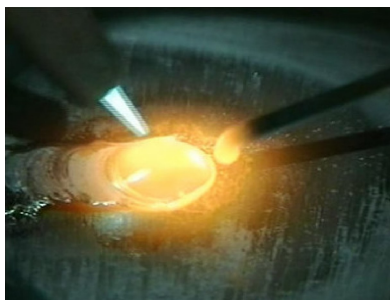
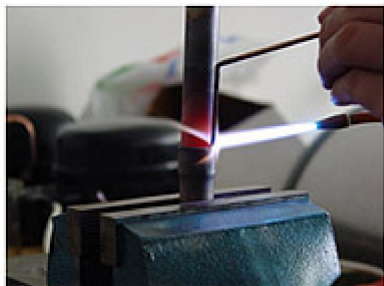




Fotografija rastaljene osnovne ploče i dodatnog materijala



Zavarivanje cijevi



Zavarivanje osovine



Zavarivanje cijevi velikog promjera

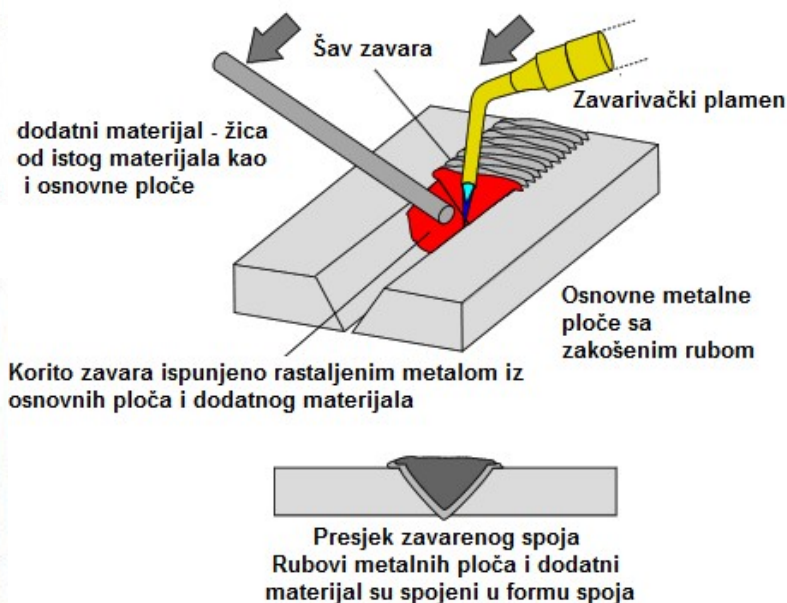
8.2 Zavarivanje

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

Zavarivanjem se smatra i spajanje nekih metala pritiskom, bez dovođenja topline. To je hladno zavarivanje.

Zavarivanje se može provesti različitim postupcima što ovisi o vrsti materijala koji spajamo, o debljini materijala, vrsti dodatnog materijala te pripremi površina koje se spajaju.

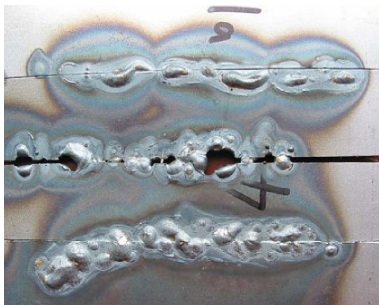
PLINSKO ZAVARIVANJE (AUTOGENO) ACETILENOM



Mjesto spoja nazivamo šav zavora. Šav zavora se kod kvalitetno provedenog postupka zavarivanja po svojim mehaničkim karakteristikama ne razlikuje od materijala koji smo spajali.

Zavarivanje je interdisciplinarna tehnologija te za razumijevanje i korištenje ove tehnologije je potrebno slijedeće:

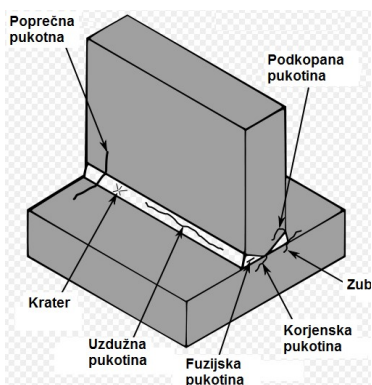
- poznavati materijale i metalurgiju – posebno metalurgiju zavarivanja,
- poznavati termodinamiku odnosno temperaturna polja pri zavarivanju,
- poznavati elektrotehniku odnosno izvore struje i električni luk,
- poznavati kemijske procese koji se odvijaju pri zavarivanju,
- te poznavati informatiku, ekspertne sustave, različite proračune, baze podataka i dr.



