

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: **2024-05-13***



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, aluminijске 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 očvrsnućem. 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 aluminijске 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, silicia, 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 / Aluminijска legura	Čelik
Talište	660 °C	1425 – 1540 °C
Gustoća pri 20 °C	2700 kg/m ³	7850 kg/m ³
Toplinsko izduljenje	$23 \times 10^{-6} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$	$12 \times 10^{-6} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$
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 aluminija ističe se visoka cijena proizvodnje, koji negativno utječe na odabir ovog metala za primjenu u konstrukcijama (Skejić i sur., 2015.).

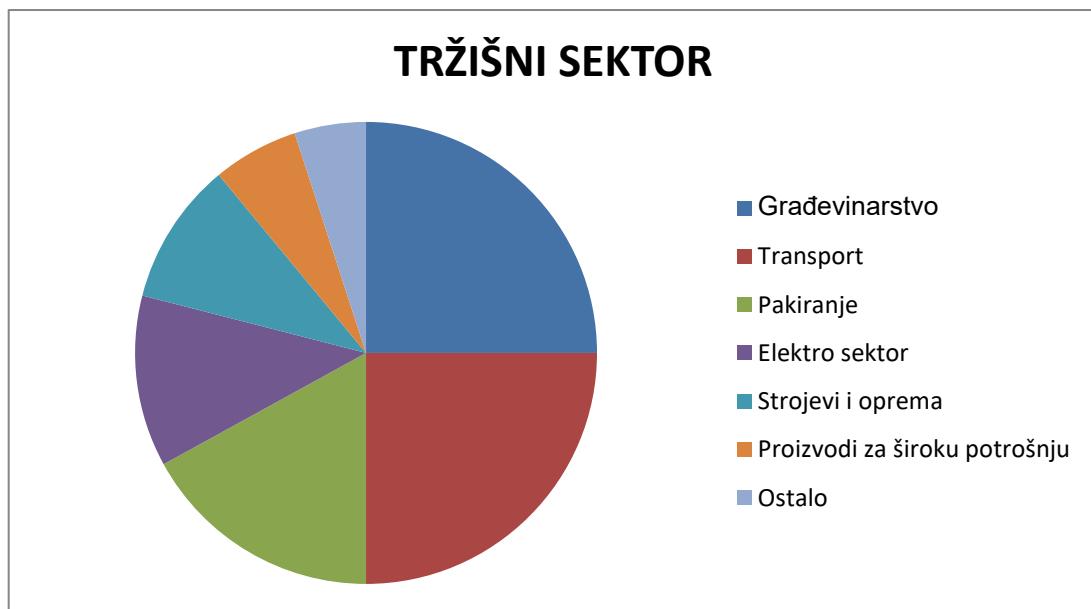
2.2. Proizvodnja aluminija

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

2.3. Primjena aluminija

Aluminij i aluminijске legure, koriste se kao valjani, prešani i lijevani materijali, poluproizvodi i proizvodi. Široko je područje primjene, pa se tako aluminij i aluminijске 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 aluminija 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 aluminijkska vrata, prozori, pokrovi te odvodi koji zahtijevaju minimalno održavanje, a dugotrajni su (Šorman, 2018.).

Prema Skejiću i sur. (2015.), konstrukcijske primjene, koje najbolje odgovaraju svojstvima aluminija 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 aluminija. Neke od njih predstavljaju remek djela arhitekture i posebne značajnosti 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 aluminijkske konstrukcije
(<https://www.aluminiumleader.com/application/construction/>)

