAACg/TLj1umW7Cr0/s640/mig+weld+equipment004.png
<http://pimg.tradeindia.com/01097935/b/1/Mig-Welding-Machine.jpg>, приступљено 30.08.2017.
26. М. Јовановић, В. Лазић: *Практикум гасног (ГПЗ) и аргонског (ТИГ) заваривања*, помоћни универзитетски уџбеник, Машински факултет у Крагујевцу, ИСБН 978-86-86663-37-5, Крагујевац, 2011.
27. Интернет страница:
http://var.rs/wp-content/uploads/2016/03/1458397643_image45.png, приступљено 05.08.2017.

28. М. Јовановић, В. Лазић, Д. Арсић: Наука о материјалима I, Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу, ИСБН 978-86-6335-042-7, Крагујевац, 2017. (рукопис предавања)
29. Интернет страница:
<https://www.millerwelds.com/-/media/miller-electric/imported-mam-assets/product-images/8/a/e/m-150-gun.jpg>, приступљено 07.08.2017.
30. Интернет страница:
<http://miing.rs/>, http://www.iss.rs/rs/standard/?natstandard_document_id=50255 приступљено 15.05.2017.
31. Интернет страница:
<http://miing.rs/>, http://www.iss.rs/rs/standard/?natstandard_document_id=50783,
http://www.iss.rs/rs/standard/?natstandard_document_id=18319, приступљено 15.05.2017.
32. Интернет страница:
https://sh.wikipedia.org/wiki/Industrijska_proizvodnja приступљено 30.08.2017.