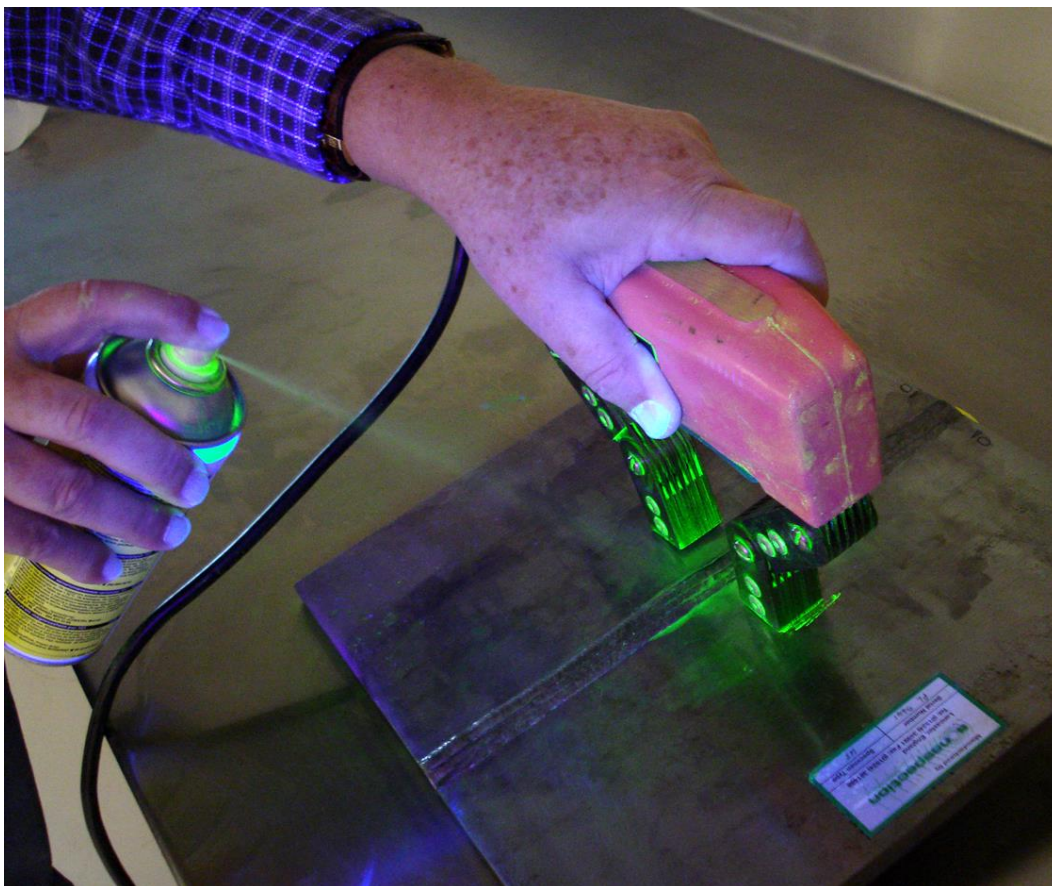


JERNKONTORETS FORSKNING

Järn- och stålframställning

Oförstörande provning

Jernkontorets utbildningspaket – del 10



Förord

Jernkontorets utbildningspaket är ett läromedel i tolv delar som täcker hela produktionskedjan vid stålframställning.

Utbildningspaketet vänder sig i första hand till anställda vid stålföretagen, elever vid gymnasie- och högskolor samt stålföretagens kunder.

Läromedlet är författat av experter inom nordisk stålindustri.

Delar av paketet har reviderats.

Utbildningspaketet omfattar följande områden:

Del	Titel	Senaste utgåva
1	Historia, grundläggande metallurgi	2016
2	Malmbaserad processmetallurgi	2000
3	Skrotbaserad processmetallurgi	2000
4	Skänkmetallurgi och gjutning	2000
5	Underhåll och driftsekonomi	2001
6	Analytisk kemi	1996
7	Energi och ugnsteknik	1997
8	Bearbetning av långa produkter	2015
9	Bearbetning av platta produkter	2015
10	Oförstörande provning	2007
11	Olegerade och låglegerade stål	1996
12	Rostfritt stål	2015

*Föreliggande kapitel "Oförstörande provning" författades 1996 av
Jan-Erik Bohman, Bernt Hedlund, båda AB Sandvik Steel,
Bengt Moberg, Celsius Materialteknik,
Bert Pettersson, Avesta Sheffield AB och
Björn Zetterberg, Avesta Sandvik Tube AB*

**Detta är den andra korrigerande upplagan,
Jernkontoret 2007**

Innehåll, Oförstörande provning, del 10

1	METODFAMILJEN OFÖRSTÖRANDE PROVNING.....	3
2	RADIOGRAFISK PROVNING	6
2.1	Användningsområde.....	6
2.2	Principiellt verkningsätt	6
2.3	Tillämpade tekniker.....	7
2.3.1	Gammarradiografering	7
2.3.2	Röntgenradiografering	7
2.3.3	Högvolt radiografering	7
2.3.4	Detektering av strålning	8
2.4	Detekterbarhet.....	11
2.4.1	Bildkvalitetsindikatorer	11
2.4.2	Skärpa.....	12
2.4.3	Kontrast.....	12
2.4.4	Felskönjbarhet	13
2.4.5	Granskning av radiogram	13
2.5	Fördelar	14
2.6	Begränsningar	14
3	ULTRALJUDSPROVNING	15
3.1	Allmänt.....	15
3.2	Fysikaliska principer	15
3.2.1	Påverkande parametrar	16
3.3	Utrustning	18
3.3.1	Elektronik	18
3.3.2	Sökare.....	19
3.3.3	Kopplingsmedel	20
3.3.4	Referens kroppar	20
3.3.5	Mekaniserad provning.....	21
3.4	Tillämpade tekniker.....	22
3.4.1	Mätvariabler	22
3.4.2	Provningstekniker.....	22
3.4.3	Presentation	23
3.5	Tillämpningar	24
3.5.1	Gjutgods, smiden och maskindetaljer	24
3.5.2	Ämnen, stänger och grovplåt	25
3.5.3	Tunnplåt, band och tråd.....	25
3.5.4	Rör.....	26
3.5.5	Svets- och lödfogar.....	26
3.5.6	Kompositmaterial	26
3.6	Felstorleksbestämning.....	26
3.7	Fördelar	27
3.8	Begränsningar	28
4	INDUKTIVPROVNING.....	29
4.1	Användningsområde.....	29
4.1.1	Allmänt.....	29
4.1.2	Användningsområden.....	29
4.2	Principiellt verkningsätt	30
4.2.1	Virvelströmmar	30
4.2.2	Materialegenskaper	30
4.2.3	Inträngningsdjup.....	31

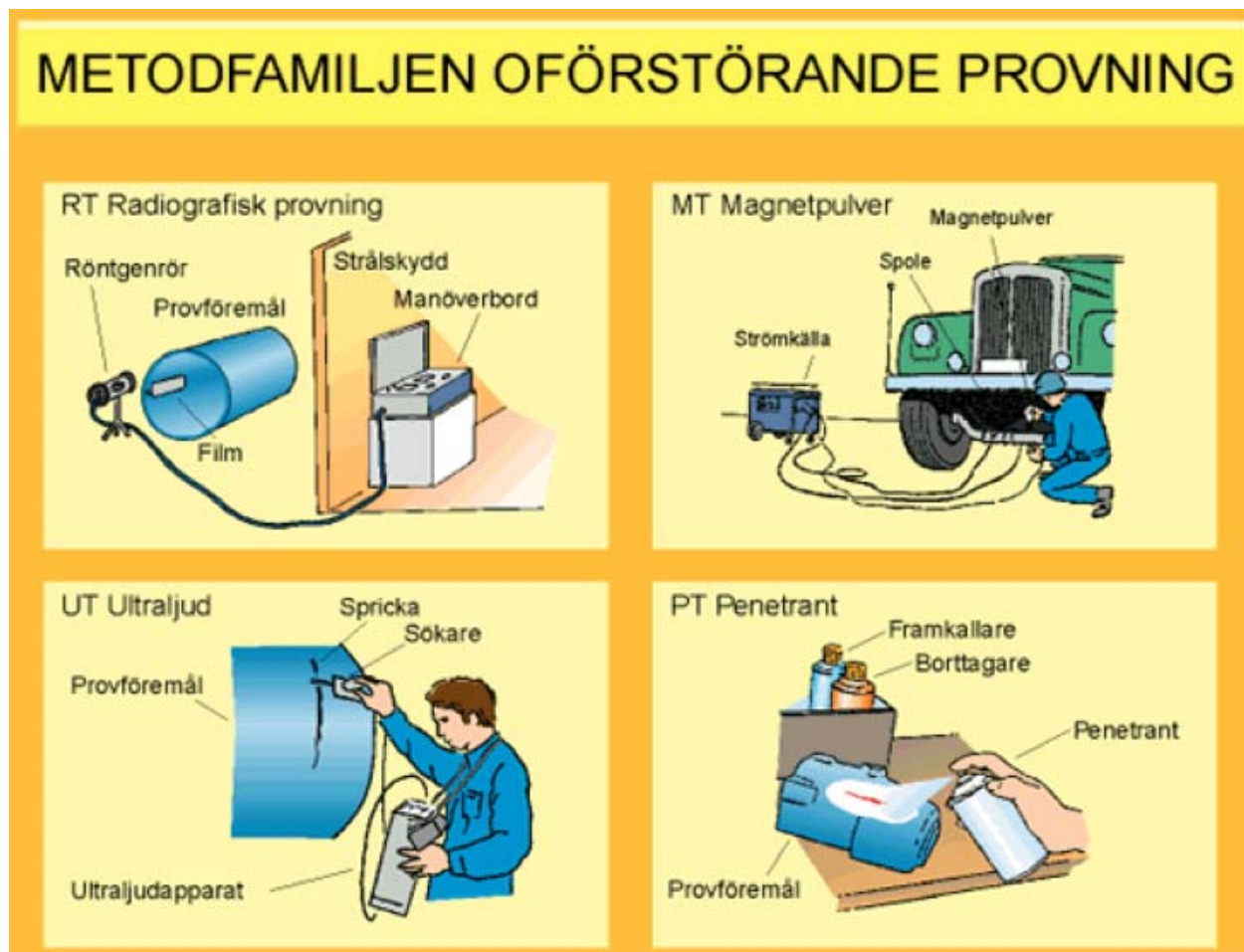
4.2.4	Fasförskjutning	31
4.2.5	Omagnetiska material	32
4.2.6	Ferromagnetiska material	32
4.3	Tillämpad teknik	33
4.3.1	Provningsområde	33
4.3.2	Givartyper	33
4.3.3	Spolsystem	34
4.3.4	Avstånd mellan provföremål och givare	35
4.4	Detekterbarhet/Kalibrering	36
4.4.1	Analystekniker	36
4.4.2	Signal/störförhållande, (S/N)	37
4.4.3	Referens kropp	38
4.5	Fördelar och begränsningar	38
5	PENETRANTPROVNING	40
5.1	Användningsområde	40
5.2	Princip	40
5.3	Genomförande	44
5.4	Jämförelser mellan olika penetranter	49
5.5	Detekterbarhet för olika ytfelstyper	49
5.6	Kontroll av penetrantmaterial	51
6	MAGNETPULVERPROVNING	53
6.1	Användningsområde	53
6.2	Princip	53
6.2.1	Allmänt	53
6.2.2	Alstring av magnetfält	54
6.3	Magnetisering	55
6.3.1	Allmänt	55
6.3.2	Polmagnetisering	56
6.3.3	Strömgenomflytningsmagnetisering	57
6.4	Strömtyper	58
6.5	Magnetpulver	59
6.6	Provningsutrustning	60
6.7	Defektbedömning	60
6.8	Avmagnetisering	61
6.9	Fördelar	61
6.10	Begränsningar	62

Oförstörande provning, del 10

1 Metodfamiljen oförstörande provning

Oförstörande provning (OFP) är en sammanfattande benämning på en rad olika provningsmetoder. De grundar sig på olika fysikaliska principer och har därför skilda fördelar och begränsningar. I uppräkningsen av metoderna nedan anges även deras internationellt vedertagna beteckning.

Radiografisk provning	RT – Radiographic Testing
Magnetpulverprovning	MT – Magnetic Particle Testing
Ultraljudprovning	UT – Ultrasonic Testing
Provning med penetrant	PT – Penetrant Testing
Induktivprovning	ET – Eddy Current Testing
Akustisk emission	AE – Acoustic Emission Testing
Läckprovning	LT – Leak Testing
Visuell syning	VT – Visual Testing

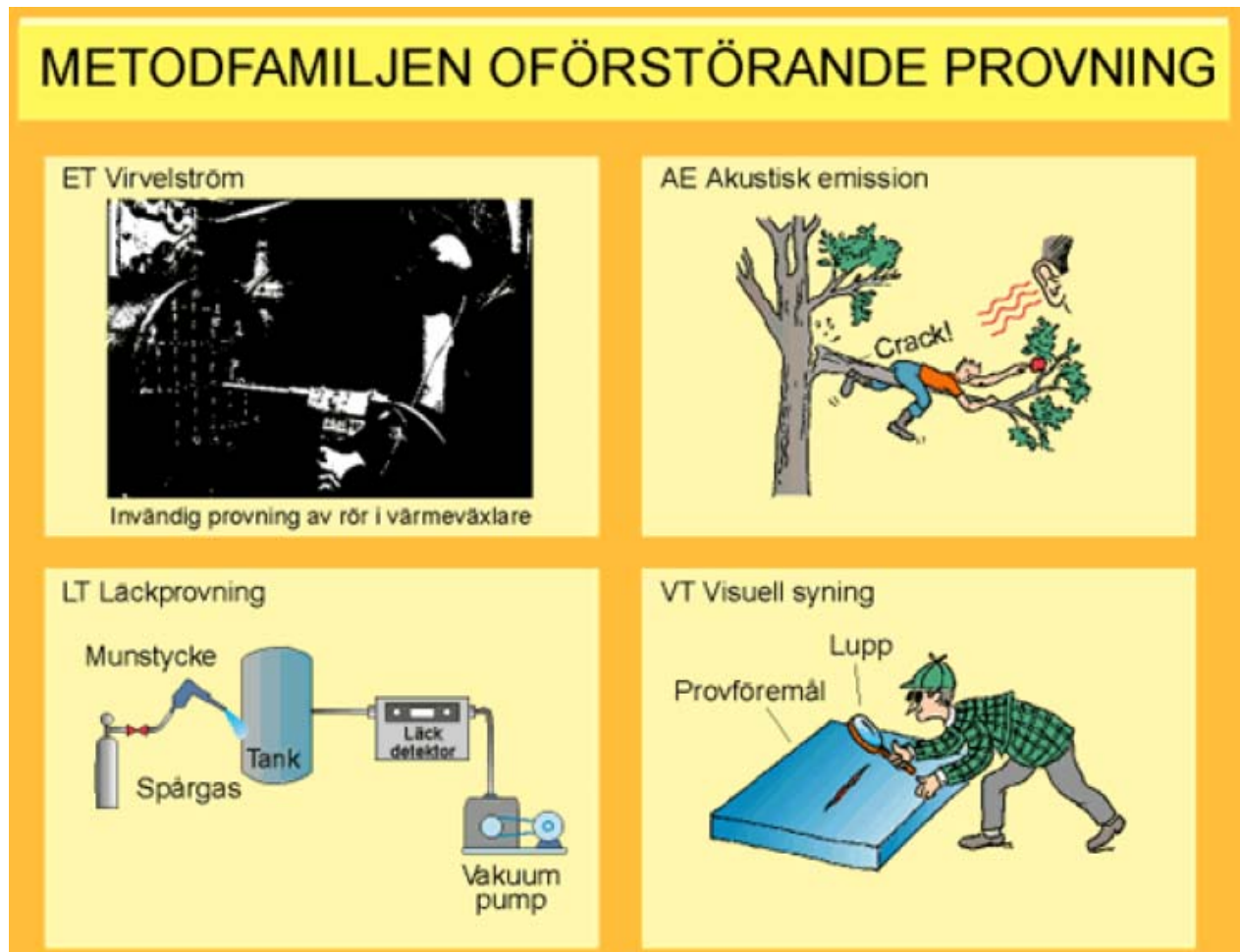


Figur 10-1:1

Gemensamt för metoderna är att

- de i många fall är indirekta provningsmetoder
- kvantitativa värden endast erhålls i undantagsfall
- provresultaten ibland är mångtydiga och kan kräva kvalificerad och erfaren personal för utvärdering
- hela provmaterialet kan undersökas

- samma material kan provas flera gånger, varvid ett flertal egenskaper hos ett och samma material kan undersökas
- tidsberoende variationer i materialegenskaperna kan följas kontinuerligt under tillverkning
- förutsättningar för automatisering av provningsförfarandena i många fall är gynnsamma
- utförande och utvärdering av provningen ofta styrs av detaljerade specifikationer.



Figur 10-1:2

För varje metod finns ett flertal tillämpningar eller tekniker, vilkas utformning bestäms av ett antal faktorer. En sådan är avsikten med provningen, där några områden exemplifieras nedan:

- detektering och utvärdering av defekter
- mätning av dimensioner
- bestämning av defektläge
- karakterisering av struktur
- mätning och utvärdering av fysikaliska egenskaper hos materialet.

Detektering av defekter är den vanligaste tillämpningen, och val av provningsmetod bestäms av

- avsikt med provningen
- typer av förväntade defekter i materialet
- storlek och orientering av defekterna i materialet
- defekternas placering i materialet

- storlek och form hos provmaterialet
- provmaterialets sammansättning och struktur.

En OFP-metod kan användas i flera led under tillverkningen och användningen av en produkt. **Slutkontroll** är en vanlig tillämpning, där den tillverkade produkten provas mot kundspecifikation före leverans till kund.

Processkontroll är en annan användning, där provningen oftast insättes efter en nyckeloperation med snabb återföring till tillverkningsprocessen. Det tredje området är provning av befintliga produkter eller komponenter för att bedöma om dessa kan accepteras för fortsatt drifts användning. Detta användningsområde kallas **driftsprovning** eller **in-serviceinspektion**.

Då den oförstörande provningen i många tillämpningar ingår som en del i kvalitetssäkringsprogrammet, erfordras kvalificerad personal för genomförande av provningen.

I de följande avsnitten beskrivs de OFP- metoder, som har stor tillämpning inom industrin, nämligen radiografisk-, ultraljud-, induktiv-, penetrant- samt magnetpulverprovning.

2 Radiografisk provning

2.1 Användningsområde

Radiografisk provning används framför allt för att påvisa diskontinuiteter inuti ett material. Föremål som provas kan vara av olika material. Volymetriska fel i gjutna föremål av t ex gjutjärn, stål, aluminium, magnesium, koppar, mässing eller brons, detekteras bra med denna metod. Komponenter tillverkade av plaster och kompositer liksom elektronik kontrolleras i vissa fall med radiografisk provning. Metoden tillämpas ofta på olika typer av förband såsom svetsar och lödskarvar.

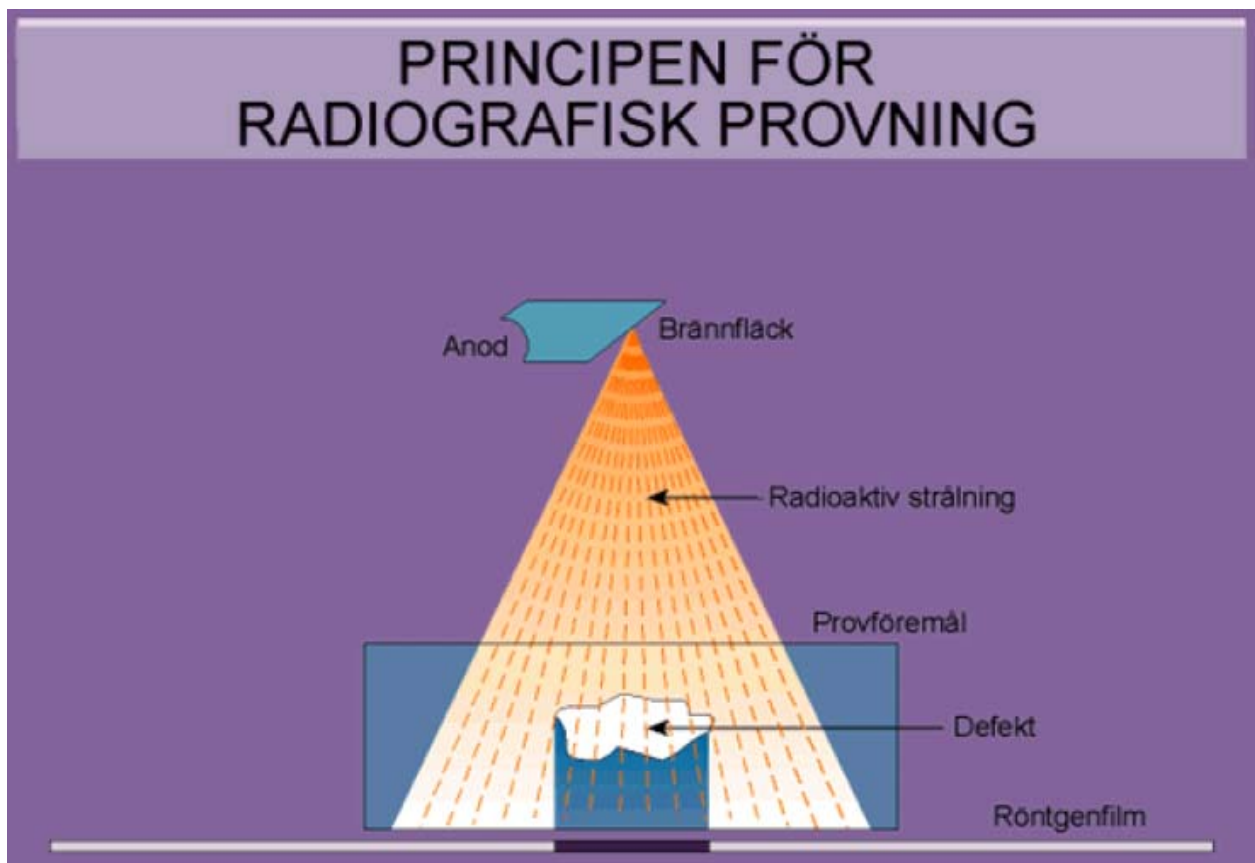
Strålskydd

Om människokroppen blir utsatt för röntgen- eller gammastrålning kan detta innebära allvarliga men för hälsan. Det föreligger därför enligt lag skyldighet att vidtaga nödvändiga åtgärder för att skydda människor överallt, där röntgenapparater eller radioaktiva isotoper används. Se speciella anvisningar från Statens Strålskyddsinstitut, SSI (www.ssi.se).

2.2 Principiellt verkningssätt

Vid all radiografisk provning användes någon form av strålkälla. Joniserande strålning från denna låter man gå genom provobjektet och sedan svärta en fotografisk film. Denna framkallas sedan, fixeras och granskas med hjälp av en sk betraktningsskärmar. På filmen erhålls en avteckning av strålningens varierande absorption i provobjektet. Inhomogeniteter i form av t ex porer, blåsor, inneslutningar eller sprickor kan sedan utvärderas och jämföras med någon kravstandard.

Vid sk Realtidsröntgen ersätts filmen med en fluorescerande skärm (genomlysning) eller med en bildförstärkare och ett TV-system.



Figur 10-2:1

2.3 Tillämpade tekniker

2.3.1 Gammaradiografering

Vid gammaradiografi används en isotop av något grundämne som strålkälla. Isotoper kallas sådana atomslag, där neutronantalet i kärnan varierar och protonantalet förblir konstant.

Vissa isotoper av ett grundämne är instabila och sönderfaller under utsändande av elektromagnetisk strålning. Strålningen från en isotop kallas för γ -(gamma)-strålning. Den har en våglängd på ca 0,1–0,001 Å (10^{-9} – 10^{-13} m).

En isotops aktivitet mäts i becquerel (Bq). 1 Bq betyder att 1 st atomkärna sönderfaller per sekund. Den äldre enheten är curie (Ci). Sambandet mellan enheterna är att $1 \text{ Ci} = 37 \times 10^9 \text{ Bq}$.

Nedanstående tabell visar några i detta sammanhang vanliga isotoper och deras respektive halveringstid, samt användningsområde för olika godstjocklekar i stål. Med halveringstid menas den tid som åtgår för att strålningsintensiteten skall avta till hälften.

Strålningskälla	Halveringstid	Godstjocklek, stål
Kobolt 60	5,3 år	40-200 mm
Iridium 192	74 dygn	20-100 mm
Ytterbium 169	32 dygn	1-20 mm

2.3.2 Röntgenradiografering

Vid röntgenradiografering användes s k röntgenrör som strålkälla.

Principen för ett röntgenrör är att elektroner accelereras och slungas mot en anod bestående av en wolframplatta. Detta sker under vakuum. När elektronerna träffar wolframplattan (target) bildas röntgenstrålning.

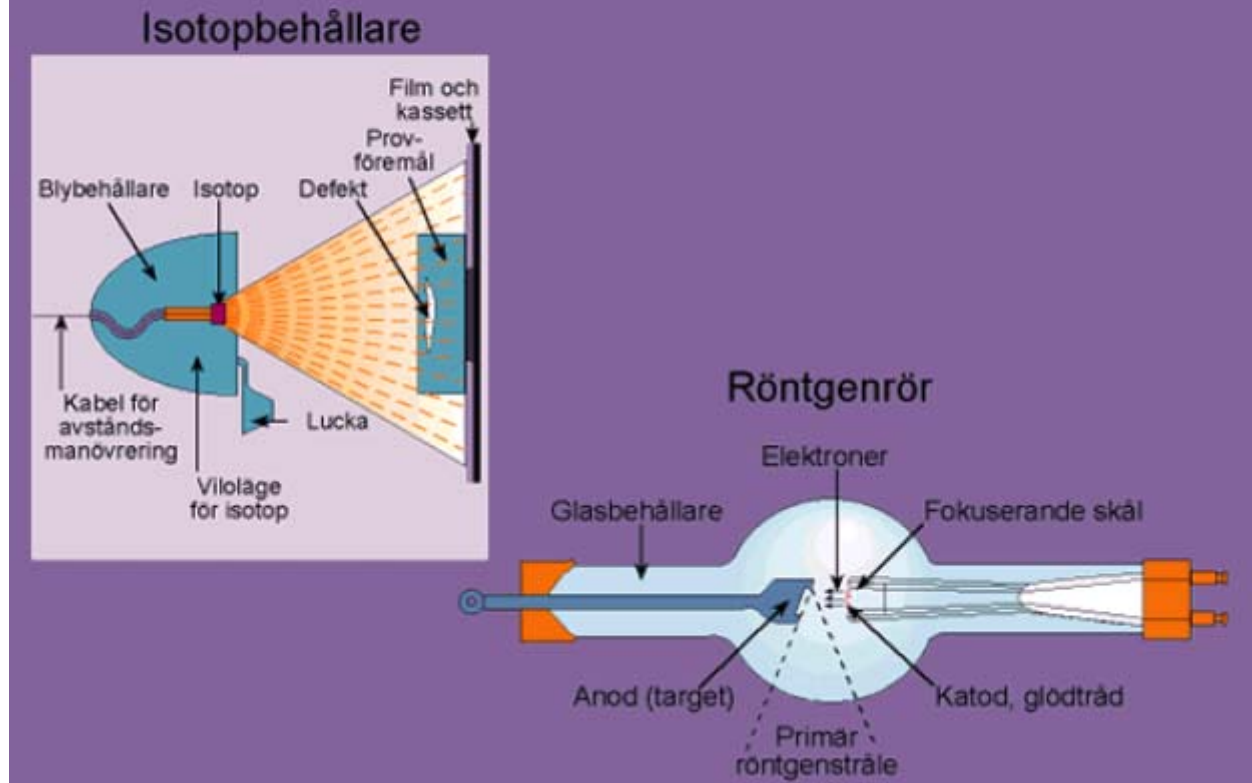
Strålningens energi bestäms av spänningen mellan katod och anod. Röntgenrörens "styrka" anges därför i kV. Vanliga kV-tal på röntgenrör är: 50, 100, 150, 200, 250, 300 och 400 kV.