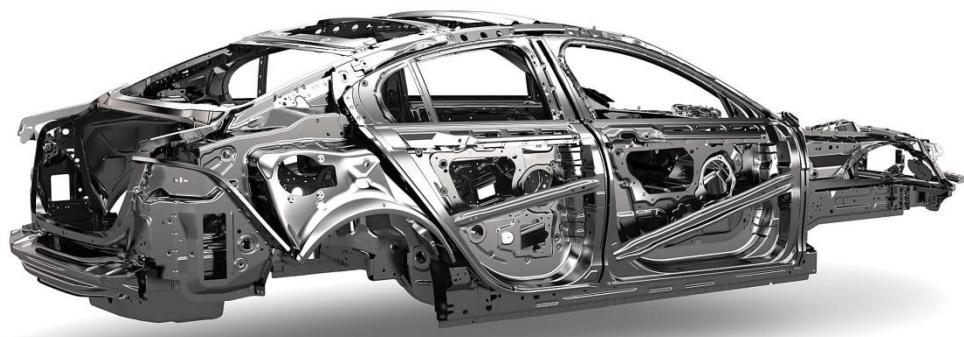
2. 3. 2. Transport

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.hnkyl.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 aluminijске vrećice, zatvaranje zavrtanjem i lako otvaranje, obogatili su ambalažnu industriju prehrambenih proizvoda (Šorman, 2018.).



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

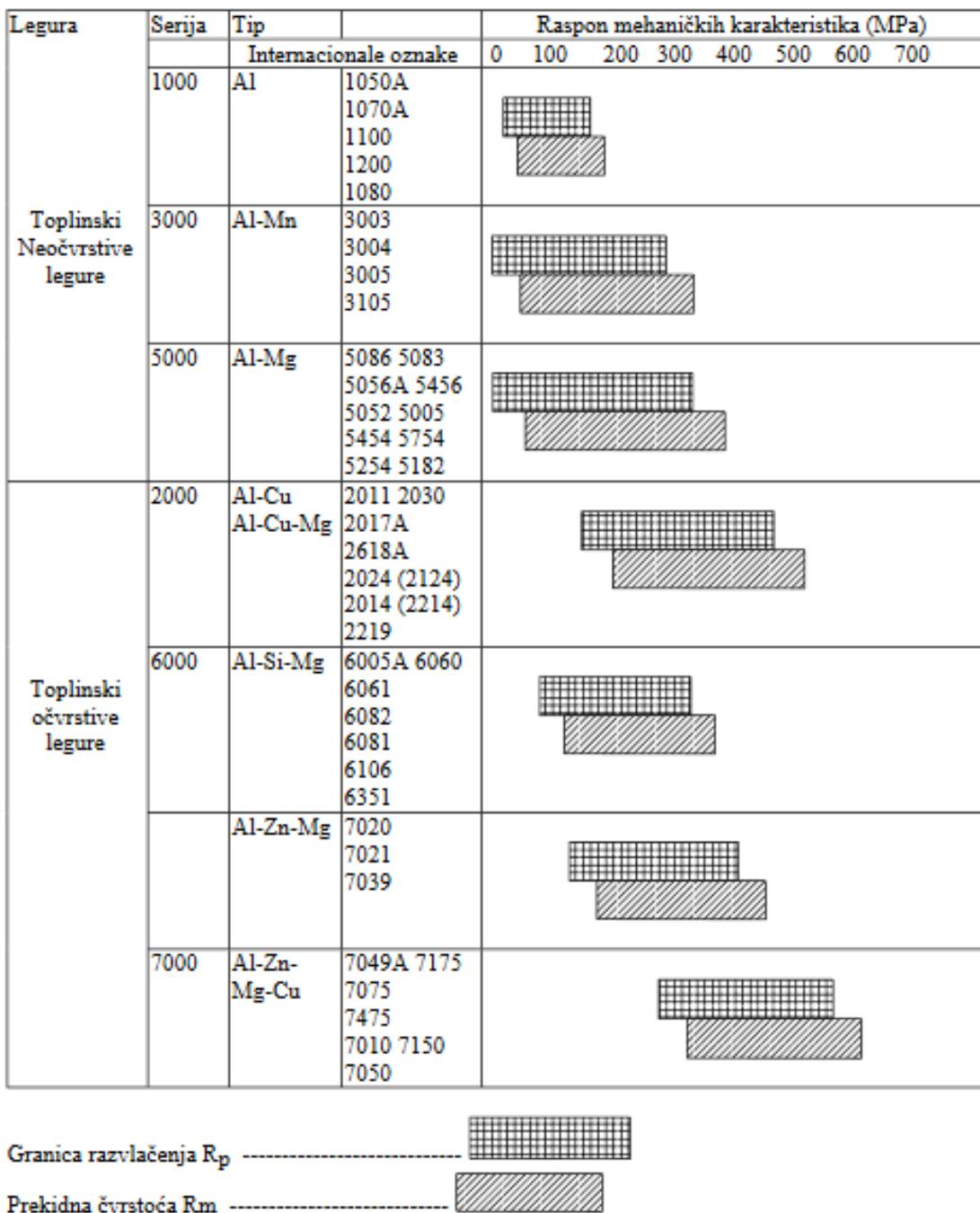
U prehrambenoj industriji, aluminij ima široku primjenu zbog mehaničkih svojstava. U tehnološkim procesima služi kao materijal od kojeg se izrađuju razni tipovi filtera, posuda za kuhanje, kondenzatora, fermentora, itd., dok za izradu ambalažnih materijala dolazi u oblicima limenki, tuba, poklopaca,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



