

# ZAVARIVANJE

## OPASNOSTI PRI ELEKTROLUČNOM ZAVARIVANJU

- Udar električne struje na primarnoj ili mrežnoj strani.
- Udar električne struje na sekundarnoj ili zavarivačkoj strani.
- Opekline pojedinih dijelova tijela zbog prskanja užarenih metalnih čestica te pri dodiru s vrućim ili užarenim metalnim površinama.
- Oštećenje očiju zbog štetnog zračenja na vidljivom području, koje se očituje jakim bliještanjem i zasljepljenjem, a posljedica može biti bolna upala očiju.
- Oštećenje očiju zbog štetnog ultraljubičastog i infracrvenog zračenja.
- Oštećenje kože u obliku upala, na nezaštićenim dijelovima tijela, koje nastaju pod utjecajem jakih ultraljubičastih zraka.
- Oštećenje očiju zbog pada iskre i letećih čestica te čestica šljake (kod čišćenja šljake).
- Oštećenje organizma udisanjem štetnih plinova, para i dimova koji nastaju pri zavarivanju.
- Štetne tvari u obliku dimova ovise o vrsti elektrode te, u manjoj mjeri, o vrsti predmeta obrade.
- Posebno su opasni spojevi kroma, tzv. kromati i spojevi nikla koji mogu uzrokovati rak te manganovi oksidi (mangan je otrovan).
- Također su opasni svi dimovi koji nastaju pri zavarivanju kao što su željezni oksidi, silicijum-dioksid, kalcijum-oksid, magnezijum-oksidi, fluorid, titan-dioksid.
- Požar zapaljivih tvari blizu mjesta zavarivanja.

## UPUTE ZA SIGURAN RAD PRI ELEKTROLUČNOM ZAVARIVANJU

1. Zavarivački se uređaj mora priključivati na mrežu na ispravan način, a utičnice sa zaštitnim kontaktom i s dovoljne snage u odnosu prema potrošnji uređaja. Zaštita od udara električne struje na primarnoj ili mrežnoj strani zavarivačkog uređaja mora se provoditi kao i pri radu s bilo kojim drugim električnim trošilom. Zaštita od izravnog ili direktnog dodira provodi se najčešće izoliranjem svih dijelova pod naponom. Kod zavarivačkih uređaja to znači da su kućišta uređaja zatvorena i neoštećena te da su svi priključni kabeli i utikači ispravni. Zaštita od posrednog ili indirektnog dodira postiže se najčešće automatskim isključivanjem napajanja pomoću osigurača, koji u slučaju kvara na zavarivačkom uređaju isključuju strujni krug.
2. Zaštita od udara električne struje na sekundarnoj zavarivačkoj strani provodi se korištenjem uređaja sa sniženim naponom praznog hoda te korištenjem ispravnog zavarivačkog pribora i odgovarajućih zaštitnih sredstava. Negativni pol zavarivačkog strujnog kruga mora se spajati

uvijek neposredno na predmet koji se zavaruje, i to stoje moguće bliže točki zavarivanja. Tako se sprječava pojava lutajućih struja koje mogu oštetiti vodiče u električnoj instalaciji. Držać elektroda mora biti izoliran i potpuno ispravan. To se odnosi i na kabele na zavarivačkoj strani, koji po cijeloj dužini moraju biti izolirani i ispravni. Oštećene dijelove treba odmah zamijeniti novima. Tijekom rada, radnik mora na objema rukama nositi **kožne zaštitne rukavice za zavarivače i zaštitne cipele s gumenim potplatom**, a promjenu elektroda obavljati samo sa suhim rukavicama.



3. Kako električni luk proizvodi jako zračenje L\_ vidljivom, ultraljubičastom i infracrvenom području, radi zaštite očiju od tih štetonosti mora se pri elektrolučnom zavarivanju nositi posebni **zavarivački štitnik, odnosno masku za zavarivanje** za zaštitu očiju i lica, s tamnim staklima takvog zasjenjenja koje odgovara vrsti posla odnosno jakosti zavarivačke struje (prema DIN-u između 9 i 14).



4. Pri čišćenju šljake mora se, radi zaštite očiju od mehaničkih oštećenja, koristiti prozirno staklo na zavarivačkom štitniku ili **zaštitne naočale s prozirnima staklima**, i sa straničnom zaštitom.



5. Pri elektrolučnom zavarivanju u zatvorenom prostoru moraju se koristiti **ventilacijski uređaji za odsisavanje plinova i dimova** neposredno s mjesta rada, naročito ako se radi na predmetima od kroma, nikla, cinka, mjedi ili ostalih obojenih i štetnih metala, ili na predmetima koji su obojeni minijem i si.
6. Pri zavarivanju dijelova koji su bili odmaščivani klor ugljiko vodicima, npr. Tri ili Per, ili ako se zavaruje u njihovoj blizini, može se pojaviti fosgen koji je otrovan. Zbog toga je odmaščene dijelove prije zavarivanja potrebno brižljivo osušiti.
7. Pri elektrolučnom zavarivanju moraju se koristiti sva propisana osobna zaštitna sredstva kao što su **posebni zavarivački štitnik za oči i lice s tamnim staklima, zaštitna kapa, zaštitno odijelo**, ali ne iz sintetske tkanine zbog opasnosti od zapaljivosti, **zaštitna kožna pregača, zaštitne kožne rukavice za zavarivače, zaštitne naočale s prozirnima staklima, zaštitne cipele s neoštećenim gumenim potplatom i čeličnom kopicom, razne izolirane zaštitne prostirke** i dr.
8. Iz okoline mjesta zavarivanja moraju se maknuti sve lakozapaljive tvari kao što su masne krpe, drvo, zapaljive tekućine itd., kako ne bi nastao požar.
9. Zavarivati se smije isključivo na mjestima koja su sigurna od nastanka požara. To se naročito odnosi na privremena mjesta rada, na kojima se ne zavaruje stalno, nego prema potrebi. Pri

zavarivanju se uvijek stvara vrlo visoka temperatura, pa se mnogi materijali, koji dođu u dodir s dijelovima koji se zavaruju, mogu zapaliti. Uz to, najveća opasnost za nastanak požara jesu užarene čestice koje se stvaraju pri zavarivanju i padaju uokolo mjesta zavarivanja, čak na udaljenost i do 10 m. Ako takve vruće ili užarene čestice dođu u dodir sa zapaljivim materijalima, mogu uzrokovati požar čak i nekoliko dana nakon zavarivanja. Zbog toga se na mjestu rada moraju osigurati svi uvjeti kako ne bi nastao požar te pribaviti odgovarajuća dokumentacija, a nakon završenih radova obaviti zapisnička primopredaja radova.

### ZAPAMTITE ZA SIGURAN RAD

- Elektrolučno zavarivanje smijete obavljati samo ako ispunjavate posebne uvjete za rad na tim poslovima, te ako ste osposobljeni za siguran rad na njima.
- Za vrijeme elektrolučnog zavarivanja usredotočite se na rad i ne razgovarajte s drugim radnicima. Posebno su opasne različite šale i igre, jer mogu biti uzrokom ozljede.
- U slučaju bilo kakvog kvara na uređajima ili pribora za elektrolučno zavarivanje, isključite ih odmah iz mreže i kvar dojavite odgovornom voditelju poslova.
- Nakon svršetka rada isključite zavarivački uređaj iz električne struje (mreže), pospremite pribor, a na vruće predmete obrade postavite znak kojim ćete upozoriti okolne radnike na opasnost od opekline ili ih ogradite.

Prilikom zavarivanja na privremenim mjestima zavarivanja pod odnosno prostor mora biti horizontalno očišćen od gorivog materijala u polumjeru od 10 m od mjesta privremenog zavarivanja.

Ukoliko se ne može ispuniti prethodni uvjet, onda se gorivi materijal mora zaštititi **negorivim prekrivačima**, i to tako da rubovi prekrivača i preklopi budu nepropusni za iskre.



Ako se prilikom zavarivanja podovi moče vodom, radnici koji vrše elektrozavarivanje moraju biti zaštićeni od mogućeg udara struje. Prilikom zavarivanja, u zoni zavarivanja unutar 10 m od mjesta rada, svi otvori ili pukotine u zidovima, podovima ili vodovima moraju se prekriti, kako bi se spriječio prolaz iskrama u susjedne prostorije odnosno površine, ili se mora postaviti zavjesa ili paravan oko mjesta rada, čija visina ne smije biti niža od 1,8 m.

Sistemi cijevnih vodova, transportnih traka i slično koji mogu prenositi iskre do udaljenih gorivih materijala, moraju biti zaštićeni od mogućeg ulaza iskri ili stavljani izvan pogona.

Zavarivanje u blizini zidova, pregrada, tavanica ili krovova građenih od gorivog materijala, može se vršiti samo ukoliko su postavljeni negorivi štitnici ili paravani.

Zavarivanje se ne smije izvoditi na metalnim pregradama, zidovima, tavanicama ili krovovima koji imaju gorivu oblogu, ako ni na zidovima, tavanicama, pregradama ili krovovima od gorivog materijala (npr. gorive panel-ploče tipa sendvič).

Zavarivanje metalnih cijevi i drugih metalnih površina (konstrukcija, nosača itd.), koji su u dodiru sa zidovima, pregradama, tavanicama ili krovovima od gorivog materijala, ne smije se izvoditi ni u slučajevima ukoliko se zavarivanjem može izazvati požar uslijed toplinske vodljivosti. Samo u izuzetnim slučajevima dozvoljeno je zavarivanje metalnih zidova, tavanica, krovova, cijevnih vodova i drugoga pod uvjetom da se gorivi materijali maknu. Ako se gorivi materijal ne može ukloniti, onda se na suprotnoj strani mjesta rada postavlja vatrogasno dežurstvo.

