



INDUKTIV PROVNINGSTEKNIK I REAKTORTRYCKKÄRL
LITTERATURSTUDIE

På uppdrag av:

STATENS KÄRNKRAFTINSPEKTION

Sammanställd av

HENRIK BERGH
AF-TEKNISKA RÖNTGENTRALEN AB
BOX 121
S-183 22 TÄBY, SWEDEN

1987-01-29/H Bergh/BSK

LITTERATURSTUDIE

Induktiv provningsteknik i reaktortryckkärl

SKIs referensnummer 13.2/270/86 B 86047

ÅF-TRCs uppdragsnummer 602-000

Sammanfattning. (Summary in English next side.)

Svetsfogar och innerytor i reaktortryckkärl provas återkommande med ultraljud. Genom speciella 2-kristallsökare har möjligheten att detektera defekter nära avsökningsytan ökat men problem finns när det gäller att detektera och djupbestämma sprickor i krackelerade mönster, tätt liggande sprickor, att avgöra om en defekt är ytgående, att avgöra hur nära ytan defekten når (mäta kvarvarande ligament).

Denna litteraturstudie avser att belysa möjligheten att med virvelströmsmetoden lösa ovanstående problem.

Att detektera ytgående sprickor och sprickfält går bra med konventionell virvelströmsteknik. Kartläggning av sprickfält fordrar liten probe och hög provningsfrekvens. Djupbestämning fordrar större probe, lägre frekvens och kännedom om sprickfältets utseende eftersom 2 närbelägna, grunda sprickor kan tolkas som en djup. Djupbestämningen är oftast amplitudbaserad. Enskilda sprickor ner till 7-8 mm kan djupbestämmas. I täta sprickfält kan djupbestämning inte göras.

För icke ytgående defekter är problemet att bestämma kvarvarande ligament dvs avstånd från yta till sprickspets. För att erhålla god inträngning används stor probe, låg frekvens och relativt hög effekt eller pulsad matning av proben. Djupbestämningen är oftast fasbaserad. Ligament upp till 4 mm kan bestämmas med noggrannhet ± 1 mm.

Störningar som beror på ojäm yta, varierande godsstruktur och varierande avstånd mellan probe och yta kan minskas eller elimineras med hjälp av flerfrekvensmix, probeutformning och avsökningsmönster.

För en lyckad provning fordras god kännedom om objektets geometri och godsstruktur och förväntade fel samt rätt val av probe, frekvens och avsökningsteknik.

Datorn är ett verktyg som givetvis kan användas i hela kedjan från frekvensval till signalutvärdering och provningsredovisning.

Studien är finansierad av Statens Kärnkraftinspektion.

Summary

In Service Inspection of Reactor Pressure Vessels is mostly done with ultrasonics. Using special 2 crystal-probes good detectability is achieved for near surface defects. The problem is to detect closely spaced cracks, to decide if the defects are surface braking and, if not, to decide the remaining ligament. The purpose of this study is to investigate to what extent Eddy Current can solve these problems.

Detecting surfacebreaking cracks and fields of cracks can be done using conventional Eddy Current techniques. Mapping of closely spaced cracks requires a small probe and a high frequency. Measurement of depths a larger probe, a lower frequency and knowledge of the crackfield since 2 closely spaced shallow cracks might be mistaken for one deep crack. Depths of singel cracks can be measured down to 7-8 mm. In closely spaced crackfields the depths can not be measured. The measurement is mostly based on amplitude.

For not surface breaking defekts the problem is to deside the ligament, i.e. the distance between surface and cracktip. To achieve good penetration a large probe, low frequency and high energy or pulsed energy is used. Ligament up to 4 mm can be measured with good accuracy. The measurement is mostly based on phase.

Noise, which originate from rough surface, varied material structure and lift off, can be reduced using multi frequency mix, probe design and scanning pattern.

The computer is a tool which can be used in the whole chain from choice of frequency to signal processing and presentation.

This report is financed by the Swedish Nuclear Power Inspectorate.

INLEDNING

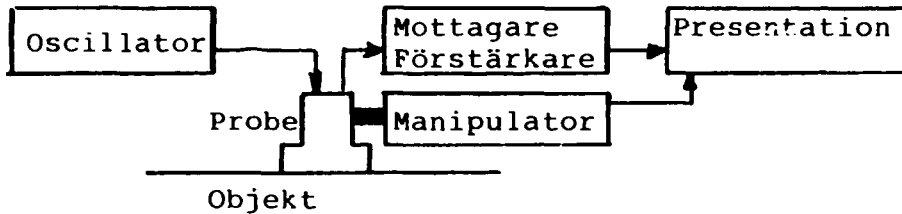
- Avsikten med denna studie är att ge en uppfattning om vad virvelström kan användas till när det gäller provning av reaktorkärl och system i kärnkraftverk.
- Mycket finns publicerat om virvelströmprovning. När det gäller In Service Inspection av kärnkraftkomponenter så krymper utbudet. De flesta artiklarna behandlar tubprovning i ång-generatorer och värmväxlare. Artiklar som behandlar virvelströmprovning av grövre detaljer, reaktortankar och stutssmiden är svårare att finna. Ofta har de formen av interna rapporter eller konferenssammandrag.
- Studiens omfattning och resultat speglar i viss mån berörda organisationers benägenhet att publicera sig.
- Läsaren förutsätts vara bekant med grundläggande begrepp och terminologi i ämnet.

Studiens disposition

- A- Schematisk systemuppbyggnad
- B- Reaktormiljön och de krav den ställer på provningsystemet
- C- Allmänt om systemets komponenter och signalbehandling
- D- Genomgång och presentation av referenser
- E- Resonemang om olika störkällor
- F- Praktiska synpunkter och jämförelse med nu använda system för ultraljudprovning
- G- Sammanfattning och rekommendationer
- H- Referenslista

A- Schematisk systemuppbyggnad

Ett provningssystem kan vara uppbyggt enligt figur nedan:



Från oscillatorn matas proben med högfrekvent växelström (en eller flera frekvenser)

I probens spolsystem genereras ett magnetfält som tränger in i objektet och orsakar virvelströmmar i objektet. Samma eller andra spolar i proben känner av variationer i dessa virvelströmmar.

I mottagaren förstärks och behandlas den inkomna signalen till lämplig form för presentation eller vidare behandling i ett utbyggt system.

Manipulatorn positionerar proben på objektet och ger positionsinformation till systemet.

B- Reaktormiljön och de krav den ställer på systemet

En bucklig, grov och buktande yta kräver en flexibel och exakt positioneringsutrustning och en probe och ett system som är okänsliga för lift-off-effekter. En godsstruktur med varierande konduktivitet och permeabilitet kräver ett system som kan dämpa, filtrera bort, mixa bort, välja bort icke-relevanta signaler och helst framhäva fel-signaler.

Förväntade defekters orientering, placering och utbredning ställer krav på positioneringsnoggrannhet, god upplösning i sida och på djupet, liten eller stor djupinträngning, på fältubredning och fältriiktning.

Ytbeläggningar kan påverka provningsresultatet.

Ofta fordras att kunna manipulera på avstånd och att överföra signalerna över större avstånd samt i många fall att fungera under vatten.

B- Allmänt om systemuppbyggnad och signalbehandling

Frekvensen

Den virvelström som används har en frekvens som kan variera från 0 (=likström) till MHz-området.

Likström används exempelvis vid sprickdjupsmätning enligt potential-drop-metoden samt vid mättnadsmagnetisering*

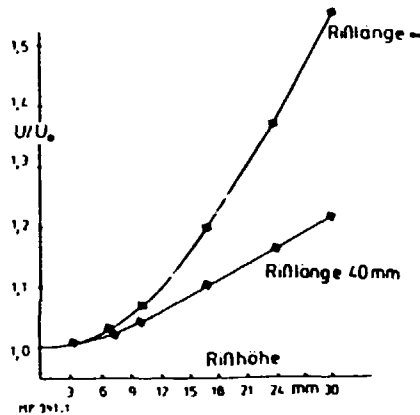
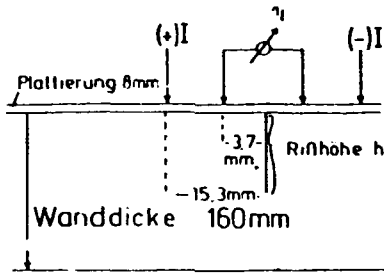
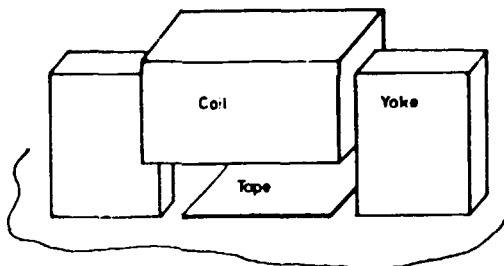


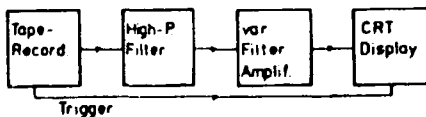
Fig. 1: Potentialsondenprüfung, Einfluß der Rißlänge auf die Rißhöhenbewertung

Figur ur ref.1

LF (50Hz - 1 KHz) använd vid provning med magnetok som ju är en form av virvelströmsprovning (eg. läckfältprovning)



Figur ur ref.2



Magn. Pick-Up by Tape

Virvelströmsprovning i allmänhet använder intervallet 1 Kilz- Milz. De frekvensberoende egenskaperna kan sammanfattas:

Låg frekvens

god djupverkan
sämre upplösning

Hög frekvens

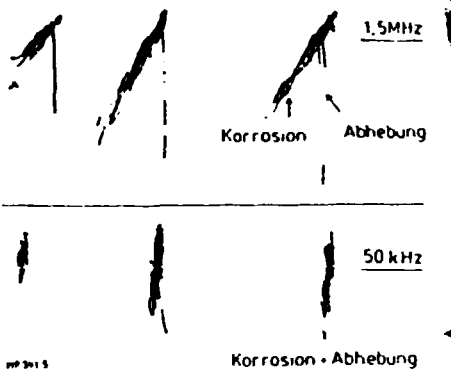
sämre djupverkan
god upplösning

*Mättnadsmagnetisering: genom ett yttre konstant magnetfält kan magnetiska "rörelser" i objektet "frysas" och därmed deras störande inverkan minskas.