Slika 5. Aluminijске 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.).



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 aluminija su dostupne u velikom rasponu čvrstoće, od jako duktilnih čistih aluminija 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 aluminija, 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:

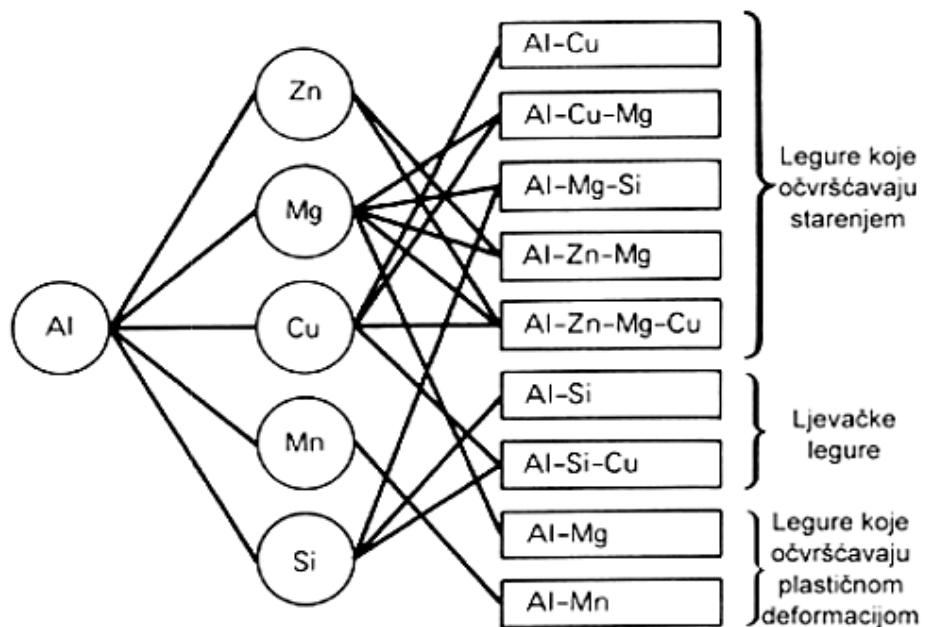
1. Aluminij – bakar (2xx)
2. Aluminij – silicij – bakar (3xx)
3. Aluminij – silicij (4xx)
4. Aluminij – silicij – magnezij (3xx)
5. Aluminij – magnezij (5xx)
6. Aluminij – cink – magnezij 7xx)
7. Aluminij – kositar (8xx).

3. 1. Podjela aluminijskih legura

Aluminijске 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 aluminija. 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 aluminija i Al-legura. 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 aluminijskih legura. 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 alata i materijala, ne pojavljuju se izraženiji problemi, budući da je riječ o materijalima koji su meksi od čelika.



Slika 9. Bušenje rupa za pričvrsne vijke aluminijске 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.