Röntgenstrålningen har en våglängd av ca 0,01–1,0 Å (Ångström), (10^{-12} – 10^{-10} m).

2.3.3 Högvoltsradiografering

För att kunna genomstråla grova godstjocklekar kan man behöva tillgripa högenergetisk strålning, som alstras av speciell utrustning s k linjära accelerators. Dessa kan ha en strålenergi motsvarande 1–12 MeV.

PRINCIPEN FÖR EN ISOTOPBEHÅLLARE OCH ETT RÖNTGENRÖR



Figur 10-2:2

2.3.4 Detektering av strålning

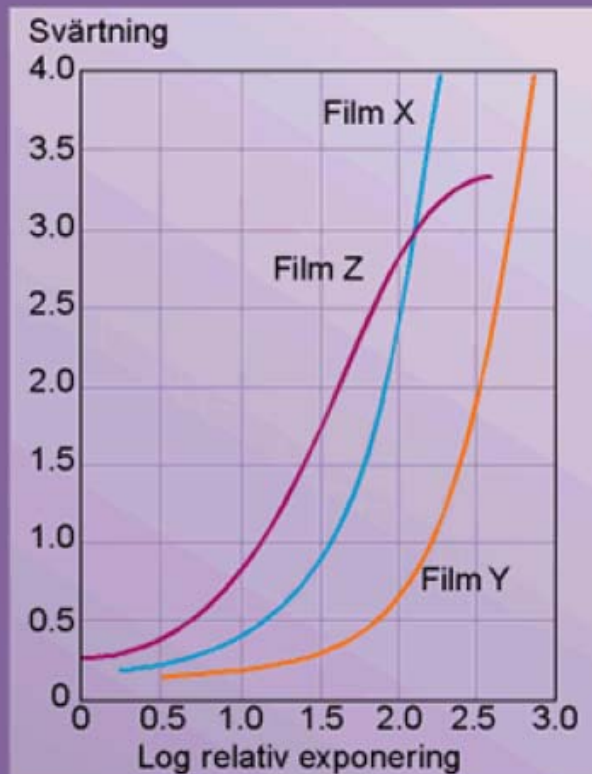
2.3.4.1 Film

En röntgenfilm består av ett transparent ark av cellulosacetat med ett skikt av silverbromid på båda sidor. Denna ljuskänsliga film svärtas också av radioaktiv strålning.

Det finns filmer med olika grova silversaltkorn, vilket påverkar exponeringstid och känslighet och kontrast.

Varje filmtyp har en karakteristisk kurva, som visar sambandet mellan logaritmen av den relativa exponeringen och filmens svärtning.

SVÄRTNINGSKURVOR FÖR TRE OLIKA FILMTYPER



Figur 10-2:3

Nedanstående tabell visar några exempel på olika filmer och deras egenskaper:

Filmtyp	Exponeringsfaktor	Kontrast	Korn
D2	60	Mycket hög	Ultrafint
D4	15	Mycket hög	Extrafint
D7	4	Mycket hög	Mycket fint
D8	1,6	Hög	Fint
D10	1	Hög	Fint
S	0,1	Hög	Ganska fint

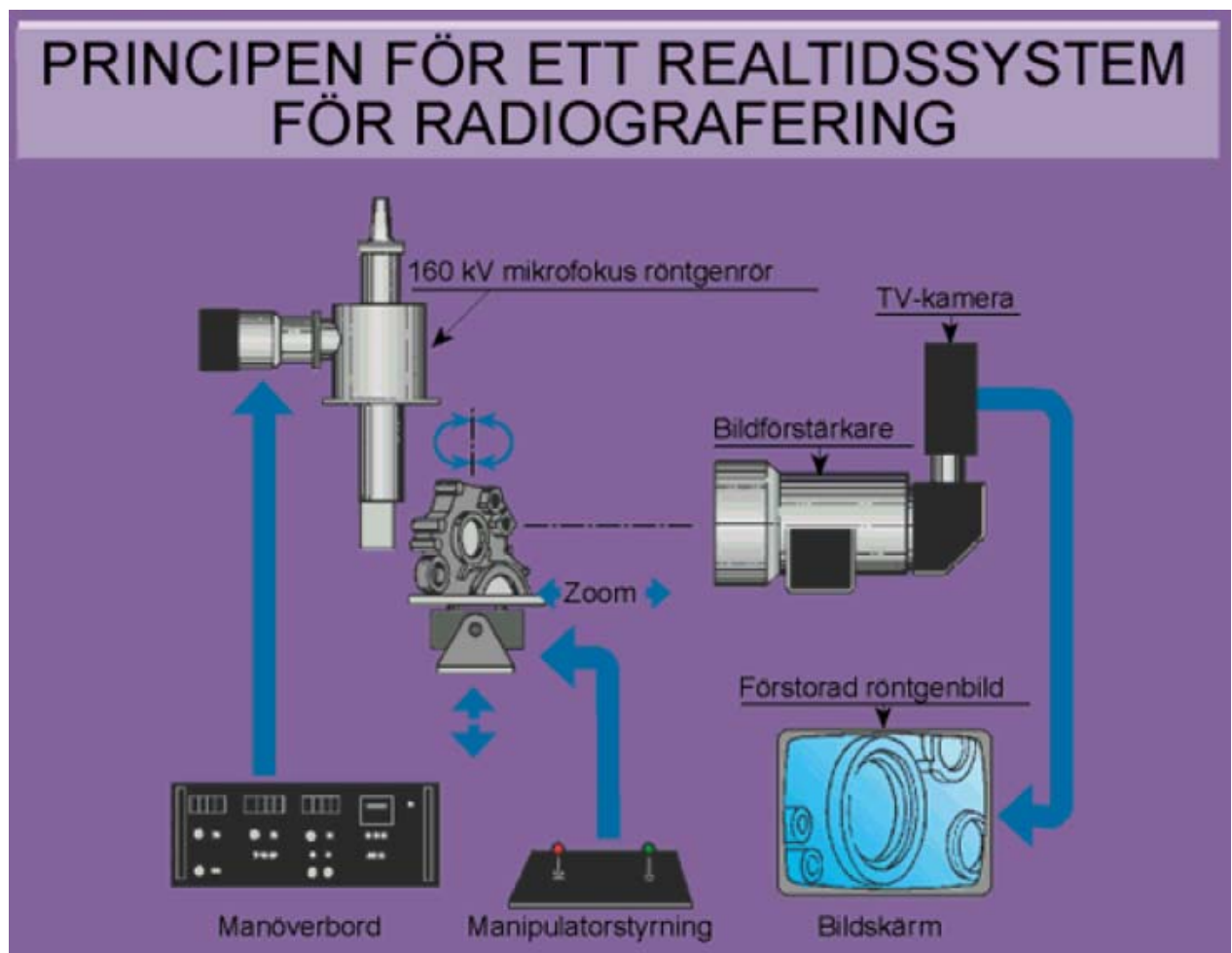
Film tillhandahålls vanligen vakuumpförpackad i olika format. Denna förpackade röntgenfilm kan ofta placeras direkt mot provobjektet. Efter en exponering framkallas, fixeras och torkas filmen. Detta görs ofta i en automat.

2.3.4.2 Genomlysning eller realtidsröntgen

Avbildningen av ett objekt vid genomstrålning med röntgenstrålning kan göras direkt på en fluorescerande skärm. Vid denna typ av undersökningar får man vanligen inget dokument.

Ett modernare sätt är att låta den genom objektet transmitterade strålningen tas upp av en bildförstärkare tillsammans med en TV-kamera. Då erhålls en digitaliserad bild som kan behandlas på olika sätt.

Bilden kan visas direkt på en TV-monitor under tiden som objektet vrids och vänds för att ett eventuellt fel skall visas optimalt. Kamerasignalen kan också spelas in på en videobandspelare. Med hjälp av särskild bildbehandling kan videosignalen då bearbetas elektroniskt så att bättre kontrast erhålls.



Figur 10-2:4

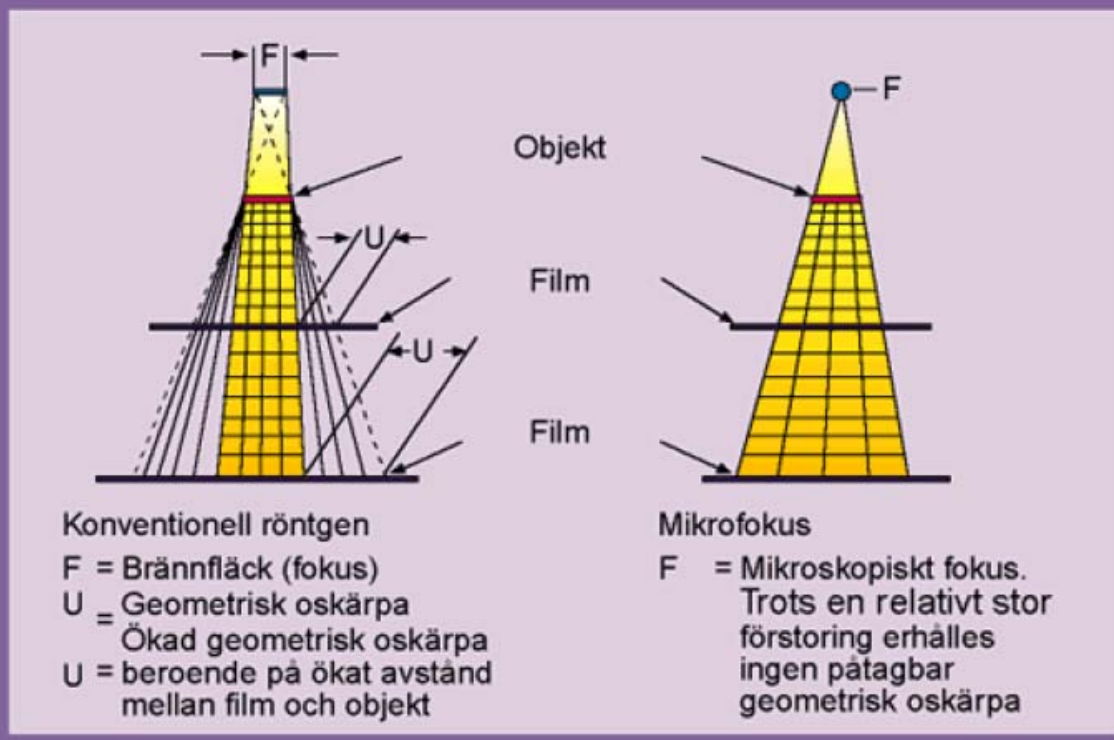
2.3.4.3 Mikrofokusteknik

För att undvika den geometriska oskärpa som erhålls på grund av att strålkällan ej är punktförmig, har en ny typ av röntgenrör tagits fram, så kallat mikrofokusrör.

Fokusstorleken som för konventionella röntgenrör ligger på 0,5–5 mm, ligger för mikrofokusrör på 10–100 μm . Med ett så litet fokus kan projiceringseffekten utnyttjas, så att en förstorad bild av provobjektet, eller del därav, erhålls.

Mikrofokusrör används ofta tillsammans med realtidsröntgen.

SKILLNADEN MELLAN KONVENTIONELL RADIOGRAFERING OCH ANVÄNDANDE AV MIKROFOKUS



Figur 10-2:5

2.4 Detekterbarhet

2.4.1 Bildkvalitetsindikatorer

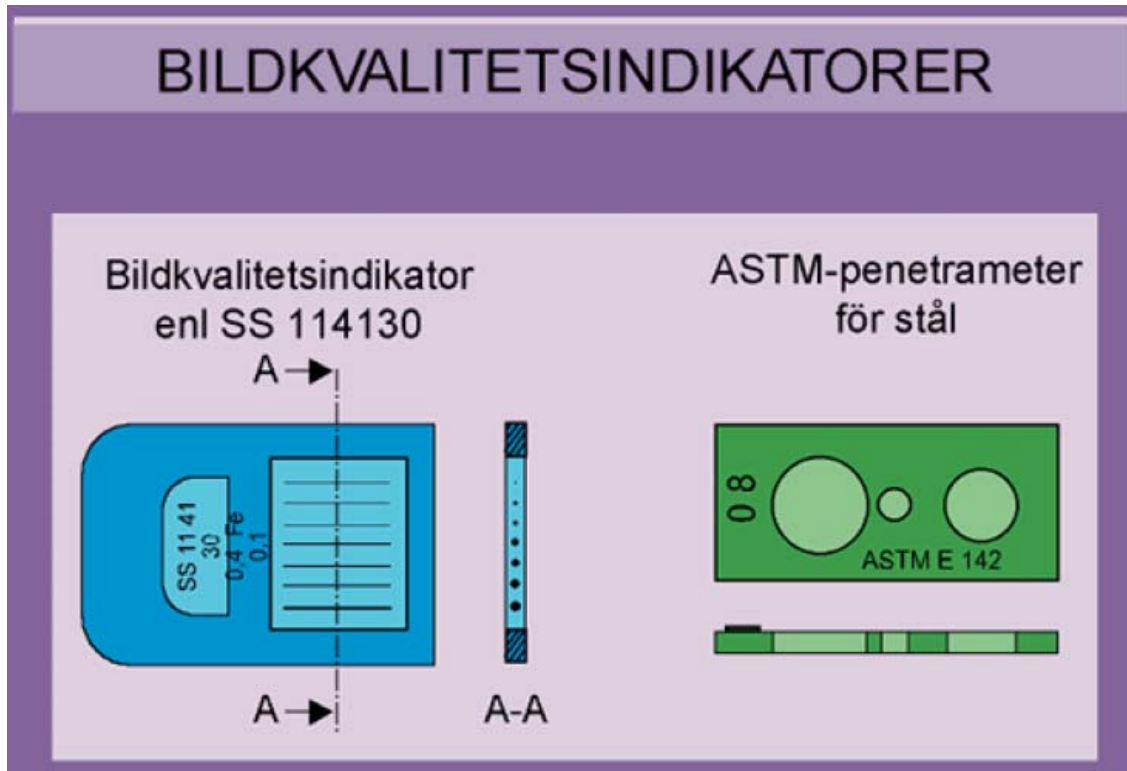
Vid radiografisk provning är det nödvändigt att känna till kvaliteten på de radiogram efter vilka objekten bedöms. För detta ändamål används bildkvalitetsindikatorer.

En i Sverige vanlig bildkvalitetsindikator är trådindikatorn (SS 114130). Den innehåller 16 trådar med diametrar från 3,20–0,100 mm och 50 mm långa. Trådarna delas ofta upp på tre skalor.

Det finns också andra typer av bildkvalitetsindikatorer, t ex franska AFNOR-indikatorer och amerikanska ASTM-indikatorer. De bygger på att små hål i tunna plattor (1–2% av godstjockleken) skall kunna detekteras.

Materialet i trådarna eller plattorna skall motsvara det material som skall provas. En bildkvalitetsindikator placeras normalt på objektets strålsida. På filmen skall sedan en tråd eller ett hål av en viss storlek kunna iakttas.

BILDKVALITETSINDIKATORER



Figur 10-2:6

2.4.2 Skärpa

Tre faktorer som påverkar skärpan hos en bild är: Den inre oskärpan (filmoskärpan), den geometriska oskärpan och rörelseoskärpan. Den inre oskärpan beror på spridd strålning som alstras i filmen. Oskärpan påverkas av strålningens energi. Ju högre energi, desto större inre oskärpa.

Den geometriska oskärpan beror på att strålkällan ej kan betraktas som punktformad. För att minimera denna oskärpa skall avståndet strålkälla – objekt vara stort, avståndet objekt – film vara så litet som möjligt, samt strålkällans dimension vara så liten som möjligt.

Rörelseoskärpa beror på att strålkällan, objektet eller filmen rört sig i förhållande till varandra under exponeringen.

2.4.3 Kontrast

Med hög kontrast menar man att en liten ändring i det undersökta objektets tjocklek (t ex håligheter i svetsen) skall ge upphov till stor ändring i filmsvärtningen.

Kontrasten är beroende av följande faktorer: Filmtyp, framkallning, filmsvärtning, använd strålningsenergi samt förhållandet mellan direkt och spridd strålning som når filmen.

En films svärtning anges som:

log för ljusintensiteten som passerar filmen / ljusintensiteten som träffar filmen.

Filmens svärtning bör normalt ligga över 1,5 och upp mot 4,0 under förutsättning att ljuskällan i betraktningsskärpan är tillräckligt stark.

2.4.4 Felskönjbarhet

En diskontinuitet måste alltid ge upphov till en godsförtunning i strålningsriktningen för att den skall ge en svärtningsförändring på filmen.

För att ögat skall kunna uppfatta en svärtningsförändring måste denna uppgå till minst 0,006. Detta gäller under goda betraktningsförhållanden.

Som exempel kan nämnas att en cylindrisk defekt i en 50 mm tjock plåt måste vara minst 0,5 mm för att kunna ses på filmen (1 % av godstjockleken). Minsta djup hos en plan defekt för att den skall kunna upptäckas på filmen är för en 50 mm tjock plåt t ex 0,1 mm (0,2 % av godstjockleken). Ovanstående exempel är teoretiska och i praktiken ligger felskönjbarheten ofta mellan 0,5–2,0 % av godstjockleken.

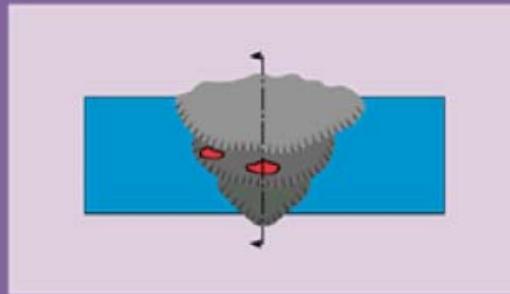
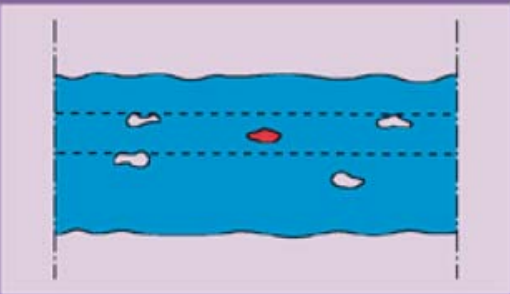
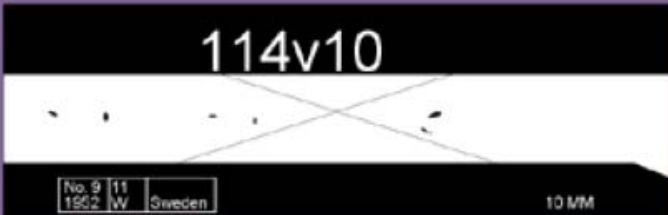
2.4.5 Granskning av radiogram

När filmen är exponerad, framkallad och torr, granskas den med hjälp av en betraktningsapparat. Den skall ge ett diffust, reglerbart ljus, som normalt skall vara vitt. Luminansen, som skall vara jämn, anpassas efter svärtningen hos den del av radiogrammet, som skall granskas.

Filmer från svetsskarvar i stål eller aluminium bedöms ofta enligt en atlas utgiven av IIW (The International Institute for Welding). Den består av ett antal filmer från olika typer av diskontinuiteter. Filmerna är grupperade i fem olika grupper efter hur allvarliga de är för bl a svetsens hållfasthet.

**EXEMPEL PÅ RÖNTGENFILM
AV SVETS SOM INGÅR I IIW:s ATLAS**

Filmen visar slagginneslutningar med obestämd form och orientering



Beskrivning: slagg eller annat främmande material som inneslutits vid svetsningen
Utseende på radiografiet: svärtningar med oregelbunden form

Material	- stål	Radiografering	- <150 kV
Svetsmetod	- metall	Skärmar	- inga
Fogtyp	- V-fog	Feltyp	- slagginneslutningar med obestämd form och orientering
Svetsläge	- vertikal	Grupp (betyg)	- blå (4)

Figur 10-2:7

Det bästa betyget: En homogen svets med enstaka obetydliga defekter av typ spridda porer, betecknas med 5 (svart).

Det sämsta betyget: Tydliga defekter i svetsens homogenitet, betingade av endera en kombination av porer, inneslutningar, rotfel, bindfel och sprickor, betecknas med betyget 1 (röd). Beroende på svetsens användningsområde brukar kravet för godkänt ligga på betyg 3 eller 4.

Filmer från gjutgods i stål, aluminium och magnesium brukar bedömas enligt atlas utgivna av ASTM (American Society for Testing and Materials). Även här är referensfilmerna inordnade dels i typgrupper dels olika allvarlighetsgrader.



Figur 10-2:8

2.5 Fördelar

Radiograferingsmetodens fördelar kan sammanfattas till följande:

- Volymetriska defekter och större avvikelser i täthet detekteras bra.
- Ett arkiverbart dokument (ett radiogram eller en videoupptagning) från provningen erhålls.
- Diskontinuitetens typ, karaktär och storlek kan i allmänhet avläsas.

2.6 Begränsningar

Radiograferingsmetodens begränsningar eller nackdelar kan sammanfattas till följande:

- På grund av den radioaktiva strålningen måste provningen utföras i speciella strålskyddade lokaler eller inom avspärrade områden.
- Strålningen absorberas förhållandevis kraftigt i provobjektet (stål), vilket begränsar godstjockleken för de objekt man önskar kontrollera.
- Diskontinuiteternas volym i strålningsriktningen bör vara i storleksordningen 0,5–2,0 % av godstjockleken för att de skall kunna detekteras.

3 Ultraljudsprovning

3.1 Allmänt

En gammal oförstörande provningsmetod var att knacka på provföremålet och lyssna till klangen. En van person kunde på detta enkla sätt skilja felfria detaljer från sådana som innehöll defekter av något slag.

Förekomst av en defekt gjorde att klangen blev "oren" och lät annorlunda jämfört med ett felfritt provföremål. Tekniken var dock bara tillämpbar när det gällde att hitta större defekter, då mindre defekter oftast åstadkom för små förändringar i klangfärgen för att upptäckas på detta sätt.

De första mer ingående undersökningarna av hur elastiska vågor med frekvenser över hörbarhetsgränsen ca 20000 Hz, (ultraljud) utbreder sig i fasta och flytande media gjordes i slutet på 1920-talet.

Provning med ultraljud har sedan dess genomgått en mycket snabb utveckling, vilket resulterat i en mängd provningsmetoder och applikationer. Speciellt har introduktionen av datorer i OFP medfört att möjligheterna till signalbehandling och presentation av insamlade data förbättrats på ett revolutionerande sätt.

Ultraljudprovning är en oförstörande provningsmetod som används både vid processmaterial-tillverknings- och slutkontroll av fasta material. Den vedertagna internationella beteckningen är **UT** vilket kommer från engelskans **Ultrasonic Testing**.

3.2 Fysikaliska principer

När en partikel i ett medium genom en yttre kraft bringas ur sitt jämviktsläge, kommer den i sin tur att påverka intilliggande partiklar på sådant sätt att hela systemet strävar efter att uppnå ett nytt jämviktsläge. På detta sätt fortplantar sig rörelsen från partikel till partikel och ger upphov till en våg.

Om den yttre kraften är periodisk och upprepas med jämna mellanrum, erhålls en kontinuerlig våg, som utbreder sig bort från störningskällan likt ringar på vattnet. Den yttre kraftens riktning och arten av koppling mellan mediets partiklar bestämmer utseendet på vågen.

De elastiska vågornas natur är intimt förknippade med olika materials uppbyggnad och är till skillnad från elektromagnetiska vågor beroende av det medium, i vilket de utbreder sig. Detta medium kan antingen vara en fast kropp, en vätska eller en gas. Olika materials elastiska egenskaper och de konstanter som används vid beräkningar av dessa finns beskrivna i hållfasthetslitteraturen.

Longitudinell våg, ibland även kallad kompressionsvåg, är en vanlig vågtyp vid provning av metaller. Den utbreder sig genom materialet genom en serie av omväxlande kompressioner och förtunningar, vilket medför att materialets partiklar påverkas av vågen och vibrerar fram och tillbaka i utbredningsriktningen.

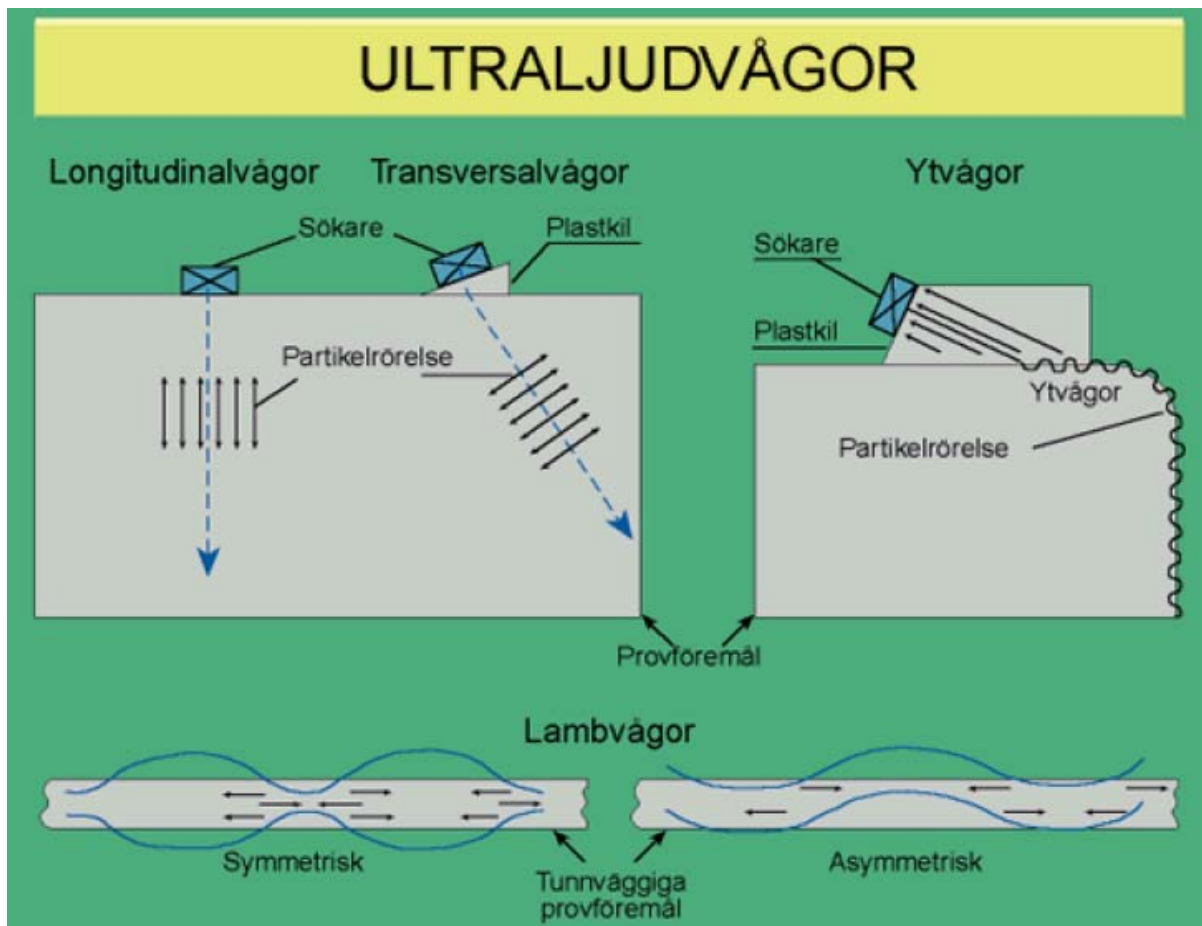
Transversella vågor används ofta vid provning av metaller och svetsförband. Transversalvågen påverkar partiklarna på så sätt, att de vibrerar upp och ned vinkelrätt mot utbredningsriktningen. Detta kan beskrivas som rörelserna i ett långt rep, som skakas rytmiskt upp och ned. Transversalvågens hastighet är ungefär hälften av longitudinalvågens. Transversalvågor kan inte utbreda sig i vatten och luft.