Na mjestima zavarivanja odgovarajuća oprema te broj i vrsta aparata za gašenje požara utvrđenih u odobrenju mora se držati u pripravnosti.

U slučajevima gdje je potrebno tlačne cijevi s mlaznicom moraju biti spojene na hidrantski priključak i pripravne za upotrebu.

Radnici koji izvode zavarivanje moraju biti osposobljeni za rukovanje raspoloživom opremom za gašenje požara na mjestu zavarivanja i sistemom za javljanje u slučaju požara.

Prilikom izdavanja odobrenja za zavarivanje ovlaštena osoba mora odrediti obavezno vatrogasno dežurstvo pri izvođenju zavarivanja u slučajevima propisanim članom 19, 20. i 21. Pravilnika o mjerama zaštite od požara pri izvođenju radova zavarivanja, rezanja, lemljenja i srodnih tehnika rada. Vatrogasno dežurstvo s odgovarajućom opremom i sredstvima za gašenje požara mora se osigurati kod mjesta zavarivanja još najmanje 30 min. poslije završetka zavarivanja.

#### **Radnici koji izvode zavarivanje upotrebom boca s gorivim plinom sa ili bez kisika moraju se pridržavati slijedećih pravila:**

- otvaranje ventila na bocama s komprimiranim, tekućim i pod tlakom otopljenim plinovima mora biti polagano i bez upotrebe sile;
- gorivi plinovi i kisik ne smiju se koristiti iz boca na koje nije postavljen odgovarajući **reducir ventil**;
- prilikom postavljanja **reducir ventila** na bocu s kisikom brtva i navoj te alat i ruke radnika ne smiju biti zamazane uljima ili masnim tvarima;
- boce s kisikom ne smiju se koristiti za pogon strojeva, alata ili uređaja, za propuhivanje kanala i cijevi odnosno čišćenje ili otprašivanje prostorija, opreme ili odjeće;
- boce moraju imati pri radu **osigurač protiv povratnog plamena**;
- boce se moraju postaviti na sigurnu udaljenost od mjesta zavarivanja, tako da ne mogu biti izložene iskrama, česticama rastaljenog materijala, plamenu krivo usmjerenog plamenika ili pregrijavanju od vrućih materijala ili uređaja;
- boce moraju biti osigurane od pada;
- boce se ne smiju kotrljati niti koristiti u horizontalnom položaju;
- kape za zaštitu ventila moraju biti postavljene na mjesto predviđeno za to, osim kada su boce u upotrebi ili spojene i spremne za upotrebu;
- **gumene cijevi** trebaju biti smještene i zaštićene tako da ne mogu biti fizički oštećene, a na spojnim mjestima moraju biti pričvršćene odgovarajućim obujmicama;

## **ZAVARIVANJE**

Zavarivanje je spajanje dvaju ili više, istovrsnih ili raznovrsnih materijala, taljenjem ili pritiskom, sa ili bez dodavanja dodatnog materijala, na način da se dobije homogen zavareni spoj.

### **UVOD I PODJELA**

Prema načinu spajanja metode zavarivanja se dijele u dvije velike grupe:

- **Zavarivanje taljenjem** - zavarivanje materijala u rastaljenom stanju na mjestu spoja, uz dodatni materijal ili bez njega;
  - Plinsko zavarivanje,
  - Elektrolučno zavarivanje.
- **Zavarivanje pritiskom** - zavarivanje materijala u čvrstom ili omekšanom stanju na mjestu spoja s pomoću pritiska ili udarca;
  - Kovačko zavarivanje,
  - Elektrootporno zavarivanje.

#### Podjela postupaka zavarivanja

Zavarivanje taljenjem	Zavarivanje pritiskom
- Elektrolučno - Aluminotermitsko - EPT Elektro pod troskom - Elektronskim mlazom - Ljevačko - Laserom - Plazmom - Elektrolučno - Plinsko: <ul style="list-style-type: none"> <li>- Kisik - acetilen</li> <li>- Kisik - propan</li> <li>- Kisik - vodik</li> </ul>	- Kovačko - Plinsko - Difuzijono - Hladno - Elektrootporno - Eksplozijom - Aluminotermitsko - Trenjem - MPL-Magnet pokretnim lukom - VF-visokofrekventom strujom - Elektrolučno svornjaka -Infracrvenim zračenjem

**Zavarivanje je interdisciplinarna tehnologija.**

**Za razumijevanje i korištenje ove tehnologije nužna su znanja iz više područja:**

- Znanosti o materijalima i metalurgije (metalurgija zavarivanja),
- Termodinamike (temperaturna polja pri zavarivanju),
- Elektrotehnike (izvori struje, električni luk, spajanje različitih senzori),

- Kemije (metalurški i drugi procesi koji se odvijaju pri zavarivanju),
- Informatike (ekspertni sustavi, različiti proračuni, baze podataka, ...) i dr.

Opseg zavarivanja samo na jednom objektu može biti velik.

Na primjeru jednog tankera nosivosti 82.000 t izgrađenog u našem brodogradilištu zavaruje se:  
**261.6 km kutnih spojeva i 11.6 km sučeonih spojeva**

Na postrojenjima velikih termoelektrana ili na nuklearnim elektranama, rafinerijama nafte ima po 10.000 do 100.000 zavarenih spojeva cijevi pod tlakom.

Dovoljno je da samo jedan zavar otkáže (lom, pukotina, poroznost, propuštanje...), pa da dođe do skupog zastoja ili u nepovoljnijem slučaju do katastrofalnog oštećenja s teškim posljedicama za ljude, imovinu i biološku okolinu.

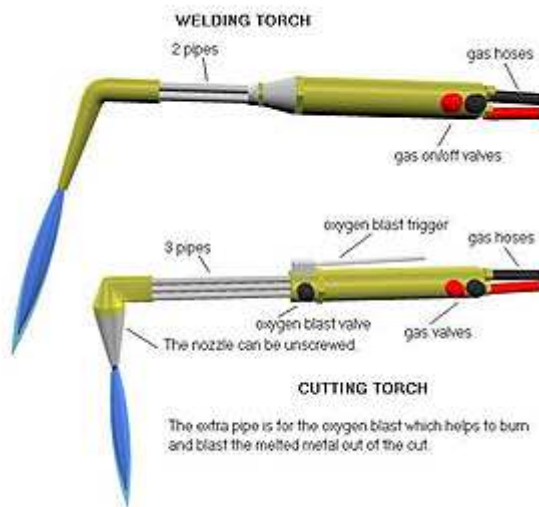
### Plinsko zavarivanje



- Plinsko zavarivanje je jedan od najstarijih i najsvestranijih postupaka zavarivanja.
- Kod ovog postupka toplinska energija dobiva se izgaranjem gorivih plinova u kisiku.
- Plamen koji nastaje koristi se za omekšavanje rubova metala i eventualno dodatnog materijala u šipkastom obliku.
- Od gorivih plinova najčešće se koristi acetilen ( $C_2H_2$ ), a mogu se koristiti i vodik, propan, butan, metan, gradski plin, i dr.
- Kod zavarivanja plamenom koristi se mješavina kisika i gorivog plina najčešće u omjeru 1:1.
- Uz dodatno dovođenje čistog kisika plamenom je moguće i rezanje metala.
- Oprema za plinsko zavarivanje sastoji se iz boce acetilena, boce kisika, redukcijskih ventila, cijevi za zavarivanje, plamenika i dodatnog materijala.
- Acetilen i kisik miješaju se u plameniku, pale se i izgaranjem stvaraju temperaturu u plamenu od  $3.100\text{ }^\circ\text{C}$ .

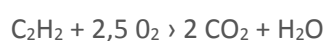
- Zavarivanje plinskim plamenom koristi se za zavarivanje, čelika, sivog lijeva, bakra, aluminija i njihovih legura.
- Postupak zavarivanja je jednostavan, oprema jeftina ali je brzina zavarivanja mala i upaljivost i eksplozivnost rada povećava opasnost pri radu.
- Zavarivanje plinskim plamenom ranije se je puno više koristilo za različite zadatke.
- Nove i brže metode zavarivanja su postepeno preuzele većinu poslova.
- Na primjer, postupci zavarivanje plamenom tankih limova sada su zamijenjene s MIG/MAG postupcima zavarivanja.
- Zavarivanje plamenom se najviše koriste za montažne i instalacijske radove: zavarivanje cijevi, cilindara i dr.
- Na primjer, za zavarivanje cijevnih sustava iz nelegiranih čelika i postupci reparacija lijevanog željeza.
- Kisik-acetilen plamen ima vrlo veliku industrijsku primjenu kod lemljenja, toplinskog rezanja i lokanih toplinskih obrada.

