

ULTRAZVUČNO ISPITIVANJE SA C-SLIKOM
Primena na cevovode i zavarene spojeve
ULTRASONIC TESTING WITH C-SCAN
The application to pipelines and welded joints

Pregledni rad / Review paper
UDK /UDC: 620.179.16:004
Rad primljen / Paper received: 12.9.2006.

Adresa autora / Author's address:
¹⁾ Inovacioni centar Mašinskog fakulteta Univerziteta u
Beogradu

Ključne reči

- C-prikaz
- skener
- beskontaktni (EMAT)
- kompoziti
- prenos digitalnih podataka

Izvod

Razmotrene su najvažnije prednosti digitalne tehnike sa primenom C-prikaza i problemi na koje se nailazi pri tom ultrazvučnom ispitivanju. Ukratko je opisano ispitivanje zavarenih spojeva ultrazvukom i različitim sistema sa C-prikazom za ispitivanje cevovoda i čeličnih limova. Dati su i faktori koji utiču na projektovanje ispitnog sistema.

UVOD

Postojeće ultrazvučne metode zasnivaju se na analizi amplitude primljenog ultrazvučnog signala (A-slika), /1/. To se koristi pri običnom ultrazvučnom ispitivanju (UT) feritnih čelika, ali kada je struktura materijala gruba, ova metoda daje samo kvalitativnu ocenu i ponekad nepouzdanu rezultate. Pri ručnom UT, koje je obično zamorno, potrebno je praviti beleške i analize, a zatim izveštaj sa dokazima. Ako treba ponoviti ispitivanje, moraju se uspostaviti isti uslovi za ispitivanje. Pomoć u rešavanju ovih teškoća pruža digitalna ispitna oprema, a naročito usavršeni sistemi sa B slikom i C slikom, integrisani sa odgovarajućim skenerom, ručno ili automatski. Pri ručnom ispitivanju sa A-slikom, operater treba da zabeleži položaj sonde i vrednost debljine. On takođe treba da prati akustički kontakt između sonde i površine materijala. Pomoću digitalne ispitne opreme mogu da se odrede minimalna i maksimalna vrednost debljine i sačuvaju u njenoj memoriji. Kada se koristi uređaj sa C-slikom, uređaj izvrši mapiranje, koje pokaže uzvišenja u odnosu na ivice ravnog profila naspramne strane materijala, kao što je unutrašnjost rezervoara. Kritične oblasti se ističu automatski, umesto slučajnog uzimanja vrednosti na nezavisnim mernim mestima.

Softver za primenu kod UT objedinjava mnogo vrsta algoritama za analizu izlaz/ulaz (I/O) i tehnika prikazivanja da bi bio softver za interfejs. Softver za ovu primenu može da se podeli na tri osnovna dela: za uzimanje podataka/kontrolu, analizu i prikaz.

Keywords

- C-scan
- scanner
- dry-coupled (EMAT)
- composites
- digital data transfer

Abstract

The paper analyses the advantages of digital technique coupled with the C-scan and the most important problems which are faced at this ultrasonic testing. Briefly described are welded joints tests and various test systems with C-scan for testing pipelines and steel plates. The factors affecting the test system design are also given.

INTRODUCTION

Existing ultrasonic methods are based on the analysis of amplitude of the received ultrasonic signal (A-scan), /1/. This is applied in common ultrasonic testing (UT) of ferritic steels, but when the material structure is coarse this method produces only qualitative evaluation and sometimes unreliable results. During manual UT which is often tiresome, it is necessary to make notes and analyses and later, the report with evidences. If tests should be repeated, the same conditions must be established. Digitized test equipment helps in solving these difficulties, especially sophisticated systems with B-scan and C-scan, integrated with corresponding scanners, manual or automated. In manual testing with A-scan, the operator shall notify the position of probe and the thickness value. It is also necessary to control acoustic contact between the probe and material surface. Using digitized test equipment the minimum and maximum thickness values can be obtained and stored in its memory. When a C-scan facility is used, it performs mapping which shows the mountainous vs. the flat profile contours at the backside of materials, like the insides of tanks. Critical areas occur automatically, instead of random sampling with independent data points.

UT application software combines many types of input/output (I/O) analysis algorithms and presentation techniques to form one software interface. The application software can be separated into three basic parts: acquisition/control, analysis, and presentation.

Jedan od najvažnijih trendova u ispitivanju bez razaranja (NDT), a naročito UT, je potpuna automatizacija ispitivanja. Ona ne podrazumeva samo automatizaciju sakupljanja podataka i prikazivanja, već i automatizaciju ocene prolazi/ne prolazi za svaki pojedinačan objekt UT. Zadavanje kriterijuma za prihvatanje/odbacivanje za A, B i C-sliku povećava statističku tačnost i u velikoj meri isključuje subjektivnost koja je obično prisutna kod NDT. Metod koji se može koristiti za C-sliku je analiza mrlja. Ova analiza omogućava da se analiziraju objekti na C-slici i izvrši njihova klasifikacija prema veličini, položaju i broju.

Za kreiranje C-slike se koristi LabVIEW firme National Instruments. To je moćno okruženje za razvoj grafike, za prikupljanje signala, analizu merenja i prikazivanje podataka.

ISPITIVANJE SA A-SLIKOM

Impulsi na A-slici pri merenjima udaljenosti ili debljine se prikazuju na ekranu defektoskopa sa horizontalnom osom za prikaz rastojanja i vertikalnom osom za prikaz amplitude signala. Kako se koristi sonda za talase sabijanja i ugao 0° , horizontalna osa je ekvivalentna dubini merenoj od ispitne površine. Kada je sonda postavljena na površini komponente, dolazi do odbijanja talasa sa udaljenosti koja odgovara debljini komponente u toj tački. Korišćenje prikaza sa A-slikom omogućava operateru da lako razlikuje signale koji potiču od grešaka u ploči i uobičajeni odziv od naspramne površine. Praćenjem dinamike eha na A-slici moguća je karakterizacija indikacija /2/ i otkrivanje prisustva piting korozije. Ona se koristi i za ispitivanje osnovnog metala na uključke i laminarne greške na posudama pod pritiskom, cevovodima, rezervoarima i brodovima.

Ugaone sonde za poprečne talase se obično koriste za ručno ultrazvučno ispitivanje zavarenih spojeva feritnih čelika, jer jedino one omogućuju da se ultrazvuk usmeri u zavareni spoj sa postojećim nadvišenjem, sl. 1 levo. Dobljena A-slika i trenutni položaji sonde 1, 2 i 3 su prikazani na sl. 1 desno. Vertikalno orijentisane ravanske greške mogu da budu poseban problem za detekciju pomoću ugaone sonde u impulsnoj-eho tehnici. Varijanta poprečnih ultrazvučnih talasa pod uglom, tandem tehnika, obično se koristi za otkrivanje vertikalnih grešaka u debelim presecima komponenata. Zavareni spojevi finozrnih metalnih materijala se ispituju sondama za poprečne talase.

Ispitivanje zavarenih spojeva sa A-slikom je efikasno za većinu proizvodnih grešaka (nedostatak vezivanja na strani zavera ili u korenu, neprovar u korenu, poroznost, hladne prsline), kao i eksploatacijskih grešaka (prsline od zamora i naponske korozije). Ono se koristi za ispitivanje zavarenih spojeva feritnih i neferitnih metala na posudama pod pritiskom, cevovodima, rezervoarima, mostovima /3/.

Pomoću standardnih ultrazvučnih sonda za merenje debljine impulsnom eho tehnikom i ispitivanje zavarenog spoja davačem položaja sonde i odgovarajućim softverom mogu da se generišu slike grešaka i sačuvaju u memoriji uređaja. Sistemi za vizuelizaciju omogućavaju ispitivanja visoke ponovljivosti i mogu da pokažu stepen prekrivanja pri vođenju sonde. Zahvaljujući mogućnosti memorisanja podataka, ponovljena ispitivanja mogu da se upoređuju.

One of the main trends in nondestructive testing (NDT), and UT in particular, is full automation of test. Automation not only includes automation of the data collection and presentation, but also includes automation of pass/fail for any particular object of UT. Setting pass/fail templates for A, B and C-scans increases statistical accuracy and eliminates much of the subjectivity that is commonly found when performing NDT. One such method that can be used on C-scans is blob analysis. Blob analysis allows to analyze objects in C-scan image and classify objects according to size, location, and quantity.