Ytvågor (Rayleigh-vågor) används för att upptäcka ytfel och fel strax under ytan. Dessa vågor förflyttar sig längs plana eller kurvade ytor i relativt tjocka, fasta, homogena detaljer. För att dessa vågor skall kunna utbreda sig måste de förflytta sig i gränsytan mellan å ena sidan de kraftiga elastiska krafterna i en fast kropp och å andra sidan de nästan negligerbara elastiska krafterna mellan gasmolekyler. Ytvågor kan därför inte existera, om en fast kropp nedsänks i en vätska. Ytvågans hastighet är ungefär 90 % av transversalvågens.

Lambvågor, också ibland kallade plattvågor, är ytterligare en vågtyp, som används inom materialprovningen. Lambvågor förflyttar sig bara i material, som är några våglängder tjocka. En lambvåg består av komplexa vibrationer, som går genom hela materialets tjocklek. Karaktären på utbredningen av lambvågor beror på materialets täthet, elastiska egenskaper och materialets struktur. Den påverkas också av provobjektets form och ultraljudfrekvensen.

Det kan existera två former av lambvågor nämligen symmetriska och asymmetriska: Formen bestäms av huruvida partikelrörelsen är symmetrisk, med longitudinell partikelförskjutning, eller asymmetrisk, med transversell förskjutning av partiklarna i förhållande till provobjektets yta.

Några av de vanligaste vågtyperna illustreras i figur 10-3:1.



Figur 10-3:1

3.2.1 Påverkande parametrar

Viktiga variabler, som måste beaktas vid ultraljudprovning, är karaktären på de vågor, som används, och också karaktären på det material som skall provas.

Provningstrutningen måste också väljas med hänsyn till den provningsuppgift, som skall lösas, eftersom utrustningar ofta är anpassade för speciella provningsuppgifter.

Viktiga parametrar:

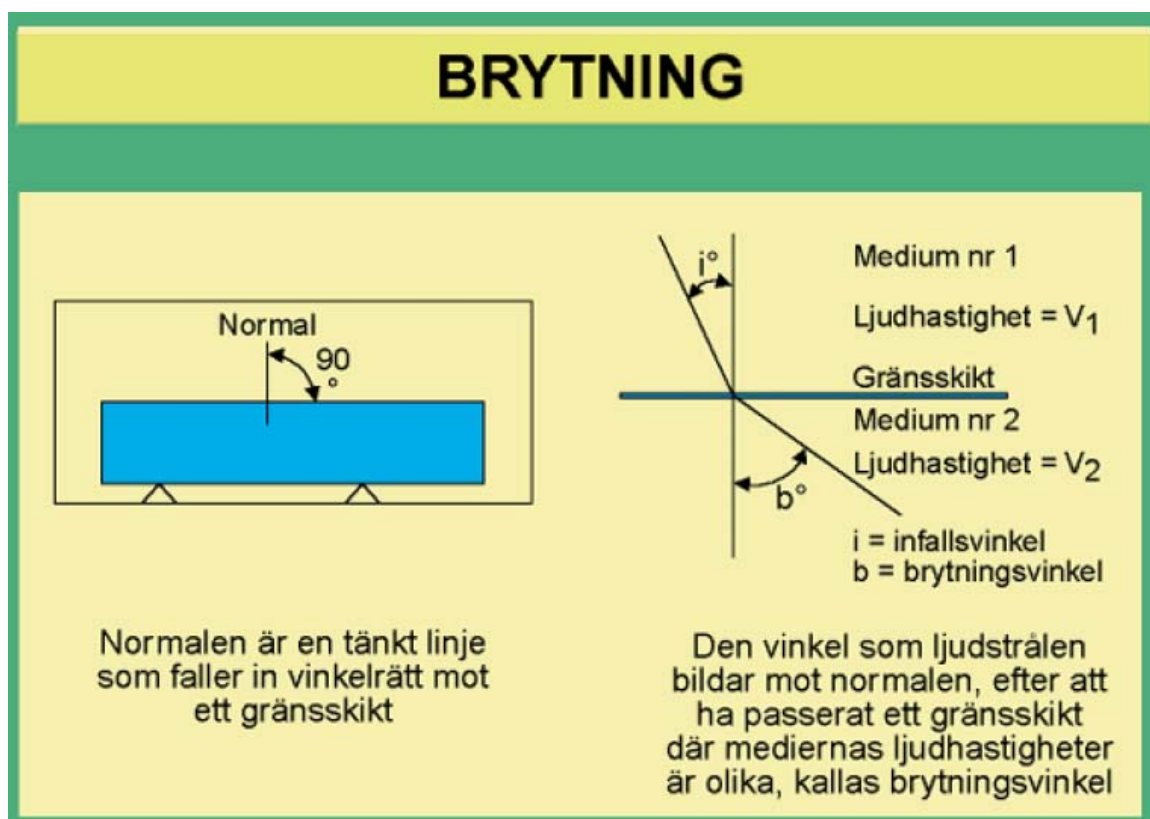
- a) **Frekvensen** på den ultraljudvåg som används, inverkar på provningen på flera sätt. Provningskänsligheten, dvs förmågan att detektera små fel, ökar med högre frekvens.

Penetreringsförmågan och det djup i materialet från vilket användbara signaler kan upptäckas minskar emellertid med ökad frekvens. Denna effekt blir tydligast när det gäller provning av material med grov kornstruktur, där högfrekvent ljud på grund av korta våglängder sprids vid korngränserna. Divergensen av ultraljudets strålnippe i förhållande till dess centrala axel påverkas också av frekvensen, ju lägre frekvens desto större divergens.

- b) **Akustisk impedans.** När ultraljudsvågor, som utbreder sig i ett medium, kolliderar med gränssnittet till ett annat medium, reflekteras en del av den infallande ljudenergin bort från gränssnittet medan återstående energi överförs till det andra mediumet. Det som bestämmer mängden av reflektion är förhållandet mellan de akustiska impedanserna hos materialen på båda sidor om gränssnittet.

Om impedanserna hos de båda materialen är lika, blir det ingen reflektion. Om impedanserna avviker mycket från varandra som t.ex. mellan metall och luft, blir det praktiskt taget total reflektion. Storleken på den infallande energi, om reflekteras vid övergång mellan två material, beror på förhållandet mellan de båda materialens impedanser och aktuell infallsvinkel.

- c) **Reflektion-Brytning.** Det är bara när en ultraljudvåg träffar vinkelrätt mot en gränssyta till ett annat material (infallsvinkeln $= 0^\circ$), som ljudöverföring och reflektion sker utan ändring av ljudriktningen. Vid alla andra infallsvinklar inträffar fenomen som kallas brytning och vågomvandling och som innebär att den infallande ultraljudsvågen bryts till andra vinklar i gränsskiktet och ändrar karaktär genom att delar av energin omvandlas till andra vågtyper (se figur 10-3:2).



Figur 10-3:2

Den lag, som beskriver ultraljudets reflektion och brytning i en gränssyta, är densamma gäller inom den geometriska optiken och kallas Snell's lag,

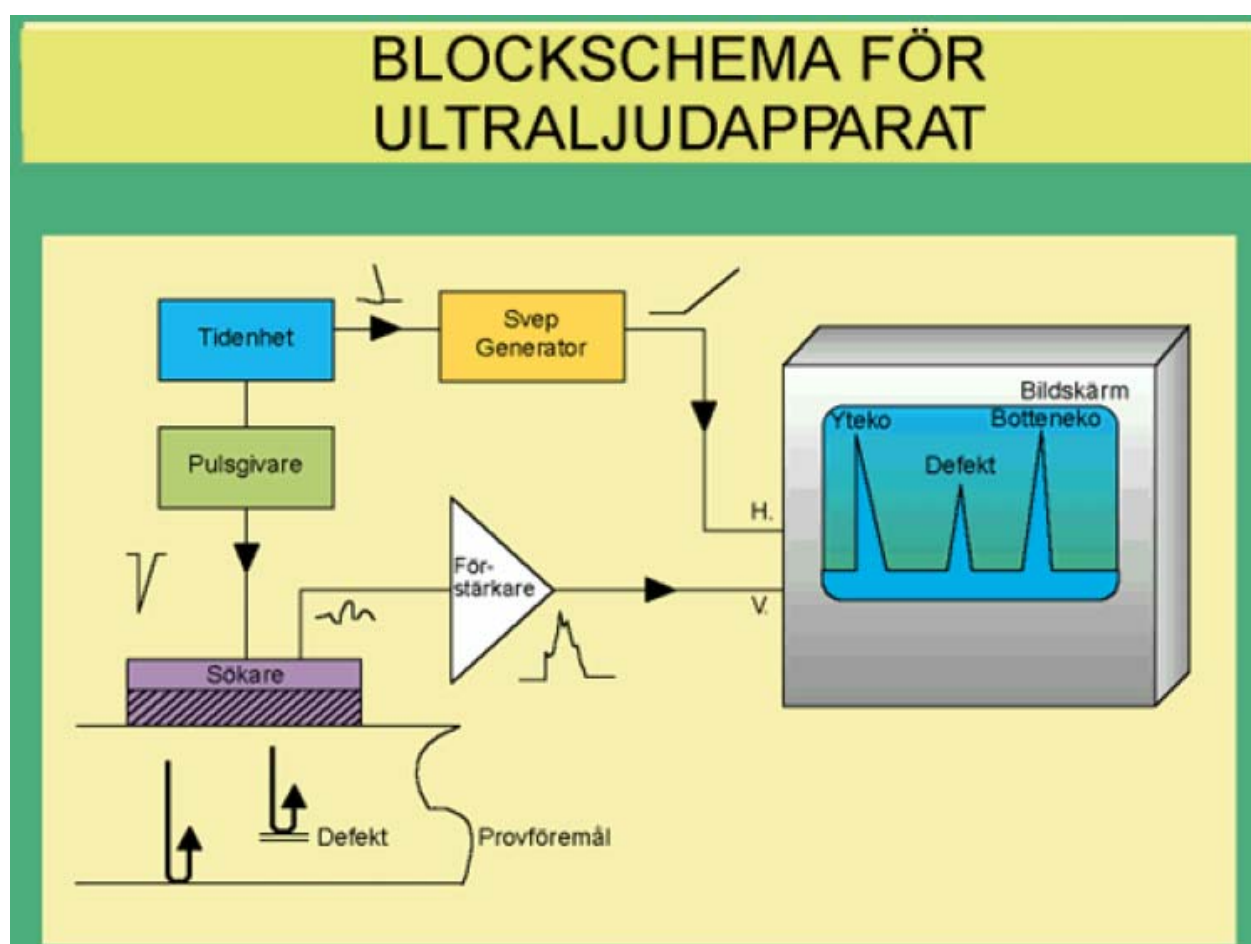
$$\sin i / \sin b = V_1 / V_2$$

där i är infallsvinkeln och b är reflektionsvinkeln, V_1 och V_2 är hastigheterna på respektive infallande och reflekterad eller brutna våg.

3.3 Utrustning

3.3.1 Elektronik

I figur 10-3:3 visas ett blockschema för en ultraljudapparat. Om man bortser ifrån sändaren, som förser sökaren med en kort, elektrisk startpuls av storleksordningen 200–500 Volt, är ultraljudapparatens jämförbar med ett oscilloskop.



Figur 10-3:3

Skillnaderna ligger i att ultraljudapparatens olika reglage normalt är graderade på ett sätt, som är anpassat för den speciella tillämpningen; tidssvepet kan vara graderat i millimeter provat material med en fininställningsmöjlighet graderad i ljudhastighet.

Förstärkaren eller dämpningen är graderad i dB, vilken är den inom akustiken vanliga enheten för att beskriva förhållandet mellan två mätvärden. Återvändande signaler presenteras oftast likriktade för att öka läsbarheten på bildskärmen.

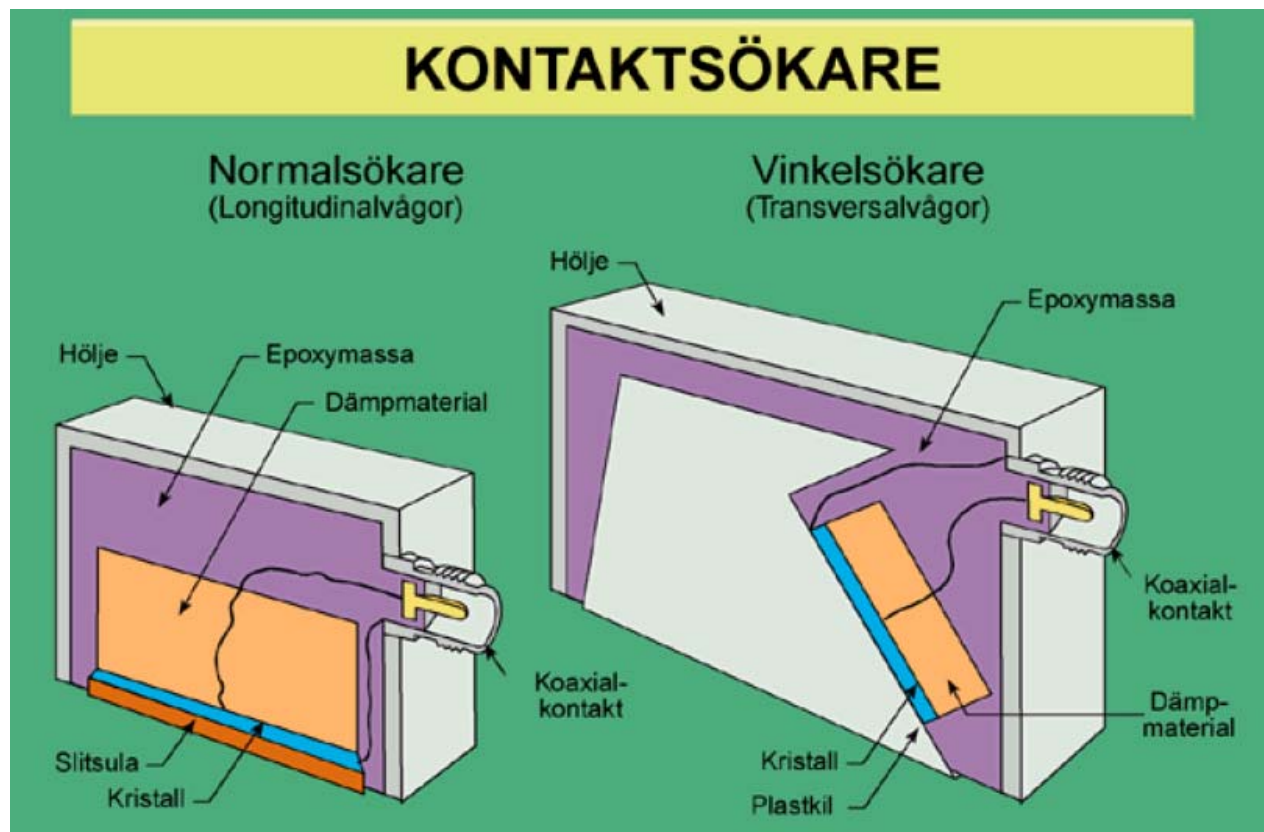
Desutom är oftast följande specialfunktioner inbyggda i en ultraljudapparat:

- fördröjt svep
- dubbla svepfunktioner
- variabel förstärkning
- undertryckningsfunktion för störande signaler
- djupkompenseringsfunktion (DAC = Distance Amplitud Correction)

3.3.2 Sökare

I alla ultraljudsystem är sökarens utformning praktiskt taget helt avgörande för systemets funktion.

Sökaren karakteriseras av sina dimensioner, ultraljudfrekvensen, dvs kristallens egenfrekvens, kristallens montering och därmed dess dämpning, kristalltyp och eventuellt förekommande akustiskt linssystem (se figur 10-3:4).



Figur 10-3:4

Det aktiva elementet i en sökare är en piezoelektrisk kristall. Denna kan vara en naturlig kristall som t.ex. kvarts, men i nutida sökare är kristallen oftast tillverkad av material som litiumsulfat, baryumtitanat, blyzirconattitanat eller blymetaniobat. Vart och ett av dessa material har sina för- och nackdelar både vad gäller förmåga att sända/omvandla och ta emot signaler och vad gäller påverkan av yttre miljöer som t.ex. värme och vätskor.

Eftersom sökaren är en av de viktigaste ingående delarna i ett ultraljudsystem bör kraven på denna specificeras noga vid inköp. Varje sökare är unik och bör därför kontrolleras vid mottagandet, så att den uppfyller ställda krav. Kontrollen bör sedan upprepas periodiskt t.ex. en gång per år, eftersom en sökare åldras och förändras även om den inte används. Dessa kontroller bör

lämpligen utföras i speciella sökarprovningstrustningar och i enlighet med gällande europa-standard.

3.3.3 Kopplingsmedel

Luft är ett dåligt överföringsmedium av ljud i MHz-området. Skillnaden i impedans mellan luft och de flesta fasta material är så stor, att även ett mycket tunt skikt av luft är tillräckligt för att nästan totalt förhindra överföring av ultraljud från en sökare till ett provobjekt. Det är därför nödvändigt att förhindra att luft finns mellan sökare och provobjekt. Kopplingsmedel, som normalt används för detta ändamål är vatten, oljor, glycerin, oljebaserat fett, silikon och tapetklister.

Vid val av kopplingsmedel bör man ta hänsyn till bland annat ytbeskaffenhet hos provobjektet, temperatur, risk för kontaminering av provobjektet, ev. risk för korrosion av provobjektet, efterföljande rengöring samt aktuell provningssituation, t.ex. manuell eller automatisk provning.

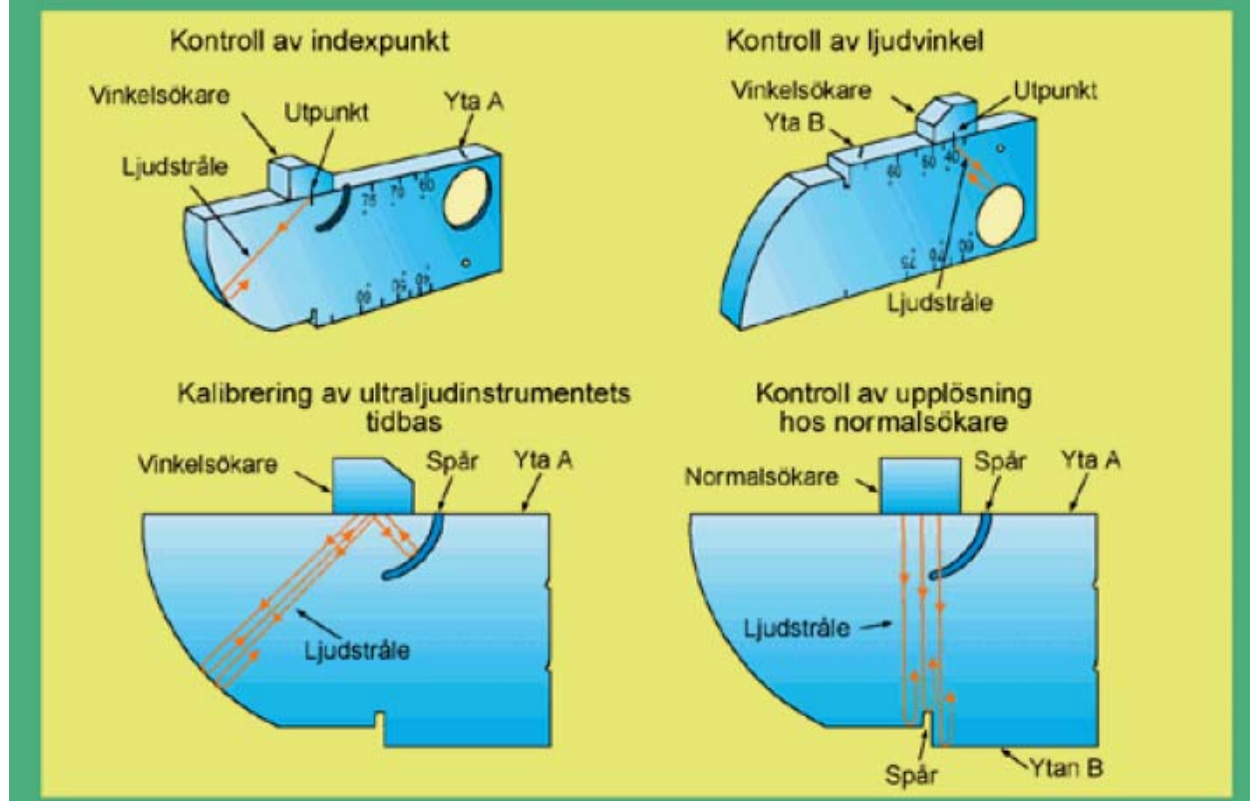
3.3.4 Referensroppar

Eftersom ultraljudprovning är en jämförande metod, till skillnad från andra oförstörande provningsmetoder som t.ex. röntgen där man får en direkt avbildning av eventuella defekter, måste man ha en referens eller kalibreringskropp för att ställa in provningskänslighet och för att utvärdera funna indikationer.

Referenser och kalibreringskroppar kan vara av olika slag. En del är standardiserade som t.ex:

- a) **Area-amplitud**provkroppar, med en serie flatbottnade hål i olika storlekar borrhade till samma djup. Dessa provkroppar kan användas för att kontrollera ett systems linearitet och i viss mån även för storleksbestämning av defekter för raka sökare.
- b) **Avstånd-amplitud**provkroppar med en serie av flatbottnade hål med samma diameter men borrhade till olika djup. Dessa används för att kontrollera variationer i amplitud med avseende på dämpning och djup under ytan.
- c) **Kalibreringskropp 1 och 2** enligt svensk standard används i huvudsak för att kalibrera vinkelsökare för kontaktprovning och för att kontrollera både rak- och vinkelsökarens egenskaper i kombination med aktuellt ultraljudinstrument.

KALIBRERINGSKROPP ENLIGT SVENSK STANDARD



Figur 10-3:5

Referenser kan också vara provkroppar innehållande artificiella och/eller naturliga defekter för direkt bestämning av kassationsgräns. Den sortens referenser specificeras ofta av köparen och utgör en del av överenskommelsen mellan köpare och säljare av en produkt.

Viktigt att komma ihåg är, att dessa referenser måste vara av samma material, ha samma struktur, värmebehandling och yta som det material som skall provas.

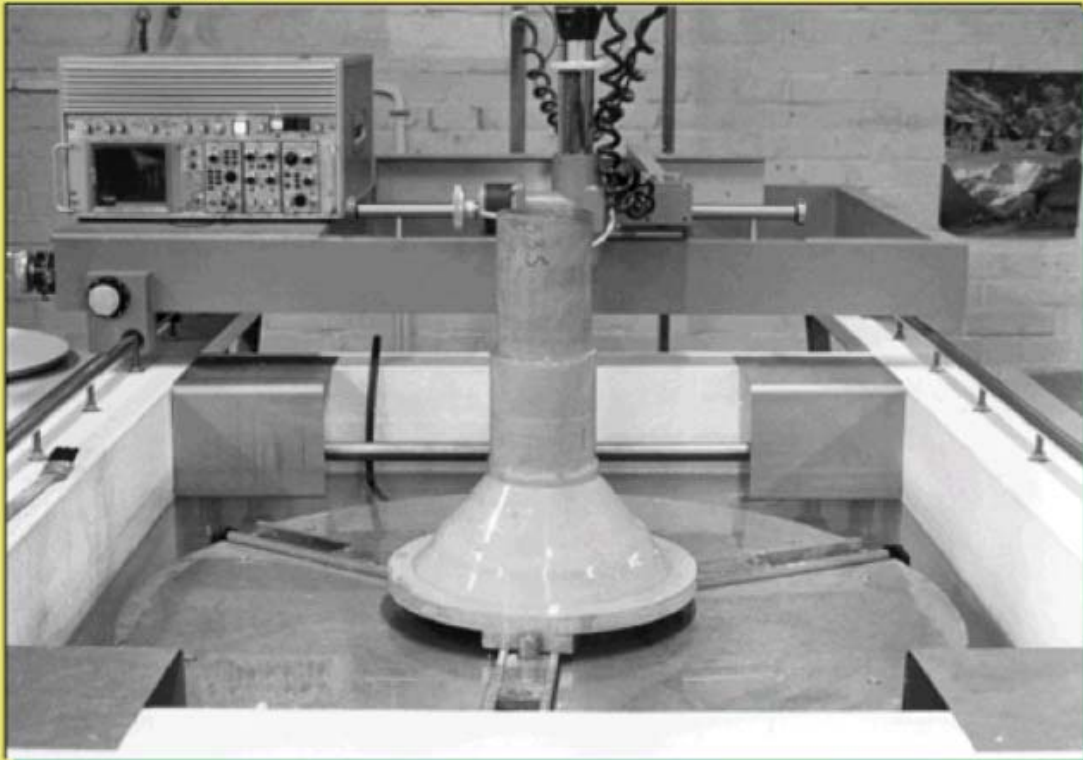
3.3.5 Mekaniserad provning

Mekaniserad provning i för provningsobjektet speciellt anpassad provningsutrustning är att föredra vid ultraljudprovning, om krav finns på något eller flera av följande.

- provning enligt ett förutbestämt mönster
- provning med hög hastighet
- provning med hög noggrannhet
- repeterbarhet av provningen
- automatisk sortering av kasserat-godkänt
- automatisk felmärkning
- provning i radioaktiv eller smutsig miljö
- digital eller analog registrering av provningsresultatet
- datainsamling
- statistikbehandling av provningsdata

MEKANISERAD PROVNING AV ROTATIONSSYMMETRISKA PROVOBJEKT

Programmerad avsökning i x, y och z-led



Figur 10-3:6

3.4 Tillämpade tekniker

3.4.1 Mätvariabler

Ultraljudprovning kan utföras genom att mäta olika variabler som:

- resonansfrekvenser
- löptid
- intensiteten på ultraljudvågen
- både löptid och och intensitet (ljudtryck).

3.4.2 Provnings tekniker

Pulseko, som är den utan jämförelse mest använda tekniken, bygger på principen att en kort ljudpuls utbreder sig i provmaterialet. Denna puls reflekteras av förekommande diskontinuiteter eller täthetsskillnader i de material, som provas.

När den reflekterade pulsen återvänder till sökaren som en mekanisk ljudvåg, omvandlas den av den piezoelektriska kristallen till en elektrisk spänning, som sedan kan behandlas på olika sätt av mätelektroniken. Ett vanligt sätt är att visa spänningsutslaget som en amplitud på en bildskärm, där höjden på amplituden indikerar storleken på den reflekterade energin och avståndet på tidsaxeln ger upplysning om reflektorns placering i provmaterialet.

Eftersom inte endast fel ger upphov till ekon utan även provföremålets begränsningsytor och ibland även angränsande föremål, speciellt vid immersionsprovning (där både provobjektet och sökare är helt eller delvis nedsänkta i vatten), är det nödvändigt, att man lär sig att tolka den erhållna bilden.

Transmissionsteknik används i huvudsak för att prova plåt eller andra platta konstruktioner av t.ex. kompositmaterial, vilka har relativt stora dimensioner i relation till storleken på sökaren. Man provar då med en sändarsökare på ena sidan och en mottagarsökare på den andra och mäter intensiteten på ultraljudet, som passerar genom provobjektet.

Den ljudintensitet som erhålls, jämförs sedan med den, som passerar genom en referensstandard gjord av samma material. Vad man i första hand indikerar med denna teknik är t.ex. dålig bindning mellan olika skikt, lamineringar och sprickor, som ligger vinkelrätt mot ljudriktningen.

Eftersom man här mäter energiförluster vid ljudgenomgång är det ytterst viktigt, att man har en god och jämn koppling mellan sökare och provobjekt. Därför lämpar sig tekniken bäst för immersion- eller vattenstråleprovning. Vid den senare tekniken överförs ljudet via en vattenpelare, som sprutas från sökarna och mot provobjektet.

3.4.3 Presentation

A-Bildpresentation av ultraljudprovning är den vanligast förekommande presentationsformen och finns på de flesta ultraljudinstrument i form av en bildskärm. Vad som presenteras är en avbildning av amplitud och löptid, där det på den horisontella linjen på bildskärmen indikeras den tid det tar för ljudet att gå från sökaren till reflektorn (t.ex. en defekt eller provobjektets bakre begränsningsyta) och tillbaka, medan höjden på den vertikala amplituden representerar mängden reflekterad energi.

