

7. ISPITIVANJE MATERIJALA BEZ RAZARANJA

Ispitivanje razaranjem ima niz nedostataka. Jedan od najvažnijih nedostataka je razaranje uzorka ili predmeta, koji na taj način postaju neupotrebljivi. Drugi veoma važan nedostatak je da rezultati ispitivanja ne daju vjernu sliku o materijalu ugrađenom u konstrukciju. Kod ispitivanja razaranjem najčešće se uzima uzorak i rezultati koji dobijeni ispitivanjem odgovaraju uzorku. Međutim, materijal koji je ugrađen u konstrukciju može imati niz nevidljivih grešaka unutar materijala (gasni mjehurovi, troska itd.), koje znatno utiču na osobine. Osim toga, uzorci za ispitivanje razaranjem moraju biti fino i precizno obrađeni i moramo raspolagati sa skupim uređajima za ispitivanje.

Kod ispitivanja bez razaranja, ispitivanje se izvodi na gotovim predmetima i konstrukcijama i rezultati ispitivanja odgovaraju stvarnosti. Predmeti se ne oštećuju i nema deformacija.

Cilj ovih ispitivanja je da se utvrdi greška u materijalu i gotovim proizvodima na površini (zarezi, mikropukotine) i u unutrašnjosti (lunker, gasni mjehuri, troska, pukotine i dr.). Ovim ispitivanjem mogu se uočiti greške, odrediti njihov položaj, veličina i priroda. Ispitivanjem bez razaranja ne možemo odrediti mehaničke osobine. Pošto je osnovni cilj ovih ispitivanja utvrđivanje grešaka (defekata), to se ova ispitivanja često nazivaju defektoskopska ispitivanja.

Postoji više metoda defektoskopskih ispitivanja, koja se baziraju na određenim fizikalnim pojavama i mogu se podijeliti na:

- ispitivanje ultrazvučnim talasima
- ispitivanje prozračavanjem
- ispitivanje elektromagnetnim talasima i
- ispitivanje penetrantnim (kapilarnim) metodama.

7.1. ISPITIVANJE ULTRAZVUČNIM TALASIMA

Ultrazvuk je treperenje materijalne sredine sa učestanošću od 20.000 Hz, pa i više. Treperenja sa takvom učestanošću su neosjetljiva za čovječije uho, a imaju veliku sposobnost prodiranja kroz čvrste, tečne i gasovite materije. Prolazeći kroz te materije ultrazvuk izaziva treperenja njihovih čestica. Brzina proširivanja ultrazvuka zavisi od vrste sredine, a u prvom redu od elastičnih svojstava te sredine i njene gustine.

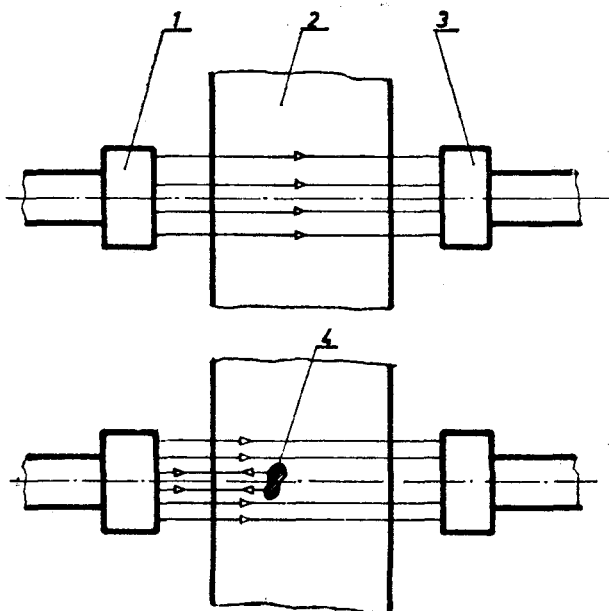
Pri prolazu ultrazvuka iz jedne akustične sredine u drugu dolazi do djelimičnog odbijanja od granica tih sredina, a djelimičnog prolaza sa izvjesnim prelamanjem. Ova osobina odbijanja i prelamanja ultrazvučnih talasa pri prolazu kroz dvije različite sredine služi za utvrđivanje grešaka unutar materijala i gotovih proizvoda.

Ultrazvučni talasi koji padaju normalno na jednu površinu odbijaju se u suprotnom smjeru (nazad), tj. ugao odbijanja jednak je nuli. Ako ultrazvučni talasi padaju pod izvjesnim uglom na površinu, tada je odbojni ugao jednak upadnom uglu. To znači da se ultrazvučni talasi ponašaju isto kao i svjetlosni zraci s tom razlikom što imaju moć prodiranja kroz čvrste materije.

Ultrazvuk se može koristiti za ispitivanje grešaka u čvrstim materijama. Najbolje rezultate postizemo pri ispitivanju čelika i aluminijuma. Ispituju se dijelovi jednostavnijeg oblika, debljine do 3000 mm pa čak i više.

