

# **Niet-destructief onderzoek**

drs. W.J.P. Vink

# Voorwoord

Deze uitgave over niet-destructief onderzoek (n.d.o.) geeft een overzicht van de in de industrie veelvuldig toegepaste onderzoekstechnieken getoetst aan de huidige stand van de techniek. Het boek is opgezet als een leerboek voor studenten aan de Technische Universiteit te Delft. Ook in het hoger beroepsonderwijs is de bruikbaarheid bewezen. Wel zal in het algemeen de docent een keuze bij de behandeling moeten maken omdat delen van het boek een duidelijke naslagfunctie hebben.

Anders dan bij vorige drukken het geval was, is deze herdruk tot stand gekomen zonder de medewerking van ing. N.H.R. Versluis die op veel te vroege leeftijd in 1989 is overleden.

In deze uitgave is de reeds bestaande structuur ten behoeve van de gebruikers gehandhaafd en zijn de relevante recente ontwikkelingen zoals real-time radiografie, beeldbewerking, geavanceerd ultrasoon onderzoek met de time of flight-techniek aan de bestaande hoofdstukken toegevoegd. Opnieuw is veel aandacht aan de principes van de diverse technieken geschonken omdat uit de vakliteratuur blijkt dat veel nieuwe toepassingen terug te voeren zijn tot de realisatie van de algemene principes in bijzondere gevallen en het in gebruik nemen van een nieuw ontwerp met technische verbeteringen op het gebied van de miniaturisatie van componenten, de gewichtsbesparingen in draagbare apparatuur, de toename in de meetgevoeligheid en de sterke vermindering in de benodigde energie tijdens gebruik of dat het apparaat is aangepast aan de huidige eisen van de wetgeving op het gebied van de arbeidsomstandigheden, de veiligheid en het milieu.

Terugkijkend op het afgelopen decennium valt op dat naast de reeds genoemde zaken de grote vooruitgang mede het gevolg is van de computerisering van bestaande onderzoeksmethoden die gepaard ging met de ontwikkeling van de benodigde software. Mede dank zij de toegenomen rekenkracht van de moderne computers kunnen nu grote hoeveelheden data snel worden verwerkt. Reeds nu is duidelijk dat een en ander zijn weerslag zal hebben op de inhoud van de opleiding en het karakter van het n.d.o. als de n.d.o.-er naast een nauwgezette onderzoeker ook een informaticaspecialist moet zijn. In dit boek wordt in dit verband ondermeer uitvoerig ingegaan op de moderne wijze van digitale beeldverwerking en beeldbewerking. De toegenomen rekenkracht heeft ook nog andere gevolgen voor het n.d.o. Zo worden verschillende n.d.o.-technieken steeds meer ingezet als besturingstechnieken bij de fabricage en tijdens gebruik van een constructie waar de ontwikkeling van geschikte sensoren aan meewerkt. Meer dan vroeger het geval is wordt in dit boek aandacht geschonken aan de plaats van het n.d.o. in de levensduur van een constructie vanaf de ontwerpfase tot en met de uiteindelijke sloop.

Het veld overziend kan geconcludeerd worden dat het n.d.o. is gegroeid. Niet alleen is het aantal beoefenaren toegenomen, ook de kwaliteit is verbeterd mede een gevolg van de aanscherping van de normen en de hogere eisen van het bedrijfsleven en van de overheid. In dit verband kan gewezen worden op de invloed van certificatie van bedrijven en personeel. Ook moet de invloed worden genoemd van verenigingen op het gebied van n.d.o. als KINT en NIL, die zich ondermeer hebben ingezet voor het georganiseerde n.d.o.-onderzoek, veelal met medewerking van de overheid, TNO, universiteiten en de Nederlandse industrie. Aan een aantal projecten wordt in dit boek uitvoerig aandacht besteed.

Dit boek had niet in de voor u liggende vorm geschreven kunnen worden zonder de belangeloze hulp van zeer velen, zowel op persoonlijke titel als met instemming van hun organisatie.