A-Bildpresentationen är inte begränsad till användande för feldetektering och karakterisering av defekter. Den kan också användas för tjockleksmätning, mätning av ljudhastighet och ljuddämpning i material.

B-Bildpresentationen är en avbildning av tid och avstånd, där den lodräta axeln representerar löptiden, och den horisontella representerar sökarens placering på provobjektets yta.

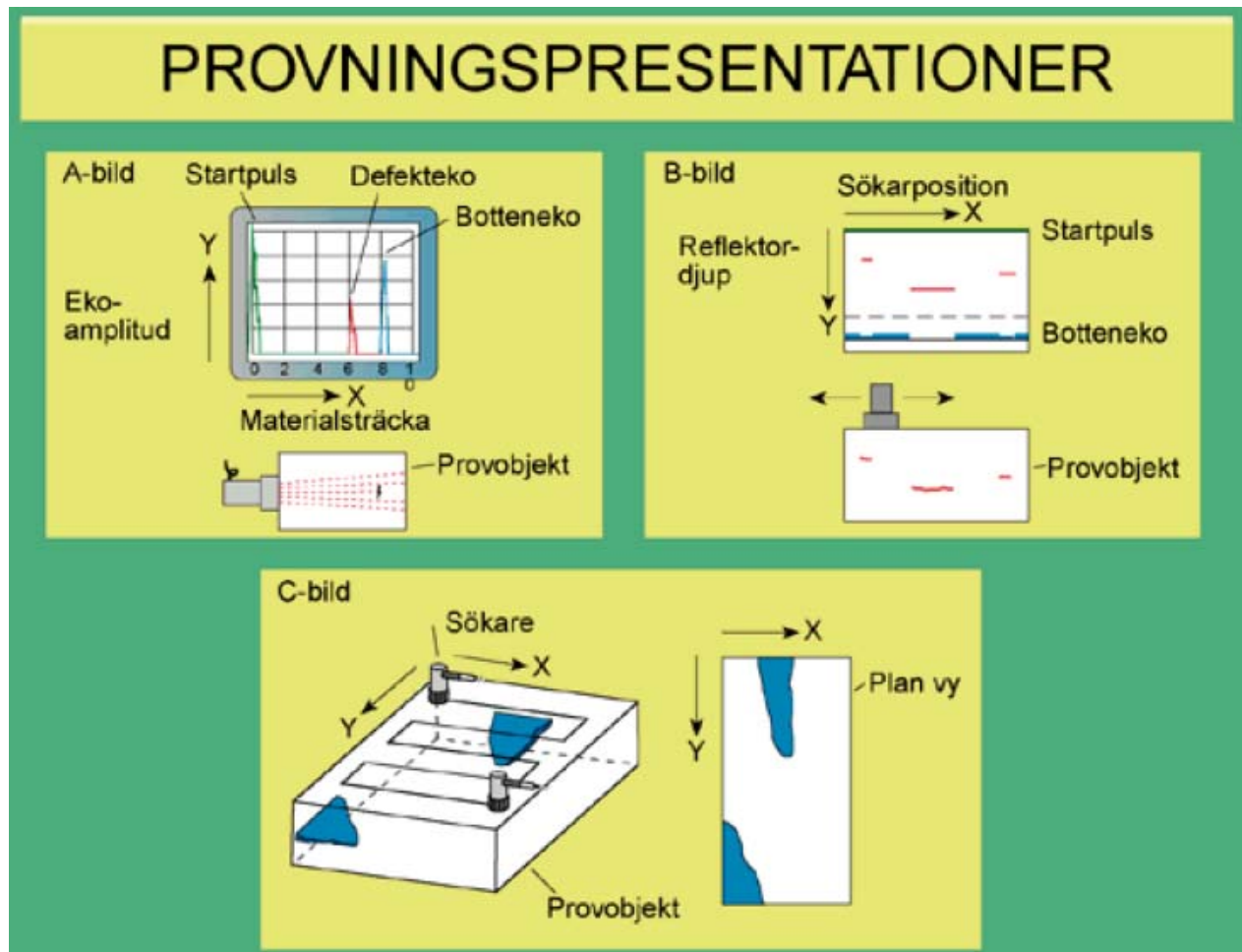
B-Bildpresentationen kan liknas vid en tvärsnittsbild av provobjektet, där både fram- och baksida av provobjektet visas i profil. Indikationer från reflekterande ytor inuti provobjektet kan också ses både vad beträffar läge och djup.

B-Bildpresentationen används oftare inom sjukvården än inom industrin.

C-Bildpresentationen visar provobjektet uppifrån, där ekon från interna reflektorer (t.ex. defekter) visas som avbrott i ett linjeraster. C-Bildpresentationen används oftast i samband med mekaniserad och automatiserad provning, där sökarens rörelser är förutbestämda och väl definerade, ju tätare avsökning desto bättre upplösning på presentationen.

Vid denna form av presentation fås ingen direkt information beträffande defekternas djup under ytan.

PROVNINGSPRESENTATIONER



Figur 10-3:7

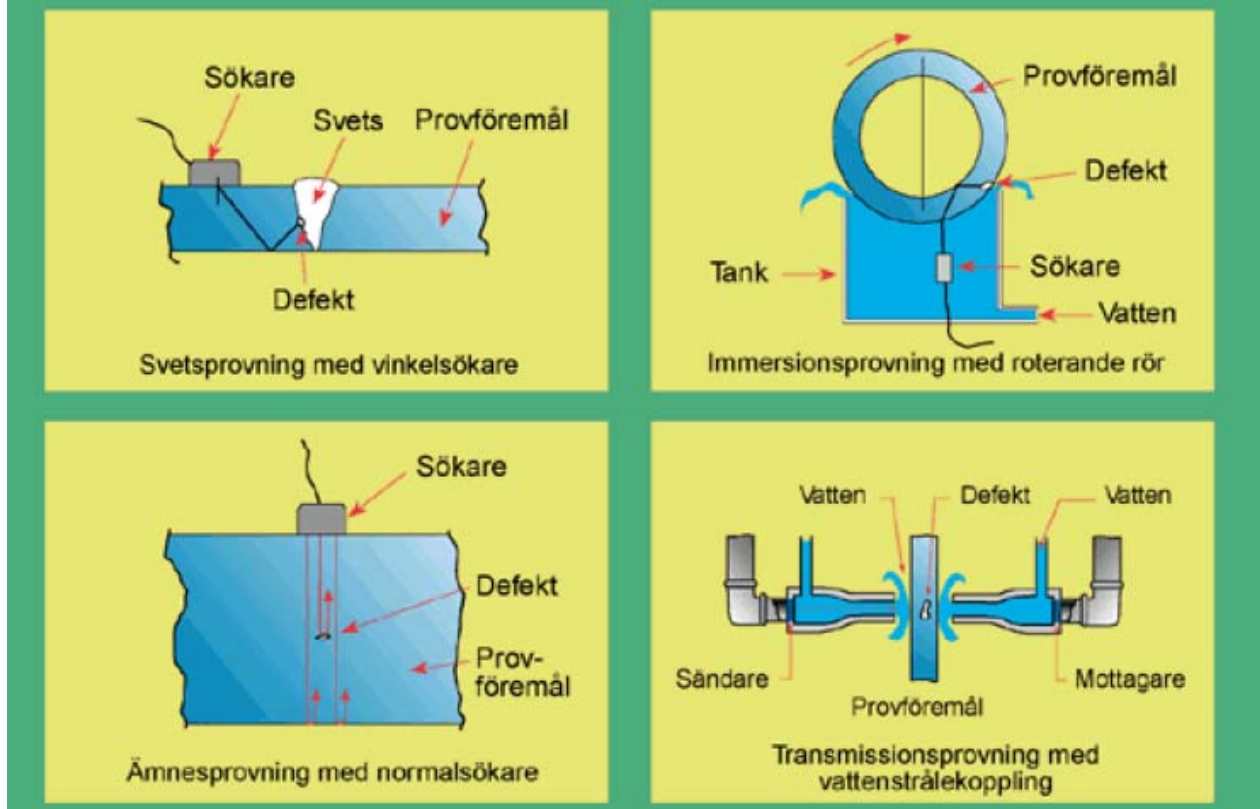
3.5 Tillämpningar

3.5.1 Gjutgods, smiden och maskindetaljer

Dessa provföremål kännetecknas ofta av grov, ojämn yta och struktur och/eller komplicerad form och provas därför som regel med kontaktprovning och longitudinalvågor.

De fel man söker ligger antingen inne i materialet i form av porer, pipes, smidessprickor, slagger etc, eller på ytan i form av sprickor och veck.

PROVNINGSTILLÄMPNINGAR



Figur 10-3:8

3.5.2 Ämnen, stänger och grovplåt

Dessa är exempel på relativt enkla detaljer, som tillverkas i stora serier, men som ofta har svåra provningsförutsättningar på grund av ojämna ytor, glödskal eller förhöjd temperatur.

På denna produktgrupp används ultraljud i första hand för att detektera inre defekter som pipe och grov slagg, medan förekomst av ytfel ofta undersöks med magnetpulverprovning eller induktiv provning. Provföremålens form gör att man ofta strävar efter en kontinuerlig, mekaniserad provning med longitudinalvågor.

3.5.3 Tunnbrått, band och tråd

Till skillnad från ovan nämnda produkter brukar dessa produkter inte provas med longitudinalvågor, då de som regel är så tunna, att ingångseko och botteneko helt skymmer eventuella felekon.

De feltyper man i första hand söker hos dessa produkter är lamineringar, invalsade repor, kantsprickor och veck. Lamineringar är ofta de mest svårångade, beroende på att de ligger parallellt med ytan och därför inte exponerar någon reflektionsyta vinkelrätt mot de vågtyper, som används för dessa produkter, nämligen transversalvågor och lambvågor.

3.5.4 Rör

De flesta typer av högkvalificerade rör för kärnreaktorer, ångpannor, värmeväxlare och hydrauliska system föreskriver ultraljudprovning som en mycket väsentlig del av den rigorösa kontroll som föreskrives.

Rörprovning utföres som immersionsprovning med linje- eller punktfokuserade sökare i hel eller halvautomatiska utrustningar, ofta med sofistikerad utrustning för registrering, data- och statistikbehandling av provningsresultaten.

Tjockväggiga rör provas med transversalvågor, som utbreder sig sicksackformat i rörväggen, medan tunnväggiga rör kan provas med transversalvågor eller alternativt med lambvågor. Rören avsöks i fyra ljudriktningar. De fel man söker är övervalsningar, repor på inner- och ytterytan, slagg, lamineringar etc.

3.5.5 Svets- och lödfogar

Ultraljudprovning är tillsammans med radiografisk provning de mest använda metoderna, när det gäller kontroll av svets och lödförband. Ultraljudprovningen har den fördelen, att den lätt indikerar täta sprickor, som ofta är svåra att upptäcka med röntgen. Ofta används kontaktprovning med vinkelsökare med 45, 60 eller 70 graders ljudvinkel i svetsen. De fel som söks är t.ex. rotfel, porer, svetsdiken, sprickor, slagg eller ofullständig svets.

3.5.6 Kompositmaterial

Inom bl.a. flygindustrin tillverkas idag ett stort antal flygplansdetaljer i s.k. kompositmaterial. Det är konstruktioner för t ex vingar och stjärtfenor som limmas ihop av flera tunna lager av material som t.ex. kolfiber, aluminium eller glasfiber.

För att kontrollera bindningen mellan de olika skikten används ultraljud i stor utsträckning. Den teknik som används för att prova dessa konstruktioner, liknar till största delen den som används vid provning av tunnplåt (se avsnitt 3.5.3).

Provningsresultatet presenteras ofta som C-Bild på en färgmonitor, där olika färger representerar olika grad av bindning.

3.6 Felstorleksbestämning

Som tidigare nämnts är ultraljudprovning en metod som bygger på jämförelser mellan kända naturliga och artificiella defekter. Sådan erfarenhet måste byggas upp för varje produkt genom förstörande prov på funna indikationer, där sedan indikationens (felets) verkliga utseende sätts i relation till indikationernas storlek och utseende. (Felkatalog).

Om sådan erfarenhet-kunskap inte finns eller är möjlig att skaffa finns metoder som kan användas för att få en ungefärlig uppfattning om indikationers storlek. En viktig förutsättning är dock att man har kännedom om aktuellt material och aktuell tillverkningsprocess.

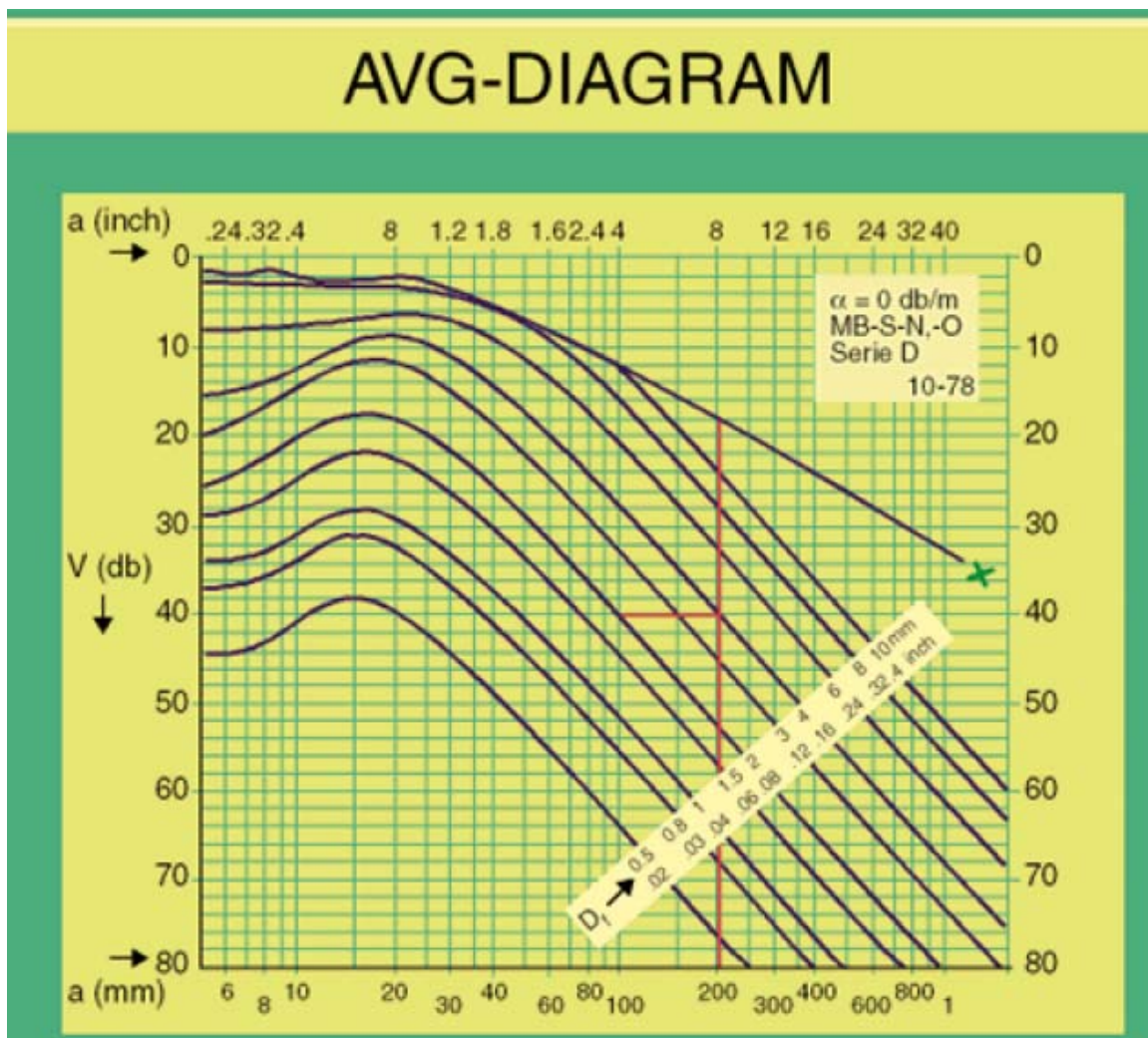
a) Fel större än ultraljudstrålens diameter

Om felet har en utsträckning, som överstiger sökarens diameter, ger en avsökning över ytan ett visst mått på felstorleken. Man räknar med att sökarens centrum ligger mitt över defektens begränsningslinje, då felamplituden har sjunkit till hälften (-6 dB) av sitt maximala värde.

Denna typ av felstorleksbestämning kan vara lite vanskelig om felet är sammansatt av flera små fel eller om det är fyllt av t.ex. slagg, genom att ljudet då delvis kan passera igenom med mindre reflektion som följd.

b) *AVG-diagram*

För fel, som är mindre än ljudstrålen, kan man utföra felstorleksbestämning med hjälp av ett diagram av det slag som visas i figur 10-3:9. I ett sådant AVG-diagram (**A**bstand-**V**erstärkung-**G**rösse), som endast gäller för en sökartyg, kan man med ledning av använd förstärkning och avståndet mellan sökaren och felet få en uppfattning om felstorleken uttryckt som en ekvivalent cirkulär reflektor.



Figur 10-3:9

3.7 Fördelar

Fördelar med ultraljudprovning framför andra oförstörande provningsmetoder är i huvudsak följande:

- överlägsen penetreringsförmåga, dvs provning kan utföras på upp till 5-6 meters djup
- hög känslighet som medger upptäckt av mycket små fel
- större noggrannhet än andra metoder då det gäller att bestämma läge, storlek och karaktär av interna fel
- endast en yta behövs för provning

- utrustningen är elektronisk, vilket ger möjlighet till omedelbar utvärdering, automatisering, snabb avsökning, in-lineprovning och processkontroll
- utrustningen är inte farlig att handha, varken för personal eller miljö
- utrustningen är bärbar.

3.8 Begränsningar

Begränsningar med ultraljudprovning är följande:

- omfattande tekniskt kunnande krävs för utvecklande av provningsprocedurer t.ex. för detaljer som har grov yta, oregelbunden form, är mycket tunna eller för material som inte är homogent
- kopplingsmedel är nödvändigt för att överföra energi mellan sökare och provobjekt
- referensstandarder behövs både för att kalibrera utrustningarna samt för att karaktärisera och storleksbestämma defekter
- manuell provning kräver skickliga och erfarna operatörer.

4 Induktivprovning

4.1 Användningsområde

4.1.1 Allmänt

Induktivprovning är en metod för oförstörande provning, som används för att söka diskontinuiteter på och under ytan i elektriskt ledande material. Induktivprovning benämns ofta virvelströmsprovning, (ET-provning), eftersom metoden bygger på att virvelströmmar induceras i provföremålet.

ET-provning har god känslighet för indikering av sprickor, flagor, inneslutningar, inhomoginiteter samt variationer i materialets resistivitet, permeabilitet, hårdhet och dimension. Även avståndet mellan provföremålet och givaren kan bestämmas.

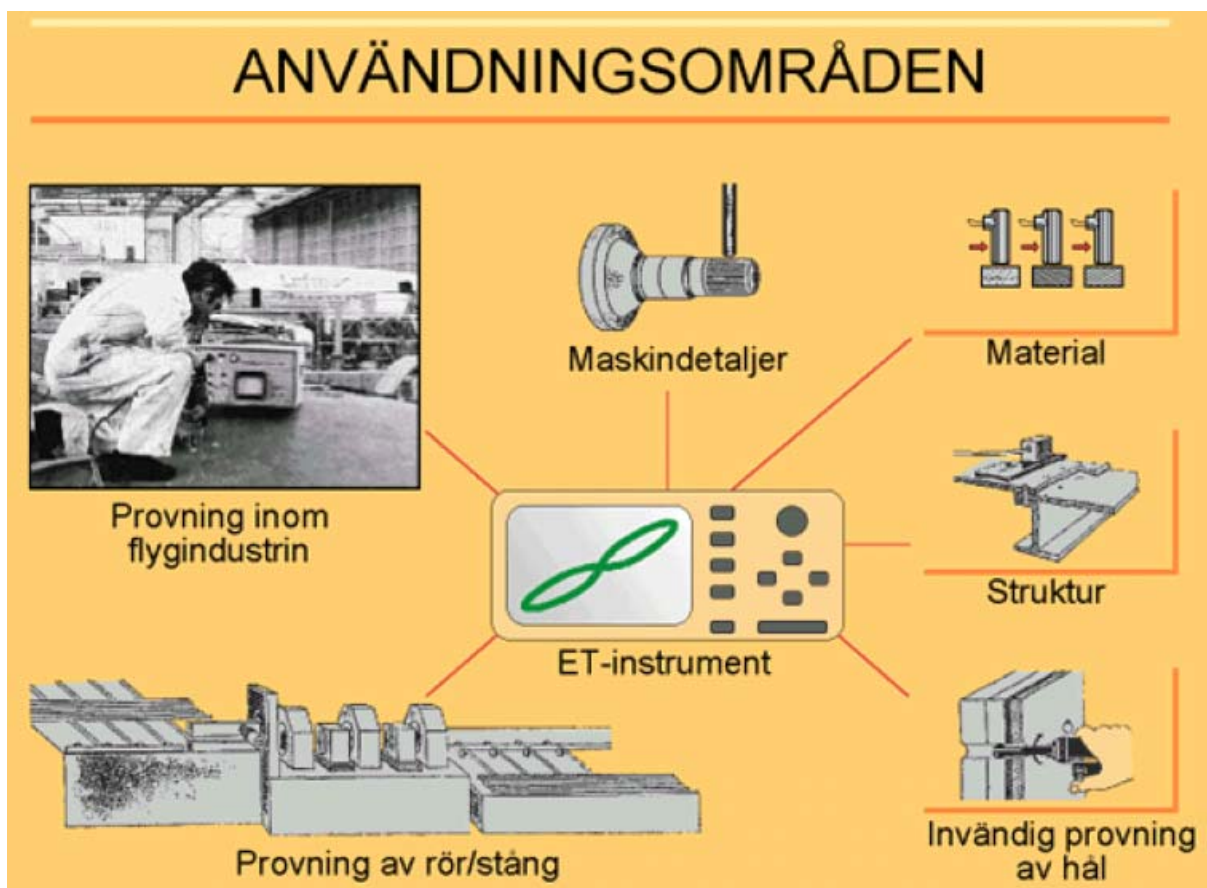
Detta gör ET-provning användbar inom många områden, men samtidigt svår att använda på grund av svårigheter att separera de olika variationerna från varandra.

ET-provning är snabb och provningen kan utföras utan att givare är i direkt kontakt med det provade materialet, vilket är en fördel gentemot andra OFP-metoder.

4.1.2 Användningsområden

ET-provning används idag inom ett stort antal verksamhetsområden, bl.a:

Stålindustrin	provning av rör, tråd och stång.
Flygindustrin	provning av detaljer i turbojetmotorer, flygplansskrov etc.
Verkstadsindustrin	provning av detaljer till bilar och andra maskindelar.
Energi	provning av tuber i värmeväxlare, provning av svetsförband.



Figur 10-4:1

Givetvis finns det en mängd andra applikationsområden, men vi kommer fortsättningsvis att koncentrera oss på provningstillämpningar inom stålindustrin.

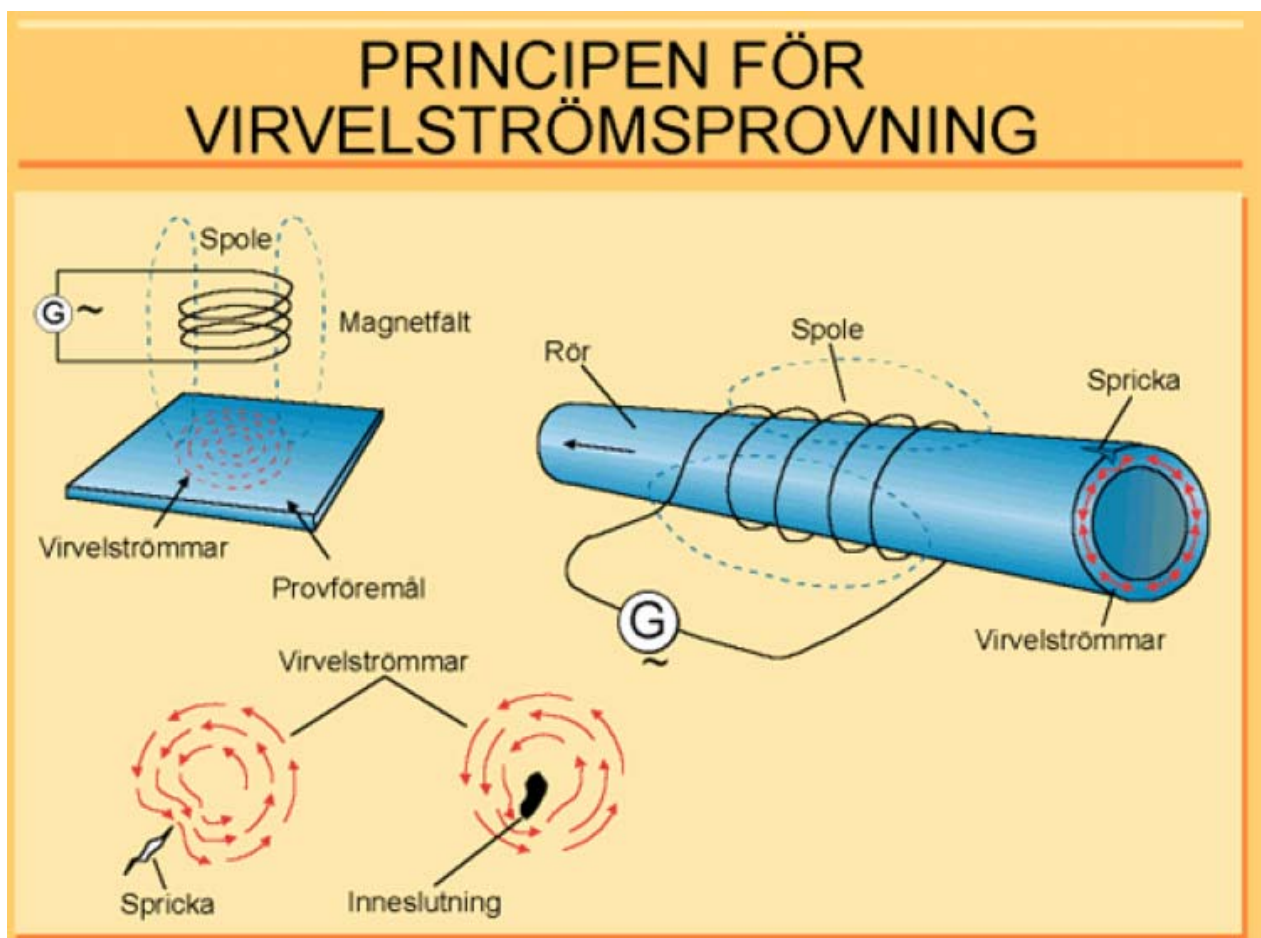
4.2 Principiellt verkningsätt

4.2.1 Virvelströmmar

När en växelström med en viss frekvens passerar genom en testspole bildas ett magnetfält runt spolen. Magnetfält alstrar, inducerar, i sin tur virvelströmmar i provföremålet. Storleken på de inducerade virvelströmmarna beror på provföremålets elektriska och magnetiska egenskaper.

När t.ex. en spricka "stör" virvelströmmarna, virvelströmmarna "går en omväg", påverkas testspolens magnetfält, vilket medför att registreringsutrustningen känner av förändringen i magnetfältet. Magnetfältet – virvelströmmarna är inte längre i "jämvikt".

Lägg märke till virvelströmmarnas banor och riktning, vilken är densamma som riktningen hos spolens lindning. Det mest gynnsamma läget för att indikera en ev. defekt med en induktiv genomgångsgivare är när virvelströmmarna är riktade 90° mot defektens utsträckning, dvs maximalt antal virvelströmmar "träffar" defekten.



Figur 10-4:2

4.2.2 Materialegenskaper

Det provade materialets elektriska och magnetiska egenskaper har en avgörande betydelse för möjligheten att utföra ET-provning. Dessa egenskaper är materialets konduktivitet, resistivitet och permeabilitet.