National Instruments LabVIEW creates a C-scan. It is a powerful graphical development environment for signal acquisition, measurement analysis, and data presentation.

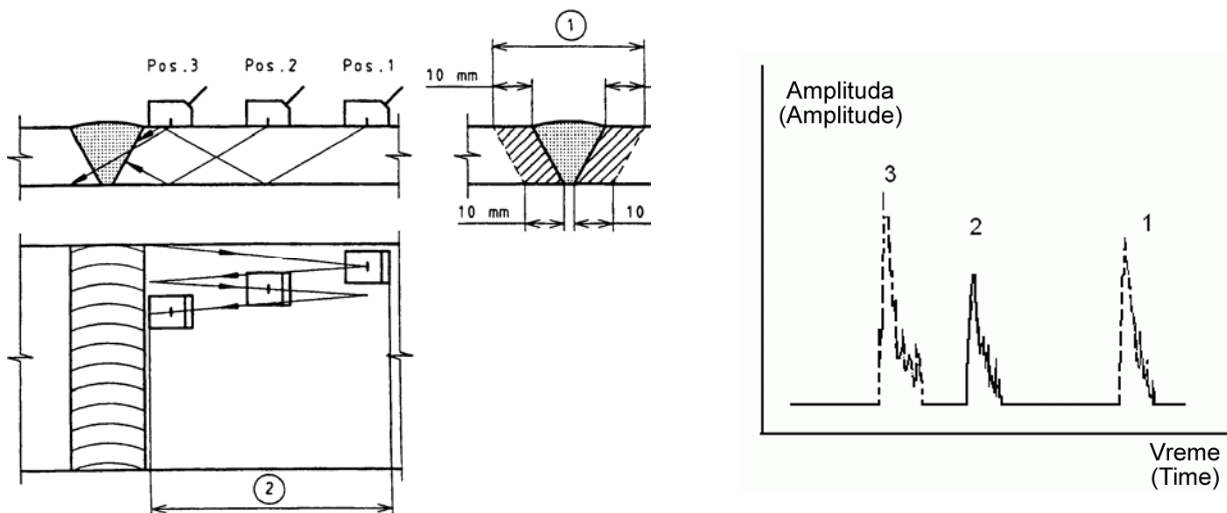
TESTING WITH A-SCAN

Signals in A-scan for distance or thickness measurements are displayed on the detector screen in which the horizontal axis represents distance and the vertical – signal amplitude. Since a 0° compression wave probe is used, the horizontal axis is equivalent to the depth from the scanning surface. When the probe is placed on the surface of the component, wave reflection occurs at a range corresponding to the component thickness at this point. The use of an A-scan display allows the operator to distinguish easily between signals originating from embedded plate flaws and the nominal back wall response. Observing the dynamics of the echo on the A-scan display, the characterization of indications is possible /2/ and detection of pitting corrosion. It is also used for inspection of parent material for inclusions and laminar defects on pressure vessels, pipelines, storage tanks and ship hulls.

Slant beam shear wave probes are commonly used for manual ultrasonic tests of welded joints in ferritic steels, as these provide the only way to direct ultrasound into the welded joint with an overfill, Fig. 1, left. Obtained A-scan and instantaneous probe positions 1, 2 and 3 are presented in Fig. 1, right. Vertically orientated planar flaws can be a particular problem for detection using a slant probe in pulse-echo techniques. The alternative to slant shear wave ultrasonic, the tandem technique, is normally used for detection of vertical flaws in components of thick sections. Shear wave probes are used for examining welded joints in fine grained metallic materials.

Welded joint testing with A-scan is effective for most manufacturing defects (lack of sidewall fusion, lack of root fusion, lack of root penetration, porosity, cold cracking) as well as in-service flaws (cracking by fatigue and stress corrosion). It is applied for inspection of welded joints made of both ferritic and non-ferritic metals in pressure vessels, pipelines, storage tanks, bridge structures /3/.

By using standard ultrasonic probes for thickness measurement by pulse-echo method and welded joint inspection with a position encoded scanner device and appropriate software, images of flaws can be generated and electronically saved. Imaging systems provide a highly reproducible inspection and can show the extent of scan coverage. Since they store data, they may be used for comparison with any repeated inspection.



Slika 1. Šema ultrazvučnog ispitivanja zavarenog spoja (levo) i A-slika (desno)

⊙ – Širina ispitne zone, ⊚ – Ispitna površina. Pikovi amplituda odgovaraju položajima 1; 2 i 3

Figure 1. The layout of ultrasonic testing of a welded joint (left) and the A-scan (right).

⊙ – The test zone width, ⊚ – The test surface. Amplitude peaks correspond to positions 1; 2 and 3.

ISPITIVANJE SA A, B I C-SLIKOM

Za vreme pomeranja sonde, memorišu se signali sa A-slike i položaji sonde kao uređeni parovi podataka za dati pravac skeniranja, opseg i ugao sonde. Oni su uređeni u matricnoj formi u memoriji i mogu se pozvati iz nekog reda matrice definisanog za podužni pravac skeniranja, ili iz neke kolone matrice pridružene nekom normalnom pravcu, i naneti u pravougloj sistemu koordinata položaj sonde – amplituda signala za izabran pravac skeniranja.

Zadani parametri kao brzina u materijalu i uglovi snopa se koriste zajedno sa podacima o položaju sonde za automatizovano prikazivanje odziva greške na određenom mestu na gornjoj površini ispitnog komada, sa strane i na kraju komada, čime se dobija prikaz ispitane zapremine materijala. Na tržištu ima puno različitih sistema koji mogu da daju dvodimenzionalne ili trodimenzionalne prikaze.

Prikaz poprečnog preseka zavarenog spoja dat u pravcu skeniranja se normalno predstavlja B-slikom, dok je izgled sa strane prikaz po dužini i uzet je u pravcu pomeranja izlazne tačke sonde koji je normalan na pravac skeniranja; B-slika se normalno zahteva na mestu najveće dimenzije greške u pravcu debljine čime se dobija ocena preostalog ligamenta i visine greške.

Drugi naziv za sliku izgleda odozgo je C-slika. C-slika se dobija projekcijom geometrije indikacije u objektu UT na horizontalnu ravan. C-slika otkriva položaje indikacija u x-pravcu i y-pravcu i dužine indikacija. C-slika je slična standardnom radiografskom filmu.

Ovde je primenjena važna mogućnost LabVIEW da on povezuje upravljače kretanja i pogonske elemente sa servo, stepenastim pokretačima i pokretačima na bazi piezoelektra.

Zavisno od izabrane vrste rada, amplituda signala ili njen opseg mogu da se prikažu na slici različitim bojama. Druga od ovih mogućnosti se primenjuje kod automatizovanog mapiranja korozije gde se pomoću kursora na ekranu može dobiti debljina u ma kojoj tački ili preseku.

TESTING WITH A, B AND C-SCAN

As the probe is moved, A-Scan signals and probe positions are recorded as registered data pairs for given scan direction, range and probe angle. They are arranged in matrix form when stored and can be recalled from some matrix row defined for a longitudinal scan direction or from matrix column associated to some perpendicular direction, and indicated in rectangular system as coordinates probe position vs. signal amplitude for selected scan direction.

Programmed parameters such as velocity in material and beam angles are used in conjunction with probe position data for automatic presentation of flaw responses in the defined position on the specimen top, side, and at the end, enabling images which show the volume of inspected material. Many different systems are commercially available, offering two or three dimensional images.

Transverse cross section through a welded joint taken in the scanning direction is normally presented by B-scan, whereas the side image is a longitudinal view taken in the index direction which is orthogonal to the scanning direction; B-scan is normally acquired in flaw maximum size position in wall thickness direction, providing an estimate of both remaining ligament and flaw height.

Another name for a top view image is C-scan. The C-scan image is created from the projection of the indication geometry of the UT object on the horizontal plane. The C-scan image reveals x- and y-position, and indication lengths. The C-scan image is similar to standard radiographic film.