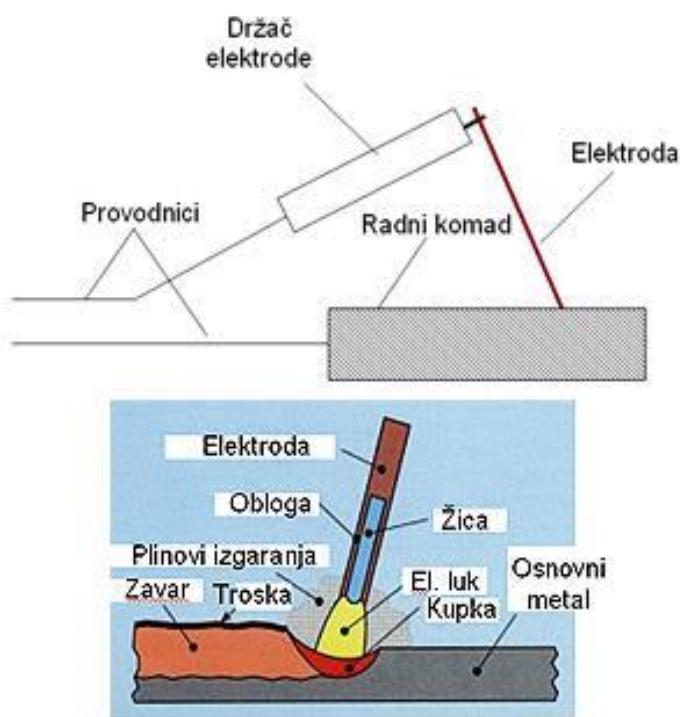
4. 2. Zavarivanje aluminija i Al-legura

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, topnih 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 obologom, sličnoj topitelju oksida kod plinskog zavarivanja.

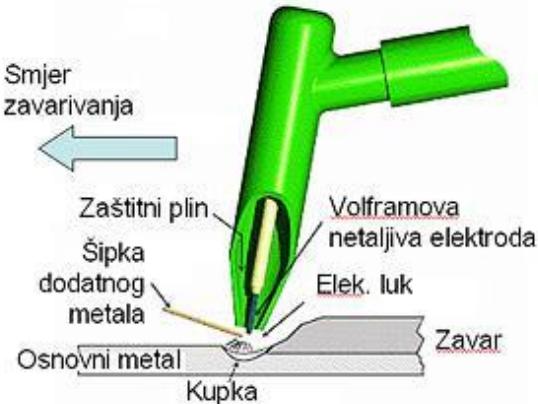


Slika 11. Shema REL zavarivanja (<https://www.zavarivanje.info/cd/11940/zavarivanje-moderni-postupci-mig-mag-tig-rel-autogeno>)

- (3) TIG zavarivanje koristi efekt razbijanja oksidne kožice, pomicanjem katodne mrlje, mjesto 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.)

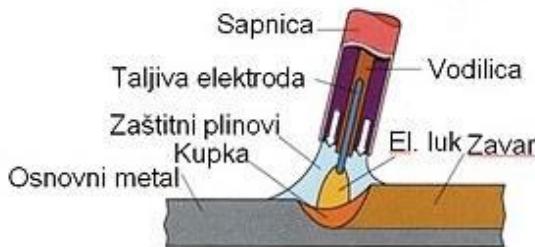
Osnovna oprema za TIG zavarivanje se sastoji od: izvora energije, pištolja za zavarivanje, sustava za odvod zaštitnog plina, dodatnog materijala i u određenim slučajevima rashladnog sustava (Čanadić, 2017.)



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

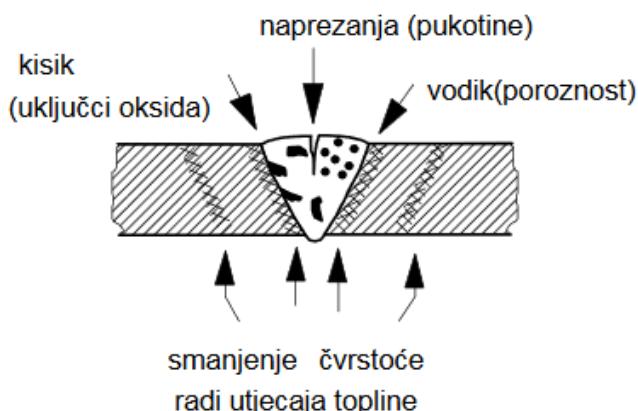
- (1) Al_2O_3 prirodna oksidna kožica na hladnom materijalu je debljine oko 0,01 mm i daje dobru kemijsku otpornost. Aluminij oksid ima visoku temperaturu taljenja i čini teškoće pri zavarivanju. Sam Al_2O_3 je bezbojan i tvrd, a u prirodi se javlja obojen od prisustva drugih metala i u malim količinama. Kao troska, teška je 3.2 g cm^{-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 aluminijске 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 rasteljenom 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 spola – 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.