Frekvensval.

Vanligtvis väljer man en frekvens som man anser optimal för aktuell feltyp, t ex spricka i ytan. Många, tätt belägna, ytsprickor kan ge samma signalsvar som lift-off. Genom att höja frekvensen kan återigen distinktion mellan lift-off och sprickfält åstadkommas.

(se vidstående figur)



Figur ur ref. 1

◀ Fig. 5: Prüfung auf Spannungsrißkorrosion mit einer HF-Wirbelstromvariante

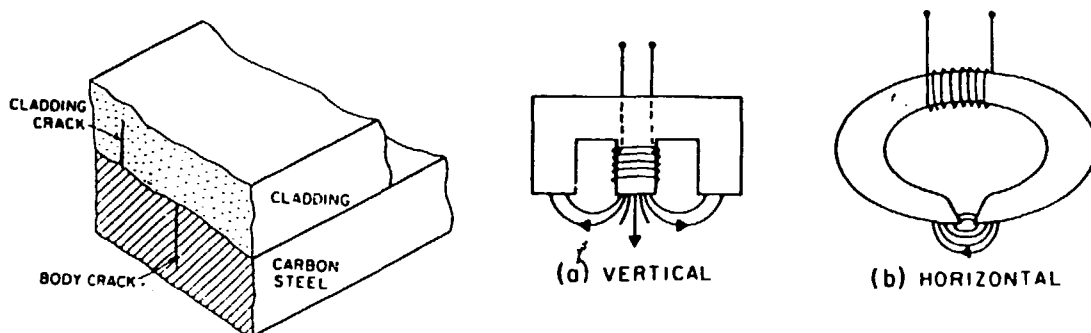
En särställning i frekvenshänseende utgör pulsade system, där man har valt att mata sin probe med korta, relativt kraftiga strömstötar. Den korta strömstöten är till sin natur bredbandig, dvs kan sägas innehålla ett brett spektrum av frekvenser.

Vid provning med flerfrekvenssystem väljer man en provningfrekvens som är optimal för provningsproblemet, en högre frekvens som är känslig för fenomen nära ytan (ytojämnheter, lift-off-effekt), en lägre frekvens som är känslig för djupare belägna variationer såsom fernitinnehåll o dyl. Genom klok mixning av signalsvar från de olika frekvenserna kan oönskade störningar reduceras eller helt försvinna.

Vid impulsvirvelströmsförfarandet har man ej denna möjlighet till mixning. Här väljer man i stället att "mixa" signalsvar som tidsmässigt ligger på olika avstånd från sändimpulsen och där tidsintervallet nära sändimpulsen kan sägas motsvara den högre mixfrekvensen i exemplet ovan.

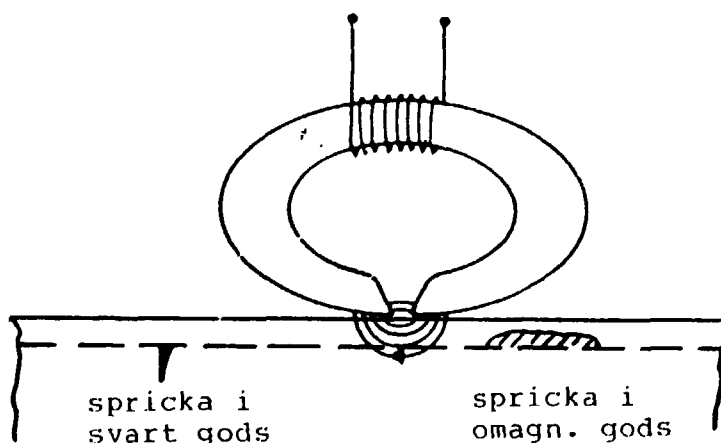
EC-Proben är en mycket viktig del i systemet. Dess spolsystem skall generera virvelström och magnetfält i objektet samt registrera de signaler som härrör från defekter i objektet.

Ref. 3 behandlar analytiskt problemet "detektering av spricka under ytan". Dess slutsats blir att probe som genererar ett magnetfält ytan är att föredraga framför en med fältet mot ytan. Även (Ref 6, 9,10) förordar prober som genererar horisontellt magnetfält.



Figur ur ref. 3 olika probetyper
fältorientering

- För att detektera sprickor i omagnetiskt material (cladding) bör proben orienteras så att defekten stör virvelströmslinjerna.
- För att detektera sprickor i det ferritiska grundmaterialet bör proben orienteras så att defekten stör magnetfältet, dvs 90° vridning mellan de båda fallen.



- För att minska i inverkan från ytojämnheter och varierande impedansegenskaper i objektet kan man göra sin sökare stor (Ref 9 och 10). Man så att säga "integrerar" bort variationen i objektet men man förlorar samtidigt i upplösningsförmåga.
- För att t ex detaljerat kartlägga ett sprickfält väljer man en liten probe och vinner därmed ökad upplösning i sida.
- Genom att förse sin probe med anordning för mättnadsmagnetisering kan man minska störande inverkan från ferrit i svetsgods.

Djupbestämning kan delas upp i två delproblem:

- sprickor i avsökningsytan,
- sprickor under avsökningsytan (eller i fråga om tillräckligt tunt gods) sprickor i motstående yta.

För sprickor i avsökningsytan används nästan genomgående amplitudbaserad bedömning, dvs signalsvarets amplitud tas som ett mått på sprickdjup. Vid tätt belägna sprickor kan dock amplituderna addera sig med missvisande resultat som följd. Exempel ges där man simulerar olika sprickfältsutseende för att förbättra kunskapen om sprickdjupet. Praktiska försök har ej lett fram till entydiga resultat.

Sammanfattning om ytsprickor: Hög upplösande liten probe ger information om sprickfältsutseende men ej om djup. Större , mer "djupinträngande " probe ger information om djup. Kombinerat kan viss information om sprickfältsdjup erhållas.

För sprickor och defekter under avsökningsytan används fasläget som mått på avståndet från ytan.

För impulsvirvelström är motsvarande mått tidpunkten för signalsvarets första nollgenomgång.

Signalbehandling och presentation

Mottagarkretsen tar emot signaler från proben. Genom filtrering, mixning eller annan avancerad signalbehandling kan felsignalens tydbarhet ökas.

För att få mer exakt uppfattning om objektet kan virvelströmsdata kombineras med data om probens läge på objektet.

Resultatet kan bli en "objektkarta" för felsignal i form av att amplitud eller fasvridning plottas i förhållande till läget på objektet. "Spår" som tagna ur sitt sammanhang inte säger så mycket bildar i sitt rätta sammanhang mönster som ger god information om objektet.

Exempel ges på system som ur sådan information automatiskt söker upp extremvärden och omvandlar dessa till exempelvis djup till fel.

Manipulator

För att positionera proben på objektet krävs i dessa sammanhang oftast en manipulator, vars information om position kombineras med probeutsignal till den presentation som undersökningen avser. Beroende på probens upplösning ställs större eller mindre krav på positioneringsnoggrannhet.

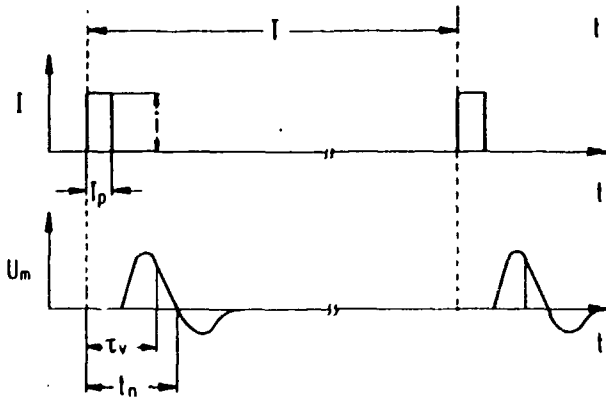
Reaktormiljön ställer krav på fjärrkontroll, vattentäthet.

D- Genomgång av referenser

Pulsad virvelström

Referens (13 - 21) behandlar alla pulsad virvelström,

Vid pulsad virvelström matas proben med korta, relativt kraftiga strömstötter med förhållandevis långa mellanrum.



