



## ZAVARIVANJE I ZAVARLJIVOST ALUMINIJA I LEGURA

**Goran Vručinić, dipl.ing.**  
**ZIT- zavod za zavarivanje, ispitivanje i tehnologiju d.o.o**  
**Rakitnica 2**  
**10000 Zagreb**

**Sažetak:** *Aluminij i aluminijske legure (slitine) danas su zastupljene u svim industrijskim granama, zdravstvu, građevinarstvu . Dobra mehanička svojstva koja se mogu postići prirodnim starenjem ili toplinskom obradom čine ga široko upotrebljivim konstrukcijskim materijalom. Korozijska otpornost te relativno mala težina su karakteristike koje ga uz dobra mehanička svojstva čine prihvatljivim u brodogradnji, zrakoplovnoj industriji, svemirskoj industriji, vojnoj industriji. Dobra električka svojstva i manja težina iskorištena su u elektroindustriji za izradu aluminijskih oklopljenih sabirnica , dilatatora.*

*U radu su prikazane aluminijske legure , oznake , zavarljivost , te karakteristike osnovnih postupaka zavarivanja i pripadajuće opreme.*

**Ključne riječi:** aluminij, legure, zavarivanje, zavarljivost



## 1. UVOD

Aluminij je po prvi puta izložen na izložbi u Parizu 1855.g. . Danas se na našoj planeti troši godišnje oko 30 milijuna tona , podjednako u Europi, Aziji i Americi . Ako se 1866.g. može smatrati začetkom moderne aluminijske industrije, „zavarivački“ period je kraći i traje 50-tak godina razvojem i uvođenjem postupaka zavarivanja u zaštiti plina.

Slično nehrđajućem čeliku, aluminijski oksid prekriva površinu metala, što mu daje veliku otpornost na koroziju , te naknadna površinska zaštita u osnovi nije potrebna. Ukoliko se prevlaka ukloni, u doticaju sa kisikom iz zraka ona se reformira na tom mjestu . Kako Al oksid ima točku topljenja oko 2050 °C , a aluminij oko 658 °C , u postupku pripreme za zavarivanje, taj se oksid mora ukloniti sa mjesta spoja mehaničkim putem.

Razvijene su mnoge legure aluminija , gdje su osnovni legirni elementi :bakar, silicij, mangan, magnezij, cink , čineći time legure toplinski naknadno obradljivima ili neobradljivima , a u cilju postizanja što boljih mehaničkih svojstava. Toplinski neobradljive legure u tom slučaju poboljšavaju svojstva deformacijom tijekom preradbe (vučene, kovane, valjane – jednom riječju legure za gnječenje ).

Aluminij i aluminijske legure su uglavnom zavarljive , a tamo gdje imamo većih problema, koriste se za proizvode koji se ne spajaju zavarivanjem .

## 2. ALUMINIJSKE LEGURE (SLITINE)

Al	Cu	Mn	Si	Mg	Mg,Si	Zn	Drugo
<b>1xxx</b>	<b>2xxx</b>	<b>3xxx</b>	<b>4xxx</b>	<b>5xxx</b>	<b>6xxx</b>	<b>7xxx</b>	<b>8xxx</b>

Brojčane oznake metala-legirnog elementa su prema AA Aluminium Association ,koje se koriste u Americi, Kanadi, literaturi , a slovne oznake prema ISO .

**Toplinski neobradljive legure** ( nekaljive , za gnječenje )

Al	Mn	Mg	.....	legirni element
<b>1xxx</b>	<b>3xxx</b>	<b>5xxx</b>	.....	<b>oznaka legure</b>

**Toplinski obradljive legure** ( kaljive )

Cu	Si	Mg,Si	Zn
<b>2xxx</b>	<b>4xxx</b>	<b>6xxx</b>	<b>7xxx</b>

**Lijevane** – toplinski neobradljive :1xx.x(Al), 5xx.x(Mg), 8xx.x(Sn), 9xx.x(druge)  
toplinski obradljive : 2xx.x(Cu), 3xx.x(Si+Cu i/ili Mg), 4xx.x(Si), 7xx.x(Zn)

Toplinski neobradljive mogu se iz mekog (žarenog) stanja prevesti u polutvrdo ili tvrdo samo hladnom deformacijom .

Toplinski obradljive postižu povišene vrijednosti čvrstoće, tvrdoće toplinskom obradom.



### **SERIJA 1XXX (ALUMINIJ, 10XX > 99.00%Al ) Al 99.5 – Al99.8**

Spremnici u kemijskoj industriji, cjevovodi, električne sabirnice, folije ; lako se zavaruju sa 1100 (Al 99.5 ) i 4043 ( AlSi 5) dodatnim materijalom; najniža čvrstoća .