Ultrazvučni talasi se mogu proizvesti na različite načine, a najčešće piezoelektričnim efektom. Ovaj efekat se sastoji u tome da neki kristali i keramika mijenjaju svoje dimenzije kada se nađu pod djejtvom električnog polja. Najčešće se ispituju kristali kvarca i amonijum fosfata.

Postavljanjem kvarcne pločice između dvije metalne pločice na koje je priključena naizmjenična struja visoke frekvencije dolazi do skupljanja i širenja kvarcne pločice u taktu električnih oscilacija. Kao rezultat širenja i skupljanja kvarcne pločice visokom frekvencijom nastaju ultrazvučni talasi. Dobijeni snop ultrazvučnih talasa usmjerava se u pravcu ispitivanog predmeta. Ultrazvučni talasi prolaze kroz čvrste predmete. Ako na putu ultra-



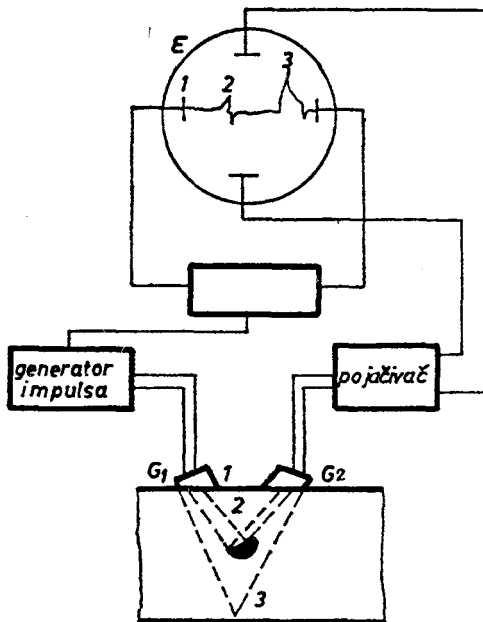
Slika 7.1. Shema ispitivanja ultrazvukom prolaznom metodom: 1 — predajna sonda, 2 — predmet, 3 — prijemna sonda, 4 — greška

zvučnih talasa postoji kakva greška, (šupljina, troska, naprslina i dr.), dolazi do narušavanja normalnog prostiranja ultrazvučnih talasa. Talasi koji nailaze na grešku odbijaju se i vraćaju nazad prema površini predmeta pri čemu nastaje ultrazvučni eho. Talasi koji ne nailaze na grešku odbijaju se sa donje površine predmeta i vraćaju na gornju površinu. Odbijeni talasi hvataju se drugom kvarcnom pločicom smještenom između dvije metalne pločice. Ovi talasi izazivaju oscilacije i nastajanje naizmjenične struje, koja se može pojačati i mjeriti električnim instrumentima.

Defektoskopska ispitivanja pomoću ultrazvuka mogu se obavljati na tri načina, i to:

- metodom prolaza
- metodom odbijanja (eho) i
- metodom rezonance.

Shema ispitivanja metodom prolaza data je na slici 7.1. Kod ove metode mjeri se smanjenje intenziteta ultrazvuka poslije prolaza kroz materijal. Kroz homogeni materijal ultrazvučni talasi prolaze bez smetnji, dok kod materijala sa greškom dolazi do odbijanja ultrazvučnih talasa i smanjenja intenziteta.



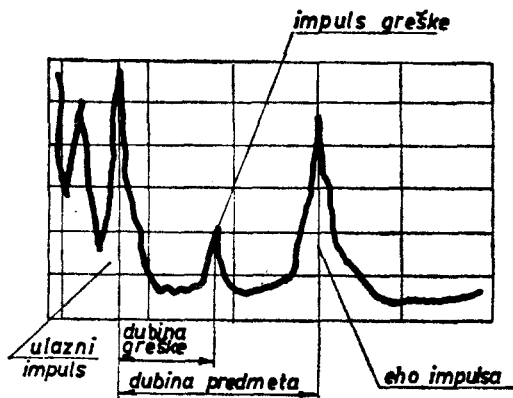
Shema 7.2. Shema impulsnog defektoskopa

Shema ispitivanja metodom odbijanja (eho metoda) data je na slici 7.2. Generator impulsa emituje ultrazvučne talase koji se preko predajne sonde G_1 prenose kroz materijal. Ultrazvučni talasi, prolazeći kroz materijal, nailaze na različite prepreke i poslije odbijanja dolaze u prijemnu sondu G_2 . Iz prijemne sonde ultrazvučni talasi dolaze u pojačivač, a odatle u osciloskopski indikator gdje se registruju na ekranu. Predajna sonda daje uzak snop ultrazvučnih talasa koji nailazeći na različite gustine imaju različito odbijanje. Tako talas 1, koji se odbija od površine predmeta na ulazu u predmet, registruje se na mjestu 1 na ekranu, a zrak 3 koji se odbija na mjestu izlaza iz materijala, označen je na ekranu sa 3. Svi ostali zruci koji se odbijaju unutar materijala biće registrovani u intervalu 1 do 3.

