

Osnovni postupci zavarivanja



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	Zavari
<ul style="list-style-type: none">- Elektrolučno- Aluminotermitsko- EPT Elektro pod troskom- Elektronskim mlazom- Ljevačko- Laserom- Plazmom- Elektrolučno- Plinsko:- Kisik acetilen- Kisik propan- Kisik vodik	<ul style="list-style-type: none">- Kovačko- Plinsko- Difuzijono- Hladno- Elektrootporno- Eksplozijom- Aluminotermitsko- Trenjem- MPL-Magnet pokretnim- VF-visokofrekventom str- 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 otkaže (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.

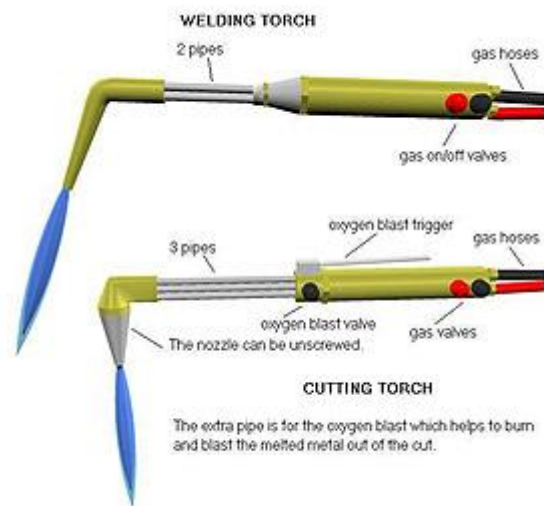
Plinsko zavarivanje



- 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 mješaju se u plameniku, pale se i izgaranjem stvaraju temperaturu u plamenu od $3.100\text{ }^{\circ}C$.
- Zavarivanje plinskim plamenom koristi se za zavarivanje, čelika, sivog lijeva, bakra, aluminijskih 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.

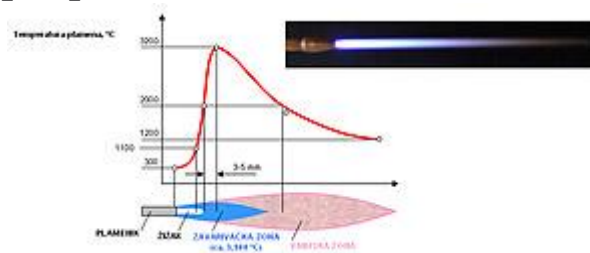
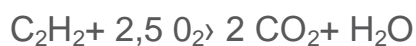
- Nove i brže metode zavarivanja su postepeno preuzele većinu poslova.
- Na primjer, postupci zavarivanje plamenom tankih limova sada su zamjenjene s MIG/MAG postupcima zavarivanja.
- Zavarivanje plamenom se najviše koriste za montažne i instalacijske radove: zavarivanje cijevi, cilindara i dr.
- Na 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 plamenu: žižak (jezgra), zavarivačka zona i vanjska zona (omotač plamena)

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



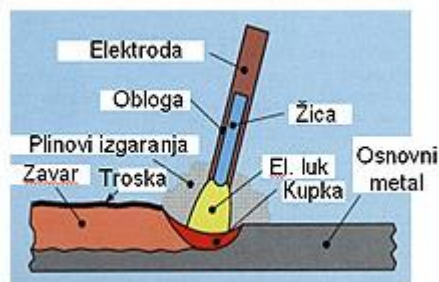
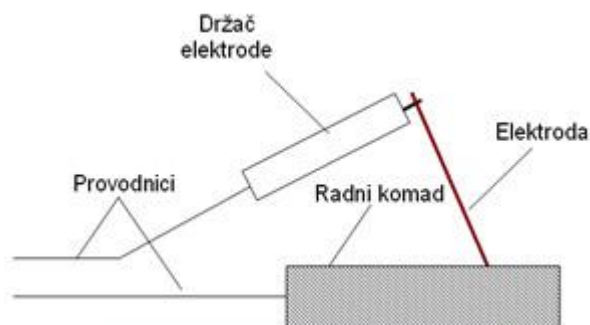
Oprema: - plinske boce, gumeno crijevo, garnitura plamenika



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** 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:

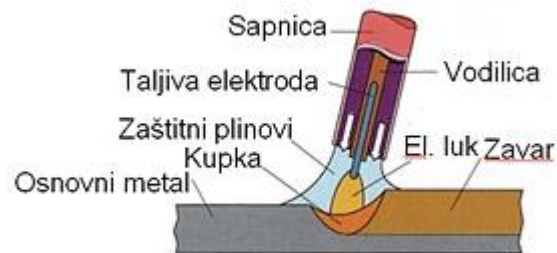
1. **Električna funkcija**– važna jer utječe na stabilnost el. luka,
2. **Fizikalna funkcija**– utječe na zaštitu taline od zraka (plinovi štite talinu),
3. **Metalurška funkcija**– u oblozi se nalaze komponente koje vrše legiranje metala zavara te utječu na deoksidaciju taline.

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

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 **CO₂** i njegove mješavine s drugim plinovima, onda se postupak naziva **MAG** (Metal Active Gas).



- Metalna elektroda u obliku žice namotane na kolot 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

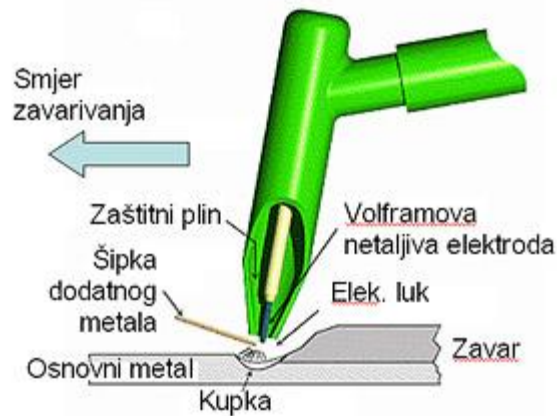
Nedostaci MIG/MAG postupka

- 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 neželjeznih 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 legiranih i nehrđajućih čelici, nikel, 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.