Met name wil vermelden:

ir. H.J. Schoorlemmer, ANRU-NDT B.V. te Delft,  
ing. P. van Rooijen, AIB-Vinçotte te Breda,  
ing. T. Blok, MTS Matcon B.V. te Spijkenisse,  
ing. J. Verkooyen, AEA Sonomatic B.V. te Oosterhout,

die op hun specialismen de bestaande tekst hebben aangepast aan de huidige stand van zaken,

mevr.dr.ir. M.T.C. de Loos-Vollebregt, TU-Delft,  
mevr.drs. J.M. Voskuil, TU-Delft,  
prof.dr. G. den Ouden, TU-Delft,  
prof.dr.ir. A. Bakker, TU-Delft,  
C. van der Wiel, AIB-Vinçotte te Breda,  
ing. L. Aardewerk, RTD te Rotterdam,  
M. van Eyk, RTD te Rotterdam,  
ing. E. Zeelenberg, Stoomwezen te Rotterdam,  
ir. T. Luijendijk, TU-Delft,  
ir. J.P.H. Wuister, Stoomwezen te Rotterdam

voor hun kritisch commentaar en hun suggesties met name ten aanzien van de actualisering van de diverse technieken,

J. Verschoor, SGS te Spijkenisse,  
ing. R.F.M. Apon, Agfa -Gevaert,  
ing. H. Bodt, NIL te Voorschoten,  
ir. L. van Nassau, Lincoln Electric te Nijmegen,  
ir. A.S. Woytas, AST-Stress Tech,  
B. Möllenkramer, Bruël & Kjaer te Nieuwegein,

en de firma's Inframetics te Alphen en Landré-Intechmij B.V. te Diemen voor het beantwoorden van mijn vragen en voor het aanleveren van materiaal met name op illustratief gebied waar ik dankbaar gebruik van heb gemaakt.

Ook de suggesties tot verbetering van een aantal kleine fouten van technische aard in de vorige druk ondermeer van dr. G.P. van der Meij van de Hogeschool te Amsterdam zijn onder dank in deze uitgave verwerkt.

Naast de hulp van de genoemde personen en bedrijven heb ik gebruik gemaakt van de

publicaties van deskundigen zoals in de literatuuroverzichten is aangegeven. Hiervan wil ik met name noemen de beschouwingen met een perspectief op de toekomst van het n.d.o. van enige internationale experts, waarbij ik bij de keuze mij zoveel mogelijk heb beperkt tot publicaties in de tijdschriften International Advances in NDT, Materials Evaluation en NDT & E International, die alle in de bibliotheek van het Laboratorium voor Materiaalkunde in Delft te vinden zijn.

Tenslotte wil ik de hoop uitspreken dat ook deze uitgave zijn weg zal vinden bij het onderwijs in het n.d.o. en zie ik opmerkingen betreffende de inhoud gaarne tegemoet.

november 1995

drs. W.J.P. Vink

N.B. Een aantal in kleur afgedrukte illustraties is opgenomen in het 'kleurenkatern' dat in het midden van het boek is geplaatst.

# Inhoud

1	NIET-DESTRUCTIEF ONDERZOEK	13
1.1.	Inleiding	13
1.2.	Niet-destructieve onderzoeksmethoden	14
1.3.	Niet-destructief onderzoek als onderdeel van de kwaliteitscontrole	15
1.4.	Toepassing van de n.d.o.-methoden	16
1.5.	Keuze van de n.d.o.-methode	17
1.6.	Enkele veel voorkomende fouten, die niet-destructief kunnen worden vastgesteld	18
1.7.	Enkele bij n.d.o. belanghebbende partijen	20
1.8.	Overzicht van niet-destructieve onderzoeksmethoden	21
1.9.	n.d.o. in de nabije toekomst	23
	Literatuur overzicht hoofdstuk 1	27
2	VISUELE INSPECTIE	28
2.1.	Inleiding	28
2.2.	Belichting	29
2.3.	Vergrotingsapparatuur	30
2.4.	Hulpmiddelen voor de inspectie van moeilijk toegankelijke plaatsen	32
2.5.	Toepassingen	40
2.6.	Beeldbewerking en beeldversterking	41
2.7.	Nog enige toepassingen	52
	Literatuur hoofdstuk 2	55
3	MAGNETISCH ONDERZOEK	56
3.1.	Inleiding	56
3.2.	Magnetisme	58
3.3.	Het magnetiseren van het werkstuk	61
3.4.	De grootte van de stroom	67
3.5.	Testmiddelen	68
3.6.	Inspectie	70
3.7.	Het vastleggen van de indicaties	73
3.8.	Demagnetisatie	74
3.9.	Foutdetectie met meetsonden	75
	Literatuur hoofdstuk 3	77
4	PENETRANT ONDERZOEK	78
4.1.	Inleiding	78
4.2.	Werkwijze	78
4.3.	Voorbewerkingen	82
4.4.	De keuze van een penetrant	83
4.5.	Nog enige gegevens, nodig bij het onderzoek	85
4.6.	Veiligheid, hygiëne en milieu	87
4.7.	Penetrant onderzoek als onderdeel van visuele inspectie	88
4.8.	Het penetrant onderzoek nu en straks	88
	Literatuur hoofdstuk 4	89