Talas 2 koji na prolazu kroz materijal nailazi na grešku, odbija se i dolazi u prijemnu sondu prije talasa 3 koji se odbija od donje površine predmeta.

Na ekranu se nalazi skala koja nam omogućava očitavanje dubine na kojoj se nalazi greška. Da bi se odredila dubina greške, ultrazvuk se šalje

u materijal periodično, a ne kontinualno. Na slici 7.3, dat je primjer očitavanja dubine greške. Pomoću ultrazvuka nije moguće tačno odrediti prirodu greške (troska, pukotina, gasni mjehur i dr.).



Slika 7.3. Očitavanje dubine greške

Neki ultrazvučni defektoskopi umjesto ekrana daju zvučne signale. Pri prolazu ultrazvuka kroz homogene materije visina tona zvuka je ujednačena. Pri prolazu kroz nehomogeni materijal dolazi do promjene tona.

Rezonantna ultrazvučna metoda koristi se za utvrđivanje grešaka u materijalu, a naročito za određivanje debljina zidova koji nisu pristupačni sa obje strane.

Ultrazvučni vibrator proizvodi vibracije koje se prenose na ispitivani materijal. Talasna dužina oscilacija čestica ispitivanog materijala stoji u vezi sa talasnom dužinom ultrazvučnih talasa, koje daje ultrazvučni defektoskop i od ugla pod kojim padaju na predmet. Pri određenim uslovima dolazi do rezonance. U trenutku nailaska na nehomogeni materijal dolazi do pada amplitude ultrazvučnih talasa, što se uočava na ekranu osciloskopa.

7.2. ISPITIVANJE PROZRAČAVANJEM

Ispitivanje prozračavanjem vrši se pomoću elektromagnetnih talasa, koji imaju malu talasnu dužinu a veliku učestanost. Ovi talasi su sposobni da prodiru kroz čvrste materije, djeluju na film, joniziraju neke gasove i izazivaju fluorescenciju nekih materija. Na pravac kretanja ovih zraka nemaju uticaja ni magnetna ni električna polja, što znači da oni nisu nosioci električnog naboja.

Najčešće se primjenjuju X-zranci ili rendgen zranci i γ -zranci. Ovi zranci imaju sljedeće karakteristike:

- energija zraka se smanjuje pri prolazu kroz materije, (što je veća gustina materije time se više smanjuje energija),
- sposobni su izazivati fotohemijske reakcije, što omogućava da se registruje greška unutar materijala,

- sposobni su da izazivaju fluorescenciju nekih materija, kao, npr., ZnS, CaWO₄, CdS i druge. Ovo svojstvo omogućava vizuelno posmatranje kvaliteta materijala na ekranu,
- sposobni su da joniziraju gasove i
- imaju štetno dejstvo na žive organizme.

Pošto ovi zraci imaju štetno dejstvo na žive organizme, moraju se preduzeti posebne mjere zaštite na radu sa X-zracima i γ -zracima. Jedan od veoma efikasnih načina zaštite od zračenja je udaljavanje od izvora ovih zraka, pošto intenzitet zračenja opada sa kvadratom rastojanja. Da bismo otkrili prisustvo ovog zračenja, koristimo se raznim detektorima zračenja, kao npr. Gajger-Milerovim brojačem.

Za otkrivanje i registraciju grešaka u materijalima pomoću X-zraka i γ -zraka koristimo se sljedećim metodama:

- fotografski metod
- fluorescentni metod i
- metod jonizacije.

Najčešće se koristimo fotografskim metodom. Specijalni film na kome je emulzija nanosena sa obje strane, postavlja se sa jedne strane predmeta, a sa druge se vrši prozračavanje. Ako je ispitivani materijal homogen, tj. bez greške, tada će izlazni snop zraka imati isti intenzitet, pa će i osvjetljenje filma biti ravnomjerno. Pri prolazu ovih zraka kroz nehomogeni materijal dolazi do različite apsorpcije. Zahvaljujući različitoj apsorpciji imamo različito ozračenje filma postavljenog iza ispitivanog materijala. Zavisno od prirode greške (gasni mjehur, troska, pukotina itd.), tj. od njene gustine imaćemo veće ili manje zacrnljenje filma. Što je gustina materijala manja, to će više zraka proći kroz predmet i imaćemo veće zacrnljenje filma.

Da bismo povećali intenzitet zračenja na film, koristimo se folijama za pojačanje. Mogu biti:

- fluorescentne ili slane folije i
- olovne folije.

Kod fluorescentnih ili slanih folija, na tankoj podlozi nanosene su fluorescentne materije, koje pod dejstvom zračenja počinju emitovanje svjetlosti. Ovo dopunsko zračenje djeluje na film i na taj način dobijamo sliku boljeg kvaliteta.

Olovne folije imaju slabiji efekat. Uzimaju se olovne folije debljine 0,1 do 0,25 mm. Pod dejstvom X i γ -zraka na olovne folije, dolazi do emitovanja elektrona koji djeluju na film.