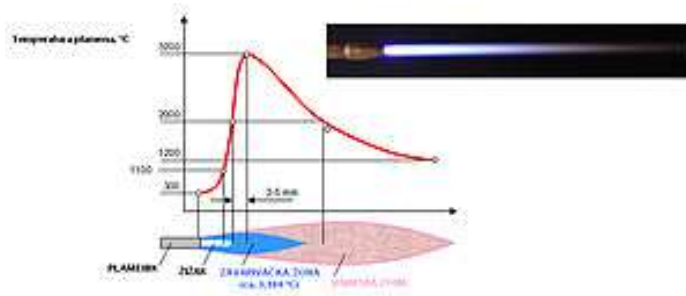
## Plamenik



**Tri područja plamena: žižak (jezgra), zavarivačka zona i vanjska zona (omotač plamena)**

Prilikom izgaranja acetilena u zavarivačkom plamenu stvara se ugljični dioksid i vodena para





Oprema: - plinske boce, gumeno crijevo, garnitura plamenika

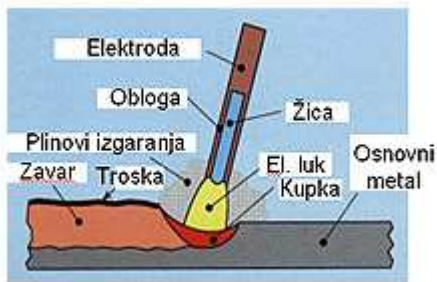
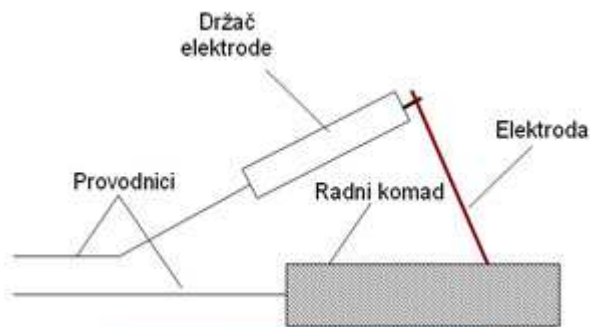


1. BOCA KISIKA (oprez visoki pritisak 150-300 bara)
2. BOCA ACETILENA (pritisak 18 bara)
3. REDUKCIJSKI VENTIL
4. PLAMENA ZAPREKA

### Ručno elektrolučno zavarivanje obloženim elektrodama (REL)

- Postupak je jednostavan za rukovanje.
- Primjenjuje se za zavarivanje i navarivanje svih vrsta metala istosmjernom ili izmjeničnom strujom.
- Električni luk se uspostavlja između vrha elektrode i radnog komada i postupak je ručni, što znači da je neophodan zavarivač





#### Prednosti:

- jeftina oprema,
- širok spektar elektroda,
- koristi se za sve konstrukcijske čelike, **Cu, Ni, Ti** i dr.,
- za sve debljine zavora (od **1 mm** do **100 mm**),
- izvedivo je višeslojno zavarivanje,
- zavarivanje u svim položajima.

#### Nedostaci:

- postupak se obavlja ručno (mogućnost greške),
- puno dimova (potrebna ventilacija),
- stvaranje troske (opasnost troska u zavaru),
- otpad – moraju se ukloniti,
- prekidi i uspostavljanje luka – moguće pogreške.

#### Funkcija obloge:

1. **Električna funkcija** – važna jer utječe na stabilnost el. luka,
2. **Fizikalna funkcija** – utječe na zaštitu taline od zraka (plinovi štite talinu),
3. **Metalurška funkcija** – u oblozi se nalaze komponente koje vrše legiranje metala zavora te utječu na deoksidaciju taline.

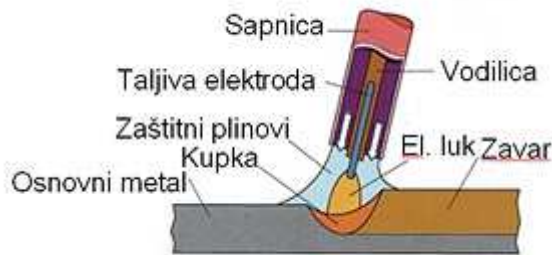
OBLOGA	SVOJSTVA
<b>BAZIČNA</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- daje dobru žilavost i čvrstoću</li> <li>- traži posebnu opremu za zavarivača</li> <li>- zavaruje se isključivo na (+) polu</li> <li>- visina luka je jednaka 1 promjera elektrode</li> <li>- na sebe veže kisik, vodik, sumpor i fosfor</li> <li>- zavareni spoj je oslobođen štetnih plinova i nemetalnih primjesa</li> </ul>
<b>RUTILNA</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- stabilan el. Luk</li> <li>- može se raditi i na istosmjernoj i izmjeničnoj struji</li> <li>- estetski lijep zavar</li> <li>- lagano se radi s njom</li> <li>- nešto lošija mehanička svojstva</li> </ul>
<b>KISELA</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- ista svojstva kao i bazična</li> </ul>
<b>CELULOZNA</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- razvili su je Amerikanci prije 50. godina</li> <li>- specifična obloga</li> </ul>

### Zavarivanje s taljivom elektrodom u zaštitnoj plinskoj atmosferi



- Električni se luk, kod zavarivanja s taljivom elektrodom u zaštitnoj plinskoj atmosferi, uspostavlja i održava između vrha taljive metalne elektrode, odnosno žice i zavarenog metala.
- Električni luk stvara potrebnu toplinu i osigurava taljenje dodatnog metala i spajanih rubova osnovnog metala u okruženju zaštitnog plina
- Kad se kao zaštitni plinovi koriste neutralni ili inertni plinovi, npr. argon, helij ili mješavina plinova onda se ovaj postupak naziva **MIG** (Metal Inert Gas).

- Kada se kao zaštitni plin koriste aktivni plinovi, najčešće **CO<sub>2</sub>** i njegove mješavine s drugim plinovima, onda se postupak naziva **MAG** (Metal Active Gas).



- Metalna elektroda u obliku žice namotane na kolut potiskuje se pomoću potisnog mehanizma kroz pištolj za zavarivanje do mjesta taljenja gdje se u električnom luku tali i prenosi u rastaljeni metal.
- Inertni plin štiti talinu od štetnog utjecaja kisika i dušika iz zraka.
- Vođenje i upravljanje zavarivačkog pištolja je ručno ali može biti potpuno i automatizirano.
- Promjeri žica i parametri zavarivanja MIG ili MAG postupkom odabiru se prema debljini zavarenih izradaka i položaju zavarivanja.
- Najčešće se koristi žica punog presjeka promjera 0,6 do 2,4 mm koja je zbog boljeg električnog kontakta i zaštite od korozije pobakrena.
- Ovaj postupak se najčešće koristi za zavarivanje obojenih metala, visokolegiranih čelika i drugih metala koji se rado vežu s kisikom kao i zavarivanje tankih limova.

#### **Prednosti MIG/MAG postupka:**

- brzine zavarivanja (do 1m/min)
- mogu se zavarivati tanki, srednji i debeli komadi
- za sve vrste metala
- u svim položajima zavarivanja
- postupak se može automatizirati i robotizirati

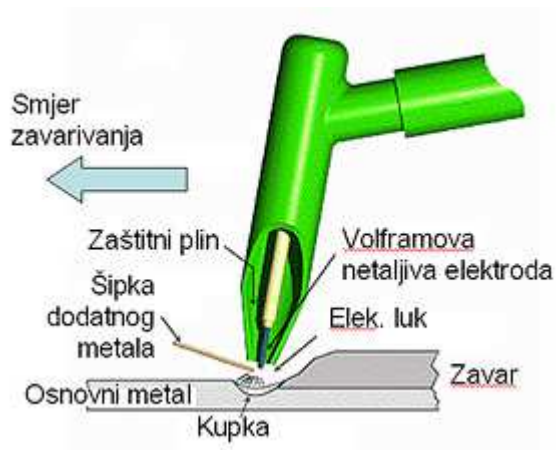
#### **Nedostaci MIG/MAG postupka**

- skupa oprema
- velika pozornost oko zaštite zbog plina
- treba se zavarivati sa 2 ruke
- opasnost od naljepljivanja

#### **Zavarivanje s netaljivom elektrodom u zaštitnoj plinskoj atmosferi**



- Postupak se temelji na uspostavljanju i održavanju električnog luka između volframove netaljive elektrode i radnog komada uz zaštitu neutralnog ili inertnog plina, odnosno odgovarajuće mješavine plinova.
- Ovaj postupak se naziva TIG zavarivanje (Tungsten inert gas).
- Mali intenzivan električan luk nastao iz usmjerene elektrode idealan je za visoko kvalitetno i precizno zavarivanje.
- Toplina električnog luka tali i spaja rubne dijelove osnovnog metala, a ako je potrebno sa strane se dovodi i dodatni materijal.
- Postupak se može izvesti u bilo kojem radnom položaju i na radne komade debljine manjeg od milimetra.
- Glavne prednosti ovog tipa zavarivanja su izrazita pravilnost depozita i mogućnost prijenosa dodanog materijala u kupku bez značajnog gubitka elemenata od kojih se sastoji.
- Za zavarivanje aluminija, magnezija i njihovih legura koristi se izmjenična struja, a za ostale metale se koristi istosmjerna struja s minus polom na elektrodi.
- TIG postupak razvijen je za zavarivanje magnezija i njegovih legura, a danas se upotrebljava za zavarivanje različitih metala od aluminija, titana, nehrđajućih čelika, tankih čeličnih limova i drugih ne željeznih metala i legura. Kao zaštitni plin koristi se **argon** ili **helij** koji ima svrhu da stvori zaštitnu atmosferu koja se može što lakše ionizirati i štiti vrh elektrode i talinu od kontaminacije kisikom i drugim plinovima iz okoline.
- Kao zaštitni plin koristi se argon ili helij koji ima svrhu da stvori zaštitnu atmosferu koja se može što lakše ionizirati i štiti vrh elektrode i talinu od kontaminacije kisikom i drugim plinovima iz okoline.



#### Prednosti:

- luk je vrlo stabilan (osigurava visokokvalitetno zavarivanje)
- zavareni spojevi su homogeni, dobre estetike i dobrih mehaničkih svojstava
- koristi se za zahtjevne materijale (nehrđajući čelici, Al, Ti, Cu, itd)
- zavarivanje daje najkvalitetniji zavar

#### Nedostaci:

- mala brzina zavarivanja (10 – 15 cm u min)
- ograničeno za tanke materijale (do 6 mm)
- oprema je vrlo skupa
- skup je plin (argon)
- skup je wolfram
- radi oksidacije je nužna sekundarna zaštita

#### Zavarivanje plazmenim lukom



- Plazma je u stvari plin koji je zagrijan do ekstremno visokih temperatura (50.000 °C) i ioniziran tako da postane električki vodljiv.
- U procesu zavarivanja plazmom koristi se plazma za prijenos električnog luka do obratka.
- Intenzivnim toplinom luka metal koji se zavaruje se topi i spaja.
- Netaljiva volframova elektroda spojena je na (-) pol izvora istosmjerne struje i nalazi se u središnjem dijelu bakrene sapnice.
- Upravljački luk se inicira između elektrode plamenika i vrha sapnice, koji se zatim prenosi na metal koji se zavaruje. Kao plazmeni plin se najčešće koristi argon.
- U plameniku se također koristi i sekundarni plin argon, argon/vodik ili helij, koji pomaže u zaštiti od oksidacije taljive kupke zavara.
- Zavarivanje plazmenim lukom se koristi za gotovo sve metale, a naročito se zavaruju visoko legirani i nehrđajućih čelici, nikal, titan, aluminij, bakar i njihove legure.
- Debljine metala nisu manje od 3-4 mm.
- Metal se može spajati bez dodatnog materijala, ali ako je potrebno on se može dodati izravno u luk.
- Prednosti korištenja ove metode su veća brzina rada i raznovrsnost uporabe, bolja kvaliteta reza i zavara.

