

Diplomski studij
Smjer: Materijali



Nerazorna ispitivanja

2012/2013

1

Nerazorna ispitivanja

nastavnici i suradnici	prof.dr.sc. Ivana Banjad Pečur prof.dr.sc. Marijan Skazlić doc.dr.sc. Ivan Gabrijel Bojan Milovanović
satnica izvođenja nastave	30+30
oblici nastave	predavanja, auditorne i laboratorijske vježbe
polaganje kolokvija	2 kolokvija
način polaganja ispita	pismeno i usmeno
ispitni termini	prema planu ispitnih rokova

2

Nerazorna ispitivanja

Konzultacije:

- prof.dr.sc. Ivana Banjad Pečur – srijeda 14-16 sati
- prof.dr.sc. Marijan Skazlić – četvrtak 10-12 sati
- dr.sc. Ivan Gabrijel – ponedjeljak 12-14 sati
- Bojan Milovanović – četvrtak 12-14 sati

3

PREDAVANJA

	Datum	Nastavna jedinica
1.		Kontrola kvalitete, kontrola bez razaranja. Tehnologija kontrole bez razaranja Osoblje Pouzdanost rezultata Priprema za ispitivanje
2.		Planiranje nerazornih ispitivanja: cilj ispitivanja; odabir metoda za ispitivanje; oprema za nerazorna ispitivanja. Nerazorna ispitivanja: optičke metode, zvučne i ultrazvučne metode, električke i/ili magnetske metode, ispitivanje radarom, penetrantske kapilarne metode, toplinske metode. Polurazorne metode ispitivanja.
3.		Vizualni pregled. Osnovni principi. Uredaji za vizualni pregled. Vizualni pregledi betonskih konstrukcija: planiranje; metode vizualnih pregleda; kriteriji ocjenjivanja. Penetrantske metode. Principi testiranja. Vrste penetranta. Primjena.

4

PREDAVANJA

	Datum	Nastavna jedinica
4.		Principi određivanja čvrstoće materijala u konstrukciji: metode utiskivanja i odskoka; penetracijske metode; pull-off metoda, pull-out metoda (lock test, capo test), break-off metoda. Korelacija s rezultatima razornih ispitivanja. Ograničenja i prednosti. Standardi.
5.		Određivanje čvrstoće mladog betona. Metoda zrelosti. Povijesni razvoj metode. Teorijske osnove. Primjena metode zrelosti.
6.		Određivanje svojstava propusnosti betona. Transportni mehanizmi. Metode ispitivanja apsorpcije. Metode ispitivanja plinopropusnosti. Metode određivanja vodopropusnosti. Elektro-magnetske metode ispitivanja: tragač armature; analiza dobivenih rezultata; primjena. Magnetske metode: princip mjerenja. Metode mjerenja: određivanje debljine zaštitnog sloja, određivanje nepravilnosti u armaturi.

5

PREDAVANJA

	Datum	Nastavna jedinica
7.		KOLOKVIJ
8.		Fizika ultrazvuka. Prostiranje ultrazvuka kroz materijal. Oprema za ultrazvučno ispitivanje. Metoda određivanja brzine ultrazvuka. Utjecaj različitih parametara na brzinu ultrazvuka. Primjena metode određivanja brzine ultrazvuka.
9.		Metode zasnovane na širenju akustičnih valova kroz materijal: ultrazvučne metode, metoda udara i odjeka. Metoda udara i odjeka. Povijesni razvoj. Teorijske osnove. Oprema za ispitivanje metodom udara i odjeka. Analiza signala. Primjena metode udara i odjeka.

6

PREDAVANJA

Datum	Nastavna jedinica
10.	Akustična emisija. Povijesni razvoj. Teorijske osnove. Oprema za ispitivanje akustične emisije. Analiza signala akustične emisije. Primjena akustične emisije.
11.	Termografija. Povijesni razvoj. Teorijske osnove. Oprema za ispitivanje. Primjena termografije. Ograničenja primjene termografije. Ispitivanje radarom. Povijesni pregled. Princip ispitivanja. Oprema za ispitivanje. Primjena radara i ograničenja.
12.	Radijacijske metode. Radioskopija, radiografija, neutronska radiografija. Povijesni pregled. Oprema za ispitivanje. Primjena. Prednosti i nedostaci. Elektrokemijska ispitivanja u svrhu ocjene korozije armature.