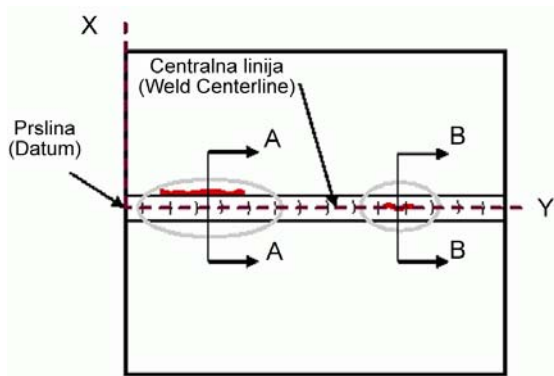
Here, an important feature of LabVIEW is applied that integrates with motion controllers and power drives for connecting to servo, stepper, and piezo-based actuators.

Depending on the selected mode of operation, signal amplitude or range can be presented by different colours on the image. The latter case is used for automated corrosion mapping where on-screen cursors can be used to show the thickness at any point or cross-section.

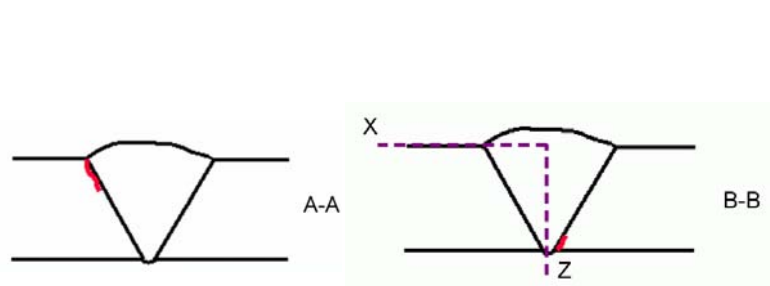
Ispitivanje sa C-slikom je podesno za greške nastale u proizvodnji (nedostatak vezivanja u strani šava, neprovar u korenu, poroznost), greške u eksploataciji (zamorne prsline, prsline usled naponske korozije, korozija, erozija) i greške osnovnog metala (uključici i laminarne greške), /4/.

ILUSTRACIJA ISPITIVANJA ZAVARENOG SPOJA

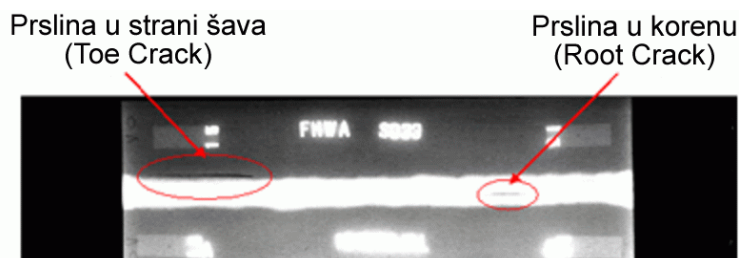
Za ilustraciju ispitivanja zavarenog spoja razmotriće se laboratorijski uzorak S033 (sl. 2a). Zavarena ploča debljine 12,7 mm ima dve unete prsline: jednu u podnožju šava i drugu u korenu šava (sl. 2b). Izgled ovih prsline na standardnom radiogramu je prikazan na sl. 3, /5/.



Slika 2a. Laboratorijski uzorak S033: shematski prikaz dve unete prsline
 Figure 2a. The laboratory specimen S033: schematic presentation of two implanted cracks.



Slika 2b. Laboratorijski uzorak S033: shematski izgledi prsline u podnožju šava (levo) i u korenu (desno)
 Figure 2b. The laboratory specimen S033: schematic presentation of toe crack (left) and of root crack (right).



Slika 3. Radiografski snimak uzorka S033 sa dve unete prsline, /5/
 Figure 3. Radiographic image of two implanted cracks, /5/.

Sistem sa P-prikazom pravi i prikazuje geometriju indikacije u tri ravni. Prikaz uzorka S033 dobijen ispitivanjem P-sistemom dat je na sl. 4 i 5.

Kumulativna B-slika prikazuje izgled sa kraja zavarenog spoja (D-prikaz) dobijen od projekcije geometrije indikacije u šavu na vertikalnu ravan normalnu na središnju osu zavarenog spoja. Puna linija prikazuje kosu granicu šava. Slika otkriva orijentaciju indikacija i označena je kao B-slika na sl. 4, levo.

Izgled sa strane se formira od projekcije geometrije indikacije na vertikalnu ravan duž središnje ose zavarenog spoja. On otkriva dubinu indikacija.

Donja dva prikaza na sl. 4 i 5 pokazuju amplitudu eha koji je detektovao pretvarač, izraženu u decibelima. Pozitivne vrednosti decibela (+dB) na sl. 4 i 5 znače da su ehoi indikacija prešli referentni kalibracioni nivo. Obrnuto, negativna vrednost (-dB) znači da su ehoi indikacija ispod tog nivoa.

Testing with C-scan is suitable for manufacturing flaws (lack of sidewall fusion, lack of root penetration, porosity), in-service flaws (fatigue cracking, stress corrosion cracking, corrosion, erosion) and parent material flaws (inclusions and laminations), /4/.

ILLUSTRATION OF A WELDED JOINT TEST

To illustrate welded joint testing, a laboratory specimen S033 will be considered (Fig. 2a). Welded plates 12.7 mm thick contain two implanted cracks: one in the weld toe and another in weld root (Fig. 2b). The appearance of these cracks on standard radiogram is shown in Fig. 3, /5/.

The system with P-scan creates and displays the indication geometry in three planes. The image of S033 specimen created by P-scan system testing is given in Figs. 4 and 5.

The cumulative B-scan presents an end-view image (D-scan) created from the projection of the indication geometry in the welded joint onto the vertical plane perpendicular to the welded joint centreline. The solid line represents the weld bevels. The image reveals the orientation of the indications and is denoted as B-Scan in Fig. 4, left.

The side view image is created from the projection of the indication geometry onto the vertical plane along the weld centreline. It reveals the depth of the indications.

The bottom two images in Figs. 4 and 5 display the echo amplitude detected by the transducer in decibels. The positive decibel (+dB) readings in Figs. 4 and 5 indicate that the echoes from the indications have exceeded the calibration reference level. Conversely, negative decibel (-dB) readings indicate that the echoes are below this level.

Horizontalna linija označena kao nivo praga za sliku je postavljena jedino kao kriterijum za izgled slike sistema sa P-slikom. Sve ehoe koji prelaze ovu liniju LabVIEW prikazuje obojenim pikselima u tri projekcije (tj. C-slika, B-slika i izgled sa strane). Nivo praga za sliku je načelno izabran prema debljini ploče i kriterijumu za UT prihvatanje-odbacivanje. Polja sa bojama na sl. 4 i 5 pridružuju nivo u decibelima određenoj boji pri čemu crvena boja označava najveću amplitudu. Razlika je u načinu predstavljanja: sl. 4 ima logaritamsku razmeru, dok je na sl. 5 linearna razmera.

Slika 4 daje P-prikaze dobijene u toku skeniranja. Logaritamska razmera je izabrana u toku skeniranja, a linearna posle skeniranja. Logaritamska razmera može da prikaže širok opseg amplitude eha, a linearna samo jednu amplitudu, npr. 20 dB. Sa logaritamskom razmerom nivo praga za sliku može da se umanja tako da ehovi male amplitude koje prima pretvarač obrazuju prekrivač sastavljen od obojenih tačkica na sivoj pozadini. Primena logaritamske razmere obezbeđuje potpuno ispitivanje šava sa neobojenim područjem koje je propušteno ili nije ispitano. Ovo se vidi na desnom kraju C-prikaza i izgledu sa strane na sl. 4. Neobojene površine treba ispitati. Treba istaći da C-slika čuva podatak o najvećoj amplitudi eha čak i ako se ispitivanje obavi više puta u istoj tački ili istom području.

Čim je ispitivanje završeno, prikupljeni podaci se mogu prikazati u linearnoj razmeri (sl. 5) na kojoj su jedino indikacije osvetljene, dok su područja zavarenog spoja bez indikacija prikazana kao siva pozadina.

Ocena indikacija u šavu i njihove dimenzije mogu da se odrede pomoću markacionih linija na P-slikama. Ocena indikacije je očitana vrednost u decibelima u odnosu referentni nulti nivo, umanjena za slabljenje zvuka. Profil amplitude na sl. 6 pokazuje da su izvan ekrana najveće amplitude od prslina u strani šava i u korenu. Ocena indikacije se dobija sa profila amplitude postavljanjem pune horizontalne markacione linije preko najveće amplitude dobijene od greške. Vrednost u decibelima za ocenu indikacije tada se pojavljuje u markacionom prozoru P-slike.