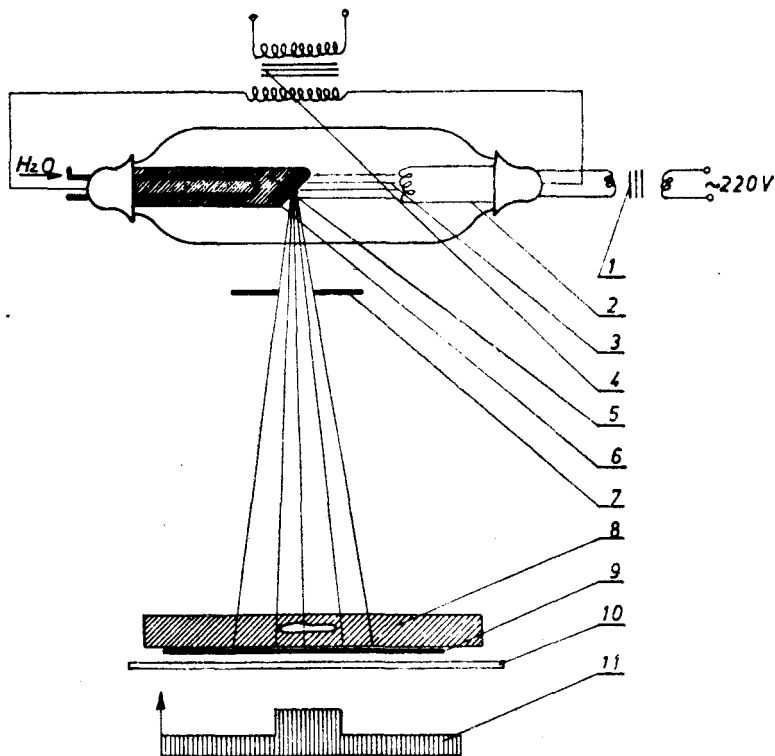
Fluorescentnim metodom se koristimo za neposredno posmatranje predmeta na fluorescentnom ekranu. X-zraci, poslije prolaza kroz ispitivani materijal, padaju na ekran sa kojeg se slika reflektuje na ogledalo za posmatranje.

Metod jonizacije zasnovan je na osobini X-zraka da izazivaju jonizaciju gasova. Prolaskom X-zraka kroz gas dolazi do djelimične apsorpcije i pojave foto-elektrona koji se mogu registrovati u jonizacionim komorama. Ovom metodom moguće je posmatrati manje površine predmeta a postižu se veoma dobri rezultati.

Ispitivanje X-zracima naziva se rendgenografija, a ispitivanje γ -zracima, gamagrafija.

7.2.1. Ispitivanje rendgenskim zracima (rendgenografija)

Rendgenski ili *X*-zruci su jedan od vidova elektromagnetnih talasa, vrlo male talasne dužine, a veoma velike učestanosti. Rendgenski zruci se dobijaju u rendgenskim cijevima. Na slici 7.4. prikazana je shema ispitivanja pomoću rendgenskih zraka.



Slika 7.4. Shema ispitivanja rendgenskim zracima

U cijevi su smještene katoda (2) i anoda (5). Katoda je izrađena od volframa a anoda od bakra. Na vrhu anode smještena je volframova pločica (6). Izvor napajanja (1) zagrijava katodu do usijanja kada postaje sposobna da emituje elektrone. Unutar cijevi vlada vakuum 10^{-5} do 10^{-6} Pa. Između katode i anode vlada veoma visok napon koji ostvaruje visoko-naponski transformator (4). Zbog velike razlike napona na katodi i anodi dolazi do velikog ubrzanja elektrona. Elektroni velikom brzinom bombarduju anodu pri čemu izazivaju njeno zagrijavanje i oslobađanje *X*-zraka. Ukupna energija kojom raspolaže elektron u trenutku udara o anodu, najvećim dijelom pretvara se u toplotu, a samo neznatnim dijelom, oko 0,1%, u energiju *X*-zraka. *X*-zruci se kroz zaslon (7) usmjeravaju na površinu predmeta (8) prolaze kroz predmet i padaju na film (9), dajući jače ili slabije zacrnjenje. Veličina zacrnjenja zavisi od intenziteta zračenja na izlazu iz ispitivanog materijala.

Pod intenzitetom zračenja X -zraka podrazumijevamo količinu energije koja u jednoj sekundi prođe kroz površinu od 1 cm^2

S obzirom da rendgenski zraci djeluju štetno na žive organizme i da bi se izbjegla sekundarna zračenja, iza filma se postavlja olovna ploča (10) koja apsorbira X -zrake.

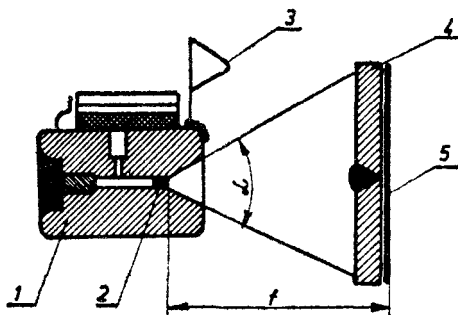
Pošto materijali imaju različitu gustoću, to će i različito apsorbirati X -zrake. Na mjestima gdje je gustoća manja (troska, gasni mjehur, pukotina itd.) smanjuje se moć apsorpcije X -zraka, i povećava zacrtnjenje filma. Dijagram intenziteta zračenja (11), takođe zavisi od gustine materije.

