

Primjena aluminija i aluminijskih legura u poljoprivrednoj tehnici

Gavrilović, Bojan

Undergraduate thesis / Završni rad

2020

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:

**Josip Juraj Strossmayer University of Osijek, Faculty of Agrobiotechnical Sciences Osijek /
Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Fakultet agrobiotehničkih znanosti Osijek**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:151:185582>

Rights / Prava: [In copyright](#) / [Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2025-03-04**



Sveučilište Josipa Jurja
Strossmayera u Osijeku

**Fakultet
agrobiotehničkih
znanosti Osijek**

Repository / Repozitorij:

[Repository of the Faculty of Agrobiotechnical
Sciences Osijek - Repository of the Faculty of
Agrobiotechnical Sciences Osijek](#)



SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU
POLJOPRIVREDNI FAKULTET U OSIJEKU

Bojan Gavrilović

Preddiplomski sveučilišni studij Poljoprivreda

Smjer Mehanizacija

**Primjena aluminija i aluminijskih legura u poljoprivrednoj
tehnici**

Završni rad

Osijek, 2020.

SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU
POLJOPRIVREDNI FAKULTET U OSIJEKU

Bojan Gavrilović

Preddiplomski sveučilišni studij Poljoprivreda

Smjer Mehanizacija

**Primjena aluminija i aluminijskih legura u poljoprivrednoj
tehnici**

Završni rad

Povjerenstvo za ocjenu završnog rada:

1. Prof. dr. sc. Goran Heffer, mentor
2. Izv. prof. dr. sc. Ivan Plaščak, član
3. Ivan Vidakovic, mag. ing. mech., član

Osijek, 2020.

TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA

Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku
Fakultet agrobiotehničkih znanosti u Osijeku
Preddiplomski sveučilišni studij Poljoprivreda, smjer Mehanizacija

Završni rad

Bojan Gavrilović

Primjena aluminija i aluminijskih legura u poljoprivrednoj tehnici

Sažetak: U radu su opisana svojstva aluminija i aluminijskih legura, način proizvodnje aluminija, njegova primjena u građevinarstvu, transportu, pakiranju i poljoprivredi. Prikazan je i način označavanja aluminijskih legura i njihova obrada, tehnike zavarivanja, utjecaji na zavarljivost i mogući problemi koji se mogu javiti prilikom zavarivanja. Aluminij je metal s veoma povoljnim svojstvima: posjeduje dobra mehanička svojstva pri niskim temperaturama, dobro reflektira svjetlost i toplinu, neotrovan je, nema negativan utjecaj na okoliš, ima dobru otpornost na koroziju. U radu su prikazani različiti primjeri primjene aluminija i aluminijskih legura u izradi dijelova poljoprivrednih strojeva i ostalih oblika opreme u poljoprivredi.

Ključne riječi: aluminij, aluminijske legure, poljoprivredna tehnika

25 strana, 27 slika, 3 tablice, 1 grafikon

Završni rad je pohranjen: u Knjižnici fakulteta agrobiotehničkih znanosti u Osijeku i u digitalnom repozitoriju završnih i diplomskih radova Fakulteta agrobiotehničkih znanosti u Osijeku.

BASIC DOCUMENTATION CARD

Josip Jurja Strossmayer University of Osijek
Faculty of Agriculture in Osijek
Undergraduate university study Agriculture, course Mechanization

BSc Thesis

Bojan Gavrilović

Application of aluminium and aluminium alloys in agricultural technique

Abstract: In this paper are described the properties of aluminium and aluminium alloys, way of production of aluminium, his application in agriculture, transport, packaging and agriculture. It is also described the way of marking aluminium alloys and their treatment, welding techniques, impact on weldability and possible problems that may occur during welding. Aluminium is metal with very fortunate performance: it has good mechanical performance during low temperatures, it reflects good light and warmth, it is non-toxic, it does not have negative influence on environment, it has corrosion resistance. The paper presents various examples of the application of aluminum and aluminum alloys in the manufacture of parts of agricultural machinery and other forms of equipment in agriculture..

Key words: aluminium, aluminium alloys, agricultural techniques

25 pages, 27 pictures, 3 tables, 1 graph

BSc Thesis is archived in Library of Faculty of Agriculture in Osijek and in digital repository of Faculty of Agriculture in Osijek

SADRŽAJ

1. UVOD.....	1
2. ALUMINIJ	2
2.1. Svojstva aluminija.....	2
2.2. Proizvodnja aluminija	3
2.3. Primjena aluminija.....	3
2.3.1. Građevinarstvo.....	4
2.3.2. Transport.....	5
2.3.3. Pakiranje	6
3. ALUMINIJSKE LEGURE.....	7
3.1. Podjela aluminijskih legura	8
3.2. Označavanje aluminijskih legura	9
4. OBRADA ALUMINIJA I AL-LEGURA	10
4.1. Strojna obrada aluminija i Al-legura	10
4.2. Zavarivanje aluminija i Al-legura.....	11
4.2.1. Utjecaji na zavarljivost	14
4.2.2. Greške pri zavarivanju aluminija i aluminijskih legura.....	15
5. PRIMJENA ALUMINIJA I AL-LEGURA U POLJOPRIVREDI	18
5.1. Primjena u izradi dijelova poljoprivrednih strojeva	18
5.2. Ostali primjeri primjene.....	21
6. ZAKLJUČAK.....	23
7. POPIS LITERATURE.....	24

1. UVOD

Aluminij se u prirodi nalazi u obliku oksida i smjese oksida, iz kojih se metal izdvaja elektrolitičkim postupkom, potom se dobiveni sirovi metal rafinira, čime se omogućava oksidacija većine prisutnih nečistoća. Aluminij se, kao inženjerski materijal, primjenjuje zbog povoljnog omjera čvrstoće i gustoće, zbog omjera električne vodljivosti i gustoće te zbog toga što aluminij ima veliki afinitet prema kisiku (Golubić, 2019.).

Legiranje ima za cilj poboljšanje mehaničkih svojstava, a aluminijeve legure upotrebljavaju se i u lijevanom i u gnječenom stanju. Mnogim legurama svojstva se daju poboljšati precipitacijskim očvrnućem. Najvažniji legirni elementi su:

1. bakar,
2. magnezij,
3. silicij,
4. cink,
5. mangan.

Dodaci posebne svrhe su nikal, kobalt, litij, srebro, vanadij, cirkonij, kositar, olovo, kadmij i bizmut. Svi su legirni elementi pri dovoljno visokim temperaturama topivi u potpunosti u rastaljenom aluminiju (Golubić, 2019.).

Aluminij se zbog svojih povoljnih svojstava primjenjuje u različitim područjima industrije, od građevinske, prehrambene, do poljoprivredne, gdje je u najvećoj mjeri zastupljen u proizvodnji elemenata za poljoprivrednu tehniku.

2. ALUMINIJ

Aluminij je metal koji je poslije kisika, najrasprostranjeniji element u kori Zemlje, a prvi zabilježeni put pojavljivanja ovog metala je 1855. godine na svjetskoj izložbi u Parizu, Francuska. Aluminij se dobiva iz rude boksita, koja se prerađuje u glinicu Al_2O_3 , iz koje se izdvaja elektrolizom, trošeći puno električne energije – 16kWh/kg Al. Aluminij i aluminijske legure se koriste kao valjani, prešani i lijevani materijali, poluproizvodi i proizvodi (https://www.sfsb.hr/kth/zavar/tii/al_lg.pdf).