Resistivitet anger motståndsförmågan i ett material (motståndsförmågan mot att leda elektrisk ström).

Konduktivitet anger ett materials förmåga att leda elektrisk ström, kallas därför ofta för materialets ledningsförmåga.

Ett material har antingen *hög konduktivitet och låg resistivitet* eller *låg konduktivitet och hög resistivitet*.

Permeabilitet är ett mått på materialets förmåga att leda magnetiskt flöde för olika material och delas i följande tre grupper. Permeabilitet betecknas med μ .

1. Diamagnetiska Vars μ -värde är mindre än 1.
Ex: koppar, mässing, glas, trä.
2. Paramagnetiska Vars μ -värde är större än 1.
Ex: aluminium, bly, silver, austenitiska rostfria stål.
3. Ferromagnetiska Vars μ -värde är mycket större än 1
Ex: järn, nickel, ferritiska och martensitiska stål.

4.2.3 Inträngningsdjup

Växelströmmar som flyter i en ledare strävar efter att flyta i dess yta. Detta fenomen kallas *ström-förträngning*, "*skineffekt*". Beroende på frekvens och vilket material som provas blir strömförträngning större eller mindre. Vi får alltså ett mått på virvelströmmarnas inträngning i materialet.

Följande samband råder mellan frekvens och inträngning:

- Hög frekvens \rightarrow Liten inträngning
- Låg frekvens \rightarrow Stor inträngning

Inträngningsdjupet kan matematiskt räknas ut för olika typer av material, där det beräknade inträngningsdjupet är det djup under ytan vid vilket virvelströmstätheten har sjunkit till 1/e eller 37 % av värdet vid ytan.

Följande formel kan användas för beräkningen:

$$\delta = \sqrt{\rho / (\pi \cdot \mu_0 \cdot \mu_r \cdot f)} \quad \text{där}$$

δ = inträngningsdjupet (m)

ρ = provets resistivitet, t.ex. för koppar 17,5 n Ω m, i sorten Ω m

$\mu_0 = 4 \pi \cdot 10^{-7}$ H/m, permeabiliteten för fria rummet

μ_r = provets relativa permeabilitet

f = växelströmmens frekvens (Hz)

4.2.4 Färförskjutning

De inducerade virvelströmmarna kommer att färförskjutas med ökat inträngningsdjup. Färförskjutningen beror på samma materialegenskaper som styr inträngningsdjupet. Färförskjutningen representerar en förskjutning på

$\beta = x/\delta \cdot 57$ grader mellan virvelströmmarna på ytan och den under ytan där
 x = avstånd under ytan och
 δ = inträngningsdjupet.

När x har samma värde som inträngningsdjupet är fasförskjutningen 57° eller en radian.

Genom att mäta fasförskjutningen kan man skilja mellan olika under ytan djupt liggande defekter. Se vidare under analysmetoder.

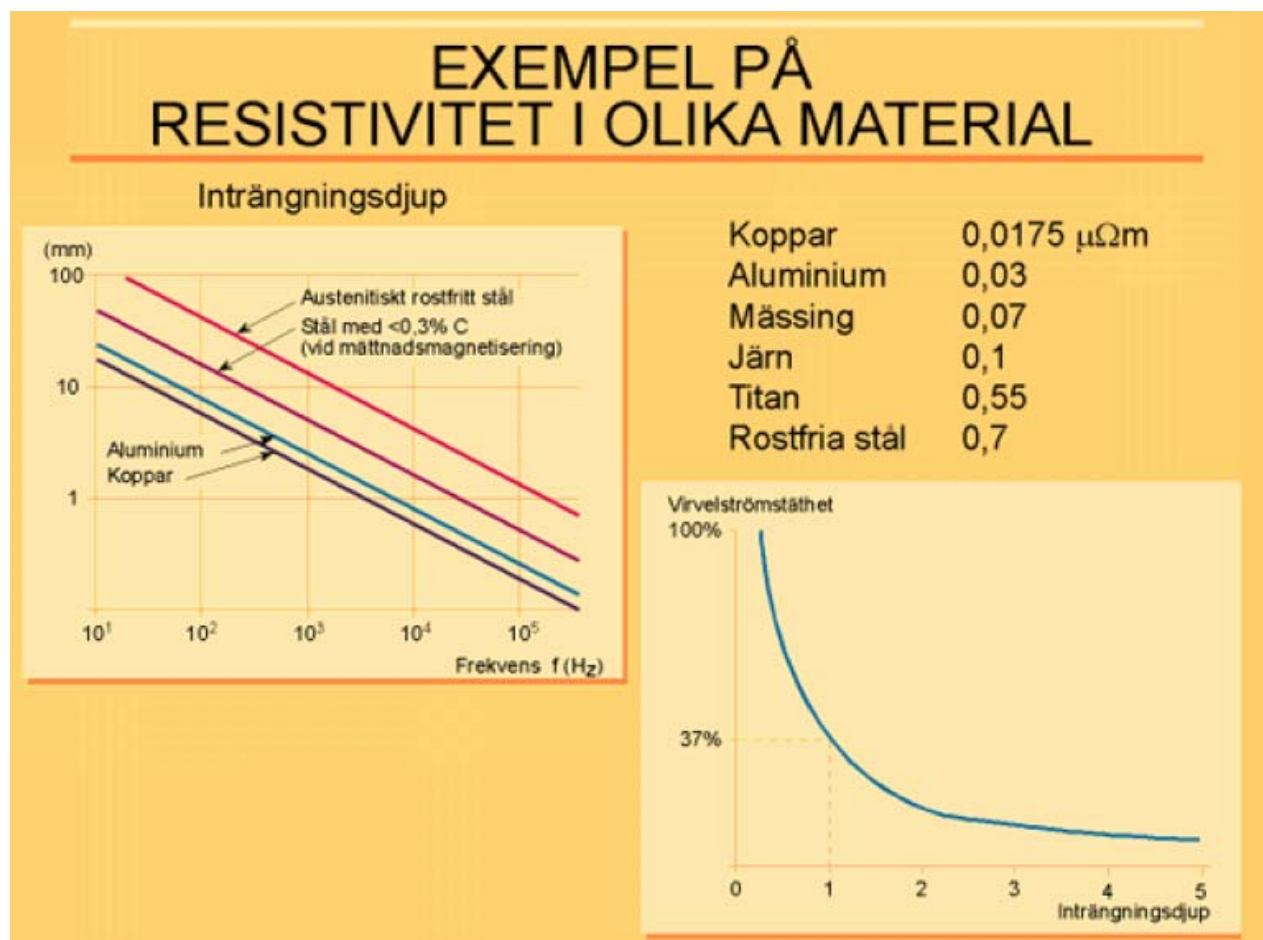
4.2.5 Omagnetiska material

För omagnetiska material, exempelvis rostfria stål, är den relativa permeabiliteten = 1. Detta innebär att antalet variabler som påverkar provningen minskar.

4.2.6 Ferromagnetiska material

Vid provning av ferromagnetiska material skall hänsyn tas till att den relativa permeabiliteten är väsentligt större än 1. Detta begränsar möjligheten att indikera djupare liggande diskontinuiteter och medför dessutom störningar från ovidkommande materialvariabler, vilka uppträder som permeabilitetsvariationer.

För att minska dessa olägenheter kan det provade materialet mättnadsmagnetiseras eller provas över materialets curiepunkt, för stål 768°C .



Figur 10-4:3

4.3 Tillämpad teknik

4.3.1 Provningsområde

ET-provning används för provning av material inom följande tre områden.

- Felsökning
- Materialkontroll
 - sammanblandning
 - hårdhet
 - härdjup
- Skiktjockleksmätning.

Felsökning är det största användningsområdet. Med hjälp av olika typer av givare och utrustning kan man upptäcka mycket små diskontinuiteter i det provade materialet.

Materialkontroll: ET-provning kan med fördel användas för kontroll av materialsammanblandning. Även andra materialegenskaper kan provas, t. ex. härdjup och hårdhet.

Skiktjocklek: Med utrustning för skiktjockleksmätning kan t.ex. ett färgskikt på ett metalliskt material kontrolleras. Det går även att mäta skikt, tjocklek, mellan två olika metaller t.ex. kompondrör.

4.3.2 Givartyper

Givarna till en ET-utrustning kan utformas på många sätt beroende på provmaterialets geometriska form. För provning inom stålindustrin, där vi till stor del provar runda material, kan följande varianter förekomma:

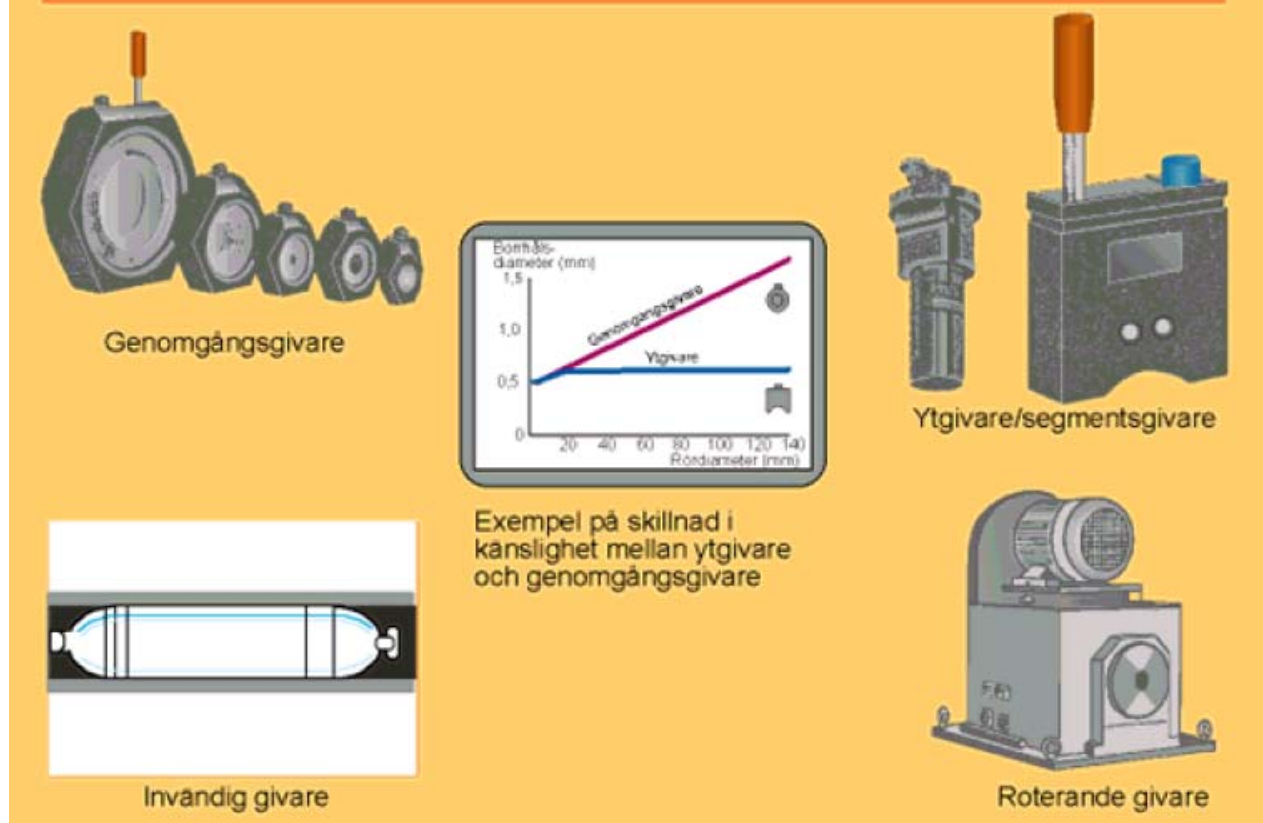
Genomgångsgivare används vanligen för att prova hela ytan på i första hand runda material såsom rör, tråd och stång. En genomgångsgivare kan givetvis utformas för andra former, t. ex. för fyrkantrör. En begränsning med genomgångsgivare är att detekterbarheten avtar med ökande diameter.

Ytgivare används för att avsöka en begränsad del av provmaterialets yta, t.ex. provning av enbart svetsen på ett svetsat rör med stor diameter, provning av plåt och band eller andra större detaljer.

Invärdig givare är principiellt detsamma som genomgångsgivare, men provning av ett rör sker från insidan.

Roterande givare är principiellt en ytgivare som roterar runt eller på ytan av ett provföremål.

OLIKA TYPER AV GIVARE



Figur 10-4:4

4.3.3 Spolsystem

En induktiv givare kan utformas på flera sätt, där val av lindningar och spolsystem och deras geometriska utformningar är viktiga beroende på vad man avser med provningen.

Två vanligt förekommande provningsmetoder är:

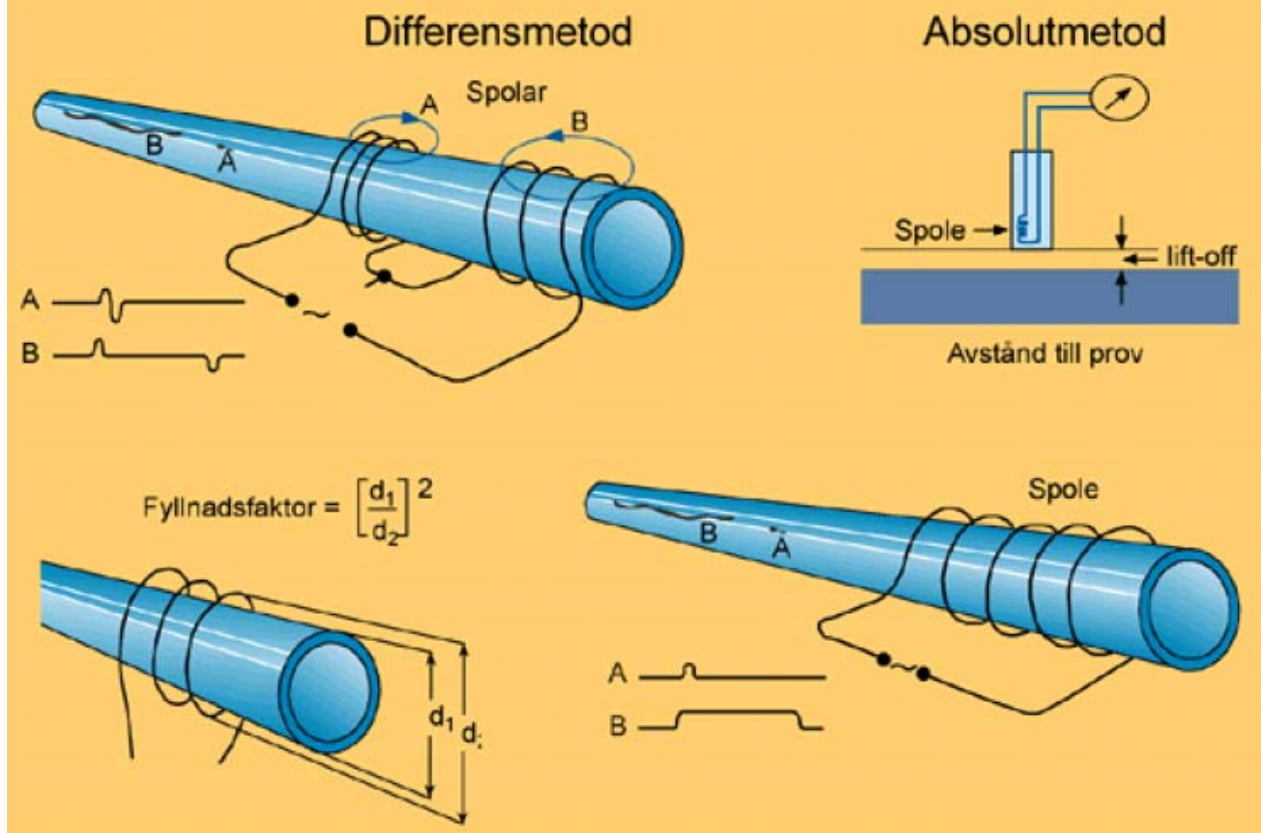
- differensmetoden (dubbellindade)
- absolutmetoden (enkellindade)

Differensmetoden: Givaren består av två motlindade spolar. När en växelström matas över spolarna, A + B, bildas i spole "A" ett magnetfält i en riktning och i spole "B" ett magnetfält i motsatt riktning, vilket gör att magnetfälten från spolarna tar ut varandra och på så sätt "balanseras" givaren.

Diskontinuiteter, sprickor, inneslutningar m m, uppträder normalt lokalt på ett provföremål. När en diskontinuitet passerar under givaren påverkas en spole i taget.

Absolutmetoden: Givaren har endast en spollindning, vilket innebär att, när en diskontinuitet passerar under givaren, påverkas spolens balans.

GIVARSYSTEM



Figur 10-4:5

4.3.4 Avstånd mellan provföremål och givare

Avståndet mellan spole och provföremål är av avgörande betydelse för känsligheten vid ET-provning. De termer som används för att beskriva skillnaden i avståndet mellan spole och provföremål är Lift-off för ytgivare och fyllnadsfaktorn för genomgångsgivare/invändig givare.

Lift-off: När spolen förs närmare provföremålet, kommer det inducerade magnetfältet att påverkas av provföremålet, varvid en ändring i virvelströmmarna erhålls. Flödestätheten är störst nära spolen och avtar med avståndet från spolen.

Varje variation i avståndet mellan provföremålet och spolen kommer att ge en ändring av virvelströmmarna, och därför är det *viktigt att avståndet mellan spole och provföremål är konstant under provningen*.

Lift-offeffekten används bl.a. för att mäta avståndet mellan givare och provföremålet, t ex vid skiktjockleksmätning.

Fyllnadsfaktorn används för genomgångsgivare och invändiga givare. Fyllnadsfaktorn är ett mått på det kvadratiske förhållandet mellan givarens diameter (d_2) och provföremålets (d_1). (Gäller för invändig givare).

På samma sätt som lift-offeffekten vid ytgivare kan små variationer i avstånd mellan spollindning och provföremål ge förändringar i virvelströmmarna. Det är viktigt att fyllnadsfaktorn är så nära 1 som möjligt för att maximal känslighet skall erhållas.

4.4 Detekterbarhet/Kalibrering

4.4.1 Analystekniker

Signalerna från givarna behandlas på olika sätt beroende på vilken typ av provutrustning som används. Det finns flera tekniker för att analysera signalerna från spolen, t.ex:

- Impedansanalys
- Fasanalys
- Modulationsanalys

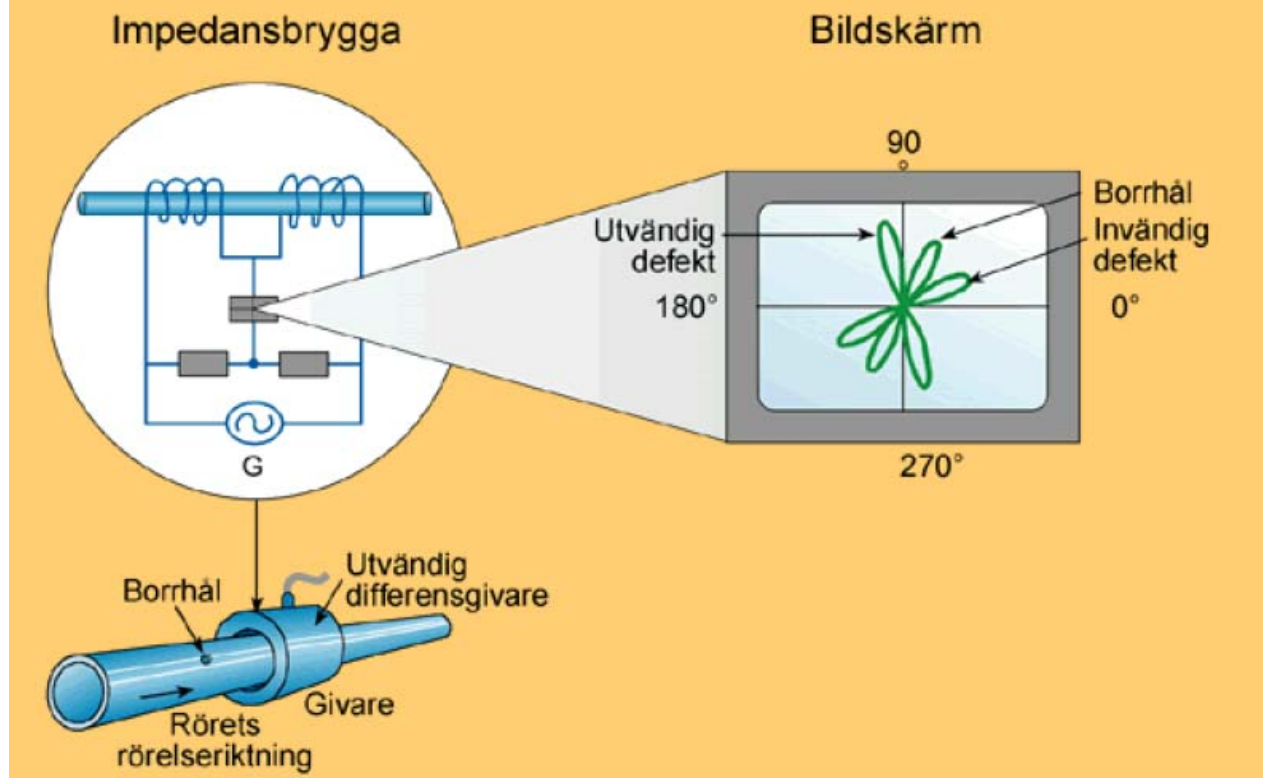
I det enklaste fallet, impedansanalys, indikeras endast en ändring av impedansvärdet, men vilken feltyp som orsakat obalansändringen framgår inte. Mera avancerade provutrustningar, t.ex. för rörprovning, möjliggör analys av obalans-spänningen, så att man kan fastställa vilken typ av fel som indikeras. Inom stålindustrin är modulationsanalys den vanligaste tekniken.

Modulationsanalys användes när provföremålet eller givaren är rörlig. Tekniken använder ofta en differensgivare i en bryggkoppling och kan därmed göras mycket känslig för små defekter. Obalans-spänningens fasläge (jämfört med påmatad signal), som uppstår när en diskontinuitet passerar under givaren, kan analyseras.

Då olika diskontinuiteter, beroende på form och djup, påverkar givaren på olika sätt, kommer även obalansspänningen att anta olika faslägen. Därmed kan också olika feltyper skiljas från varandra. Detta kan visas på ett bra sätt genom att obalansen kopplas till en bildskärm, där dess amplitud och fasläge kan studeras.

Faslägen. Fasskillnaden mellan t.ex. ut- och invändigt liggande defekter i ett rör kommer att anta olika värden beroende på deras form och storlek. Hur stor fasskillnaden blir beror på provningsfrekvensen samt tjocklek och konduktivitet hos det provade materialet. Generellt kan sägas att fasskillnaderna blir större ju högre provningsfrekvens som används.

FASVINKLAR



Figur 10-4:6

4.4.2 Signal/störförhållande, (S/N)

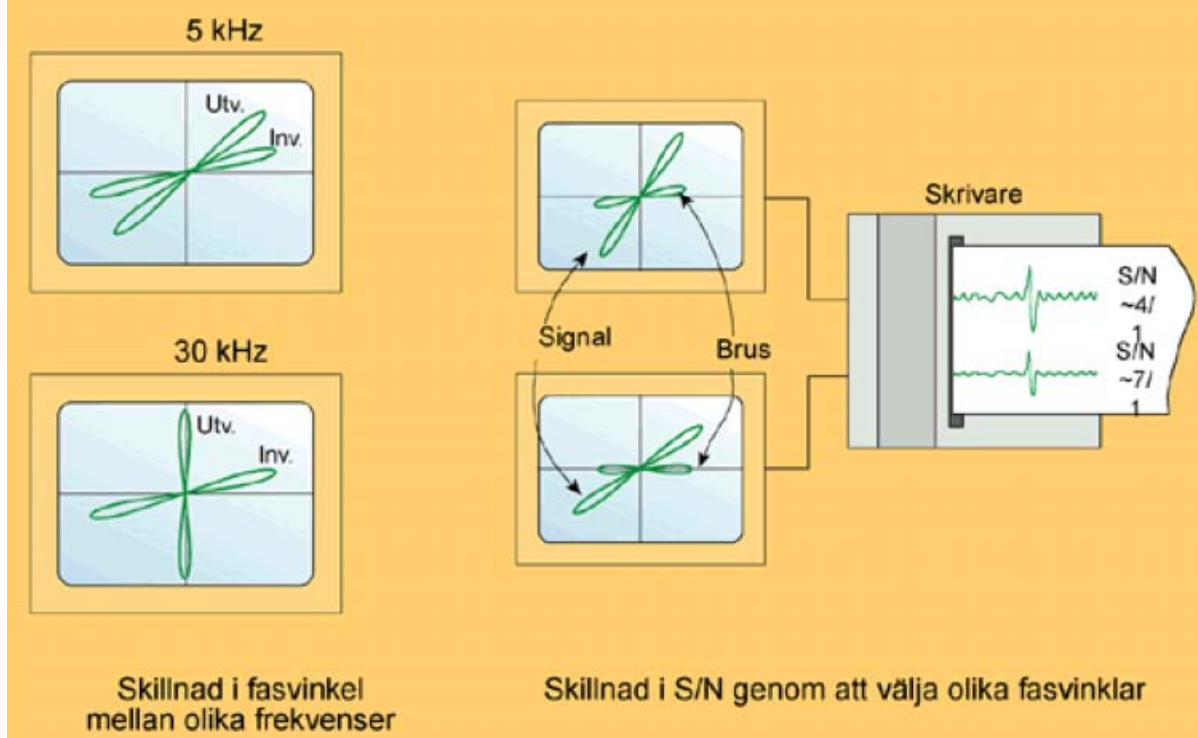
Vid kontinuerlig provning av exempelvis rör används en skrivare för att dokumentera provresultatet. För att få en uppfattning om huruvida ett provföremål är "provbart", brukar man tala om det s k signalförhållandet, vilket är förhållandet mellan signalen från referensfelet och brusnivån.

Det är många faktorer som påverkar detta, bl a följande:

- Typ av använd utrustning
- Givaren
- Provföremålet (driv-/matningsanordningar)
- Inställning av utrustningen, dvs kalibrering

Vid kalibreringen bör S/N-förhållandet ha ett tillräckligt högt värde. Detta kan åstadkommas genom att provningsfrekvens och fasvinkel optimeras. En god regel är att aldrig prova ett föremål med sämre signal/störförhållande än 3:1.

VAL AV FASVINKEL



Figur 10-4:7

4.4.3 Referens kropp

Eftersom det finns så många variabler som påverkar resultatet vid ET-provning, ställs det stora krav på kalibreringen av utrustningen. Därför krävs det någon form av referens kropp, som är försedd med konstgjorda fel, referensfel, vilka alstrar en känd signal som används vid kalibreringen.

Det är viktigt att komma ihåg, att *signalen från naturliga fel aldrig helt kan efterliknas med ett referensfel*. Nedan anges några exempel på vanligt förekommande referensfel:

- borrarade hål
- frästa eller gnistbearbetade spår med U- eller V-profil

Oavsett vilken metod man väljer för att tillverka ett referensfel, måste referens kroppen ha samma egenskaper som det provade materialet, såsom dimension, elektriska och magnetiska egenskaper.

4.5 Fördelar och begränsningar

ET-provning kan användas inom många områden, vilket gör metoden mycket flexibel. Bl.a. kan följande fördelar noteras:

- kan prova detaljer från stillastående till mycket höga provningshastigheter, (50–60 m/sek)
- kan automatiseras
- kan utföras utan att givaren är i kontakt med materialet
- är mindre känslig för temperaturvariationer.

Sammantaget ger detta stora fördelar vid provning inom stålindustrin av bl.a. rör, tråd och stång.

Valet av givare är viktigt och avgörande för provresultatet. Det är viktigt att känna till skillnaden mellan differensspole och absolutspole. En differensspole är uppbyggd av minst två lindningar, och därför mäts endast differensen mellan de båda lindningarna. Det betyder att spolen ger signal från korta fel eller när ett långt fel startar och slutar, dvs när man mäter en skillnad i de båda spolarna. Det betyder också att ett fel som endast långsamt ökar i storlek kommer att vara svårare att indikera.

