De oförstörande kontrollmetodernas fysikaliska bakgrund

av fil. mag. Sven Malmqvist, Saab, Linköping

Föredrag vid kurs anordnad av IVA:s kommitté för oförstörande provning och KIF i Getå 7-8 nov. 1959.

Förståelsen för den fysikaliska bakgrunden till den oförstörande materialprovningen är av största betydelse för att utnyttja dessa mycket fördelaktiga kontrollmetoder på sitt mest effektiva sätt.

De oförstörande kontrollmetoderna skiljer sig från de förstörande metoderna främst genom att man inte direkt kan observera de materialegenskaper som söks.

Detta förhållande demonstreras av fig. 1.



Fig. 1.

Pojken skakar dagen före julafton ett paket för att om möjligt utröna innehållet. Skakningen (driving function) av paketet framkallar exempelvis vissa ljud eller tröghetsintryck (system function) och dessa tillsammans kan antyda innehållet (response function).

Radiografi.

Först kan det vara lämpligt att gå något in på karaktären hos den strålning som användes vid radiografi. Tidigt efter upptäckten av röntgenstrålningen utnyttjades denna strålning till att genomlysa materia. Senare kom de naturligt radioaktiva substanserna att användas för samma uppgift. Efter atomkraftteknikens senare landvinningar kan radioaktiva substanser framställas på teknisk väg och några av dessa har fått stor användning inom radiografin. Idag användes nästan uteslutande strålning från röntgenrör och konstgjorda radioaktiva preparat för industriell radiografi. Uppgifter om betatroner, van de Graff generatorer och liknande framskymtar understundom men deras tekniska användning begränsas ofta av deras relativt höga priser och stora vikter.



Fig. 2.

Ett radioaktivt preparat kan utsända tre sorters strålning, figur 2, $\overline{\alpha}$ - $\overline{\beta}$ - och γ -strålning. Deras natur framgår av figuren, där som synes de tre i ett magnetfält påverkas på olika sätt. a-strålarna avböjas åt vänster, de utgöras av positivt laddade partiklar, β -strålarna avböjas åt höger, de utgöras av negativt laddade partiklar och y-strålarna påverkas inte av magnetfältet. Av dessa tre är det framför allt γ -strålarna som fått användning inom radiografin, beroende på deras stora förmåga att genomtränga material. Som framgår av den undre delen av figuren absorberas a-strålarna redan av ett papper, för att stoppa β -strålarna måste âtminstone en aluminiumplât användas och y-strålarna absorberas inte helt och hållet ens av ett relativt tjockt blystycke. β -strålarna har fått användning inom industrin för mätning och reglering av exempelvis papperstjocklekar och liknande ämnen med relativt låga vikter per ytenhet.

För radiografi av järn och icke-järnlegeringar användes nästan uteslutande y-strålning och röntgenstrålning som båda har samma karaktär av elektromagnetisk strålning. Vanligt ljus är som be-kant en elektromagnetisk strålning och vad som skiljer ljus och röntgen- och γ -strålning åt är våg-längden. Vanligt ljus har våglängder mellan 4000 och 8000 Ångström. (1 Ångström är 1 tiomilliondels millimeter.) Röntgen- och y-strålningen har våglängder som är mycket mindre, delar av Ångström. Vid industriell radiografi är det väl knappast någon som använder begreppet våglängd hos strålningen, istället talar man om spänning i kilovolt på röntgenröret eller y-strålningens energi i millio-ner elektronvolt, MeV. Dessa två begrepp kan emellertid lätt omräknas till våglängder så att de bli mer jämförbara. För röntgenstrålningen gäller då att våglängden erhålles = 12,4/ spänningen i kV. Det är då att märka att användningen av en viss spänning inte innebär att man använder en enda våglängd. Dels användes ofta aggregat med varierande anodspänning exempelvis entankapparater och dels fås vid användning av aggregat med konstant potential elektroner med olika energi, vilket resulterar i en våglängdsfördelning hos röntgenstrålningen för en viss spänning enligt fig. 3. Av figuren framgår att största intensiteten för en viss spänning inte ligger vid den kortaste våglängden utan vid längre våglängder. Vidare framgår att detta maximum förskjutes mot kortare våglängder vid högre spänning på röret. För röntgenrören gäl-ler alltså att man kan variera våglängden på den använda strålningen. Detta gäller inte vid γ -radiografi. I detta fall förhåller det sig i stället så att en viss radioaktiv isotop utsänder strålning av en eller flera bestämda energier, vilka anges i MeV. För att ur energin i MeV beräkna våglängden utför man

räkneoperationen eV = $h_v = \frac{hc}{\lambda}$ $\lambda = \frac{hc}{eV}$ där eV

= energin i elektronvolt, h = Plancks konstant, v = frekvensen, λ = våglängden och c = ljushastigheten.