Figur ur ref.20

I = sändpuls

U_m = mottagen signal där
 t_n = tid för signalens
 nollgenomgång

Man vinner med detta bättre upplösning och inte minst betydligt mindre värmeutveckling i proben jämfört med kontinuerlig matning. Korta strömpulser ger låg medelström. Detta är en fördel, då avståndet är stort mellan probe och instrument.

Probens uppbyggnad behandlas utförligt. I princip består den av en väl skärmad, vertikalt orienterad sändspole och en eller två mottagarspolar placerade vertikalt eller horisontellt, beroende på om man eftersträvar upplösning i ytan eller på djupet.

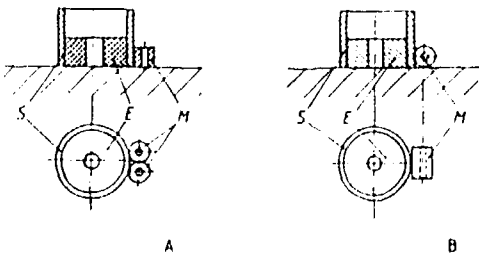
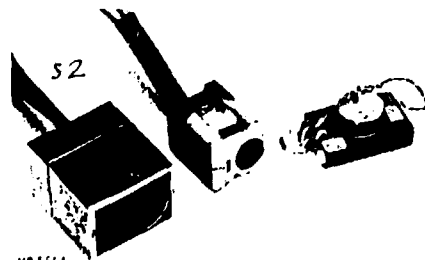


Fig. 3 - General design of the probe coil systems

- E - field generating coil
- M - sensing coil
- S - shield

Figur ur ref 19

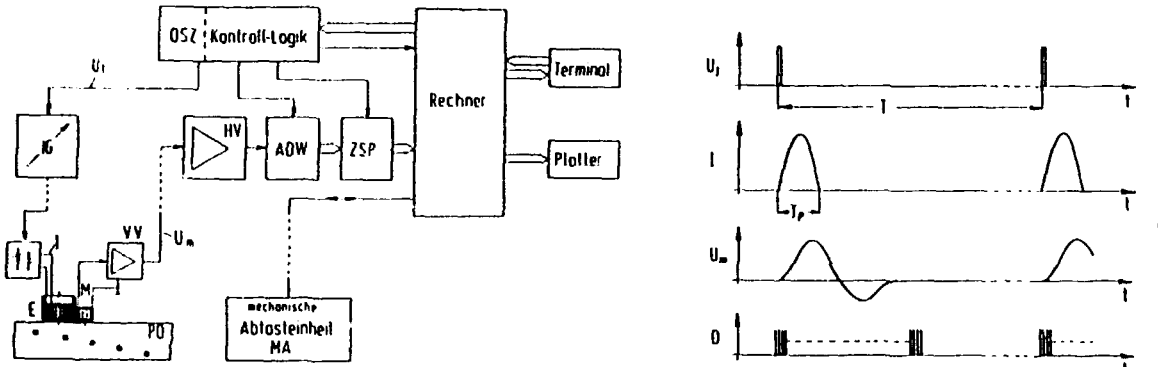
Typiskt mått för spole E är diam.20 mm till 5 mm beroende på om djupverkan eller upplösning i ytan eftersträvas.



HP 561
 Fig. 1: Spulensysteme SL 3, T15 und 1102a (mit austauschbaren Schirmungen und Meßspulen)

Figur ur ref 17

Mottagarsystemets uppbyggnad framgår av blockschema nedan. Det speciella är möjligheten att studera signalen vid olika tidpunkter i signalförloppet.



Figurer ur ref 20 visar systemuppbyggnad och princip för digitalisering.

För att vidarebehandla informationen i dator måste digitalisering ske. Hur detta går till behandlas utförligt i referens (20).

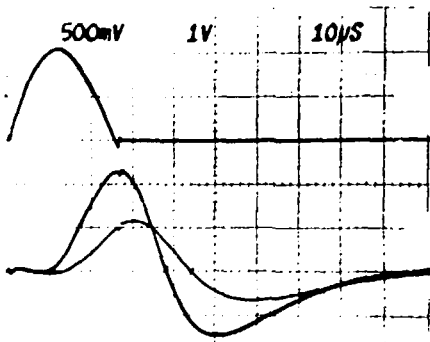


Abb. 9 Zeitliche Verläufe des erregenden Impulses und der Antwortsignale von zwei Querlochbohrungen in $h = 5,1$ mm und $6,1$ mm Tiefe

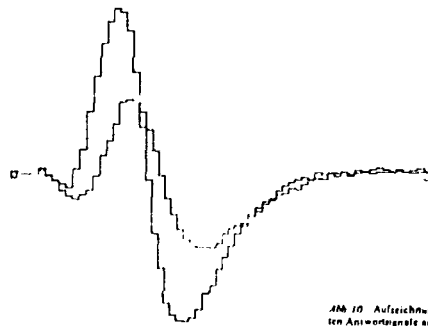


Abb. 10 Aufzeichnung der digitalisierten Antwortsignale aus Abbildung 9

Figurer ur ref. 20 visar analog resp. digitaliserad signal. Figuren visar även signalens första nollgenomgång som mått på avstånd till fel.

Datorn ger goda möjligheter att bearbeta signalen, att mixa och blanda, att undertrycka och framhäva, att simulera och lagra.

Signalbehandling

En digitaliserad signal ger möjlighet till digital filtrering.

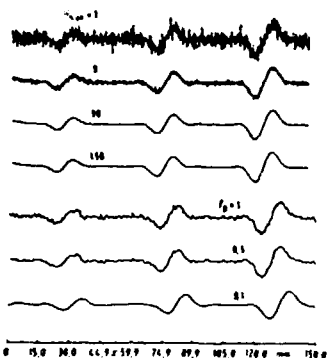
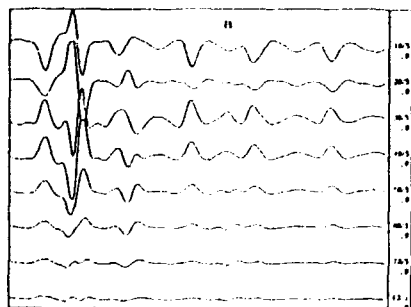


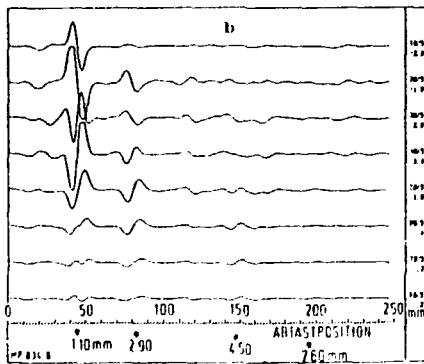
Fig. 3: Övre: Avsättning från Trekkörns med Signalbehandling (1%,...) och numerisk filtrering (0,1)

Figuren ur ref. 13 visar dels stör-
undertryckning genom att minska sänd-
pulsamplitud och scanningshastighet
och bilda medelvärden, dels resultatet
av digital filtrering med bibehållen
provningshastighet.

För att undertrycka störningar från ytojämnheter används informa-
tion från första delen av mottagna signaler. (Jfr mix med högre
frekvens i konventionell VS.)



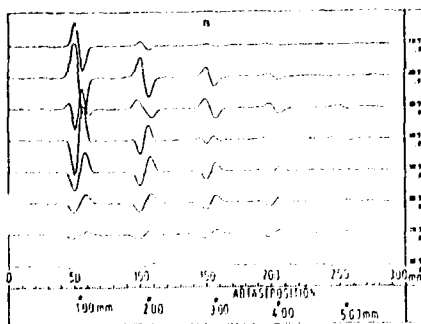
Figurer ur ref.16



a=okompenserad
upptagning, sig-
naler från ytan
"skymmer" inform.

b=kompenserad med
info. från första
delen av signalen
Fel på djup 4,5mm
kan urskilljas.

För att kompensera för djupt liggande signaler kan logaritmisk
förstärkning användas.



Figurer ur ref.16

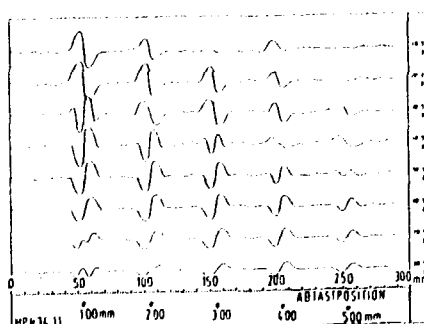
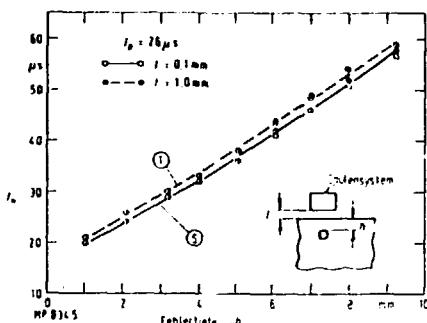


Fig. 14: Dynamikkompensation med en logarit-
misk förstärker

Resultat och resonemang
Fel under ytan

Avståndet till fel under ytan ges av tidpunkten för signalens nollgenomgång. Detta påpekas i nästan samtliga artiklar, men få praktiska exempel ges. Signalens nollgenomgång (men inte amplitud) är okänslig för lift-off, vilket bör vara en fördel t ex vid dubbelkrökta ytor.



