

METODE KONTROLE KVALITETA ZAVARENIH SPOJEVA

UVOD

Zavarivanje predstavlja složen tehnološki postupak kontinuiranja dva ili više elemenata u spoju. Spajanje istih ili sličnih metala ostvaruje se uz pomoć visoke temperature, koja izaziva topljenje osnovnog i odgovarajućeg dodatnog materijala na mestu spoja. Tom prilikom dolazi do fizičkog i hemijskog sjedinjavanja osnovnog i dodatnog materijala, a nakon hlađenja spoja do očvršćavanja, čime se stvara šav kao fizički kontinuitet materijala. Izrada metalnih konstrukcija ne može se zamisliti bez primene zavarivanja, stoga je pouzdanost kvaliteta izvedenog šava od presudnog značaja, kako za ponašanje pojedinačnih elementa tako i za ponašanje konstrukcije kao celine. Najznačajniji faktori koji utiču na kvalitet šavova jesu vrsta i mogućnost opreme i stručnost radne snage. U šavovima i na materijalu oko njega mogu da se jave greške i nepravilnosti, koje utiču na smanjenje nosivosti zavarenih spojeva. Na mestima grešaka dolazi do koncentracije napona, koje kod zategnutih elemenata dinamički opterećenih konstrukcija mogu da prouzrokuju pojavu prslina i tako ugroze stabilnost čitave konstrukcije. Kod statički opterećenih konstrukcija dolazi do plastifikacije ove zone i preraspodele napona, dok kod dinamički opterećenih konstrukcija ova preraspodela ne može da se uspostavi.

Na projektantu je važan i odgovoran zadatak da na najracionalniji način isprojektuje veze i nastavke, kako bi bili što pristupačniji i što jednostavniji za izvođenje (izbegavati teške položaje zavarivanja npr. iznad glave itd.), vodeći istovremeno računa da nastavci i veze ne budu na mestima najvećih uticaja u elementu. Veoma je važno poznavati funkciju i značaj šava u konstrukciji i odrediti neophodan i dovoljan obim i vrstu kontrole. Neekonomično i nepotrebno je sve šavove podvrgnuti strogoj kontroli, a čak i svaka otkrivena greška u šavu ne znači da je treba otkloniti ili ublažiti. Kontrola kvaliteta šavova, a naročito otklanjanje otkrivenih grešaka, direktno utiče na povećanje troškova izrade čeličnih konstrukcija. Nisu svi šavovi istog značaja i nisu isto opterećeni, tako da ne samo da ne treba vršiti kontrolu svih šavova, već i ne treba otklanjati sve uočene greške. Međunarodni institut za zavarivanje napravio je katalog referentnih radiografija sa klasifikacijom grešaka. Otkrivene greške se upoređuju sa etalonima i vrši se njihova klasifikacija. Problem ne predstavlja otkrivanje greške već odluka šta raditi sa greškom, s obzirom da je teško numerički utvrditi koliki je rizik rušenja konstrukcije usled otkrivene greške. Problem je vrlo kompleksan, jer je otklanjanje grešaka često veoma obiman i skup postupak.

U našem standardu definišu se tri nivoa kvaliteta šavova: B, C, D. Najstrožiji kriterijumi u pogledu kvaliteta šavova su za nivo B, dok su za nivo D najblaži. U građevinskim konstrukcijama se uglavnom, ako nije drugačije predviđeno, zahteva nivo kvaliteta C. Da bi se utvrdio kvalitet šava neophodno je uraditi odgovarajuća ispitivanja. Najznačajnije metode ispitivanja kvaliteta šavova bez razaranja su:

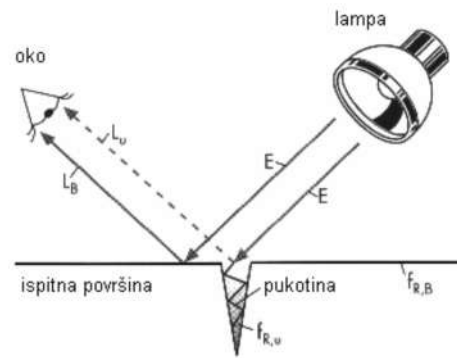
- Vizuelno ispitivanje
- Ispitivanje tečnim penetrantima
- Ispitivanje magnetnim česticama
- Radiografsko ispitivanje
- Ultrazvučno ispitivanje

