

# Šola varjenja – 1. del

## 1. O varjenju

### Kaj je varjenje

Varjenje je spajanje materialov z dovajanjem energije v enovito celoto, ki je ni več moč razdružiti brez porušitve oziroma uničenja predmeta, kot to lahko storimo na primer pri spajanju z vijačenjem ali kovičenjem. Enako kot za varjenje velja tudi za postopke spajkanja ali lepljenja, ki ju uvrščamo med tako imenovane varjenju sorodne postopke.

Z varjenjem lahko spajamo predmete s pomočjo toplotne energije ali pa z uporabo sile. Možna je tudi kombinacija obojega. Postopek varjenja ni omejen samo na kovinske materiale, ampak ga lahko uporabljamo tudi pri spajanju drugih materialov, kot so npr. plastične mase, steklo in drugi materiali. Pri varjenju lahko uporabljamo dodajni material, lahko pa varimo tudi brez njega. Uporabljamo lahko tudi pomožne materiale, kot so zaščitni plini ter varilni praški ali paste, ki olajšujejo varjenje. Pri talilnem varjenju preideta osnovni in dodajni material vedno v tekoče stanje, čemur pravimo talina vara. Po varjenju, ko se varjenec ohlaja, pa talina vara preide nazaj v trdno stanje. Za razliko od talilnega varjenja pri varjenju z uporabo sile osnovni material ne preide v tekoče stanje, ampak ostane v trdnem agregatnem stanju ali pa preide le do testastega stanja. Zato v takih primerih za uspešno spojitev nujno potrebujemo silo.

Varjenje nam omogoča izdelavo zapletenejših izdelkov, ki jih je težje ali celo nemogoče izdelati z drugimi postopki, npr. z ulivanjem ali s katero od mehanskih obdelav. Običajno predstavlja tudi cenovno

ugodnejšo izdelavo takega izdelka. Prednost je tudi ta, da lahko varimo praktično vse debeline materialov. S kontinuiranimi zvarnimi spoji dosegamo tudi tesnost, kar je potrebno pri izdelavi raznih rezervoarjev, tlačnih posod, cevovodov in podobno. Z neporušitvenimi metodami je možno po varjenju tudi preiskovati (kontrolirati) kakovost zvarnih spojev, ne da bi pri tem porušili (uničili) izdelek.

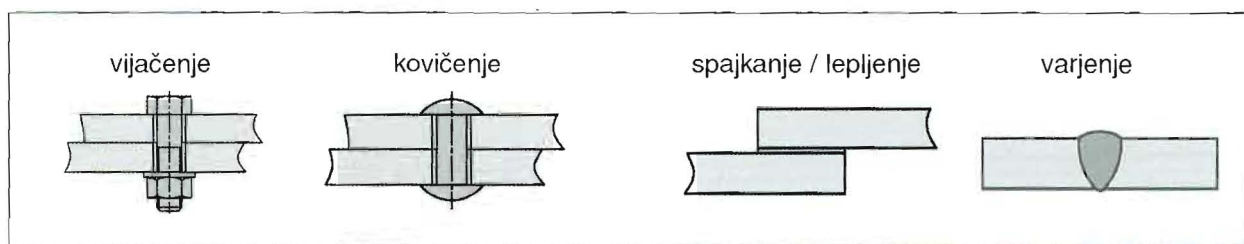
Varjenja se poslužujemo tudi takrat, kadar želimo z njegovo pomočjo le spremeniti lastnost površine nekega izdelka ali nadomestiti manjkajočo dimenzijo. V takih primerih ne gre za uporabo varjenja za spajanje, ampak govorimo o navarjanju.

Varilska dela je moč izvajati v temu namenjenih varilnicah, drugih zaprtih delavnicah, na terenu oziroma v odprtih objektih.

Vendar pa je za doseganje zahtevane kakovosti zvarnih spojev potrebno ustrezno poznavanje metalurških, mehanskih in konstrukcijskih lastnosti zvarnih spojev!

### Spajanje z varjenjem

Z varjenjem lahko spajamo materiale med seboj na veliko načinov. Različni načini varjenja se med seboj bistveno razlikujejo, zato tudi niso vsi enako primerni za posamezne materiale in varjene konstrukcije. Med seboj se razlikujejo po načinu vnosa energije v zvarni spoj, produktivnosti, možnosti avtomatizacije in drugih lastnostih. Predvsem pa se je potrebno zavedati, da ni univerzalnega načina oziroma postopka, ki bi imel v vseh pogledih najboljše last-



Slika 1: Različni postopki spajanja materialov

Tabela 1: Seznam najpogostejših načinov varjenja s številčnimi oznakami in mednarodnimi kraticami

Štev. ozn. po EN ISO 4063	Celotno ime	Evropska kratica	Ameriška kratica
111	Ročno obločno varjenje z oplaščeno elektrodo	MMA	SMAW
121	Obločno varjenje pod praškom z žico	SAW	SAW
131	Varjenje MIG	MIG	GMAW
135	Varjenje MAG	MAG	GMAW
136	Varjenje MAG s stržensko žico	MAG	FCAW
137	Varjenje MIG s stržensko žico	MIG	FCAW
141	Varjenje TIG	TIG	GTAW
15	Obločno plazemsko varjenje		PAW
21	Točkovno uporovno varjenje		RSW
311	Plamensko varjenje s kisikom in acetilenom	OFW	OAW
81	Plamensko rezanje		OFC
83	Plazemsko rezanje		PAC
912	Plamensko spajkanje		

nosti, ampak ima vsak svoje prednosti in slabosti. Zato je izbira ustreznega postopka odvisna od več faktorjev, npr. varivosti materiala, vrste zvara in spoja, proizvodnih zmožnosti, stroškovnega aspekta, varnostnih faktorjev in ostalega. Pregled najpogostejših načinov varjenja in spajkanja je podan v naslednjem organigramu:

## Spajkanje

Spajkanje kot sorodni proces varjenju se od varjenja razlikuje po tem, da se osnovni material ne tali, ampak se tali le dodajni material - spajka, brez katere postopek spajkanja tudi ni mogoč. Pri postopkih spajkanja ponavadi uporabljamo pomožne materiale (običajno talila), ki olajšujejo postopek spajanja.

V primerjavi z varjenjem porabimo manj energije, posledično zato tudi v spoj vnesemo manj toplote in so zaradi tega tudi deformacije manjše. Običajno tudi ne dobimo strukturnih sprememb v osnovnem materialu, vendar pa je potrebno računati z nižjimi mehanskimi lastnostmi spoja.

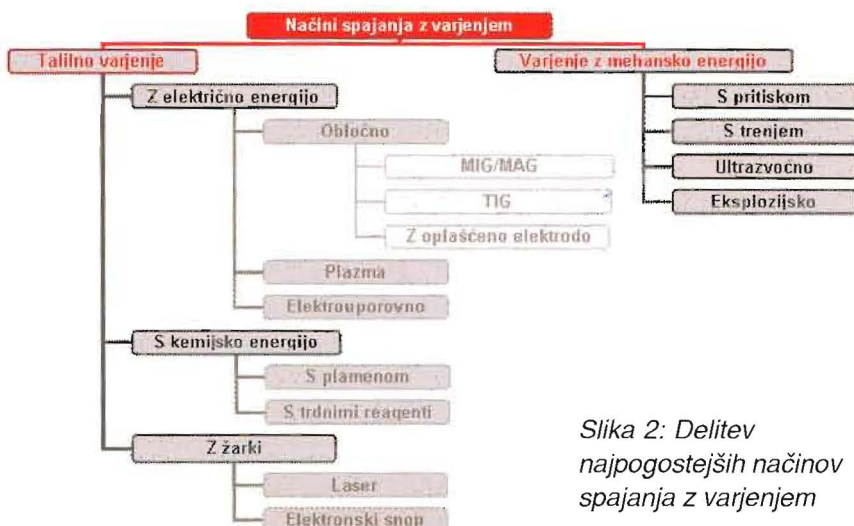
## 2. Osnovni pojmi s področja varjenja

### Način in postopek varjenja

Kadar gre za vrsto varjenja, ponavadi govorimo o načinu varjenja. Načine varjenja poimenujemo na primer: TIG varjenje, MIG ali MAG varjenje, plamensko varjenje, elektroporovno varjenje, ultrazvočno varjenje, lasersko varjenje, itd.

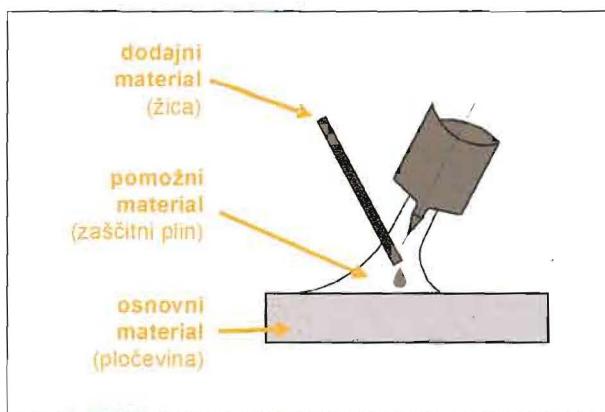
O postopku varjenja pa govorimo, kadar gre za točno določen postopek oziroma proceduro varjenja s točno določenim območjem vseh potrebnih varilnih parametrov, pri tem pa se uporablja eden od poznanih načinov varjenja.

V tabeli 1 so navedeni najpogostejši načini varjenja in varjenju sorodnih postopkov s številčnimi oznakami po SIST EN ISO 4063. Pri nekaterih so navedene tudi kratice, ki se zanje najpogosteje uporabljajo.



Slika 2: Delitev najpogostejših načinov spajanja z varjenjem





Slika 3: Osnovni, dodajni in pomožni material (pri TIG varjenju)

### Osnovni material

Osnovni material je tisti material, ki ga varimo, spajkamo, toplotno režemo ali kakorkoli drugače predstavlja predmet obdelave s katerimkoli postopkom varjenja ali varjenju sorodnim postopkom.

### Dodajni material

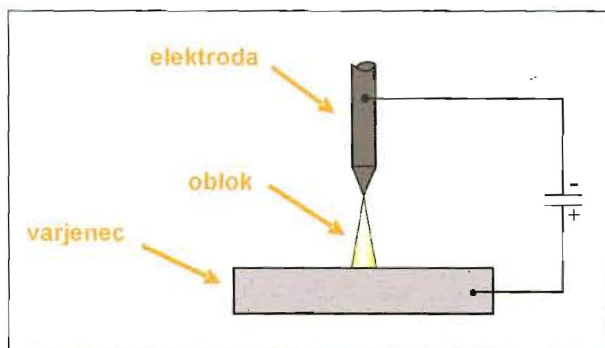
Dodajni material je tisti material, ki ga pri varjenju oziroma spajkanju dodajamo.

### Pomožni material

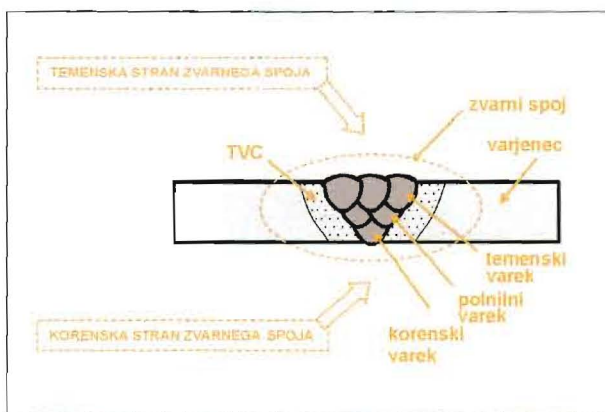
Pomožni materiali se pri varjenju uporabljajo le za olajševanje izvedbe postopka in ob tem niso sestavni del vara. To so predvsem zaščitni plini in razna talila.