#### **Prednosti:**

- razmak između pištolja i radnog komada nije kritična veličina,
- velika koncentracija energije u mlazu plazme omogućava duboku penetraciju, te potpuno protaljivanje u jednom prolazu.
- Zona utjecaja topline spoja je uska s paralelnim rubovima što smanjuje kutne deformacije,
- velika koncentracija energije osigurava veću brzinu zavarivanja uz stabilan luk,
- visoka kvaliteta spojeva.

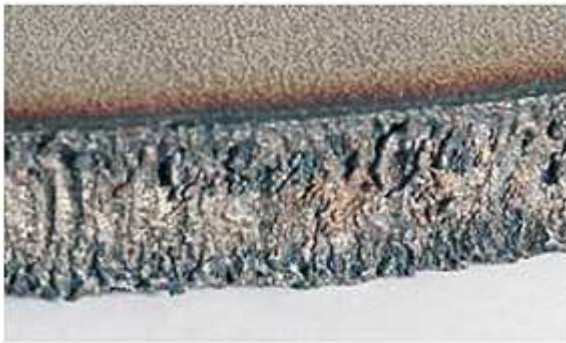
#### **Nedostaci:**

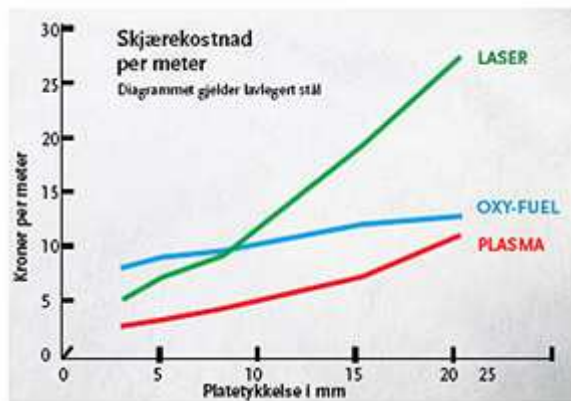
- plazma pištolj je mnogo osjetljiviji na oštećenja nego kod TIG postupka,
- pištolji moraju imati vodeno hlađenje,
- zahtjeva se vrlo točno održavanje razmaka između vrha elektrode i sapnice.

#### **Plazma rezanje**



- Plazma rezanje je vrlo važan postupak rezanja, jer se mogu uspješno rezati svi oni materijali koji se plinskim plamenom ne mogu rezati (Cu, Al, Cr-Ni čelici, sivi lijev itd...).
- Princip rezanja plazmom je rezanje taljenjem materijala





### Zavarivanje trenjem

- Zavarivanje trenjem se izvodi relativnim kretanjem jedne komponente u odnosu na drugu, duž zajedničke dodirne površine uz pritisak na mjesto spajanja.
- Toplina nastala trenjem smekša materijal, koji postaje plastičan, površinski materijal je istisnut van rubova spoja, tako da se „čisti“ materijal zavaruje.

### Razlikujemo tri vrste zavarivanja trenjem:

#### Okretno zavarivanje trenjem

- U ovom postupku, koji se najviše koristi, jedan dio koja se spaja, okreće u odnosu na drugi dio.
- Ovim postupkom spajaju se mnoge čelične osovine i poluosovine, elementi ovjesa, vilice mjenjača, osovine, ventili motora i dr.
- Ventil motora je primjer spajanja različitih materijala pošto je glava ventila iz jednog, a drška ventila iz drugog materijala.

#### Dužinsko zavarivanje trenjem

- Dobilo je naziv po pravocrtnom kretanju jednog dijela koji se spaja u odnosu na drugi duž njihove površine spajanja.
- Na primjer, ovaj postupak se u avionskoj industriji koristi za spajanje lopatica propelera na disk.
- Postupak je jeftin i koristi se za spajanja diskova kočnica, obruča kotača i drugih dijelova motora.

#### Zavarivanje trenjem s okretnim alatom

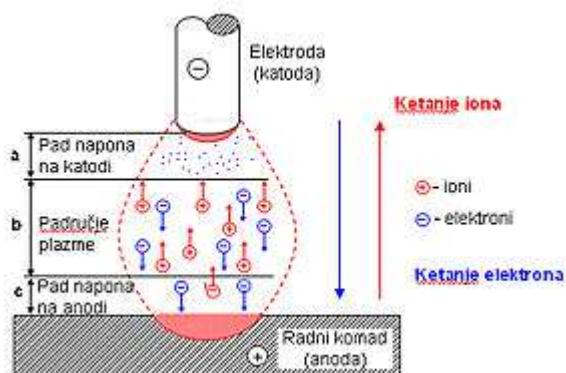
- Također se ovom postupkom stvara plastificirano područje materijala, ali na drugačiji način.
- Netrošivi rotirajući alat se pritišće na materijal koji će se zavarivati. Rotacija alata zagrijava i plastificira materijal(e) spajanja.



- S okretanjem alata duž spoja materijal ispred alata se zakreće oko plastificiranog kruga tako eliminira površine i stvara zavar.
- Ovaj postupak je patentiran 1991. godine i prvo se je primjenjivao za zavarivanje aluminija.
- Kvaliteta zavora je odlična.
- Nema poroznosti koje može nastati pri zavarivanju taljenjem i mehanička svojstva zavora su iste kvalitete kao i najkvalitetniji tradicionalni zavori.
- Postupak je ekološki prihvatljiv jer ne dolazi do razvijanja zavarivačkih plinova i prskanja elektrode, nema intenzivnog svjetla iz električnog luka ni reflektirajućeg laserskog svjetla.
- Također je bitno naglasiti da su deformacije i zaostala naprezanja nastala zbog utjecaja topline vrlo mala.
- Ovim postupkom mogu se zavarivati aluminijski profili debljine od 2 do 12 mm, brzinom i do 3,6 m/min.



### Električni luk

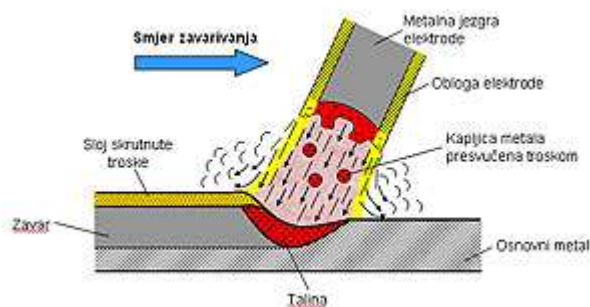


- Električni luk je završni dio strujnog kruga kod kojeg električna struja prolazi zračni prostor između elektrode i radnog komada.
- Zbog toga što zrak ne provodi struju zračni prostor mora biti ioniziran.
- Iz sigurnosnih razloga maksimalni napon kod elektrodučnog zavarivanja je 120 V za istosmjernu struju i 80 V za izmjeničnu struju.

- Ovi naponi su premali za nastajanje električnog luka, koji zahtjeva napone od 5.000 V/mm u zračnom razmaku.
- Dakle, kako bi se uspostavio zavarivački električni luk potrebno je da metalna elektroda dodirne radni komad.
- Tada dolazi do kratkog spoja i prolaza električne struje.
- Zbog velike jakosti struje (200 – 1.000 A) dodirne površine se zagrijavaju.
- Nastaje užarene mrlje na vrhu elektrode (katoda) ako je elektroda vezana na minus pol.
- Na radnom komadu, koji je vezan na pozitivan pol, nastaje također užarena fleka.
- Ako se elektroda zatim podigne nekoliko milimetara od radnog komada užarena fleka elektrode počinje emitirati elektrone koji se u obliku oblaka sakupljaju oko vrha elektrode.
- Napon generatora djeluje kroz zračni razmak a + b + c i uzrokuje gibanje emitiranih elektrona u smjeru anoda (radni komad).
- U električnom polju se elektroni ubrzavaju i nakon područja a je njihova kinetička energija tako velika da oni mogu ometati nastajanje atoma u zračnom razmaku.
- Duž područja b (dužina luka) atomi u zračnom razmaku će se ionizirati (izgubiti će jedan elektron).
- Elektroni putuju dalje prema anodi gdje izgaraju i njihova kinetička energija se pretvara u toplinsku energiju.
- Na isti se način prema katodi ubrzavaju i ioni koji nastaju u području b.
- Katoda tako zadržava temperaturu i sposobnost emitiranja novih elektrona.
- Uslijed jakog zagrijavanja i pod djelovanjem uspostavljenog električnog luka nastaje ubrzano gibanje velikog broja elektrona i manjeg broja nešto sporijih iona te njihovo stalno međusobno sudaranje.
- Bombardiranje elektronima je intenzivnije od bombardiranja ionima.
- Zato se u istosmjernom električnom luku više zagrijava anoda (radni komad) od katode (elektrode).
- U izmjeničnom električnom luku, koji se obično mijenja 100 puta u sekundi, se toplina jednako raspoređuje prema anodi i katodi.
- Električna struja se sastoji iz elektrona koji se zbog elektromotorne sile izvora struje gibaju od negativnog nabijenog pola prema pozitivnom.
- A smjer električne struje definiran je suprotno: od pozitivnog pola prema negativnom polu izvora.
- Temperatura u centru toplog, ioniziranog, plinskog stupa električnog luka je obično od 5.000 do 7.000 °C, kod zaštitnih plinova je i do 20.000 °C.
- Na ovim temperaturama se plin u električno luku nalazi u stanju plazme.
- Područje b električnog luka se zbog toga i naziva područje plazme.
- Pod plazmom se smatra plin u kojem su elektroni oslobođeni od atoma.