Exempel: Cesium 137 har en energi = 0,66 MeV.

Detta omräknas

$$\lambda = \frac{6,62 \cdot 10^{-27} \cdot 3 \cdot 10^{10} \cdot 300}{4,80 \cdot 10^{-10} \cdot 0,66 \cdot 10^{6}}$$
$$\lambda = 19 \cdot 10^{-11} \text{ cm} = 0.019 \text{ Å}$$

Figur 4 ger våglängder och energier för strålningen från några radioaktiva preparat. Erfarenheten visar att vid grövre godstjocklekar högre spänning måste användas på röntgenröret för att erhålla ett radiogram. En jämförelse mellan fig. 3 och 4 ger vid handen att en isotop som kobolt erbjuder strålning med kortare våglängder (hårdare strålning) än normala röntgenapparater. Kobolt kan alltså med framgång användas vid radiografering av gods med större materialtjocklekar än ett normalt röntgenaggregat klarar av. En nackdel





EQUIVALENT WAVELENGTH IN ÅNGSTROM UNITS Fig. 4. Observera ändringen av skala mellan övre och undre

fig. 4. Observera andringen av skala mellan övre och undre delen av diagrammet.

bland andra med de radioaktiva isotoperna är omöjligheten att reglera strålningen. Ett preparat utsänder kontinuerligt strålning och ingen möjlighet att stänga av strålningen finnes. Man är därför hänvisad till att mellan exponeringar förvara isotopen i otympliga och tunga blybehållare. En annan nackdel med användningen av isotoper är den relativt låga ur säkerhetssynpunkt användbara strålningsintensiteten hos preparaten, vilket resulterar i ganska långa exponeringstider. En fördel med isotoper framför röntgenapparater är möjligheten att föra in isotopen i relativt trånga utrymmen. Ett flertal apparatkonstruktioner finnes tillgängliga där isotopen ledes till exponeringsläge genom böjbara metallrör. Givetvis avståndsmanövreras denna förflyttning.

Förutom att reglera spänningen finns vid röntgenrör ytterligare en möjlighet att ändra fördelningen mellan våglängderna hos strålningen, nämligen metoden att filtrera strålningen, vilket illustreras av fig. 5, där alltså insättandet av blyskivor filtrerar procentuellt sett större del av den långvågiga strålningen.



Den fysikaliska lag som bestämmer möjligheten att upptaga ett radiogram behandlar absorptionen av strålningen i materia och lyder I = I₀ exp. (μ x) där I₀ är den strålningsintensitet som träffar materialet och I den intensitet som lämnar materialet med tjockleken x. μ är en för materialet karaktäristisk konstant, linjära absorptionskoefficienten.

Ofta skrives sambandet I = I_o exp. ($\mu_m m_s$), där μ_m är massabsorptionskoefficienten och m_s är strålningens väg genom materialet uttryckt i dess vikt per ytenhet. Dessa konstanter är specifika för materialet. Allmänt gäller att μ_m avtar med våglängden. Ett stort värde hos μ_m innebär enligt ovan större kontrast hos I för varierande m_s.

Röntgen och γ -srålning absorberas huvudsakligen genom två olika processer:

- 1. en höljeselektron i atomen slås ut av γ -kvantats hela energi, fotoeffekt.
- γ-kvantat kolliderar med en höljeselektron eller fri elektron och avger en del av sin energi till denna. γ-kvantat har därefter lägre energi, dvs. större våglängd och ändrar ofta riktning. Detta kallas Comptonprocess.