Figur ur ref 16 visar nollgenomgångens variation för lift-off resp. avstånd till defekt

①, ② Spulensysteme verschiedener Größe
Werkstoff-Nr. 1 4550 (austenitischer Stahl)

Vid mätning, t ex av korrosion på insidan av rör (från utsidan), kan problem uppstå om skadorna har större utbredning än sökarna, eftersom sökarna är av differentialtyp och således indikerar skillnad i signal mellan spolarna. (Ref 17)

Fel i ytan

Här är två saker av intresse, utbredning och sprickdjup. Sprickdjupmätning grundar sig på amplitudavläsning. För god inträngning fordras relativt stor spole. En stor spole kan inte särskilja närliggande defekter utan kan tolka dessa som en djup defekt. För att säkert bestämma sprickdjup måste sprickans och eventuella grannsprickors läge vara kända. För detta använder man en liten sökare som är känslig på ytan men inte på djupet.

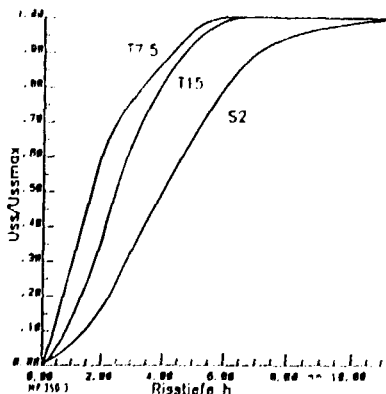


Fig. 3: Kennlinien von Tastpulsen für die Rißtiefebestimmung

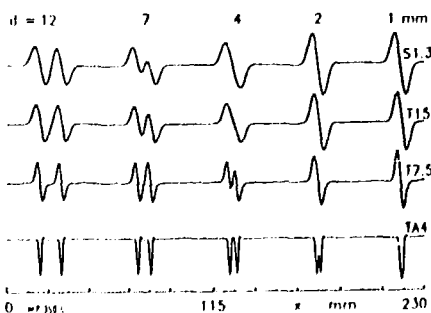
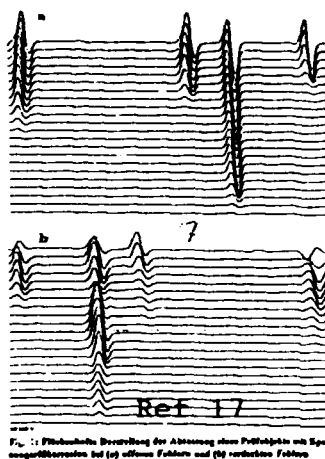
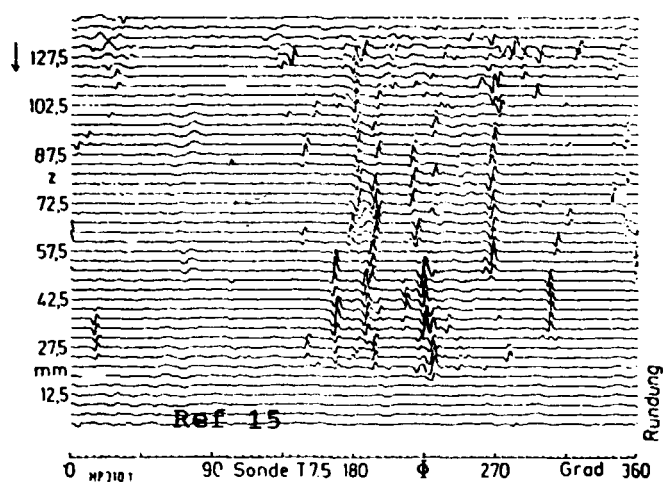


Fig. 4: Bestimmung der örtlichen Auflösung von Tastpulensystemen an Doppelschlüzen

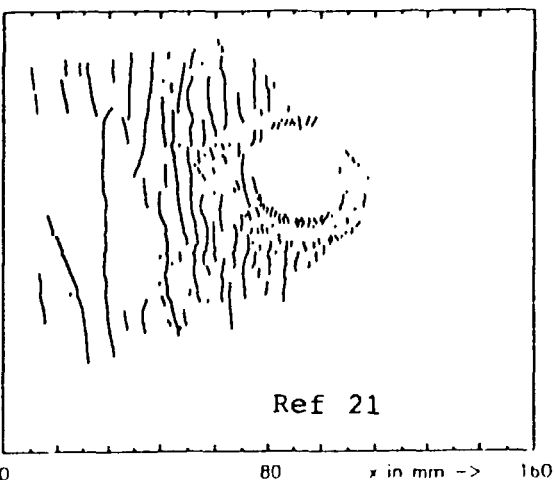
d Abstand der Einzelschlitze eines Paares

Figurer ur ref.14 olika probers svar för sprickdjup resp. närbelägna sprickor

Datapresentation kan ske i form av x-y-amplitud-plot eller en med data behandlad bild för att återskapa verkligheten.



Figurer ur ref 15,17.
X-Y-Amp-plot av stutsinsida och testblock



Figurer ur ref.21. Databearbetad bild av rörinryta med sprickfält samt penetrantprovning av samma objekt.

Manipulator. En manipulator för att positionera proven i en stuts' inre radie beskrivs (Ref 13). Beroende av uppgiften (kartlägga småsprickor i sprickfält eller att hitta enskilda isolerade defekter) bör större eller mindre stränga krav ställas på positioneringen och positionsdata till signalbehandlingen.

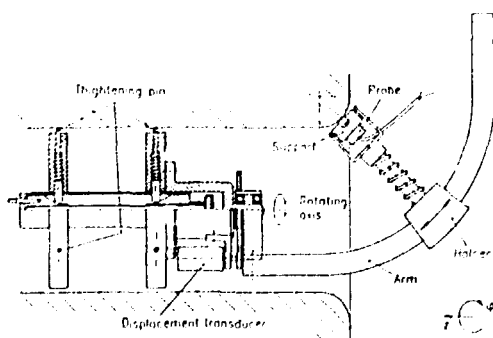


Fig. 4 - Scanning device for the nozzle inspection with coordinate system z, ϕ

Figur ur ref. 19
Manipulator med probe för avsökning av stutsinryta.

Konventionell virvelström

Projekt som direkt syftar till att finna och mäta avstånd till sprickor under plätering redovisas i ref. 9 och 10.

Två parallella projekt redovisas där resultaten i princip överensstämmer.

CEN: Målet är att mäta ligament. Man använder låg frekvens och rel. hög strömstyrka (1000 Hz, upp till 5 amp) samt en stor probe med differentialkopplade mottagarspolar.

Stor sökare och låg frekvens ger låg känslighet för lokala variationer i yta och material samt stor inträngning men sämre upplösning d v s förmåga att särskilja närliggande defekter.

Information om djup till defekten erhålls ur signalens fasläge.

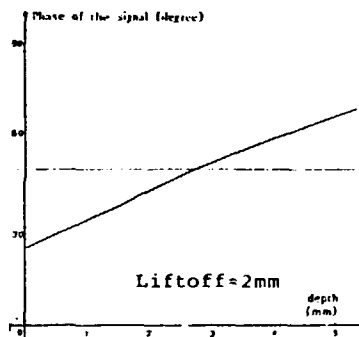
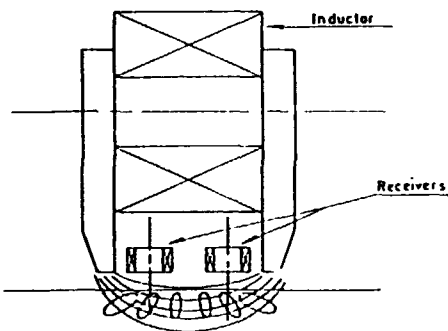


FIG. 4 : TYPICAL LIGAMENT EVALUATION BY TWIN DOBBINS PROBE

Figurer på denna sida ur ref 9 och 10.

Uppnådd noggrannhet anges till $\pm 1,0$ mm för ligamenttjocklek 0-4

En sammanställning av virvelströms- och positionsdata ger defektpositioner.

Databehandling ger möjlighet till olika typer av presentation och möjlighet att välja bästa position för fasutvärdering (= djupbestämning), samt möjlighet att simulera annan probe-storlek.