---

5	WERVELSTROOMONDERZOEK	91
5.1.	Inleiding	91
5.2.	Principe	92
5.3.	Signaalanalyse	95
5.4.	Onderzoek met doorloopspoel	96
5.5.	Meetmethoden	98
5.6.	Onderzoek met oppervlaktespoelen	101
5.7.	Het wervelstroomonderzoek nu en in de toekomst	109
	Literatuur hoofdstuk 5	110
6	ULTRASOON ONDERZOEK	112
6.1.	Inleiding	112
6.2.	Golfvormen	113
6.3.	Reflectie, transmissie	117
6.4.	Tasters	121
6.5.	Gebruikte inspectiemethoden	129
6.6.	Geluidsverzwakking	134
6.7.	Invloed foutgrootte en -vorm op de echo	136
6.8.	Enige methoden om de foutgrootte te bepalen	137
6.9.	Elektronische verwerking en presentatie van de indicaties	143
6.11.	Enige toepassingen van ultrasoon onderzoek	154
6.12.	Apparatuur voor bijzondere toepassingen	158
6.13.	Ervaring in Nederland	158
6.14.	Nieuw te ontwikkelen methoden	162
6.15.	Een visie op ultrasoon onderzoek, nu en straks	162
	Literatuur hoofdstuk 6	165
7	RADIOGRAFIE EN RADIOSCOPIE	167
7.1.	Inleiding	167
7.2.	Stralingsbronnen	168
7.3.	De interactie tussen straling en materie	174
7.4.	De radiografische film	176
7.5.	Uitvoering van het radiografisch onderzoek	181
7.6.	'Real time' afbeelding	195
7.7.	De automatische herkenning van fouten in 'real-time' radioscopie	204
7.8.	Onderzoek met verstrooide röntgenstraling	206
7.9.	Andere opnametechnieken	211
7.10.	Plaatsbepaling	213
7.11.	Inspectie	217
7.12.	Toepassingen	223
7.13.	Stralingsgevaar	225
7.13.	Radiografie nu en straks	226
	Literatuur hoofdstuk 7	227
8	NEUTROGRAFIE	229
8.1.	Inleiding	229
8.2.	Neutronenbronnen	230
8.3.	Moderatie	233
8.4.	Absorptie	233
8.5.	De collimator	234
8.6.	Enige opmerkingen over opnametechnieken	236

---

8.7.	Minimale te detecteren dikteverschillen	239
8.8.	Toepassingen	240
	Literatuur hoofdstuk 8	243
9	PERSPROEF	244
9.1.	Inleiding	244
9.2.	Doel van de persproef	245
9.3.	Vorbereiding	246
9.4.	Grootte van de persdruk	248
9.5.	Nadere beschouwing van de persproef	252
9.6.	N.d.o. methoden bij de persproef	254
9.7.	De uitvoering van de wetgeving in Nederland voor toestellen onder druk	255
	Literatuur hoofdstuk 9	256
10	LEKDETECTIEMETHODEN	257
10.1.	Inleiding	257
10.2.	De leksnelheid	258
10.3.	Methoden voor lekonderzoek met gas als medium	258
10.4.	Beschrijving van de methoden	259
	Literatuur hoofdstuk 10	265
11	AKOESTISCHE EMISSIE	266
11.1.	Inleiding	266
11.2.	Typen akoestische emissie	267
11.3.	Golfuitbreiding	269
11.4.	Het Kaiser-effect	271
11.5.	Aan te brengen belasting	272
11.6.	Signaalverwerking	272
11.7.	Signaalanalyse	275
11.8.	Lokalisatie	276
11.9.	Discriminatiemethoden	278
11.10.	Opnemers en golfgeleiders	278
11.11.	Basisonderzoek met A.E.	279
11.12.	Scheurinitiatie, scheurgroei en breukverschijnselen	281
11.13.	De akoestische emissie techniek als n.d.o.-methode	282
11.14.	Akoestische emissie nu en straks	286
	Literatuur hoofdstuk 11	289
12	THERMISCHE INSPECTIEMETHODEN	290
12.1.	Inleiding	290
12.2.	Enige wetten en begrippen uit de stralingstheorie	292
12.3.	De emissiefactor	294
12.4.	Het stralingsspectrum in het infrarood	296
12.5.	De detector of sensor voor contactloze methoden	297
12.6.	Optische componenten	299
12.7.	Meetprincipes	299
12.8.	Pyrometers	299
12.9.	Infraroodafbeeldingssystemen	300
12.10.	Thermografische inspectie met contactmethoden	304
12.11.	Infrarood thermografie nu en straks.	306
	Literatuur hoofdstuk 12	307