7.2.2. Ispitivanje gama zracima (gamagrafija)

Ova ispitivanja imaju za cilj otkrivanje grešaka u unutrašnjosti predmeta, kao što su: odlivci, otkivci, zavareni spojevi, rezervoari itd. Princip je sličan kao i pri ispitivanju s rendgen zracima. Ispitivanje se sastoji od ozračavanja predmeta iza kojeg se postavlja film, na kojem dobijamo sliku unutrašnjosti predmeta.

Gama zraci nastaju spontanom raspadanjem prirodnih radioaktivnih elemenata ili vještačkih radioaktivnih izotopa. Gama zračenje se ne može regulisati izvana i ono je konstantno za određeni period vremena koji je različit za različite elemente. Vremenski interval u kome se raspada polovina atoma naziva se periodom poluraspada. Period poluraspada za razne radioaktivne elemente se mijenja u veoma širokim granicama. Tako, npr., za radijum (${}_{88}\text{Ra}^{226}$) iznosi 1590 godina, za torijum (${}_{90}\text{To}^{232}$) je $1,39 \cdot 10^{10}$ godina, za iridijum (${}_{77}\text{Ir}^{92}$) svega 74 dana.

Zahvaljujući maloj talasnoj dužini a veoma velikoj učestanosti ($0,25$ do $0,60$) $\cdot 10^{10}$ Hz, ovi talasi imaju svojstvo da prodiru kroz čvrste materije u većoj mjeri nego rendgenski zraci.

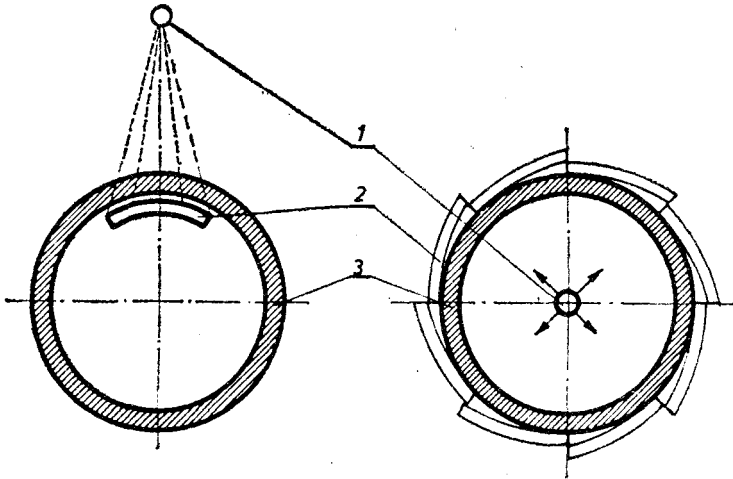


Slika 7.5. Ispitivanje gama zracima

Na slici 7.5. prikazana je shema ispitivanja pomoću gama zraka. Radioaktivni element (2) smješten je u komoru (1) i kroz koničan otvor emituje gama zrake, koji padaju na površinu predmeta (4). Prolazeći kroz predmet zraci prolaze i kroz film (5). Zavisno od gustine predmeta imaćemo veće ili

manje zacrtnjenje filma. Iza filma postavljena je olovna ploča, koja apsorbira zrake koji prolaze kroz predmet i film, da bi se izbjegla sekundarna zračenja.

Na slici 7.6. prikazane su sheme prozračavanja pomoću gama zraka.

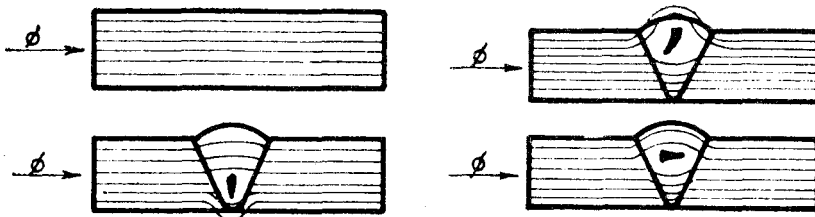


Slika 7.6. Shema prozračavanja cijevi gama zracima: 1 — izvor gama zraka, 2 — film, 3 — cijev

7.3. MAGNETNA ISPITIVANJA

Magnetnim ispitivanjima utvrđujemo greške na površini ili neposredno ispod površine predmeta. Mogu se ispitivati samo magnetični materijali, kao što su: željezo, nikl, kobalt, ugljenični, niskolegirani i neki legirani čelici.