Eftersom en absolutspole är balanserad mot ett felfritt material kommer den att ge signal från både korta och långa defekter, dvs både långsamma och snabba dimensionsvariationer, legeringsförändringar och diskontinuiteter kommer att upptäckas. Figur 10-4:8 visar fördelar och begränsningar med differens- respektive absolutspole.

FÖRDELAR OCH BEGRÄNSNINGAR DIFFERENSSPOLE - ABSOLUTSPOLE	
Differensspole:	Absolutspole:
Fördelar <ul style="list-style-type: none">● Hög känslighet för små (korta) fel● Mindre känslig för temperaturvariationer● Mindre känslig för långsamma dimensionsförändringar	Fördelar <ul style="list-style-type: none">● Kan indikera långa fel
Begränsningar <ul style="list-style-type: none">● Låg känslighet för långa fel	Begränsningar <ul style="list-style-type: none">● Temperaturberoende● Dimensionsberoende● Materialberoende

Figur 10-4:8

5 Penetrantprovning

5.1 Användningsområde

Penetrantprovningssmetoden är en av de äldsta OFP-metoderna med anor från början av 1900-talet. Då användes mineraloljor, vilka penslades på provobjektet. Efter avtorkning påströddes kritpulver, och en vätning av detta indikerade en ytspricka i provobjektet.

Metoden har sedan mitten av 1940-talet genomgått en omfattande utveckling, då det gäller penetrantmateriel och utgör idag en av de viktigaste metoderna för ytfelsdetektering. Den används både för kontroll av tillverkade produkter och komponenter i drift. De olika momenten i provningen utföres manuellt eller i begränsade fall halvautomatiserat.

Flygindustrin är ett område som starkt är förknippat med metoden. Erfarenheter härifrån har bidragit till vidareutveckling och förbättringar av provmetoden. Såväl tillverkning som driftsövervakning sker med hög provningskänslighet och starkt reglerade provningsspecifikationer.

Inom **bilindustrin** tillämpas metoden på funktionellt kritiska detaljer. Den kontinuerliga användningen har säkert bidragit till att kvalitet och säkerhet har ökat inom området.

Inom **kraftverksindustrin** är driftsäkerhet en grundläggande förutsättning. Här tillämpas metoden såväl vid nyttillverkning som vid den fortlöpande övervakningen.

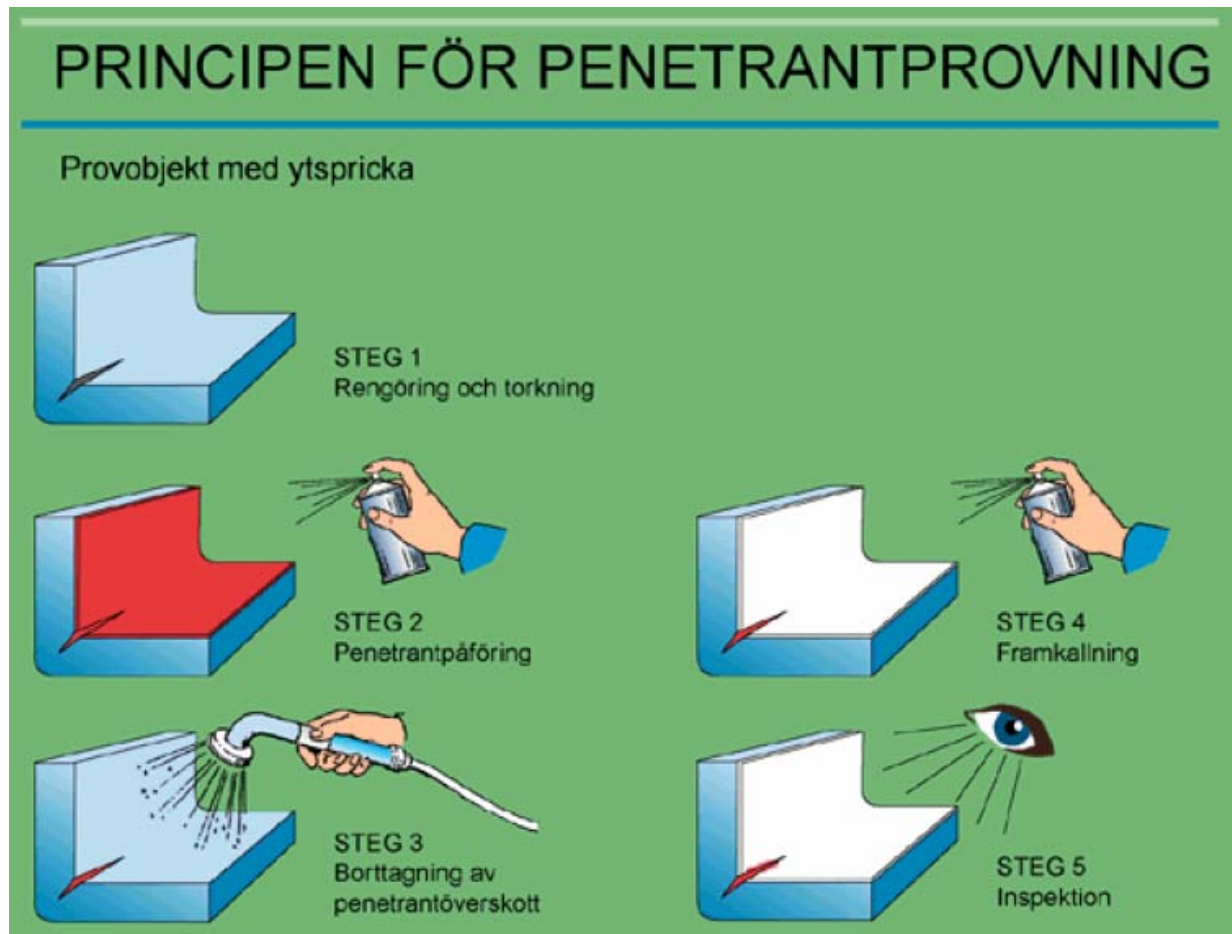
Kemiindustrin genomför periodiska inspektioner av rörledningar, förbindningar och behållare med penetrantmetoden.

Inom **stål- och maskintillverkning** kontrolleras produkterna med utgångspunkt från slutanvändningsområdet. Såväl slutprovning av produkterna som provning efter enskilda tillverkningsoperationer förekommer.

5.2 Princip

Metoden innebär möjlighet att visuellt lokalisera ytdefekter på solida material, som ej har en porös yta. Den bygger på principen att låta en vätska tränga in i ytfel på ett material med hjälp av **kapillärkraften**. Efter det att vätskan på ytan noggrant har borttagits, kan den vätskemängd, som trängt in i ytfelen föras upp till ytan med hjälp av en absorberande framkallare. Visuell inspektion av materialytan görs därefter i en belysning, som är nödvändig för det aktuella provsystemet.

Provningar, som utföres för att garantera kvaliteten på ett objekt med avseende på ytfel, är alltid reglerade i provningsspecifikationer.



Figur 10-5:1

Penetrerbarhet

Med penetrerbarhet hos en vätska menas förmågan att tränga in i ytfel och sprickor på fasta föremål. Det är en komplicerad egenskap, som bland annat påverkas av

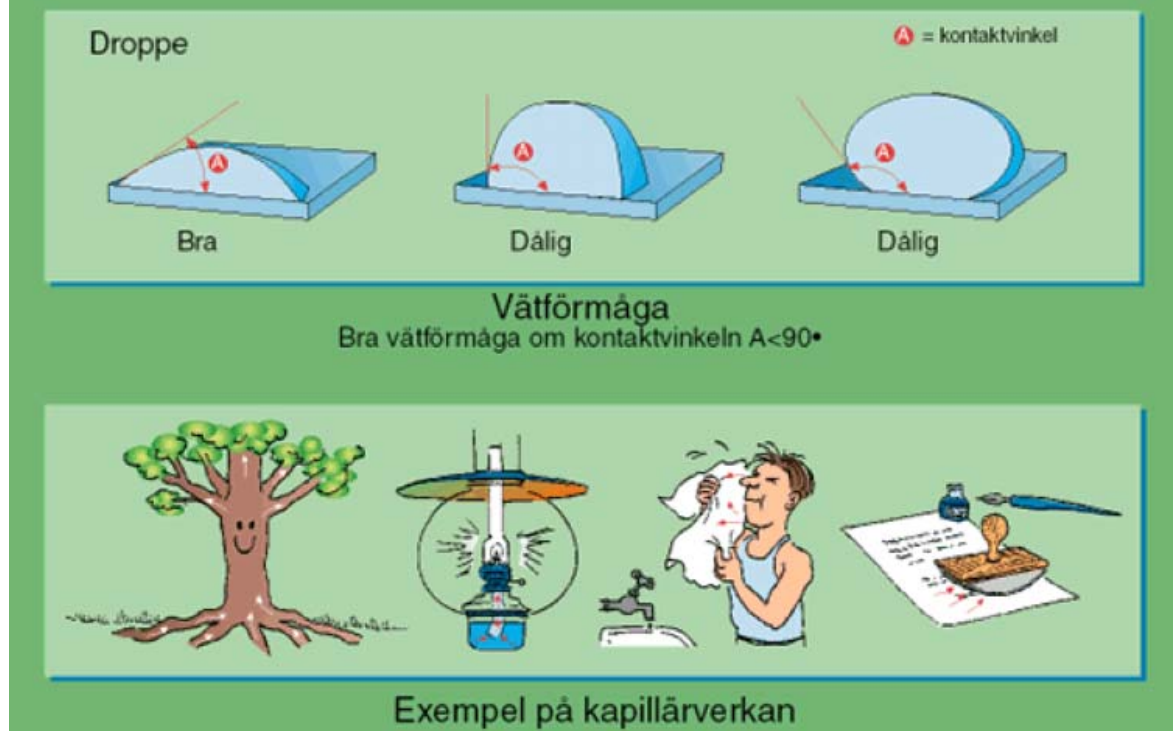
- typ av vätska (penetrant)
- typ av ytbeskaffenhet hos provmaterialet
- temperatur hos material och vätska
- grad av förorening hos vätskan och på materialytan.

Viktiga egenskaper hos penetranten är **vätförmågan** och **ytspänningen**, vilken även påverkas av provobjektets ytbeskaffenhet. **Viskositeten** hos penetranten påverkar hur snabbt penetreringen sker.

En penetrant innehåller **färgmedel**, rött eller fluorescerande, och en ökning av koncentrationen ökar också indikerbarheten. En ökning av färgkoncentrationen kan ske genom upprepade doppningar och avrinningar eller sprayningar. Härigenom avdunstar penetrantens lösningsmedel mellan påföringarna, och mera färgmedel lämnas i ytfelen och känsligheten förbättras.

Vätskepenetrering i öppna ytfel ombesörjes av den naturkraft, som brukar kallas **kapillärkraften**.

PENETRANTEGENSKAPER



Figur 10-5:2

Denna ger en bättre vätskeinträngning i tunna, rena sprickor än i breda. Storleken av en penetrantindikation bestäms av den vätskevolym (penetrantvolym), som lagrats i ytfelet. Volymen bestäms förstås av felets djup x bredd. Längden har också en avgörande betydelse om ögat skall kunna uppfatta indikationen.

Vid praktisk provning förekommer i många fall föroreningar (**kontamineringar**) i ytfel. Detta gäller särskilt material, som varit i drift och provats med avseende på utmattningssprickor. Penetranten måste här dela utrymme med kontamineringen, vilket minskar penetrantvolymen och ger en osäkrare indikering. Det är således viktigt med noggrann rengöring av kontaminerade material före penetrantprovning.

Penetranttyper

Penetranter indelas dels efter hur de är färgade och dels efter hur överskottspenetrant på materialytan borttages. De två vanliga huvudtyper, som förekommer, är färgpenetrant (röd) och fluorescerande. Det finns även fluorescerande färgpenetrant, vilken är färgad röd till orange och vilken kan utvärderas såväl i dags- som i UV-ljus.

Indelning:	Efter färg	Efter avsköljningsmetod
	färg (röd)	vattensköljbar
	fluorescerande	efteremulgerbar
	fluorescerande färg	lösningsmedelsavsköljbar

Röd färg ger en hög kontrast mot andra färger och har hög skönjbarhet i tunna skikt. Den efteremulgerbara och lösningsmedelsavsköljbara anses ha högre känslighet, speciellt tillsammans

med våtframkallare med lösningsmedel. Den enda fördelen gentemot den fluorescerande penetranten är att inspektionen kan ske i vanligt ljus.

De fluorescerande har generellt en högre känslighet än färgpenetranter. Det beror på att de fluorescerande kan ge en lika klart indikerbar indikation som färgpenetranter men med mindre penetrantvolym.

Fluorescerande penetrantvätska i ett ytfel absorberar energi i det ultravioletta (UV) området och omvandlar detta till synligt ljus. Den absorberande energin har våglängder i området 0,35–0,40 µm (typiskt 0,365 µm) och skickar ut ljus med våglängder 0,475–0,575 µm. Detta motsvarar det gröna till det gula färgområdet.

Kvaliteten hos penetranternas färgämnen och speciellt den fluorescerande påverkas av åldring, exponering av ljus (både UV och dagsljus), värme och kontamineringar.

Fluorescerande ämnen är också känsliga för syror genom att färgämnets fluorescerande egenskaper då utarmas. Detta är särskilt märkbart i vattenavsköljbara penetranter. Det är därför viktigt att penetrantmateriel kontrolleras regelbundet, se avsnitt 5.6.

Fluorescerande penetranter måste fluorescera perfekt i UV-ljus även vid de lägsta färgämneskoncentrationer.

Det är viktigt, att den kemiska sammansättningen hos penetranten är anpassad till provobjektet. Speciellt gäller detta vid provning av austenitiska stål med hög nickelhalt, som kemiskt kan angripas av halogener (klor och fluor) samt svavel. Ett halogeninnehåll mindre än 1 % brukar i sådana fall krävas. Detsamma gäller även svavelinnehållet hos penetranten.

Framkallare

Den primära orsaken till att använda en framkallare, är att den lilla penetrantvolym som finns i ytfelet skall sugas upp på ytan och spridas i det pålagda framkallarskiktet.

Framkallarens fyra grundläggande funktioner är:

- utdragning av tillräcklig mängd penetrant ur ytfelet
- expanderande av indikationens bredd på ytan och därmed en säkrare indikering
- förbättring av skönjbarheten hos indikationen genom en homogen (oftast vit) bakgrund
- ökning av skiktjockleken hos den utdragna penetranten.

Ovanstående ombesörjes med framkallarens kapillära egenskaper. Olika typer av framkallare och påföringssätt presenteras nedan:

	Typ	Påföringssätt
<i>Minsta känslighet</i>	Torr	Doppning
	Torr	Fluidiserande bädd
	Torr	Elektrostatisk
	Vattensuspenderad	Doppning
	Vattenlöslig	Doppning
	Vattensuspenderad	Spray
<i>Högsta känslighet</i>	Vattenlöslig	Spray
	Plastfilm	Spray
	Lösningsmedelsbaserad	Spray

Torrframkallare

Framkallaren består av pulver, som bildar en tunn hinna på provobjektet efter appliceringen. Framkallaren är känslig för fukt och ytan måste vara absolut torr vid påläggningen. Vid grova ytor (typ svetsar) är det i regel en fördel att använda torr- istället för våtframkallare. Torrpulver kan påföras elektrostatiskt eller i dimkammare vid halvautomatisk provning. Borttagning sker med tryckluft eller lätt vattenspray.

Vattenlösliga framkallare

Dessa består av pulver löst i vatten, vilket tillsammans bildar en klar vätska. Då vattnet avdunstar rekristalliserar pulvret. Vätmedel och korrosionshämmare ingår normalt i framkallaren. Vattenlösliga framkallare påförs efter borttagning av överskottspenetrant, och ytan behöver ej torkas före påföringen.

Torkning sker i regel efter det att framkallaren pålagts. Torktemperaturen bör ej överstiga 80 °C. Pulverkoncentrationen kontrolleras med hydrometer (densitetsmätning). Framkallaren har god vidhäftning och är ändå avsköljbar med vatten. Jämfört med lösningsmedelsframkallare har den dock nackdelar. Den är inte oljebaserad, vilket är det naturliga för penetranter. Vattenlösliga framkallare rekommenderas ej tillsammans med vattenavsköljbara penetranter på grund av risk för ursköljning.

Vattensuspenderade framkallare

Framkallaren inhandlas som torrpulver, som blandas ut med vatten. Pulvret löses ej i vattnet och framkallaren måste då och då omröras. För hög pulverkoncentration kan försämra detekterbarheten för små fel.

Lösningsmedelsbaserade framkallare

Denna framkallare har den högsta känsligheten. Detta beror på att den reagerar med penetranten i ytfel, tunnar ut den och reducerar viskositeten hos penetranten. Volymen expanderar härmed, och indikationen förbättras. Genom att framkallaren är utsatt för avdunstning är den vanligaste påföringsformen med sprayburk.

Påläggningen är ett viktigt moment. Färgpenetranter kräver ett tjockare skikt än fluorescerande. För tjockt skikt kan emellertid maskera eventuella mindre fel. Påläggning bör göras i flera tunna skikt med lätt torkning mellan varje. Rekommenderat sprayavstånd är ~30 cm. Ytan måste vara torr, innan framkallaren pålägges. Om torkning i ugn har skett måste ytan ha antagit rumstemperatur, innan påläggning sker.

Plastfilmsframkallare

Känslighet och upplösning hos denna framkallare är mycket hög. Framkallningspartiklarna är lösta i ett lösningsmedel, som bildar en tunn plasthinna på objektet. Efter påläggning i flera skikt är det möjligt att avlägsna plasthinnan för dokumentation av indikationerna.

5.3 Genomförande

Förrengöring

Eftersom penetrantprovning är en metod för ytfelsdetektering är det viktigt att ytan är beredd att ta emot penetreringsvätskan, som skall tränga in i eventuellt förekommande ytfel. Dålig rengöring kan medföra att penetranten ej kan

- vata materialytan
- nå in i ytfelen och därmed bilda en reservoar av penetrantvätska
- tränga ut ur ytfelen.

Förrengöring, som är det första steget i provningsproceduren, är en viktig förutsättning för ett bra provresultat. Oftast är förrengöringen det moment, som ej utföres korrekt. Följande beläggningar och kontamineringsrestar är exempel, som kan förekomma på provytan:

- vatten
- oljor och andra kolväten
- färger och lacker
- glödska, rost och oxider
- syror, alkalier och andra kemiska restprodukter
- rester från tidigare penetrering
- ytbehandlingsrester från fosfatering och anodisering.

Exempel på förrengöringsmetoder som används är:

- rengöring med tvättmedel
- ångavfettning
- rengöring med lösningsmedel
- kemisk färgborttagning
- ultraljudtvätt
- etsning
- blästring, borstning och slipning
- elektrolytisk rengöring.

Av ovanstående anses ångavfettning vara den mest effektiva. De mekaniska metoderna kan sätta igen små ytfel. Om sådana måste användas, bör de efterföljas av exempelvis betning eller etsning, så att ytfelen öppnas.

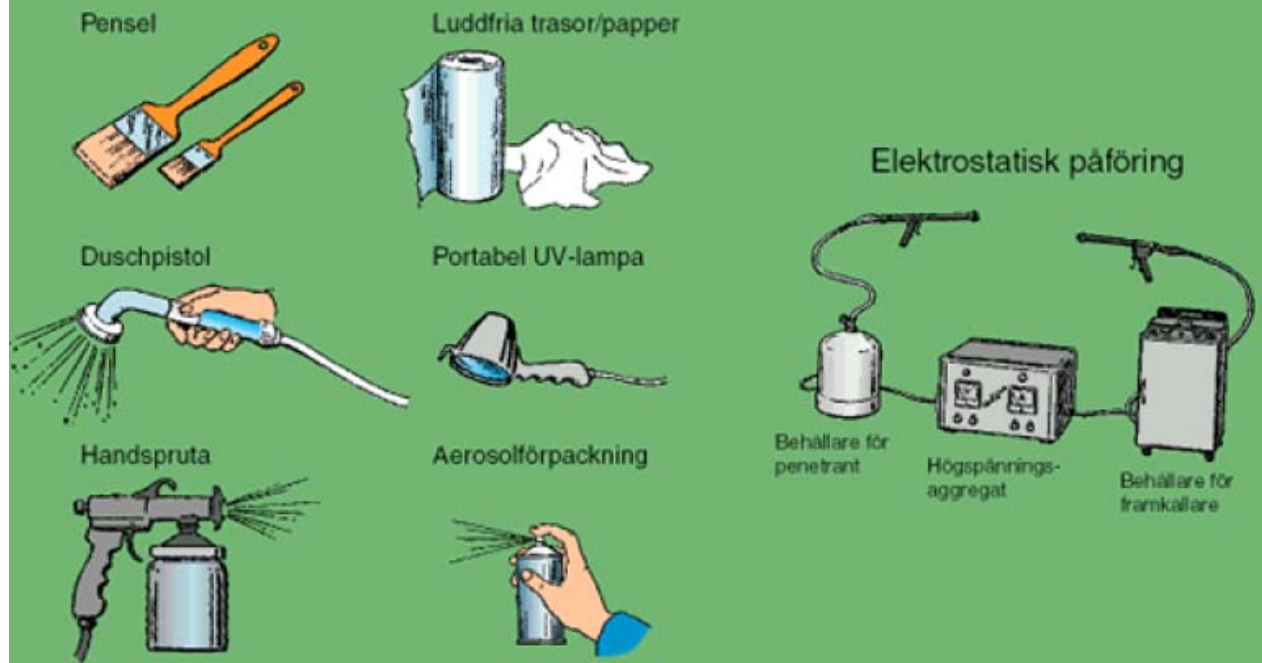
Penetrering

Innan penetrant påföres den rengjorda provytan skall operatören förvissa sig om, att inga rester enligt uppräknningen ovan finns kvar på ytan. Penetranten påföres genom doppning, sprayning eller pensling. Penetranten måste täcka hela ytan under tillräcklig tid (penetreringstiden), så att penetranten kan tränga ner i de tunnaste, förväntade ytfelen.

Penetreringstidens längd är således viktig, och den bestäms av de förväntade felens utseende, typ av penetrant samt eventuellt kvarvarande rester i ytfelen. Rekommenderade tider brukar anges av penetranttillverkare. För gjutna material är 5–10 min vanligt, medan interkristallina sprickor eller värmebehandlingsprickor, som är mycket tunna, kan kräva penetreringstider på flera timmar.

Elektrostatisk sprayning är en vanlig metod i automatiska anläggningar. Denna metod ger tunn, jämn beläggning över hela ytan. Sprayning med sprayburk är den klassiska metoden för lokalt avgränsade provningar. Sprayning med tryckluft är också en förekommande metod, som dock ger mer spill i jämförelse med elektrostatisk påläggning. Pensling används i vissa fall, då provstället är svåråtkomligt.

HJÄLPMEDEL VID PENETRANTPROVNING



Figur 10-5:3

Borttagning av överskottspenetrant

Beroende på den typ av penetrant som används kan olika metoder tillämpas. För vattenavsköljbara penetranter används vatten, för efteremulgerbara används emulgator och sedan vatten, och för lösningsmedelsavsköljbara används lösningsmedel.

Vatten

Vattenavsköljbara penetranter innehåller emulgermedel, så att avsköljning kan ske i vatten. Vatten är ett bra sköljmedel, då det jämfört med lösningsmedel ej löser upp penetranten i ytfelen lika mycket.

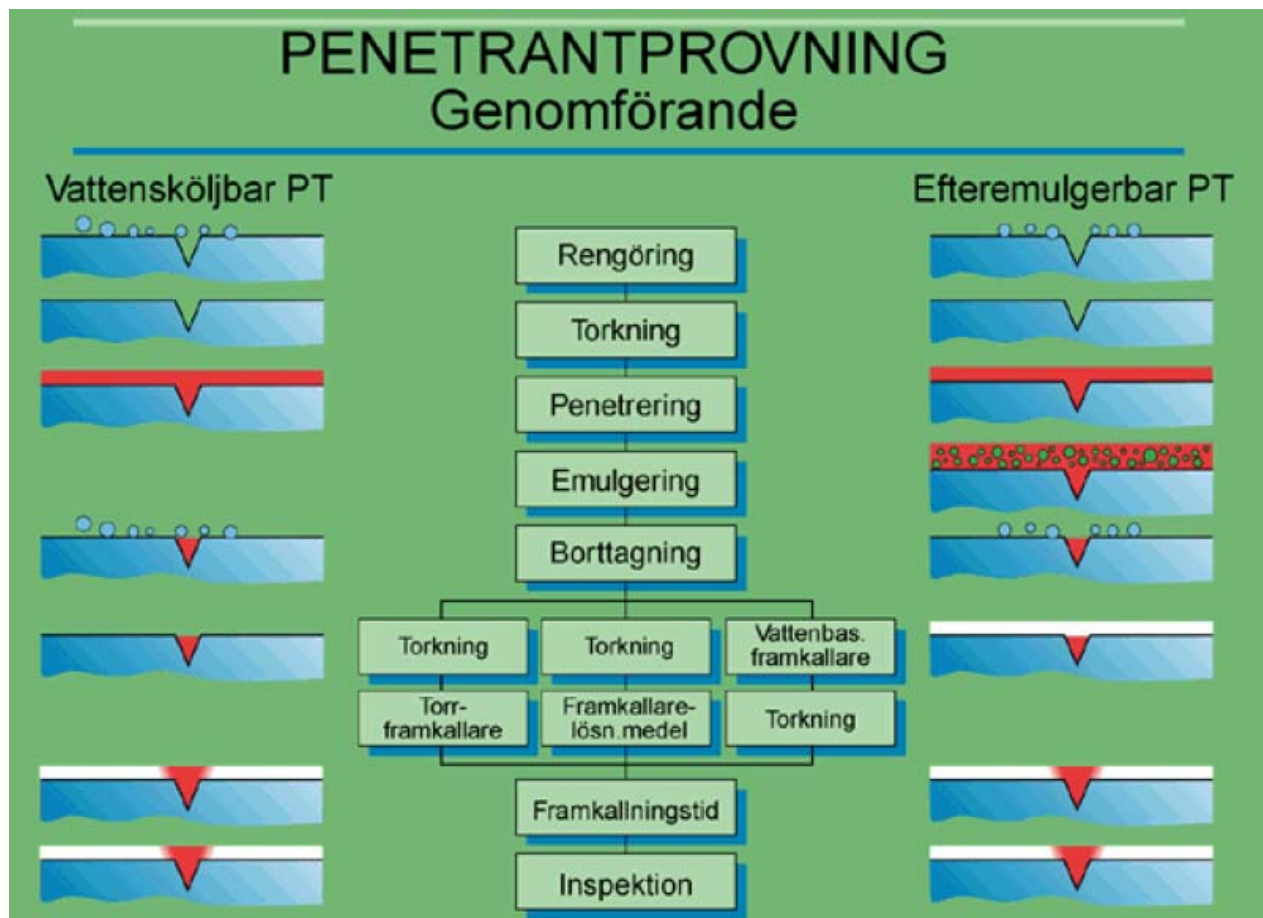
En ökande vattentemperatur ökar dock risken, varför vattentemperaturen ej bör överstiga 43 °C. Färskvatten från tappkran bör användas, då återanvändning innebär kontaminering av penetranten. Sprayning med grovdroppigt munstycke med en infallsvinkel på ~ 45 °C är mest gynnsam. För högt vattentryck medför risk för ursköljning.

Emulgeringsmedel

Penetranter, som är efteremulgerbara, fordrar ett extra emulgeringssteg innan avsköljning kan ske. Man skiljer här på **lipofila** och **hydrofila** emulgeringsmedel.

Det **lipofila** är ett oljebaserat medel, som påföres genom doppning eller sprayning under en förutbestämd tid. Pensling rekommenderas ej, då påläggningstiden starkt påverkar den totala emulgeringstiden. Denna bestäms till stor del av ytbeskaffenheten. För jämna, fina ytor är 30–45 sek tillräckligt, medan grövre ytor kräver några minuter. Emulgeringstiden är kritisk, då för lång tid även emulgerar penetranten i ytfelen. Rätt tid bestäms genom experiment.