- Vrlo intenzivno svjetlo iz električnog luka se stvara u području plazme.
- Svjetlost nastaje kada određeni elektroni prelaze u niže energetske nivoe.
- Zbog toga se višak energije oslobađa kao elektromagnetskog zračenja, koje je u obliku vidljive svjetlosti, te ultraljubičastog i infracrvenog zračenja.
- **Oprez; intenzivni sjaj i ultraljubičaste zrake iz električnog luka su opasni za nezaštićene oči i ljudsku kožu.**

### *Shema električnog luka kod zavarivanja s obloženom taljivom elektrodom*



Za vrijeme procesa zavarivanja dolazi do prijenosa materijala elektrode u električnom luku do radnog komada pod čitavim nizom djelovanja i učinaka:

- **elektromagnetske sile** koja djeluje na formiranje kapljica rastaljenog dodatnog metala i njezino naglo odvajanje,
- **elektrostatičke sile** koje djeluju između elektrode i radnog metala i utječu na gibanje kapljica rastaljenog dodatnog metala kroz električni luk,
- **sile površinske napetosti** koje djeluju na formiranje kapljica, stezanje omekšanog vrha elektrode, uvlačenje kapljica u rastaljenu talinu zavara i sprečavanje razlijevanja taline,
- **pritiska i strujanja plinova** nastalih izgaranjem obloge elektrode od vrha elektrode prema površini taline,
- **trenja plazmatskog mlaza čestica** u električnom luku,
- **gravitacijskih sila** koje djeluju na gibanje kapljica i njihov ulaz u talinu.

## ZAVARLJIVOST MATERIJALA

**Zavarljivost materijala je sposobnost zavarivanja materijala.**

*Metal smatramo zavarljivim onda kada primjenjujući određeni postupak zavarivanja, dobivamo kontinuirani, homogeni zavareni spoj koji zadovoljava predviđene zahtjeve i koji ima zahtijevana mehanička i druga potrebna svojstva.*

**Zavarljivost može biti:**

- **Dobra**, ako se može zavarivati bez specijalnih predradnji i mjera opreza.
- **Slaba**, ako su potrebne specijalne predradnje i mjere opreza, na primjer predgrijavanje zbog mogućnosti nastanka pukotina.
- **Jako slaba zavarljivost**, ako su potrebne takve predradnje i mjere opreza da praktički nije moguće izvesti zavarivanje koje bi bilo ekonomski prihvatljivo.

**Zahtjevi za dobru zavarljivost:**

- Zadovoljavajuća žilavost osnovnog materijala i nakon zavarivanja,
- Zadovoljavajuća krhkost,
- Postotak ugljika što manji jer utječe na porast zakaljivosti, tvrdoće i krhkosti,
- Najprihvatljiviji čelici su dobiveni u Siemens-Martinovim pećima.

### ***Nelegirani konstrukcijski čelici***

Ovi čelici se dobro zavaruju bez posebnih mjera opreza ako:

- nemaju veći sadržaj ugljika od 0,25%,
- količina nečistoća nije prevelika,
- radni komadi nemaju preveliku masu ili velike debljine,
- konstrukcija nije ukrućena.

Prije zavarivanja velikih radnih komada i čelika s povećanim sadržajem ugljika koristi se postupak predgrijavanja.

To je potrebno radi smanjenja intenziteta odvoda topline kako bi se izbjeglo zakaljivanje (otvrdnjavanje) prijelazne zone zavara.

Pri zavarivanju ovih čelika koriste se **bazične** elektrode i redoslijed zavarivanja koji smanjuje zaostala naprezanja.

Radi smanjenja zaostalih naprezanja zavara preporuča se odžarivanje opterećenih konstrukcija, poput parnih kotlova i posuda pod tlakom.

### ***Niskolegirani konstrukcijski čelici***

**Tri glavne skupine ovih čelika su:**

- ugljično manganski čelici (do 0,22 % C i do 1,6 % Mn) - pogodni za zavarivanje - koriste se **bazične elektrode** - potrebno je predgrijavanje ako se radi o većim debljinama,
- manje pogodni za zavarivanje su čelici s dodacima mangana i nikla - koriste se **bazične elektrode** s dodacima mangana i nikla i obavezno je predgrijavanje.
- nepogodni čelici za zavarivanje s dodacima kroma, nikla, vanadija i molibdena, koji su skloni zakaljivanju i stvaranju pukotina. Obvezno je predgrijavanje uz kontrolu temperature. Koriste se **bazične elektrode** s istim legirajućim elementima kao i osnovni metal. Obvezna je toplinska obrada nakon zavarivanja.

***Niskolegirani ili sitnozrnati čelici povišene čvrstoće su dobro zavarljivi uz:***

- predgrijavanje,
- pravilan odabir elektrode i tehnike rada i redoslijeda zavarivanja,
- sprečavanje ulaska vodika u materijal zavara,
- očuvanje sitnozrnate strukture na granici (zona utjecaja topline – ZUT), gdje naročito postoji sklonost zakaljivanju, okrupnjavanju zrna i pojavi pukotina.

### ***Visokolegirani nehrđajući konstrukcijski čelici***

Nehrđajući čelici sadrže od 12 do 36 % Cr, a mogu biti dodatno legirani s niklom i molibdenom.

**Dva su osnovna problema pri njihovom zavarivanju:**

- Veliki afinitet kroma i kisika uzrokuje stvaranje debelih oksidnih slojeva na površini taline zavara, koji ulaskom u talinu zavara značajno smanjuju njegovu kvalitetu. Stoga tehnologija zavarivanja ovih čelika štiti zavar od pristupa kisika;
- Veliki afinitet kroma prema ugljiku uzrokuje stvaranje kromovog karbida na granicama kristala što smanjuje njegovu količinu u tim područjima, a time slabi otpornost prema koroziji. Zbog toga sadržaj ugljika mora biti vrlo mali od 0,03 do 0,06 %.

Prilikom zavarivanja cijevi od nehrđajućeg čelika unutrašnjost cijevi se ispuni s inernim plinom radi zaštite površine zavara na strani korijena.

***Opća pravila za zavarivanje nehrđajućih čelika su:***

- Mjesto zavarivanog spoja mora biti čisto i glatko obrađeno (bez masnoća, vlage i drugih nečistoća);
- Alati i brusne ploče ne smiju sadržavati karbide već se koriste aluminijski oksidi;
- Feritni martenzitni čelici se obavezno predgrijavaju;
- Odabir dodatnog materijala je vrlo važan i dr.

***Sivi lijev***

Osnovni problem zavarivanja sivog lijeva je njegova mala istezljivost.

**Sivi lijev ne podnosi plastične deformacije koje se javljaju prilikom grijanja i hlađenja kod zavarivanja.**

Prelaz taline sivog lijeva u kruto stanje je vrlo brz, tako da se plastično međustanje gotovo i ne pojavljuje. Naglim hlađenjem dolazi do otvrdnjavanja u ZUT-u kao i do pojave napuklina. Pucanje zavarivanog komada od sivog lijeva sprječava se predgrijevanjem izratka plinskim plamenom ili u pećima do crvenila odljevka oko 600 °C i postupnim hlađenjem, prekrivanjem zavara npr. zagrijanim pijeskom kako bi se postigla brzina hlađenja od 50 do 100 °C/h.

Zavarivanje sivog lijeva najčešće se izvodi ručnim elektrolučnim postupkom, a moguće je i plinskim plamenom (preporuča se za manje dijelove).

Kod elektrolučnog postupka zavaruje se kratkim nanosim od 20 do 30 mm širine 5 do 6 mm. Okolni materijal se ne bi smio zagrijati iznad 70 do 80 °C.

Zavaruje se od sredine prema krajevima pripremljenog spoja.

***Aluminij***

Aluminij i njegove legure mogu se zavarivati gotovo svim postupcima zavarivanja. Vrlo učinkovito se koristi TIG i MIG postupci zavarivanja, a moguće je zavarivanje i plinskim plamenom.

**Problemi koji se javljaju kod zavarivanja aluminijevih slitina su:**

- Izražena sklonost oksidaciji, stvara se  $\text{Al}_2\text{O}_3$  koji ima visoku temperaturu tališta od 2037 °C, veliku gustoću i teško se izdvaja iz taline. Čisti aluminij ima talište 660 °C;
- Pojava poroznosti, koje se javljaju ulaskom vodika u rastaljeni metal. Izvori vodika su vlaga i nečistoće na površini zavara, dodatnog materijala i obloge elektrode. Zbog toga je potrebno temeljito četkanje površina pripremljenih za zavarivanje i topitelja u obliku praška ili paste;
- Vrlo visoka toplinska vodljivost aluminijevih slitina (4-5 puta veća od čelika);
- Kada se zavareni spoj ohladi potrebno je s njegove površine ukloniti četkom i toplom vodom ostatak topitelja, koji jako nagrizaju aluminij, s jedne i druge strane zavara.

### **Bakar**

Postižu se dobri rezultati zavarivanja s TIG i MIG postupcima zavarivanja. Zavarivanje plinskim plamenom nije pogodno, a moguće je zavarivanje električnim lukom s odgovarajućim obloženim elektrodama pri čemu električni luk mora biti vrlo kratak kako bi plinski zaštitni omotač bio što gušći.