### Elektroda

Pri taličnih postopkih varjenja s pomočjo električne energije nam elektroda služi za gorenje obloka. Lahko je netaljiva ali taljiva. Taljiva elektroda služi tudi kot dodajni material.



Slika 4: Elektroda in oblok (pri TIG varjenju)



Slika 5: Prikaz vseh pojmov v zvezi s sočelnim zvarnim spojem

### Varilni oblok

Varilni oblok je električno praznjenje v ioniziranem plinu. Pri obločnih varjenjih zagotavlja potrebno energijo za taljenje osnovnega in dodajnega materiala.

### Zvarni spoj

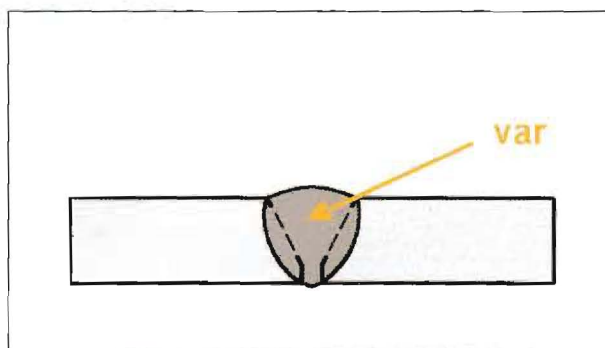
Zvarni spoj je celota, napravljena iz dveh ali več posameznih delov, ki so med seboj spojeni z varjenjem. Sestoji iz zvara ter okolice zvara, ki jo imenujemo tudi toplotno vplivana cona (TVC).

### Var

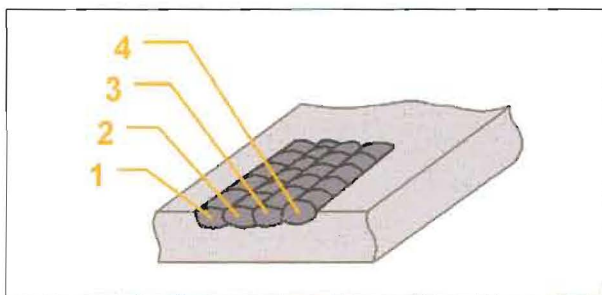
Var je celota, ki je bila med varjenjem raztaljena in kasneje strjena. Sestoji iz osnovnega materiala, pri varjenju z dodajnim materialom pa iz osnovnega in dodajnega materiala. Vare delimo na zvare in navare. Var lahko sestavlja tudi več varkov.

### Navar

Navarjanje je varjenje po površini varjenca, pri čemer varjenec medsebojno ne spajamo, ampak



Slika 6: Var

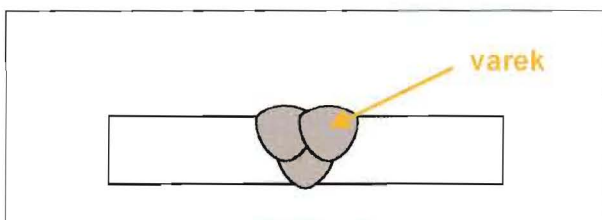


Slika 7: Navarjanje površine

želimo z navarjanjem doseči le želene lastnosti površine materiala ali njegovih dimenzij. Ponavadi se navarjanja poslužujemo, kadar želimo doseči drugačno lastnost površine, kot jo ima osnovni material, ali pa nadomestiti npr. izrabljeni material.

### Varek

Varek je strjen del kovine, ki je nastal v eni potezi varjenja.



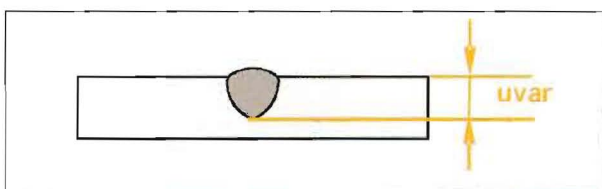
Slika 8: Varek

### Čisti var

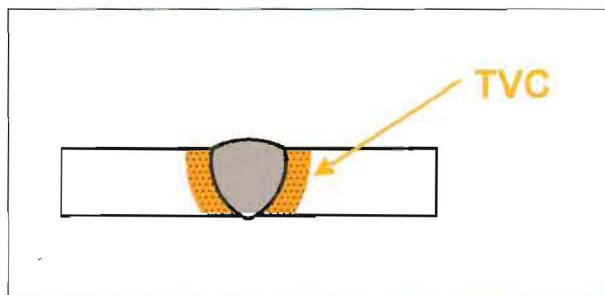
Čisti var je sestavljen samo iz dodajnega materiala.

### Uvar

Uvar je globina, ki jo z varom dosežemo v osnovnem materialu.



Slika 9: Globina uvara



Slika 10: Toplotno vplivana cona (TVC)

### Toplotno vplivana cona (TVC)

Toplotno vplivana cona je območje, kjer je zaradi vnosa toplote pri varjenju prišlo do strukturnih sprememb v osnovnem materialu. Običajno jo označimo s kratico TVC, v angleškem jeziku pa z kratico HAZ (Heat-Affected Zone).

### Varivost materiala

Varivost najlažje definiramo kot lastnost materiala, da se da variti in da ima izdelani zvarni spoj približno enake lastnosti kot osnovni material. Na varivost vplivajo:

### Žlindra

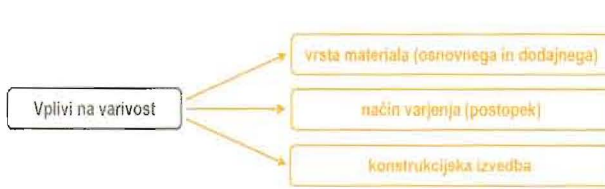
Žlindra je nekovinski produkt, ki pri nekaterih postopkih varjenja oziroma spajkanja nastane pri medsebojnem raztapljanju taline in nekovinskih nečistoč. Običajno nastane na površini zvara in jo je možno odstraniti. V kolikor se nahaja v zvaru, jo smatramo za nekovinski vključek oziroma nečistočo.

### Varilna napetost

Varilna napetost je tista napetost, ki se vzpostavi pri varjenju v obloku in je potencialna razlika med negativnim in pozitivnim priključkom na varilnem stroju. Napetost praznega teka varilnega stroja je običajno višja kot pri kasneje vzpostavljenem obloku oziroma varjenju. Električno napetost merimo v voltih (V).

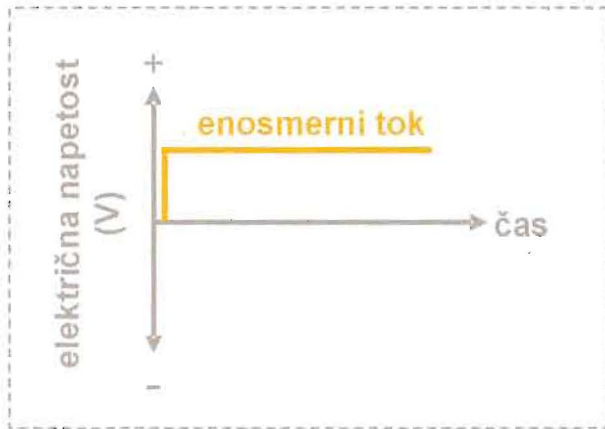
### Varilni tok

Varilni tok se vzpostavi z vžigom obloka in teče skozi varilni oblok. Zaradi električnega toka skozi



Slika 11: Vplivi na varivost





Slika 12: Enosmerni in izmenični tok

oblok se sprošča toplota, ki omogoča taljenje materiala. Za varjenje lahko uporabljamo enosmerni ali izmenični tok.

V osnovi enosmerni tok teče stalno v isti smeri in praviloma z enakomerno jakostjo. Nasprotno izmenični tok nepretrgoma z določeno frekvenco menjava smer in jakost. Jakost električnega toka merimo v amperih (A).

#### Medvarkovna temperatura

V nekaterih primerih je potrebno meriti medvarkovno temperaturo na posameznem varku. To je potrebno storiti zaradi doseganja določenih metalurških

lastnosti zvara. V takih primerih je predpisana najvišja (medvarkovna) temperatura, preden lahko pričnemo z varjenjem naslednjega varka.

#### Temperatura predgrevanja

Temperatura predgrevanja je tista temperatura, na katero mora biti varjenec ogret pred pričetkom varjenja, da bi se izognili določenim težavam, npr. pokaanju ali pomanjkljivim zvarnim spojem.

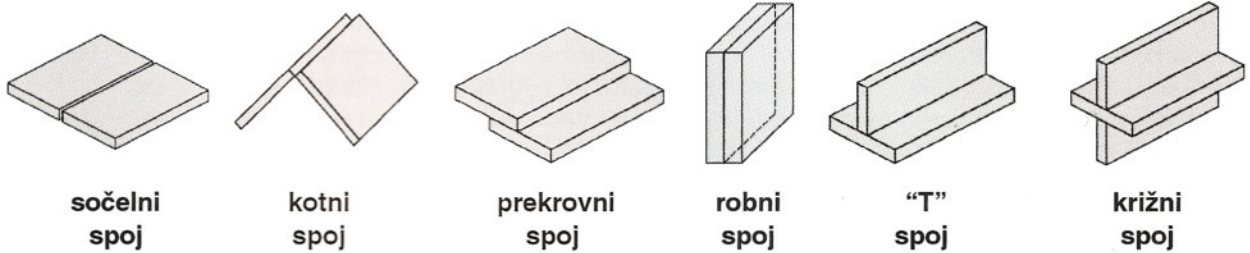
Peter Šprajc  
Institut za varilstvo

# Šola varjenja – 2. del

## 3 ZVARNI SPOJI

### 3.1 Vrste spojev

Spoje označujemo ter poimenujemo po medsebojni legi varjencev in po potrebi tudi z obliko njihovih zvarnih koncev. Na spodnji sliki so prikazane najpogostejše vrste zvarnih spojev:



Slika 14: vrste zvarnih spojev

### 3.2 Tipi zvarov

Poznamo več vrst (tipov) zvarov. Skupen pregled vseh možnih zvarov, njihovih poimenovanj in označevanj so podani v tabeli 2.