Položaj greške po x-osi meri se od ose šava, dok se y-koordinata meri u odnosu na repnu tačku, sl. 2a. Dužina greške i y-koordinata se određuju pomeranjem horizontalnog markera označenog tačkama do nivoa 50% najveće amplitude kao što je pokazano na sl. 6. Zatim se vertikalni markeri izvučeni punom i tačkastom linijom pomere do preseka sa horizontalnim tačkastim markerom i profilom amplitude prslina u korenu. Brojna vrednost y-koordinate i dužina prslina u korenu su pokazani na markacionom prozoru kao Y i DY, respektivno. Slično, dubina (Z) i x-koordinata prslina u korenu se određuju pomoću markera u prikazu sa strane i na C-slici, respektivno.

Ocene indikacija kod automatizovanog UT (AUT) i klasičnog UT su analogne; međutim, u praksi, one se izvođe različito. Razlike između AUT i UT sistema potiču od različitih koncepata pojačavanja signala: AUT sistemi imaju ugrađene logaritamske pojačavače, a UT sistemi imaju ručnu kontrolu pojačavanja tako da operator može da povećava ili smanjuje energiju primljenog eha. Ova razlika u izvedbi hardvera daje slične rezultate, ali se prikaz razlikuje od sistema do sistema.

The horizontal line marked as threshold level for imaging is set up solely for imaging purposes by the P-scan system. LabVIEW will create coloured pixels in the three projection images (i.e. C-scan, B-scan, and side view) for any echoes crossing this line. The threshold level for imaging is generally selected based on plate thickness and the UT acceptance-rejection criterion. The colour bars in Figs. 4 and 5 associate decibel levels to specific red colour for highest amplitude. It differs in imaging scale: in Fig. 4 it is logarithmic, while in Fig. 5 it is linear.

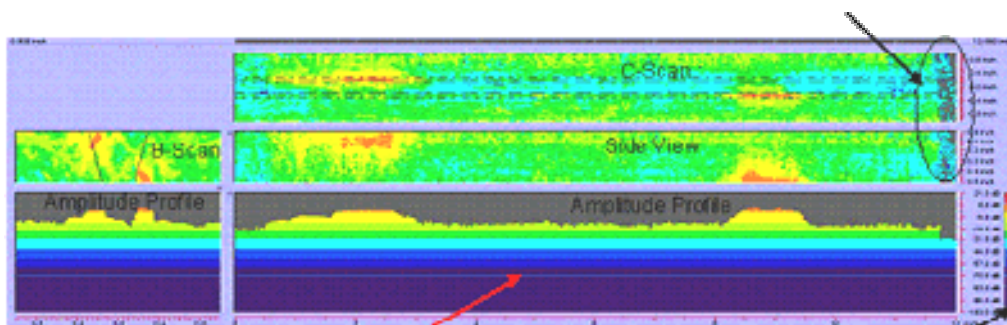
Figure 4 shows P-images created during scanning. The logarithmic scale is selected during scanning, and the linear scale after scanning. The logarithmic scale can display a wide range of echo amplitudes, while the linear scale only one echo amplitude range, say 20 dB. In the logarithmic scale the threshold level for image can be lowered so that smaller amplitude echoes received by the transducer create a carpet of coloured pixels over the gray background. The use of logarithmic scale ensures full inspection coverage of the weld with noncoloured regions missed or not inspected. This is shown at the right end of C-scan and side view in Fig. 4. Uncoloured areas should be scanned. It is to note that C-scan saves the highest echo amplitude even if the same point or region is scanned several times.

Once scanning of the weld is complete, the collected data can be displayed in linear scale (Fig. 5) with only highlighted indications, while welded joint regions without indications are displayed on the gray background.

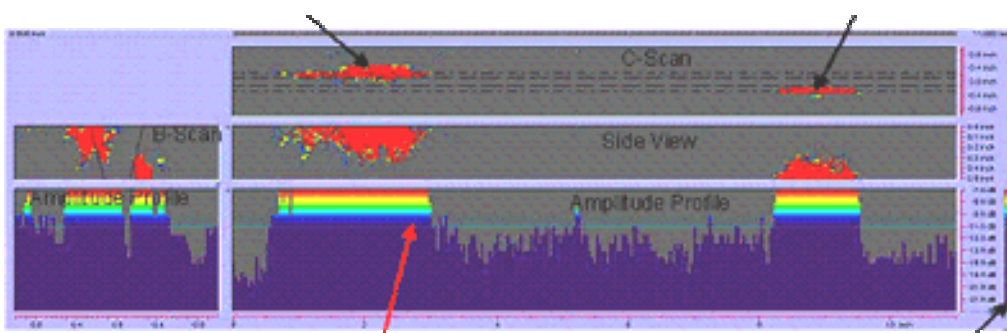
The indication rating and their dimensions in the weld can be determined using marker lines in the P-scan images. The indication rating is the decibel reading relative to the zero reference level, reduced for sound attenuation. The amplitude profile in Fig. 6 shows that peak amplitudes from the root and toe cracks are off screen. The indication rating is read from the amplitude profile by placing the solid horizontal marker line on the peak amplitude obtained from the defect. The decibel value for indication rating appears in P-scan marker window.

The x-position of the defect is measured from the weld axis, while the y-coordinate is measured in respect to the datum, Fig. 2a. The defect length and y-coordinate are determined by moving the horizontal dotted marker to the 50% drop in the maximal amplitude, as shown in Fig. 6. Then, the solid and dotted vertical markers are moved to the intersection of the horizontal dotted marker and the amplitude profile of the root crack. The numerical value for the y-coordinate and the root crack length appear on the marker window as Y and DY, respectively. Similarly, the depth (Z) and the x-coordinate of the root crack are determined using markers in the side view and C-scan, respectively.

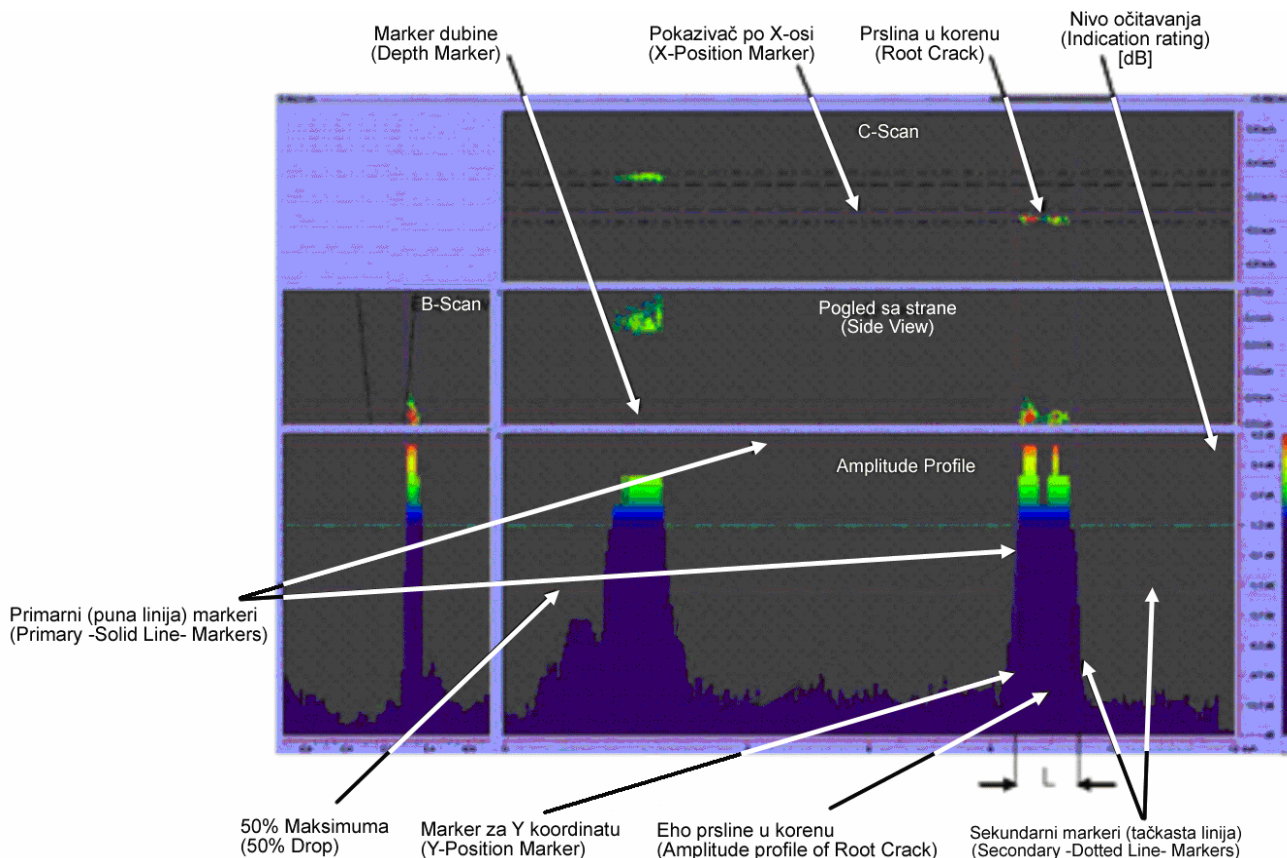
Indication ratings in automatic UT (AUT) and classical UT are analogous; however, in practice, they are executed differently. Differences between AUT and UT systems stem from different signal amplification concepts: AUT systems have built-in logarithmic amplifiers, and classical UT systems have manual gain control where the operator may increase or decrease energy of the received echo. This difference in hardware design creates similar outputs, but displays the output differently for each system.