U prirodi, ovaj metal se ne nalazi kao metal, već kao oksid pomiješan s oksidima željeza, silicija, vanadija, titana i ostalog (Skejić i sur., 2015.)

2.1. Svojstva aluminija

Aluminij je srebrnobijel, mekan, krt i sjajan metal, lagan je, može se kovati. Od tehnički važnih metala, aluminij je po plastičnosti treći, a po kovnosti šesti. Ujedno je i dobar provodnik topline i električne struje. Otporan je na utjecaje korozivnih tvari poput vode, dušične kiseline, organskih otapala i atmosferskog utjecaja (Šorman, 2018.).

Osnovna fizikalna svojstva aluminija i aluminijskih legura prikazana su u tablici ispod, a neka od ostalih svojstava aluminija i aluminijskih legura koja nisu navedena u tablici su: aluminij je 2,9 puta lakši od čelika, posjeduje dobra mehanička svojstva pri niskim temperaturama, dobro reflektira svjetlost i toplinu, neotrovan je, nema negativan utjecaj na okoliš, ima dobru otpornost na koroziju pomoću prirodne zaštite sojem oksida, nije magnetičan i nema iskrenja u obradi (Skejić i sur., 2015.).

Tablica 1. Usporedba osnovnih svojstava aluminija i legura s čelikom (Skejić i sur., 2015.)

Fizička svojstva / Metal	Aluminij / Aluminijska legura	Čelik
Talište	660 °C	1425 – 1540 °C
Gustoća pri 20 °C	2700 kg/m ³	7850 kg/m ³
Toplinsko izduljenje	23 x 10 ⁻⁶ °C ⁻¹	12 x 10 ⁻⁶ °C ⁻¹
Specifična toplina	~ 920 J/kg °C	~ 440 J/kg °C
Toplinska provodljivost	~240 W/m °C	~ 54 W/m °C
Modul elastičnosti	70 000 N/mm ²	210 000 N/mm ²
Modul posmika	27 000 N/mm ²	81 000 N/mm ²
Poissonov koeficijent	0,3	0,3

Među negativnim svojstvima aluminijske legure ističe se visoka cijena proizvodnje, koji negativno utječu na odabir ovog metala za primjenu u konstrukcijama (Skejić i sur., 2015.).

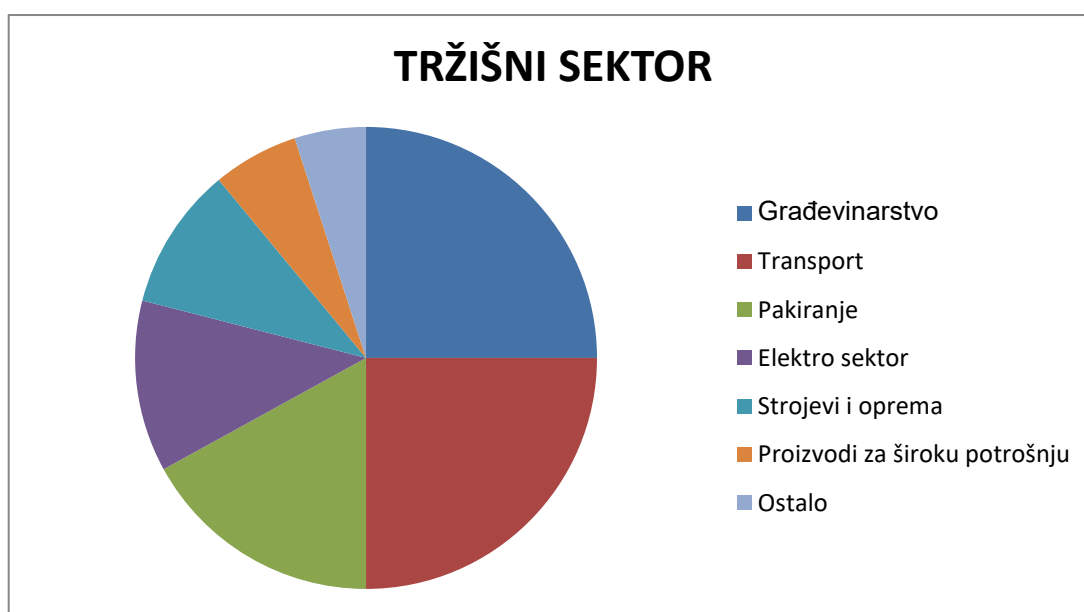
2.2. Proizvodnja aluminijske legure

Boksit je glavna ruda aluminijske legure, koja se uobičajeno sastoji od mješavine hidratiziranog aluminijskog oksida. Boksit se još sastoji od željeznog oksida, silikata i titanijevog oksida. Ova ruda, koja se koristi za proizvodnju aluminijske legure, sadrži od 35 do 60 % aluminijskog oksida. Tehnologija koja se u najvećoj mjeri koristi za proizvodnju aluminijske legure sastoji se iz dva koraka: izvlačenja i čišćenja aluminijskog oksida iz ruda i elektrolize oksida nakon što je otopljen u spojenom kriolitu (Benković, 2017.).

2.3. Primjena aluminijske legure

Aluminijska legura i aluminijske legure, koriste se kao valjani, prešani i lijevani materijali, poluproizvodi i proizvodi. Široko je područje primjene, pa se tako aluminijska legura i aluminijske legure primjenjuju u građevinarstvu, prehrambenoj industriji, kriogenoj tehnici, za izradu posuda pod tlakom u vojnoj tehnici, bijeloj tehnici i za izradu ambalaže (https://www.sfsb.hr/kth/zavar/tii/al_lg.pdf).

Za potrebe rada, dat će se kratki osvrt na tri industrije, a posebno poglavlje će biti posvećeno poljoprivrednoj industriji.



Grafikon 1. Primjena aluminijske legure u različitim područjima industrije (Šorman, 2018.)

2. 3. 1. Građevinarstvo

Zbog svoje gustoće i antikorozivnosti, aluminij je idealan materijal za sve klimatske uvjete i lokacije. U brojnim novosagrađenim domovima, upotrebljavaju se aluminijska vrata, prozori, pokrovi te odvođi koji zahtijevaju minimalno održavanje, a dugotrajni su (Šorman, 2018.).

Prema Skejiću i sur. (2015.), konstrukcijske primjene, koje najbolje odgovaraju svojstvima aluminijske konstrukcije u području graditeljstva, su:

- Krovni sustavi velikih raspona,
- Konstrukcije smještene na nedostupnim mjestima daleko od radionice,
- Konstrukcije koje se nalaze u korozivnim ili vlažnim okolišima,
- Konstrukcije koje imaju pokretne dijelove,
- Konstrukcije posebne namjene za koje su radovi održavanja posebno teški i moraju se ograničiti.

Brojne suvremene građevine u svijetu izrađene su od aluminijske konstrukcije. Neke od njih predstavljaju remek djela arhitekture i posebne znaamenitosti gradova u kojima se nalaze, kao što je primjer poznatog nebodera u londonskom poslovnom središtu (City of London), koji se zbog svog oblika često naziva „krastavac“ (The Gherkin), prikazan na slici 1.