Tabela 2: poimenovanja, elementarni simboli in ilustracije zvarnih spojev

Poimenovanje	Oznaka (ISO 2553)	Videz vara
Sočelni zvar s privihom (s popolnim taljenjem priviha)		
Sočelni "I" zvar		
Sočelni enostranski "V" zvar		
Sočelni enostranski polovični "V" zvar		
Sočelni enostranski "Y" zvar		
Sočelni enostranski polovični "Y" zvar		
Sočelni enostranski "U" zvar		

Poimenovanje	Oznaka (ISO 2553)	Videz vara
Sočelni enostranski "J" zvar		
Korenski verek (varjen s korenske strani)		
Kotni zvar		
Očesni zvar		
Točkovni zvar		
Prekrovnj kolutni zvar		
Sočelni enostranski "V" zvar s strmim kotom		
Sočelni enostranski polovični "V" zvar s strmim kotom		
Robni zvar		
Navarjanje		
Ploskovni zvar		
Poševni zvar		
Zgibni zvar		
Sočelni obojestranski "V" zvar ("X" zvar)		
Sočelni obojestranski polovični "V" zvar		
Sočelni obojestranski "U" zvar		



# Šola varjenja – 3. del

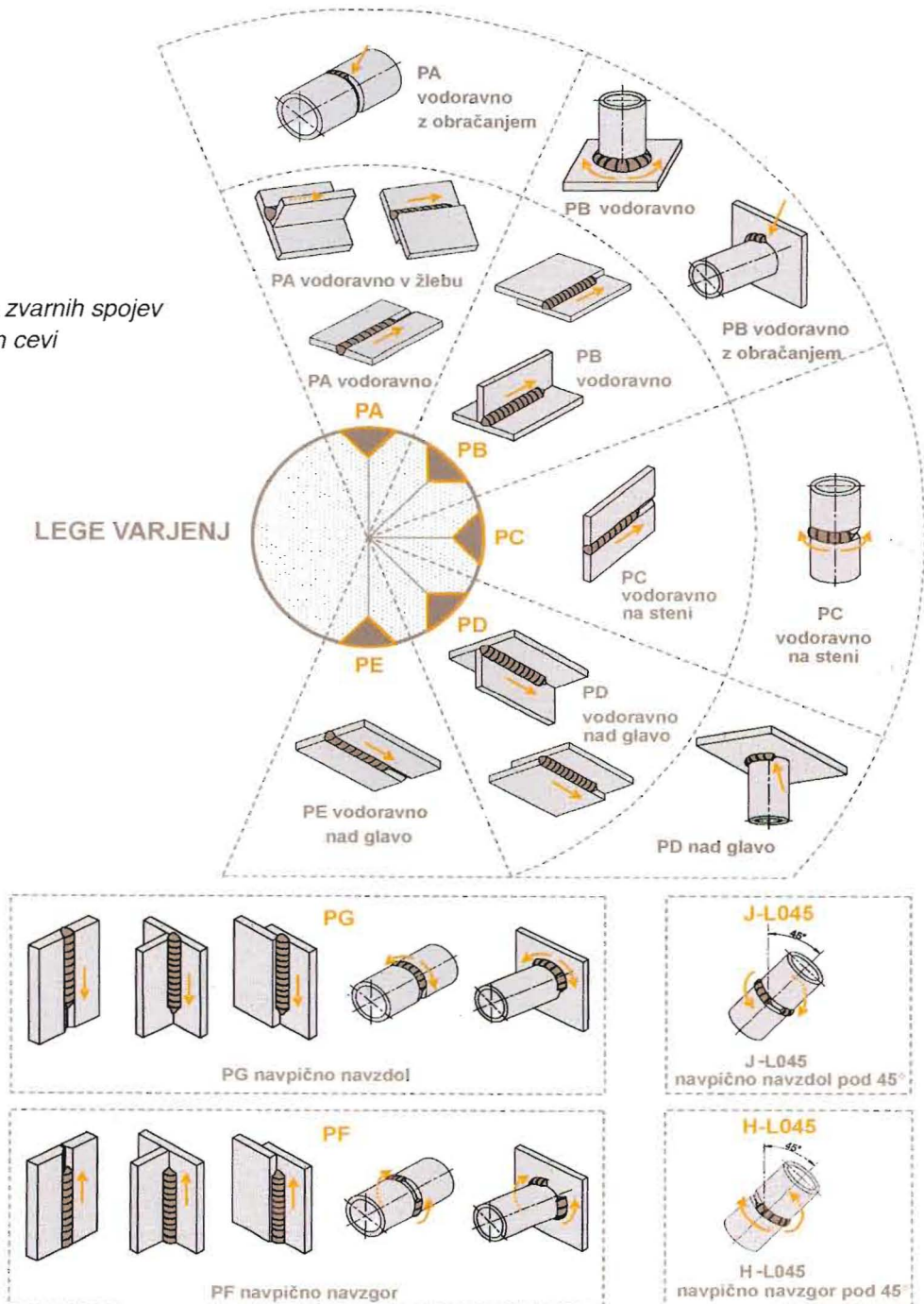
## 3.3 Lege varjenja

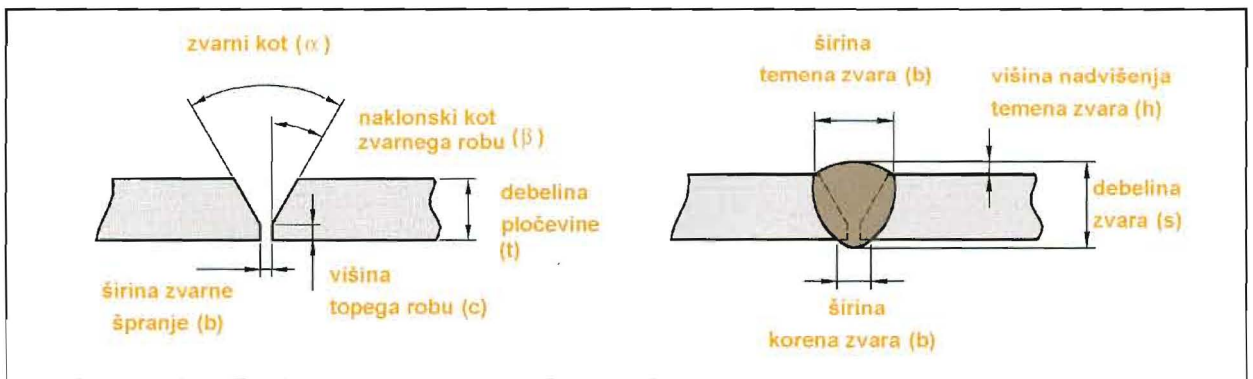
Lege varjenja ni odvisna od geometrije zvarnega spoja, ampak nam pove, v kateri legi (delovni poziciji) mora biti zvarni spoj izveden. Standard SIST

EN ISO 6947 definira te lege varjenja in pomaga določiti zvar v prostoru glede na vodoravno lego.

Vsaka lege varjenja nosi dvočrkovno oznako.

Slika 15: lege zvarnih spojev na pločevini in cevi





Slika 16: osnovne dimenzije za pripravo sočelnega spoja in dimenzije sočelnega vara

Prva črka je vedno "P", druga pa ponazarja posamezno lego varjenja, začenši z črko "A", ki določa vodoravno lego varjenja. Vsaka naslednja črka po abecednem redu definira drugo lego varjenja, praviloma pa se zahtevnost lege (izvedbe) varjenja z naraščajočo črko viša. Za lažjo predstavo je možno tako vse lege razporediti v krog, kjer posamezni krožni izsek ponazarja zvar v prerezu, narejen v dotični legi.

Vse možne lege varjenja za pločevine in cevi so prikazane na sliki 15.

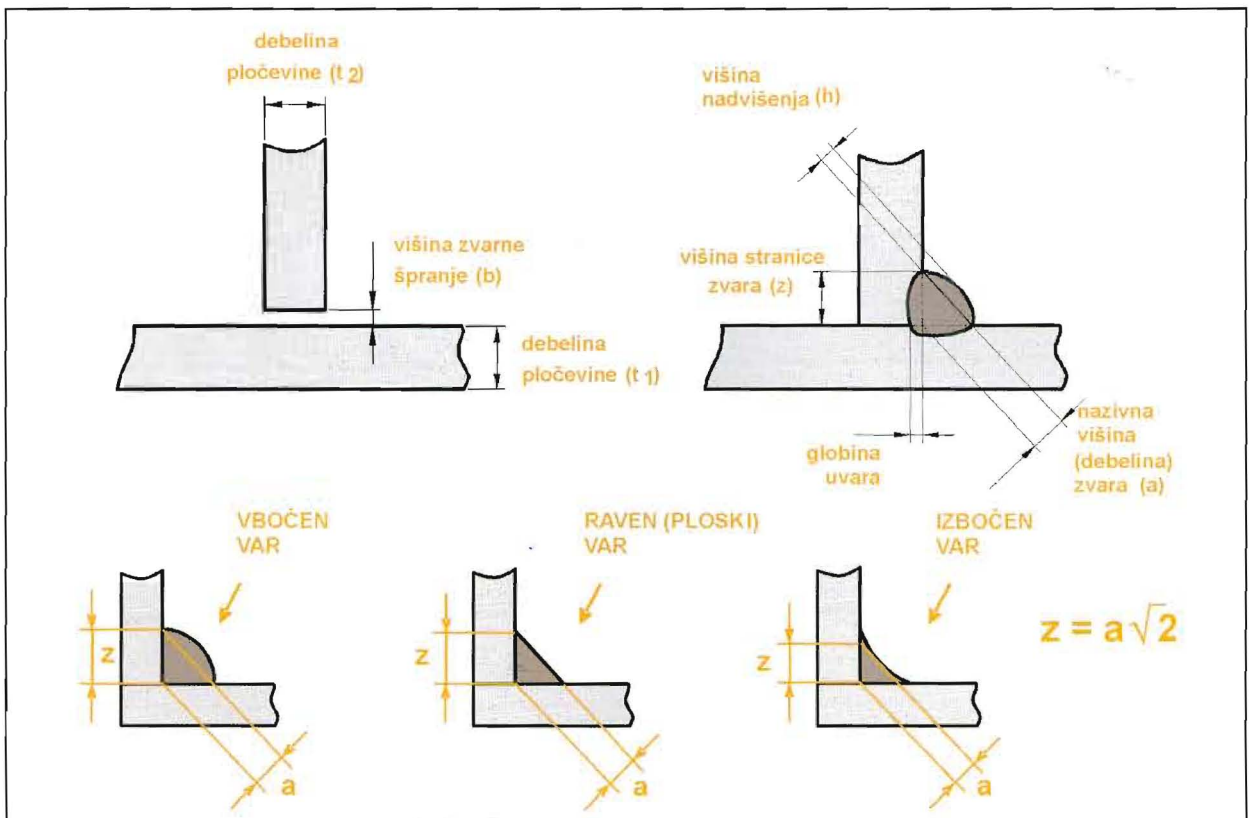
## Dimenzije zvarnih spojev

Osnovne dimenzije za pripravo sočelnega spoja

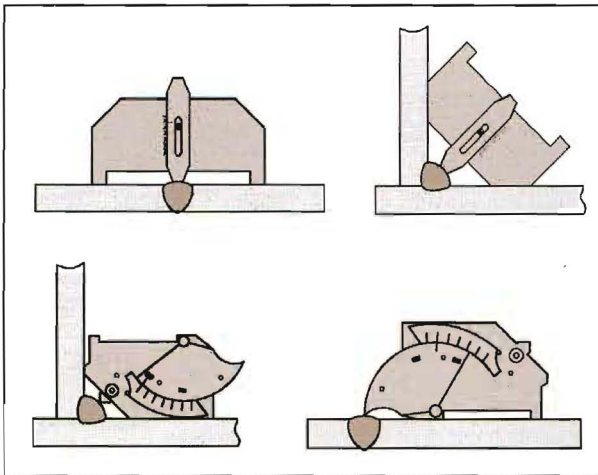
in sočelnega zvara so prikazane na sliki 16, za "T" spoj in kotni zvar pa na sliki 17.

## Merila za ugotavljanje dimenzije zvarov

Po varjenju, kot tudi med varjenjem, je potrebno ugotavljanje ustreznosti predpisanih dimenzij zvarov. To delo ponavadi opravlja kontrolor, lahko pa ga opravi tudi varilec sam. Pri tem si lahko pomaga z običajnimi merili ali šablonami, ki si jih lahko izdelata sam iz pločevine, kartona ali kakega drugega materiala. Najprimernejša pa je uporaba za to namenjenih posebnih meril. Imenujemo jih merilniki zvarnih



Slika 17: osnovne dimenzije za pripravo "T" spoja in dimenzije kotnega vara

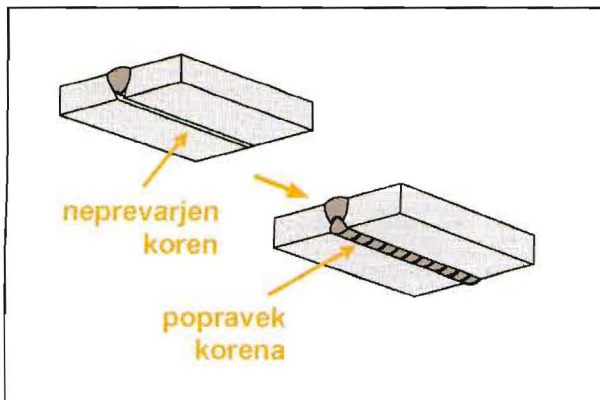


Slika 18: merila za dimenzijsko kontrolo zvarov

spojev, prikazani pa so na sliki 18.