7

PREDAVANJA

Datum	Nastavna jedinica
13.	Elektrokemijska ispitivanja u svrhu ocjene korozije armature Uporaba nerazornih ispitivanja u istraživačkom radu
14.	KOLOKVIJ
15.	Propisi i norme za provedbu nerazornih ispitivanja. Statistička obrada i interpretacija rezultata ispitivanja. Koncept vjerojatnosti detekcije u nerazornim ispitivanjima. Statističke metode kontrole kvalitete. Korelacija rezultata nerazornih ispitivanja.

8

VJEŽBE

Datum	Vježbe	Nastavna jedinica
1.	Laboratorijske	Nerazorno određivanje čvrstoće: sklerometar, lock test, capo test, pull off test.
2.	Auditorne	Nerazorno određivanje čvrstoće (sklerometar, pull-out, lock test, capo test, pull off test). Kombinacija razornih i nerazornih metoda (NUK)
3.	Laboratorijske	Primjena metode zrelosti - guardian

9

VJEŽBE

Datum	Vježbe	Nastavna jedinica
4-5.	Auditorne	Program provedbe nerazornih ispitivanja. Naknadno utvrđivanje kvalitete. Vizualni pregledi. Dubina i širina pukotina, mjerenje temperature i vlažnosti.
6.	Laboratorijske	Ispitivanja svojstava betona relevantnih za trajnost. Ispitivanje apsorpcije vode, zrakopropusnosti i vodopropusnosti, Galva puls, tragač armature
7.	Auditorne	Ispitivanja svojstava betona relevantnih za trajnost.
8.	Laboratorijske	Primjena ultrazvuka na svježem betonu

10

VJEŽBE

Datum	Vježbe	Nastavna jedinica
9.	Auditorne	Armatura, položaj i stanje (primjeri iz prakse)
10.	Laboratorijske	Primjena ultrazvuka na očvrnulom betonu, ultrazvuk, Smash, Impact echo
11.	Laboratorijske	Akustična emisija
12.	Auditorne	Ispitivanja cjelovitosti: metoda udara i odjeka, impuls response, ultrazvuk, mira

11

VJEŽBE

Datum	Vježbe	Nastavna jedinica
13.	Laboratorijske	Termovizijska kamera.
14.	Auditorne	Interpretacija i obrada rezultata ispitivanja.
15.	Auditorne	Zidane konstrukcije, drvene konstrukcije, metal, polimeri.

12

LITERATURA

1. Krstelj, V.: **Ultrazvučna kontrola**, FSB, Zagreb, 2003
2. Malhotra, V. M.; Carino, N. J.: **Handbook on Nondestructive testing of Concrete**, Second Edition, CRC Press, 2004.;
3. Raj, B.; Jayakumar, T.; Thavasimuthu, M.: **Practical non-destructive testing**, Alpha science, 2002

13

Predmet: Nerazorna ispitivanja

1. Predavanje

Tehnologija kontrole bez razaranja

14

UVOD

- **Kvaliteta** je povezana s prisutnošću nedostataka i **defekata** ugrađenih u proizvod.
- Velik broj defekata se javlja i zbog uporabe proizvoda
- Pouzdanost proizvoda povećava se **poboljšanjem razine kvalitete**.
- Kvaliteta proizvoda ovisna je o mnogo faktora:
 - projektiranju
 - sirovinama za proizvodnju
 - metodama proizvodnje...

15

UVOD

- Svrha **proizvoda** je ispunjavanje određene funkcije.
- Želja **kupca** je da proizvod ispunjava svoju funkciju tijekom predviđenog vremena bez nepredviđenih problema (kvarova, smetnji, nezgoda).
- Ispunjavanje funkcije bez nepredviđenih problema može se nazvati **pouzdanost proizvoda**.

16

UVOD

- Poznavanje defekata i nedostataka i njihovo svodenje na najmanju mjeru je presudno za postizanje prihvatljive razine kvalitete.
- Povećanje kvalitete
 - **veća pouzdanost**
 - **veća sigurnost korištenja**
 - **ekonomska isplativost**

17

KONTROLA KVALITETE

- ovisno o vrsti ispitivanja i metodama koje se tijekom ispitivanja primjenjuju, uobičajena je podjela na:
 - Kontrola ili ispitivanja s razaranjem (**KSR**)-DT
 - Kontrola ili ispitivanja bez razaranja (**KBR**)-NDT

18

Kontrola ili ispitivanja s razaranjem (DT-KSR)

DT-KSR

- Provodi se na dogovorno utvrđenim uzorcima
- Temeljna namjena – utvrđivanje svojstava materijala:
 - Čvrstoća
 - Dinamička izdržljivost
 - Kemijski sastav
 - ...