#### **Osnovne poteškoće pri zavarivanju bakrenih slitina su:**

- Izuzetno visoka toplinska vodljivost bakra (6 puta veća od čelika) zahtjeva da se na mjesto zavara mora dovesti znatno veća količina topline. Zavareni sklop je potrebno izolirati radi sprječavanja odvođenja topline, npr. šamotnim opekama.
- Veliki afinitet bakra u rastaljenom stanju s kisikom i vodikom ima štetni utjecaj na kvalitetu zavara. Nakon obvezatnog čišćenja površina zavarivanog spoja mora se osigurati dobra zaštita taline uz upotrebu topitelja, npr. boraksa ili smjese boraksa i borne kiseline. Kod plinskog zavarivanja se koristi neutralni plamen (omjer kisika i acetilena je 1:1).
- **Slitine bakra sadrže cink koji stvara opasne cinkove pare.** Stoga se zavarivač mora zaštititi, a radno mjesto dobro odzračiti i koristiti ventilaciju.
- Velika žitkost taline zahtjeva izvođenje zavarivanja samo u položenom položaju.
- Znatno širenje i stezanje materijala uzrokuje pojavu zaostalih unutarnjih naprezanja i deformacija zavarenih komada.

### **Zavarivanje aluminija**

*Za razliku od čelika koji se na odgovarajući način može zavarivati i na otvorenom, aluminij se zbog svojih fizikalnih i kemijskih svojstava, može zavarivati isključivo u zatvorenom prostoru*

Aluminij je materijal koji danas nalazi primjenu u gotovo svim dijelovima industrije, naročito zbog svoje korozijske postojanosti u mnogim medijima. Osim toga, to je materijal s prilično dobrim mehaničkim svojstvima, a i podatan je za obradu svim tehnološkim postupcima. U brodogradnji je posebno interesantan zbog male specifične mase i dobrih mehaničkih svojstava.

Ipak, u većoj mjeri počeo se koristiti tek u posljednjih četrdesetak godina, i to ponajprije za izgradnju ratnih i brzih putničkih plovila. Njegova mala masa, kao i navedene karakteristike čine ga skoro savršenim materijalom za brodogradnju. Kod nas je njegova upotreba još nekako u povojima. Tek tu i tamo napravi se poneki manji putnički brod ili brodica za prijevoz turista.

U maloj brodogradnji, među brodicama do desetak metara duljine stakloplastika je još uvijek na prvom mjestu. U nekim drugim zemljama, poput primjerice u Australiji, upravo su mala aluminijska plovila preuzela veći dio tržišta. Bilo je pokušaja uvoza i ponude ovih plovila i na našem tržištu, ali odaziva kupaca, čak ni u boljim vremenima nije bilo. Konzervativnost naših kupaca, ali i brodograditelja, i dalje ignorira aluminij i njegove kvalitete. Potpuno neopravdano.

Kvalitetne aluminijske legure i sve preciznija i bolja oprema za rezanje i zavarivanje aluminijskih, tehnološki postaju sve naprednije iz dana u dan, pa nam preostaje nada da će se i na tom području nešto uskoro promijeniti.

Ono što danas aluminij čini posebnim kao brodograđevni materijal, to su prvenstveno njegova fizikalna i kemijska svojstva:

- mala gustoća od 2.600 do 2.800 kg/m<sup>3</sup>. Drugim riječima, od čelika je lakši za 2,9 puta,
- povoljan odnos težine i čvrstoće, naročito kod nekih slitina,
- dobra otpornost na koroziju prema zraku i različitim oksidirajućim spojevima,
- visoka električna vodljivost koja je 3 do 3,5 puta veća nego kod čelika,
- visoka toplinska vodljivost koja je 13 puta veća nego kod nehrđajućih čelika, a 4 puta veća nego kod nelegiranih čelika. Doseže 40 posto vodljivosti bakra uz 3,3 posto manju težinu,
- nemagnetičnost, što je povoljno za izradu mjernih instrumenata, kućišta kompasu, kormilarnica,...
- tromost u iskrenju, zbog čega se primjenjuje tamo gdje prijete opasnosti od eksplozije,
- odlična obradivost, posebno mogućnost proizvodnje prešanjem najsloženijih oblika presjeka, izvanredna plastičnost, podatnost za najsloženija duboka izvlačenja,
- dobra zavarljivost (uz primjenu odgovarajućeg postupka),
- postojanost na niskim temperaturama, jer se mehaničke karakteristike ne mijenjaju pri niskim temperaturama.



## **Prednosti upotrebe aluminija u maloj brodogradnji**

Sve nabrojene karakteristike daju mu mnoge prednosti, naročito kada govorimo o aluminiju kao konstrukcijskom materijalu u brodogradnji. Pritom prvenstveno mislimo na aluminijske legure s magnezijem, manganom i još nekim elementima koje su razvijene posebno za brodogradnju.

### **Dva su glavna svojstva koja određuju primjenu aluminija kao brodograđevnog materijala:**

- Brodski trup izrađen od aluminijske legure bit će oko 2,9 puta lakši od čeličnog trupa, što sa sobom povlači niz drugih prednosti poput uštede goriva, povećanja brzine itd. U usporedbi sa stakloplastikom, aluminij ima manju masu pri izradi brodice duljih od 10 metara, i ta prednost progresivno raste s veličinom broda.
- Drugo glavno svojstvo je relativno velika korozijska postojanost unatoč tome što aluminij ima veliki afinitet prema kisiku. Zahvaljujući tome aluminijski brod ne treba premazivati bojama, osim ako se ne želi postići estetski učinak. Osim toga, aluminijske konstruktivne elemente ne treba predimenzionirati kako bi se spriječio gubitak čvrstoće do kojega dolazi uslijed korozije, kao što se to čini kod čelika. Trup se mora bojiti samo ispod vodne linije i to antivegetativnim premazima.

### **Priprema spoja za zavarivanje**

Aluminij se može rezati plazmom, vodenim mlazom, reznim pločama, ubodnom pilom ili cirkularom. Pritom treba paziti na to da su rezne i brusne ploče prilagođene aluminiju. Nikako se ne bi smjele koristiti rezne i brusne ploče koje su namijenjene za čelik! Limovi debljine do 6 mm zavaruju se s I pripremom sa zračnošću od 3 do 5 mm, ovisno o debljini.

Limovi deblji od 6 mm pripremaju se na V, odnosno X ili K za kutne spojeve. Neposredno prije zavarivanja treba očistiti površinski sloj oksida na mjestu zavarivanja i bližoj okolini. Njega je najbolje odstraniti s metalnom četkom, ili još bolje strugačem. Nakon čišćenja površinske korice oksida, budući spoj bi valjalo i odmastiti, i nakon toga dobro osušiti plamenom.

### **Problematika zavarivanja aluminija**

Prije nego se upustimo u postupak samoga zavarivanja, treba objasniti neke specifičnosti koje se javljaju kad se aluminij zagrijava i topi. Sam postupak zavarivanja u principu je uvijek elektro-lučno zavarivanje topljivom elektrodnom žicom u zaštitnom plinu, pri čemu se metal topi i očvrstuje zajedno s dodanim metalom. Aluminij i njegove legure su podložne visokoj topivosti vodika u talini koji pri hlađenju ostaje zarobljen u spoju te se na taj način dobiva porozni zavareni spoj.

Vodik u talinu može doći iz nečistoća na osnovnom materijalu, plinu, žici, alatu za obradu ili iz atmosfere. Zbog tih utjecaja zavarivanje bi se moralo izvoditi u zatvorenom prostoru zaštićenom od vjetra i po mogućnosti vlage. Za razliku od čelika koji se na odgovarajući način može zavarivati i na otvorenom, aluminij se zbog svojih fizikalnih i kemijskih svojstava, može zavarivati isključivo u zatvorenom prostoru.

Drugo svojstvo aluminija koja otežava zavarivanje je aluminijski oksid koji se stvara na površini i štiti ga od korozije. Temperatura taljenja oksida iznosi oko 2050 °C, dok se sam aluminij topi na oko 658 °C. Iz toga proizlazi da će se aluminij rastaliti prije oksida, a da oksidna korica neće biti razbijena.

Kako bi se to spriječilo, sloj aluminijske oksida odstranjuje se mehanički, čeličnom četkom ili strugačem, neposredno prije samoga zavarivanja. Pri čišćenju s brusnim listićima treba voditi računa na to da ukoliko su listići lijepljeni organskim ljepljivom tada može doći do onečišćenja površine i pojave poroziteta u zavarenom spoju.

Kod zavarivanja sučeonog spoja uvijek treba koristiti podlogu, kako bi se talina brže skrutnula. Kao podloga mogu se koristiti deblje ploče od CrNi čelika, bakra ili aluminija. Zavaruje se zdesna nalijevo, a gorionik se drži pod kutom od 75-80° suprotno od smjera zavarivanja, radi boljeg čišćenja oksida.

### **Postupci zavarivanja aluminija**

Zavarivanje aluminijskih legura u odnosu na čelik zahtijeva specifičnu opremu i tehnologiju uz strogo kontrolirane uvjete rada. Zavarivanje se izvodi MIG i TIG postupkom. MIG (Metal Inert Gas) postupak se koristi za zavarivanje strukture i oplata.

Električni luk se uspostavlja između topljive elektrode koja se kroz pištolj za varenje potiskuje prema mjestu zavarivanja. Samo vođenje žice za zavarivanje može biti ručno ili automatsko, ovisno o uređaju koji koristimo za zavarivanje. Kod zavarivanja aluminija, proces se odvija u zaštitnoj atmosferi koju omogućuje inertni plin argon (Ar) ili mješavina argona i helija (Ar+He).