## Popravek korena

V kolikor pri varjenju s korenskim varkom ne uspemo delno ali v celoti prevariti zvarnega robu, je potrebno to storiti z varjenjem popravka korena, ki ga izvedemo s korenske strani zvarnega spoja – slika



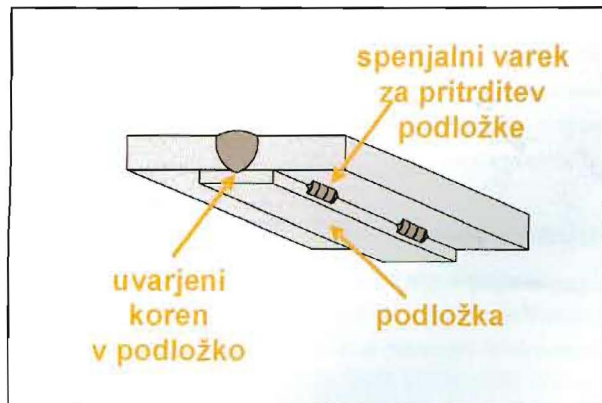
Slika 19: varjenje popravka korena na korenski strani zvarnega spoja

19. V kolikor je to mogoče, varjenec obrnemo, da bi na ta način bilo možno variti v (predvsem lažji) vodoravni legi. Pred varjenjem popravka korena je potrebno zvarno špranjo in koren korenskega varka ustrezno pripraviti. Tu gre za oblikovno pripravo, kot tudi odstranjevanje nečistoč in ostankov žlindre, nastale pri varjenju korenskega varka, kar je najbolje storiti z brušenjem.

## Varjenje na podložko

V kolikor konstrukcijske zahteve dovoljujejo, si lahko za (lažje) doseganje prevaritve korena pomagamo s podložko, ki jo pred varjenjem nastavimo na spodnjo (korensko) stran še neizdelanega zvarnega spoja – slika 20. Zaradi tega lahko potem varimo korenski varek z večjo talino, posredno pa zaradi tega dosežemo popolno prevaritev zvarnih robov. Podložka ob tem ostane privarjena na korensko stran zvarnega spoja in se je načeloma ne odstranjuje. V kolikor zahteve tega ne dovoljujejo, lahko uporabimo bakreno ali keramično podložko, ki pa je jo moč po zaključku varjenja brez težav odstraniti.

Peter Šprajc



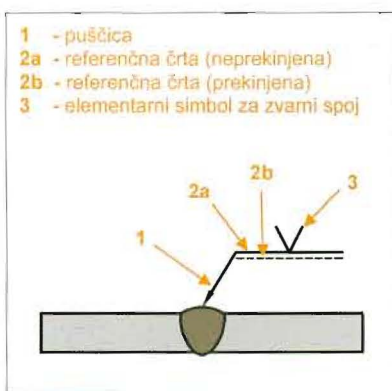
Slika 20: varjenje na podložko



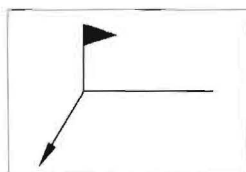
# Šola varjenja – 4. del

## 3.4 Označevanje zvarnih spojev

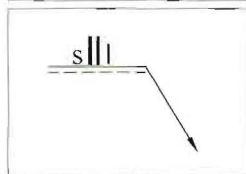
Označevanje zvarnih in spajkanih spojev na skicah, načrtih in drugi dokumentaciji določa standard SIST ISO 2553. Glede na to, da je tako označevanje predvsem simbolno in zaradi tega poenostavljeno se lahko zgodi, da so potrebne tudi dodatne informacije za dejansko izvedbo zvarnega oziroma spajkanega spoja. Te se običajno nahajajo v drugi dokumentaciji (npr. popisu varilnega postopka). Ne glede na to, pa je z takim simbolom določene informacije pri izvedbi spoja potrebno v celoti upoštevati.



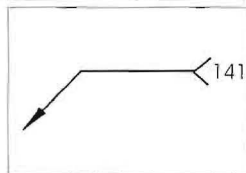
Slika 21: shematsko označevanje spoja



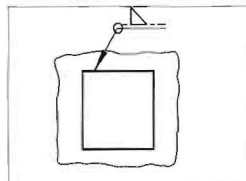
Slika 22: oznaka za montažni zvar



Slika 23: označevanje dimenzijskih mer spoja



Slika 24: oznaka postopka varjenja



Slika 25: oznaka za neprekinjen zvar (okrog)

## Postavitev simbolov za označevanje

Prikaz celotnega simbola za označevanje zvarnega oziroma spajkanega spoja je prikazan na sliki desno.

Puščica (1) kaže na mesto zvarnega oziroma spajkanega spoja, njena lega glede na spoj pa ni pomembna, razen pri polovičnih spojih, kjer mora biti puščica usmerjena proti robu, ki je obrezan. Referenčna črta (2) je vedno vodoravna, če pa to ni mogoče, je lahko tudi navpična. Elementarni simbol (3) se lahko nahaja nad ali pod referenčno črto (2). V kolikor se nahaja na strani neprekinjene referenčne črte (2a) je teme spoja na strani puščice, če pa se nahaja na strani prekinjene referenčne črte (2b), je teme spoja na nasprotni strani puščice.

Vsaka oznaka je dopolnjena tudi s številčnim podajanjem dimenzijskih mer, in sicer se mere, ki se nanašajo na prečni prerez pišejo na levi strani simbola, dolžine spoja pa na desni strani simbola, kot je prikazano na sliki 17. Možna je tudi uporaba dodatnih oznak, kot na primer, kadar je potrebno narediti neprekinjen zvar okrog varjenca (slika 18), kadar je potrebno narediti motažni zvar na mestu montaže varjenca (slika 19), ali pa številčne oznake postopka varjenja, ki se nahaja na koncu razcepljene referenčne črte (slika 20).

Mesto na koncu razcepljene črte je možno uporabiti tudi še za ostale informacije, kot na primer nivo sprejemljivosti napak v zvarnem spoju, lego varjenja, vrsto dodatnega materiala in podobno. Vsi navedeni podatki morajo biti med seboj ločeni z poševnico (/).

## 4 NAČINI VARJENJA

Seznam načinov s številčnimi oznakami in opisi za posamezen način varjenja je podan v standardu SIST EN ISO 4063:

Št. oznaka	Opis
1	obločno varjenje
101	obločno varjenje s taljivo elektrodo

Št. oznaka	Opis	Št. oznaka	Opis
11	obločno varjenje s taljivo elektrodo brez zaščitnega plina	232	neposredno bradavično varjenje
111	ročno obločno varjenje z oplaščeno elektrodo	24	uporovno obžigalno varjenje
112	gravitacijsko obločno varjenje z oplaščeno elektrodo	241	obžigalno varjenje s predgrevanjem
114	obločno varjenje s samozaščitno stržensko žico	242	obžigalno varjenje brez predgrevanja
12	obločno varjenje pod praškom	25	sočelno uporovno varjenje
121	obločno varjenje pod praškom z elektrodno žico	29	drugi načini uporovnega varjenja
122	obločno varjenje pod praškom z elektrodnim trakom	291	visokofrekvenčno uporovno varjenje
123	obločno varjenje pod praškom z več elektrodnimi žicami	3	plamensko varjenje
124	obločno varjenje pod praškom z dodajanjem kovine v prahu	31	plamensko varjenje s plamenom kisika in gorilnega plina
125	obločno varjenje pod praškom s stržensko elektrodno žico	311	plamensko varjenje s plamenom kisika in acetilena
13	obločno varjenje v zaščitnem plinu s taljivo elektrodno žico	312	plamensko varjenje s plamenom kisika in propana
131	obločno varjenje v nevtralnem zaščitnem plinu	313	plamensko varjenje s plamenom kisika in vodika
135	obločno varjenje v aktivnem zaščitnem plinu	4	varjenje s stiskanjem
136	obločno varjenje v aktivnem zaščitnem plinu s stržensko žico	41	ultrazvočno varjenje
137	obločno varjenje v nevtralnem zaščitnem plinu s stržensko žico	42	varjenje s trenjem
14	obločno varjenje z netaljivo elektrodo v zaščitnem plinu	43	kovaško varjenje
141	obločno varjenje z volframovo elektrodo v nevtralnem zaščitnem plinu	44	varjenje z visoko mehansko energijo
15	plazemsko obločno varjenje	441	eksplozijsko varjenje
151	plazemsko MIG varjenje	45	difuzijsko varjenje
152	plazemsko varjenje z dodajanjem kovine v prahu	47	plamensko varjenje s pritiskom
18	drugi načini obločnega varjenja	48	hladno varjenje s pritiskom
185	sočelno obločno varjenje z magnetno reguliranim oblokom	5	varjenje z žarkom
2	uporovno varjenje	51	varjenje z elektronskim snopom
21	točkovno uporovno varjenje	52	lasersko varjenje
211	indirektno točkovno uporovno varjenje	521	varjenje s trdnim laserjem
212	direktno točkovno uporovno varjenje (obojestransko)	522	varjenje s plinskim laserjem
22	kolutno uporovno varjenje	511	varjenje z elektronskim snopom v vakuumu
221	kolutno prekrovno varjenje	512	varjenje z elektronskim snopom v atmosferi
222	kolutno z gnetenjem	7	drugi načini varjenja
225	kolutno sočelno varjenje s folijo	71	aluminotermično oz. termitsko varjenje
226	kolutno varjenje s podložnim trakom	72	varjenje pod elektroprevodno žilindro
23	uporovno bradavično varjenje	73	elektro obločno varjenje v zaščitnem plinu v navpični legi
231	posredno bradavično varjenje	74	indukcijsko varjenje
		741	indukcijsko sočelno varjenje
		742	indukcijsko kolutno varjenje
		75	varjenje s sevanjem svetlobe
		753	varjenje z infrardečo svetlobo
		77	perкусиjsko varjenje
		78	varjenje čepov
		782	uporovno varjenje čepov
		783	obločno varjenje čepov s keramičnim obročkom ali zaščitnim plinom
		784	kratkotrajno obločno varjenje čepov
		785	obločno varjenje čepov z izpraznitvijo

Št. oznaka	Opis		
786	kondenzatorja (čep, dvignjen od površine varjenca v času vžiga obloka)	914	spajkanje s potapljanjem
787	obločno varjenje čepov z izpraznitvijo kondenzatorja (čep s konlčasto stično površino)	915	spajkanje v solni kopeli
788	obločno varjenje čepov s taljivim obročkom	916	indukcijsko spajkanje
8	rezanje in žlebljenje	918	uporovno spajkanje
81	plamensko rezanje	919	difuzijsko spajkanje
82	obločno rezanje	924	vakuumsko spajkanje
821	obločno rezanje z zrakom	93	ostali načini trdega spajkanja
822	obločno rezanje s kisikom	94	mehko spajkanje
83	plazemsko rezanje	941	mehko spajkanje z infrardečimi žarki
84	lasersko rezanje	942	plamensko mehko spajkanje
86	plamensko žlebljenje	943	mehko spajkanje v peči
87	obločno žlebljenje	944	mehko spajkanje s potapljanjem
871	obločno žlebljenje z zrakom	945	mehko spajkanje v solni kopeli
872	obločno žlebljenje s kisikom	946	indukcijsko mehko spajkanje
888	plazemsko žlebljenje	947	ultrazvočno mehko spajkanje
9	spajkanje, trdo spajkanje in varilno spajkanje	948	uporovno mehko spajkanje
91	trdo spajkanje	949	difuzijsko mehko spajkanje
911	spajkanje z infrardečimi žarki	951	mehko spajkanje z nalivanjem
912	plamensko spajkanje	952	spajkanje s spajkalnikom
913	spajkanje v peči	954	vakuumsko mehko spajkanje
		956	mehko spajkanje z vlečenjem
		96	drugi načini mehkega spajkanja
		97	varilno spajkanje
		971	plamensko varilno spajkanje
		972	obločno varilno spajkanje

Peter Šprajc  
Institut za varilstvo



# Šola varjenja – 5. del

## Najpogostejši načini varjenja

V nadaljevanju so na kratko opisani in shematsko prikazani najpogostejši načini ročnega in avtomatskega varjenja.