VIZUELNO ISPITIVANJE

Vizuelno ispitivanje predstavlja glavnu kontrolu za sve vrste šavova i podrazumeva otkrivanje i procenu karakteristika kvaliteta proizvoda ljudskim okom, od strane kvalifikovanih lica. Ove karakteristike mogu se otkriti samo ako je na ispitivanoj površini prisutan dovoljan kontrast detalja, koji se može postići:

- Razlikama u osvetljenosti
- Nastajanjem senki
- Razlikama u boji

Da bi se neki detalj, npr. prslina, korozioni produkti i sl., mogao prepoznati na površini, ovaj detalj mora prouzrokovati dovoljan kontrast u odnosu na preostalu ispravnu površinu. Udubljenje (prslina, površinska pora, brazda) na površini metala „guta“ svetlost više nego ostala površina, pa dakle ima manju reflektivnost nego okolna površina.



Razlikuju se direktno od indirektnog vizuelnog ispitivanja. Kod direktnog vizuelnog ispitivanja je optički put od posmatračevog oka do ispitivanog područja neprekinut. Obavlja se sa ili bez pomoćnih sredstava, kao što su ogledala, lupe, merni šabloni i specifični merači, durbini itd. Kod indirektnog ispitivanja optički put od posmatračevog oka do ispitivanog područja se prekida, pri čemu se koriste fotografije, video sistemi, roboti.

Vizuelna kontrola se može obavljati pre zavarivanja, u toku zavarivanja i nakon zavarivanja.

Kontrolom pre zavarivanja proverava se da li su:

- oblik i dimenzije pripreme žleba usaglašeni sa specificiranim zahtevima;
- lice spoja i susedne površine očišćeni;
- delovi za spajanje zavarivanjem postavljeni u skladu sa crtežima i uputstvima.

Po zahtevu, vizuelna kontrola se sprovodi i u toku procesa zavarivanja u cilju provere:

- da li je svaki zavar ili sloj očišćen pre nego što se nanese sledeći sloj;
- da nema vidljivih nedostataka, odnosno prslina i šupljina (ukoliko se primete, takvi nedostaci se moraju ukloniti pre nanošenja sledećeg zavara);
- prelaz između zavara i osnovnog materijala bude sa odgovarajućim topljenjem i kvalitetno izveden pre nanošenja sledećeg sloja;
- da dubina i oblik žleba budu pravilno izvedeni.

Vizuelna kontrola završenog šava (pre i posle termičke obrade) se izvodi u cilju potvrde:

- da je sva troska uklonjena ručno ili mehanički da bi se izbeglo maskiranje grešaka;
- da nema tragova mehaničkih oštećenja ili izduvavanja metala šava;
- da se pri uklanjanju nadvišenja šava izbegne pregrevanje pri brušenju, kao i zarezi;

- da je širina lica šava ravnomerna, a nadvišenje šava u predviđenim granicama;
- da je jednostrano ugaoni i sučeono zavareni spoj poravnat tako da se blago sliva u osnovni metal;
- da profil lica šava i visina svakog izdignutog metala šava budu u skladu sa standardom;
- da je površina šava ravnomerna, da izgled i položaj šava budu prihvatljivi;
- da je širina šava prihvatljiva duž čitavog šava i da ispunjava zahteve crteža ili standarda prihvatljivosti;

U nastavku slede fotografije nepravilnosti šavova otkrivene vizuelnom kontrolom.



Površinska oksidacija na TIG-om zavarenom nerđajućem čeliku



Rasuta poroznost



Linijaska poroznost sa prslinom

ISPITIVANJE TEČNIM PENETRANTIMA

Ispitivanje penetrantima je metoda ispitivanja, koja se bazira na osobini određenih tečnosti visoke površinske aktivnosti da kvase površinu i penetriraju u uske otvore (pukotine) i šuplje prostore. Ako se tečnost oboji i izvuče nazad iz prsline nekom vrstom efekta upijača, tada su na površini označena mesta gde se nalaze prsline.

Izvođenje ispitivanja se obavlja po sledećim fazama:

- prethodno čišćenje i priprema površine,
- penetracija,
- uklanjanje viška penetranta,
- razvijanje,
- inspekcija,
- čišćenje.

Ispitni sistem u ispitivanju penetrantima su penetrant, čistač i razvijlač.