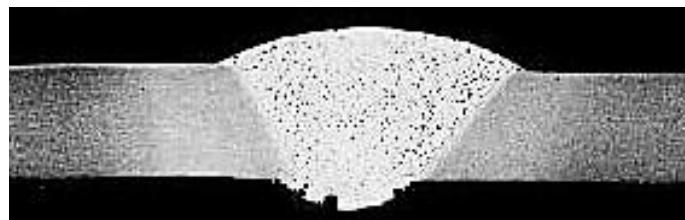


Slika 14. Najčešće greške zavarenog spoja pri zavarivanju aluminijskih materijala

(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 hlađi i skrućuje, ostaju zarobljeni unutar

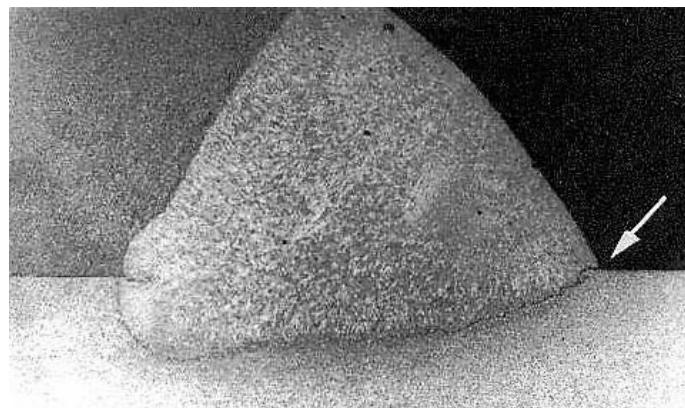
meta. Poroznost može varirati od vrlo sitnih pora do pora od 3-4 mm u promjeru. Kod aluminija, glavni krivac za poroznost je vodik, zbog svoje visoke topivosti u rastaljenom aluminiju, ali i zbog vrlo niske topivosti u krutini aluminija. Zbog toga se smatra kako je poroznost gotovo neizbjegna kod zavarivanja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

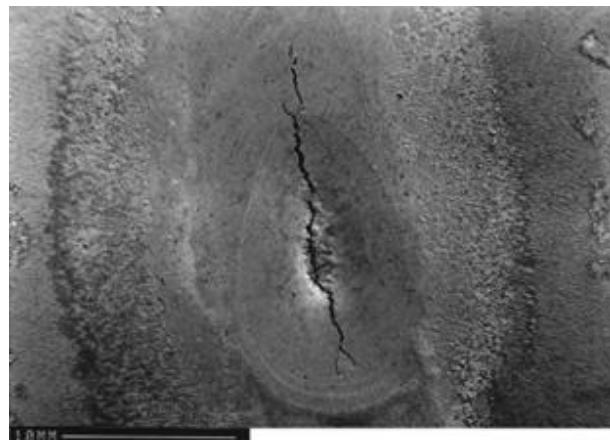
Oksidni sloj je izuzetno teško ukloniti zavarivačkim postupcima koji koriste prašak ili obloženu elektrodu, jer moraju biti vrlo agresivni da bi ga uklonili (Šorman, 2018.).