Pri magnetnim ispitivanjima, predmeti se prvo namagnetišu (a kod predmeta većih dimenzija samo jedan dio). Namagnetisavanje predmeta može se izvoditi prije ili u toku ispitivanja. Prije ispitivanja namagnetišu se oni predmeti kod kojih je zaostali magnetizam dovoljan da omogući ispitivanje. U toku ispitivanja namagnetišu se predmeti kod kojih je zaostali magnetizam nedovoljan da se izvede ispitivanje i predmeti velikih dimenzija i složenog oblika. /

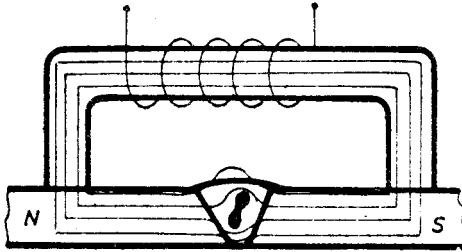


Slika 7.7. Sheme prolaza magnetnih linija kroz predmete

Magnetna ispitivanja zasnovana su na rasipanju magnetnog polja iznad defektnog mjesta u predmetu. U homogenom predmetu magnetne silnice su prave linije. Kada silnice naiđu na neki defekt savijaju se oko njega (slika 7.7.) i obrazuju magnetno polje rasipanja. Veličina rasipanja i skretanja

silnica zavisi od dimenzija i dubine defekta, kao i od pravca prostiranja defekta u odnosu na magnetne silnice. Najveće odstupanje nastaje kada greška stoji normalno na pravac magnetnih silnica. Da bi se pravilno odredila veličina greške, u praksi se ispitivanje izvodi u dva međusobno normalna pravca.

S obzirom da su magnetne silnice nevidljive, a da bi greška bila uočljiva, površina predmeta se posipa feromagnetnim prahom pomiješanim sa transformatorskim uljem ili petrolejem. Magnetni prah je crni magnetit Fe_3O_4 ili žuti feromagnetni oksid Fe_2O_3 . U izvjesnim slučajevima uzimaju se obojene suspenzije i fluorescentne magnetne suspenzije, čije svijetleće čestice olakšavaju kontrolu na teško pristupačnim mjestima.



Slika 7.8. Ispitivanje u polju elektromagneta

Feromagnetne čestice, kada se nađu u magnetnom polju, orijentiraju se u pravcu silnica. Tamo gdje magnetne silnice skreću, dolazi do njihovog grupisanja i skupljanja feromagnetnog praha. Na taj način mjesto greške postaje uočljivo.

Predmeti koji se ponašaju kao meki magneti ispituju se u polju jakog elektromagneta, slika 7.8.

Aparati kojima se vrše magnetna ispitivanja nazivaju se ferofluks ili magnetofluks aparati.

Poslije završenog ispitivanja namagnetisani dijelovi se moraju razmagnetisati. Razmagnetisanje predmeta vrši se u posebnim aparatima ili je u ferofluks aparatu ugrađen poseban uređaj za demagnetizaciju.

7.4. ISPITIVANJE PENETRANTNIM (KAPILARNIM) METODAMA

Penetrantne (kapilarne) metode primjenjuju se pri određivanju površinskih grešaka, kao što su naprsline, zarez, pore i slično. Ove metode su zasnovane na primjeni kapilarnih sila. Mogu se konstatovati greške čija je širina veća od 0,001 mm i dublje od 0,01 mm. Najčešća su sljedeća ispitivanja:

- ispitivanje petrolejom ili uljem
- ispitivanje fluorescentnim tečnostima i
- ispitivanje obojenim tekućinama.

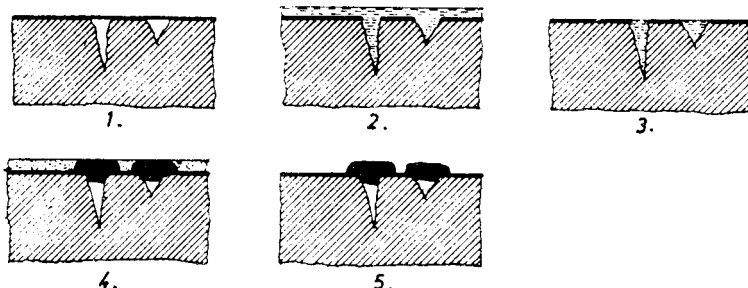
Prije ispitivanja predmeti se dobro očiste od svih nečistoća. Kod ispitivanja petrolejom ili uljem predmeti se urone u vrući petrolej ili ulje i drže izvjesno vrijeme. Pod uticajem kapilarnih sila dolazi do prodiranja tečnosti u sitne pore i pukotine. Poslije brisanja viška tečnosti sa površine, a hlađenjem dolazi do skupljanja pukotine i istiskivanja ulja na površinu. Na površini se pojavljuju mrlje i mjesto gdje se nalazi greška postaje uočljivo.

Fluorescentna ispitivanja takođe su zasnovana na primjeni kapilarnih sila. Za ispitivanje se uzimaju fluorescentne tečnosti. To su takve tečnosti koje kada se osvijetle ultra-ljubičastom svjetlošću imaju svojstvo emitovanja sopstvene svjetlosti. Ova sposobnost materija naziva se fluorescencija. Svoj-

stva fluorescencije imaju mnoga mineralna ulja kao: transformatorsko, avionsko itd.