Pre nanošenja penetranta zagađivači, npr. naslage, rđa, troska, ulje, mast ili boje moraju se skinuti. Ako treba, koristiti mehaničke ili hemijske metode, ili njihovu kombinaciju. Prethodnim čišćenjem treba obezbediti da na površini nema ostataka i da penetrant može da uđe u svaku grešku. Nakon čišćenja sledi nanošenje penetranta. Penetranti se najčešće izrađuju na bazi ulja ili drugih tečnosti, npr glikol. U principu, tečni penetrant se nanosi (najčešće sprejom) na površinu koja se ispituje i ostavlja da proдре u površinske greške. Po isteku potrebnog vremena penetracije (2-30min) treba sa ispitivane površine ukloniti višak penetranta, ali tako da se ne ispere ili razblaži penetrant koji je ušao u površinske diskontinuitete. Pošto se penetranti izrađuju uglavnom na bazi ulja, to je uklanjanje viška penetranta moguće odgovarajućim rastvaračem. Dopusćeni postupak je da se penetrant sa površine izbriše krpama ili papirnim ubrusima koliko god je to moguće, te da se ostaci penetranta uklone brisanjem krpom koja je blago navlažena rastvaračem. Nakon uklanjanja viška penetranta, površina dela se suši i nanosi se razvijlač. Razvijlač deluje kao upijač penetranta zarobljenog u greški i da kontrastnoj pozadini poveća vidljivost indikacije penetranta. Penetrant može biti sa kontrastnom bojom (vidljivom na beloj svetlosti) ili fluorescentan (vidljiv na ultraljubičastoj svetlosti).

U nastavku slede fotografije ispitivanja penetrantima.



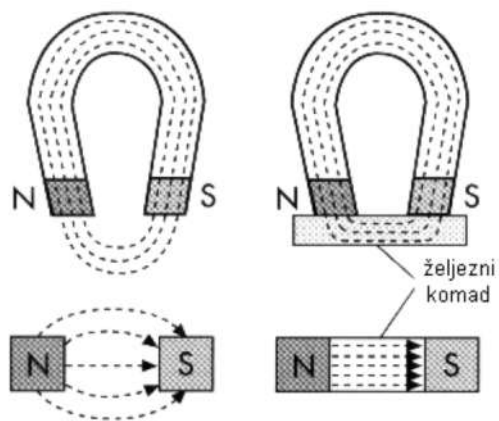
nanošenje penetranta



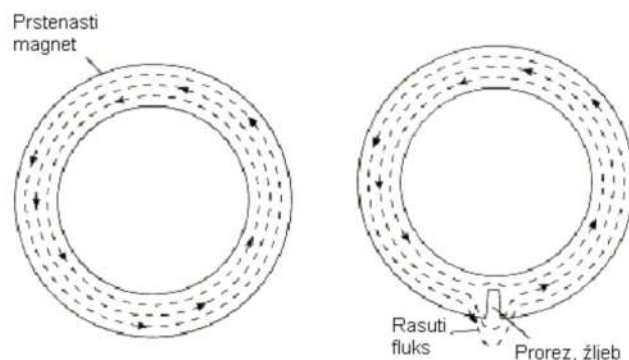
nanošenje razvijlača (nema vidljivih grešaka)

ISPITIVANJE MAGNETNIM ČESTICAMA

Feromagnetni materijali (gvožđe, kobalt, nikel i njihove legure) se mogu namagnetisati. Sile privlačenja deluju kroz prostor tj. sila može delovati, a da se magnet i gvožđe, odnosno dva magnetna, međusobno ne dodiruju. Delovanje sile u prostoru, bez međusobnog dodira, se u fizici opisuje pojmom "polje". Magnetno polje opisuje pravac i veličinu delovanja sile privlačenja i predstavlja se linijama polja. Magnetno polje nastaje i u blizini svakog provodnika električne struje. Tok linija polja predstavlja pravac delovanja sile (pravac polja). Gustina linija polja (koncentracija) naznačava jačinu delovanja sile (jačina polja). Mesta sa većom gustinom linija polja nazivaju se polovi i magnet preko polova ispoljava najveće delovanje sile. Magnetni polovi nisu jednaki, razlikuje se severni (N) od južnog (S) magnetnog pola. Istoimeni polovi se odbijaju, raznoimeni se privlače. Po konvenciji, pravac linija polja u prostoru je od severnog ka južnom polu, a kako se smatra da su linije polja zatvorene, to one u unutrašnjosti magnetna teku, međusobno paralelno, od južnog ka severnom polu.