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

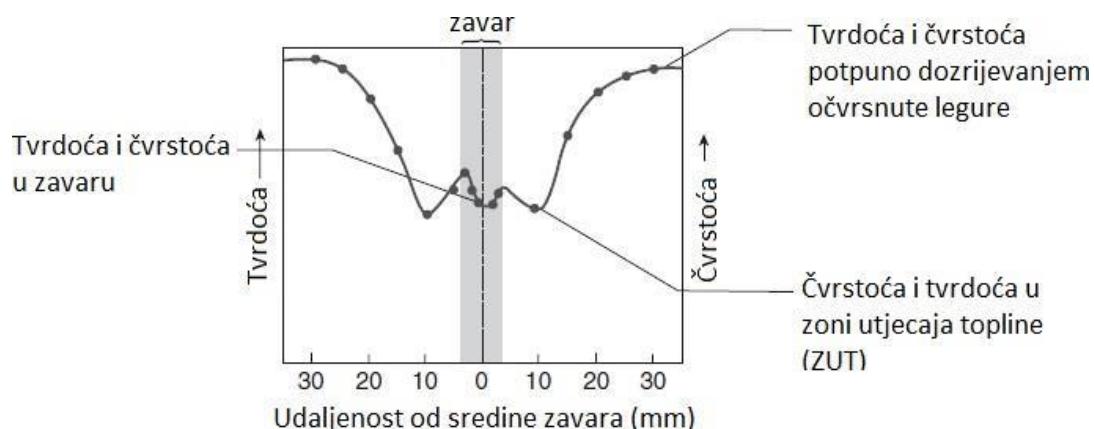
(3) Tople pukotine ne nastaju u čistim metalima, nego u određenim legurama. Osnovni mehanizam nastajanja funkcija je načina na koji metalna legura skruće tijekom hlađenja. Ako dolazi do nastajanja toplih pukotina potrebno je primijeniti sljedeće metode: smanjenje veličine zrna, kontrola sastava taline 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 zavara (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 zavara u sredini spoja, zonu utjecaja topline (ZUT) u osnovnom metalu i nepromijenjeni osnovni metal. Pošto će ZUT biti podvrgнутa 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 aluminija te posljedične veličine područja u kojem je došlo do gubitka čvrstoće (Satinović, 2015.).



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

5. PRIMJENA ALUMINIJA I AL-LEGURA U POLJOPRIVREDI

U poljoprivrednoj tehnici, aluminijске legure se koriste zbog dobrog antikorozivnog 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, aluminijска 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 aluminijске 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 aluminija s legirnim 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 aluminijске legure, jer im je masa manja i bolje odvode 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/item/Aluminum-Radiator-for-John-Deere-Model-3020-Gas-Diesel-Tractor-AR46016-Ez-/254159210956>)

Kućišta reduktora poljoprivrednih strojeva se izrađuju od aluminijске 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_agri%20culture_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-bodi-material.html>)

5. 2. Ostali primjeri primjene

Konstrukcijski 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 aluminijskom konstrukcijom.



Slika 24. Plastenik s aluminijskom 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. Aluminijске grane prskalica u zaštiti bilja
(<https://www.stahly.com/aluminum-booms.php>)

Zbog svojih antikorozivnih 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-13-000l/SSE-AD-6376071/?Cr=0>)



Slika 27. Aluminijiske posuda za mlijeko

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

6. ZAKLJUČAK

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

Tehnološka svojstva aluminija, 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 aluminijске 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 aluminijске 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 aluminija. 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 aluminija. 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_odvajjanjem_cestica.pdf (8.8.2020)
6. Kantoci, D. (2014.): Zaštićeni prostor (plastenici/staklenici). Glasnik Zaštite Bilja, 37 (5): 6-8.
7. Paradžiković, N.: Osnovni uvjeti za izgradnju zaštićenih prostora. <http://www.fazos.unios.hr/upload/documents/Za%cc5%a1ti%c4%87eni%20prostori-plastenici%20i%20staklenici.pdf> (9.8.2020)
8. Satinović, A. (2015): Utjecaj unosa topline na čvrstoću zavarenog spoja aluminijске 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 aluminija. 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 aluminija i legura. <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-alminium-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.comitm/Aluminum-Radiator-for-John-Deere-Model-3020-Gas-Diesel-Tractor-AR46016-Ez-/254159210956> (11. 8. 2020)
24. <https://www.farmmachineriesales.com.au/items/details/2020-new-aluminium-water-tank-13-000l/SSE-AD-6376071/?Cr=0> (16. 8. 2020)
25. <https://www.hnkyal.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)