Det **hydrofila** emulgeringsmedlet är vattenvänligt och blandas i regel i avsköljningsvattnet. Koncentrationer på 5–33 % förekommer. Medlet, som har en lägre penetranttolerans, påförs således först efter det att den mesta penetranten avspolats med vatten. Efter det att det första sköljvattnet runnit av, sker påläggning av emulgeringsmedel med doppning och därefter sköljning.



Figur 10-5:4

Lösningsmedel

Speciellt med färgpenetrant och icke-stationär provning är lösningsmedel ett bra alternativ för penetrantborttagning. Innan medlet påförs avtorkas det mesta av penetranten med torr trasa. Därefter sker avtorkning med trasa, som är fuktad med lösningsmedel. Direkt sprayning rekommenderas ej, då stor risk för ursköljning föreligger.

Torkning

Hur torkning skall ske efter penetrantborttagning beror på vilken borttagningsmetod som använts. Torkning efter lösningsmedel sker i luft, medan vattensköljbar borttagning ibland kräver värme för att driva bort vattnet, expandera penetranten och i någon mån minska viskositeten för att uppnå ett bättre framkallningsresultat. Max torktemperatur enligt ASME är 120 °C. Torkning är mycket viktig även då torrframkallare används, då eljest pulvret kan klumpa ihop sig på ytan och försämra indikeringarna.

Framkallning

Torrframkallare pålägges genom doppning, sprutning med pistol i kammare eller elektrostatiskt. Framkallaren rekommenderas vid provning med fluorescerande penetranter.

Lösningsmedelsbaserade framkallare pålägges alltid med sprayning. Detta kan ske med sprayburk, tryckluft eller elektrostatiskt. Det är viktigt att framkallaren omröres före användandet, eftersom pulvret fort "sätter sig". Med sprayburk krävs en noggrann omskakning. Påföring sker i upprepade tunna skikt, så att en enhetlig vit bakgrund erhålles. Påläggning i två mot varandra vinkelräta riktningar kan ibland vara värdefullt.

Vattenlösliga framkallare påläggs genom doppning eller sprayning. På grund av att framkallaren är vattenbaserad rekommenderas den ej till vattenavsköljbara penetranter, då risk för ursköljning föreligger.

Vattensuspenderade framkallare påläggs genom doppning eller sprayning.

Plastfilmsframkallare förvaras i sprayburk. De har en snabb flyktighet. För färgpenetranter är dessa vita och för fluorescerande transparenta. Två lager brukar vara tillräckligt. Om indikeringen skall bortdragas för dokumentation, bör ett tredje skikt påläggas.

Inspektion och utvärdering

De två stegen vid inspektion brukar benämnas **tolkning** och **utvärdering** av indikationerna.

Tolkning innebär att operatören måste avgöra vilken orsak som gett indikationen. För att tolka bör operatören vara väl förtrogen med provmetoden och vara förvissad om att alla steg i provningen har utförts på ett korrekt sätt. En klar fördel är att ha god kännedom om materialet och förväntade feltyper. De typer av indikeringar, som kan förekomma, kan härröra från:

- verkliga fel
- falska indikeringar
- icke-relevanta indikeringar.

De **verkliga indikeringarna (relevanta)** brukar indelas i:

- linjära med en viss längd och bredd
- punktformiga och oregelbundna

De kan variera mycket i storlek och utbredning, men praktiskt taget alla indikeringar kan bedömas tillhöra den ena eller den andra typen. Indikeringarnas storlek, form, briljans och spridning är viktiga för bedömningsresultatet.

Mycket tunna sprickor och fina porer ger något oklara indikeringar, oavsett om dessa är isolerade eller i grupper. Ju bredare och djupare yttelet är, desto mer penetrant finns lagrat i felet och medför en större, klarare och kanske mer spridd indikering. Intensitet och spridning ger således information om felets storlek och allvarlighetsgrad, exempelvis djupet vid en spricka eller volymen vid en porositet.

På samma sätt är hastigheten med vilken indikeringen framträder ett mått på penetrantreservoarens storlek. Stora defekter ger indikeringar ögonblickligen, små defekter framträder efter en längre framkallningstid.

Sprickor kan vara långa eller korta, grunda eller djupa, enstaka eller i grupper. De har ofta linjära utsträckningar, dvs längden är större än bredden. De är därför mer urskiljbara än runda eller oregelbundna indikeringar, som lätt kan förväxlas med falska.

Falska indikeringar kommer från "dålig hygien" vid provningsplatsen och kan exempelvis orsakas av:

- penetrantvätska vid syningsstationen
- penetrant på operatörshänder
- kontaminering av framkallare
- otillräcklig borttagning av överskottspenetrant.

Ett kriterium på att en falsk indikation uppträtt är att den ej återkommer vid omprovning. En annan typ av indikation är den **icke-relevanta**. Den orsakas av det verkliga förhållandet på provobjektets yta, dvs då det finns något i ytan som ej är ett verkligt fel. Detta kan förekomma på maskinkonstruktioner och liknande och vara spår, gängor, splines osv.

Då en indikering har tolkats som ett verkligt ytfel återstår **utvärderingen**. Denna är oftast styrd av den provningsspecifikation, där acceptanskraven avgör om indikationen skall betraktas som en defekt eller ej.

Rengöring efter provning

Efterrengöring är ofta ej nödvändig då torrframkallare använts. Våtframkallare kräver efterrengöring. Ofta är borstning med vattenspray tillräcklig. Detta bör göras tämligen snabbt efter avslutad provning, eftersom flera framkallartyper är svåra att avlägsna, då för lång tid passerat.

5.4 Jämförelser mellan olika penetranter

Olika penetrantmaterial uppvisar olika känsligheter för defekter. Vilken typ som skall användas bestäms av provobjektet och dess ytbeskaffenhet samt av vilka ytfel som förväntas i materialet. En indelning görs enligt en amerikansk specifikation Mil-I-25135 enligt nedan:

Grupp I	lösningsmedelsavsköljbar färgpenetrant
Grupp II	efteremulgerbar färgpenetrant
Grupp III	vattenavsköljbar färgpenetrant
Grupp IV	vattenavsköljbar fluorescerande penetrant (låg känslighet)
Grupp V	efteremulgerbar fluorescerande penetrant (medelkänslighet)
Grupp VI	efteremulgerbar fluorescerande penetrant (hög känslighet)
Grupp VII	lösningsmedelsavsköljbar fluorescerande penetrant (grupp IV penetrant och lösningemedelsbaserad framkallare)

Med samma framkallare anses grupp I, II och III ha samma känslighet som grupp IV. Användande av olika framkallare påverkar givetvis även metodens sammanlagda känslighet.

5.5 Detekterbarhet för olika ytfelstyper

Tunna ytsprickor

Dessa kan vara ytliga eller djupa, men det typiska är att de har en tunn öppning. De djupa har en större reservoar än de grunda och, om de är väl penetrerade, en större detekterbarhet.

För bästa detekterbarhet är följande nödvändigt:

- Hög inträngningsförmåga krävs, vilket innebär att vattenavsköljbara penetranter är mindre lämpliga. Dessa innehåller emulgermedel, vilket generellt försämrar penetrerkräften.
- Maximal skönjbarhet och kontrast från indikationer erfordras. Kravet är mer uttalat ju grundare den täta sprickan är. Detta är typiskt för den fluorescerande penetranten, som har en bättre indikeringsförmåga än färgpenetranten.

- Penetrertiden skall vara lång. I vissa fall kan tider på flera timmar krävas.
- Borttagningsmomentet är kritiskt, då en absolut störningsfri bakgrund är nödvändig. Risken för urtvättning av efteremulgerbara penetranter är mindre vid täta sprickor. Dock rekommenderas ej tvättning med för högt tryck eller för varmt vatten. Det är bättre att förlänga emulgeringstiden något, speciellt vid grova ytor. En förutsättning är förstås, att bredare ytfel ej samtidigt finns, då ju dessa riskerar att bli ursköljda.
- Torktiden får ej vara för kort, då värmen hjälper till att driva ut penetranten ur den tunna sprickan. En överdrivet lång torktid kan emellertid försämra penetrantens förmåga att sugas upp i framkallarskiktet.
- För både torr- och våtframkallare gäller att framkallningsskiktet skall vara tunt. Ett tjockt skikt minskar indikerbarheten hos en liten penetrantreservoar.
- Detta är också en anledning till att färgpenetrant är olämplig, då denna kräver ett tjockare skikt för att en jämn bakgrund skall erhållas.
- Framkallningstiden kan vara lång, eftersom det tar lång tid för den lilla penetrantvätskan att tränga upp till ytan.
- Intensiteten från UV-ljuset skall vara så hög som möjligt, ögat mörkeranpassat, och inspektionen utförs i mörker.

Breda ytfel

Defekterna kan vara ytliga eller djupa. Bredden gör, att risken för ursköljning av penetranten alltid finns, speciellt om ytan har repor och är allmänt grov. Då ställs ju högre krav på borttagande av överskottspenetrant för att få en störningsfri bakgrund.

- Hög penetreringsförmåga är egentligen ej nödvändig för att upptäcka breda fel. Däremot är en penetrant och en teknik, som lätt tillåter penetrantborttagning utan ursköljning av defekterna att föredra. Vattenavsköljbara penetranter är därför ej att rekommendera. Borttagning med lösningsmedel är ej heller bra. Efteremulgerbara penetranter är den teknik, som är mest lämplig.
- Extremt hög briljans från indikationer är i regel ej nödvändig, då penetrantvolymen oftast är stor.
- Penetreringstiden behöver ej vara lång för denna feltyp, eftersom penetreringen går rätt fort, även för djupa fel. Om täta fel samtidigt finns på ytan, styrs givetvis tiden av dessa.
- Emulgerinstiden är kritisk och skall hållas till ett minimum för att säkerställa en störningsfri bakgrund. Framkallningstiden behöver ej vara lång.
- Verkliga defekter bör noggrant uppmärksammas, då risk för falska indikationer på grund av dålig penetrantborttagning kan föreligga.

Ytsprickor i allmänhet

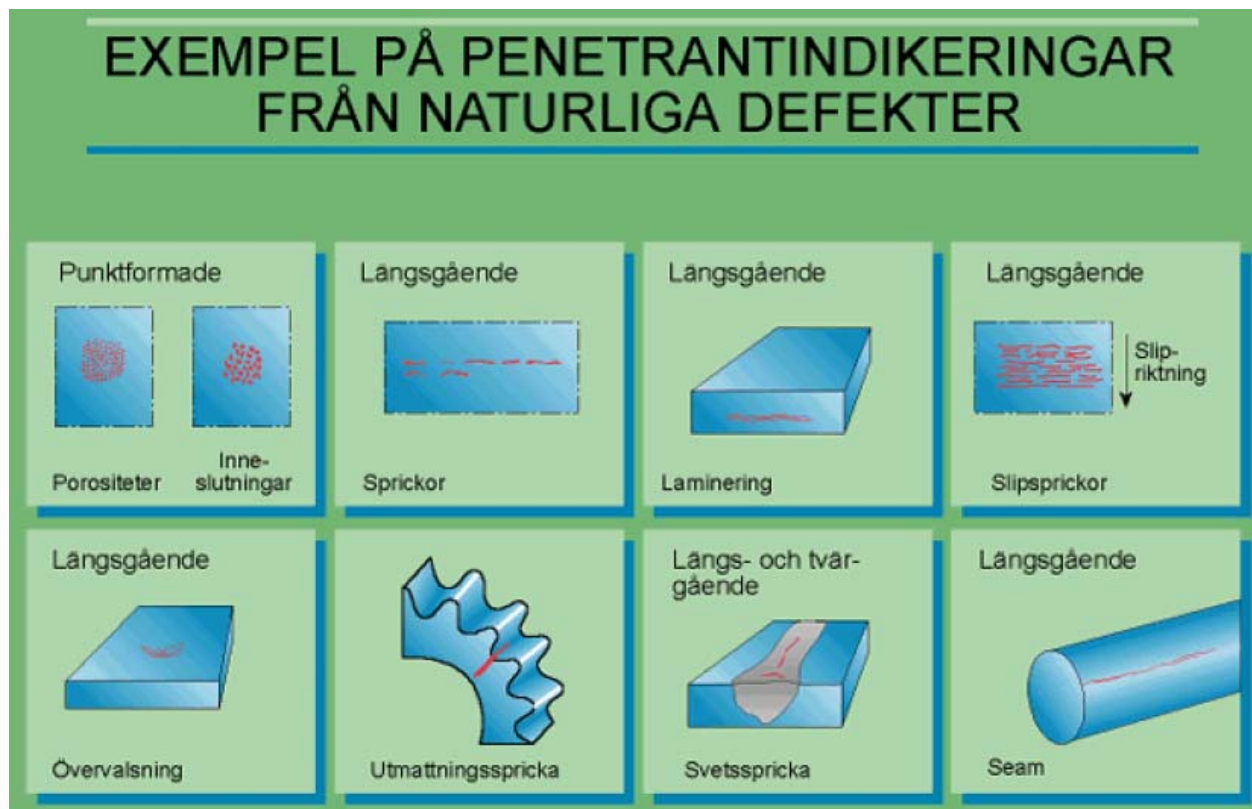
I verkligheten förekommer givetvis alla varianter mellan täta och breda ytfel. Med täta sprickor menas här sådana som har bredder på 2–3 mm. När bredden är 50–100 mm, kan sprickan klassas som bred.

Således rekommenderas efteremulgerbara penetranter för täta sprickor, där stor penetrerkräft krävs, då de vattenavsköljbara är underlägsna på grund av den inbyggda emulgatorn. För breda sprickor rekommenderas även efteremulgerbara penetranter på grund av risken för ursköljning med de vattenavsköljbara. I mellanområdet är tekniken med vattenavsköljbara penetranter ett utmärkt val.

Porositeter

Dessa fel kan givetvis indikeras, om de är öppna mot ytan. De är vanliga i gjutna produkter.

- hög penetrering är vanligtvis ej nödvändig. Även om ytöppningen kan vara liten, så ligger oftast kaviteten ytan och innehåller en förhållandevis stor penetrantreservoar. Vattenavsköljbara penetranter är oftast tillräckliga.
- penetrertiden behöver ej vara lång och borttagningsmomentet är ej kritiskt.
- framkallningstiden bör vara minimal, och inspektion genomförs genast efter det att framkallaren torkat för att minska risken för "utblödning". Det senare påverkar starkt storleksbestämning av felet.



Figur 10-5:5

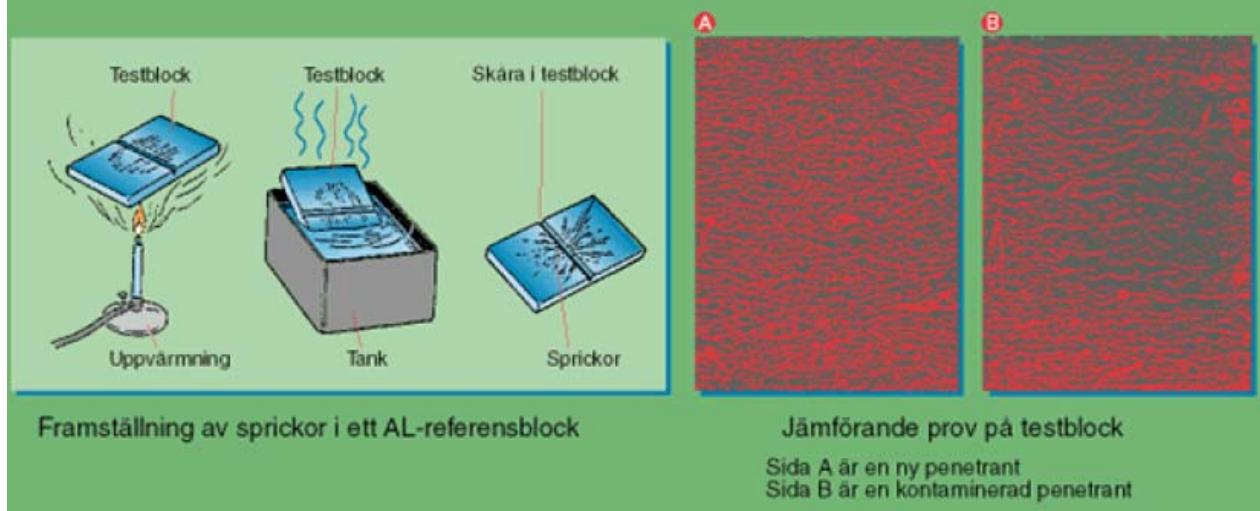
5.6 Kontroll av penetrantmaterial

Det primära intresset vid penetrantprovning är att den tillämpade metoden skall kunna detektera diskontinuiteter av den storleksordning, som acceptanskraven anger. Det bästa sättet att kontrollera detta är att utnyttja ett provobjekt från den aktuella produktionen, vilket har en naturlig defekt, som ligger strax utanför acceptansområdet. Sådana referensobjekt skall rengöras noggrant mellan omprovningarna och helst förvaras i lösningsmedel mellan provningarna.

Referensobjekt enligt ovan kan vara svåra att uppbringa. För att jämföra olika penetrantmaterial brukar aluminiumpaneler och krombelagda plåtar med konstgjort framställda sprickor användas.

Penetrantvätskor i tankar är utsatta för åldring och föroreningar. För att kontrollera hur detta sker är det vanligt att ett prov från en ny leverans tas ut och förvaras i en tät behållare. Periodiskt under användningstiden görs sedan jämförande prov på aluminiumpanelen enligt figur 10-5:6. Provet kan förväntas behålla sina goda penetrantegenskaper i ca två år.

KONTROLL AV PENETRANTMATERIEL



Figur 10-5:6

Penetranten kontrolleras även med avseende på föroreningar (framför allt vatten). Det sker genom analys på laboratoriet. Kontrollen utförs regelbundet, där tidsintervallerna bestäms av provningsvolym och miljö i provningslokalen. När efteremulgerbara och även vattenavsköljbara penetranter används, kontrolleras emulgeringsförmågan genom jämförelse med en ny emulgator resp. penetrant. Detta görs genom jämförande prov på plåtar med kända sprickor och kallas "sköljbarhetsprov".

Torrframkallare kontrolleras genom observation (visuell kontroll). Eftersom dessa ej är hygroskopiska, absorberar de ej fukt från luften och är därför beständiga så länge de ej kommer i kontakt med vatten. En torrframkallare, som ej är "fluffig" utan klumpar ihop sig eller är blöt, skall kasseras. Våtframkallare kontrolleras genom densitetsmätning med hydrometer. Om densiteten skiljer sig från tillverkarens rekommendationer tillsätts endera pulver eller vatten.

Belysningen vid inspektionen kontrolleras periodiskt med belysningsmätare. Vid provning enligt SIS 114501 krävs, att belysningen vid provning med färgpenetrant skall vara minst 500 lux. Belysningsintensiteter på 1500 eller i vissa fall 3000 mW/cm² förekommer för UV-ljus. Intensiteten mäts på inspektionsstället.

6 Magnetpulverprovning

6.1 Användningsområde

Oförstörande provning med användande av magnetpulvermetoden är en av de äldsta och säkraste metoderna. Magnetpulverprovning kan användas för indikering av defekter i ytan eller dess omedelbara närhet i (ferro)magnetiska material som t ex järn och stål (ej austenitiska).

På grund av metodens flexibilitet med många tillämpningsvarianter, utnyttjas den för provning av såväl produkter under tillverkning som detaljer under drift. För den senare tillämpningen är det en praktisk fördel att det ej erfordras någon omfattande förbehandling av proverna. Även defekter fyllda med främmande material (fett, färg osv) kan indikeras. Härvid kan bärbar eller transportabel utrustning bestående av strömaggregat och handelektroder eller kabel för lindning av spolar användas manuellt.

Vid provning av många likartade detaljer finns olika automatiska utrustningar tillgängliga på marknaden t ex inom bilindustrin eller vid tillverkningen av lagerkomponenter. Metoden är särskilt lämpad för detektering av defekter med skarpa begränsningar, exempelvis sprickor.

6.2 Princip

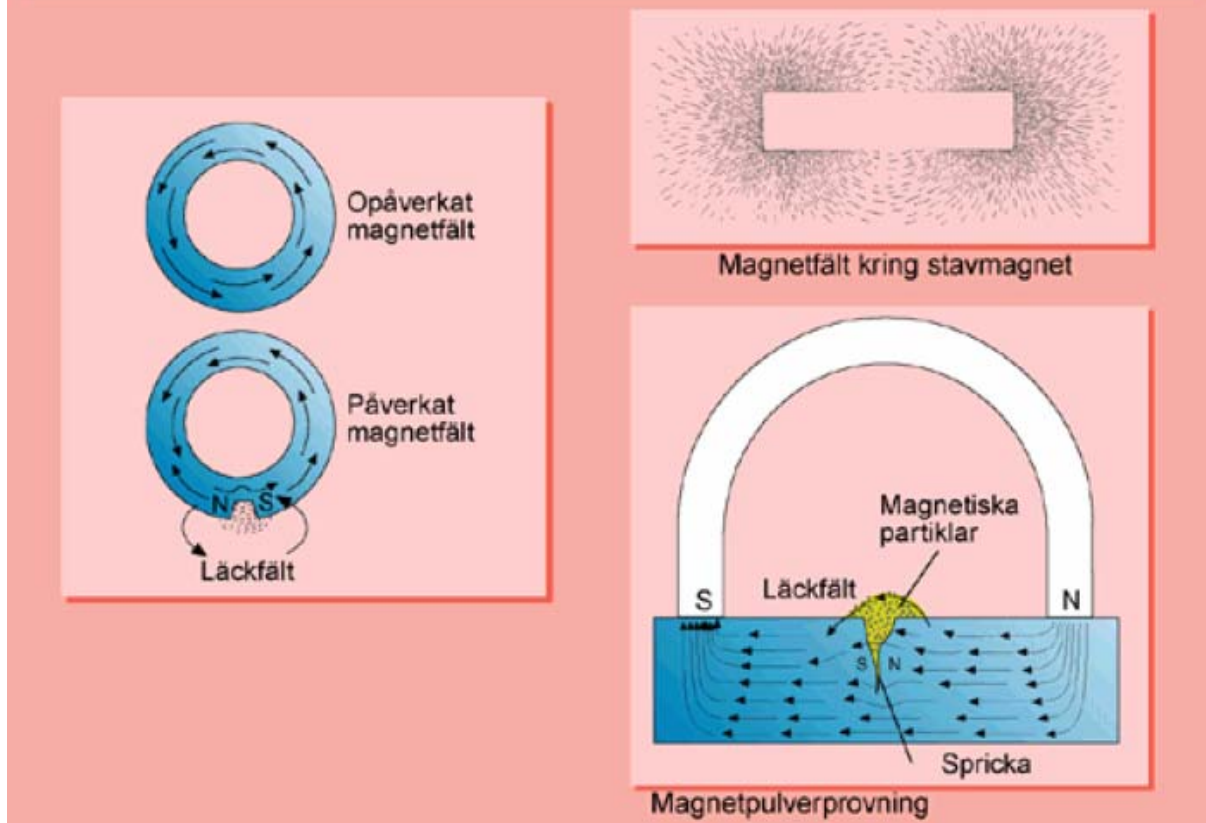
6.2.1 Allmänt

När ett föremål, behäftat med en defekt i eller strax under ytan, införs i ett magnetfält uppstår ett läckfält utanför defekten. (Jfr hur järnfilsspån som läggs på ett papper orienterar sig om en hästskomagnet hålls under papperet).

Detta läckfält kan attrahera finfördelat ferromagnetiskt material. Genom att förse sådant magnetiskt påverkbart material med kontrastmaterial i form av ett färg- eller fluorescerande ämne kan defekten synliggöras. En sådan indikation blir bredare än själva defekten, varför även tunna defekter, som t.ex. sprickor, lätt kan ses.

En förutsättning är att magnetfältets kraftlinjer skär de defekter man önskar detektera så vinkelrätt mot defekternas längdriktning som möjligt. Av denna anledning kan provföremålet behöva magnetiseras i flera olika riktningar för att säkerställa detektering.

PRINCIPEN FÖR MAGNETPULVERPROVNING



Figur 10-6:1

6.2.2 Alstring av magnetfält

Alla elektriska ledare som genomflyts av en elektrisk ström omges av ett magnetiskt fält. Detta kan lätt visas på samma sätt som angetts ovan med hjälp av järnfilspån eller med en kompass, som hålls i närheten av en ledare. Kompassnålen kommer att ställa in sig parallellt med det magnetiska fältets riktning.

Om en ledare lindas i flera varv till en ring, dvs till en elektrisk spole, kommer varje varv att förstärka magnetfältet. Till fältet, vars styrka bestäms av strömstyrkan i ledaren och avståndet från mätpunkten, hör ett magnetiskt flöde, vars täthet är direkt proportionell mot det magnetiska fältet enligt följande samband.

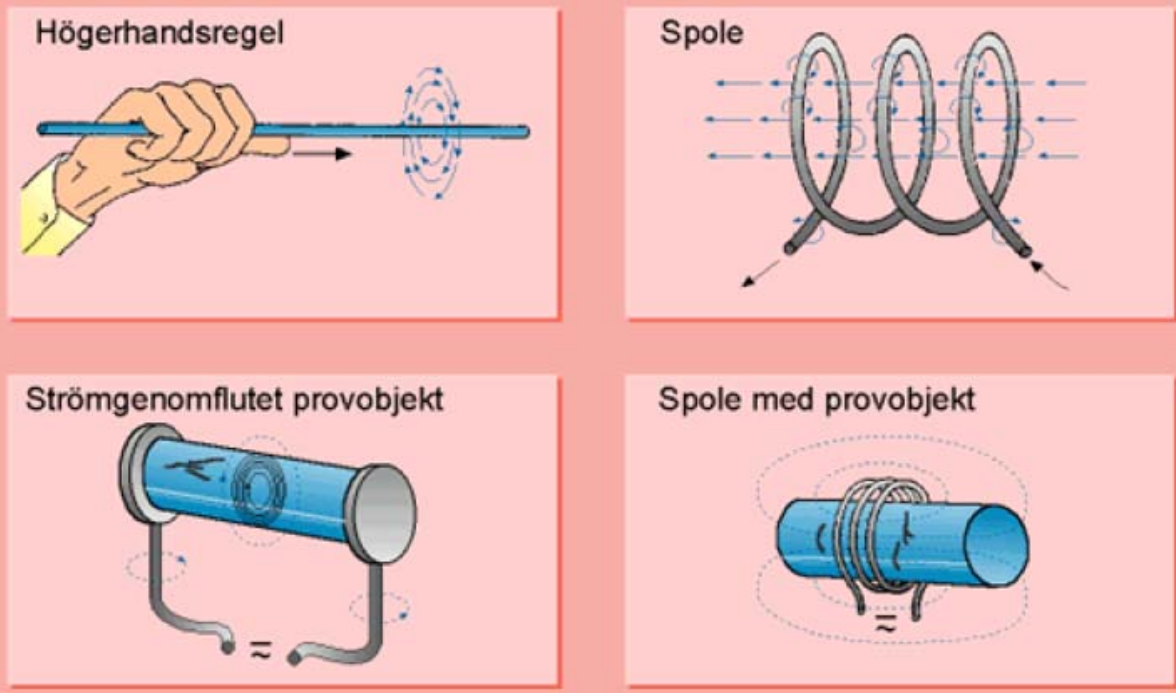
$$B = \mu H$$

B = Magnetisk flödestäthet

μ = Permeabilitet = materialets magnetiska genomsläppsförmåga

H = Magnetisk fältstyrka

MAGNETFÄLTETS FLÖDESRIKTNING



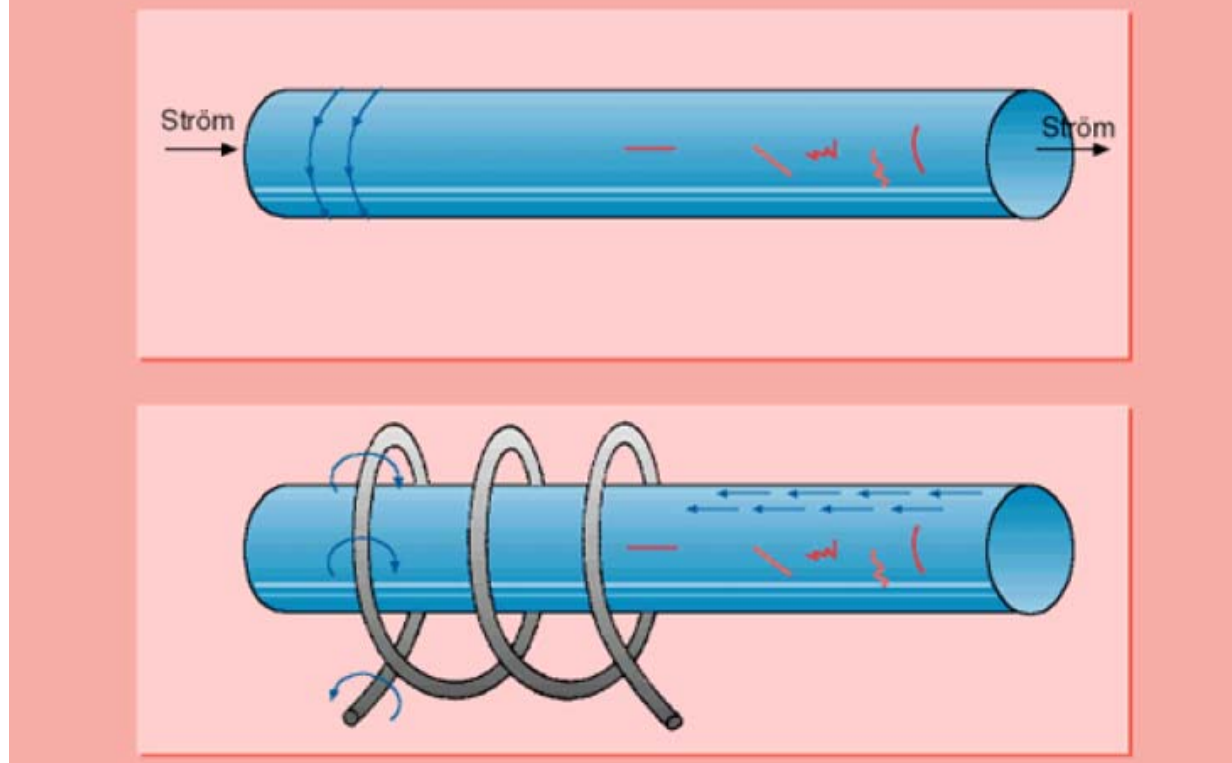
Figur 10-6:2

6.3 Magnetisering

6.3.1 Allmänt

Två huvudgrupper av magnetiseringstekniker förekommer, nämligen polmagnetisering och magnetisering med hjälp av strömgenomflytning. Den principiella skillnaden mellan dessa består av magnetfältets orientering i det magnetiserade provföremålet.