### **SERIJA 2XXX( BAKAR) AlCuMg, AlCuMgSi, AlCuSiMg, (Durali)**

Tipično sadrži 2 – 10% bakra ;optimalna svojstva postiže rastvornim žarenjem; Osigurava visoku čvrstoću; djelovi zrakoplova, zakovice, vijci ; slabija zavarljivost- osjetljivost na tople pukotine

općenito se zavaruju žicama serije 4xxx (4043 i 4145) ; iznimka su legure 2014(AlCuMg),2219 (AlCuMn),2319 koje se zavaruju sa 4043 ili

2319 . /**4043-ALSi5 ; 4145-ALSi10; 2319-ALCu/**

### **SERIJA 3XXX(MANGAN) AlMnCu, AlMnMg,**

Povisuje čvrstoću, ne ruši značajnije duktilnost i korozivnu otpornost – oko 20% veća čvrstoća od legure serije 1xxx ; mangan do max. 1.5% u aluminij ; ; kuhinjsko posuđe, radijatori, prikolice , toplinski izmjenjivači i cjevovodi ; zavaruju se žicama 4043 ili 5356 (AlMg5) serije; nisu osjetljive na tople pukotine. Toplinski neobradljiva legura srednje čvrstoće.

### **SERIJA 4XXXX(SILICIJ) – lijevovi i dodatni materijal !**

Snižava točku taljenja, bolja tecljivost metala – dodaje se do 12 % ;; Osnovna namjena za proizvodnju dodatnoga materijala (snižava temp.taljenja, daje žitkost) ; Sam silicij u aluminiju – toplinski neobradljiva legura ; u kombinaciji sa magnezijem toplinski obradljiva legura – precipitacijsko očvršćivanje ;kod lijevova je obavezan dodatak ; automobilska industrija - legura 4047, žice za zavarivanje ; dobra zavarljivost i lemljivost.

### **SERIJA 5XXX(MAGNEZIJ) AlMg , AlMgMn**

Najviša čvrstoća od topl.neobradljivih legura; tankovi za kemikalije, posude pod tlakom, konstrukcije,vagoni,mostovi,

Damperi , limovi i ploče ; Odlična zavarljivost. 0.8%Mg povisuje čvrstoću kao 1.25%Mn , a može se i dodati u značajnijem iznosu ;

### **SERIJA 6XXXX(SILICIJ I MAGNEZIJ) AlSiMg, AlMgSi, AlMgSiCu**

Tvori spoj Mg2Si , što osigurava toplinsku obradljivost legure ; Automobilska ind., cjevovodi, rešetke, konstrukcije, ekstrudirani proizvodi . Najčešće se koristi žica za zavarivanje 4043, može i 5xxx serija; mala sklonost toplim pukotinama .

### **SERIJA 7XXX(CINK) AlZnMg, AlZnMgCu**

Dodaje se leguri Al+Mg+Cu u iznosu 1 – 8% – toplinski obradljiva najčvršća legura; zrakoplovna industrija; Zavarljivost ponekad loša kada je bakar značajnije zastupljen u leguri. Legure 7005 zavarljive sa dodatnim materijalom 5xxx – okviri za bicikle.

## **OZNAKA STANJA**

**STRAIN HARDENING** – očvršćavanje deformacijom 1xxx , 3xxx, 4xxx , 5xxx

**HEAT TREATABLE** – 2xxx , 6xxx , 7xxx / lijevane legure : 2xx.x , 3xx.x, 4xx.x , 7xx.x ( očvršćavanje deformacijom se ne primjenjuje na lijevove )



#### OSNOVNE OZNAKE STANJA

F – kako je proizvedeno

O – žareno

H – očvršćavanje deformacijom npr. Hladna obrada

W – rastvorno žareno – toplinska obrada na 540°C – gašeno = zasićena otopina koja se stabilizira /stari/ na sobnoj temperaturi

T – drugačija obrada od F , O , H :