Slika 1. Poslovni neboder u Londonu izrađen od aluminijske konstrukcije (<https://www.aluminiumleader.com/application/construction/>)

2. 3. 2. Transport

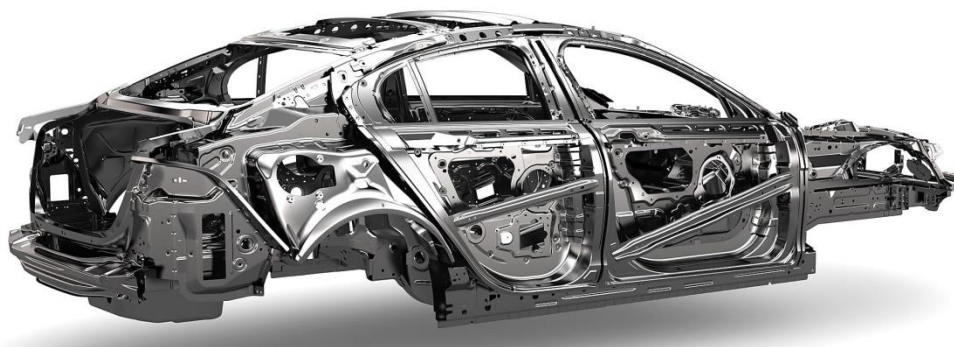
Drugo najveće tržište je tržište transporta i transportne tehnike, gdje je aluminij zastupljen zbog svoje male gustoće i dobrih mehaničkih svojstava. Ostala dobra svojstva aluminija proglašavaju ga materijalom budućnosti. Materijali koji se koriste za konstrukciju zrakoplova, moraju zadovoljiti svojstva poput male težine, izdržljivosti i otpornosti na oštećenja i koroziju. U ovoj industriji, aluminij se nalazi u motorima zrakoplova, okvirima, oblogama, opremi za slijetanje i interijeru. Otpornost na atmosferske utjecaje, mala gustoća, dobra toplinska vodljivost, učinili su aluminij najpoželjnijim materijalom u izgradnji satelita i ostalih svemirskih objekata (Šorman, 2018.).



Slika 2. Primjer zrakoplova izrađenog od aluminija

(<https://www.hnkyal.com/media/aluminum-application-aircraft-aerospace-2410>)

Aluminij legiranjem može dostići čvrstoću konstrukcijskih čelika, pri čemu je i dalje skoro tri puta lakši. Zbog prethodno navedenih obilježja, aluminij se ugrađuje u trup brodova, spremnike plina na brodovima koji prenose tekući plin i palubna spremišta za brodska plovila. Upotreba aluminija u automobilskoj industriji se odnosi na proizvodnju aluminijске karoserije, blokova motora, cilindra, hladnjaka, kućišta mjenjača i drugih dijelova (Šorman, 2018.). Primjer primjene u izradi karoserije prikazan je na slici 3.



Slika 3. Primjer automobilske karoserije od aluminija

(<https://www.postmyhub.com/what-are-the-advantages-of-aluminium-car-body/>)

2. 3. 3. Pakiranje

U ambalažnoj industriji, aluminij se koristi prilikom pakiranja pića, hrane, lijekova i sl. Brzo hlađenje, lako otvaranje, mala gustoća i reciklirajuće značajke slitina aluminija, pozitivno su utjecale na uporabu aluminijskih spremnika prilikom pakiranja napitaka. Omoti od folija i aluminijske vrećice, zatvaranje zavrtnjem i lako otvaranje, obogatili su ambalažnu industriju prehrambenih proizvoda (Šorman, 2018.).



Slika 4. Aluminijske limenke za pakiranje pića
(<https://aluminiumtoday.com/news/can-recycling-at-74>)

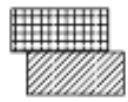
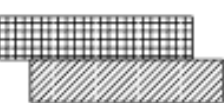
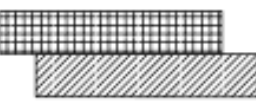
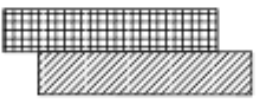
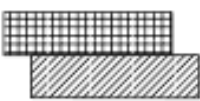
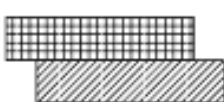
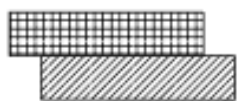
U prehrambenoj industriji, aluminij ima široku primjenu zbog mehaničkih svojstava. U tehnološkim procesima služi kao materijal od kojeg se izrađuju razni tipovi filtera, posuda za kuhanje, kondenzatora, fermentora, itd., dok za izradu ambalažnih materijala dolazi u oblicima limenki, tuba, poklopaca, folija, bačvi, itd. (Čović, 2019.)





Slika 5. Aluminijske posude za pakiranje hrane
(<http://en.zapackaging.com/packing-use-aluminum-cans-for-food-canning-2/>)

3. ALUMINIJSKE LEGURE

Legiranjem primarnog aluminija s legirnim elementima, dolazi se do osnovne skupine legura aluminija. Proizvod toga su legure različitog kemijskog sastava i različitih svojstava. Prvenstveni cilj legiranja je poboljšanje mehaničkih svojstava: vlačne čvrstoće, tvrdoće, krutosti, te tehnoloških svojstava: rezljivosti, livljivosti i žilavosti (Benković, 2017.).

Legura	Serija	Tip	Internacionale oznake	Raspon mehaničkih karakteristika (MPa)						
				0	100	200	300	400	500	600
Toplinski Neočvrstive legure	1000	Al	1050A 1070A 1100 1200 1080							
	3000	Al-Mn	3003 3004 3005 3105							
	5000	Al-Mg	5086 5083 5056A 5456 5052 5005 5454 5754 5254 5182							
Toplinski očvrstive legure	2000	Al-Cu Al-Cu-Mg	2011 2030 2017A 2618A 2024 (2124) 2014 (2214) 2219							
	6000	Al-Si-Mg	6005A 6060 6061 6082 6081 6106 6351							
		Al-Zn-Mg	7020 7021 7039							
	7000	Al-Zn-Mg-Cu	7049A 7175 7075 7475 7010 7150 7050							

Granica razvlačenja R_p ----- 
 Prekidna čvrstoća R_m ----- 

Tablica 2. Mehanička svojstva nekih aluminijskih materijala
 (https://www.sfsb.hr/kth/zavar/tii/al_lg.pdf)

Najvažniji legirni elementi su: bakar, magnezij, silicij, cink, mangan. Kao dodaci, prisutni su u manjoj količini željezo, krom, titan. Kompleksnije legure nastaju njihovom međusobnom kombinacijom i uz dodatak drugih legirnih elemenata (Benković, 2017.).

Legure aluminijske su dostupne u velikom rasponu čvrstoće, od jako duktilnih čistih aluminijskih s malom čvrstoćom, do jako čvrstih legura s čvrstoćom koja doseže do 690 Mpa. Ujedno, imaju i velik omjer čvrstoće u odnosu na masu (Benković, 2017.).

U inženjerskoj praksi, najviše se koriste valjani i prešani proizvodi aluminijske, a potom lijevani i kovani. Razlika u identifikaciji je što se valjani i prešani proizvodi zapisuju u obliku četiri znamenke, dok se kovani zapisuju kao tri i jedna decimalna znamenka. (Benković, 2017.)