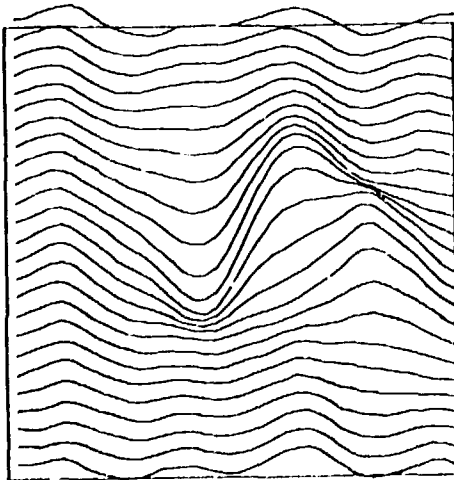


Fig 9 : Picture obtained with a X scanning

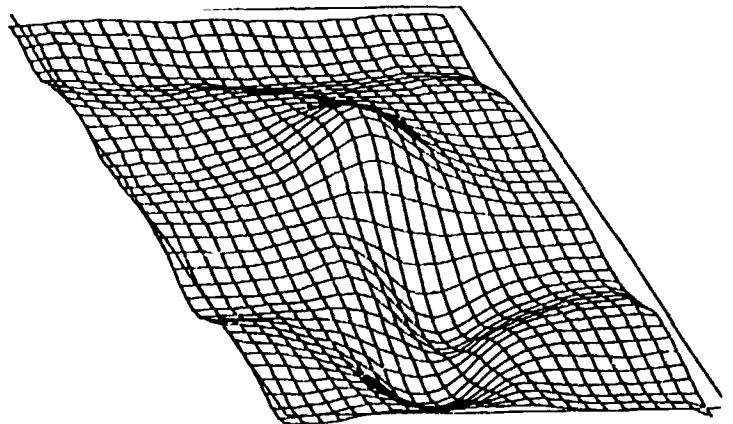


Fig 11 : Perspective representation of a X scanning

Ovanstående resultat är uppnådda vid labbförsök. Man har gjort mätningar mot fel typ utmattningsprickor under plättering men inte fått tillfälle att verifiera resultatet.

ACTA: Man har utvecklat en flerfrekvensmätutrustning ("Bifrequency measurement line") med E-formad, differentiellindad probe. Resultaten är jämförbara med C.E.N.s resultat. Man har dessutom utvecklat ett dataprogram som för varje defekt ger grafisk presentation av fas och utvärdering av ligament.

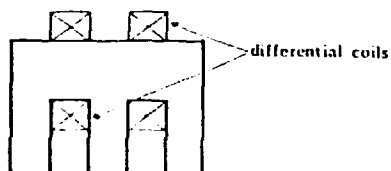
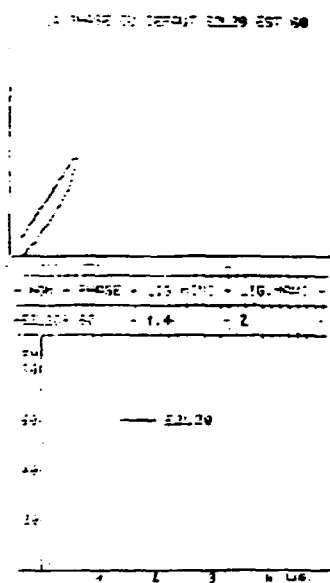


FIG. 6 : E. SHAPE PROBE

GRAPHIC REPRESENTATION OF PHASE

CALCULATED PHASE AND UNCRACKED LIGAMENT



INDIVIDUAL SIGNAL FOR COMPUTER ANALYSIS

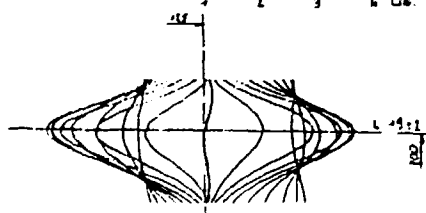


FIG. 8. PARAMETERS OF DEFECT DETERMINED BY DATA PROCESSING

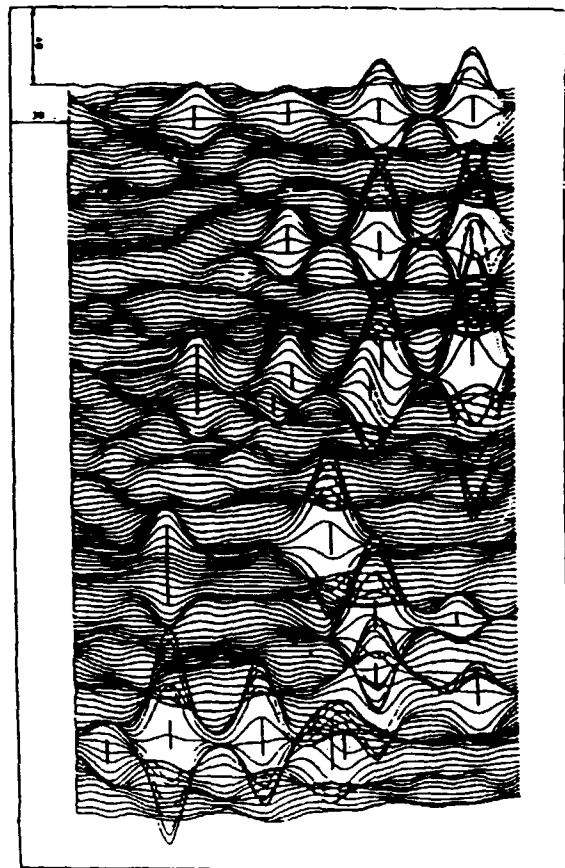
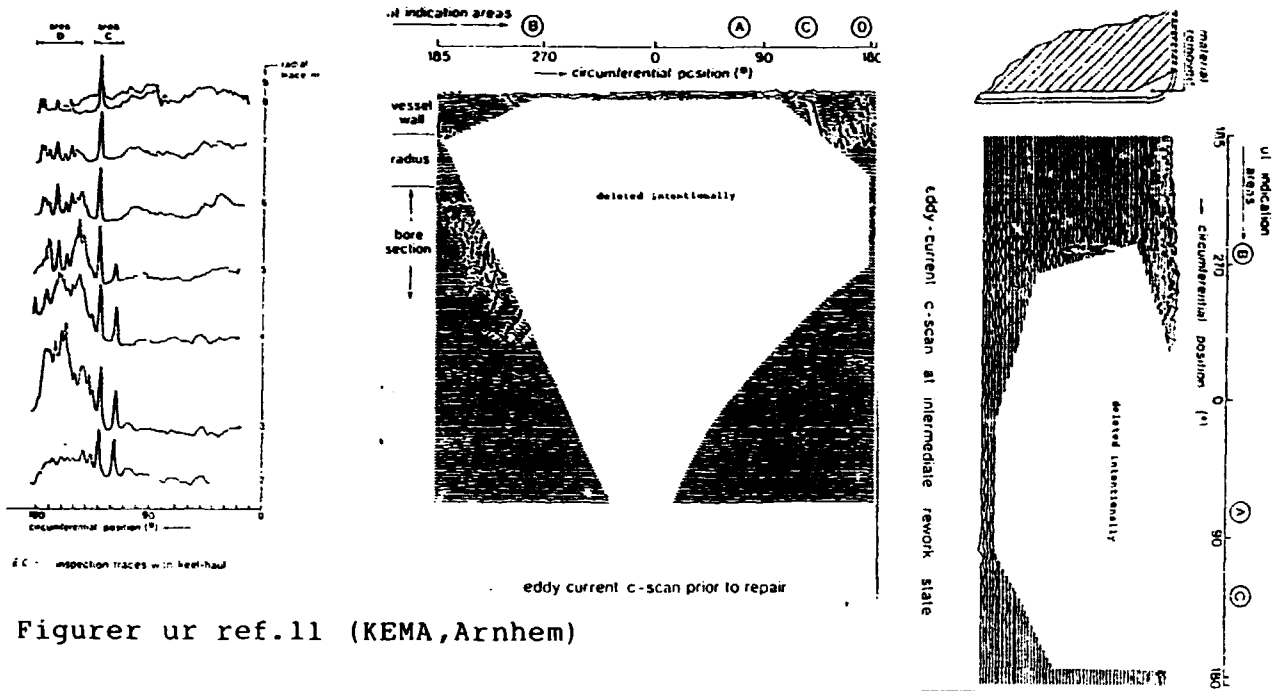


FIG. 7 : DEFECT LOCATION BY GRAPHIC RECORDING

Figurer ur ref. 10

Fraunhofer-institut (ref 12) redovisar enundersökning med flerfrekvensmix där frekvensval sker med datahjälp. Resultat av försök mot pläterat block med cylinderborrhål redovisas. $\varnothing 2\text{mm}$ hål 3mm under ytan detekteras, $\varnothing 2\text{mm}$ hål 5mm under ytan försvinner i bruset. Genom att scanna längs påsvetsriktningen kan brusnivån sänkas. Se figur sid 20.

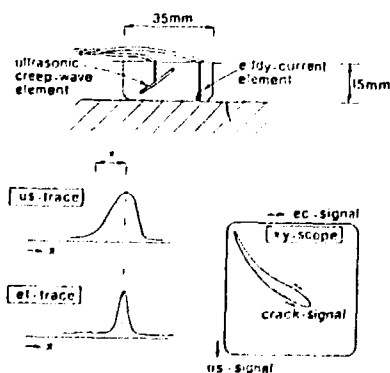
Referens (11) behandlar ett verkligt fall där virvelström används för att verifiera sprickfält på en inre radie i en matarvattenstuts.



Figurer ur ref.11 (KEMA,Arnhem)

Illustrationerna visar virvelströmsupptagningar vid olika tillfällen under reparationsarbetet (som består av att sprickpåverkat material bearbetas bort). Virvelström har används för att verifiera ytgående defekter. Jag får intrycket att "vanlig" virvelström duger bra till detta.

Samma referens beskriver provning av safe-end welds i en PWR med en kombinerad teknik (ultraljud och virvelström) där de båda metoderna kompletterar varandra. Metoden arbetar bra på testblock, vid verklig provning har inga spricklika defekter detekterats.