T1 – prirodno stareno

T2 – hladna obrada i prirodno stareno

T3 - rastvorno žareno, hladna obrada, prirodno stareno

T4 – rastvorno žareno, prirodno stareno / rastvorno žarenje 450 – 550 °C /

T5 – umjetno stareno

T6 – rastvorno žareno i umjetno stareno

T7 – rastvorno žareno i stabilizirano

T8 – rastvorno žareno, hladna obrada, umjetno stareno

T9 – rastvorno žareno, umjetno stareno, hladna obrada

T10 – hladna obrada, umjetno stareno

#### **Kompletna oznaka (za primjer) : 2014 – T6**

1080 A - Al 99.8

3003 - AlMn1

2024 - AlCu4Mg1

1070 A - Al 99.7

3004 – AlMn1Mg

2014 - AlCu4SiMg

1050 A - Al 99.5

1100 - Al99.0min

4032 - AlSi12MgNi

5005 - Al Mg 1

5754 - Al Mg 3

5082 - Al Mg 4

5056A , 5356 - Al Mg 5

5454 - Al Mg3 Mn

5251 - AlMg2

6060 - Al Mg Si

6061 - Al Mg1 Si Cu

6082 - AlMgSi1

6056 - AlMgSiCu

7075 - Al Zn6 Mg Cu

LIJEVO OZNAKE – “AA” Aluminium association

DESNO OZNAKE – ISO

### 3. KAKO OSNOVNI MATERIJAL , TOPLINSKI OBRADLJIV ILI NEOBRADLJIV , UTJEČE NA ČVRSTOĆU ZAVARENOGA SPOJA ?

Posmatramo li promjene čvrstoće poprečno na zavareni spoj, ona je kod aluminijskih legura znatno utjecana tipom legure koju zavarujemo.

Kod toplinski neobradljivih legura ( očvršćavanje hladnom deformacijom ) , zavarivanje ima u ZUT-u efekat žarenja , koji ne možemo izbjeći , te se prema tome postiže čvrstoća spoja u žarenom stanju .

Toplinski obradljive legure su osjetljive na vrijeme provedeno na nekoj temperaturi žarenja , te dolazi do djelimičnoga gubitka čvrstoće radi djelimičnoga žarenja .

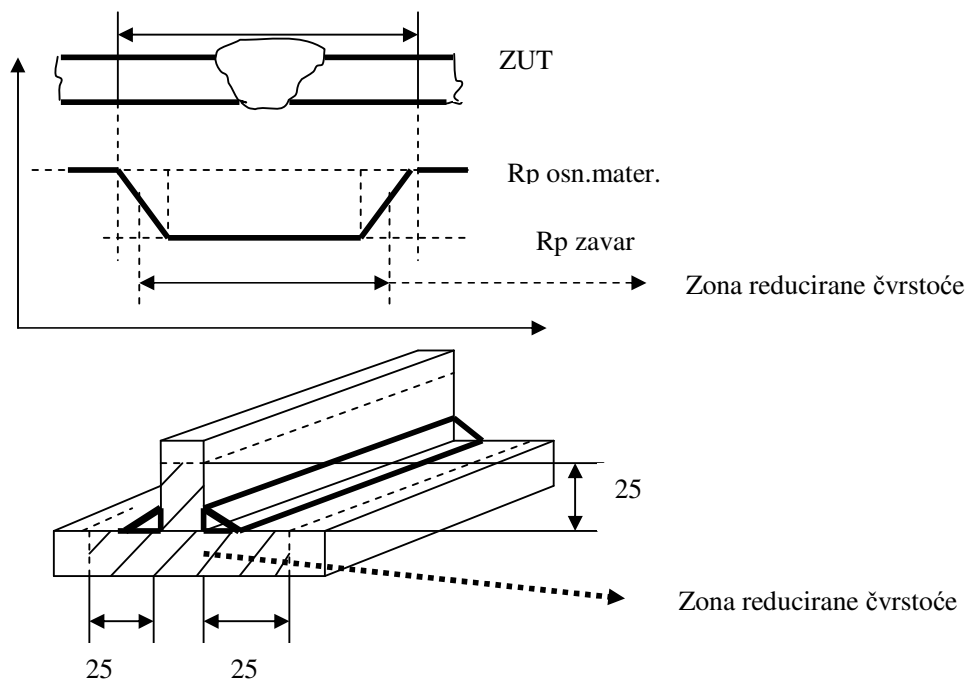
Za primjer legura 6061-T6 , 250 MPa vlačna čvrstoća – nakon zavarivanja čvrstoća oko 190 MPa  
Jedna od mogućnosti – toplinska obrada nakon zavarivanja – oprez – tada razmotriti što se događa sa dodatnim materijalom!

Na primjer dodatni materijal 4643 je razvijen za zavarivanje legure 6xxx i PWHT ! ( razvijen iz osnovne legure 4043 smanjenjem silicija i dodatkom magnezija .

„Ekvivalentni poprečni presjek” - uključuje u proračun i metalurški faktor koji reducira poprečni nosivi presjek radi utjecaja topline zavarivanja .

$$\beta = \sigma_{0.2 \text{ zrč}} / \sigma_{0.2}$$

$\beta$  iznosi prema preporukama od 0.43 do 0.68



Slika 1. ZUT i zona reducirane čvrstoće

- sučeljeni spojevi
- kutni spojevi



#### 4.0 DODATNI MATERIJALI

##### **ER 1100 / S-AI 99.5 (DIN 1732)**

1xxx serija žica – vrlo meke, zahtjevaju vrlo kvalitetne strojeve za zavarivanje – kvalitetno rješen dotur žice /MIG/

Često se koristi za električne vodiče, gdje nisu poželjni legirni elementi

##### **ER2319 / S-AICu6 /**

Za zavarivanje legura 2xxx – 2219, 2519 (mogu se zavarivati i sa ER 4043 / pogledati svojstva zavarenoga spoja /.