19

KONTROLA KVALITETE

PREDNOSTI KSR-DT

- metode su dugo u upotrebi, te time u velikoj mjeri poznate i normizirane,
- većina metoda daje **kvantitativni** rezultat,
- većina rezultata je izravne prirode.

20

KONTROLA KVALITETE

NEDOSTACI KSR-DT

- zahtijevaju pripremu uzoraka te time poskupljuju proizvod,
- ispitivanje se provodi na uzorku te je izražen problem reprezentativnosti uzorka,
- rijetko se mogu primijeniti pri ispitivanju u eksploataciji.

21

KONTROLA BEZ RAZARANJA

NAZIVI

- Non-destructive Testing (**NDT**)
- Non-destructive Evaluation (**NDE**)
- Non-destructive Inspection (**NDI**)

22

Metode nerazornih ispitivanja

- ...još i nazivi:
 - Defektoskopija
 - kontrola bez razaranja
- ...strani nazivi:
 - zerstörungs-freie prüfung ZFP

23

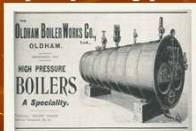
Uvod u ispitivanje bez razaranja

1. Što je NDT?
2. Što je NDE?
3. Podjela NDE
4. Neke NDT/NDE tehnologije

24

Povijest NDE

- Događaji koji su doveli do NDE
 - Ožujak, **1854** u Hartfordu, Conn. u tvrtki Fales and Gray Car Works
 - Zaposlenici su se vratili s ručka i oko 14 sati eksplodirao je kotao te je uništio velik dio zgrade. 21 osoba je poginula, a 50 ih je ozbiljno ranjeno.
 - Veliki faktori sigurnosti, novi materijali i tvrtka s reputacijom nisu spriječili eksploziju zbog prevelikog pritiska pare.



25

Povijest NDE

Predloženo je:

- Certifikacija zaposlenika
- Kontrole sigurnosti
- Izolirati lokaciju
- Izraditi propise o minimalnoj sigurnosti

26

Povijest NDE

- Zakoni o pregledima
 - **1857.** – 12 osoba u Connecticutu osnovalo je politehnički klub (Polytechnic Club) koji je zasjedao periodično radi proučavanja problema povezanih s zakazivanjem kotlova.



27

Povijest NDE

- **1864.** – u Connecticutu je izglasan prvi zakon o pregledu kotlova koji je ponudio smjernice za pregled i stavljao izvan uporabe kotlove koji nisu zadovoljili na pregledu.

28

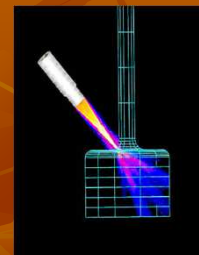
Što je NDT?

- Non-Destructive Testing
- **Ispitivanje bez razaranja**
- Interdisciplinarna tehnika za provjeru da li proizvodi i sistemi provode svoju funkciju na pouzdan i ekonomičan način
- Testiranje se provodi s ciljem lociranja i karakterizacije stanja materijala i eventualnih grešaka

29

DEFINICIJA NDT

Skup metoda temeljen na principima fizike sa svrhom utvrđivanja svojstava materijala ili komponeneta sustava te otkrivanja različitih vrsta defekata, a da se pritom ne utječe na funkcionalnost objekta koji se ispituje.



Provjera ili mjerenje bez oštećivanja.

30

Što je NDT?

- Ako se te greške ne otkriju, mogu dovesti do opasnih pojava:
 - pucanje rezervoara,
 - curenje kemikalija u okolinu,
 - eksplozije,...

31

Što je NDT?

- Ovi testovi se provode tako da ne promijene funkcionalnost objekta koji se ispituje
- Proizvodi i materijali se ispituju i mjere tako da pri tome ne budu oštećeni.
- Time se osigurava balans između
- **kontrole kvaliteta i kontrole troškova.**

32

Što je NDT?

- Generalno, NDT se odnosi na industrijska ispitivanja.
- Tehnologija koju koristi NDT je slična medicinskoj tehnologiji
- NDT ispituje nežive objekte

33

Što je NDE?

- Non-Destructive Evaluation
Vrednovanje bez razaranja
- Označava mjerenja koja su po prirodi više **kvantitativna**
- Primjer:
- NDE metoda neće samo locirati defekt, nego će izmjeriti i neku osobinu defekta (veličina, intenzitet, oblik, orijentacija)

34

Šta je NDE?