Treba naglasiti da se kod MIG zavarivanja koriste strojevi za impulsno MIG zavarivanje. Na ovaj način potreban je manji unos energije, zavarivač lakše kontrolira talinu, a i čišćenje oksida je bolje. Argon, plin koji se koristi u ovom postupku je inertni plin bez boje, mirisa i okusa. Nije otrovan, ali u zatvorenom prostoru može smanjiti koncentraciju kisika, pa radni prostor mora imati dobru ventilaciju. Argon se može nabaviti u kvaliteti A, B, C i D što označava njegovu čistoću.

U klasi A čistoća mu je 99,999%Ar, dok u u klasi D njegova čistoća iznosi 85%Ar. Za zavarivanje u MIG postupku koristi se argon kvalitete C (99,96%) ili B (99,99%). Plin se isporučuje u bocama koje su označene zelenom bojom. Druga tehnologija koja se rabi za zavarivanje aluminija je TIG, odnosno Tungsten Inert Gas. Ovaj postupak koristi se za manje popravke i detalje koje nije moguće izvesti MIG-om, odnosno kad brzina zavarivanja nije toliko bitna, ali se traži kvalitetan spoj.

Postupak se temelji na uspostavljanju električnog luka između volframove netaljive elektrode i radnog komada, u zaštitnoj atmosferi inertnoga ili neutralnoga plina. Budući da je ovo u biti ručni postupak zavarivanja, nešto je sporiji od MIG postupka, ali daje kvalitetniji spoj, posebno kod zavarivanja tankih limova i profila.

Ovaj postupak ima takozvani efekt katodnog čišćenja pri čemu se razdvajaju i uklanjaju kožice teško topljivoga aluminijskog oksida iz metalne kupke ili s njene površine. Kako se u ovom postupku može bolje kontrolirati unos topline i dodavanje dodatnog materijala, iskusni zavarivač će ovim postupkom postići bolji i kvalitetniji spoj.

Na ovaj način zavarivati se može i bez dodatnog materijala, posebno kod spajanja limova manjih i od 1 mm. Ako se spajaju aluminij i njegove legure koristi se zavarivanje izmjeničnom strujom koja osigurava dobro čišćenje aluminijskog oksida tijekom pozitivne poluperiode.

Ovaj postupak daje odličnu kvalitetu i lijep izgled spoja, no brzina zavarivanja je relativno mala. Kao zaštitni plin koristi se argon. U usporedbi s brodograđevnim čelikom, aluminij i njegove legure zahtijevaju znatno više pažnje i tehnološke discipline u proizvodnom procesu, međutim, uz dobru pripremu i kvalitetno obučeni kadar, može se uspješno zavarivati.

Da bi se postigla željena kvaliteta treba imati odgovarajuću opremu za zavarivanje, tehnologiju zavarivanja i odgovarajuće uvjete rada. Najviše pažnje treba obratiti na pripremu, čišćenje i odmašćivanje zone spoja, a potrebno je osigurati i radno mjesto od propuha kako ne bi došlo do nepravilnosti u zavarenom spoju uslijed nedovoljne zaštite plinom.

## **INOKS**

Inoks je za nautiku izniman konstruktivno-dekorativni materijal koji ne samo da je lijep, već i vrlo zahvalan za održavanje jer se pokazao kao vrlo otporan na vanjske utjecaje. Njegova otpornost na morsku vodu, odnosno sol, čini ga jedinstvenim materijalom u nautici. Zato ga se i rabi tako rado, pogotovo kad se radi o raznim metalnim dijelovima na brodicama poput bitvi, inoks ogradama, spremnicima goriva, ljestvama i sličnom. Iako postoji puno vrsta inoksa, najčešće se koristi jedna od dvije vrste AISI 304 i 316. U nautici se najčešće koristi AISI 316 koji ima nešto veći udio nikla koji ga čini otpornijim na agresivno djelovanje soli iz mora. Inoks daje i čvrstoću i otpornost na vanjske utjecaje, no isto tako traži i poseban pristup, pogotovo u mehaničkoj obradi.

Prilikom bilo kakve mehaničke obrade nikakvi alati, niti bilo što što je imalo kontakta sa željezom ne smije doći u kontakt s inoksom. Ukoliko se to dogodi na inoksu će se oštetiti pasivizirani sloj i time otvoriti vrata koroziji, a onda i trajnim oštećenjima. Iako inoks po svojoj filozofiji u biti i ne treba gotovo nikakvo održavanje, s vremena na vrijeme ipak malo popusti, pa na njegovoj površini, ovisno o kemijskoj čistoći i primjesama, odnosno kvaliteti, dolazi do pojave korozije.

Neki kažu da redovito poliranje zaštitnim sredstvima i raznim deterdžentima inoksu može vratiti površinski sjaj, no s vremenom to više nije dovoljno i u tim slučajevima treba posegnuti za nečim ozbiljnijim. Uporaba abrazivnih deterdženata je naravno strogo zabranjena, kao i onih koji sadrže kiseline. Zabranjeno je i korištenje čeličnih četki, žičane vune i sličnih predmeta, jer spomenuli smo da željezo u kontaktu s inoksom stvara podlogu za koroziju.

Kako cijena inoksa nije mala, a i on je svojevrstan ures svake barke, poželjno je da mu se posveti dužna pažnja, odnosno da ga se održava namjenskim sredstvima.

## Plinsko zavarivanje i rezanje

Dodatne preporuke:

- Osigurajte plinske boce prije upotrebe na radnom mjestu ili odgovarajućim kolicima,
- koristite odgovarajuću osobnu zaštitnu opremu: naočale, rukavice, pregaču,



### 1. Reducir ventil



**Održavanje:**

**A** - provjerite ulazni priključak kako biste se uvjerali da ne propušta

**B** - provjerite manometar

**C** - okrenite ručicu ventila nakon otvaranja plinskog ventila i provjerite da pritisak postepeno raste

**Zlatna pravila:**

- nikad ne podmazujte

- preporučuje se zamjena reducir ventila nakon ne više od 5 godina uporabe, čak i ako i dalje ispravno radi

### 2. Cijevi



**Održavanje:**

provjerite čitavu dužinu cijevi tako da ju savijete i na taj način provjerite da li je u dobrom stanju. Provjerite da li ima pukotina, rupa ili ispučenja.

### Zlatna pravila:

- preporučuje se zamjena cijevi nakon tri godine intenzivne uporabe, u protivnom jednom u pet godina

### 3. Brze spojnice



#### Održavanje:

D- provjerite da li su spojevi dobro pričvršćeni

E- provjerite nepropustljivost pri uporabi kod servisnog pritiska, prvo kod osiguranog spoja, a potom kod rastavljenog

### Zlatna pravila:

- uvijek zamijenite u slučaju nezgode (drobljenje, oštećenje) ili u slučaju kvara (propuštanje, gubljenje pritiska)

### 4. Nepovratni ventil



Dijelovi od iznimno velike važnosti. Sprječavaju povratak plamena i mješavine plina u slučaju kvara plamenika. Ugrađuju se na rukohvate i na reducir ventile. Obratiti pažnju na strelice koje pokazuju protok plina

### Zlatna pravila:

- uvijek zamijenite u slučaju povrata plamena ili kvara

- preporučuje se zamjena nepovratnih ventila nakon ne više od 3 godine uporabe, čak i ako su u dobrom stanju.

### 5. Rezači



#### Održavanje:

F- provjerite priključke za plin i kisik

G- provjerite nepropustljivost ventila

H- provjerite da su sapnice (dizne) u dobrom stanju i da ne propuštaju

### Zlatna pravila:

- preporučuje se zamjena rezača nakon ne više od tri godine korištenja, čak i ako još uvijek ispravan

Osnovni izvori opasnosti pri radu su:

1. Pad čeličnih boca s plinovima pod tlakom i oštećenje ventila.
2. Opekline pojedinih dijelova tijela zbog prskanja užarenih metalnih čestica te pri dodiru s vrućim ili užarenim metalnim površinama.
3. Oštećenje očiju zbog štetnog zračenja na vidljivom području koje se očituje bliještanjem.
4. Oštećenje očiju zbog štetnog ultraljubičastog i infracrvenog zračenja.
5. Oštećenje organizma udisanjem štetnih plinova, para i dimova koji nastaju pri zavarivanju.
6. Eksplozija plinske smjese zapaljivih plinova i kisika.
7. Požar zapaljivih tvari blizu mjesta zavarivanja.

Čelične boce za plinove moraju se držati uvijek pričvršćene obujmicama o zid, ili na posebnim kolicima zaštićene od pada.

Boce moraju biti udaljene od mjesta zavarivanja najmanje 3 m.

Boce je najbolje držati izvan radnih prostorija, ali zaštićene od sunčevih zraka, mraza ili kiše.

Boca s acetilenom mora stajati uspravno, ili pod kutom ne manjim od 45 stupnjeva u odnosu prema vodoravnoj podlozi.



Prije početka rada potrebno je provjeriti jesu li **gumene cijevi** za dovod plinova u dobrom stanju i dovoljno savitljive, jesu li odgovarajuće boje za pojedinu vrstu plina (plava za kisik, crvena za gorivi plin), jesu li nepropusne naročito na spojevima, jesu li dobro pričvršćene na spojna mjesta odgovarajućim obujmicama (nikada žicom) te jesu li zaštićene od iskara i vrućih predmeta, kao i od oštećenja na prolazima.



Ako se za zavarivanje i rezanje koriste plinovi iz čeličnih boca, na njima moraju biti postavljeni **uređaji za zaštitu od povratnog udara plamena – nepovratni ventili**.

Nepovratni ventili (suhi osigurači) moraju biti postavljeni na **rezaču** na priključnim mjestima gumenih cijevi, kao i na **reducir ventilima**.



Obavezno obratiti pozornost na smjer protoka plina koji označen sa strelicama.