Det är alltså tydligt att intensiteten I varierar med tjockleken hos det material strålningen har genomträngt och ur variationen hos I mellan olika punkter på materialet kan dettas homogenitet bestämmas. Röntgenstrålningen är ju osynlig för ögat varför ett hjälpmedel måste begagnas för att detektera strålningen och det vanligaste sättet är att använda fotografisk film eller skärmar som fluorescerar när de påverkas av röntgenstrålningen. Den speciella film som användes för upptagning av röntgenbilder har i allmänhet ett lager fotokänsligt material på båda sidor av det bärande basskiktet. Röntgenstrålningen i sig själv förorsakar inte så stor svärtning av filmen utan man är oftast hänvisad till att förstärka svärtningen, vilket kan ske med förstärkningsskärmar av bly eller saltmaterial. Svärtningsgraden hos röntgenfilmen är av största betydelse för radiogrammets kvalitet. Svärtningen definieras $D = \log I_0/I_t$. Beteckningarna I_0 och I_t hänför sig till mätning av i t. ex. en densitometer. Densitometerns fotocell träffas normalt av ljusintensiteten Io; när radiogrammet införes i strålgången sjunker intensiteten till It. Svärtningsgrader 1,5-3,0 utnyttjas med fördel men knappast högre värden då svårigheter råder att få betraktningsapparater med tillräckligt hög ljusintensitet. Inte bara filmens svärtning är avgörande för kvaliteten hos radiogrammet utan även kontrasten, dvs. svärtningens förändring relativt exponeringen, se fig. 6. Ju längre till vänster kurvorna är belägna desto mindre exponering fordras.



Fig. 6.

Blyets förmånliga inverkan beror på dess egenskap att när det träffas av röntgenstrålning ge upphov till sk sekundärelektroner vilka i sin tur svärta filmen. Saltförstärkningsskärmarna har liknande inverkan genom att ge optisk fluorescens. Användningen av förstärkningsskärmar inverkar till att förkorta den tid som erfordras för att få en tydbar bild. Dessa skärmar har dock inte bara god inverkan på radiogrammet, då en viss spridningseffekt erhålles, vilken yttrar sig i att ett något otydligare radiogram erhålles med förstärkningsskärmar än utan, dvs. felskönjbarheten minskar något. Användningen av förstärkningsskärmar får alltså delvis bestämmas av den önskade tydligheten hos radiogrammet och den tid som står till buds för upptagningen. En annan faktor som påverkar radiogrammets kvalitet är den s. k. geometriska oskärpan vars princip framgår av fig. 7. Denna faktor bestämmes bl. a. av strålkällan - vid röntgenrör brännfläcken, vid isotoper dennas utsträckning – och yttrar sig alltså som försvagade konturer i radiogrammet.

I samband med förstärkningsskärmarna nämndes spridd strålning. Denna spridda strålning förorsakar ibland besvär då den sänker precisionen hos radiogrammet. Detta förhållande kan undvikas med den teknik som demonstreras i fig. 8 där som synes



Fig. 7.



Fig. 8.

filmen inte placerats i omedelbar anslutning till objektet utan en bit bakom. Detta resulterar alltså i att en del av den spridda strålningen försvinner utanför filmen som är fallet med pilarna A, en annan del förloras på grund av absoption i luften. Det är att märka att den spridda strålning oftast inte har samma stora genomträngningsförmåga som den primära strålningen.

Bland faktorer som bestämmer exponeringstiden kan nämnas sådana faktorer som avstånd mellan strålkälla och film (kvadratlagen), material, filmtyp, våglängd hos strålningen och dess intensitet m. fl. Nedan visas ett par diagram (fig. 9 och 10) som utgör ledning för exponering dels med röntgen-



Fig. 9. Exponeringskurvor för Marconi 250 KVp röntgenapparat. Data: film Kodak Industrex "D" med blyförstärkningsskärmar, svärtning 1,8, framkallningstid 5 min. vid 20° C i Kodak D19B, avstånd film—fokus 88 cm.





strålar och dels med isotoper. Av fig. 9 framgår exponeringsdata för ståltjocklek mot milliampereminuter för olika spänningar. Dessa kurvor är då upptagna för en speciell apparat, viss filmtyp, viss svärtning och viss framkallning av filmen. Liknande kurvor kan uppgöras för andra apparater, filmtyper, förstärkningsskärmar, framkallningsteknik osv.