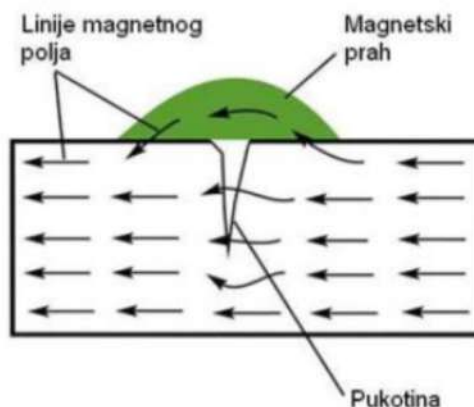


Celokupnost linija magnetnog polja predstavlja magnetni fluks Φ . Gustina magnetnog fluksa B, broj linija po jedinici površine preseka, će se menjati zavisno od promene preseka u zatvorenom magnetnom krugu.



Čelik je dakle „propusniji“ za linije polja od vazduha. Odnos veće propusnosti čelika u odnosu na vazduh naziva se njegovim relativnim permeabilitetom.

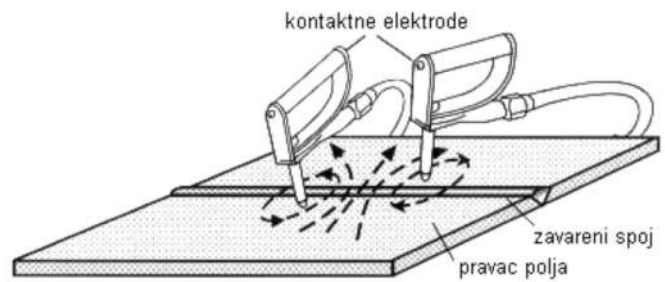
Kod magnetizacije na gustinom fluksa reda veličine 1T, linije polja na diskontinuitetima, koji su upravni na pravac polja, izlaze iz materijala zbog razlike permeabiliteta (vazduh-metal) i formiraju tzv. rasuti fluks. Ako se na površinu pospe ispitno sredstvo (metalne čestice, fluorescentne ili bojom kontrastne, u tečnom ili suvom nosiocu), diskontinuiteti u materijalu, koji izlaze na ovu površinu ili su joj bliski, postaću vidljivi, pošto tu rasuti fluks privlači čestice.



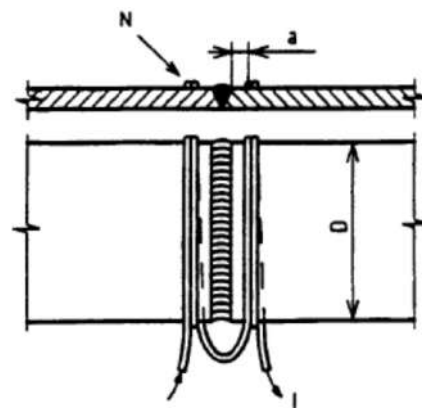
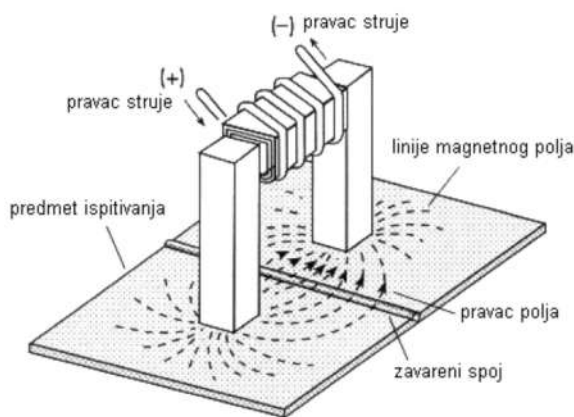
Pri ispitivanju magnetnim česticama koristi se više različitih tehnika magnetizacije, koje se prema načinu uvođenja polja dele u dve grupe:

- tehnike strujnog toka,
- tehnike magnetnog toka.

Kod tehnika strujnog toka, električna struja se uvodi i teče kroz predmet ispitivanja. Od tehnika strujnog toka za ispitivanje zavarenih spojeva koristi se tehnika sa kontaktnim elektrodama i generatorom jake struje.



U tehnikama magnetnog toka, spoljašnje magnetno polje se uvodi u predmet ispitivanja. Od tehnika magnetnog toka za ispitivanje zavarenih spojeva koristi se tehnika magnetizacije elektromagnetnim jarmom i tehnika magnetizacije sa namotajima fleksibilnog kabla.