Predmeti koji se ispituju prethodno se dobro očiste od svih nečistoća, a zatim urone u posudu sa fluorescentnom tečnošću i drže nekoliko minuta ili se tečnost nanosi pomoću kista na površinu predmeta. U novije vrijeme se radi prskanjem.

Poslije toga predmeti se peru mlazom hladne vode, a zatim suše u struji toplog vazduha. Osušene površine se posipaju prahom koji ima veliku moć apsorpcije, kao, npr., magnezijum oksid, silicijum oksid itd. Prašak izvlači na površinu fluorescentnu tečnost, a djelimično prodire i u pukotine. Suhi prašak se sa površine predmeta uklanja strujom vazduha ili lakim udarcima po predmetu, tako da se zadržava samo na ovlaženim mjestima. Postupak fluorescentnog ispitivanja prikazan je na slici 7.9.



Slika 7.9. Postupak fluorescentnog ispitivanja

Predmeti se unose u zamračenu prostoriju i osvijetljavaju ultra-ljubičastom svjetlošću. Mjesta na kojima se zadržala fluorescentna tečnost počinju da svijetle. Prema veličini greške imamo jaču ili slabiju fluorescentnu svjetlost.

Pri ispitivanju zavarenih spojeva od kojih se zahtijeva nepropustivost za tečnosti i gasove koristi se fluorescentni metod. Fluorescentna tečnost se nanosi sa jedne strane a osvijetljavanje sa druge. Ako je šav porozan, tada će fluorescentna tečnost proći kroz pore, a pri osvijetljavanju sa ultra-ljubičastom svjetlošću dolazi do fluorescencije.

Najveću primjenu našlo je ispitivanje obojenim tečnostima. Princip rada je potpuno isti kao i kod prethodnih metoda. Prednost ove metode je što se greška može otkriti i pri dnevnom osvijetljenju.

LITERATURA

1. P. A. Antikain -- *Metallovedenie*, Moskva 1965
2. G. A. Asinovskaja i dr. *Gazoplamenmaja obrabotka metallov*, Moskva 1962
3. *Metalografija željeza*, Moskva 1972
4. G. T. Bahvalov i A. V. Turkovskaja -- *Korozija i Zaštita metala* Beograd 1949
5. I. N. Bondin -- *Kontrol kačevstva svarnih soedinenij i konstrukci*, Moskva 1962
6. V. I. Fedosejev -- *Soprotivlenie materialov*, Moskva 1964
7. N. V. Katc, E. V. Antošin -- *Metallizacija raspilenie*, Moskva 1966
8. P. Klostermann -- *Termička obrada čelika u praksi*, Zagreb 1948
9. A. Majstorović, V. Đukić -- *Uputstva za ispitivanja mašinskih materijala*, Beograd 1974
10. M. Milenković, S. Mladenović i I. Vučković -- *Korozije i zaštita*, Beograd 1966
11. I. I. Novikov -- *Teorija termičeskoj obrabotki metallov*, Moskva 1974
12. M. Pavlović -- *Priručnik za upotrebu čelika*, Beograd 1971
13. Č. Petrović -- *Priručnik za vježbe iz osnova mašinstva*, Beograd 1963
14. V. B. Rajces -- *Tehnologija himiko-termičeskoj obrabotki*, Moskva 1965
15. A. I. Samohockij, M. N. Kunjavskij -- *Laboratornije raboti po metallovedeniju*, Moskva 1971
16. I. G. Samošin -- *Termičeskaja obrabotka*, Moskva 1962
17. B. A. Šeinin -- *Laboratornije raboti po kursu „Tehnologija metallov”*, Moskva 1971
18. H. Šuman -- *Metalografija*, Beograd 1968
19. Č. Vučković -- *Mašinski materijali*, Beograd 1966
20. V. V. Varnello -- *Izmerenije tverdosti metallov*, Moskva 1965
21. M. Arsenijević -- *Mehanička tehnologija*, Beograd 1966
22. S. Guralj -- *Termička obrada čelika*, Beograd 1962
23. B. Božić -- *Fizička metalurgija*, Beograd 1964