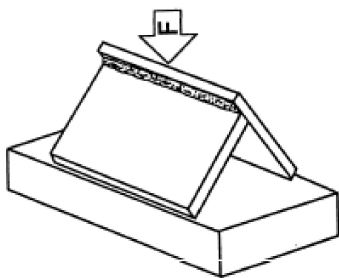
Test zavarljivosti na čeliku



Test zavarljivosti na aluminiju



Vrste pukotina kod zavarivanja



Test savijanjem do pojave prvih pukotina spoj se tlači te u zavaru dolazi do savijanja. Kada se pojave prve pukotine pokus se zaustavlja. Mjeri se kut kod kojeg je došlo do pojave prvih pukotina te se iz tablica očitava prema vrsti osnovnog materijala i postupka zavarivanja da li je materijal zavarljiv.

8.2.1 Zavarljivost

Kod postupka zavarivanja najvažniji pojam je zavarljivost.

Definicija zavarljivosti prema međunarodnom institutu za zavarivanje (IIW / IIS) je:

ČELIK JE ZA ODREĐENE SVRHE I NA ODREĐANI NAČIN ZAVARLJIV, AKO JE SPOSOBAN DA SE UPOTRIJEBI ZA IZRADU ZAVARA KAO KONSTRUKCIJSKOG ELEMENATA U ZAVARENOJ KONSTRUKCIJI U KOJOJ SE GARANTIRA KONTINUITET SPOJEVA.

PRI TOMU TI SPOJEVI PO SVOJIM MEHANIČKIM SVOJSTVIMA MORAJU ODGOVARATI LOKALNO NAŠIM ZAHTJEVIMA, A ISTODOBNO MORAJU BITI SPOSOBNI DA NA SEBE PRIME SVE GLOBALNE POSLJEDICE KOJE IZAZIVA POJAVA ZAVARENIH SPOJEVA U STROJARSKOJ KONSTRUKCIJI.

Zavarljivost se dijeli na lokalnu i na globalnu.

- Pod lokalnom zavarljivosti smatra se metalurška i operativna sposobnost spajanja materijala.
- Globalna ili konstruktivna zavarljivost je ponašanje konstrukcije i/odnosno sigurnost konstrukcije pod najnepovoljnijim radnim uvjetima.

Na zavarljivost metala utječu: kemijski sastav - poglavito postotak ugljika kod nelegiranih čelika, udio legiranih elemenata, nečistoće, debljina tj. dimenzije dijelova koji se zavaruju, vrsta dodatnog materijala, priprema spoja za zavarivanje, izbor tipa i dimenzija elektrode, brzina zavarivanja, oblik spoja, dimenzije žlijebe, ...

Ako nema homogenosti zavarenog spoja, pojavljuju se pukotine, poroznost, različiti nemetalni uključci,.. Time se zavarljivost metala često ocjenjuje kao sklonost pojavi pukotina.

Ugljični čelici sa postotkom ugljika $C < 0,25\%$ smatraju se zavarljivim, dok kod većih postotaka ugljika pojavljuju se problemi sa zakaljivošću, te takav čelik u normalnim uvjetima smatramo nezavarljivim.

Niskolegirani čelici su dobro zavarljivi uz predgrijavanje. Temperature predgrijavanja su od $50 - 350^{\circ}\text{C}$. To vrijedi i za neke visokolegirane čelike te nadržajuće čelike koji se moraju hladiti inertnim plinovima.

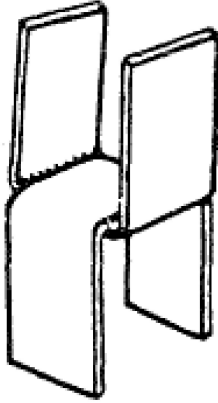
Sivi ljev je zavarljiv elektropostupcima uz predgrijavanje do 600°C . T

Zavarljivost je sposobnost spajanja materijala zavarivanjem.

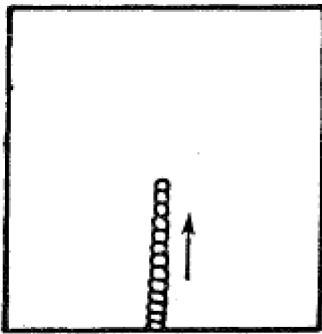
Probe zavarljivosti

Probe se mogu svrstati u tri skupine:

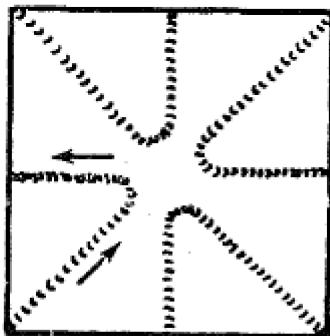
- Probe operativne zavarljivosti
- Probe metalurške ili lokalne zavarljivosti
- Probe konstruktivne ili globalne zavarljivosti



Pokus sličan prethodnom. Limene trake debljine 1-2mm duljine oko 100mm se križno zavare i savijaju dok se ne pojave prve pukotine. Time se određuje da li je materijal zavarljiv ili ne.



Jednostavno ispitivanje zavarljivosti – na limu se napravi zavar prema slici te se provjeri da li ima pukotina uz šav zavora. Ako nema pukotina materijal je zavarljiv.



Primjer ispitivanja zavarljivosti za nepoznati materijal. Postupak zavarivanja kreće iz vrha limene pločice prema sredini te se vraća na polovinu stranice. Kada se provede postupak zavarivanja iz svih vrhova, pregleda se da li su se negdje pojavile pukotine.