Slika 4. P-snimci uzorka S033 u logaritamskoj razmeri za detaljno ispitivanje zavarenog spoja /5/
 Figure 4. P-scan images of specimen S033 in logarithmic scale for full coverage of the welded joint /5/.



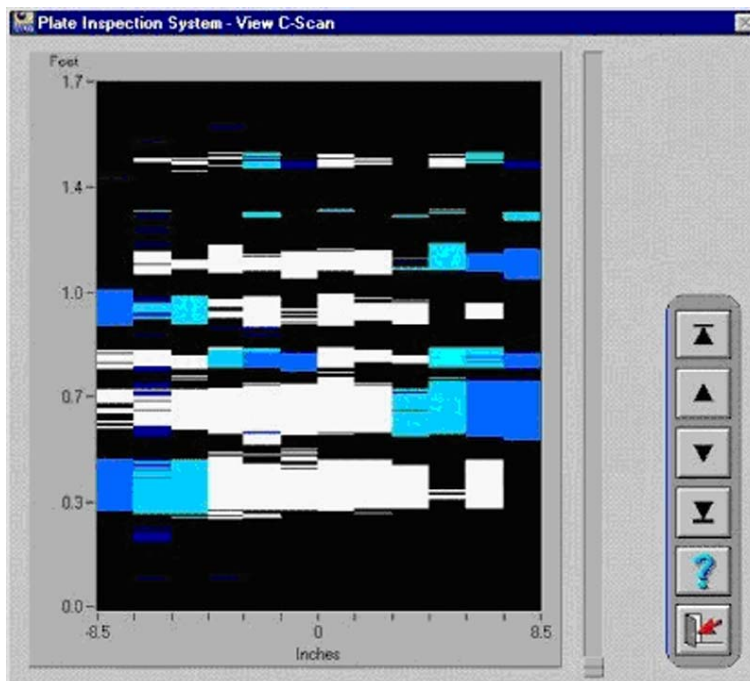
Slika 5. P-snimci uzorka S033 u linearnoj razmeri posle skeniranja (osvetljene su samo indikacije u šavu)
 Figure 5. P-scan images of specimen S033 in linear scale after scanning (only the indications in colour are highlighted).



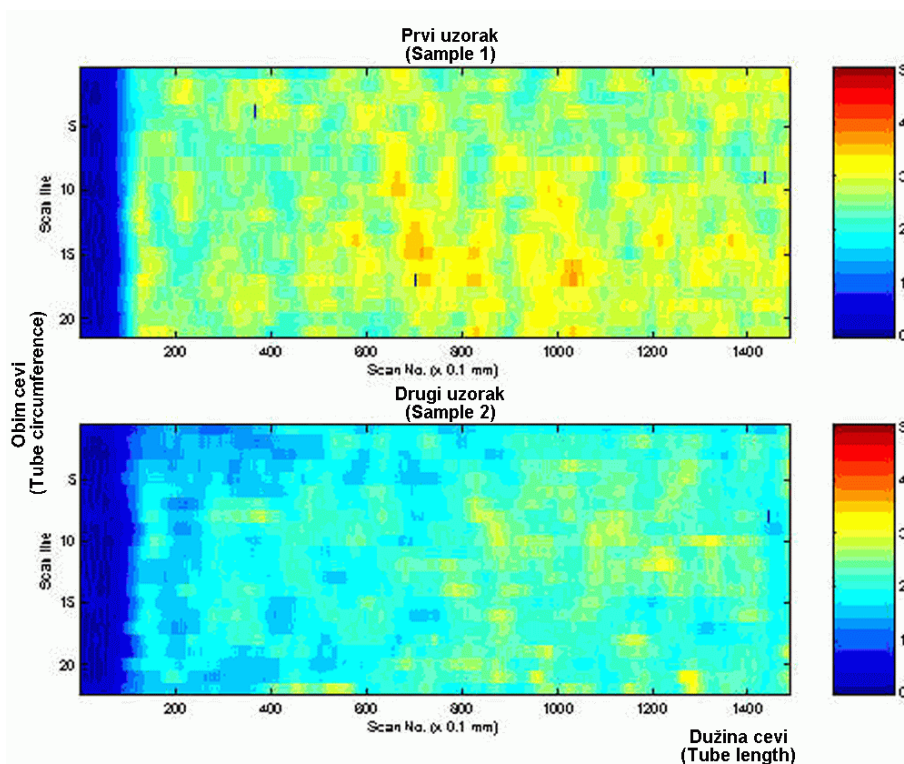
Slika 6. Šema određivanja veličine greške pomoću sistema sa P-slikom za prslinu u korenu u uzorku S033
 Figure 6. Scheme of flaw size determination using P-scan image for root crack in specimen S033.

Često se primenjuju dve vrste nezavisnih alarmnih sistema. DEFECT alarm ukazuje da je signal na jednom od kanala prešao unapred zadani nivo. Drugi, BACKWALL, pokazuje da je iz bilo kog razloga izostao signal naspramne površine. Tipična C-slika dobijena na ploči pomoću ispitnog softvera pokazana je na sl. 7.

Two separate alarms are often provided. DEFECT alarm indicates that a channel has exceeded the preset threshold. The other, BACKWALL, indicates that there is a loss, for whatever reason, of the back wall signal. A typical C-scan from the plate testing software is shown in Fig. 7.



Slika 7. C-slika dobijena ispitivanjem čelične ploče
Figure 7. A C-scan obtained at a steel plate testing.



Slika 8. C-slika uzoraka 1 (gore) i 2 (dole): prikaz najveće amplitude (materijal: HP micro, sonda: 1,5 MHz), /6/
Figure 8. C-scan of samples 1 (top) and 2 (bottom): maximal amplitude representation (material: HP micro, probe: 1.5 MHz), /6/.

ISPITIVANJE SPECIJALNIH MATERIJALA

Mapiranje korozije je česta primena C-slike. Ona može da otkrije rđu u cevima, rezervoarima i posudama pod pritiskom i da prikaže zone oštećene korozijom u metalnim ili kompozitnim rezervoarima, bez da se operater izloži riziku izlaganja opasnim hemikalijama. Mapiranje znači da ručnim ili mehanizovanim vođenjem sonde podatke dobijene o indikacijama memoriše ili prikazuje kao mapu ispitanu površine sa zonama smanjene debljine obojene različitim bojama zavisno od izmerene debljine. Primer ispitivanja je opisan niže.

Sadašnje ispitne tehnike ne daju pouzdane podatke, pri čemu je uklanjanje cevi iz eksploatacije vrlo konzervativna mera ili se događa neočekivano pucanje cevi. Razlog je što se uobičajene ultrazvučne tehnike zasnivaju na analizi amplitude dobijenog ultrazvučnog signala. Zbog grube strukture materijala (legure na bazi nikla), ovo daje kvalitativnu ocenu, a ponekad i nepouzdanu rezultate. Reformer su kritični za mnoge procese u rafinerijskim i hemijskim postrojenjima. Vek katalitičkih cevi, koje se usijaju pri radu, je ograničen puzanjem izazvanim kombinacijom napona od unutrašnjeg pritiska i termičkih napona po preseku zida cevi usled promena režima rada. Zbog grube, korodirane površine reformerskih cevi, treba primeniti beskontaktnu tehniku ili sonde takve konstrukcije da omogućuće lokalnu imerzionu tehniku i ispitivanje podužnim talasima.