SADRŽAJ

	Strana
1. Metalografija	5
1.1. Priprema metalografskih uzoraka	6
1.2. Makroskopsko i mikroskopsko ispitivanje	7
1.3. Građa metala	9
1.3.1. Razlike između metala i nemetala	9
1.3.2. Kristalografski sistemi	10
1.3.3. Kristalna građa metala	12
1.3.4. Kristalne rešetke legura	14
1.3.5. Proces kristalizacije	16
1.4. Termijska analiza krive zagrijavanja i hlađenja čistih metala	18
1.5. Rekrystalizacija	21
1.6. Dijagrami stanja	22
1.7. Dijagram stanja potpune rastvorljivosti u tečnom i čvrstom stanju	24
1.8. Dijagram stanja legura koje grade mehaničke mješavine	28
1.9. Dijagram stanja legura sa djelimičnom rastvorljivošću u čvrstom stanju ..	30
1.10. Dijagram stanja Fe – Fe ₃ C	33
1.11. Strukture dobijene ubrzanim hlađenjem	40
1.12. Dijagram stanja legura sastavljenih od više elemenata	42
2. Mjesto i uloga termičke obrade u proizvodnom procesu	46
2.1. Vrste termičke obrade	47
2.2. Materijali koji podliježu termičkoj obradi	47
2.3. Kaljenje	48
2.4. Kritične brzine hlađenja i temperature martenzitnog preobražaja	51
2.5. Dijagrami izotermičke transformacije austenita	52
2.6. Prokaljivost čelika	55
2.7. Zagrijavanje materijala	59
2.8. Hemijsko djelovanje sredstava za zagrijavanje na materijal	62
2.9. Sredstva za hlađenje	64
2.10. Osnovna pravila o potapanju predmeta u rashladno sredstvo	66
2.11. Otpuštanje	68
2.12. Poboljšavanja (oplemenjavanje)	69
2.13. Normalizovanje	71
2.14. Difuziono žarenje	72
2.15. Meko žarenje	73
2.16. Žarenje za uklanjanje unutrašnjih naprezanja	74
2.17. Starenje	74

	Strana
2.18. Površinsko otvrdnjavanje	75
2.19. Otvrdnjavanje površine mehaničkom obradom	76
2.20. Površinsko kaljenje	76
2.21. Deformacije čelika pri termičkoj obradi i metode sprečavanja deforma- cija	79
2.22. Termička obrada sivog liva i legura obojenih metala	82
2.23. Osnovi tehnologije termičke obrade zavarenih spojeva	84
2.24. Opšti principi projektovanja tehnološkog procesa termičke obrade	86
3. Termo-hemijska obrada	88
3.1. Cementacija	88
3.1.1. Cementacija u čvrstom sredstvu	90
3.1.2. Cementacija u tečnom sredstvu	92
3.1.3. Cementacija u gasovitom sredstvu	93
3.1.4. Termička obrada po završetku cementacije	94
3.1.5. Greške koje se javljaju pri cementaciji	95
3.1.6. Zaštita od cementacije i uređaji za izvođenje cementacije	96
3.2. Nitriranje	98
3.3. Karbonitriranje	101
3.4. Ostale vrste termo-hemijske obrade	103
3.5. Deformacije pri termo-hemijskoj obradi	104
3.6. Metode ocjene kvaliteta cementovanih i nitriranih dijelova	106
4. Ispitivanje materijala	108
4.1. Statička ispitivanja	109
4.2. Ispitivanje materijala zatezanjem	109
4.2.1. Epruvete za ispitivanje	110
4.2.2. Mašine za ispitivanje zatezanjem	113
4.2.3. Dijagrami naprezanje — izduženje	115
4.3. Ispitivanje materijala pritiskom	122
4.4. Ispitivanje materijala savijanjem	124
4.5. Ispitivanje materijala uvijanjem	128
4.6. Ispitivanje tvrdoće	131
4.6.1. Ispitivanje tvrdoće po Brinelu	131
4.6.2. Ispitivanje tvrdoće po Rokvellu	135
4.6.3. Ispitivanje tvrdoće po Vickersu	138
4.7. Faktori koji utiču na statička ispitivanja	142
4.8. Ispitivanje zavarenih spojeva	144
5. Ispitivanje materijala dinamičkim djelstvom sile	148
5.1. Zamor materijala	149
5.2. Ispitivanje i prikazivanje dinamičke čvrstoće materijala	150
5.3. Faktori koji utiču na dinamičku čvrstoću	154
5.4. Metode povećanja dinamičke čvrstoće	157
5.5. Ispitivanje žilavosti materijala po Šarpiju	159
5.6. Ispitivanje tvrdoće materijala po Poldiju	162
5.7. Ispitivanje tvrdoće materijala po Šoru	163
5.8. Dinamička ispitivanja zavarenih spojeva	165

	Strana
6. Tehnološka ispitivanja	167
6.1. Ispitivanje na izvlačenje	167
6.2. Ispitivanje na savijanje	169
6.3. Ispitivanje naizmjeničnim previjanjem	170
6.4. Ispitivanje cijevi	171
6.4.1. Ispitivanje cijevi spljoštavanjem	171
6.4.2. Ispitivanje cijevi proširivanjem	172
6.4.3. Ispitivanje cijevi posuvraćivanjem	172
7. Ispitivanje materijala bez razaranja	174
7.1. Ispitivanje ultrazvučnim talasima	174
7.2. Ispitivanje prozračavanjem	177
7.2.1. Ispitivanje rendgenskim zracima (rendgenografija)	179
7.2.2. Ispitivanje gama zracima (gamagrafija)	180
7.3. Magnetna ispitivanja	181
7.4. Ispitivanje penetrantnim (kapilarnim) metodama	182
LITERATURA	185