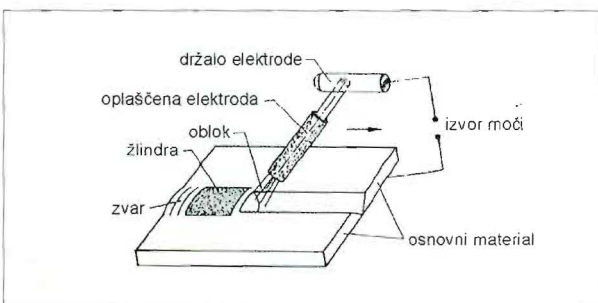
### 4.1 Ročni postopki varjenja

Ročno obločno varjenje z oplaščeno elektrodo [111]

Gre za elektro obločno talilno varjenje, pri katerem se za vzpostavitev in vzdrževanje obloka uporablja oplaščena elektroda, ki je sestavljena iz masivne žice in mineralne obloge (oplaščenja). Obenem le ta služi tudi kot dodajni material. Poznamo več vrst elektrodnih oplaščenj (npr. bazično, rutilno, celulozno, kislno,...), sestava oplaščenja pa lahko služi tudi za legiranje zvara. Izvori varilnega toka morajo imeti strogo padajočo statično karakteristiko. Stabilnost varjenja je zelo odvisna od ionizacije obloka in izvora varilnega toka.

Varjenje MIG/MAG [131/135]

Elektro obločno varjenje s taljivo elektrodo, pri katerem je oblok in del varilne kopeli zaščiten pred zunanjo atmosfero z aktivnim (MAG) ali inertnim plinom (MIG), ki ga dovajamo iz varilne šobe. Podajanje žice je avtomatsko z možnostjo cikla nataljevanja.



Slika 26: princip ročno obločnega varjenja z oplaščeno elektrodo

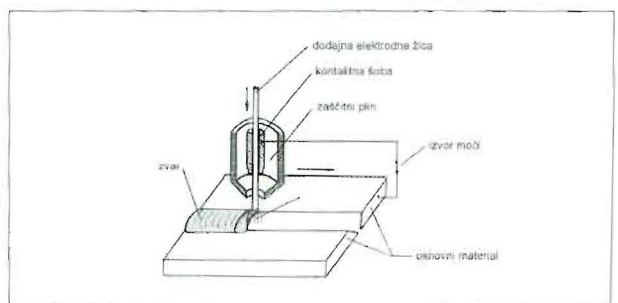
Gre za relativno produktiven postopek, možno pa ga je tudi avtomatizirati. Izvori varilnega toka morajo imeti vodoravno ali rahlo padajočo statično karakteristiko. Možno je variti z različnimi oblikami prehoda dodatnega materiala (kratkostični, kapljičast, pršeci, pulzirajoči ali rotirajoči).

Varjenje TIG [141]

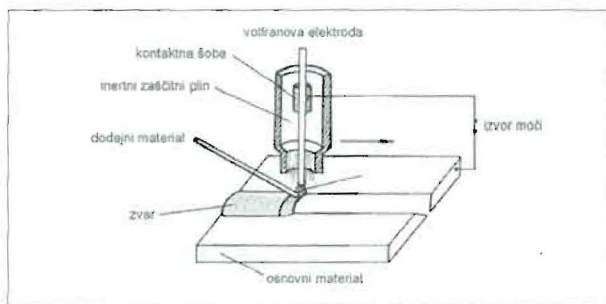
Elektro obločno varjenje z netaljivo volframovo elektrodo, ki služi izključno za vzpostavitev in vzdrževanje obloka. Pri varjenju je možna uporaba dodatnega materiala, možno pa je variti tudi brez dodajanja. V slednjem gre le za pretaljevanje osnovnega materiala. Oblok in talina zvara sta zaščiteni z neaktivnim (inertnim) plinom. Je vsestranski postopek in zelo široko uporaben. Z njim je možno variti praktično vse materiale. Praviloma je možno dosegati visoko kakovost zvarnih spojev, vendar pa je potrebno upoštevati njegovo relativno nizko produktivnost. Možna je tudi avtomatizacija postopka.

Plazemsko varjenje [15]

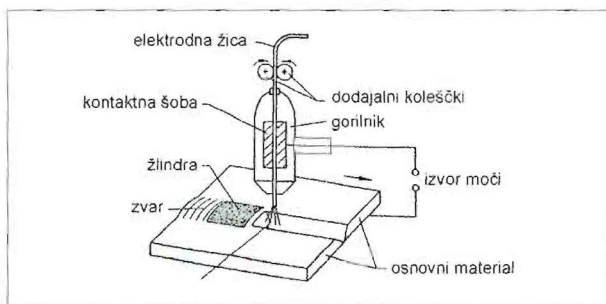
Obločno varjenje s pomočjo plazemskega obloka, dobljenega z ožanjem obloka. Zaščito elektrode, obloka in taline zvara zagotavlja tok zaščitnega plina.



Slika 27: princip MIG/MAG varjenja



Slika 28: princip TIG varjenja



Slika 30: princip EPP varjenja

## Plamensko varjenje [311]

Za taljenje osnovnega in dodajnega materiala se uporablja plamen, ki ga zagotavljamo z ustreznim gorilnikom. Za gorenje plamena se najpogosteje uporablja kombinacija kisik-acetilen, zato so sestavni del opreme za plamensko varjenje jeklenke za shranjevanje plinov. Zaradi svoje neodvisnosti je zelo primeren postopek za razna montažna in vzdrževalna varjenja. Možno je variti praktično vse materiale. Oprema se lahko uporablja tudi za plamensko spajkanje. Postopek plamenskega varjenja se počasi opušča.

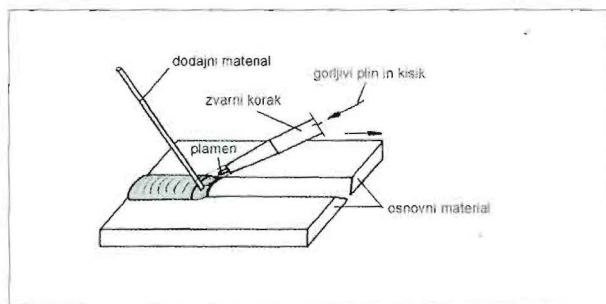
## Ostali načini varjenja

Ostali ročni načini varjenja so naslednji: termitno varjenje, varjenje pod žlindro, induktivno varjenje, lasersko varjenje, varjenje z elektronskim snopom in drugi načini.

## 4.2 Avtomatski postopki varjenja

### EPP varjenje

Elektro obločno varjenje pod praškom – obločno varjenje s taljivo elektrodo v obliki žice, ki se podaja avtomatsko in v zaščiti nasutega praška, katerega del se stali in tvori lahko odstranljiv sloj žindre. Ob-

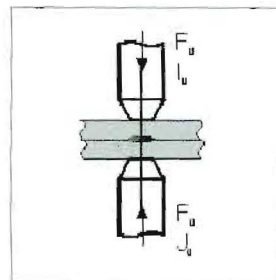


Slika 29: princip plamenskega varjenja

lok tako gori nevidno pod praškom. Nasut prašek oblikuje teme, obenem pa tudi metalurško reagira s talino. Je izredno visoko produktiven postopek, dosega mo pa tudi zelo kvalitetne zware. Zelo uporaben je tudi za navarjanje (z dodajnim materialom v obliki žice ali trakov). Njegova omejitev je predvsem lega varjenja, in sicer je možno variti le v vodoravni legi. Prav tako je potrebno računati z nekoliko višji stroški nabave opreme.

### Uporovno varjenje

Gre za način varjenja, pri katerem se zvar tvori s toploto, ki nastane zaradi upornosti materiala pri prehodu toka (*Jouleova toplota*). Vari se s prisotnostjo pritiskne sile. Najpogostejše oblike uporovnega varjenja so točkovno, bradavično in kolutno varjenje. Za doseganje kvalitetnega spoja je pomembna predvsem ustrezna nastavitve in krmiljenje varilnega ciklusa (čas in jakost pritiskne sile ter varilnega toka). Vsi stroji za uporovno varjenje so sestavljeni iz treh med seboj povezanih delov, t.j. iz mehanskega, električnega in krmilnega dela.



Slika 31: princip elektrouporovnega varjenja

### Ostali postopki

#### Ostali avtomatski postopki:

- varjenje s pritiskom
- ultrazvočno varjenje
- varjenje s trenjem
- kovaško varjenje
- eksplozijsko varjenje
- difuzijsko varjenje
- varjenje s pritiskom na hladno in drugi.

Peter Šprajc  
Institut za varilstvo



# Šola varjenja – 6. del

## 5. Napake pri varjenju ter njihovo ugotavljanje

### 5.1 Nepravilnosti v zvarnih spojih

Pri varjenju pogosto prihaja do nepravilnosti v samem varu, kot tudi toplotno vplivani coni. Pri tem je potrebno ločiti naslednje:

- **nepravilnost:** je vsako odstopanje od idealnega stanja (lahko je sprejemljiva ali nesprejemljiva)
- **napaka:** je vsaka nepravilnost, ki preseže nivo zahtevane sprejemljivosti nepravilnosti v zvaru

Razlogi za nastanek nepravilnosti v zvarnih spojih so lahko različni. Možni vzroki so lahko neustrezen postopek varjenja ali toplotne obdelave, neustrezen osnovni ali dodajni material, slaba priprava varjencev oziroma spoja in podobno. Pogosto povzroči nepravilnosti tudi varilec zaradi neustreznega vodenja gorilnika, pomanjkljivega čiščenja med varki, običajno pa zaradi neupoštevanja predpisanega postopka varjenja.

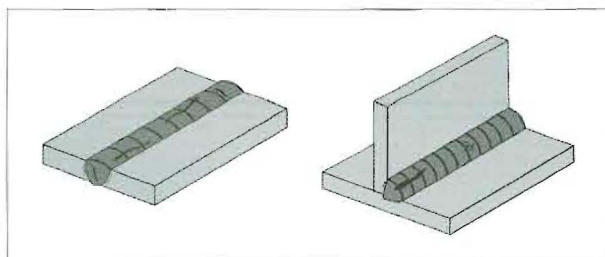
Klasifikacijo vseh možnih nepravilnosti v zvarih podaja standard SIST EN ISO 6520. Za lažje opisovanje ima vsaka nepravilnost tudi svojo štirimestno številčno oznako. Prva številka podaja eno od skupaj šestih osnovnih skupin, naslednje tri pa posamezno nepravilnost v tej skupini.

osnovna skupina	nepravilnost v skupini
Razpoke	1 XXX
Votlinice	2 XXX
Trdni vključki	3 XXX
Pomanjkljivosti spoja	4 XXX
Oblikovne napake	5 XXX
Ostalo	6 XXX

V nadaljevanju so zgoraj naštetih osnovnih skupin nepravilnosti v zvarnih spojih podrobneje opisane in tudi prikazane.