- NDE se koristi za određivanje osobina materijala, kao što su zatezna čvrstoća, formabilnost, anizotropija i druge fizičke karakteristike

35

Podjela NDE

- Otkrivanje i mjerenje grešaka
- Okrivanje i mjerenje curenja
- Mjerenje dimenzija
- Određivanje i mjerenje položaja
- Utvrđivanje strukture i mikrostrukture

36

Podjela NDE

- Procjena mehaničkih i fizičkih osobina
- Određivanje naponsko/ deformacijskog stanja
- Analiza odziva
- Utvrđivanje kemijskog sastava

37

Podjela NDE

- Faktori koji utječu na izbor NDE metode za otkrivanje grešaka:
 - Vrste grešaka koje treba otkriti
 - Veličina i orijentacija neprihvatljivih grešaka
 - Očekivani položaj grešaka
 - Veličina i oblik objekta
 - Karakteristike materijala

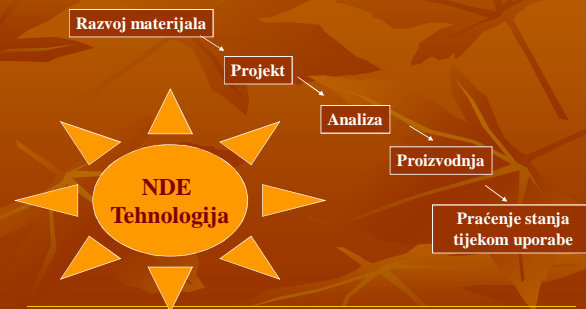
38

Podjela NDE

- **Procesno ispitivanje** (In-process inspection) - da li je objekat prihvatljiv u svakom koraku proizvodnje?
- **Završno ispitivanje** (Final inspection) - da li je objekat spreman za upotrebu?
- **Ispitivanje u eksploataciji** (In-service inspection) - da li se objekat koji se već koristi prihvatljiv za kontinuiranu upotrebu?

39

NDE – Pregled tehnologije



40

Neke NDT/NDE tehnologije

- Većina NDT tehnologija su poznate iz **medicinskih aplikacija** (ultrazvuk, CT, rendgen,...)

41

Neke grane uporabe NDT

- Metali
- Nemetali
- Aeronautika
- Letjelice
- Marine
- Transport
- Automatizacija
- Lijevanje i kovanje
- Kompozitni materijali
- Petrokemija
- Građevinarstvo
- Elektronika
- Obrada hrane
- Sigurnost

42

METODE- NDT

Vizualno
Ispitivanje laganim udaranjem
X-zrake
Akustična emisija
Ultrazvuk
Istjecanje

Mikrovalovi
Magnetne čestice
Akustična mikroskopija
Tekući penetranti
Replikacija
Laserska interferometrija
Vrtložna struja

Termografija

43

Neke NDT/NDE tehnologije

- Vizualno i optičko testiranje
- Radiografija
- Ispitivanje magnetnim česticama
- Ispitivanje ultrazvukom
- Ispitivanje penetrantima
- Elektromagnetno ispitivanje
- Ispitivanje na curenje
- Ispitivanje akustičnom emisijom
- ...

44

NDT

- NDT se uključuje u sustav osiguravanja kvalitete nerazornim metodama.
- Stari naziv za NDT je defektoskopija (grč. defekt – pogreška, skopeo – gledam).
- **NDT utvrđuje kvalitetu ili vrstu materijala na temelju mjerenja fizikalnih svojstava.**

45

NDT

PREDNOSTI NDT

- ispitivanja se mogu provoditi izravno na proizvodu ili konstrukciji,
- moguće je provoditi 100% kontrolu,
- objekt je moguće ispitati s više metoda i više puta (ponovljivost, obnovljivost),
- moguće je provoditi kontrolu objekta u eksploataciji,
- kontrola se može često provesti i bez zaustavljanja proizvodnje,
- oprema je u većini metoda prijenosna te je olakšan rad na terenu.

46

NDT

NEDOSTACI NDT

- svojstva objekta i kvaliteta se u većini metoda mjere indirektno, tj. o kvaliteti se zaključuje temeljem nepostojanja pogrešaka ili odstupanja određene fizikalne veličine izvan granica zadanih kriterijem kvalitete,
- pojedine metode kontrole zahtijevaju pojačanu zaštitu na radu,
- interpretacija rezultata često je složena te zahtjeva školovano osoblje.