##### **ER4043, ER4047 / S-AISI5, S-AISI12**

ER4043 razvijena za zavarivanje toplinski obradljivih legura, najčešće za seriju 6xxx (AlMgSi); zavarivači je radije koriste nego li dodatni materijal serije 5xxx; NIje pogodna za zavarivanje Al-Mg legura (5083, 5086, 5456 – AlMg4,5, AlMg4, AlMg5), jer se stvara višak Mg<sub>2</sub>Si koji snižava plastičnost i povećava osjetljivost na pukotine.

ER4047 je razvijena kao dodatni materijal za lemljenje ali se također koristi i za zavarivanje ovih legura, kao i za temperature iznad 65°C.

##### **ER4643**

Stvorena za zavarene spojeve koji se toplinski obrađuju (rastvorno žarenja, gašenje, starenje) – visoka čvrstoća.

##### **ER5356 / S-ALMg5, ER5183/ S-ALMg4.5Mn, ER5554/ S-ALMgMn, ER5087, ER5154/S-ALMg3**

Za zavarivanje legura serije 5xxx, međusobno i sa drugim legurama; najčešće se koristi ER5356; kada se zavaruju legure 5083/AlMg4.5Mn ili 5654 / AlMg3Mn gdje se zahtjeva vlačna čvrstoća 280MPa i više ER5356 neće uvijek zadovoljiti, te se mogu koristiti ER5556 ili ER5183; ER5356, ER5183 također su pogodne za zavarivanje legura 5xxx sa 6xxx, te sa zavarljivim 7xxx legurama; Kako je sadržaj magnezija iznad 3%, nisu pogodne za radne temperature iznad 65°C; također kod ovih legura ne dolazi u obzir PWHT jer su tada jako osjetljive na naponsku koroziju.

#### **IZBOR DODATNOGA MATERIJALA**

Osnovna metodologija:

- Odrediti osnovni materijal i debljinu
- Odrediti postupak zavarivanja i vrstu spoja
- Definirati zahtjeve na zavareni spoj

a/otpornost na pojavu pukotina

b/zahtjev na čvrstoću i duktilnost

c/zahtjev na korozijsku otpornost

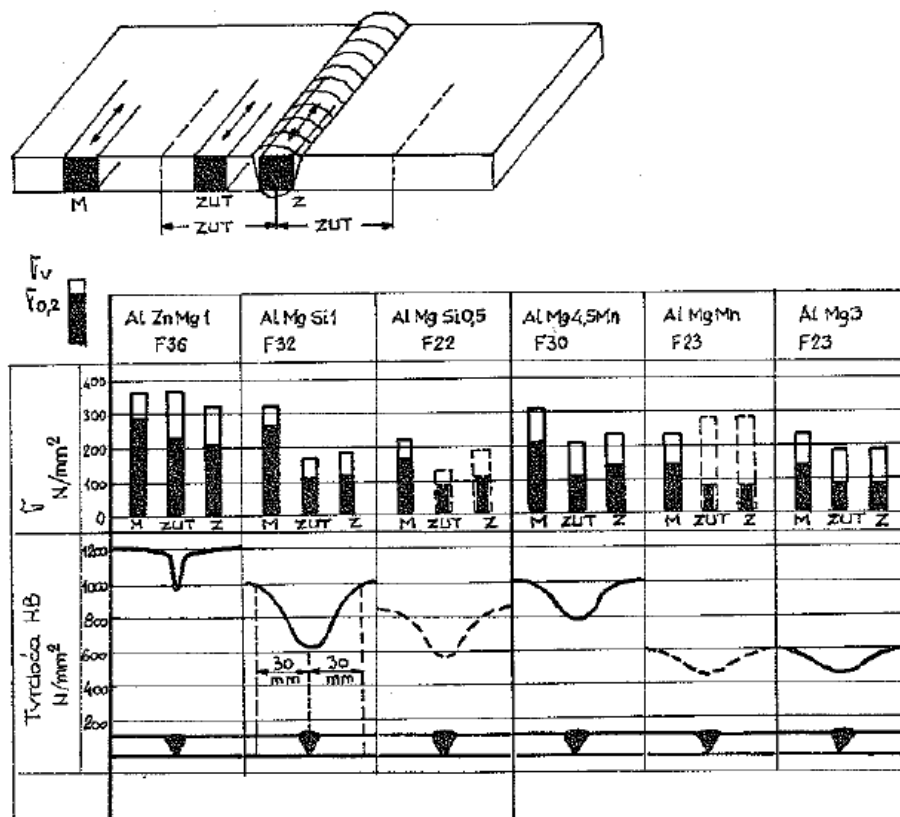
d/svojstva materijala na povišenim temperaturama