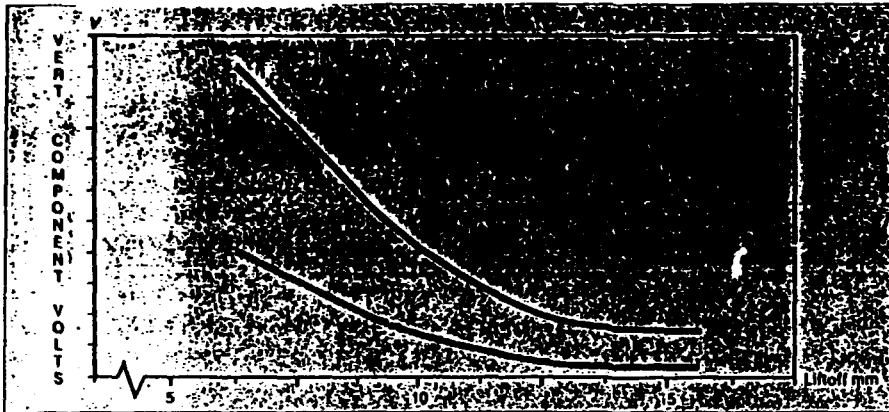


Figur ur ref.11 (KEMA,Arnhem)

detection principle "cetus" probe

Övrigt

Ref (7) beskriver ett robotsystem framtaget för offshorebruk. Man har utvecklat ett probesystem avsett att detektera ytgående defekter i ferritiskt material. Systemet är okänsligt för liftoff och svetsråge. Proben innehåller system som ger information om liftoff, vinkelläge etc som används för att styra probmanipulatorn. Manipulatorn är en intelligent robot, avsedd att arbeta under vatten.



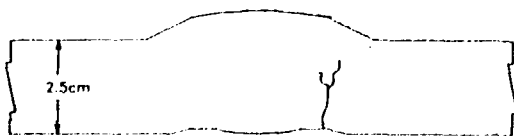
Figur ur ref.7

Fig 2. OFP-sensors signalbrus - förhållande vid svetspricka respektive ojämnheter hos svetsråge vid olika lift-off.

1. Detektering av svetsfel.
2. Detektering av sveitsens toppyta.

Ref (8) behandlar ett system för "djuppenetrerande virvelström (DPEC = deep penetration eddy current). Systemet använder datakraft för inställning av multifrekvenskomponenter, filtrering, utvärdering etc. Ingenting nämns om probekonstruktion annat än att den är "liten". Labförsök visar möjlighet att inspektera tjockväggiga komponenter t ex sprickor i 25 mm rostfritt svetsgods från motsatta sidan.

Figurer ur ref.8.



CROSS SECTION OF 304 STAINLESS STEEL WELD

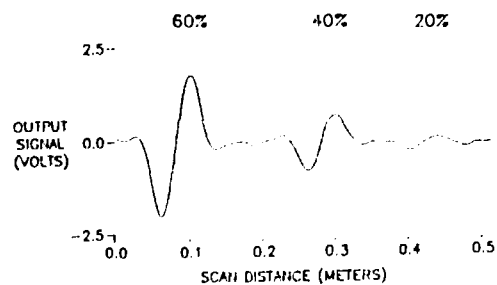


FIGURE 4 DPEC THREE FREQUENCY MIX FOR DETECTION OF CRACKS IN 304 STAINLESS STEEL

Ref (4) behandlar parameterintervall för flerfrekvensprovning av medeltjockt rostfritt gods (13 mm) m a p defekter på hit- och frånsidan. Parametrarna är frekvensval och sökarstorlek. Målet är att optimera fel-detekterbarhet samt att minimera inverkan från liftoff resp konduktivitetsvariationer.

Resultatet av undersökningen sägs visa metodens användbarhet gentemot andra NDT-metoder

Ref (5) behandlar flerfrekvensmix vid absolutprovning (laboratorieförsök). Speciellt visas möjligheten att undertrycka störningar från ojämn yta och ferritinhåll i påsvetsgods.



Fig. 7 Testing of a plated surface

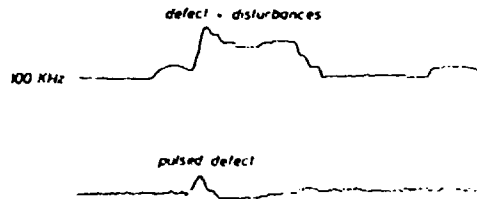
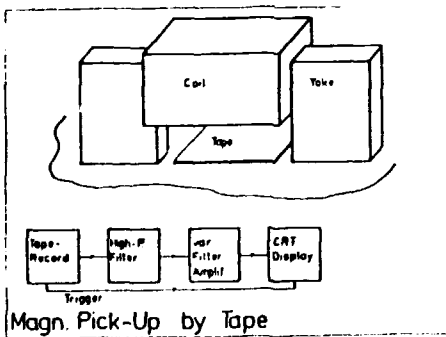


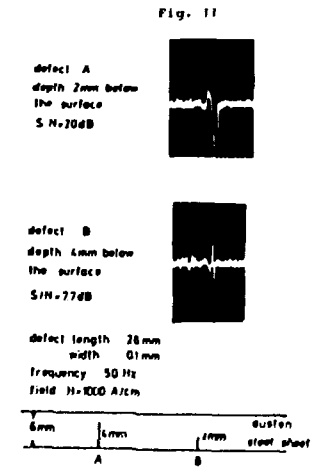
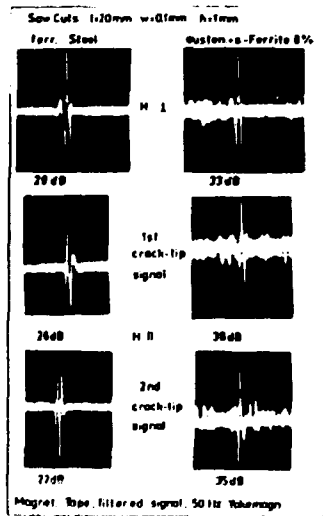
Fig. 8 Testing of a welded joint

Figurer ur ref.5.

Ref (2) behandlar "Magnetic pick up by tape". Metoden är i princip magnetpulverprovning med växelströmsok och med pulvret ersatt av magnetisk tape (tonband). Tapen läser av i en scanningsanordning och med filtrering fås en tydlig bild av defekten i fråga. Artikeln visar att metoden är användbar även på icke magnetiskt gods eftersom tapen registrerar variationer i virvelströmsflöde (inte magnetfält som vid magnetpulverprovning).



Figurer ur ref.2.



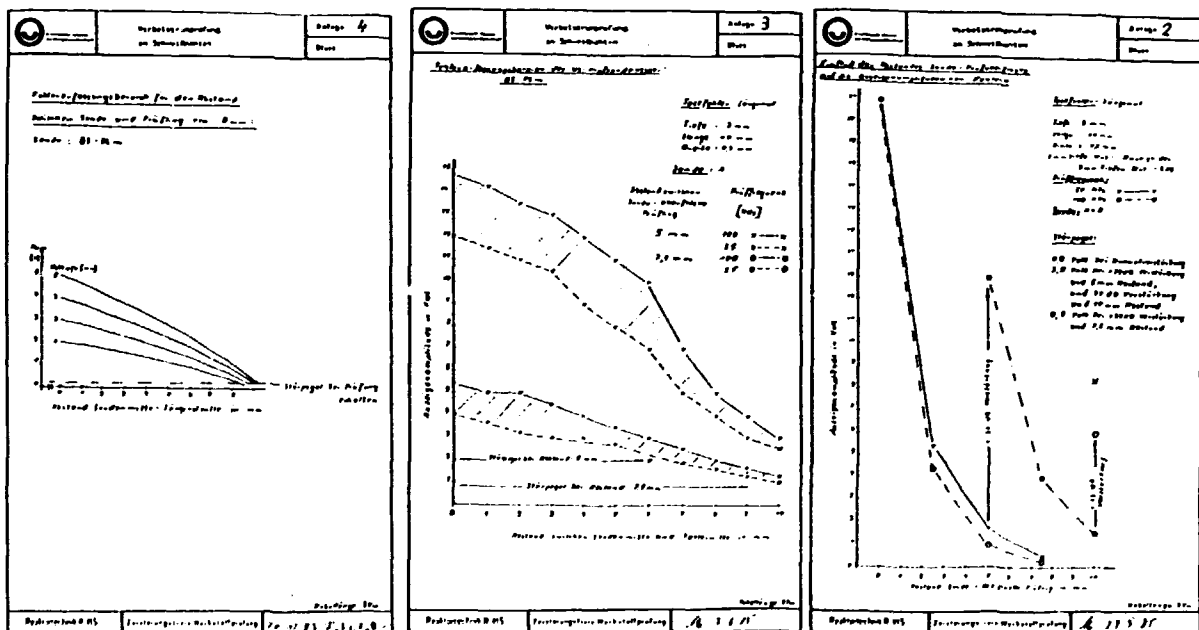
ECP-Tapesignals of subsurf. defects

Artikeln visar exempel på detektering av sprickor (notchar) i austinitiskt material på både hit- och frånsidan.

Ref. (6) är resultatet av en förfrågan till KWU om virvelströmsmetoder vid provning av Loviisa-reaktorernas plättering.

Artikeln behandlar provning av austenitiskt svetsgods m a p ytgående defekter. Man använder en egen specialprobe ("Brücken-Sonde-Differenz").