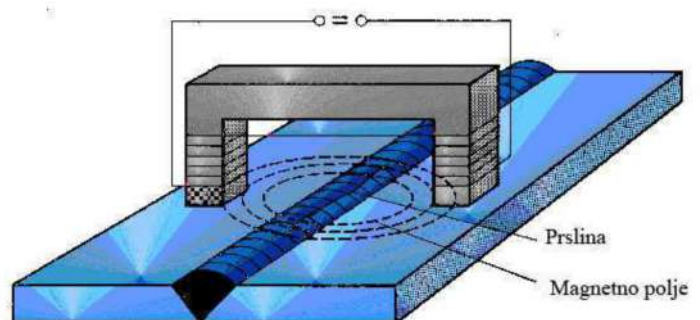


Ispitno sredstvo u ispitivanju magnetnim česticama su metalne čestice koje se mogu namagnetisati i koje se nanose na ispitivanu površinu suvim ili mokrim postupkom. Kod suvog postupka čestice se nanose gasom pod pritiskom kao nosiocem naprašivanja. Kod mokrog postupka, čestice se mešaju s uljem ili vodom (suspenzija), kao tečnim nosiocem i kao magnetna suspenzija nanose na površinu. Razlikuju se:

- bojom kontrastna ispitna sredstva i
- fluorescentna ispitna sredstva

Kod bojom kontrastnih ispitnih sredstava koriste se crne čestice, crveno-smeđe, sivocrne ili žute čestice, a izbor boje zavisi od boje ispitivane površine. Fluorescentne magnetne čestice su metalne čestice obložene fluorescentnom materijom (lumogen). Zbog velikog lako uočljivog kontrasta (žutozelene indikacije na crnoj podlozi) osetljivost fluorescentnih tehnika ispitivanja je veća nego bojom kontrastnih.

Otkrivanje grešaka zavisi od ugla između glavne ose i očekivanog pravca magnetnog polja. Za pouzdano otkrivanje grešaka bez obzira na orijentaciju, šav se magnetizira u dva približno normalna pravca sa maksimalnim odstupanjem od 30°. To se postiže primenom jedne ili više metoda magnetizacije.



Područja koja treba ispitati moraju biti očišćena od rđe, ulja, masti, metalnih kapi, prljavštine, antikorozijskog premaza i drugih stranih materija, koje mogu uticati na osetljivost. Može se pokazati potrebnim da se poboljša stanje površine, npr. brusnim papirom ili lokalnim brušenjem. Posle pripreme objekta za ispitivanje, sredstvo za otkrivanje magnetima treba naneti sprejom, natapanjem ili raspršavanjem neposredno pre magnetizacije ili tokom magnetizacije.

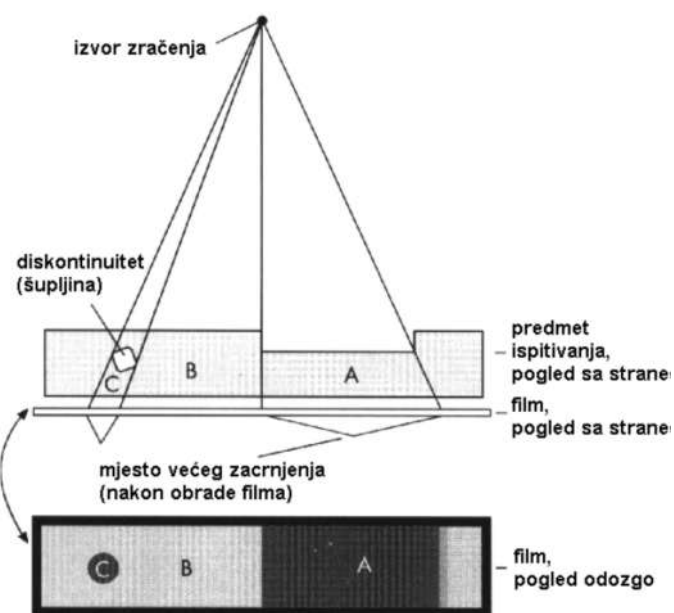
Greške koje se tom prilikom otkrivaju su do dubine 3-6mm. Elektromagnetska metoda je jednostavna, njene prednosti su što je postupak kontrole relativno jeftin i uređaji su laki za rukovanje. Međutim pomoću elektromagnetske kontrole može se utvrditi postojanje površinskih i podpovršinskih grešaka, ali ne i njihov tačan položaj i dimenzije.