47

TEHNOLOGIJA NDT

- Preduvjet uspješne kontrole kvalitete je primjenom nerazornih metoda je uključivanje nerazornih metoda kontrole u sustav osiguravanja kvalitete.
- Na taj način uključena je odgovornost ne samo **ispitivača već i uprave u kontroli kvalitete.**
- Time se stječu uvjeti za:
 - Nadzor nad postupkom i uređajima za pregled, mjerenje i ispitivanje,
 - Kontrolu nad zapisima kvalitete,
 - Izobrazbu osoblja koje utječe na pouzdanost rezultata.

48

TEHNOLOGIJA NDT

- Za djelotvoran proces osiguravanja pouzdanih rezultata kontrole kvalitete potrebno je definirati:
 1. Kriterij kvalitete i/ili kriterij prihvatljivosti
 2. Postupak kontrole
 3. Program kontrole
 4. Procjena prihvatljivosti
 5. Tehnika ispitivanja
 6. Interpretacija rezultata
 7. Specifikacija opreme
 8. Provjera opreme

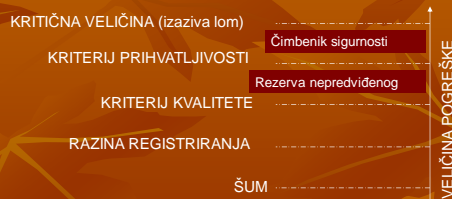
49

TEHNOLOGIJA NDT

1. **kriterij kvalitete i/ili kriterij prihvatljivosti**
 - Razlika kriterija kvalitete i kriterija prihvatljivosti
 - Kada se radi o ispitivanju **kriterij prihvatljivosti** temelji se na računu parametara kritične pogreške, odnosno **mjerljivih pokazatelja** postignuća kvalitete, **a kriterij kvalitete pretežno na iskustvu.**

50

1. kriterij kvalitete i/ili kriterij prihvatljivosti



51

1. kriterij kvalitete i/ili kriterij prihvatljivosti

Definira	Metode kontrole
Na temelju	Kriterija kvalitete ili kriterija prihvatljivosti i tehničke dokumentacije
Sadrži	Kada se ispituje tvorevina: tehniku i parametre ispitivanja, interpretaciju rezultata kontrole, dokumentaciju, sustav za ispitivanje, osoblje i potrebnu kvalifikaciju, osjetljivost, traženu točnost mjerenja, vjerojatnost i pouzdanost pridruženu rezultatima
U svrhu	Pridržavanja propisane metode i tehnike ispitivanja, dokaza mogućnosti otkrivanja pogrešaka, postizanja ugovorene razine kvalitete usluge

52

2. Postupak kontrole

Definira	Metode kontrole
Na temelju	Kriterija kvalitete ili kriterija prihvatljivosti i tehničke dokumentacije
Sadrži	Kada se ispituje tvorevina: tehniku i parametre ispitivanja, interpretaciju rezultata kontrole, dokumentaciju, sustav za ispitivanje, osoblje i potrebnu kvalifikaciju, osjetljivost, traženu točnost mjerenja, vjerojatnost i pouzdanost pridruženu rezultatima
U svrhu	Pridržavanja propisane metode i tehnike ispitivanja, dokaza mogućnosti otkrivanja pogrešaka, postizanja ugovorene razine kvalitete usluge

53

TEHNOLOGIJA NDT

3. Program kontrole

Definira	Provođenje kontrole
Na temelju	Kriterija kvalitete i kriterija prihvatljivosti, postupka kontrole, tehničke dokumentacije
Sadrži	Metode kontrole, specifikacije, obujam i dinamiku kontrola, pozicije ispitivanja, vremenski plan
U svrhu	Jednoznačno određenog slijeda ispitivanja

54

TEHNOLOGIJA NDT

4. Procjena prihvatljivosti

Definira	Prihvatljivost objekta ispitivanja, odnosno kvalitete usluge
Na temelju	Kriterija kvalitete ili kriterija prihvatljivosti
Sadrži	Nalaz o kvaliteti objekta, odnosno kvaliteti usluge
U svrhu	Prihvaćanja ili odbacivanja, ovisno o ustanovljenoj kvaliteti