Pri paljenju **plamenika, rezača** mora se voditi računa o redosljedu propuštanja plinova. Najprije se otvara ventil za kisik do odgovarajućeg tlaka, a zatim ventil za acetilen. Takva se smjesa zapali **upaljačem**, a zatim se još dotjera prolaz acetilena. Plamen se gasi obrnutim redosljedom.



Za vrijeme rada potrebno je spriječiti širenje plinova u okolinu provjerom brtvi na plameniku, ventilima i spojnim mjestima. Propusnost se mora provjeravati sapunicom, a nikako zapaljenom šibicom. Ventili za kisik ne smiju se mazati uljem ili mastima odnosno primati masnim rukama ili rukavicama. Kisikom se ne smiju nikada prozračivati prostorije, ispuhivati odijelo ili se hladiti. Radi zaštite očiju od bliještanja te ultraljubičastog i infracrvenog zračenja, koje se pojavljuje pri plinskom zavarivanju, moraju se nositi **zaštitne naočale s tamnim staklima** takvog zasjenjenja koje odgovara vrsti posla (prema DIN - u između 4. i 7.).



Pri plinskom zavarivanju u zatvorenom prostoru moraju se koristiti **ventilacijski uređaji za odsisavanje plinova i dimova** neposredno s mjesta rada, naročito ako se radi na predmetima od cinka, mjedi ili ostalih obojenih metala, ili na predmetima koji su obojeni minijem i sl.

Pri plinskom zavarivanju moraju se koristiti sva propisana osobna zaštitna sredstva kao što su:

- zaštitna kapa,



- zaštitne naočale s tamnim staklima,



- zaštitne rukavice za zavarivače,



- zaštitno odijelo,





- zaštitna pregača,



- zaštitne cipele s čeličnom kapicom i dr.

Iz okoline mjesta zavarivanja moraju se maknuti sve lako zapaljive stvari kao što su masne krpe, drvo, zapaljive tekućine, kako ne bi nastao požar.

Zavarivati se smije isključivo na mjestima koja su sigurna od nastanka požara. To se naročito odnosi na privremena mjesta rada, na kojima se ne zavaruje stalno nego prema potrebi.



Pri zavarivanju se uvijek stvara vrlo visoka temperatura pa se mnogi materijali, koji dođu u dodir s dijelovima koji se zavaruju, mogu zapaliti. Uz to najveća opasnost za nastanak požara jesu užarene čestice koje se stvaraju pri zavarivanju i padaju uokolo mjesta zavarivanja, čak na udaljenost i do 10 m. Ako takve vruće ili užarene čestice dođu u dodir sa zapaljivim materijalima, mogu uzrokovati požar čak i nekoliko dana nakon zavarivanja. Ukoliko želite zaštititi prostor ili predmete od užarenih čestica koristite **vatrootporne materijale (pokrivače za zavarivanje)**

Zbog toga se na mjestu rada moraju osigurati svi uvjeti kako ne bi nastao požar te pribaviti odgovarajuća dokumentacija, a nakon završenih radova obaviti zapisnička primopredaja radova.

Plinsko zavarivanje smijete obavljati samo ako ispunjavate posebne uvjete za rad na tim poslovima te ako ste osposobljeni za siguran rad na njima. U slučaju bilo kakvog kvara na čeličnim bocama ili priboru za plinsko zavarivanje ugascite plamenik, zatvorite sve ventile i kvar dojavite odgovornom voditelju poslova.

Nakon svršetka rada zatvorite sve ventile na bocama, odteretite reducir ventile, a pribor za zavarivanje odložite tako da nije moguće neovlašteno korištenje plinova. Na vruće predmete obrade postavite znak kojim ćete upozoriti okolne radnike na opasnost od opekline ili ih ogradite.

Za vrijeme plinskog zavarivanja usredotočite se na rad i ne razgovarajte s drugim radnicima. Posebno su opasne različite Šale i igre, jer mogu biti uzrokom ozljede.

## **Objašnjenje pojmova**

### **Varenje ili ZAVARIVANJE?**

- Riječ “varenje” se pogrešno upotrebljava kao naziv za proces ZAVARIVANJA koji je ispravan. Potiče od slovenske riječi “varjenje” koja na slovenskom znači zavarivanje.

### **Električno ili elektro zavarivanje**

- Sinonim za postupak ručnog elektro-lučnog zavarivanja obloženim elektrodama ( REL ).

### **CO<sub>2</sub> zavarivanje**

- Sinonim za poluautomatsko MIG-MAG zavarivanje u zaštiti plina CO<sub>2</sub> ili mješavine.

### **Argonsko zavarivanje**

- Sinonim za TIG postupak zavarivanje u zaštiti plina argona.

### **REL?**

- Ručno Elektro Lučno zavarivanje. U engleskom jeziku skraćenica je MMA ( Manual Metal Arc ).

### **MIG?**

- Skraćenica potiče iz engleskog jezika i predstavlja međunarodni naziv za Metal Inert Gas. Koristi se za označavanje poluautomatskog MIG zavarivanja u zaštiti inertnog plina argona koji svojim kemijskim sastavom NE SUDJELUJE aktivno u formiranju kemijskog sastava zavarenog spoja.

### **MAG?**

- Skraćenica potiče iz engleskog jezika i predstavlja međunarodni termin za Metal Active Gas. Koristi se za označavanje poluautomatskog MAG zavarivanja u zaštiti aktivnog plina CO<sub>2</sub> koji svojim kemijskim sastavom (prisustvom ugljika) SUDJELUJE aktivno u formiranju kemijskog sastava zavarenog spoja.

### **MIG/MAG?**

- Skraćenica potiče iz engleskog jezika i predstavlja međunarodni termin za kombinaciju oznaka Metal Inert Gas i Metal Active Gas. Koristi se za označavanje uređaja za poluautomatsko zavarivanje koji se mogu koristiti za oba postupka, i MIG i MAG.

### **TIG?**

- Skraćenica potiče iz engleskog jezika i predstavlja međunarodni termin za Tungsten Inert Gas. Koristi se za označavanje TIG postupka zavarivanja u zaštiti inertnog gasa argona koji svojim kemijskim sastavom NE SUDJELUJE aktivno u formiranju kemijskog sastava zavarenog spoja.

### **WIG?**

- Skraćenica potiče iz njemačkog jezika i predstavlja međunarodni termin za Wolfram Inert Gas. Koristi se za označavanje TIG postupka zavarivanja u zaštiti inertnog plina argona koji svojim kemijskim sastavom NE SUDJELUJE aktivno u formiranju kemijskog sastava zavarenog spoja.

### **CMT?**

- Skraćenica potiče iz engleskog jezika i predstavlja međunarodni termin za postupak Cold Metal Transfer. Koristi se za označavanje CMT postupka zavarivanja, relativno novog postupka prevedenog kao "Hladni Transfer Metala" razvijenog od strane firme FRONIUS.

### **MIX gas?**

- Predstavlja oznaku za mješavinu plina koja se koristi za kvalitetno zavarivanje konstruktivnih čelika. Oznaka se koristi za 82/18, 75/25 i 92/08 postotne kombinacije plinova CO<sub>2</sub> i Argona.

### **AC?**

- Skraćenica potiče iz engleskog jezika i predstavlja međunarodni termin za izmjeničnu struju – Alternate Current. Primjenjuje se kod označavanja univerzalnih uređaja za AC/DC-TIG zavarivanje.

### **DC?**

- Skraćenica potiče iz engleskog jezika i predstavlja međunarodni termin za jednosmjernu struju – Direct Current. Primjenjuje se kod označavanja uređaja za DC-TIG zavarivanje.

### **AC/DC?**

- Skraćenica potiče iz engleskog jezika i predstavlja međunarodni termin za kombinaciju jednosmerne i naizmjenične struje – Alternate Current i Direct Current. Primjenjuje se kod označavanja univerzalnih uređaja za AC/DC-TIG zavarivanje.

### **ZUT?**

- Zona Utjecaja Topline. U engleskom jeziku skraćenica je HAZ ( Heat Affected Zone ).

### **Pištolj, gorionik ili brener?**

- Termin “pištolj” se najčešće koristi za ručni gorionik za MIG-MAG zavarivanje, dok se termini gorionik i brener najčešće koriste za ručni gorionik kod TIG postupka zavarivanja.

### **Polikabl**

- Naziv za set višefunkcionalnih kablova koji se koriste za priključivanje gorionika za zavarivanje.

### **Bužir ili vodilica?**

- Naziv za čeličnu ili teflonsku-grafitnu vodilicu žice koja je sastavni deo polikabla za MIG-MAG zavarivanje.

### **Šoba, šobna ili šobla?**

- Svi ovi termini se koriste za zaštitnu čauru na vrhu gorionika za zavarivanje kroz koju se usmjerava zaštitni gas. Najpravičniji izraz je ŠOBA. Mogu biti metalne, kod MIG-MAG gorionika ili keramičke (karakteristične ružičaste boje) kod TIG gorionika.

### **Šta znači TransPocket?**

- Oznaka za seriju uređaja za REL zavarivanje firme FRONIUS.

### **Šta znači TransTig?**

- Oznaka za seriju uređaja za DC-TIG zavarivanje firme FRONIUS.

### **Šta znači MagicWave?**

- Oznaka za seriju uređaja za AC/DC-TIG zavarivanje firme FRONIUS.

### **Šta znači VarioStar?**

- Oznaka za seriju kompaktnih uređaja za MIG-MAG zavarivanje firme FRONIUS.

### **Šta znači VarioSynergic?**

- Oznaka za seriju Synergic uređaja za MIG-MAG zavarivanje firme FRONIUS.

### **Šta znači TransSynergic?**

- Oznaka za seriju digitalnih uređaja za MIG-MAG zavarivanje firme FRONIUS.

### Šta znači TransPulsSynergic?

- Oznaka za seriju multisistemskih digitalnih uređaja za zavarivanje firme FRONIUS.