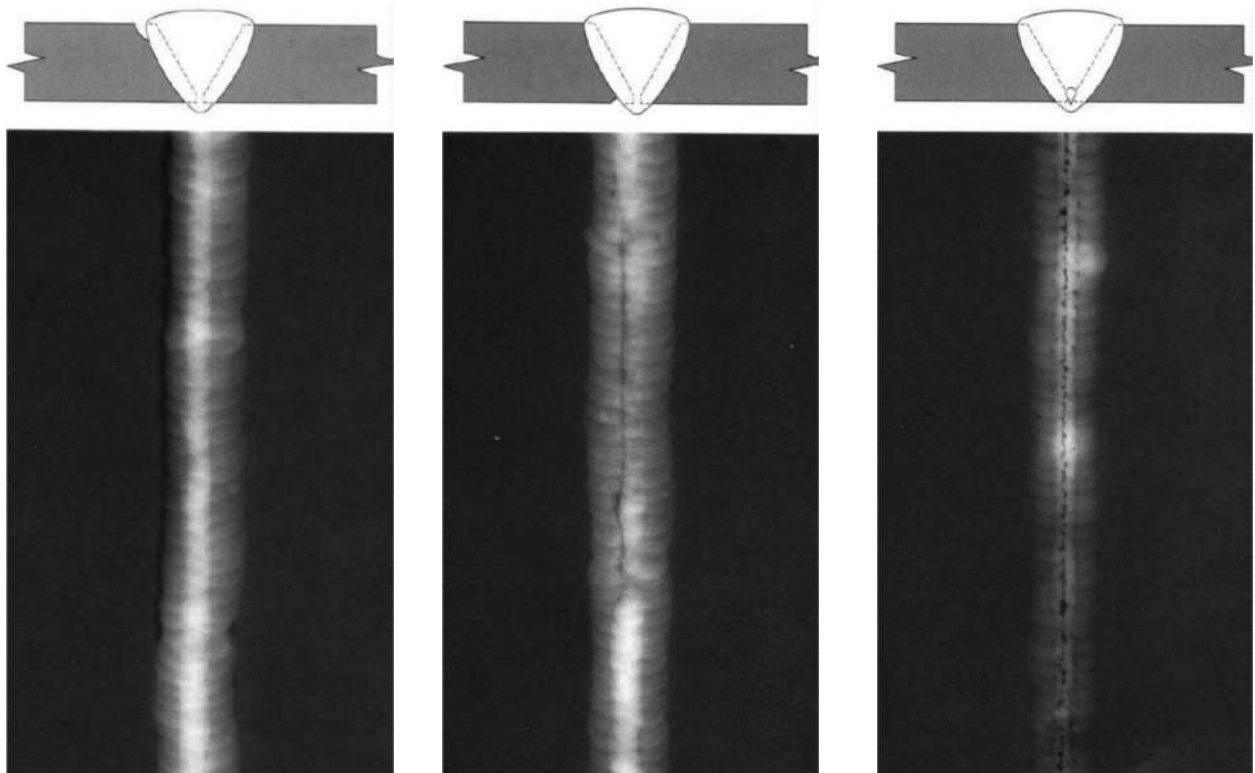
RADIOGRAFSKO ISPITIVANJE

Rendgensko i gama zračenje je sposobno da prodire kroz materiju, pri čemu intenzitet zračenja slabi, između ostalog u zavisnosti od debljine prozračavanog materijala. Industrijska radiografija se zasniva na utvrđivanju razlika u intenzitetu zračenja usled smanjene debljine materijala na mestu diskontinuiteta u odnosu na čitav, neoštećen zid. Kao izvor zračenja mogu se koristiti industrijski rendgenski uređaji, akceleratori ili gama radio-aktivni izotopi (najčešće iridijum, a ređe kobalt i cezijum).

Vizuelizacija raspodele intenziteta zračenja, koje je prošlo kroz ispitivani predmet se u standardnoj radiografiji vrši pomoću industrijskog rendgenskog filma.