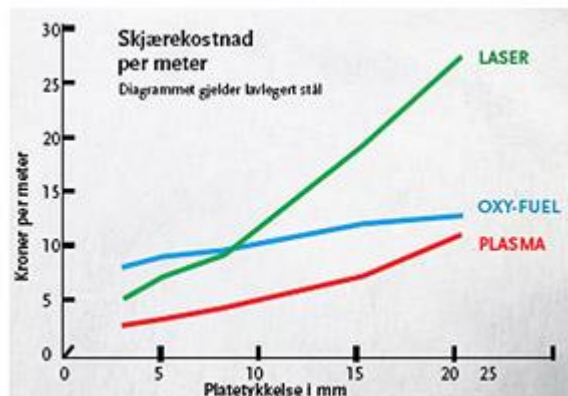
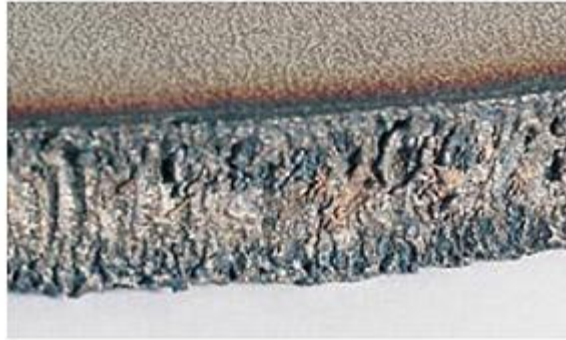
Nedostaci:

- 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

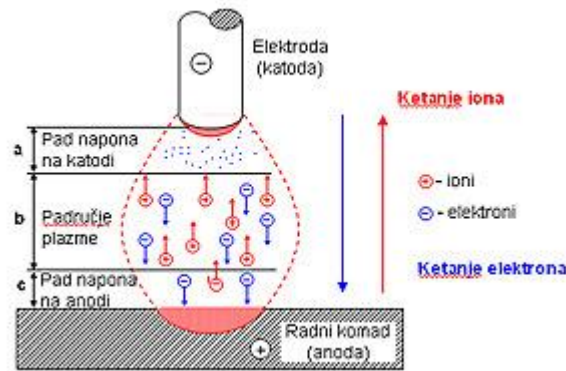
- Dobilo je naziv po pravocrtnom kretanju jednog dijela koji se spaja u odnosu na drugi duž njihove površine spajanja.
- Na primjer, ovaj postupak se u avionskoj industriji koristi za spajanje lopatica propelera na disk.
- Postupak je jeftin i koristi se za spajanja diskova kočnica, obruča kotača i drugih 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 zavara je odlična.
- Nema poroznosti koje može nastati pri zavarivanju taljenjem i mehanička svojstva zavara su iste kvalitete kao i najkvalitetniji tradicionalni zavari.
- 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.



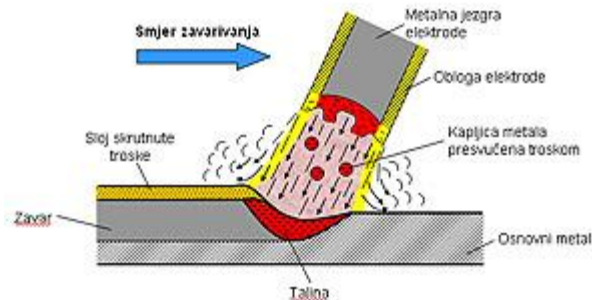
Električni luk



- -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 elektrolučnog 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 zagrijevaju.
- Nastaje užarena mrlja 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 iontenzivnije 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 oC, kod zaštitnih plinova je i do 20.000 oC.
- 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 prenosa materijala elektrode u električnom luku do radnog komada pod čitavim nizom djelovanja i učinaka:

- **elektromagnetske sile** koje 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,
- **sila površinske napetosti** koje djeluju na formiranje kapljica, stezanje omekšanog vrha elektrode, uvlačenje kapljica u rastaljenu talinu zavara i sprečavanju 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 zahtjevana mehanička i druga potrebna svojstva.

Zavarljivost se 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 potrebna 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 su 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 ukružena.

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 redosljed 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:

- pogodni za zavarivanje ugljično manganski čelici (do 0,22 % C i do 1,6 % Mn) koriste se bazične elektrode, potrebno je predgrijavanje ako se radi o većim debljinama,
- manje pogodni za zavarivanje 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. Obavezno je -predgrijavanje uz kontrolu temperature. Koriste se bazične elektrode s istim legirajućim elementima kao i osnovni metal. Obavezna 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 ZUT-a 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 dodatano legirani s nikolom 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 inertnim 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 istežljivost.

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 predgrijavanjem izratka plinskim plamenom ili u pećima do crvenila odljevka oko 600 oC i postupnim hlađenjem, prekrivanjem zavara npr. zagrijanim pijeskom kako bi se postigla brzina hlađenja od 50 do 100 oC/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 oC.

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 Al_2O_3 koji ima visoku temperaturu tališta od 2037 oC, veliku gustoću i teško se izdvaja iz taline. Čisti aluminij ima talište 660 oC;
- 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 nagriza 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 dovoditi znatno veća količina topline. Zavarni 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 rozračiti 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.