Prema Šormanu (2018.), razvijen je veliki broj aluminijskih legura, no postoji sedam osnovnih obitelji:

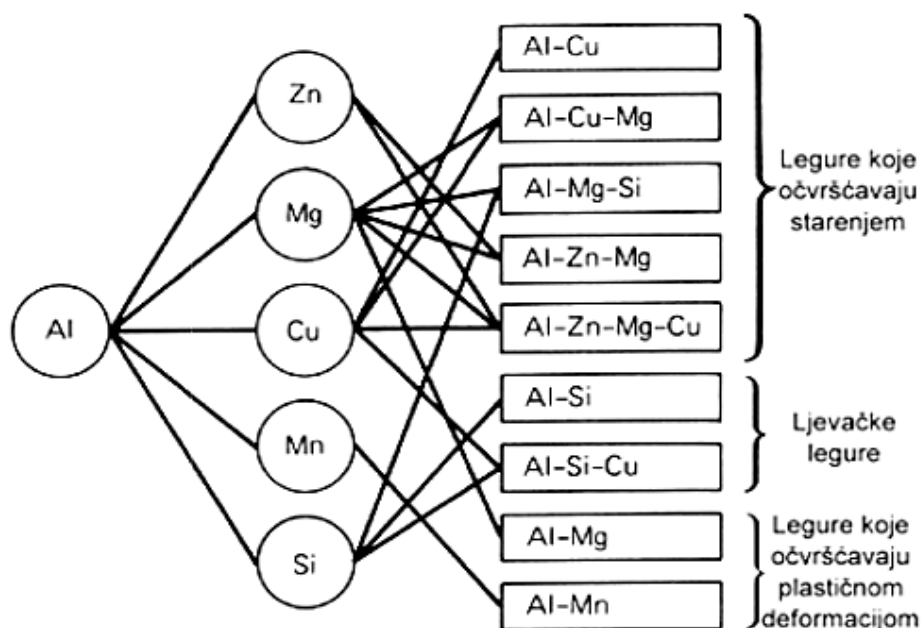
1. Aluminijske – bakar (2xx)
2. Aluminijske – silicij – bakar (3xx)
3. Aluminijske – silicij (4xx)
4. Aluminijske – silicij – magnezij (3xx)
5. Aluminijske – magnezij (5xx)
6. Aluminijske – cink – magnezij 7xx)
7. Aluminijske – kositar (8xx).

3. 1. Podjela aluminijskih legura

Aluminijske legure se obično klasificiraju s obzirom na postupak proizvodnje, tako da se onda govori o podjeli na lijevane i kovke. Druga klasifikacija je s obzirom na toplinski tretman, gdje se legure dijele na toplinski tretirane i netretirane, a treća klasifikacija je s obzirom na kemijski sastav (Skejić i sur., 2015.).

Tubić (2019.) također navodi da podjela aluminijskih legura može ovisiti o kemijskom sastavu, načinu prerade i izrade proizvoda, ili prema načinima i mogućnostima toplinske obrade. Jedna od osnovnih podjela je prema načinu prerade na ljevačke i gnječive legure aluminijske. Gnječive legure dijele se prema mogućnosti naknadne toplinske obrade, na one koje očvršćuju starenjem i one koje očvršćuju plastičnom deformacijom. Za razliku od gnječivih legura, kod ljevačkih legura gotov proizvod se dobiva lijevanjem. Od gnječivih

legura iz lijevanih poluproizvoda raznim postupcima tople i hladne prerade, dobivaju se gotovi proizvodi poput limova, traka, žica, cijevi, profila, itd.



Slika 6. Podjela aluminijskih legura prema načinu prerade (Tubić, 2019.)

3. 2. Označavanje aluminijskih legura

Tijekom označavanja, uzima se u obzir porijeklo, kemijski sastav i metalurško stanje aluminijske legure. Sustav označavanja Europskim normama, omogućuje da svaka legura i svaki proizvod izrađen od pojedine legure ima jedinstvenu oznaku. Oznaka svake Al-legure sastoji se od četiri slova, gdje su prva tri slova EN A – skraćenica za europsku normu za aluminij, a četvrto slovo oznaka je porijekla aluminijske legure. Oznaka od četiri slova naziva se predznakom, a nakon nje slijedi skupina brojeva koja se odnosi na kemijski sastav, od predznaka se odvaja crtom (Tubić, 2019.). U tablici 3. prikazani su predznaci aluminijskih legura.

Tablica 3. Predznaci aluminijskih legura prema porijeklu (Tubić, 2019.)

GRUPA	NAZIV	PREDZNAK
Čisti aluminij	Rein metall	ER AR
Aluminij za pretaljivanje	Block metall	EN AB
Predlegura	Master alloy	EN AM
Legure za lijevanje	Casting alloy	EN AC
Legure za gnječenje	Wrought alloy	EN AW

4. OBRADA ALUMINIJA I AL-LEGURA

4. 1. Strojna obrada aluminija i Al-legura

Aluminij i Al-legure su materijal koji se obrađuje svim vrstama strojnih obrada – tokarenje, glodanje, bušenje, brušenje, itd. Na slikama 7., 8., 9. i 10. prikazani su primjeri strojnih obrada aluminija (tokarenja, glodanja, bušenja i brušenja).



Slika 7. Tokarenje aluminijskog cilindra (<http://lesmillerdesigns.com/machining.html>)



Slika 8. Glodanje aluminijskog klipa motora SUS
(<https://www.nc-fertigung.de/besser-fraesen-in-aluminium>)

Pri tokarenju i glodanju aluminija i Al-legura, uz pravilan izbor alatanih materijala, ne pojavljuju se izraženiji problemi, budući da je riječ o materijalima koji su mekši od čelika.



Slika 9. Bušenje rupa za pričvrstne vijke aluminijske glave motora
(<http://www.usinagealuminium.com/ANGLAIS/index.php?id=2>)



Slika 10. Ravno brušenje aluminijskih ploča
(<https://www.clintonaluminum.com/grinding-aluminum-sheets-and-plates/>)

Prilikom bušenja i brušenja aluminija i Al-legura mogu se pojaviti određeni tehnološki problemi upravo zbog male tvrdoće takvih materijala. Stoga je pri izvođenju bušenja potrebno točno pozicioniranje i dobro učvršćenje proizvoda. Kod brušenja nastaju problemi zbog brzog popunjavanja šupljina u brusnom sredstvu mekanim materijalom proizvoda, pa je potrebno kontinuirano praćenje procesa obrade i čišćenje brusnog alata.