Fig. 10 är ett exempel på exponeringskurvor för isotoperna iridium och kobolt. Fig. 11 slutligen redovisar den felskönjbarhet (variation i godstjocklek) som kan uppnås med olika spänningar och isotoper vid olika svärtning hos filmen.

Ultraljud.

Ultraljud och radiografi är två väsensskilda metoder som kompletterar varandra på ett utmärkt sätt. I avdelningen om radiografi behandlades hur strålningen avslöjade olika tjocklek hos materialet i strålningsriktningen enligt formeln $I = I_0 \exp. (\mu x)$. Vid ultraljudundersökning av ett material är det en



Fig. 11.

annan princip som ligger till grund för metoden, nämligen principen att medier med olika akustisk impedans förhåller sig olika till de högfrekventa mekaniska svängningsrörelser som utgör ultraljudet.

Den akustiska impedansen är ljudhastigheten i materialet multiplicerad med tätheten. När en ljudvåg med amplituden A₀ träffar gränsskiktet mellan två medier med akustiska impedanserna z₁ och z₂ reflekteras bråkdelen $\frac{A_1}{A_0} = \frac{Z_2 - Z_1}{Z_2 + Z_1}$ under det att

återstoden $\frac{A_2}{A_0} = 1 - \frac{Z_2 - Z_1}{Z_2 + Z_1} = \frac{2Z_1}{Z_2 + Z_1}$ fortplantas

in i nästa medium. Dessa formler gäller endast för vinkelrätt infallande våg. Ett exempel: Vid ultraljudprovning av aluminium träffar ljudvågen en spricka. Denna är fylld med luft eller annan gas. De akustiska impedanserna är $Z_{AI} = 500\ 000 \cdot 2,5$ = 1,25 10⁶ och Zluft = 34 000 · 0,0012 = 41 cgsenheter. Insättas dessa värden i ovanstående formler inses att nästan 100 % av den infallande energin reflekteras.



Fig. 12 illustrerar principen för ultraljudkontroll enligt impulsekometoden, som är den förhärskande. En generator alstrar ett visst antal gånger per sekund en högspänd elektrisk puls, som av en kristall med piezoelektrisk egenskap omvandlas till högfrekventa mekaniska svängningar. Kristallens dimensioner bestämmer frekvensen hos svängningen. Kristallen pressas med olja eller vatten till god kontakt med det objekt som skall undersökas och de av kristallen alstrade högfrekventa svängningarna fortplantas ned i materialet med en för detta och för typen av svängning karaktäristisk hastighet. Finns i svängningsrörelsens väg en inhomogenitet med utsträckning vinkelrätt mot svängningens fortplantningsriktning och annan akustisk impedans än materialet kommer en del av svängningsenergien att reflekteras tillbaka till kristallen. Denna tjänstgör i vissa apparatkonstruktioner även som mottagare för svängningen. Resultatet av undersökningen presenteras oftast på ett katodstrålerör så att en tidsaxel som kan sägas representera materialtjockleken placeras i horisontell riktning. Den svängning som från materialet når kristallen förstärkes och presenteras som en vertikal avvikelse från den horisontella tidsaxeln. Denna princip och det faktum att vid ett planparallellt undersökningsobjekt baksidan av objektet även ger ett eko möjliggör direkt bestämning av felets djup under materialets yta. Ur ekoamplituden på katodstråleröret kan slutsatser dragas om felets storlek. Fås t. ex. en mycket stor indikering varvid bottenekot försvinner bör felet vara lika stort som eller större än kristallen. Får man däremot en svag indikering med bibehållet botteneko är felet i allmänhet mindre än kristallen och för att i detta fall avgöra storleken hos felet är man hänvisad till jämförelse med artificiellt framställda fel i samma material, s. k. standardblock. Dessa utgöras i allmänhet av planparallella provkroppar med flatbottnade hål som är borrade vinkelrätt in i materialet från bottnen. Kristallen placeras vid sådan jämförelse med standardblock på blockets övre yta. Genom att använda serier av block med olika diameter hos hålet kan felets storlek ungefär bestämmas.