- Za toplinski neobradljive legure koristi "kartu" za izbor dodatnoga materijala; obrati pažnju na odnos Mg/Si
- Za toplinski obradljive legure: osim definiranih zahtjeva obratiti pažnju na pojavu toplih pukotina, ZUT pukotina, mješanja, PWHT

### ČVRSTOĆA SPOJA

U mnogim slučajevima ZUT diktira čvrstoću spoja, te mnoge žice kod sučeljenih spojeva dolaze u obzir sa ovoga aspekta.

Kod kutnih spojeva glavnu ulogu igra SMIČNA ČVRSTOĆA, te tu izbor dodatnoga materijala ima važnu ulogu: 4xxx serija ima manju duktilnost te time i nižu smičnu čvrstoću kod kutnih zavara; serija 5xxx ima višu duktilnost te približno duplu smičnu čvrstoću u odnosu na seriju 4xxx.



Slika 2. utjecaj zavarivanja na čvrstoću i tvrdoću

### POVIŠENA TEMPERATURA

Što su to povišene temperature za aluminij i legure? To su temperature iznad 70 (66) °C.

Kod korištenja AlMg legura moramo razmotriti i radnu temperaturu, pri izboru dodatnoga materijala; AlMg sa više od 3%Mg i kod povišenih temperatura proizvodi segregacije magnezija po granicama zrna te postaje krhak i sklon pucanju; stoga su razvijene legure sa manje od 3%Mg za povišene temperature.

**Al99.5 žica ...** Al99.8, Al99.5, AlMn

**AlMg5 žica ...** Al99.5, AlMg4.5Mn, AlMg3, AlMg5, AlMgSi1, AlZn4.5Mg, AlCuMg

**AlSi5 ...** AlMgSi1, AlZn4.5Mg, AlCuMg



## 5. MIG POSTUPAK ZAVARIVANJA

“Klasični” MIG postupak zavarivanja ..debljine 2mm i više / Synergic puls MIG ... I ispod 1mm debljine stjenke .

- Ukloniti masnoće sa površine – otapala Oksidi – nakon odmaščivanja  
nehrđajuća čelična četka samo za aluminij

Za zavarivanje koristiti SPRAY transfer – šišta zvuk , bez rasprskavanja ;

SHORT ARC – slabo čišćenje lukom , slabo protaljivanje, dim, rasprskavanje ;

Zaštitni plin : najbolje 100% argon

Obzirom da “klasični” MIG ima manu : znatne promjene struje zavarivanja / radi karakteristike izvora/ - naljeppljivanje često - IMPULSNI MIG POSTUPAK

VRŠNA STRUJA – TRANSFER KAPI – SPRAY – DONJA STRUJA –NEMA TRANSFERA KAPI

ULAZNA TOPLINA – NIŽA OD KLASIČNOGA MIG-a - /LIM 0.7MM MOŽE SE ZAVARIVATI/

### POTEŠKOĆE KOD DOTURA ŽICE

**VODILICA** – NAJLON ILI TEFLON

**UVODNICE** – NAJLON ILI TEFLON

**VODEĆI VALJCI** – “U” OBLIK ( UMJESTO “v” OBLIKA KOD ČELIČNE ŽICE ) ; PRITISAK VALJAKA NA ŽICU SMANJITI U ODNOSU NA ONE KOD ČELIČNE ŽICE

**KONTAKTNE CJEVČICE** – dizajnirane za dotur i električni kontakt aluminijske žice – obično 0.3-0.4mm većeg unutarnjeg promjera od korištene žice ;

**KABEL** – držati što je moguće ravnije kod zavarivanja

### DOTUR ŽICE

A/ PUSH SISTEM      B/ SPOOL GUN SISTEM      C/ PUSH-PULL SISTEM

**PUSH SISTEM**

Motor dotura žicu u liner do pištolja ; pogodan za veće promjere Ø1.6mm , te za krutije žice kao 5356

**SPOOL GUN**

Mali spol na pištolji ; obično promjera 100 mm , mase 0.5kg ; obično meka aluminijska žica