#### Razpoke

Razpoke so najbolj nevarne napake, ki se lahko pojavljajo pri varjenju. Do njih običajno pride med ohlajevanjem zvara in njegove okolice. Razlog je prevelika trdota zvara ali osnovnega materiala, ki nastane zaradi toplotnega vpliva in prevelike hitrosti ohlajanja varjenca. Možno je tudi, da razpoke nastanejo šele več dni



Slika 1: Razpoka v zvaru

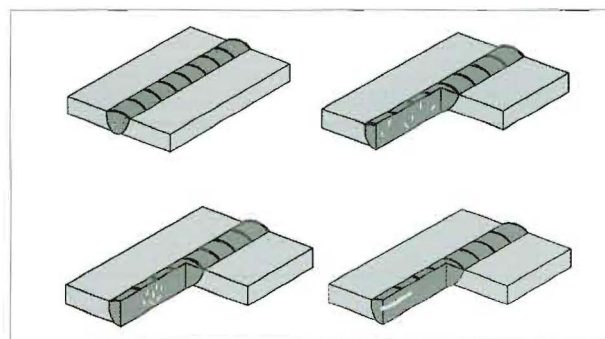
po varjenju. V takem primeru je vzrok prevelika količina vodika v zvaru. Razpoke lahko nastanejo v samem zvaru ali pa v toplotno vplivani coni, njihova oblika oziroma širjenje pa je lahko vzdolžno, prečno, globinsko ali razvejano.

#### Votlinice

Votlinice ali pore nastanejo v varu zaradi ujete ga plina, ki nastaja pri varjenju v talini in ob prehodu taline v trdno stanje ni uspel priti na površje. Lahko so posamične, razporejene enakomerno, v gruči ali linearno, lahko pa so tudi črvaste.

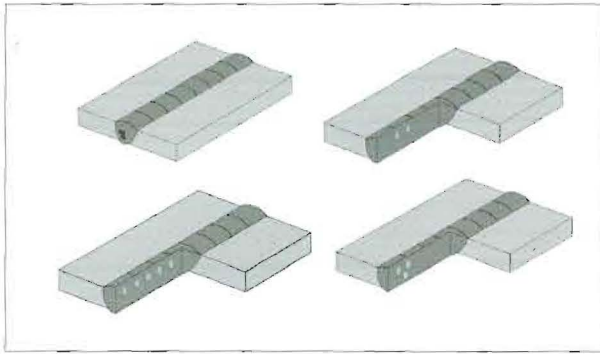
#### Vključki

Vključki so trdni tujki, ki se nahajajo v zvaru in so lahko različnih oblik (okrogli, paličasti, plastoviti, igličasti ter drugih oblik). Največkrat so to ostanki žlindre, talila, razni izločki ali drugi oksidi. Kadar gre za kovinske tujke (volfram, baker,...), govorimo o kovinskih vključkih in so običajno posledica odtaljevanja elektrode ali podložke.

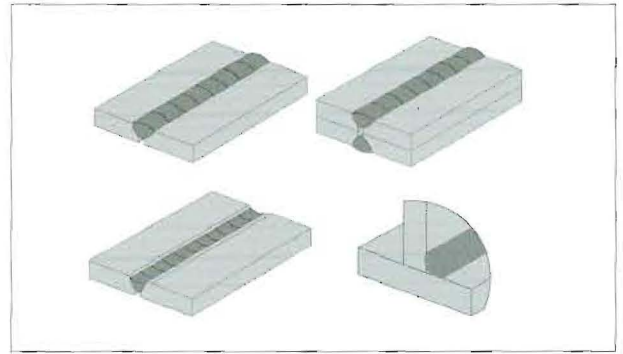


Slika 2: Poroznost v zvaru





Slika 3: Vključek v zvaru



Slika 4: pomanjkljivi spoji

### Pomanjkljivi spoji

Za pomanjkljiv spoj se največkrat smatra nepravilitev korena zvara, tako pri sočelnem, kot pri kotnem zvaru. Do pomanjkljivosti v spajanju lahko pride tudi med samimi varki, ali pa med varkom in osnovnim materialom. Posebej nevarna pomanjkljivost je zlep, ki nastane med varkom in osnovnim materialom, pri čemer ni prišlo do taljenja osnovnega materiala, ampak se je talina samo prilepila na površino zvarnega robu.

### Oblikovne napake

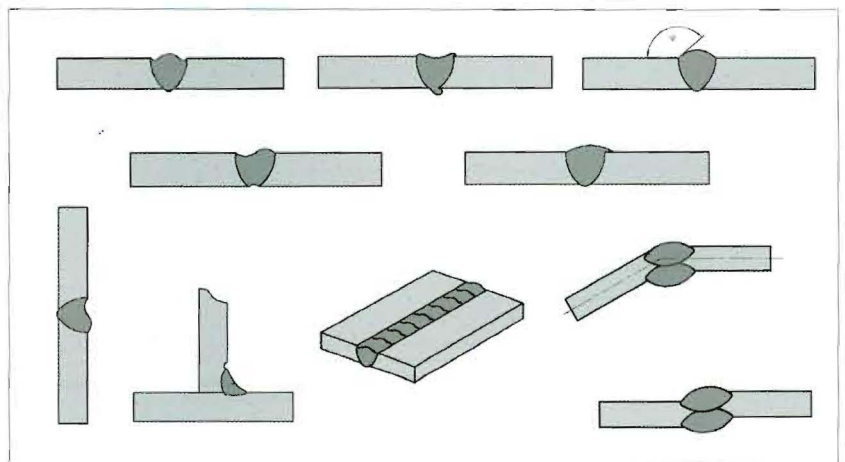
Neustrezne oblike ali dimenzije zvarnega spoja se smatrajo kot geometrijske nepopolnosti oziroma oblikovne napake. V pretežni meri so posledica nepravilnega izvajanja varjenja. To so predvsem slaba priprava, neustrezni parametri varjenja, običajno pa so napaka varilca zaradi neustreznega vodenja gorilnika. Med oblikovne napake uvrščamo zajede, previsoko ali prenizko teme zvara, povešen koren zvara oziroma zvarni kapnik, konkavnost temena zvara, zamik varjencev iz osi, neenakomernost ter slabo nadaljevanje zvara in podobno.

### Ostale napake

Med ostale napake štejemo vse tiste, ki jih ni mogoče uvrstiti v eno od prejšnjih petih skupin. To so:

- obžig obloka v bližini zvara zaradi preskakovanja ali vžiga obloka izven zvarnega žleba,
- obrizgi oziroma strjene kapljice taline, ki med varjenjem brizgajo in se lepijo na površino materiala ali zvara,
- brizganje volframa, katerega delci se nalepijo na površino osnovnega materiala ali zvara,

Slika 5: Oblikovne napake



- pretrgi na površini kot posledica poškodb površine zaradi odstranitve z lomom začasno privarjenih pomožnih sredstev
- zabrusi in zaseki, ki nastanejo zaradi pretiranega brušenja zvara ali uporabe dleta,
- nepravilnosti zaradi prevelikega vpliva spenjalnih varkov,
- toplotno obarvanje površine zvarnega spoja (predvsem pri nerjavnih jeklih),
- škajasta oziroma močno oksidirana površina zvara,
- ostanki talila ali žindre,
- nepravilna reža v korenu kotnih zvarov in
- nabrekanje zaradi pretiranega segrevanja zvarnih spojev pri lahkih zlitinah kot posledica predolgega zadrževanja v fazi strjevanja.

### 5.2 Vzroki za nepravilnosti v zvarnih spojih

Vzroki za nastanek nepravilnosti v zvarnih spojih so lahko zelo različni. Lahko gre za neustrezen osnovni, dodajni ali pomožni material, neustrezno tehnologijo (postopek) varjenja, vpliv okolice, možni pa so tudi drugi vzroki.

Peter Šprajc

# Šola varjenja – 7. del

## 5.3 Ugotavljanje nepravilnosti v zvarnih spojih

V povezavi z varjenjem se skoraj vedno srečamo tudi z preiskavami in preskušanja zvarnih spojev. V grobem jih delimo na:

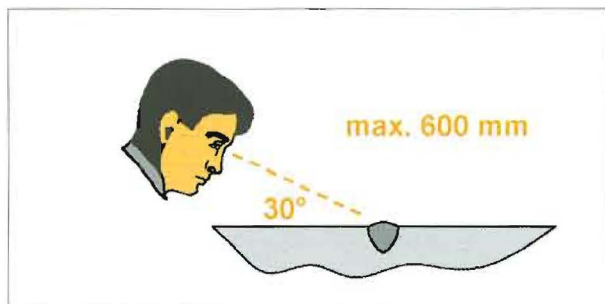
- **neporušitvene preiskave** (z izvedbo preiskave izdelka ne poškodujemo)
- **porušitvene preiskave in preskušanja** (z izvedbo preiskave oziroma preskušanja izdelek trajno uničimo)

Neporušitvene preiskave uporabljamo vedno takrat, kadar želimo preveriti kakovost izdelka po njegovi izdelavi (varjenju). Predvsem želimo preiskati oziroma ugotoviti morebitne notranje nepravilnosti v zvarnem spoju. Uporabimo lahko na primer radiografsko ali ultrazvočno metodo, s katerima ugotovimo morebitno poroznost, vključke ali ostale nesprejemljive nepravilnosti. Porušitvene preiskave oziroma preskušanja za ta namen niso primerna, saj bi za ta namen izdelek morali uničiti.

Kadar pa smo še v fazi ugotavljanja ustreznosti nekega varilnega postopka, ki ga bomo kasneje uporabljali za izdelavo nekega izdelka, pa je potrebno na vzorčnem spoju izvesti, tako neporušitvene preiskave, kot porušitvene preiskave in preskušanja. Poleg katere od neporušitvenih preiskav moramo obvezno izvesti še dodatna porušitvena preskušanja, na primer merjenje trdote na obrusu, ali merjenje udarne žilavosti na etalonu. Na podlagi tako dobljenih rezultatov preiskav in preskušanj lahko ocenimo primernost varilnega postopka za uporabo.

### 5.3.1 Neporušitvene preiskave

S pomočjo neporušitvenih preiskav je možno odkrivanje nepravilnosti tako na površini, kot v notranjosti preiskovanega objekta (končnega izdelka, materiala, zvarnega spoja,...), ne da bi pri tem uničili preiskovanec. Zato neporušitvene preiskave običajno uporabljamo takrat, kadar želimo ugotoviti (končno) kakovost nekega izdelka oziroma sprejemljivost morebitnih nepravilnosti na ali v njem.