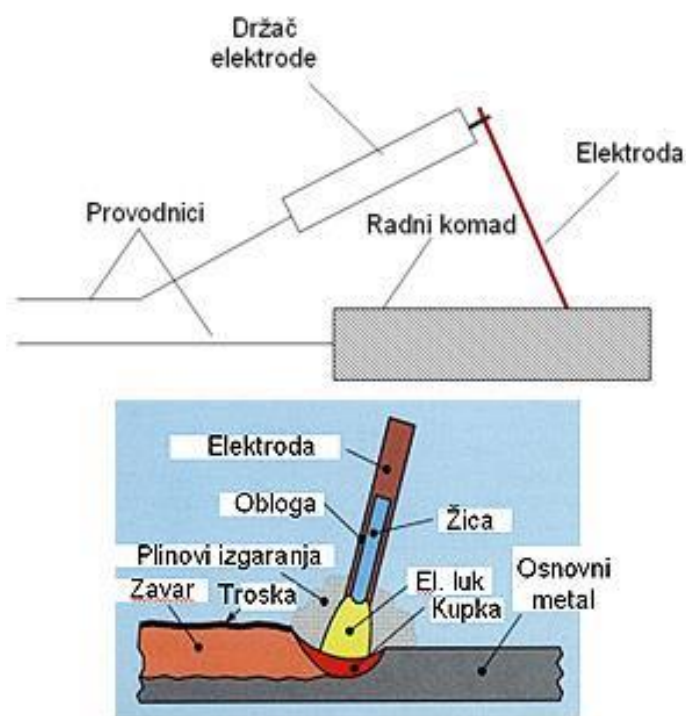
4. 2. Zavarivanje aluminija i Al-legura

U idealnom slučaju zavarivanje, odnosno cjelovit spoj koji obuhvaća materijal za zavarivanje, zonu utjecaja topline i susjedni osnovni materijal, trebali bi imati ista svojstva kao i osnovni materijal. No, postoji nekoliko problema vezanih sa zavarivanjem aluminija i njegovih legura, poput: poroznosti, oksidnog sloja, toplih pukotina, smanjenja čvrstoća u

zavaru i zoni utjecaja topline, nedostatak spajanja, smanjenja otpornost na koroziju, smanjenja električna otpornost (Šorman, 2018.).

U zavarivanju aluminija i aluminijskih legura primjenjuje se više tehnika:

- (1) Plinsko zavarivanje s reducirajućim plamenom jedan je od postupaka zavarivanja aluminija i aluminijskih legura, a izvodi se s viškom acetilena, kako plamen ne bi bio oksidirajući. Koriste se topitelji u obliku praška i paste – kloridi i fluoridi alkalnih metala, kako bi se kemijski vezao i odstranio aluminijev oksid. Ostaci topitelja nakon zavarivanja se trebaju odstraniti, jer, ukoliko ostanu na materijalu, uzrokuju koroziju (https://www.sfsb.hr/kth/zavar/tii/al_lg.pdf).
- (2) Ručno elektrolučno (REL) zavarivanje koristi elektrode s oblogom, sličnoj topitelju oksida kod plinskog zavarivanja.

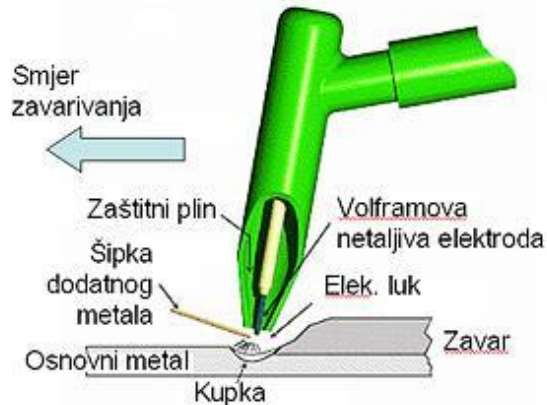


Slika 11. Shema REL zavarivanja (<https://www.zavarivanje.info/cd/11940/zavarivanje-moderni-postupci-mig-mag-tig-rel-autogeno>)

- (3) TIG zavarivanje koristi efekt razbijanja oksidne kožice, pomicanjem katodne mrlje, mjesta izlaska elektrona. Tako se radni komad priključuje na negativan pol izvora istosmjerne struje – na katodu, a W elektroda se priključuje na plus pol, koji jače zagrijava W elektrodu. Kako se W elektroda ne bi grijala, koristi se izmjenična struja, pa se efekt čišćenja oksida dešava, kada je zavar-radni komad negativan, a elektroda pozitivna. TIG se koristi za tanke limove i predmete do 6 mm.

TIG postupak zavarivanja koristi DCEN elektrodu – istosmjernu struju na negativnoj elektrodi, koje, ako se koristi kod aluminija, može dovesti do slabe kvalitete zavara. (Šorman, 2018.)

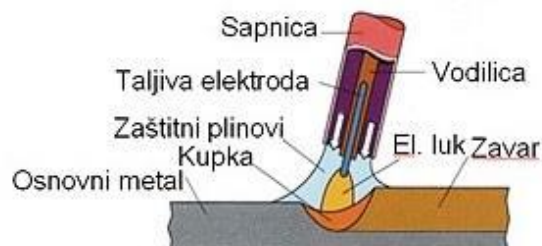
Osnovna oprema za TIG zavarivanje se sastoji od: izvora energije, pištolja za zavarivanje, sustava za odvod zaštitnog plina, dodatnog materijala i u određenim slučajevima rashladnog sustava (Čanadić, 2017.)



Slika 12. Shema TIG zavarivanja (<https://www.zavarivanje.info/cd/11940/zavarivanje-moderni-postupci-mig-mag-tig-rel-autogeno>)

- (4) MIG zavarivanje koristi se za deblje materijale, preko 6 mm. TIG metoda ima manju penetraciju u osnovni materijal nego MIG, stoga se ponekad javljaju teškoće pri zavarivanju kutova i korijena zbog nedovoljne penetracije u metal. Isto tako, TIG ima nižu brzinu zavarivanja i niži depozit materijala od MIG zavarivanja, zbog čega u određenim situacijama nije isplativ (Čanadić, 2017.)

MIG postupak zavarivanja je elektrolučni zavarivački postupak s kontinuiranom dobavom žice koja je i dodatni materijal i elektroda, te su električni luk i talina zaštićeni od atmosfere zaštitnim plinom. Prednost ovog postupka je visoka brzina zavarivanja, male zone utjecaja topline za razliku od TIG postupka, odlično uklanjanje oksidnog filma i mogućnost zavarivanja u svim pozicijama. Upravo zbog toga, MIG zavarivanje je najrašireniji postupak za spajanje aluminija (Satinović, 2015.).



Slika 13. Shema MIG zavarivanja (<https://www.zavarivanje.info/cd/11940/zavarivanje-moderni-postupci-mig-mag-tig-rel-autogeno>)

- (5) Hladno zavarivanje je efikasno za sučeono zavarivanje debelih presjeka. Pritiskom se ostvaruju velike sile na sučeljenim površinama, javljaju se trajne deformacije, oksidna kožica puca i čisti Al materijal se spaja (https://www.sfsb.hr/kth/zavar/tii/al_lg.pdf).
- (6) Elektrootporno zavarivanje zbog dobre vodljivosti električne struje i topline treba provoditi s velikim jakostima struje, do 100kA i kratkim vremenima za točkasto zavarivanje. Teškoće se mogu očekivati zbog sloja Al- oksida, koji djeluju kao izolator (https://www.sfsb.hr/kth/zavar/tii/al_lg.pdf).

Osim navedenih postupaka, koriste se i druge tehnike spajanja:

1. Spajanje difuzijom,
2. Kondenzatorsko s pražnjenjem,
3. Ultrazvukom,
4. Trenjem,
5. Snopom elektrona,
6. Eksplozijom
7. Plazmom,
8. Pod troskom,
9. Pod prahom,
10. Ljevačko
11. Lemljenje i
12. Lijepljenje (https://www.sfsb.hr/kth/zavar/tii/al_lg.pdf).

Najviše se koriste TIG i MIG postupci, a za oba postupka se preporučuje rad s impulsnim strujama, pomoću kojih se upravlja prijelazom kapljica u luku i ostvaruje se kvalitetniji spoj. Postupci zavarivanja pritiskom su: hladno, trenjem, ultrazvukom i eksplozijom (https://www.sfsb.hr/kth/zavar/tii/al_lg.pdf).