DETEKTERBARHET VID OLIKA MAGNETFÄLTSRIKTNINGAR



Figur 10-6:3

6.3.2 Polmagnetisering

Vid polmagnetisering uppstår ett longitudinellt magnetiskt fält, så att det bildas en nord- och en sydpol i provföremålet. Detta behöver inte nödvändigtvis vara stavformat för att det skall uppstå poler, utan kan i princip ha vilken form som helst. Med denna metod kan tvärgående defekter indikeras i provobjekt av stavform. Polmagnetisering kan åstadkommas antingen med magnetok eller spole.

Okmagnetisering

Okmagnetisering används i många olika tillämpningar, och ger stor flexibilitet genom anpassning av strömart och strömstyrka för provuppgiften. Det finns två olika utföranden av magnetok, dels ok bestående av en permanent magnet och dels ok med en omlindad spole, som alstrar magnetfältet. (Se figur 10-6:4)

Spolmagnetisering

- Cylindrisk spole

Vid denna typ av magnetisering förs provföremålen in i en cylindrisk spole, som alstrar ett axiellt magnetfält i provföremålet om detta har ett längd/diameterförhållande större än 3:1. Med denna metod kan tvärgående defekter indikeras i företrädesvis långa föremål, som t. ex. stång och rör. Eftersom en spole har kort utsträckning i längdriktningen måste långsträckta provobjekt magnetiseras i flera steg eller spolen föras över objektet. Räckvidden för ett magnetfält är 3–400 mm.

- Flat spole

Denna spoltyp, som är lindad radiellt, är användbar för flata, skivformade provobjekt, som t.ex. kugghjul och turbinhjul. I provföremålet alstras ett magnetfält, vars kraftlinjer löper radiellt.

6.3.3 Strömgenomflytningsmagnetisering

Allmänt

Vid magnetisering med hjälp av strömgenomflytning erhålles magnetfält, som bildar kraftlinjer med slutna ringformiga banor i provföremålen. Strömgenomflytning kan utföras på tre olika sätt. (Se figur 10-6:4)

Direkt strömgenomflytning

Direkt strömgenomflytning är en av de vanligaste magnetiseringsmetoderna. Provföremålet anbringas mellan två elektroder, varefter ström leds direkt genom provföremålet, varvid ett magnetfält bildas runt provföremålet och i rät vinkel till detta. Man måste se till att kontakten mellan elektroder och provföremål blir god. I annat fall kan brännmärken uppstå på grund av lokal upphettning.

Indirekt strömgenomflytning (ström genom hjälpledare)

Denna metod kan användas för provning av ringformiga provföremål eller provföremål med genomgående hål. En ledare placeras genom provföremålet, i vilket ett cirkulärt magnetfält uppstår.

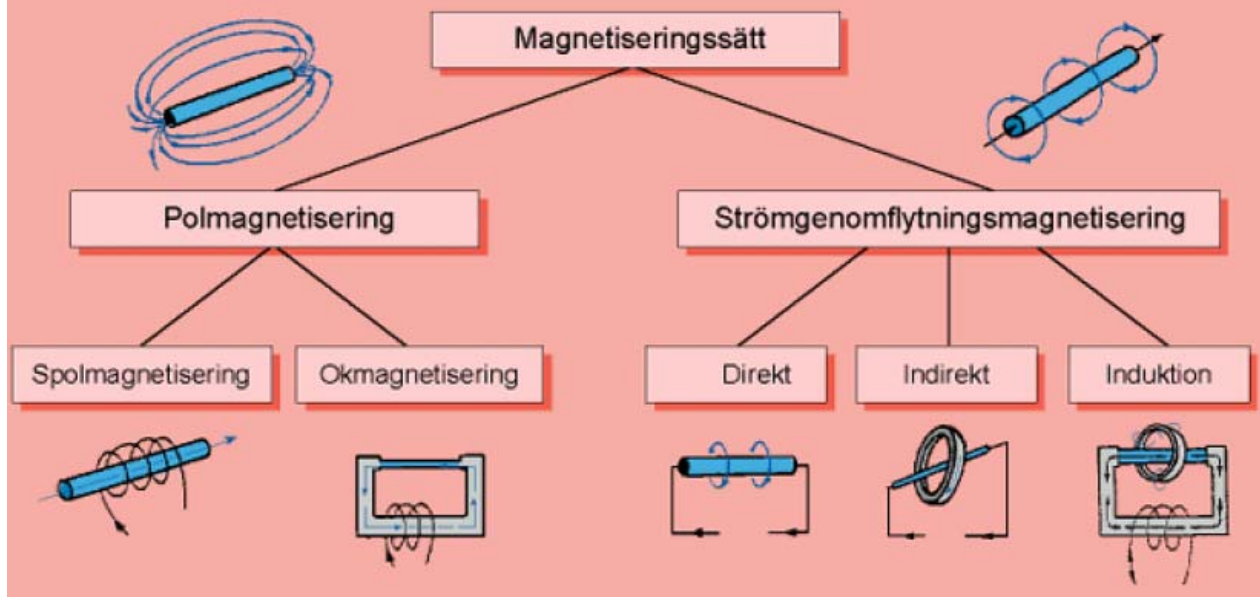
Induktionsmagnetisering

Även denna metod lämpar sig för provning av ringformiga och cylindriska ihåliga provföremål. Provföremålet placeras i en delbar järnkärna, vilken magnetiseras med hjälp av en växelströmsmatad spole. Magnetfältet ger upphov till (inducerar) elektriska strömmar i provföremålet, vilka bildar ett cirkulärt magnetfält runt materialtvärsnittet. Perifera sprickor kan indikeras på provföremålets in- respektive utvändiga ytor.

Kombinationsmetoder

Som redan nämnts är det väsentligt, att eventuella defekter påverkas av ett magnetfält så vinkelrätt som möjligt. För att indikera defekter oberoende av riktning, kan man kombinera två olika tekniker samtidigt, t.ex. likströmspolmagnetisering med växelström genomgång genom provföremålet. Växelströmsspole och strömgenomflytning i provföremålet ger en pendlande vektor mellan -45° och $+45^\circ$.

MAGNETISERINGSSÄTT VID MAGNETPULVERPROVNING



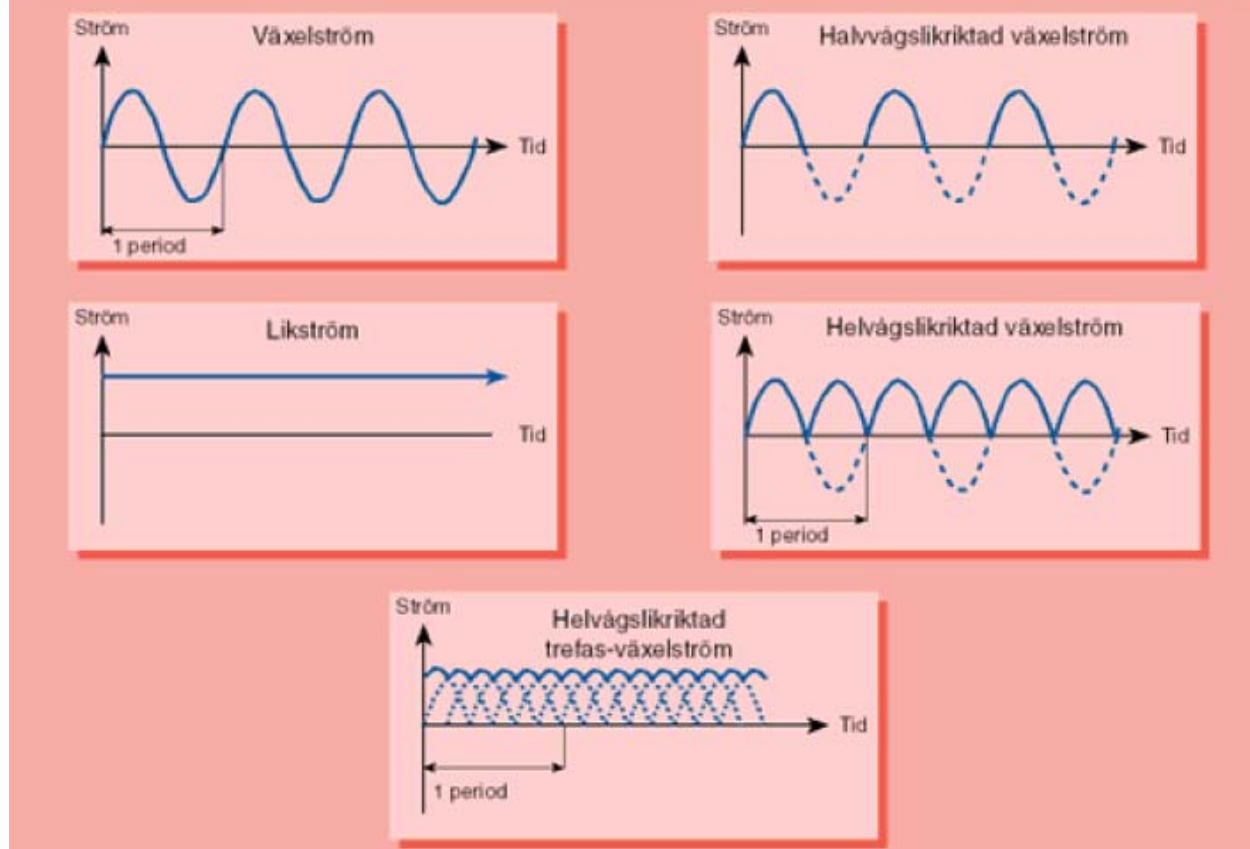
Figur 10-6:4

6.4 Strömtyper

Förutom vid magnetisering med induktionsgenomgång kan såväl lik- som växelström användas. Den principiella skillnaden är att medan likström fördelas jämnt i hela provföremålet koncentreras växelström till ytområdena, den s k "skin"-effekten.

Detta innebär ett starkare läckflöde för ytdefekter vid användning av växelström. Vill man öka inträngningsdjupet väljer man likström, varvid kontinuerlig likström eller hel- respektive halv vågsl riktnad växelström kan utnyttjas. (Se figur 10-6:5)

STRÖMTYPER FÖR MAGNETISERING



Figur 10-6:5

6.5 Magnetpulver

Pulvertyper

För att synliggöra det magnetiska läckflödet i samband med defekter används finfördelat ferromagnetiskt material bestående av järnoxider, s k magnetpulver.

Indikeringsförmågan optimeras för olika provningstillämpningar med olika kontrastmetoder genom att använda färgat eller fluorescerande magnetpulver. I det senare fallet täcks partiklarna i pulvret med ett ämne, som reflekterar synligt ljus vid belysning med en särskild lampa, som avger ultraviolett ljus. Denna metod ger bäst kontrast och synlighet av defekter.

Påförseltyper

Magnetpulver kan påföras provföremålet antingen i torrt skick eller uppslammat i vätska – den s k våta metoden. Bärarvätskan kan t. ex. bestå av tunn olja, fotogen eller vanligt vatten.

Magnetpulvrets egenskaper

Flera faktorer påverkar magnetpulvrets indikeringsförmåga. En viktig faktor är partikelstorleken. För torra pulver är storleken på partiklarna upp till ca 400 μm , medan mindre partiklar ner till 2–3 μm används för den våta metoden. Vidare påverkar densitet, kornform och rörlighet samt magnetiska egenskaper, som permeabilitet, koercitivkraft och remanens, provresultatet.

6.6 Provningsutrustning

Allmänt

Eftersom det finns så många tekniker, kan de mest skilda varianter av provföremål med avseende på form och storlek provas med denna metod. Man kan särskilja två huvudgrupper av utrustning, portabel- och bänkutrustning. (Se figur 10-6:6)

Portabel utrustning

Sådan utrustning är särskilt lämplig för stora otympliga detaljer eller detaljer, som ingår i större konstruktioner, varvid hjulgående eller bärbara strömaggreat används.

- Kabellindning

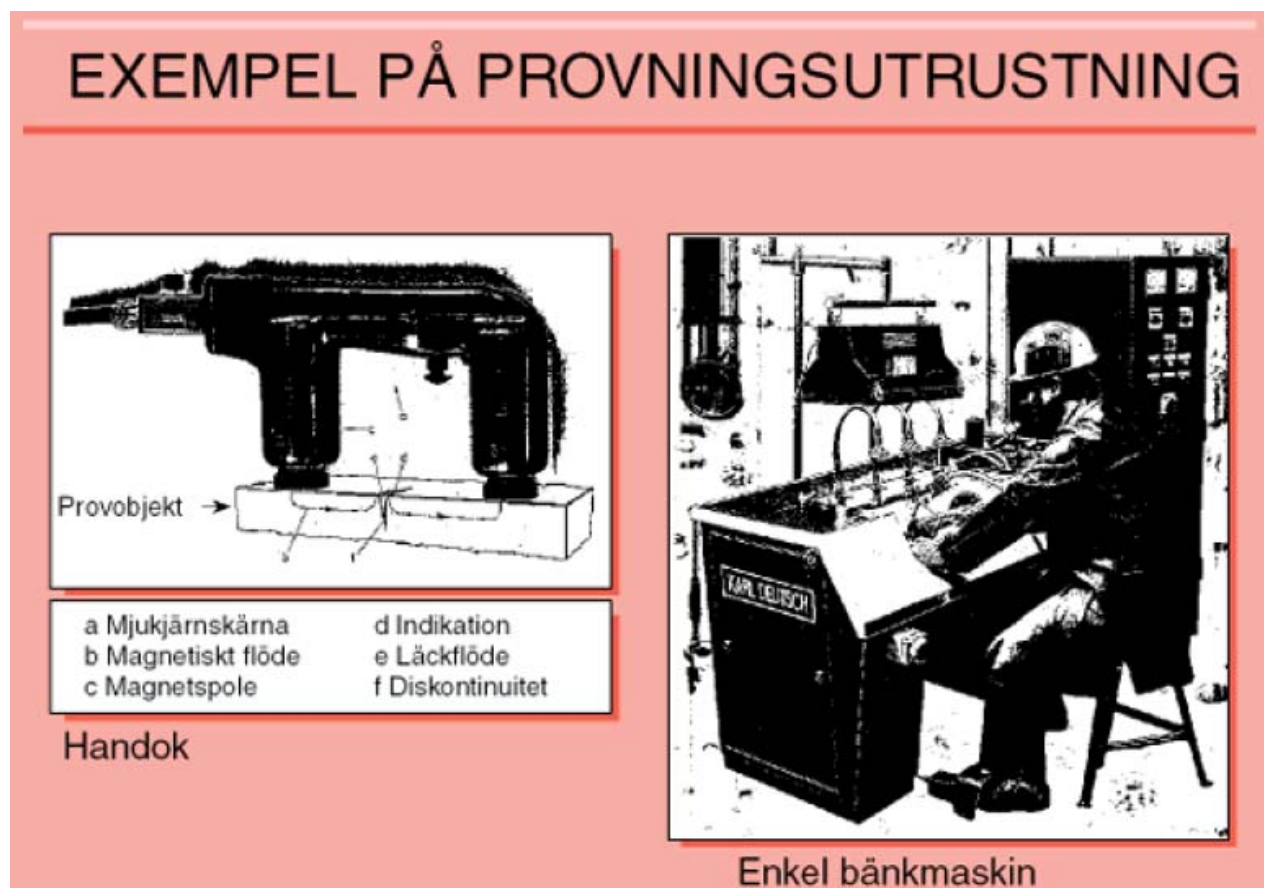
Genom att linda en lämplig kabel runt provföremålet erhålles en enkel spolmagnetisering.

- Handburna ok

Den enklaste formen av utrustning är ett ok bestående av permanent magnet. Magnetiseringen kan också åstadkommas med hjälp av spole. Ofta kan avståndet mellan okets skänklar varieras.

Bänkutrustning

Bänkmaskiner är ofta av kombinationstyp med olika automatiseringsgrad vid provning av ett stort antal likartade provföremål.



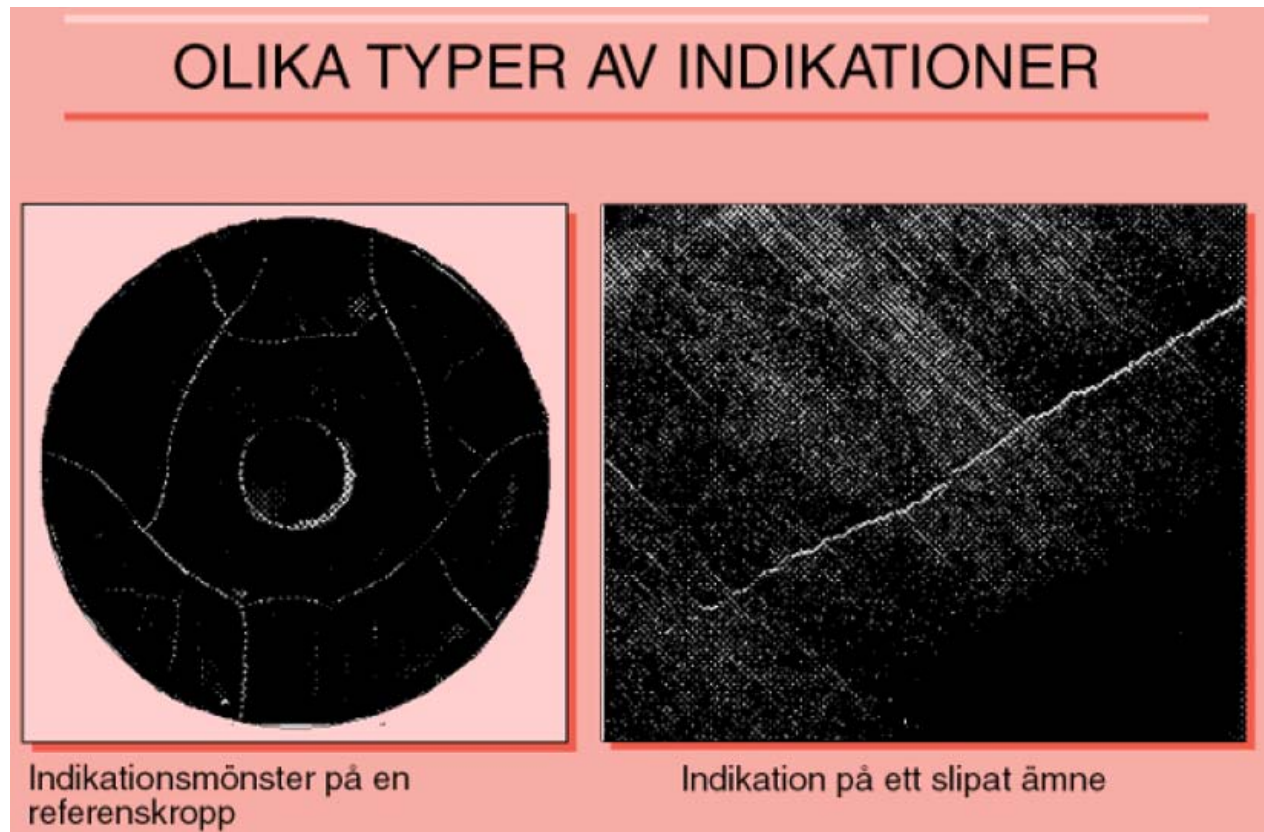
Figur 10-6:6

6.7 Defektbedömning

Defektbedömning sker nästan uteslutande genom en subjektiv bedömning av operatören. Generella gränser för hur små fel, som kan påvisas, eller hur djupt under ytan ett fel kan ligga för att

kunna indikeras finns ej. Djupet hos en spricka påverkar storleken av läckflödet över sprickan, vilket i viss mån kan påverka indikationens storlek.

Geometriska faktorer, som skarpa hörn och areavariationer, såväl som magnetiska fält orsakade av värmebehandlingseffekter samt strukturen hos vissa material, kan ge upphov till störande indikationer, såsom falska eller icke relevanta indikationer. Detsamma gäller för dåligt rengjord eller grov yta. Det är operatören, som genom utbildning och erfarenhet samt genom användande av rätt teknik, borgar för att avsett provningsresultat uppnås.



Figur 10-6:7

6.8 Avmagnetisering

Efter en magnetpulverprovning kvarstår i allmänhet en remanent magnetism, vilken kan attrahera ferromagnetiska partiklar, som kan ha förödande inverkan på till exempel ett lagers livslängd. Vidare kan restmagnetismen påverka spån brytningen vid efterföljande bearbetning av provföremålen.

Det är alltså väsentligt, att restmagnetismen avlägsnas, när sådan kan ge upphov till efterföljande problem. För att eliminera restmagnetismen måste den detalj som skall avmagnetiseras utsättas för ett magnetfält, som kontinuerligt ändrar riktning, samtidigt som styrkan gradvis minskas. Ett möjligt sätt kan vara att upphetta provföremålet över den så kallade curietemperaturen som för olika legeringar varierar mellan ungefär 700–800 °C.

6.9 Fördelar

Magnetpulverprovning är en flexibel metod, som kan användas för ett brett spektrum av provningsuppgifter. Vidare kan följande specifika fördelar framhållas:

- Metoden är enkel och snabb samt relativt billig i drift
- Den är en av de känsligaste metoderna för att detektera ytsprickor

- Defektens form och läge avbildas direkt på ytan
- Metoden kan användas även om provföremålet har ytbeläggning, som t ex färg, eller om en eventuell defekt är fylld med fett eller färg.
- Provutrustningen är enkel och tålig. Magnetisering och påförsel av indikeringsmedel kan ofta automatiseras.

Provningsvariablernas beroende av olika egenskaper hos provföremål och diskontinuiteter

Egenskaper hos diskontinuitet	Provningsvariabler	Strömtyp	Indikeringsmedel	Remanent eller kontinuerlig metod	Magnetiseringsmetod	Strömstyrka	Utrustning (fast, rörlig, special etc)
Öppna eller under ytan		X	X	X		X	
Tunna eller breda			X			X	
Grunda eller djupa						X	
Storlek och form			X	X		X	
Orientering					X		
Utsträckning och läge med hänsyn till påkänningar i användning				X	X	X	
Kritisk eller okritisk konstruktion			X			X	
Provdetaljens storlek och form			X			X	X
Provdetaljens magnetiska egenskaper				X		X	
Totalekonomi			X			X	X

Figur 10-6:8

6.10 Begränsningar

Följande begränsningar gäller vid magnetpulverprovning:

- Metoden är endast användbar på ferromagnetiska material.
- Endast ytnära defekter kan påvisas.
- Provföremålen måste oftast avmagnetiseras och rengöras.
- Magnetfältets riktning i förhållande till en eventuell defekt påverkar detekterbarheten. Det kan vara svårt att alstra ett lämpligt magnetfält i ett provföremål med oregelbunden form.
- Brännmärken kan uppstå i provföremålet vid användning av ström genom flytning genom provföremålet.
- Bedömning av indikationer kräver kvalificerad personal.

Källor

Del	Titel	Författat av	Revidering av
1	Historia, grundläggande metallurgi...	Jan Ugglå	Sven Ekerot (2000) Robert Vikman, Jernkontorets TO 21, 23 och 24 (2016)
2	Malmbaserad processmetallurgi.....	Jan Ugglå	Sven Ekerot
3	Skrotbaserad processmetallurgi	Jan Ugglå	Henrik Widmark
4	Skänkmållurgi och gjutning	Jan Ugglå	Sven Ekerot
5	Underhåll och driftsekonomi	Hans Gillberg och Niklas Brodd, ABB	
6	Analytisk kemi	Carl Bavrell	
7	Energi och ugnsteknik.....	Jan Fors och Martti Köhli	
8	Bearbetning av långa produkter	Magnus Jarl, Håkan Lundbäck, Jan-Olov Perå och Åke Sjöström	Rachel Pettersson, Jernkontorets TO 32
9	Bearbetning av platta produkter	Nils-Göran Jonsson, Jan Levén Åke Sjöström och Olof Wiklund	Rachel Pettersson, Jernkontorets TO 31
10	Oförstörande provning	Jan-Erik Bohman, Bernt Hedlund, Bengt Moberg, Bert Pettersson och Björn Zetterberg	Författarna
11	Olegerade och låglegerade stål.....	Bengt Lilljekvist	
12	Rostfritt stål.....	Staffan Hertzman och Hans Nordberg	Rachel Pettersson, Jernkontorets TO 43

Del 5 bygger på ABB Handbok Industri och har sammanställt av Hans Gillberg och Niklas Brodd.

Bilderna i den första utgåvan av delarna 1–4 producerades av Jenö Debröczy.
Några av dessa bilder återfinns i den omarbetade utgåvan.

Bilderna i den första utgåvan av delarna 6–12 producerades av Databild AB.

Bilderna i den reviderade utgåvan av delarna 8, 9 och 12 har omarbetats av Rachel Pettersson.

DEN SVENSKA STÅLINDUSTRINS BRANSCHORGANISATION

Jernkontoret grundades 1747 och ägs sedan dess av de svenska stålföretagen. Jernkontoret företräder stålindustrin i frågor som berör handelspolitik, forskning och utbildning, standardisering, energi och miljö samt transportfrågor. Jernkontoret leder den gemensamma nordiska stålforskningen. Dessutom utarbetar Jernkontoret branschstatistik och bedriver bergshistorisk forskning.

JERNKONTORET

Box 1721, 111 87 Stockholm · Kungsträdgårdsgatan 10
Telefon 08-679 17 00 · Fax 08-611 20 89
E-post office@jernkontoret.se · www.jernkontoret.se