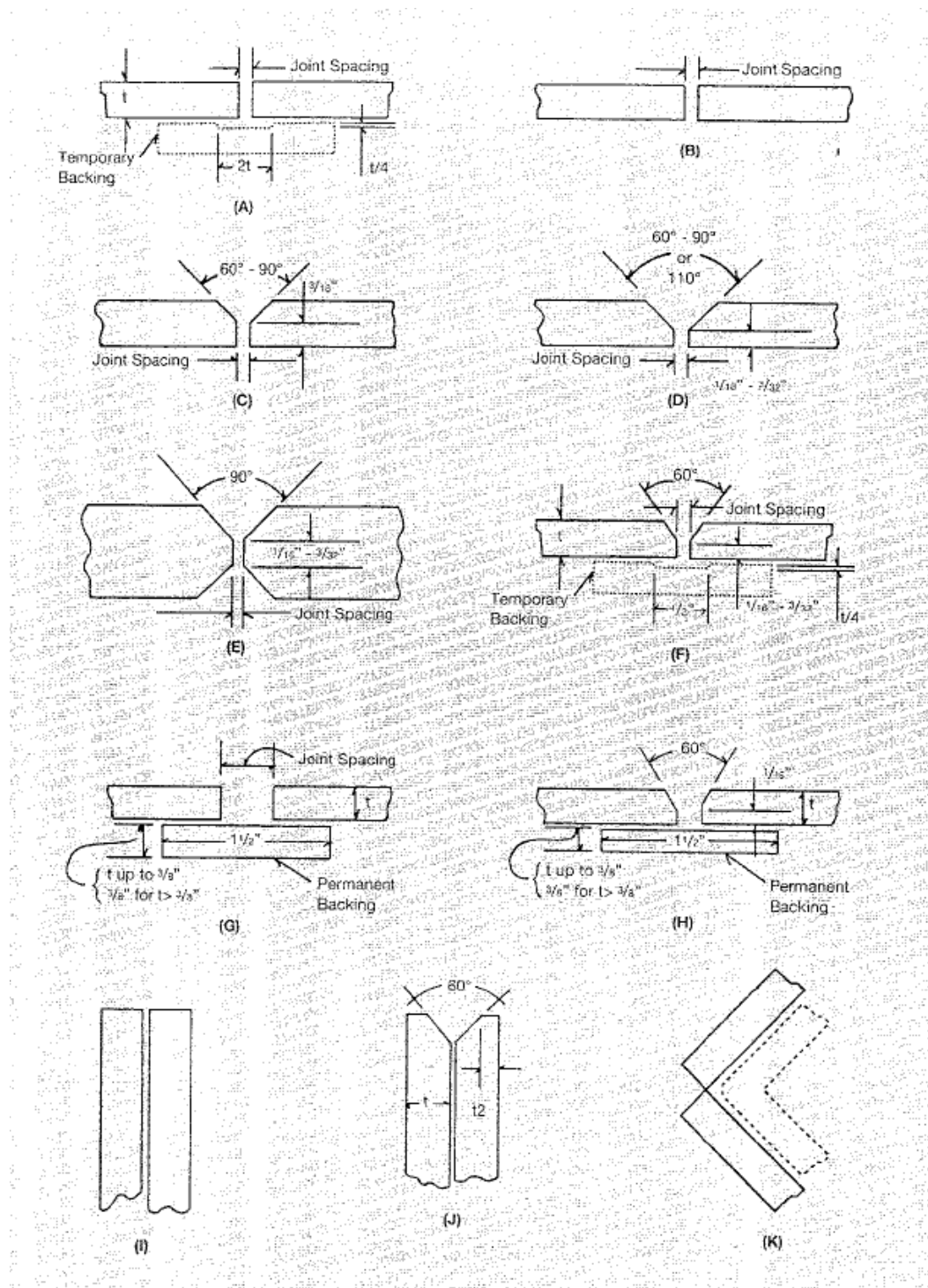
**PUSH PULL**

Koristi dva motora ; pomoćni motor koji gura žicu sa koluta (push) , te primarni motor u pištolji koji vuče žicu (pull) ;

Najfleksibilniji sistem , može dopremiti bilo koju žicu , mekanu poput 4043 bez problema sa gužvanjem ili prekidanjem

“gura” žicu bez problema od Ø0.8 – Ø1.6 . Kablovi dužine i do 15m

Predgrijavanje kod MIG-a : iznad debljine 12 mm debljine stjenke općenito.  
 Zavarivanje " u lijevo " .