4. 2. 1. Utjecaji na zavarljivost

Aluminij i aluminijske legure imaju određena specifična svojstva koja utječu na njihovu zavarljivost (https://www.sfsb.hr/kth/zavar/tii/al_lg.pdf):

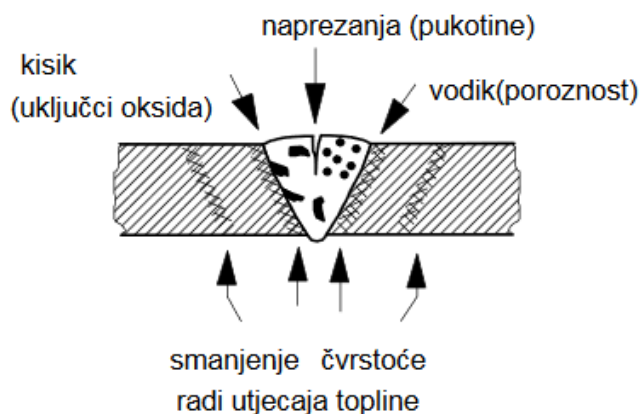
- (1) Al₂O₃ prirodna oksidna kožica na hladnom materijalu je debljine oko 0,01 mm i daje dobru kemijsku otpornost. Aluminij oksid ima visoku temperaturu taljenja i čini teškoće pri zavarivanju. Sam Al₂O₃ je bezbojan i tvrd, a u prirodi se javlja obojen od prisustva drugih metala i u malim količinama. Kao troska, teška je 3.2 gcm⁻³ i ulazi u talinu. Pri visokim temperaturama toplinske obrade ili zavarivanja krutog ili rastaljenog

aluminija, stvara se na površini deblji sloj oksida, pa se ne može dobiti homogen zavareni ili lemljeni spoj.

- (2) Dobra toplinska vodljivost – za čisti aluminij iznosi $240 \text{ Wm}^{-1} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$, a za aluminijske legure između 117 i $155 \text{ Wm}^{-1} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$ stoga su za zavarivanje potrebni snažni koncentrirani tokovi energije i visoki toplinski input, unatoč niskoj temperaturi tališta.
- (3) Jaka električna vodljivost – zahtijeva veliku jakost struje i kratko vrijeme elektrootpornog zavarivanja.
- (4) Veliki koeficijent toplinskog istezanja uzrokuje veća stezanja i deformacije pri hlađenju, stoga je moguć nastanak pukotina zbog jakog stezanja.
- (5) Rastvorljivost vodika u rastaljenom materijalu je velika. Pri kristalizaciji, zbog naglog pada rastvorljivosti, oslobađaju se mjehurići vodika, koji mogu uzrokovati poroznost.
- (6) Pri zagrijavanju se ne mijenja boja kao kod čelika, stoga se ne može procijeniti temperatura na temelju boje pri zagrijavanju do tališta, što dovodi do teškoća kod zavarivanja i lemljenja.
- (7) Sklonost vrućim i hladnim pukotinama ovisi o kemijskom sastavu i uvjetima zavarivanja.
- (8) Omekšanje na mjestu zavarenog spoja – hladnom deformacijom aluminijski materijali postaju čvršći. Na mjestu zavarenog spoja zbog ljevačke strukture čvrstoća je manja.

4. 2. 2. Greške pri zavarivanju aluminija i aluminijskih legura

Slika 14. prikazuje najčešće greške zavarenog spoja pri zavarivanju aluminijskih legura.

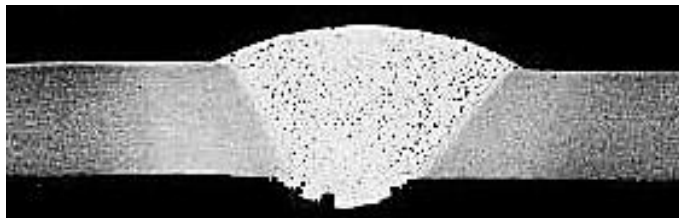


Slika 14. Najčešće greške zavarenog spoja pri zavarivanju aluminijskih materijala

(https://www.sfsb.hr/kth/zavar/tii/al_lg.pdf)

- (1) Pozornost je problem vezan za metal zavara, a potječe od mjehurića plina otopljenog u rastaljenom metalu, koji, kako se metal hladi i skrućuje, ostaju zarobljeni unutar

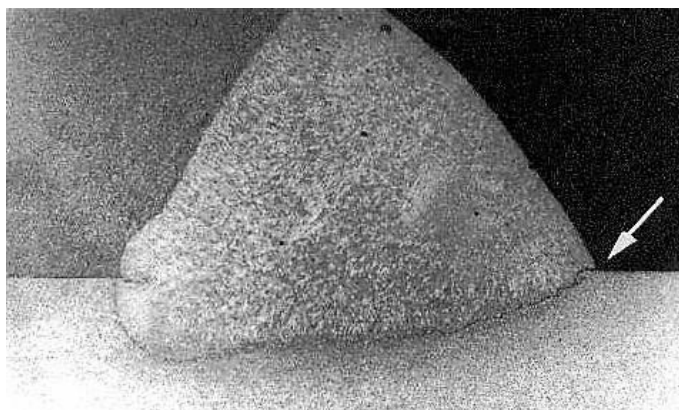
metala. Poroznost može varirati od vrlo sitnih pora do pora od 3-4 mm u promjeru. Kod aluminija, glavni krivac za poroznost je vodik, zbog svoje visoke topivosti u rastaljenom aluminiju, ali i zbog vrlo niske topivosti u krutini aluminija. Zbog toga se smatra kako je poroznost gotovo neizbježna kod zavarivanja aluminija (Satinović, 2015.).



Slika 15. Fino raspršena poroznost u zavaru (Satinović, 2015.)

- (2) Uklanjanje oksidnog sloja tijekom zavarivanja je važno zbog smanjenja rizika od poroznosti, ali isto tako, potrebno je uklanjanje sloja oksida tijekom zavarivanja kako bi se izbjegli defekti poput lijepljenja i zatvaranja oksidnog sloja unutar zavara (Satinović, 2015).

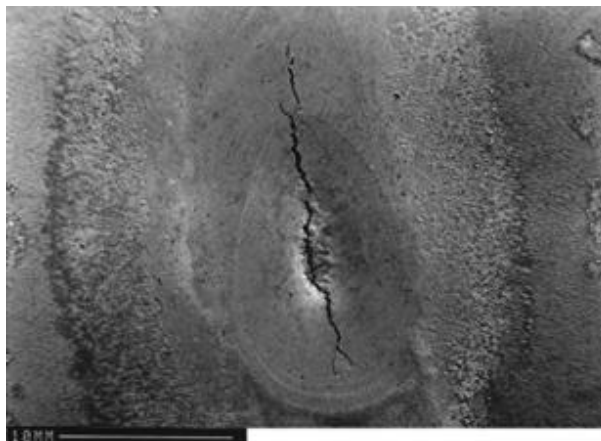
Oksidni sloj je izuzetno teško ukloniti zavarivačkim postupcima koji koriste prašak ili obloženu elektrodu, jer moraju biti vrlo agresivni da bi ga uklonili (Šorman, 2018.).



Slika 16. Oksidni sloj unutar zavara (Satinović, 2015.)