55

TEHNOLOGIJA NDT

5. Tehnika ispitivanja

Definira	Pripremu objekta ispitivanja, pripremu sustava za ispitivanje
Na temelju	Propisane metode kontrole, obujma kontrole, pozicija koje se ispituju
Sadrži	Parametre ispitivanje, način dokumentiranja ispitivanja
U svrhu	Postizanja zahtijevane osjetljivosti metoda, ponovljivosti i obnovljivosti rezultata kontrole, potrebne vjerojatnosti rezultata te pouzdanosti ispitivanja na zahtijevanoj razini

56

TEHNOLOGIJA NDT

6. Interpretacija rezultata

Definira	Način obrade rezultata ispitivanja, izvješće o ispitivanju i mjerenju, izvješće o rezultatu kontrole
Na temelju	Primijenjene metode i tehnike, opreme, referentnih normi
Sadrži	Liste za upis podataka i rezultata ispitivanja, postupak za obradu podataka i rezultate ispitivanja, nalaz kontrole, stupanja osjetljivosti, mjernu netočnost, vjerojatnost i pouzdanost pridruženu rezultatima
U svrhu	Mogućnosti ocjene kvalitete

57

TEHNOLOGIJA NDT

7. Specifikacija opreme

Definira	Potrebne karakteristike uređaja, pribora, etalona i referentnih uzoraka
Na temelju	Postupka kontrole kvalitete i programa kontrole kvalitete
Sadrži	Zahtijevane radne karakteristike sustava za ispitivanje
U svrhu	Osiguravanja postupkom propisane osjetljivosti metode, mjeriteljskih mogućnosti, vjerojatnosti i pouzdanosti otkrivanja pogrešaka

58

TEHNOLOGIJA NDT

8. Provjera opreme

Definira	Provjeru parametara opreme uključene u sustav
Na temelju	Postupka ili norme za karakterizaciju sustava
Sadrži	Rezultate mjerenja, ateste opreme
U svrhu	Osiguravanja uvjetne osjetljivosti sustava za ispitivanje i pouzdanosti sustava

59

Metode i tehnike nerazornih ispitivanja

obzirom na fizikalne principe, nerazorna ispitivanja dijelimo na **METODE** nerazornih ispitivanja,

a obzirom na specifičnosti načina provedbe ispitivanja na **TEHNIKE** nerazornih ispitivanja

60

6 najraširenijih metoda NDT

- Vizualni pregled
- Ispitivanje tekućim penetrantima
- Ispitivanje magnetnim česticama
- Ispitivanje ultrazvukom
- Vrtložne struje (elektromagnetsko)
- Rentgen (X-zrake)



61

Vizualno i optičko testiranje

- Najosnovnija metoda NDT
Promatranje proizvoda s ciljem otkrivanja vidljivih nesavršenosti površine
- Obično promatranje
- Digitalne kamere
- Automatsko prepoznavanje i mjerenje osobina proizvoda

62

Vizualni pregledi



Fiberoskop

Prijenosna jedinica za vizualni pregled sa povećanjem omogućava pregled velikih rezervoara, cisterni itd.



Roboti koji omogućavaju preglede u opasnim ili skućenim okolišima kao što su reaktori, ejevovodi itd.



63

Ispitivanje tekućim penetrantima

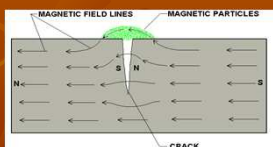
- Tekućina sa svojstvom velikog močenja površine nanosi se na površinu objekta i pričekava se da se nacijsedi u defekte na površini.
- Višak tekućine se ukloni.
- Na površinu objekta nanosi se prah koji izvlači penetrant iz defekata na površinu gdje se može vidjeti.
- Vizuelni pregled je posljednji korak u procesu ispitivanja. U penetrante se često miješaju fluorescentne boje pa se vizuelni pregled obavlja pod UV svjetlom kako bi se povećala razlučljivost.



64

Ispitivanje magnetnim česticama

Uzorak se magnetizira. Fino mljevene željezne čestice premazane bojom se nanose na uzorak. Greške na površini ili neposredno ispod površine proizvode magnetne polove ili narušavaju magnetno polje tako da se te čestice grupiraju na mjestima tih grešaka. Nakupine čestica na mjestu greške daju vidljivu indikaciju greške na površini materijala.