Dva ispitana uzorka izrađena od legure HP ilustruju rezultate dobijene C-slikom: uzorak 1 dao je amplitude ultrazvučnog signala za 10 dB veće nego uzorak 2, jer je njegova struktura manje oštećena. Slika 8 pokazuje raspodelu amplituda UT signala: amplitude na uzorku 2 su manje zbog većeg slabljenja i dominantna boja je plava, dok je za uzorak 1 preovlađujuća boja žuta. C-slika ima X-osu u pravcu dužine cevi i Y-osu po obimu cevi. Mada je dužina uzoraka za laboratorijska ispitivanja mala (do 300 mm) u odnosu na ukupnu dužinu cevi (10-15 m), ona pruža dobar dokaz razlika između dva uzorka, /6/.

Novi materijali zahtevaju odgovarajuće tehnike ispitivanja. Ovo je slučaj kompozita za koje je ispitivanje sa C-slikom veoma podesno. Tehnika ispitivanja koristi kratke impulse ultrazvučne energije koji se predaju uzorku. Merenje primljenog impulsa pokazuje slabljenje ulaznog impulsa u uzorku. Na slabljenje ovog impulsa utiču šupljine, laminarne greške, stanje osušene smole, zapreminski udeo vlakana, stanje spoja vlakno/matrica i uključci.

Analiza u industriji koju je uradila Nacionalna laboratorija za fiziku (NPL) otkrila je zabrinutost proizvođača zbog činjenice da su nedostajale opšte prihvaćene procedure za UT sa C-slikom za konstrukcije od kompozita ojačanih vlaknima koje bi bile u skladu sa svim zahtevima kupaca. Ispitne procedure raznih kupaca su se značajno razlikovale. Prelazak s jednog sistema na drugi je rezultirao u povećanju proizvodnih troškova. Podaci dobijeni na raznim mestima nisu se mogli neposredno upoređivati.

Odzivajući se ovim potrebama industrije, NPL je inicirao istraživački program „Standardne procedure za ultrazvučno ispitivanje kompozita sa polimernom matricom“. Program koji je trajao nekoliko godina, zamišljen je tako da identifikuje i razvije standardne procedure za UT konstrukcija od kompozitnih materijala, /7/.

TESTING SPECIAL MATERIALS

Corrosion mapping is a frequent C-scan application. It can find rust in pipes, storage tanks and pressure vessels and can map for corrosion in metal or composite storage containers without putting the operator at risk of hazardous chemicals. The mapping means that scanning by hand or mechanised gives indications stored and represented as a map of the examined surface with zones of reduced thickness filled with different colours, dependent on measured thickness. A testing example is described below.

Modern inspection techniques produce unreliable results, and removing tubes from service is a very conservative precaution, or unexpected tube ruptures occur. The reason is that commonly used ultrasonic methods rely on the analysis of ultrasonic amplitude of the received signal. Due to the material coarse structure (nickel-based alloys), this produces qualitative assessment and in occasions, unreliable results. Reformer units are critical to many processes in refining and chemical plants. Life of radiant catalyst tubes is limited by creep, driven by a combination of internal pressure stress and through-wall thermal stresses generated by operational transients. Due to the rough corroded surface of reformer tubes, contactless techniques should be applied or probes with a design enabling local immersion technique using compression wave probes.

Two tested samples made of HP alloy illustrate results provided by C-scan: sample 1 gives amplitudes of ultrasonic signal 10 dB higher than sample 2, because its structure is less damaged. Figure 8 shows the UT signal amplitude distribution: in sample 2 amplitudes are lower due to higher attenuation and the dominant colour is blue, while for sample 1 the prevailing colour is yellow. C-scan has an X-axis for tube length and Y-axis for tube circumference. Although the length of the lab trial sample is small (up to 300 mm) compared to the total tube length (10-15 m), it is a valid evidence of the differences between two samples, /6/.

New materials require adequate testing techniques. This is the case of composites which can be well tested using C-scan. The inspection technique for composites uses a short pulse of ultrasonic energy incident on a sample. Measurement of the received pulse indicates attenuation of the incident pulse by sample. The pulse attenuation is affected by voids, delaminations, resin cure state, fibre volume fraction, the condition of the fibre/matrix interface and inclusions.

An industrial survey by the National Physical Laboratory (NPL) revealed a common concern of manufacturers that there were no universally accepted procedures for UT C-scan inspection of structures made of fibre-reinforced composites that would meet the requirements of all customers. Inspection procedures differed quite considerably between customers. The resulting time loss in changing from one system to another adds to manufacturing costs. Data obtained at different sites could not be compared directly.

In response to this industrial need, the research programme “Standardised Procedures for Ultrasonic Inspection of Polymer Matrix Composites” was initiated by the NPL. The programme which ran some years, was designed to identify and develop standardised procedures for the UT of structures made of composite materials, /7/.

Glavni cilj programa bio je da se omogući svrsishodna i sledljiva primena tehnike sa C-slikom na pravilnoj osnovi. Projekat je prihvatilo i pomoglo Ministarstvo za trgovinu i industriju (DTI) Ujedinjenog Kraljevstva (UK) na inicijativu Istraživanja i razvoja za komercijalno vazduhoplovstvo (CARAD). Program je vodio Centar za merenje i tehnologiju materijala u NPL a pomogli su ga Centar za mehaničku i akustičku metrologiju u NPL i Agencija za odbrambene ocene i istraživanje (DERA) u Farnborou.

Veći broj podataka dobijen je od Savetodavne grupe za industriju (IAG) koja se sastoji od 15 korisnika ove tehnike i 3 proizvođača opreme. Rad je bio usmeren na razvoj tri radne procedure, koje su se odnosile na korišćenje opreme sa C-slikom, kalibraciju sondi i pripremu referentnih grešaka i referentnih panela. Za ilustraciju se dodaje da je dalju finansijsku podršku pružilo Odeljenje za inženjerstvo u industriji (DTI) za sprovođenje nacionalnih (Faza 1) i međunarodnih (Faza 2) round-robin eksperimentalnih ispitivanja radi provere radnih procedura i procedura za kalibraciju sondi. Nekoliko drugih istraživačkih radova se nastavljaju.

SISTEMI ZA C-SLIKU

Jedan od sistema za A, B i C-sliku koji se pokazao pogodnim u ispitivanju postrojenja u industriji nafte i gasa, hemijskoj i proizvodnji energije je $\mu+$ ultrazvučni sistem. On se sastoji od PC računara visokih performansi, radnog stola, nosača, prenosive (laptop) i grube prenosive konfiguracije, sl. 9. Sistem $\mu+$ je kompatibilan sa brojnim servo i stepenastim motorima za pokretanje manipulatora, uključujući povratnu spregu za inkrementalno kodirano zadavanje položaja, kao i niz standardnih skenera (sondi).

Grafički prikazi korozije ili erozije u realnom vremenu u boji se mogu dobiti pomoću ručnog ili AUT. Brzine ispitivanja od 2 do 4 m/min moguće je postići sa sadržajnim D-prikazom podataka u realnom vremenu za laku i kvantitativnu interpretaciju.

Drugi sistem je namenjen samo za ispitivanje cevovoda. Zavareni spojevi australijskog gasovoda su umesto radiografijom u celini spolja ispitani AUT pomoću RTD Rotoscan sistema, na četiri deonice prečnika 400 mm i debljine zida od 6,6 do 8,8 mm. U toku izrade ispitano je 640.000 obimskih zavarenih spojeva na više od 8.000 km cevovoda. Dobre karakteristike sistema su, /8/:

- trenutno (onlajn) prikazivanje rezultata,
- neposredan uticaj na kvalitet zavarenih spojeva kako bi se smanjio obim popravki,
- velika brzina ispitivanja – 350 zavarenih spojeva dnevno,
- ne ometa i ne prekida rad susednih radnika na cevovodu,
- kriterijumi prihvatljivosti mogu se podesiti tako da se zadovolje zahtevi naručioca,
- može se prilagoditi većini priprema žleba za procese ručnog zavarivanja (SMAW) ili zavarivanja u zaštitu gasom (GMAW).