Slika 3. Tipični spojevi za MIG postupak zavarivanja



## 6.TIG postupak zavarivanja

UREĐAJI ZA ZAVARIVANJE - invertori / tranzistorski elektronički sklopovi / ; napon praznoga hoda važan – u zatvorenim prostorima ne bi smio biti viši od 50V , inače oko 80V ;

RADNI NAPON PRIBLIŽNO :  $10 + 0.04 \times$  struja zavarivanja ; hlađenje : zračno , vodeno

STRUJA ZAVARIVANJA OPĆENITO :

-ALUMINIJ 30 – 40 A / po mm stjenke

-BAKAR 75-80A/ po mm stjenke

-Cu – Ni čelik 25-30A/ po mm stjenke

PLINOVI : argon , mješavine

**Ø2.4** 130 – 240 A minus pol manje od 30A plus pol 50 – 110A izmjenična  
**wolfram**

80 – 140A izmjenična

**wolfram + oksidi**

Duljina el.luka : približno  $1.5 \times \varnothing$  elektrode

Dodatni materijal : približno duljine 1m / 5kg pakiranje

Wolfram čisti : talište 3380°C

Pištolji za zavarivanje :

- Mali – do 100A – zračno hlađeni – do Ø 2.4

- Srednji – 200-300A – vodom hlađeni – do Ø 4

- Veliki – do 500A – vodom hlađeni – do Ø 6

ZA IZMJENIČNU STRUJU OBAVEZNO KERAMIČKE SAPNICE Ø10 ZA WOLFRAM Ø 1.6 – Ø 2.4

W - ZELENA BOJA WC 10 – 1% CER – ROZA BOJA WC 20 – SIVA BOJA WT 10 – 1%Th  
– ZLATNA

WT 20 – 2% Th – CRVENA WT 30 – LILA WT 40 – NARANDŽASTA WZ 8 – 0.8% Zr –  
BIJELA

1.0 ~ struja 10-60A – **W** ~ struja 15-80A **W+Zr** =struja 20-80A **W+Th**

1.6 ~ struja 50-100A 70-150A 80-160A

2.4 ~ struja 100-160A 110-180A 120-220A

3.2 ~ struja 130-180A 150-200A 200-300A

4.0 ~ struja 180-230A 180-250A 250-400A

Lim /mm	Pozicija	Spoj	Struja /A/	W/Ømm	Ar l/min	Žica/Ømm	Br.prolaza
2	1G,2G,3G 4G	I	70-100 60-90	1.6	6	2.4	1
4	1G 2G,3G,4G	I	130-160 115-150	2.4	8	3.2 ili 2.4	1
6	1G 2G,3G 4G	V- 70* V- 90*	225-275 200-240 210-260	4.0	10	4.8 ili 3.2	2



Struja izmjenična

Promjer elektrode za wolframovu ili wolfram/cirkonij elektrodu ; za AC/TIG wolfram/thorij elektroda nije preporučljiva

Predgrijavanje kod TIG-a : iznad 5mm debljine stjenke .

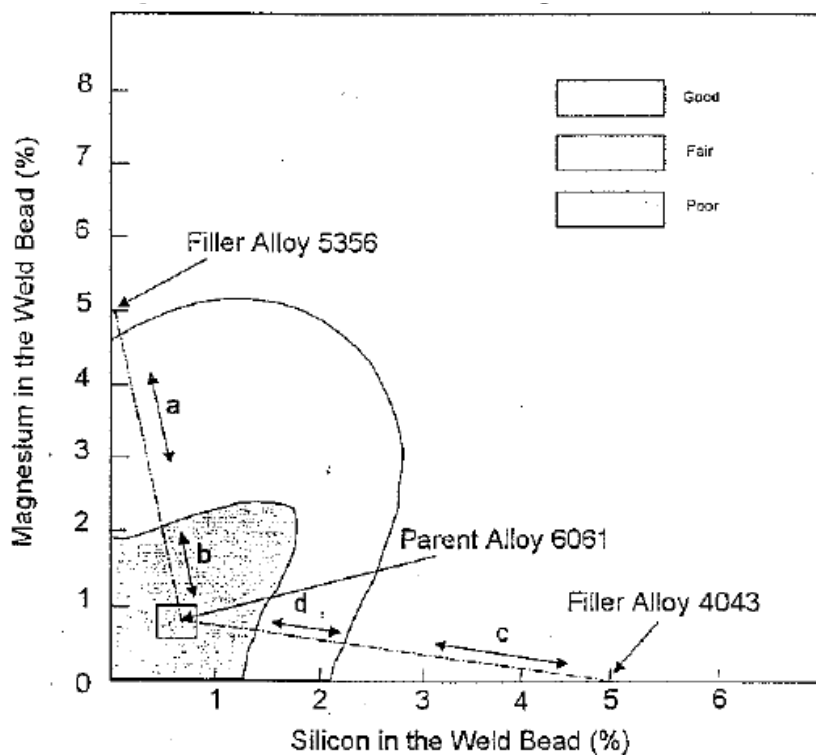
## **7. NEPRAVILNOSTI U ZAVARENIM SPOJEVIMA**