Ovan nämndes att kristallen pressades i kontakt med provobjektet medelst ett tunt lager olja eller vatten. Detta är i många fall den enda praktiskt användbara metoden att föra över ljudet till materialet. Ur många andra synpunkter är det emellertid önskvärt att i stället för genom det tunna skiktet överföra ljudet genom ett tjockare vattenskikt, t. ex. 30 cm. vatten. Denna teknik innebär stora fördelar framför den rena kontaktprovningen, då de problem med att skönja och uppskatta storleken hos småfel underlättas avsevärt. Ett svängande membran, som en kvartskristall kan jämföras med måste tillordnas en s. k. närzon, inom vilken interferens mellan de från olika punkter på kristallen utgående vågorna resulterar i en för materialkontroll synnerligen olämplig känslighetsfördelning. Detta illustreras av fig. 13. Om två stycken fel förekommer i ett och samma materialstycke på olika djup under ytan och djupen motsvara lägena A och B inses omedelbart att det fel som ligger på djupet A uppskattas till alltför stor utbredning under det att felet i B blir allvarligt underbedömt. Detta problem har nog varit anledning till att så stor uppmärksamhet riktats åt provning under vatten, immersionsprovning. Härvid arbetar man bortom





punkten C i fig. 13. Denna metod har också fördelen att vara lättautomatiserad. Vid kontaktmetoden pressas kristallen direkt mot undersökningsobjektet med åtföljande risk för mekaniskt slitage. Visserligen finnes speciella kristaller med skyddande plasthinna men dessa kristaller ha ofta andra icke önskvärda egenskaper, som gör att vid automatisering blicken först riktas mot immersionsanläggningarna. Vid ultraljudkontroll av råmaterial i en sådan anläggning är problemet med närzoninterferensen eliminerad varför denna metod är synnerligen lämplig för de kvalitetskrav som t. ex. flygindustrin framställer.

I detta sammanhang må nämnas något om de krav som ställes både på ultraljudkontrollen och på materialet inom flygindustrin. För smidda ämnen av alumin tillhörande kvalitetsgrupp A tillåtes inte större felindikeringar än svarande mot indike-



Fig. 14.

ringen från ett standardblock med 2,0 mm diameter, varvid även gäller att denna jämförelse skall ske vid ungefär samma materialtjocklek i båda fallen. Man måste därför förfoga över serier av standardblock dels med olika håldiameter och dels med olika materialtjocklek.

Hittills har endast nämnts att ljudvågor begagnas inom ultraljudkontrolltekniken. Flera olika typer av ljudvågor förekommer dock. Immersionsmetoden lämpar sig endast för longitudinella vågor där partiklarna rör sig i fortplantningsriktningen men många andra tillämpningar utnyttjar med fördel andra vågor, transversella vågor och ytvågor. Dessa tre svängningsfenomen är överförbara i varandra så att en longitudinell våg kan omvandlas i transversell eller ytvåg, vilket utnyttjas för framställning av dessa senare vågor. Man utgår från en longitudinell våg och låter denna brytas vid övergången från ett medium till ett annat, oftast vid övergång från perspex som omger kristallen till det objekt som skall undersökas. Kristallen monteras då på ett kilformat perspexstycke. Dessa vågors inbördes förhållande kan framställas med fig. 14, där typen av svängning i de olika fallen åskådliggöras. Transversella vågor är speciellt lämpliga för undersökning av svetsskarvar och dylikt där man vet att ev. fel ligger orienterade vinkelrätt mot ytan.

Ytvågorna å sin sida vilka fortplantas i ytan på objektet är speciellt lämpliga för indikering av ytfel. Metoden är så känslig att en svag ritsning i materialet framför kristallen kan ge upphov till en kraftig indikering.

Tidigare nämndes möjligheten att överföra den ena vågformen i den andra. Detta faktum är inte bara av godo vilket illustreras i fig. 15, där en re-





Fig. 16.

lativt smal stång kontrolleras från kortändan. Figuren tjänar som exempel på de svårigheter operatören kan ställas inför vid kontroll. Vågorna överföras här från longitudinell till transversell typ och vice versa. Då dessa olika svängningar ha olika fortplantningshastighet resulterar detta i ett relativt komplicerat ekobild.