Man visar att bra signal-brusförhållande är möjligt trots ökande liftoff. Ökad liftoff ger möjlighet till ökat avstånd mellan avsökningsspår. Vid djupbestämning skall proben centreras över defekten och liftoff minimeras. Djupbestämning sker med fasinformation. Av artikelns litteraturlista framgår att Loviisa-1-tanken undersökts med ett flerfrekvenssystem.



Figurer ur ref.6.

Första figuren visar samband amplitud - sidoavstånd vid olika nochdjup. Liftoff=0mm.

Andra figuren visar samband amplitud - sidoavstånd vid olika liftoff mot samma fel. Övre bandet=5mm L.O. undre bandet=7,5mm L.O.

Tredje figuren visar samband amplitud - liftoff.

E- Resonemang om olika störkällor

Lift-off

Varierande avstånd mellan probe och objekt påverkar signalen. Avståndsvariationerna beror av ojäm yta, objektets geometri eller manipulatorens ofullständighet.

Olika system är olika känsliga för lift-off. Generellt kan sägas att lift-off påverkar känsligheten.

-Om den information man söker är amplitudberoende måste strävan vara att hålla lift-off minimal eller åtminstone konstant.

-Om den sökta informationen är fasberoende spelar variation i lift-off mindre roll så länge som amplituden är tillräcklig.

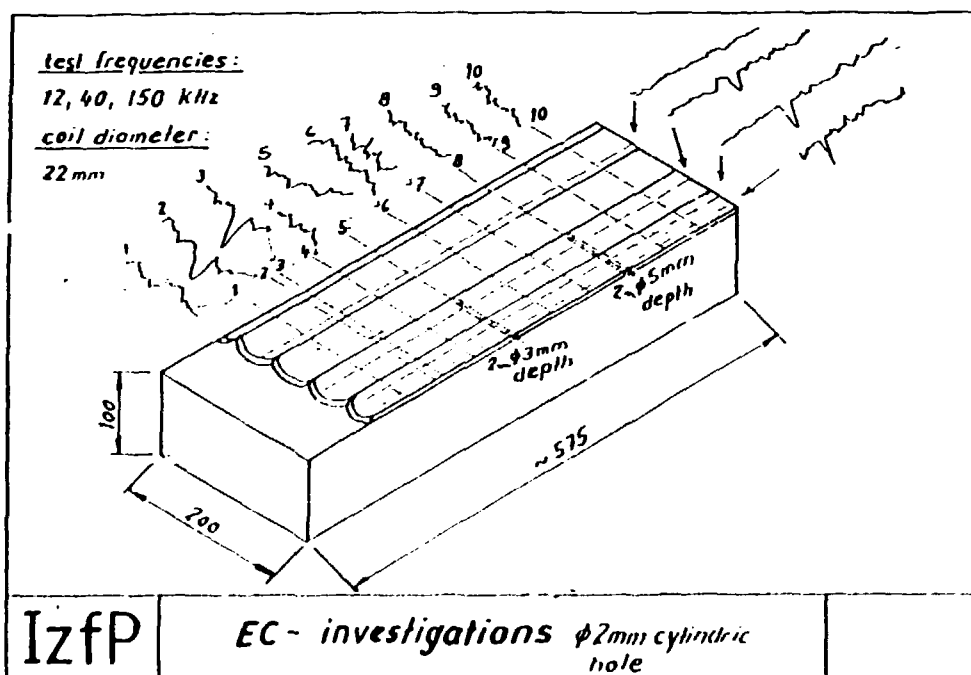
-Genom riktigt val av sökartyp, frekvens och scanningsmönster kan felsignal och lift-off-signal tydligt särskiljas. Detta borde ge möjlighet till kompensering för lift-off (kanske i form av en L.A.C.-kurva (Liftoff. Amplitud. Correction.-kurva))

Ett system beskrivs där proben innehåller system för mätning av liftoff med feedback till positioneringssystemet så att konstant avstånd bibehålles exempelvis vid passage av svetsråge. (ref.7)

Icke homogent material

Svetsgods (ex. vid stutsanslutningar och påsvetsgods) har ofta en inhomogen struktur med viss δ -ferrithalt som orsakar ökad störnivå. Olika sätt redovisas att komma tillrätta med detta.

- Genom flerfrekvensmix kan inflytandet minskas (ex. ref. 5)
- Genom att använda en probe med stor aktiv yta "integrerar man signalen över denna yta. Lokala materialvariationer får mindre inflytande men samtidigt minskar känsligheten för små defekter.
- δ -ferritvariationerna är ofta orienterade i stråk på grund av den svets teknik som används. Genom att scanna med proben längs svetsriktningen kan störinflytandet minskas.



Figuren visar störnivån vid scanning längs och tvärs påsvetsriktningen.

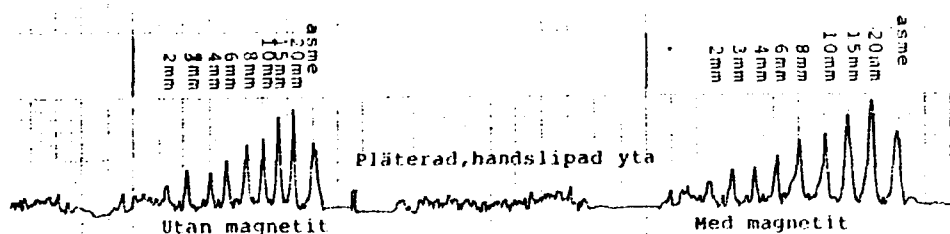
Figuren hämtad ur ref. 12

Magnetitbeläggning. I reaktormiljön uppstår en beläggning av magnetit på de för vatten exponerade ytorna (tankens och stutsarnas insidor). Magnetit = Fe_3O_4 är magnetiskt samt icke ledande och kan ev förväntas påverka virvelströmsprovningen.

-I tubprovningssammanhang (ånggeneratorprovning) är magnetitansamling på tubplattan, på tubplåtarna och i spalterna kring tuberna ett välkänt problem. Här rör det sig om avsevärda tjocklekar i förhållande till tuberna. Genom flerfrekvensmix och ev. mättnadsmagnetisering minskas inverkan

-I reaktorprovningssammanhang tas inte detta upp som ett problem. Jag uppfattar det som om beläggningstjocklek i förhållande till objekt och felstorlek är liten om det inte handlar om en ficka eller spalt där magnetiten kan sedimentera och bygga upp tjocka skikt och utgöra ett mekaniskt hinder för provningen. Detta nämns i ref 11.

En egen undersökning mot ett pläterat testblock med gnistade spår utan och med magnetit på ytan och i de gnistade spåren visar ingen påverkan av signalen på grund av magnetit.



Magnetit i en spricka borde inte försämra detekterbarheten. Däremot borde en "ren" spricka där ytorna har kontakt med varandra ge sämre felsignal än en öppen spricka.

F- Praktiska synpunkter (jämförelse med existerande ultraljudssystem)

- Virvelströmsprobens aktiva delar består av spolrar. Man är inte beroende av fysisk kontakt med objektet. Däremot i viss mån av att avståndet hålls konstant (se liftoff-resonemang)
- Spolarna påverkas av ledande och magnetiska föremål i närheten. Spolarna i sig kan utgöra en störkälla för andra system i närheten. Proben bör således vara väl skärmad.
- Det går utmärkt att bygga en virvelströmsprobe i samma format som en ultraljudsökare. Exempel ges på system med kombinerade ultraljud- och virvelströmsprober.
- Matning och signalöverföring sker med signalkabelage motsvarande de som används vid ultraljudprovning. Kabellängder på 50-100 meter utgör inget problem. för större avstånd kan förförstärkare användas.
- Beroende på hur spolarna i proben orienteras kan proben göras okänslig för felets orientering eller känslig i vissa riktningar. Genom enkel omkoppling av signalkablarna kan riktningskänsligheten ändras. Man behöver således inte vrida proben eller använda en probe för varje riktning som vid ultraljudprovning.
- Scanningshastigheten kan hållas högre än vid ultraljudprovning. Detta kan påverka manipulatorkonstruktionen om man inte nöjer sig med den hastighet befintlig manipulator ger.
- Den utsignal som virvelströmsystemet ger går givetvis att kombinera med positionsdata på samma sätt som vid ultraljudprovning.
- Undantag. Mer speciella system kan fordra speciella anordningar. Matning med större effekt fordrar grövre kabelage eller signalgenerator i probens närhet. Stor effekt kan fordra kylarrangemang. Stor och tung probe kan fordra speciell manipulator.

G- Sammanfattning och rekommendationer

Virvelström är ett verktyg för att prova ytan och materialet närmast under ytan.

-För provning i ytan är idag tillgängliga standard-instrument och prober användbara. Beroende på krav på upplösning i sida eller möjlighet till djupbestämning fordras liten probe och hög frekvens eller större probe och lägre frekvens.

-Säker djupbestämning fordrar kännedom om sprickfältutseende (tätt eller glest belägna sprickor).

-Ultraljud i yt-zonen bör gå bra att kombinera med virvelström för att avgöra om defekter är ytgående eller ej.