Kao primer za Rotoscan sistem na sl. 10 je pokazan skener za velike prečnike (300 mm i više) montiran na nosaču. On se vodi duž ivice cevi i potrebno ga je postaviti pre nego što počne ispitivanje. Okvir za skeniranje može brzo da se zameni, za manje od 5 minuta.

The main objective of the programme was to enable use of C-scan techniques on a sound and traceable basis. The project sponsored by the Department of Trade and Industry (DTI), United Kingdom (UK) under Commercial Aircraft Research and Development (CARAD) initiative. The programme was lead by Centre for Materials Measurement and Technology at NPL and supported by both the Centre for Mechanical and Acoustical Metrology at NPL and Defence Evaluation and Research Agency (DERA) at Farnborough.

A major input was obtained from an Industrial Advisory Group (IAG) consisting of 15 users of the technique and 3 equipment manufacturers. The work lead to the development of three working draft procedures; covering the operation of C-scan equipment, transducer calibration and preparation of reference defects and reference panels. For illustration, it is added that further financial support has been provided by Engineering Industries Division (DTI) to conduct national (Phase 1) and international (Phase 2) round-robin validation exercises for operational and transducer calibration procedures. Some other research works are ongoing.

C-SCAN SYSTEMS

One of the well proven A, B and C-scan systems for inspection of plants in the oil and gas, chemical and power generating industries is $\mu+$ ultrasonic imaging system. It consists of a high performance PC computer, desktop, rack mount, portable (laptop) and rugged portable configurations, Fig. 9. System $\mu+$ is compatible with a range of servo and stepper motor powered manipulators incorporating incrementally encoded positional feedback, including a set of standard scanners (probes).

Real time colour graphic images of corrosion or erosion can be achieved by use of either manual or AUT. Inspection speeds between 2 and 4 m/min can be achieved with real time meaningful D-scan data presentation for easy and quantifiable interpretation.

The other system is intended only for pipeline inspection. In lieu of radiography, Welds of the Australian Gas Pipeline Looping had been fully AUT inspected from outside using RTD Rotoscan system, performed on 4 sections of 400 mm diameter and thicknesses 6.6 to 8.8 mm. During construction, 640 000 girth welded joints were inspected on more than 8 000 km of pipeline. Benefits of system are, /8/:

- instant online presentation of results,
- immediate effect on welded joints quality feedback in order to reduce the rate of repair,
- high-speed inspection – 350 welded joints per day,
- no delays or stoppages to adjacent pipeline workers,
- acceptance criteria can be adjusted to suit client requirements,
- can be accommodated to most bevel preparations for manual welding processes (SMAW) or gas shielded welding (GMAW).

As an example of the Rotoscan system, Fig. 10 shows the large diameter scanner (300 mm and up) mounted on a track. It is guided along on a pipe band and it needs to be mounted before inspection commences. The scan frame can be quickly exchanged and completed in less than 5 min.

Primenjen kompjuterizovan višekanalni ultrazvučni instrument može da se programira za kanale za predajnik i prijemnik 1–32, pojačanje od 0–80 dB (korak promene 1 dB), izbor zapisa izlaznih podataka između amplitude i/ili pređenog rastojanja, mapiranje, registruje difrakcija talasa sa vremena prolaza (TOFD), kontrolu kontakta, detekciju prve ili najveće amplitude u sekciji unutar blende (praga).

Kalibraciona ploča, izrađena od originalnog materijala za sekciju cevovoda koja se ispituje, ima veštačke greške kao što su rupe sa ravnim dnom i/ili zarezi, koji predstavljaju stvarne greške, sl. 11. Veštačke greške su unete u svaki sloj dobijen jednim prolazom pri zavarivanju. Ove ploče sa jednakim debljinama kao ispitivane sekcije cevovoda se nezavisno proveravaju pre upotrebe.

Rotoscan sistem raspolaže sa računarskim prikazom i čuvanjem podataka. Računar povezan sa ultrazvučnim uređajem digitalizuje signale što je bitno za dobro mapiranje na C-slici i korišćenje tehnike TOFD pomoću sistema.

Vestinghaus je razvio UTEC – kombinovani sistem za ispitivanje ultrazvukom i vrtložnim strujama koji koristi ultrazvučne pretvarače i obrtni namotaj u obliku palačinke (RPC) za detekciju vrtložnim strujama, /9/. Primena ove tehnike može da bude značajan korak u karakterizaciji indikacija detektovanih metodom vrtložnih struja za inženjersku analizu oštećenja i integriteta konstrukcije. Sonda UTEC ima četiri ispitna elementa u jednoj rotirajućoj jedinici. To su ultrazvučna sonda za merenje debljine i snimanje profila pomoću podužnih talasa učestanosti 15 MHz; ultrazvučna sonda za poprečne talase od 10 MHz sa uglom snopa 45° u odnosu na osu, podesna za otkrivanje obimskih grešaka; ultrazvučna sonda za poprečne talase od 10 MHz sa uglom snopa 45° u odnosu na cilindrični omotač, podesna za otkrivanje podužnih grešaka i konvencionalan RPC. Visoka rezolucija ultrazvučnih pretvarača čini UTEC veoma efikasnim sredstvom za karakterizaciju.

Sistem UTEC koristi dvoosnu potpunu kontrolu pomeranja servo motorom, elektronsko prikupljanje podataka o položaju i pozicioni mehanizam sa pužastim prenosom montiranim na ivici cevi sa visokom tačnošću pozicioniranja. Sistem uzima podatke u 360 tačaka po obimu cevi za svaki kanal sa podesivim korakom. Ultrazvučni podaci se prikazuju u kombinovanoj A, B, i C-slici, čime se dobija interfejs za intuitivnu analizu. Podaci za C-sliku mogu da budu amplituda ili vreme prolaza. Tipične primene uključuju rezoluciju ligamenata u velikim indikacijama za podršku analizi integriteta cevi, karakterizaciju morfologije degradacije, prepoznavanje razlika tehnika vrtložnih struja i identifikaciju geometrijskih uticaja kod ploča za oslonac i prelaze kod valjanja.

Oprema za C-sliku je smanjena poslednjih godina: džepni UT aparat firme NDT Automate (Princeton, Nju Džersi) je ručni aparat napajan iz baterije, nezavisan i potpun sistem za prikupljanje podataka za C-sliku, sl. 12 levo, /10/.

Zahvaljujući prenosivosti i jednostavnosti upotrebe, kao i omogućenoj A, B i C-slici, džepni UT sistem sa sondama za skeniranje ili drugim kompatibilnim uređajima istog proizvođača je podesan za ispitivanja na terenu. Ovo novo sredstvo može da radi kao potpuni sistem za C-sliku gde je otežano uvođenje gabaritne opreme kao što su automatizovane sonde za skeniranje.

The computerized multi-channel ultrasonic instrument applied has the programmable setting for transmitter and receiver channels 1–32, gain 0–80 dB (1 dB increment), recordable output data selection between amplitude and/or transit distance, mapping, time of flight diffraction (TOFD) technique and coupling control, detection of the first or the highest amplitude within the gated section (threshold).

A calibration plate made of an original piece of the pipeline material to be inspected is produced with artificial defects such as flat bottom holes and/or notches that represent actual flaws, Fig. 11. Artificial defects are introduced in each layer obtained by one welding pass. These plates of thicknesses equal to the tested pipeline section are independently checked prior to use.

The Rotoscan system incorporates computerized data presentation and storage. The onboard computer enables digitized ultrasonic signals which is essential for good C-scan mapping and the use of TOFD technique in the system.

Westinghouse developed UTEC – a combined Ultrasonic Test/Eddy Current inspection system that incorporates both ultrasonic transducers and eddy current Rotating Pancake Coil (RPC), /9/. Use of this technique can be a significant asset in characterizing indications detected during eddy current inspections for damage and structural integrity engineering analysis. The UTEC probe includes four inspection elements in a single rotating unit. They include a 15 MHz straight beam ultrasonic transducer for wall thickness measurements and profilometry; a 10 MHz, 45-degree axial aim shear wave transducer sensitive to circumferentially oriented defects; a 10 MHz, 45-degree circumferential aim shear wave transducer sensitive to axially oriented defects; and a conventional RPC. The high resolution provided by the ultrasonic transducers makes UTEC a very effective tool for characterization.