Probe operativne zavarljivosti moraju pokazati ponašanje metala kod taljenja te mogućnost dobivanja kvalitetno zavarenog spoja sa ili bez primjene operativnih vještina kao što su predgrijavanje ili upotreba specijalnih topitelja (praha), ...

Ove proba se svodi na vizuelni pregled presjeka (ili pod mikroskopom malog povećanja) u kojem se određuje karakter kristalizacije te eventualno prisustvo nekih grešaka kod zavarivanja kao što su različiti uključci, mjehuravost,...

Probe lokalne ili metalurške zavarljivosti moraju pokazati fizičko – kemijske transformacije osnovnog materijala pod utjecajem termičkih procesa prilikom zavarivanja.

Kod ovih proba ispituju se mehaničke karakteristike čeonog zavora. Naprezanja su statička i dinamička pri ekstremno visokim ili niskim temperaturama. Ispituje se tlačna i vlačna naprezanja, naprezanja kod savijanja i odreza, udarna naprezanja, žilavost, tvrdoća,...

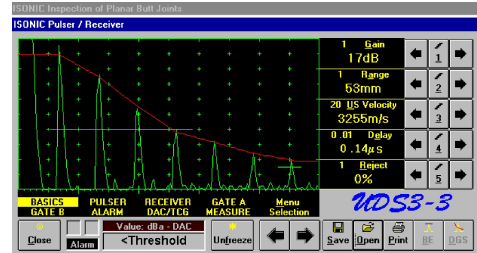
Probe konstruktivne ili opće zavarljivosti moraju pokazati pojavu pukotina kod zavarenog spoja ili osjetljivost spoja na sile rezanja (zareziivanje).

Probe se izvode na epruvetama ili na mehanički uklještenim tankim limovima.

Probe zavarljivosti moguće je provesti u laboratorijskom uvjetima i na terenu.

Eksparimenti koji se „isprobavaju na terenu“ su brzi rezultati ispitivanja mehaničkih naprezanja na zavarenom spoju koji daju zadovoljavajuće rezultate

Osim ovim razarajućim metodama provjere zavarljivosti, postoje i metode provjere kvalitete vara koje ne razaraju osnovni materijal. Tu se koristi ultrazvučno ispitivanje, radiografsko ispitivanje roendgenskim snimkama, magnetsko ispitivanje.



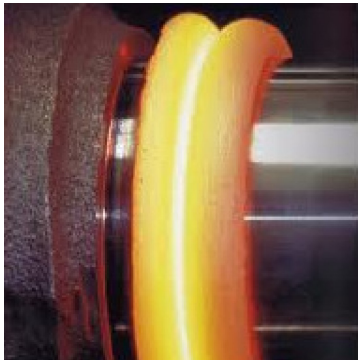
Ispitivanje zavarenog spoja ultrazvukom



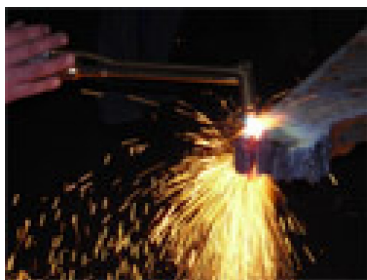
Kovačko zavarivanje



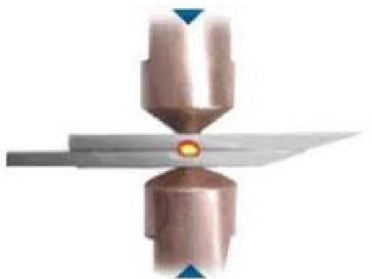
Hladno zavareni spoj



Zavarivanje trenjem



Plinsko zavarivanje - rezanje



Elektrotoporno zavarivanje

8.2.2 Podjela zavarivanja

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

- Zavarivanje pritiskom

- Kovačko zavarivanje
- Hladno zavarivanje
- Zavarivanje trenjem
- Zavarivanje eksplozijom
- Zavarivanje visokofrekventnom strujom
- Indukcijsko zavarivanje
- Zavarivanje difuzijom

- Zavarivanje taljenjem

- Plinsko zavarivanje
 - Zavarivanje propan - butan
 - Zavarivanje acetilenom
- Elektrolučno zavarivanje
 - Grafitnom elektrodom
 - Obloženom elektrodom
 - REL (MMA) – zavarivanje
 - Pod letvom
 - Gravitacijsko
 - Kontaktno
 - Golom elektrodom
 - Pod zaštitnim plinom
 - MIG / MAG
 - TIG
 - Pod zaštitnim praškom
 - EEP
 - Elektrodom – punjenom žicom
- Elektrotoporno zavarivanje
 - Točkasto
 - Bradavičasto
 - Šavno
 - Čeono
- Aluminotermijsko
- Pod troskom
- Ljevačko
- Laserom
- Plazmom
- Elektronskim mlazom



Aluminotermijsko zavarivanje