Dakle, postupak kontrole se sastoji u postavljanju filma sa osetljivom emulzijom sa jedne strane zavarenog spoja. Film se nalazi u posebnoj foliji najčešće od olova. Sa druge strane spoja se postavlja lokalizacija šava kroz koju prolaze rendgenski ili gama zraci iz rendgenske cevi kroz blendu. Ukoliko zrak prolazi kroz poru ili prslinu on se manje apsorbuje i na radiogramu su ta mesta tamnija od ostalih „zdravih“ delova šava. Radiografska kontrola je vrlo precizna i koristi se za ispitivanje značajnih šavova. Radiografija se primenjuje za elemente debljine do 50mm, a za veće debljine koriste se izotopi i ultrazvučna metoda. Dobijeni radiogram se upoređuje sa etalonima iz kataloga grešaka i konstatuje se vrsta i intenzitet greške. Radiografija se danas uglavnom koristi za detekciju unutrašnjih nesavršenosti u zavarenim spojevima i odlivcima, malih i srednjih debljina. U nastavku slede primeri otkrivenih grešaka radiografskom metodom.





Spoljne podsecanje: nepravilno zatamnjene na ivici šava

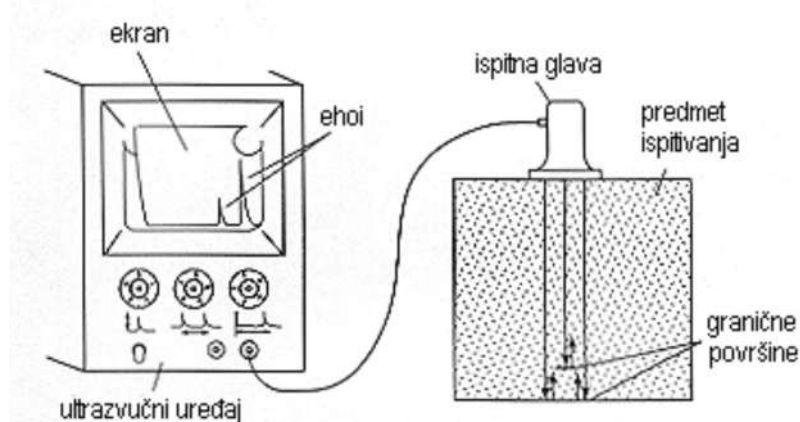
Podsecanje u korenu: nepravilno zatamnjene oko centra šava i duž ivice korenog prolaza

Linijska poroznost u korenom prolazu

ULTRAZVUČNA METODA

Ultrazvučno ispitivanje je metoda ispitivanja, kojom se mogu odrediti vrsta, mesto i veličina grešaka u šavovima i zasniva se na fizičkim zakonitostima pobuđivanja i prostiranja zvuka. Brzina prostiranja ultrazvučnih talasa kroz određenu sredinu zavisi od zapreminske mase materijala, dinamičkog modula elastičnosti i dinamičkog Puasonovog koefijenta i konstantna je za određene vrste materijala. Ukoliko ultrazvuk na svom putu naiđe na grešku u šavu on se odbija ili nastavlja dalje sa oslabljenim intenzitetom.

Najčešće se primjenjuje kontaktna impulsna eho tehnika.



Princip ultrazvučnog ispitivanja

U ultrazvučnom uređaju se proizvode električni impulsi visokog napona i kratkog trajanja, koje pretvarač u ispitnoj glavi pretvara u mehaničke oscilacije u području ultrazvuka ($f > 16 \text{ kHz}$).

Te oscilacije se u predmetu ispitivanja prostiru kao zvučni talasi. Zvučni talasi se reflektuju na graničnim površinama i pretvarač glave ih može primiti. Primijeni zvuk se može učiniti vidljivim na ekranu ultrazvučnog uređaja. Uz pravilno podešavanje vremenske baze uređaja, može se odrediti dužina puta zvuka do reflektora, kao rastojanje između emitovanog impulsa i primljenog ehoa, i time položaj reflektora u predmetu ispitivanja. Iz oblika ehoa i ehodinamičkih krivih može se naslutiti o kom tipu nesavršenosti se radi. Položaj i veličina greške se definišu na osnovu vremena prolaska ultrazvuka i njegovog intenziteta. Impulsna eho tehnika ultrazvučnog ispitivanja se primenjuje za ispitivanje limova, odlivaka, otkivaka, cevi, valjanih proizvoda, zavarenih spojeva itd. izrađenih od metalnih, keramičkih i plastičnih materijala, uglavnom debljina većih od 6 mm.



LITERATURA:

1. D. Buđevac, Z. Marković, D. Bogavac, D. Tošić, *Metalne konstrukcije*
2. Materijali sa kursa za IWI