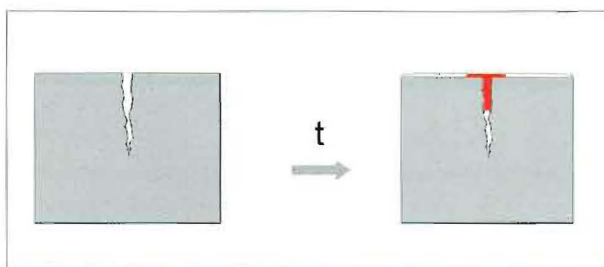


Slika 1. Največja oddaljenost in kot opazovanja pri vizualni preiskavi

### Vizualna preiskava (visual testing - VT)

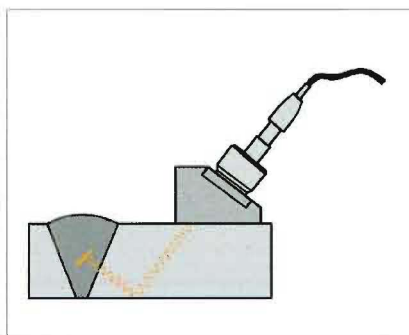
Vizualna preiskava je najstarejša, obenem pa tudi najbolj razširjena in tudi najširše uporabna neporušitvena preiskava. Primerna je za preiskovanje površinskih napak, kvalitete površin in ugotavljanje predpisanih mer. Je enostavna, za osnovno izvedbo pa tudi ne potrebujemo dragih pripomočkov. Njena uporaba je smiselna že med samimi fazami varjenja, skoraj obvezna pa po vsakem zaključenem varjenju. Običajno jo je potrebno izvesti pred vsako drugo neporušitveno preiskavo (npr. ultrazvočno, radiografsko,...), saj je možno že z njo odkriti morebitne površinske napake. Na ta način lahko prihranimo stroške izvedbe katere od dražjih neporušitvenih preiskav. Priporočljiva največja oddaljenost objekta preiskave pri vizualni kontroli je 600 mm, kot opazovanja pa ne sme biti manjši od 30°.

Najpogostejši in obenem najenostavnejši pripomočki za izvedbo vizualne preiskave so razne lupe,



Slika 2: princip delovanja penetrantske preiskave





Slika 3.  
Princip  
delovanja  
ultrazvočne  
preiskave

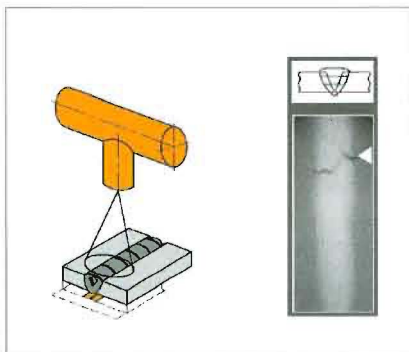
ogledalca in merilniki, če pa osvetljenost preiskovanca ni zadostna, je potrebno uporabiti tudi ustrezne izvore svetlobe. Pri preiskavah težko dostopnih mest je možno uporabiti razne kamere ali pa katerega od endoskopov, vendar pa je potrebno pri tem računati z uporabo drage opreme.

Omeniti je tudi potrebno, da mora kontrolor imeti zahtevane dobre psihofizične sposobnosti, predvsem ustreznost vida.

#### Preiskava s tekočimi penetranti (penetrant testing - PT)

S pomočjo preiskave s tekočimi penetranti je možno odkrivati izključno napake, ki prehajajo na površino, sicer pa je njihov izvor v notranjosti preiskovanca. Pri preiskavi zvarnih spojev so to najpogostejše razpoke, poroznosti ali zlepi. Možno je preiskovati vse vrste materialov, med drugim tudi plastične mase, keramiko in druge materiale.

Pred izvedbo preiskave je potrebno površino, ki jo želimo preiskati, temeljito očistiti s sredstvom, ki je temu namenjeno. Nato na površino preiskovanca nanese penetrantsko sredstvo (ponavadi v sprayu), ki mora imeti dobro omočljivost, da prodre v notranjost morebitnih napak. Čas njegovega delovanja je potrebno pustiti skladno z navodili proizvajalca penetrantskega sredstva, običajno 15 do 30 minut. Nato odvečno količino s sredstvom za čiščenje odstranimo. Zatem nanese razvijalec, ponavadi prav tako s sprejem. Ta omogoča prehod penetrantskega sredstva iz napake na površino, obenem pa tudi njegovo



Slika 4:  
princip  
radiografske  
preiskave in  
radiografski  
posnetek  
razpoke v  
zvaru

vidnost. Običajno je razvijalec bele barve, lahko pa je tudi fluorescenten, in je penetrant viden le ob sočasni uporabi ultravijolične svetlobe.

#### Ultrazvočna preiskava (ultrasonic testing - UT)

S pomočjo ultrazvočne preiskave lahko ugotovljamo nepravilnosti po celotni globini materiala ali zvara, ki ga preiskujemo. Pri ultrazvočni preiskavi s pomočjo različnih ultrazvočnih glav prenašamo valovanje v globino preiskovanca. Ob vsaki nepravilnosti (razpoki, poroznosti, vključku, ...) se to valovanje nekoliko oslabiljeno odbije nazaj, zajamemo pa ga z drugo ultrazvočno glavo. Lahko ga zajamemo tudi z isto glavo (tako imenovano kombinirano glavo), kot smo valovanje tudi proizvedli. V obeh primerih pa lahko z analizo takega odboja odkrijemo morebitne nepravilnosti, kot tudi njihovo velikost in položaj v preiskovancu.

#### Radiografska preiskava (radiographic testing - RT)

Tudi s pomočjo radiografske preiskave lahko ugotavljamo prisotnost morebitnih nepravilnosti po celotnem objektu, ki ga presevamo z žarki določene valovne dolžine. Po razvitju filma, ki se je ob presevanju nahajal na zadnji strani presevanega preiskovanega objekta dobimo sliko (negativ), na osnovi katere je moč prepoznati nepravilnosti (poroznost, vključki, neprevarjenost, ...) v materialu ali zvaru.

Kot izvor sevanja za preslikanje objekta preiskave je možno uporabiti rentgen ali izotop. Četudi je radiografska preiskava najbolj razširjena metoda za odkrivanje notranjih nepravilnosti, pa je zaradi človeku škodljivega sevanja, pri njeni uporabi potrebno upoštevati vse predpisane varnostne zahteve.

#### Preiskava z magnetnimi delci (magnetic particle testing - MT)

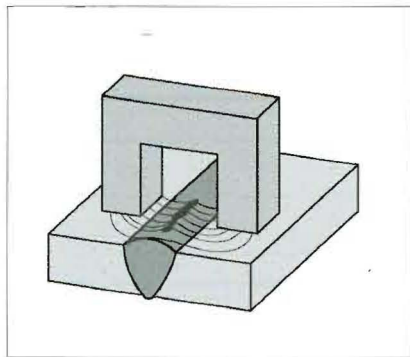
S preiskavo z magnetnimi delci je možno odkrivati napake na površini preiskovanca, ali pa tik pod njo. Preiskovati je možno izključno feromagnetne materiale.

Na površino, ki jo želimo preiskovati nanese emulzijo, ki vsebuje feromagnetni prah (magnetni delci). Z vzpostavitvijo magnetnega polja v preiskovancu povzročimo, da se magnetni delci nad morebitno napako odzovejo drugače, kot bi se sicer ob idealni postavitvi brez napak v preiskovancu. Na ta način je možno določiti položaj, obliko in velikost posamezne napake. Možna je uporaba črnih magnetnih delcev na beli podlagi, ki so vidni pri običajni sončni svetlobi ali pa fluorescentnih delcev, vendar ob njihovi uporabi



*Slika 5: princip preiskave z magnetnimi delci*

potrebujemo še ultravijolično svetilko, saj je delce možno videti le z njeno pomočjo.

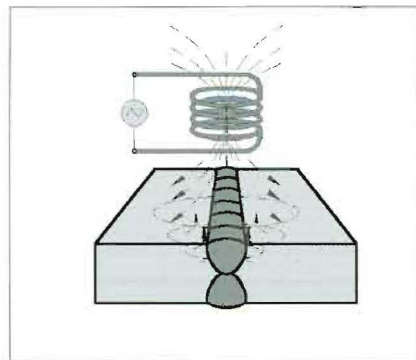


Preiskava z vrtninčnimi tokovi (eddy current testing - ET)

Tudi s preiskavo z vrtninčnimi tokovi lahko odkrivamo napake le na površini preiskovancev ali tik pod njo. Preiskava temelji na principu elektromagnetne indukcije. V preiskovancu s pomočjo primarne tuljave induciramo elektromagnetno polje v preiskovancu. V kolikor se v njem nahajajo napake, le te povzročijo spremembo elektromagnetnega polja, ki ga zajamemo s pomočjo indukcije v sekundarni tuljavi. S pomočjo

*Slika 6: princip preiskave z vrtninčnimi tokovi*

analize spremembe elektromagnetnega polja, oziroma tako poimenovanimi vrtninčnimi tokovi, lahko ugotovimo velikost in položaj napake v preiskovancu.



Preiskava tesnosti (leakage testing - LT)

Preiskavo tesnosti izvajamo takrat, kadar želimo ugotoviti morebitno puščanje npr. tlačne posode, rezervoarja, cevovoda ali podobnega objekta. Ob morebitni ugotovitvi puščanja, je s preiskavo možno locirati tudi mesto in velikost puščanja.

Samo preiskavo izvedemo na ta način, da v objektu (npr. rezervoarju) ustvarimo tlak ali vakuum, na merilniku tlaka (instrumentu), ki mora biti na nekem mestu obvezno vključen v cel sistem preskušanja, pa odčitamo morebiten padec ali porast tlaka. Če na ta način ugotovimo puščanje, pa lahko z nadaljevanjem preiskave ugotovimo tudi mesto puščanja na ta način, da na zunanji strani objekt premažemo z določeno tekočino, ki nam služi kot indikator morebitnega puščanja. Če je izbrani indikator na primer milnica, se bodo na mestu puščanja tvorili milni mehurčki.

### 5.3.2 Porušitvene preiskave in preskušanja

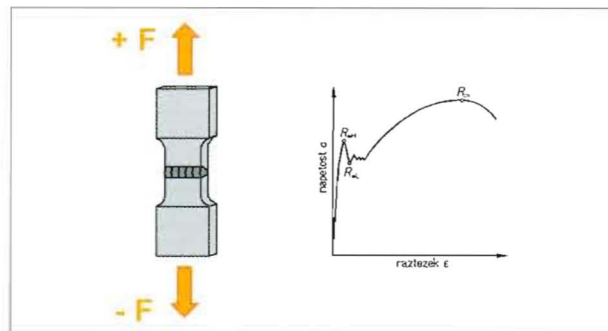
S pomočjo porušitvenih preiskav in preskušanj ugotavljamo (mehanske) lastnosti preiskovanega objekta (končnega izdelka, materiala, zvarnega spoja, ...). Če na primer preiskujemo zvarni spoj, to naredimo tako, da ga na različne načine obremenjujemo z mehanskimi silami, ali celo dokončno porušimo. Med obremenjevanjem ali porušitvijo lahko iz dobljenih vrednosti (rezultatov) ugotavljamo in ovrednotimo posamezne lastnosti. Ponavadi je težko preskušati celoten objekt, zato je potrebno iz njega vzeti le vzorčen del, ki mu pravimo preskusni etalon ali epruveta, na katerem potem izvedemo preiskave in preskušanja. Pri izvedbi kakršnihkoli porušitvenih preiskav in preskušanj pa je potrebno upoštevati, da zaradi uničenja izdelka ne bomo mogli več uporabljati.

### Natezni preskus

Z nateznim preskusom ugotavljamo trdnostne lastnosti kovin in zlitin, napetost tečenja (mejo plastičnosti), natezno trdnost in modul elastičnosti. Te številčne podatke lahko neposredno uporabimo pri trdnostnih izračunih gradbenih in drugih konstrukcijskih elementov.

Natezne preskuse izvajamo na posebnih preizkuševalnih strojih, tako imenovanih trgalnih strojih, s predpisano enakomerno naraščajočo hitrostjo obremenjevanja preskušancev, ki so prirejeni tako, da pri obremenjevanju nastanejo v materialu enosne napetosti in linearni raztegi. Preskus izvedemo praviloma do pretrga preskušanca, lahko pa tudi le do zahtevane obremenitve ali raztega. Lastnosti materiala ugotavljamo iz razmerja med obremenilno silo  $F$  in raztegom  $\Delta L$  preskušanca, na podlagi česar dobimo diagram odvisnosti med napetostjo in specifičnim raztekom, ki je prikazan na sliki x.