I detta sammanhang bör nämnas att även immersionsmetoden innebär eller kan innebära svårigheter av här skisserat slag. Vid kontroll av en relativt enkel detalj med tvärsnitt enligt figur 16 kan indikering enligt figur 17 uppkomma, där man alltså ser ett tydligt feleko. Detta kommer dock från två reflektioner i hålkälen och är fullt naturligt. Man bör alltså ha sin uppmärksamhet riktad på möjligheten att sådana ekon uppträder.

Ofta står man inför problemet att mäta tjockleken hos ett objekt, där endast den ena sidan är åtkomlig. Att använda direkt mekanisk mätning låter sig ju under sådana förhållanden inte göra. Ultraljudmetoden är mycket användbar i detta fall, spec. den s. k. resonansmetoden. Resonansapparatens princip framgår av figur 18. En sådan apparat arbetar helt olika jämfört med impulsekoapparaten. Generatorn i apparaten varierar frekvensen t. ex. en oktav och den ljudvåg som sändes ned i materialet har varierande frekvens. Vid en viss frekvens uppstår resonans i materialet, dvs. halva våglängden är lika med materialtjockleken. Den horison-







tella skalan på katodstråleröret kan graderas i tjocklek varför direkt avläsning av objektets tjocklek är möjlig. En sådan apparat kan givetvis också användas för kontroll av material med avseende på inre inhomogeniteter o. d.

Magnetpulverprovning.

En mycket vanlig oförstörande kontrollmetod är spricksökning genom magnetpulverprovning.

Material kan med avseende på magnetiska egenskaper indelas i tre kategorier, diamagnetiska, paramagnetiska och ferromagnetiska av vilka den senare gruppen lämpar sig för denna form av oförstörande materialprovning. Figur 19 ger upplysning om hur dessa tre grupper av ämnen förhåller sig till magnetfält, längst till vänster synes enbart magnetfältet åskådliggjort med immateriella kraftlinjer. Mittenbilden visar hur ett diamagnetiskt ämne t. ex. vismut uppför sig i magnetfältet. Detta ämne har permeabiliteten mindre än 1 och alltså mindre än den omgivande luften. Detta resulterar i att provstycket strävar att inställa sig vinkelrätt mot kraftlinjeflödet. Den högra bilden visar uppförandet hos paramagnetiska och ferromagnetiska ämnen, som beroende på permeabilitetens storlek suger till sig mindre eller större del av kraftlinjeflödet.



Figur 20 visar grunderna för denna magnetpulverprovning. Längst till höger synes en del av den s. k. magnetiseringskurvan OQQ'. En kort genomgång av dessa fenomen kan kanske vara på sin plats. Om genom en spole, lindad på en järnkärna, en ström sändes, ger denna ström upphov till ett magnetiserande fält, som här i fig. 20 betecknades H och mätes i amperevarv/meter. Mot detta magnetiserande fält svarar den magnetiska fältstyrkan, här betecknad med B och mätt i Weber/meter². Kurvan OQQ' beskriver som synes inte en rät linje utan är av mer komplicerad typ. Den kan skrivas på formen B = $\mu\mu_0$ H där μ är permeabiliteten och μ_0 en konstant. Permeabiliteten kan för ferro-

magnetiska material anta värde över 1000 – jfr ovan. I figuren är även μ inritad som funktion av H och man ser att μ antar ett högsta värde μ max vid ett visst värde på H. I den vänstra delen av fig. 20 är ett provobjekt innehållande en spricka schematiskt framställt. Om detta objekt magnetiseras så att fältlinjerna är parallella med stångens axel fås utseendet enligt c. Antag att magnetiseringen drives så långt att fältstyrkan i den felfria delen av stången ligger på värdet x. Den del av stången vars tvärsnitt är reducerat på grund av sprickan måste då innehålla flödestätheten (= fältstyrkan x ytan) på en mindre yta. Detta leder till att fältstyrkan här stiger. Den första punkten x på magnetiseringskurvan svarar mot punk-ten P på permeabilitetskurvan. Den spruckna delen av stången har fältstyrkan x' svarande mot permeabiliteten P'. Detta skulle alltså innebära att ett parti av stången skulle upptaga en större fältstyrka per tvärsnittsyta med en lägre permeabilitet än omgivande delar. Detta är orimligt och resultatet blir att en del av det magnetiska flödet vid sprickan förlöper utanför stångens yta och infångar det magnetpulver som vid provning strilas över stången och resulterar i en indikering.