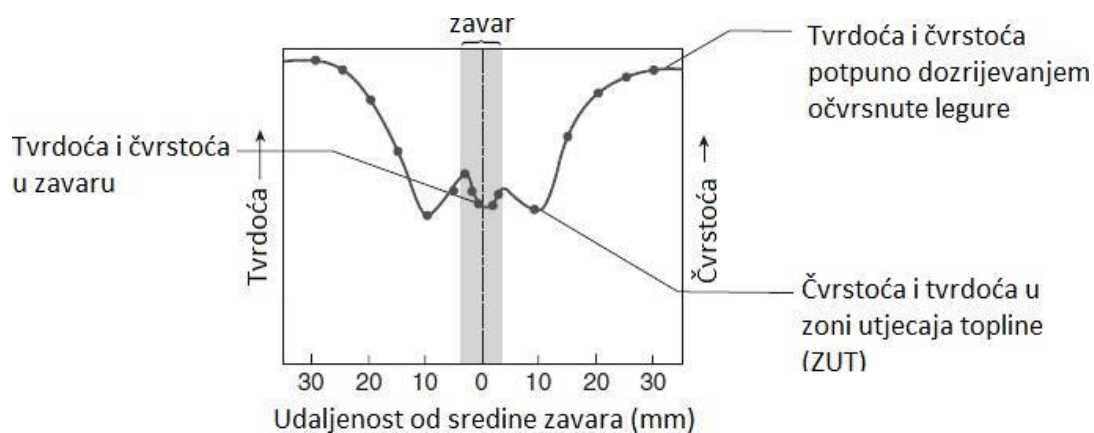
- (3) Tople pukotine ne nastaju u čistim metalima, nego u određenim legurama. Osnovni mehanizam nastajanja funkcija je načina na koji metalna legura skrućuje tijekom hlađenja. Ako dolazi do nastajanja toplih pukotina potrebno je primijeniti sljedeće metode: smanjenje veličine zrna, kontrola sastava taline zavara, odgovarajuća priprema spoja i razmak između komada, upotreba najviše brzine zavarivanja, upotreba više prolaza manjeg volumena, odabir zavarivačkih i montažnih sekvenci, upotreba vanjske

sile i odabir dodatnog materijala s točkom taljenja koja je blizu točki taljenja osnovnog metala (Satinović, 2015.).



Slika 17. Tople pukotine zavora (Satinović, 2015.)

- (4) Gubitak čvrstoće uslijed zavarivanja nastaje zbog toga što se prilikom zavarivanja komponente koje se zavaruju zagrijavaju na visoku temperaturu (iznad temperature taljenja) kako bi se omogućilo spajanje komponenti. Toplina unesena u metal prilikom zavarivanja stvara tri različite zone – zonu zavora u sredini spoja, zonu utjecaja topline (ZUT) u osnovnom metalu i nepromijenjeni osnovni metal. Pošto će ZUT biti podvrgnuta jednom ili više ciklusa grijanja i hlađenja njena svojstva mogu biti radikalno drugačija od onih u osnovnom metalu. To je pogotovo slučaj kod aluminijskih legura koje su očvrsnute hladnom deformacijom ili precipitacijskim očvršćenjem. Jedan od aspekata toga je širina zone utjecaja topline, funkcija visoke toplinske provodljivosti aluminijske te posljedične veličine područja u kojem je došlo do gubitka čvrstoće (Satinović, 2015.).



Slika 18. Ovisnost čvrstoće i tvrdoće o udaljenosti od sredine zavora kod Al-legure (Satinović, 2015.)

5. PRIMJENA ALUMINIJA I AL-LEGURA U POLJOPRIVREDI

U poljoprivrednoj tehnici, aluminijske legure se koriste zbog dobrog antikoroziivnog svojstva, čvrstoće i izdržljivosti. Neki od dijelova poljoprivredne tehnike su visokotlačna crpka, hladnjaci rashladne tekućine, klipovi, klipnjače (Čanadić, 2017.).

5. 1. Primjena u izradi dijelova poljoprivrednih strojeva

Na poljoprivrednim strojevima, aluminijska legura se primjenjuje kod kućišta visokotlačnih crpki, crpki za hidrauliku, klipove motora, hladnjake rashladne tekućine, transmisije kod jednoosovinskih traktora, kućišta elektropokretača i alternatora i dr. (Čanadić, 2017.).

Kućište visokotlačne crpke se izrađuje od lijevane aluminijske legure pod tlakom, zbog manje mase i visoke obradivosti do završenog proizvoda, kao što se vidi na slici 19.



Slika 19. Kućište visokotlačne crpke za napajanje gorivom traktora Massey Ferguson
(<http://www.mholdingsuk.com/products.php?companyid=1&categoryid=12>)

Klipovi motora poljoprivrednih strojeva izrađuju se od legiranog aluminijskog s legiranim elementima poput bakra, nikla i magnezija. Slika 20. prikazuje primjer klipova motora traktora John Deere.



Slika 20. Aluminijski klipovi motora traktora John Deere
(<https://www.murphysmotorservice.com/JDApistons2.jpg>)

Hladnjaci motora kod poljoprivrednih traktora izrađuju se od aluminijske legure, jer im je masa manja i bolje odvede toplinu nastalu u rashladnoj tekućini. Primjer aluminijskog hladnjaka traktora John Deere prikazan je na slici 21.



Slika 21. Aluminijski hladnjak traktora (<https://www.ebay.com/itm/Aluminum-Radiator-for-John-Deere-Model-3020-Gas-Diesel-Tractor-AR46016-Ez-/254159210956>)

Kućišta reduktora poljoprivrednih strojeva se izrađuju od aluminijske legure, tehnikom lijevanja, kao što se vidi na slici 22.



Slika 22. Kućište reduktora

(http://i01.i.aliimg.com/photo/v1/1661554439/NMRV_worm_speed_reducer_aluminium_agriculture_gearbox.jpg)

Prijenosne crpke za navodnjavanje u poljoprivredi, naročito u povrćarstvu i voćarstvu, izrađuju se s kućištem od lijevanih Al-legura, zbog lakše manipulacije tijekom rada. Primjer takve crpke prikazan je na slici 23.



Slika 23. Crpka za navodnjavanje s aluminijskim kućištem

(<http://www.agriculture-farmmachinery.com/sale-11324684-lightweight-mini-gasoline-water-pump-self-priming-aluminium-alloy-body-material.html>)

5. 2. Ostali primjeri primjene

Konstruktivski zaštićeni prostori mogu biti vrlo jednostavni, ali i vrlo kompleksni. Konstrukcija ovisi o tipu zaštićenog prostora i njegovoj veličini, a materijal koji se koristi za konstrukciju većinom je metal, a rjeđe drvo (Kantoci, 2014.).

Aluminij se koristi zbog svoje otpornosti prema koroziji te lakše montaže zbog male mase. Slika 24. Prikazuje primjer plastenika koji je izrađen s aluminijском konstrukcijom.



Slika 24. Plastenik s aluminijском konstrukcijom (https://www.okorder.com/p/thermal-screen-hdpe-with-aluminium-for-energy-saving_588502.html)

Zbog male mase aluminij se koristi kod različitih dijelova opreme u poljoprivredi, koja je većih gabarita, a mora osigurati sigurno pozicioniranje i funkcioniranje određenih radnih sustava, kao što je slučaj kod prskalice širokog zahvata, prikazan na slici 25.