65

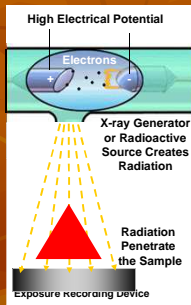
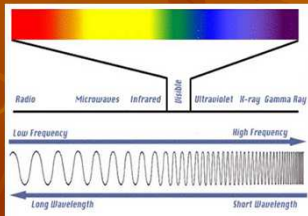
Indikacije pukotina magnetnim česticama



66

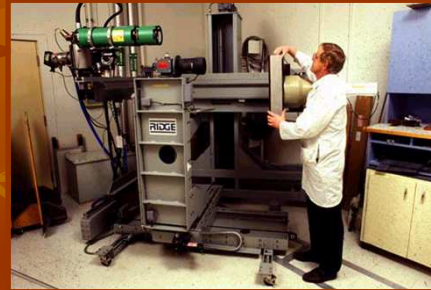
Radiografija

- Koristi penetrirajuće gama ili X-zrake da bi se otkrile defekti i unutrašnje osobine materijala i proizvoda.
- Rendgen ili radioaktivni izotop se koriste kao izvor zračenja



67

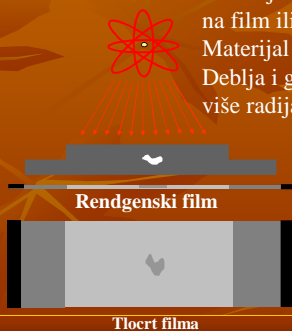
Radiografija (Rendgensko ispitivanje)



68

Radiografija

Zračenje se usmjerava kroz objekat na film ili na neki drugi medij. Materijal će zaustaviti dio zračenja. Deblja i gušća područja će zaustaviti više radijacije.

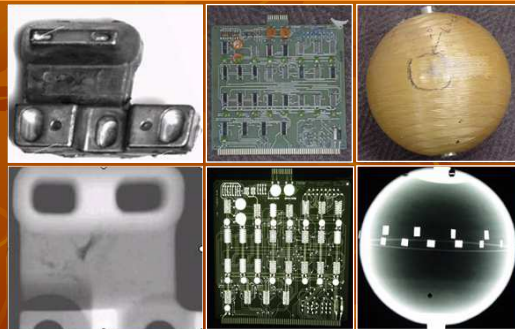


Promjene debljine i gustoće materijala se očituju kao svjetlije i tamnije površine snimke.

- slabije izloženo
- jače izloženo

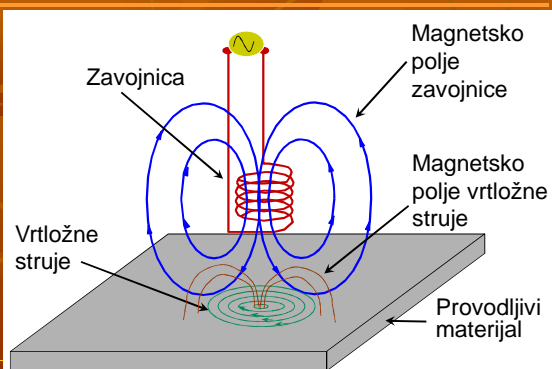
69

Radiografske slike



70

Ispitivanje vrtložnim strujama



Ispitivanje vrtložnim strujama

- Električna struja (vrtložne struje) se generiraju u električni provodljivom materijalu promjenom magnetnog polja, nakon čega se mjeri jačina vrtložnih struja.
- Defekti u materijalu uzrokuju prekinde u toku vrtložnih struja



72

Ispitivanje vrtložnim strujama

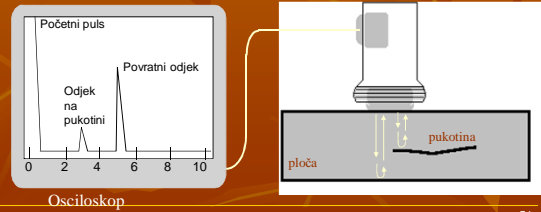
Pogodno je za otkrivanje pukotina pri površini, ali može se koristiti i za određivanje električne provodljivosti i debljine premaza.



73

Ultrazvučna ispitivanja (Puls-Odjek)

Visokofrekventni zvučni valovi unose se u materijal i reflektiraju se od površina i defekata. Reflektirana energija se prikazuje u odnosu na vrijeme i ispitivač može odrediti dubinu na kojoj se u materijalu reflektira val.



74

Ultrazvučno slikanje

Slike visoke rezolucije mogu se proizvesti crtanjem jačine signala ili vremena prolaza koristeći računalom kontrolirani sistem skeniranja.