Det är vid magnetpulverprovning inte önskvärt att öka strömstyrkan till alltför höga värden då detta kan resultera i att möjligheterna att finna sprickor o. d. reduceras. Ett lämpligt arbetsområde är den branta högra delen av μ -H kurvan.

Man kan vid magnetpulverprovning skilja mellan två olika metoder att bygga upp magnetfält, dels med separat magnet, dels med direkt strömgenomgång genom det objekt som skall provas. Från den elementära elektricitetsläran är det bekant att en ström som genomflyter en ledare åtföljes av ett magnetfält vars riktning framgår av korkskruvsregeln. Detta förhållande utnyttjas vid magnetpulverprovning av t. ex. stångmaterial, där man vet att fel oftast är orienterande parallellt med stångens axel. Strömgenomgång innebär att magnetfältet är orienterat i omkretsens riktning och detta resulterar i att magnetfältet avskäres av ev. fel. Styrkan hos en indikering varierar med vinkeln mellan magnetfältet och felet så att vid parallellitet fås ytterst svaga indikeringar. Vid kontroll av detaljer där man inte känner någon riktning som förhärskande ur felbenägenhetssynpunkt har man att prova materialet i två mot varandra vinkelräta riktningar eller att använda tekniken med både spolmagnetisering och magnetisering genom strömgenomgång. Moderna apparater har oftast möjlighet till detta förfarande.

En viktig del av magnafluxundersökning är avmagnetisering av objektet efter fullbordad provning. Denna avmagnetisering kan utföras på många sätt, som dock alla har det gemensamt att materialet får genomlöpa den fullständiga magnetiseringskurvan, fig. 21, ett flertal gånger under det att det magnetiserande fältet avtar i styrka. Detta förfarande resulterar i att remanensen avtar för att till slut bli lika med noll varvid materialet är avmagnetiserat. Avmagnetiseringen kan göras så att materialet får passera genom en spole som matas med 50 periodig växelström. I detta fall arrangeras det avtagande magnetiserande fältet genom att objek-



Fig. 21.

tet avlägsnas alltmer från spolen, varvid fältet avtar. En annan metod bygger på att placera objektet i en spole och låta denna genomlöpas av växelström, vars strömstyrka sänkes mot noll. Vid användning av femtioperiodig växelström växlar fältstyrkan mellan sina två toppvärden, det positiva och det negativa 100 gånger per sekund. Detta gör att avlägsnandet av objektet ur spolen kan göras relativt hastigt då full avmagnetisering ändå erhålles.

Elektro- och magnetinduktiv provning.

Ett par metoder inom den oförstörande materialprovningen som får alltmer ökad betydelse är de elektro- och magnetinduktiva metoderna. Dessa metoder kan sägas karaktäriseras av den relativa lätthet varmed de automatiseras och deras höga produktionsförmåga per tidsenhet. Principen för metoderna, både de elektro- och de magnetinduktiva framgår schematiskt av fig. 22. En spole matas med växelström, frekvensen väljes efter det undersökta materialet och även efter den typ av fel som önskas iakttagas. Växelströmmen genom spolen ger





upphov till ett magnetfält som ändrar styrka och riktning i takt med strömmen. Närmas ett metalliskt föremål mot spolen, inducerar det varierande magnetfältet strömmar i detta. Man kan popu-