Peter Šprajc



Slika 7: natezni preskus in diagram odvisnosti napetosti ( $\sigma$ ) od raztežka ( $\epsilon$ ) za običajno jeklo

# Šola varjenja – 7. del

## Tlačni preskus

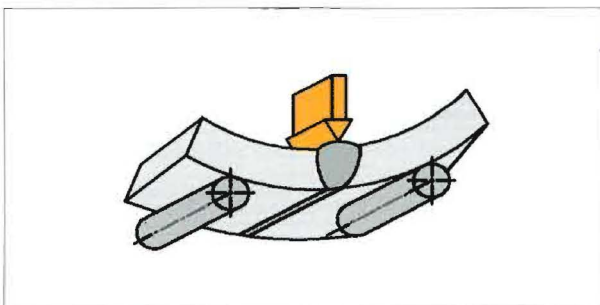
S tlačnim preskusom določamo trdnostne lastnosti materialov, ki so v uporabi obremenjeni prvenstveno na tlak, ali pa so krhki in ne prenesejo nateznih deformacij. Takšna je na primer siva litina, ki ima bistveno večjo tlačno kakor natezno trdnost. Preskus izvedemo tako, da preskušavec s pomočjo stroja stisnemo do določene višine ali pa do tiste višine, pri kateri nastanejo na površini prve razpoke. Iz napetosti, izračunane iz tlačne sile na vsakokratni prerez preskušanca, lahko konstruiramo diagrame tečenja, ki omogočajo določitev faktorja utrjevanja in splošno ocenitev sposobnosti materiala za plastično preoblikovanje.

## Upogibni preskus

Upogibni preskus izvedemo tako, da preskušavec obremenjujemo s trnom določenega premera na sredini med dvema podpornima valjema, ki sta med seboj oddaljena za predpisano razdaljo, kot je prikazano na sliki 1.

Preskus izvedemo do določene deformacije (upogiba) ali pa do porušitve, na podlagi česar dobimo upogibno trdnost materiala.

Pri zvarnih spoji na ta način ugotavljamo predvsem zlepe, pomanjkljive spojitve in razpoke.



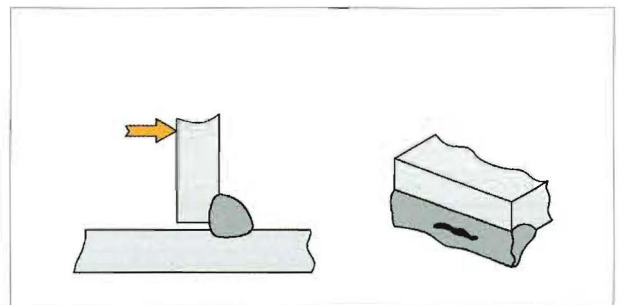
Slika 1. Prikaz izvedbe upogibnega preskusa

## Prelomni preskus

Pri izvedbi prelomnega preskusa izdelek ali pa samo preskusni etalon porušimo (prelomimo) z namenom, da bi lahko ocenili prelomno površino. Pri zvarnih spojih na ta način ugotovimo zmanjšanje nosilnega premera spoja zaradi morebitnih napak v zvarnem spoju (poroznosti, vključkov,...), saj se preskušavec praviloma prelomi na tako oslABLJENEM mestu.

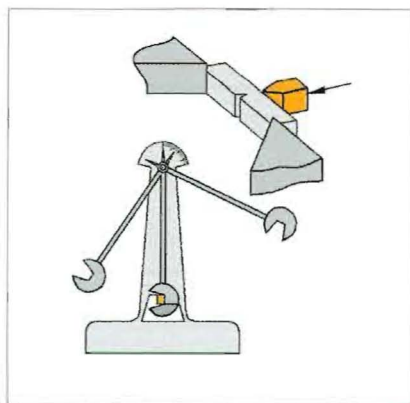
## Preskušanje udarne žilavosti

Žilavost je lastnost, ki jo lahko samo opišemo, težko pa enotno merimo. Žilave so tisti materiali, ki se pred porušitvijo močno plastično deformirajo, nasprotno pa se krhki materiali porušijo z zelo majhno ali sploh nikakršno predhodno deformacijo. Dogovorjeno merilo za žilavost je delo, potrebno za prelom preskušanca točno določenih dimenzij. Preskus udarne žilavosti ob zarezi, ki je narejena na preskusnem etalonu, izvedemo z nihalnimi kladivom, ki ga spustimo z določene višine, in ki v svoji najnižji legi zadene in prelomi preskušavec. Po prelomu etalona kladivo zaniha v nasprotno smer, iz razlike višin iz katere smo nihalo spustili in nasprotnega nihaja pa lahko določimo udarno žilavost preskušanca. Žilavost je ponavadi podana le kot udarno delo v J za posamezen tip preskušanca.



Slika 2. Prikaz izvedbe prelomnega preskusa



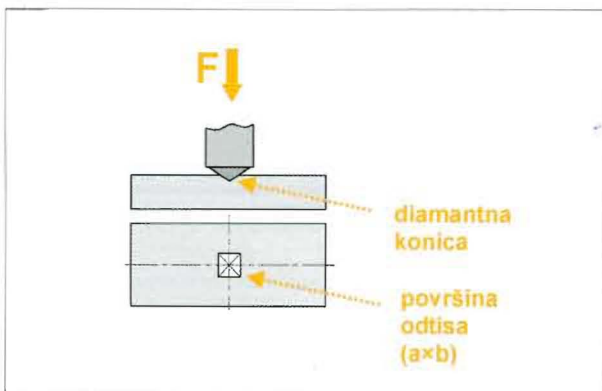


Slika 3.  
Prikaz  
izvedbe  
preskusa  
udarne  
žilavosti

Upoštevati je potrebno, da je pri večini materialov žilavost odvisna od temperature preskušanja oziroma obratovanja nekega izdelka. Z padanjem temperature postajo materiali praviloma krhkejši, zato tudi ta preskušanja izvajamo z etaloni, ki imajo v času preskusa različno temperaturo, ki odraža dejansko delovno temperaturo, pri kateri bo izdelek obratoval. Za jekla velja, da območje, v katerem pri preskušanju prehajajo iz žilavega v krhko stanje, imenujemo prehodno temperaturno območje. Po nekaterih priporočilih je prehodna temperatura tista temperatura, pri kateri pade vrednost žilavosti pri ostri zarezi na 27 J, kar naj bi pomenilo 50% krhko prelomljene površine.

## Merjenje trdote

Trdota materialov je sicer karakteristična, vendar relativna lastnost, in jo tudi ocenjujemo na podlagi primerjave. Iz mineralogije je znan način z razenjem površine, pri čemer dobimo tako imenovano Mohsovo lestvico, ki podaja relativno trdoto nekega materiala napram diamantu kot najtrštem poznanem materialu na zemlji. Pri kovinah in zlitinah trdoto merimo



Slika 4. Princip merjenja trdote po Vickersu

tako, da ugotavljamo odpornost proti vdiranju drugega, tršega telesa v preskuševani material, ali z odbojno sposobnostjo materiala na udarce.

Za merjenje trdote običajno ni potrebno pripraviti posebnih preskušancev, saj lahko merimo trdoto tudi na končnih izdelkih. Mesto, na katerem nameravamo izmeriti trdoto, je treba le primerno očistiti, obrusiti, izjemoma tudi spolirati. Kadar ugotavljamo trdoto na zvarnem spoju, pa je potrebno pripraviti ustrezen prerez zvarnega spoja, ki mu pravimo obrus. Trdoto nato merimo na točno določenih karakterističnih točkah zvarnega spoja (var, toplotno vplivana cona, osnovni material). Poznamo več metod merjenja trdote, najpogostejša pa so merjenja trdote po Vickersu, Brinellu ali Rockwellu.

Princip merjenja trdote po Vickersu, ki se običajno uporablja pri zvarnih spojih, temelji na vtiskovanju trde (diamantne) piramidne konice točno določenih dimenzij in z določeno silo v material. Na osnovi izmerjenih dimenzij vtiska je možno določiti trdoto materiala "po Vickersu", ki jo nato podajamo v obliki HVxx.

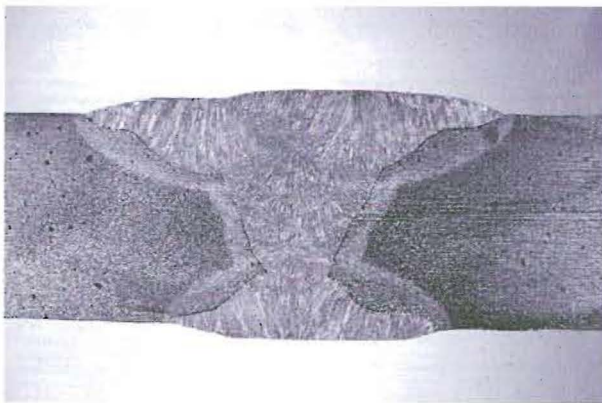
Pri zvarnih spojih je merjenje trdote pomembno zaradi tega, da ugotovimo morebitna področja zvarnega spoja, kjer bi lahko trdota bila tako velika, da bi zaradi krhkosti na tem mestu prišlo pri obratovanju varjenega izdelka do pojava razpok in posledičnega zloma.

## Metalografska preiskava

Namen metalografske preiskave je ugotavljanje strukturne značilnosti preiskovanega materiala oziroma zvarnega spoja, od katerih so odvisne njihove lastnosti in uporabnost. Najpogosteje preiskovane lastnosti so: tip strukture, vrste ter razvrstitev strukturnih komponent, velikost kristalnih zrn ter izločkov, množina, vrste, velikost ter razvrstitev nekovinskih vključkov, razpoke, pore, mikrolunkerji ter druge napake v kompaktnosti in izceje v zlitinah oziroma neenakomerna porazdelitev legirnih elementov ter nečistoč v zlitinah.

Metalografske preiskave so lahko makroskopske ali mikroskopske. Pri prvih opazujemo preiskovano površino s prostim očesom ali z lupo do povečave približno 20x, pri drugih pa pri povečavah do 2.000x z optičnim mikroskopom ali povečavah do 100.000x z elektronskim mikroskopom.

Metalografska preiskava se vedno izvede na primerno pripravljene površini preiskovanca ali pa na prerezu. Slednje skoraj vedno pri preiskavi zvarnih spojev. Površina se v vsakem primeru pripravi z ved-



*Slika 5. Primer makro obrusa sočelnega zvarnega spoja*

no finejšim brušenjem in kasnejšim ustreznim jedkanjem. Na ta način se pokaže makrostruktura površine, ki jo lahko potem opazujemo in ocenjujemo. Takšne vzorce na katerih se opravi metalografska preiskava, imenujemo obrusi.

## Preskusi z dinamičnimi obremenitvami

Izdelek, ki je obremenjena s periodično ponavljajočimi se obremenitvami, se lahko po določenem številu nihajev zlomi, čeprav je bila obremenitev manjša od napetosti tečenja osnovnega materiala. Pravimo, da se je material porušil zaradi utrujanja. Preskušanje lahko izvedemo z natezno, tlačno, upogibno ali torzijsko menjajočo se obremenitvijo. Končni rezultat takšnega preskušanja je tako imenovani "Wöhlerjev diagram", ki podaja odvisnost nihajne obremenitve od števila nihajev, ko pride do zloma.

Peter Šprajc