Slika dobivena zvukom reflektiranim s gornje površina novčića

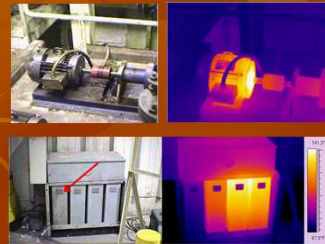


Slika dobivena zvukom reflektiranim s donje površina novčića

75

Ostale NDT metode

■ Termografija



76

Ostale NDT metode

Akustična emisija

- Kad se materijal izloži naprezanju, nesavršenosti unutar materijala emitiraju kratke impulse akustične energije
- te emisije se mogu registrirati specijalnim prijemnicima
- Koriste se za otkrivanje
 - izvora energije i
 - lokacija izvora



77

Uobičajena primjena NDT

- Pregledi sirovina
- Pregledi koji slijede nakon sekundarne obrade
- Pregledi oštećenja nastalih u uporabi

78

Kontrola sirovina

- Dobivenih:
 - Kovanjem,
 - Ljevanjem,
 - Ekstrudiranjem,
 - Itd.



79

Pregledi koji slijede nakon sekundarne obrade

- Obrada odvajanjem strugotine
- Varenje
- Toplinski tretmani
- itd...



80

Pregledi oštećenja nastalih u uporabi

- Pukotine
- Korozija
- Erozija/trošenje
- Oštećenja od topline
- itd.

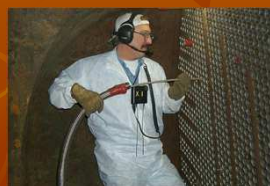


81

Pregledi elektrana



Periodično se elektrane zatvaraju radi pregleda. Sonde za ispitivanje vrtložnim strujama guraju se u cijevi za izmjenjivanje topline radi provjere postojanja korozije.



82

Pregledi žičanih kablova

Elektromagnetski uređaji i vizualni pregledi radi pronalaska slomljenih žica u žičarama i dizalima.



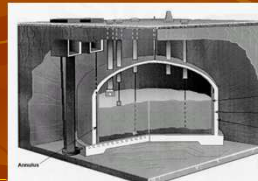
83

Pregledi rezervoara

Roboti koji se kreću po konstrukciji i služe za prikupljanje podataka ultrazvučnom metodom za ustanovljavanje smanjenja debljine stijenki uzrokovanih korozijom.



Kamere na dugim nastavcima za pregled podzemnih rezervoara.



84

Pregledi letjelica

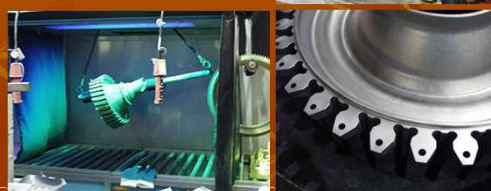
- NDT vrlo raširen u pregledima letjelica.
- Traženje pukotine i korozije nastalih tijekom uporabe.



85

Pregledi mlaznih motora

- Nakon određenog perioda u upotrebi motori se rastavljaju i pregledavaju i ponovo sastavljaju.
- Često se koristi ispitivanje penetrantima.



86

Pregledi kotlova pod tlakom

- Zbog opasnosti od eksplozija kotlovi se moraju pregledavati.
- Radiografija i ultrazvučne metode



87

Pregledi željeznica

Specijalna vozila se koriste za preglede tračnica u svrhu pronalaska pukotina.



88

Pregledi mostova

- Korozija, pukotine i druga oštećenja utječu na svojstva mostova.
- Rušenje mosta Silver Bridge u SADu 1967. rezultiralo je s 47 poginulih.
- Senzorima akustične emisije pokušava se detektirati rast pukotina u konstruktivnim elementima.



89

Pregledi cjevovoda

NDT se koristi za pregled cjevovoda kako bi se spriječilo istjecanje u okoliš. Vizualni pregledi, radiografija i elektromagnetska ispitivanja su neke od korištenih NDT metoda.



Photo: Courtesy of Infratec
Vizualni pregled na daljinu koristeći robote.



Otkrivanje mjesta promjene magnetskog toka. Naprava na slici, poznata kao "svinja" pušta se u cjevovod i prikuplja podatke o stanju cijevi.



Photo Courtesy of Yalon International
Radiografija zavarenih spojeva

Specijalna mjerenja

Pregled zvana Liberty Bell koristeći vrtložne struje s ciljem ispitivanja ujednačenosti.



91

Više informacija o NDT



The Collaboration for
NDT Education

www.ndt-ed.org

The American
Society for
Nondestructive
Testing

www.asnt.org

92