Slika 25. Aluminijske grane prskalice u zaštiti bilja (<https://www.stahly.com/aluminum-booms.php>)

Zbog svojih antikoroziivnih svojstava i male mase, aluminij je pogodan za izradu različitih tipova spremnika za tekućine, kao što su primjeri na slikama 26. i 27.



Slika 26. Cisterna za vodu od aluminija

(<https://www.farmmachinerysales.com.au/items/details/2020-new-aluminium-water-tank-13-0001/SSE-AD-6376071/?Cr=0>)



Slika 27. Aluminijske posuda za mlijeko

(<https://jiji.co.ke/nairobi-central/farm-machinery-equipment/milkcan-milk-jerrycan-50litre-aluminium-can-u5PnmSN6DKcnIM62zUekMqqL.html>)

6. ZAKLJUČAK

S obzirom na povoljna svojstva aluminijske legure – mala gustoća, toplinska otpornost, otpornost na koroziju i sigurna primjena (nema otrovna svojstva), aluminij i aluminijske legure postaju sve upotrebljiviji metal za proizvodnju različitih proizvoda u suvremenom dobu.

Tehnološka svojstva aluminijske legure, obradivost rezanjem i plastična oblikovljivost, omogućuju izradu različitih poluproizvoda (ploče, trake, limovi, šipke, profili, itd.) te gotovih proizvoda koji se primjenjuju u različitim područjima industrije – građevinarstvu, transportu, pakiranju, poljoprivrednoj industriji i dr.

Aluminij i aluminijske legure imaju dobro svojstvo zavarljivosti, što je iznimno bitno zbog mogućnosti izrade različitih proizvoda. Postoje mnoge tehnike zavarivanja, no one koje se najčešće upotrebljavaju su MIG i TIG tehnika zavarivanja.

Pri tome, treba naglasiti da se prilikom zavarivanja aluminijskih legura mogu pojaviti određeni problemi, pa je stoga bitno da postupak zavarivanja obavljaju osobe koje su stručno osposobljene za takve poslove.

U poljoprivrednoj industriji aluminij i aluminijske legure primjenjuju se u izradi dijelova poljoprivrednih strojeva (dijelova motora, reduktora, crpki, hladnjaka, itd.), kao i u izradi drugih proizvoda koji se koriste u poljoprivredi (nosive konstrukcije plastenika i staklenika, konstrukcije poljoprivredne opreme, spremnici tekućih tvari, itd.).

7. POPIS LITERATURE

1. Benković, T. (2017.): Elektrokemijska oksidacija aluminijske legure. Diplomski rad, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb.
2. Čanadić, R. (2017.): Svojstva i primjena aluminijskih legura pri izradi dijelova poljoprivredne tehnike. Završni rad, Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Poljoprivredni fakultet u Osijeku.
3. Čović, L. (2019.): Ispitivanje inhibicijskog djelovanja 1,8-cineola na koroziju aluminijske legure. Završni rad, Veleučilište u Karlovcu, Odjel prehrambene tehnologije, Karlovac.
4. Golubić, S. (2019.): Tehnički materijali. Veleučilište u Bjelovaru, Bjelovar.
5. Hrvatska tehnička enciklopedija: Površinska obrada metala odvajanjem čestica. https://tehnika.lzmk.hr/tehnickaenciklopedija/povrsinska_obradba_metala_odvajanje_m_cestica.pdf (8.8.2020)
6. Kantoci, D. (2014.): Zaštićeni prostor (plastenici/staklenici). Glasnik Zaštite Bilja, 37 (5): 6-8.
7. Parađiković, N.: Osnovni uvjeti za izgradnju zaštićenih prostora. <http://www.fazos.unios.hr/upload/documents/Za%20c5%20a1ti%20c4%2087eni%20prostori-plastenici%20i%20staklenici.pdf> (9.8.2020)
8. Satinović, A. (2015.): Utjecaj unosa topline na čvrstoću zavarenog spoja aluminijske legure serije 6000. Diplomski rad, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb.
9. Skejić, D., Boko, I., Torić, N. (2015.): Aluminij kao materijal za suvremene konstrukcije. Građevinar, 67 (11): 1075-1085.
10. Šorman, M. (2018.): Zavarivanje aluminijske legure. Završni rad. Veleučilište u Karlovcu, Proizvodno strojarstvo, Karlovac,
11. Tubić, B. (2019.): Utjecaj tehnološke obrade taline na razvoj mikrostrukture i mehaničkih svojstava Al-Si 12 legure. Diplomski rad. Sveučilište u Zagrebu, Metalurški fakultet, Sisak.
12. Vručinić, G. (2008.): Zavarivanje i zavarljivost aluminijske legure. <http://www.dtzi.hr/upload/pdf/5.%20SEMINAR/1.%20RAD.pdf> (7. 8. 2020)

13. <http://en.zapackaging.com/packing-use-aluminum-cans-for-food-canning-2/> (8. 8. 2020)
14. http://i01.i.aliimg.com/photo/v1/1661554439/NMRV_worm_speed_reducer_aluminium_agri%20culture_gearbox.jpg (10. 8. 2020)
15. <http://lesmillerdesigns.com/machining.html> (7. 8. 2020)
16. <http://www.agriculture-farmmachinery.com/sale-11324684-lightweight-mini-gasoline-water-pump-self-priming-aluminium-alloy-bodi-material.html> (12. 8. 2020)
17. <http://www.mholdingsuk.com/products.php?companyid=1&categoryid=12> (7. 8. 2020)
18. <http://www.usinagealuminium.com/ANGLAIS/index.php?id=2> (10. 8. 2020)
19. <https://aluminiumtoday.com/news/can-recycling-at-74> (9. 8. 2020)
20. <https://jiji.co.ke/nairobi-central/farm-machinery-equipment/milkcan-milk-jerrycan-50litre-aluminium-can-u5PnmSN6DKcnIM62zUekMqqL.html> (15. 8. 2020)
21. <https://www.aluminiumleader.com/application/construction/> (14. 8. 2020)
22. <https://www.clintonaluminum.com/grinding-aluminum-sheets-and-plates/> (7. 8. 2020)
23. <https://www.ebay.com/itm/Aluminum-Radiator-for-John-Deere-Model-3020-Gas-Diesel-Tractor-AR46016-Ez-/254159210956> (11. 8. 2020)
24. <https://www.farmmachinerysales.com.au/items/details/2020-new-aluminium-water-tank-13-000l/SSE-AD-6376071/?Cr=0> (16. 8. 2020)
25. <https://www.hnkyl.com/media/aluminum-application-aircraft-aerospace-2410> (9. 8. 2020)
26. <https://www.murphysmotorservice.com/JDApistons2.jpg> (10. 8. 2020)
27. <https://www.nc-fertigung.de/besser-fraesen-in-aluminium> (7. 8. 2020)
28. https://www.okorder.com/p/thermal-screen-hdpe-with-aluminium-for-energy-saving_588502.html (17. 8. 2020)
29. <https://www.postmyhub.com/what-are-the-advantages-of-aluminium-car-body/> (11. 8. 2020)
30. https://www.sfsb.hr/kth/zavar/tii/al_lg.pdf (7.8.2020) (7. 8. 2020)
31. <https://www.stahly.com/aluminum-booms.php> (17. 8. 2020)
32. <https://www.zavarivanje.info/cd/11940/zavarivanje-moderni-postupci-mig-mag-tig-rel-autogeno> (7. 8. 2020)