lärt säga att metallen på olika djup i materialet tjänstgör som varven i en spole med den skillnaden att varven i detta fall är kortslutna. Magnetfältet inducerar strömmar i dessa "varv" och strömmarnas storlek kommer förutom av magnetfältets styr-ka att bero av motståndet i "varvet" dvs. materialets elektriska ledningsförmåga. Dessa strömmar ge i sin tur upphov till magnetfält, vilka motverkar det ursprungliga magnetfältet. Strömstyrkan i spolen kan under för övrigt konstanta förhållanden sägas vara ett mått på materialets elektriska ledningsförmåga. Vanligare än denna metod med endast en spole är användandet av två spolar eller fyra spolar för vissa tillämpningar. Fig. 23 ger några prov på olika kopplingsmöjligheter som utnyttjas i någ-ra apparatkonstruktioner. Av figuren framgår att man skiljer mellan absolutmätning och differensmätning. Differensmätningarna kan som i figuren utföras på olika delar av samma provstycke eller som i vissa konstruktioner på två provstycken. Den senare metoden lämpar sig för att kontrollera ett materialparti beträffande kvalitetssammanblandning. Man använder då en likare i den ena spolanordningen och låter de i partiet ingående enheterna passera den andra spolen. Ar då materialen identiska uppstår ingen spänning mellan sekundärspolarnas utgångar. En svaghet hos dessa metoder är den indirekta mätningen. Variation i materialets elektriska ledningsförmåga indikerar förekomsten av sprickor, felaktig värmebehandling e. d.

Fig. 24 illustrerar den elektriska teorin för virvelströmsmetoden som i mycket förenklad och förkortad form för ett speciellt fall kan framställas enligt nedan. Principen hänför sig till det i fig. 23 inringade fallet.

Mellan uttagen A och B finnes, då inget provmaterial fyller spolarna en viss spänning, i fig. 24 representerad av vektorn ON. "y-axeln" i diagrammet är graderad 0—1 med enheten x/x betydande induktansen multiplicerad med vinkelhastigheten, detta dividerat med samma storhet för spolen utan provföremål. "x-axeln" har enheten ohmska motståndet dividerad med samma faktor som vid y-axeln.

Införes en stång i spolarna ändras spänningen mellan A och B till vektorn OP. Om stångens elektriska ledningsförmåga ändras vandrar vektorspetsen utefter den heldragna kurvan. Dessa kurvor hänför sig till en viss fyllnadsgrad hos spolen dvs. förhållandet mellan tvärsnitten hos provföremål och spole. För spolen avses medeltvärsnittet, vilket gör att fyllnadsgraden 1,0 ej praktiskt kan uppnås. Andras stångens diameter kommer vektorspetsen att vandra utefter den streckade kurvan. Mellan uttagen B och C ligger, då materialet i båda spolarna är lika, en lika stor och motriktad spänning PO. Spänningen mellan A och C är alltså noll. Ändras ledningsförmågan hos materialet i den ena spolen kan spänningsvektorn mellan A och B antaga värdet OP_1 under det att mellan B och C fortfarande ligger PO. Ändras i stället diametern hos stången kan spänningsvektorn mellan A och B antaga värdet OP₂. Fortfarande finns mellan B och C PO. Som framgår av figuren skiljer sig PP1 och PP2 tydligt åt. Detta ger alltså en möjlighet att mäta ledningsförmågan utan att stångens diametervariationer spelar alltför stor roll. För detektering av t. ex. variationer i ledningsförmåga under variation av diameter hos provstycket måste en faskänslig detektor användas som kan skilja mellan ändring utefter en heldragen kurva då arbetspunkten även vandrar utefter en streckad kurva. Att tolka de resultat som fås med olika inställningar av apparaturen kan vara komplicerat. Sin givna användning



har dock metoderna för kontroll av exempelvis tråd med avseende på sprickor då tråden tillverkas till god diametertolerans. I sådana fall har metoden visat sig ge goda resultat. Ett okritiskt tillämpande på mer komplicerade uppgifter har dock inte sällan resulterat i stora besvikelser. Man bör observera att en elektroinduktiv metod inte är så flexibel som t. ex. ultraljudmetoden för att finna sprickor men den är som tidigare sagts ofta snabbare och lättare att automatisera. Kurvor liknande fig. 24 kan uppgöras för magnetinduktiva förfaranden

men det bör observeras att i detta fall även provstyckets permeabilitet kommer in i bilden som variabel, vilket ytterligare komplicerar metoden.

Förutom de här nämnda metoderna för oförstörande materialprovning finnes ett flertal metoder med var sitt speciella tillämpningsområde. Nämnas kan sprickindikering med penetrerande vätskor, enkel spektralanalys, termokraftmätningar och alla de nya metoder som atomenergiutvecklingen fordrar eller erbjuder.

Copyright KIF Linköping okt. 1959