### **Poroznost**

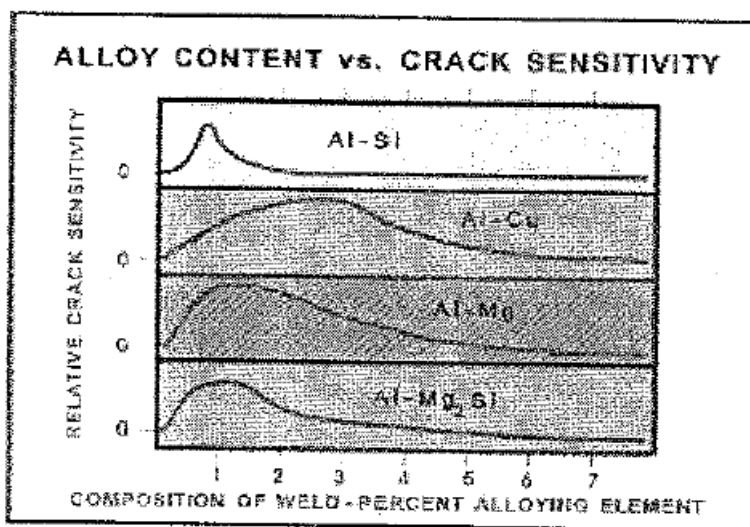
Poroznost je "osnovna" i uvijek prisutna nepravilnost kod zavarivanja aluminija i legura . Posljedica je zadržavanja vodika u taljevini tijekom zavarivanja i hlađenja . Topljivost vodika u aluminju naglo raste iznad temperature taljenja . Jedan od glavnih izvora vodika je aluminijski oksid , koji je porozan te apsorbira vlagu. Istraživanja su pokazala da ukoliko se zona spoja temeljito čisti, da je osnovni uzrok poroznosti vodik unešen elektrodnom žicom. Kod statički opterećenih spojeva , poroznost u dozvoljenim granicama ( vidi ASME - karta poroznosti ) ne utječe na nosivost.

### **Pukotine**

Osnovni problem kod zavarivanja su solidifikacijske ili tople pukotine . Kod zavarivanja Al Si legura pukotinska je osjetljivost izražena kod sadržaja Si oko 0.5 - 2% . Preko 3% Si, osjetljivost relativno niska. Kod zavarivanja AlCu legura, izražena je osjetljivost kod sadržaja Cu oko 1.5 -3.5% , preko 6% Cu je relativno niska. Magnezij u količini 0.5-3.0% čini metal zavara osjetljivim na pukotine. Također uz sadržaj manji od 2.8%Mg , AlMg legura može se zavariti sa Al-Si (4xxx) žicom ili AlMg (5xxx) žicom , zavisno o zahtijevanim performansama. Ako legura ima više od 2.8% Mg , ne može se normalno zavariti AlSi žicom , jer se tvori suviše Mg<sub>2</sub>Si ,koji ruši duktilnost i povisuje osjetljivost na pucanje. Oprez kod zavarivanja AlMgSi legura – 1%Mg<sub>2</sub>Si – max.osjetljivost na pucanje ; Koristiti dodatne materijale AlSi ili AlMg serije.



Slika 4. Pukotinska osjetljivost s obzirom na kemijski sastav



Slika 5. Pukotinska osjetljivost – usporedba relativnih pukotinskih osjetljivosti pojedinih Al legura



## 8. UMJESTO ZAKLJUČKA

U radu su na pregledan način prikazane osnovne oznake aluminija i legura te dodatnih materijala.

Osnovne podijele i problemi zavarivanja i zavarljivosti prikazani su informativno, kroz osnovne činjenice .

MIG i TIG postupci su osnovni postupci zavarivanja , a i najrašireniji u praksi . Dodatno, danas se razvija i koristi zavarivanje plazmom , elektrotopno , a u zrakoplovstvu su zakovični spojevi i dalje nezamjenjivi sa aspekta čvrstoće, zamora i mehanike loma .

### Literatura

- 1.Welding Alcoa Aluminium , Aluminium company of America , 1972.
- 2.Zavarljivost aluminija i aluminijskih legura i zavarivanje aluminijskih konstrukcija, Zbornik referata , Budva 1976.
- 3.Osnovna stanja gnječilačkih Al-legura , Tvornica lakih metala "Boris Kidrič" , Šibenik, 1990.
- 4.Dodatni materijali za zavarivanje , Impol, Slovenska Bistrica
- 5.Europske preporuke za konstrukcije iz aluminijskih legura , IIW Colloquium , Porto,1981.
- 6.Razne prezentacije primjera iz prakse
- 7.Zavarene aluminijske konstrukcije , Zbornik referata , Šibenik 1990.