---

13	HOLOGRAFISCHE INTERFEROMETRIE; DE MOIRÉMETHODE	308
13.1.	Inleiding	308
13.2.	De opname van een hologram	309
13.3.	De reconstructie van het beeld uit het hologram	310
13.4.	De holografische interferometrie	312
13.5.	Kwantitatieve interferometrie	314
13.6.	De Shearografie	316
13.7.	De spikkelcorrelatiemethode	317
13.8.	Toepassingen	320
13.9.	Akoestische holografie	321
13.10.	De methode met rekstrookjes en de moirémethode	322
	Literatuur hoofdstuk 13	325
14	SCHEURDIEPTEMETINGEN (POTENTIAALVALMETHODE)	326
14.1.	De gelijkstroommethode	327
14.2.	De wisselstroommethode	327
14.3.	Invloedsfactoren	328
14.4.	De ACFM-methode	329
	Literatuur hoofdstuk 14	330
15	LAAGDIKTEMETINGEN	331
15.1.	Inleiding	331
15.2.	De magnetische methode	331
15.3.	De $\beta$ -reflectiemethode	332
15.4.	De diëlektrische vonktest	332
15.5.	De meting van de elektrische weerstand	334
16	VIBRATIE-ANALYSE	335
16.1.	Inleiding	335
16.2.	Lokaal vibratie-onderzoek, akoestische impedantiemeting, Fokker-Bond- tester	335
16.3.	Vibratie-onderzoek van de gehele constructie	338
16.4.	De laser-doppler methode	346
	Literatuur hoofdstuk 16	346
17	METHODEN VOOR MATERIAALIDENTIFICATIE	347
17.1.	Inleiding	347
17.2.	Bepaling van de samenstelling	347
17.3.	Identificatie van ferritisch en austenitisch staal; de ferrietmeting	352
	Literatuur hoofdstuk 17	354
18	MICROGOLFSTRALING	355
	Literatuur hoofdstuk 18	360
19	DIVERSE METHODEN; METHODEN VOOR HET METEN VAN RESIDUELE SPANNINGEN	361
19.1.	Replica	361
19.2.	Kraaklak	362
19.3.	De Fokker-contaminatiemeter	363
19.4.	Ferrografie	364
19.5.	Methoden voor het meten van residuele spanningen	364
	Literatuur hoofdstuk 19	367

---

20	DE ORGANISATIE VAN HET NIET-DESTRUCTIEF ONDERZOEK	368
	20.1. Inleiding	368
	20.2. De acceptatiespecificatie	368
	20.3. Onderzoekspecificatie	371
	20.4. Kwalificatie en certificatie van de onderzoeker	373
	20.5. Kwaliteitsbeheersing (borging) en kwaliteitsbewaking	375
	20.6. Nederlandse organisaties op het gebied van n.d.o.	378
	Literatuur hoofdstuk 20	379
	Bijlage hoofdstuk 20	380
21	VEILIGHEID	383
	21.1. Inleiding	383
	21.2. Dosimetrie van gamma- en röntgenstraling	383
	21.3. Meetmethoden voor ioniserende straling	391
	21.4. Stralingseffecten bij de mens	393
	21.5. Arbeidshygiënisch beleid, maximaal toelaatbare dosisequivalenten	395
	21.6. Wettelijke regelingen betreffende stralingsbescherming	399
	21.7. Andere vormen van elektromagnetische straling	403
	21.8. Het geluid	405
	21.9. Andere gevarenbronnen	407
	Literatuur hoofdstuk 21	408
22	BEOORDELING VAN HET ONDERZOEKSRESULTAAT	409
	22.1. Inleiding	409
	22.2. Inspectieresultaat in relatie tot kritische foutgrootte	413
	22.3. Oorzaken van variaties in het resultaat van het niet-destructief onderzoek	414
	22.4. Vermijden van ten onrechte goedgekeurde produkten	415
	22.5. Schadeoorzaken	416
	22.6. Reparatie	417
	22.7. Acceptatiecriteria	418
	22.8. Het Nederlandse onderzoeksproject 'Fitness for Purpose'	423
	22.9. De opzet van het praktijkmodel	428
	22.10. Het kostenaspect bij n.d.o.	428
	Literatuur hoofdstuk 22	432
	Bijlage 1 hoofdstuk 22. Detectability and limits for imperfections in butt welds	434
	Bijlage 2 hoofdstuk 22	436
	TREFWOORDENREGISTER	444