-För att prova med avseende på defekter under ytan fordras system som tillför proben större energi. Proben blir större och upplösningen i sida sämre. Specialbyggda system klarar att mäta ligament av storleksordningen 5mm med +1mm noggrannhet. Systemen är inte standardsystem.

Vidare arbete

-Provning i ytan: Kontakt med företag för att ta del av provningserfarenheter (ex. KEMA och KWU och Fraunhofer-institut)

-Kontakt med utrustningstillverkare för val av instrument och prober.

-Internt arbete för att integrera virvelströmsprovning med dagens ultraljudprovning.

-Provning under ytan: Kontakt med företag för att ta del av erfarenheter och resultat (ex. C.E.N Saclay, ACTA, Fraunhofer-institut)

Referenz No	Titel	Füßfattare	KSlla
1	Fehlerprüfung mit elektromagnetischen Prüfverfahren	R. Becker G. Dobman	Materialprüfung No 3 1985
2	Defect detection and sizing by eddy-current imaging with the electric-current-perturbation (ECM) metod	G. Dobman Fraunhoferinstitut	3rd European Conference on NDT Florence Okt 1984
3	Angular spectrum analysis applied to undercladding flaws in and dipole probes	M. Riazat B.A. Auld Stanford University	EPRI
4	Volumetric inspection off moderately thick austenitic stainless steels by multifrequency eddy currents	G.W. Scott C.V. Dodd Oak ridge National Laboratory	Journal of Nondestructive Evaluation Vol.2 No1 1981
5	Results of the application of the eddy current testing with a multifrequency method	R. Becker P. Höller Fraunhoferinstitut	Eight World Conference on NDT Cannes 1976
6	Wirbelstromprüfung an Schweissnähte	Meier KWU	KWU Labor-Bericht KWU/R 415/85/44 Erlangen 24.06.85
7	Fjärrmanövrerat robotsystem för sprickkontroll under vatten	Fredrik Gelius Sven-Erik Korsner Asea Oil and Gas	Asea Tidning 3.4 1986
8	Deep Penetration Eddy Current Applications	John H. Flora Babcock & Wilcox	WCNDT 1985 Las Vegas
9	Eddy Current Testing- evaluation of cracks propagation in austenitic steel cladding	Michel Pigeon C.E.N. Saclay	6th intern. conf. NDE in the Nuclear Industry Zurich1983
10	Summary of the actions developed by E.D.F. in order to dimension underclad defects in P.W.R reactor vessel nozzles	P.H. Sermandiras J.Cl. Berger J. Samman E.D.F.	"
11	Special NDT-systems applied to the in-service inspection of a BWR-nozzle and safe-end welds.	G.M. van Dijk KEMA	Int. symposium on reliability of reactor vessel comp Stuttgart Mar. 1983
12	Multifrequency eddy current testing	BK/LS/8225 Saarbrücken	Fraunhofer-institut Saarbrücken
13	Ein Impuls-Wirbelstromprüf-system mit rechnergestützter Erfassung und auswertung der Mess-signale	H-M Thomas G. Wittig D. Maser BERLIN	Materialprüfung No 8 1982
14	Eigenschaften von Tastspulen für die Anwendung des Impuls-Wirbelstromverfahrens	"	Materialprüfung No 5 1985
15	Rissanzeigen beim Impuls-Wirbelstromverfahren: Eigenschaften der signale und Probleme des örtlichen Auflösungsvermögens von prüfsonden	H-M Thomas G. Wittig BERLIN	Materialprüfung No 5 1984
16	Untersuchungen zur Anwendung des Impuls-Wirbelstromverfahrens für die zerstörungsfreie Prüfung von austenitischen Komponenten	G. Wittig H-M Thomas W. Grigulewitsch D. Maser, BERLIN	Materialprüfung No 10 1980
17	Untersuchungen zum Nachweis von Korrosionsschäden an austenitischen Komponenten mit dem Impuls-Wirbelstromverfahren	G. Wittig H-M Thomas D. Maser H. Wenke, BERLIN	Materialprüfung No 12 1983
18	Untersuchungen zur Anwendung des Impuls-Wirbelstromverfahrens an Prüfobjekten mit grösseren Dicken	G. Wittig W. Grigulewitsch BERLIN	Europäische Vortragstagung Zerstörungsfreie Materialprüfung MAINZ 1978
19	Application of the Pulsed Eddy Current Techniques for the inspection of the austenitic cladding in a thermal shock loaded nozzle of a pressure vessel	G. Wittig H-M Thomas D. Maser P. Hennig DAM BERLIN	6th intern. conf. NDE in the Nuclear Industry Zurich1983
20	Erzeugung sowie analoge und digitale Aufbereitung von Signalen zum Nachweis von Materialfehlern mit dem Impuls- Wirbelstromverfahren	H-M Thomas D. Maser G. Wittig	Material und Technik 1981 No 3
21	Verarbeitung von Impuls-Wirbelstromsignalen zur bildlichen darstellung von rissanzeigen	H-M Thomas G. Wittig D. Maser DAM, BERLIN	3rd European Conference on NDT Florence Okt 1984

Induktiv provningsteknik för reaktortryckkärl

För återkommande provning av reaktortryckkärl används i huvudsak ultraljudteknik eftersom denna teknik är mycket flexibel, relativt okänslig för radioaktiv strålning och med lämpligt valda avsökningsvinklar och avsökningsriktningar kan även ogynnsamt orienterade defekter detekteras. Ett problem är emellertid de invändiga påsvetsade ytzonerna från vilka avsökningen normalt sker. Under lång tid var dessa ytznor mycket svårprovade med ultraljudtekniken på grund av de tidigare använda enkristallsökarnas mycket begränsad känslighet i närzonsområdet ("Fresnelzonen"). Dessutom gav ytoregelbundenheter och påsvetsgodsets anisotropa gjutstruktur upphov till kraftiga störningar. Genom utvecklingen av speciella tvåkristallsökare vilka är pseudofokuserade och arbetar med longitudinella ljudvågor samt flacka brytningsvinklar (70°) har provningsmöjligheterna ökat betydligt. Omfattande experimentell verifiering av denna teknik har utförts vid bl a Battelle/PNL, EPRI, EDF och UKAEA. Resultaten av PISC-projekten visar också mycket tydligt hur detekteringsmöjligheterna har förbättrats genom användning av dessa sökare. För defekter belägna i ytzonerna ökade detekteringsgraden från ca 0,3 till ca 0,8. Tyvärr har emellertid både PISC-projekten och övriga undersökningar utförts med provplåtar som innehåller enskilt belägna yt nära defekter vilka dessutom varit relativt goda reflektorer. Andra undersökningar (ref 1-3) som utförts med provplåtar innehållande täta termiska utmattningsprickor, enskilda eller i anhopningar, visar på betydande kvarvarande problem. Signalerna från sådana defekter är ofta obetydligt högre än bakgrundsbruset som materialets anisotropa struktur ger upphov till.

Möjligheterna att förbättra ultraljudtekniken ytterligare för att övervinna dessa problem får anses vara begränsade. Lösningen bör därför sökas i en kombination av ultraljudmetodik och någon ytprovningsteknik. Erfarenheterna från flygindustrin och undersökningar som utförts inom t ex det västtyska HDR Integrity Project, tyder på att många av de kvarvarande problemen kan lösas med hjälp av lämpligt utformad induktiv provningsteknik.

AF-TRC AB har därför på SKI:s uppdrag genomfört en litteraturstudie i syfte att ge underlag för bedömning av den induktiva provningsteknikens möjligheter och begränsningar vid återkommande provning av reaktortryckkärl. Resultaten av denna studie (ref 4) visar att

det idag finns utrustning och teknik som kan ge goda förutsättningar att detektera ytgående defekter även om dessa uppträder i anhopningar eller i krackelerade mönster. Med små prober och hög provningsfrekvens kan sprickfält sannolikt kartläggas noggrant. Med hjälp av s k flerfrekvensmix kan dessutom störningar från ojämn yta och variationer i materialstruktur minskas och elimineras. Tyvärr har emellertid lite uppgifter publicerats om vilka storlekar av prober som bör användas för olika typer av sprickmönster. Det samma gäller vilka frekvenser eller frekvenskombinationer som bör användas.

Den nu utförda littearturstudien bör således följas av experimentella studier på testplåtar med såväl ytgående sprickor som sprickor belägna strax under ytan. Vidare bör de experimentella studierna omfatta undersökningar av hur säkerheten vid defektkaraktärisering kan ökas vid provningar som utföres med en kombination av ultraljudteknik och induktiv provningsteknik.

Referenser

1. Status of ultrasonic inspection of near surface cracks in reactor pressure vessels. Prepared by Battelle, Pacific Northwest Laboratory for US NRC, 1984.
2. Kjell Högberg and Tommy Zetterwall: Detection of surface breaking cracks in centrifugally cast stainless steel with ultrasonic - Inspection from the cracked side. January 1986. SKI-project B 85111 and B 85112.
3. Jan Olof Jangsäter: Sammanfattande rapport avseende provning av ytzoner i stutsanslutningar. Provning med kontaktteknik från stutsens insida. Utredning åt AGAB, 1984-07-03.
4. Henrik Bergh: Induktiv provningsteknik för reaktortryckkärl. Litteraturstudie utförd på uppdrag av Statens Kärnkraftinspektion. SKI-projekt B86047. AF-TRC 1987-02-05.