The UTEC system utilizes two-axis, full servo-motion control; pulse-on-position data acquisition; and a tubesheet mounted, ballscrew-driven end effectors to achieve high positional accuracy. The system captures data at 360 points per revolution for each channel at an adjustable pitch. Ultrasonic data are displayed in a combined A, B, and C-scan formats to provide interface for an intuitive analyst. C-scan data can be presented in either amplitude or transit time. Typical applications include resolution of ligaments in large indications to support tube integrity studies, characterization of degradation morphology, resolution of discrepancies between eddy current techniques and identification of geometric influences at support plates and roll transitions.

C-scan equipment is miniaturized in last few years: the pocket UT from NDT Automation (Princeton Junction, NJ) is a battery-operated, handheld, stand-alone, full C-scan data acquisition system, Fig. 12 left, /10/.

With its portability and ease of use, coupled with its full A, B and C-scan capability, the pocket UT system along with its available companion scanners or other compatible devices is suitable for in-situ inspection applications. This new tool can work as a full-scale C-scan system where bringing in large-scale equipment like automated scanners would be difficult.

Kotrljajući beskontaktni pretvarač sa dva elementa, Z-scan (EMAT), i dvoosni skener mogu da se priključe na džepni UT sistem ili neki drugi sistem, da se dobije potpuna mogućnost uzimanja podataka sa C ili B slikom, sl. 12, desno.

UT sistem za ploče pokazan na sl. 13 levo, sastoji se od kolica na točkovima i ima sledeće mogućnosti: 1, 4, 8 ili 16 kanala, ispitnu prugu širine do 400 mm u jednom prolazu, moć razlaganja na malim i velikim udaljenostima od 2 mm i C-sliku površine ploče. Svaka površina sa lokalnim greškama može da se prikaže u vidu fajla za izveštaj sa C slikom.

The Z-scan dry-coupled (EMAT) rolling dual-element transducer and dual-axis scanner can be coupled with the pocket UT or other C-scan systems to provide full C-scan, or B-scan data acquisition capabilities, Fig. 12, right.

Ultrasonic test system for plates shown in Fig. 13, left, consists of a wheeled trolley fitted with following options: 1, 4, 8 or 16 channel system, test band up to 400 mm wide in one pass, near and far surfaces resolution of 2 mm, use of C-scan of a plate area. Any area of local defects can be logged into the reporting file by means of a C-scan of the area.



Slika 9. Ispitivanje kolena cevovoda pomoću $\mu+$ (video kamera)
Figure 9. C-scan inspection of a pipe bend (video tracking).



Slika 10. Skener za velik prečnik za Rotoscan sistem
Figure 10. A large diameter scanner for the Rotoscan system.



Slika 11. Kalibracioni blok isečen iz originalnog cevovoda
Figure 11. The calibration block cut out from the original pipeline.



Slika 12. Prenosiv ručni instrument sa potpunom C-slikom (levo) i beskontaktni pretvarač-skener sa dva kotrljajuća elementa Z-scan
Figure 12. The portable, handheld unit with full C-scan (left) and the Z-scan dry-coupled, rolling dual-element transducer scanner.



Slika 13. Dve varijante ispitnih aparatura za UT čeličnih ploča
Figure 13. Two variants of test apparatus for steel plates ultrasonic testing.



Ovaj uređaj sa C-slikom ima ograničenu širinu ispitne pruge jer je namenjen samo za izveštavanje o lokalnim greškama. Fajl sa izveštajem može da se sačuva ili samo pregleda, uključujući C-sliku, na ma kom PC koji je snabdeven odgovarajućim softverom. Jednostavniji sistem je prikazan na sl. 13, desno.

FAKTORI KOJI UTIČU NA PROJEKTOVANJE

Postoji mnogo faktora koji uz valjanost izvedenog ispitivanja utiču na karakteristike i izvedbu svakog AUT sistema, kao: zahtevi kupca zasnovani na predviđenoj primeni, obimu proizvodnje, troškovima ispitivanja (oni se dodaju ukupnim troškovima proizvodnje i povezani su sa poznatim kvalitetom proizvoda), poboljšanja kvaliteta (kao u livnicama), baza podataka rezultata ispitivanja, klasifikacija proizvoda (optimalna klasifikacija omogućava da se proizvod ocenjen kao neupotrebljiv proda kao proizvod niže klase i slabije ocenjen proizvod proda kao proizvod više klase), kontrola rezanja (oblasti bez grešaka mogu da se prodaju kao bolja klasa od oblasti koje sadrže greške).

PRENOS DIGITALNIH PODATAKA

Za dobijanje C-slike koristi se digitalizator – komponenta ispitnog sistema koja pretvara talasne oblike ehoa, koje vraća ultrazvučni pretvarač, u digitalnu informaciju koristeći analogno-digitalni konvertor (ADC). Za primene kod kojih se traže dobro definisani talasni oblici u vremenskom domenu, kao u istraživanju, brzina uzorkovanja treba da bude 10 puta veća od rezonantne učestanosti pretvarača.

Zbog visokih učestanosti korišćenih kod UT, obim prikupljenih podataka može da bude problem. Ovi podaci se mogu obraditi na mnogo načina zavisno od korišćene računarske magistrale za podatke i brzine uzimanja podataka. Na primer, PCI magistrala realno može da prenosi 80 MB/s (ili 40 M uzoraka/s za 16-bit) neprekidnog slanja podataka u memoriju PC.

Ako se podaci prenose sporijom magistralom (USB 1.0 za 10 MB/s) vreme potrebno za prenos lako može da bude dva ili tri puta duže od vremena potrebnog za UT objekta.

Uputstvo za polja podataka za prenos digitalnih podataka je dato u standardu ASTM E 1454, /11/.

ZAKLJUČAK

Moderne tehnike omogućuju pouzdano i prikladno UT komponenti raznih geometrija primenom C-slike. Cena ispitnih UT sistema sa C-slikom je visoka, premda se polako smanjuje, ali oni obezbeđuju pouzdano i brzo ispitivanje, čime se mogu sprečiti veliki troškovi u naftnoj i hemijskoj industriji, elektranama, u saobraćaju i vojnoj industriji. Štaviše, dobijena dokumentacija može da se koristi za poređenje sa bilo kojim ponovljenim ili prethodnim ispitivanjem.

LITERATURA – REFERENCES

1. Metals Handbook, Vol 11. *Non-destructive inspection and quality control*, 8th Edition. ASME (1976). Metals Park, Ohio.
2. M. Kirić, *Zavarivanje i zavarene konstrukcije*, Vol. 47, N° 4(2002), str. 239-245
3. The AASHTO/AWS D1.5M/D1.5: 2002 Bridge Welding Code
4. B773-96 (2002) Standard Guide for Ultrasonic C-Scan Bond Evaluation of Brazed or Welded Electrical Contact Assemblies, Book of Standards Volume: 02.04

This C-scan facility has a limited single strip range as it is only intended for local defect reporting. The reporting file may be stored or only viewed, including C-scan on any PC that loaded with report viewing software. A simpler system is shown in Fig. 13, right.

FACTORS AFFECTING DESIGN

There are many factors, in addition to the validity of the actual test that influence the specification and design of any AUT system, such as: customer requirements based on intended use, production rates, cost of inspection (it adds to overall production cost and it is related to the known product quality), quality improvement (as foundry industry), inspection results database, product classification (optimal classification may permit previously unusable product to be sold as a lower grade, and previously undervalued product to be sold as higher grade), control of cutting (areas without flaws can be sold as higher grade than the areas containing flaws).

DIGITAL DATA TRANSFER

For a C-scan creation, a digitizer is used – a component of the test system that converts echo waveforms returned by the ultrasonic transducer into digital information using an analog-to-digital converter (ADC). For applications that require well-shaped waveforms in the time-domain, such as in the research, a sample rate 10 times higher than the resonant frequency of the transducers is required.

Because of high frequencies associated with UT, the amounts of collected data can be staggering. This data can be handled in many ways depending on the computer bus being used and data collection rate. For instance, the PCI bus can realistically handle 80 MB/s (or 40 MSample/s at 16-bit) of continuous data throughput to PC memory.

If data is transferred over a slow bus, as USB 1.0 at 10 MB/s, the amount of time required to transfer data can easily double or triple the amount of time required to UT one object.

The guide for data fields for transfer of digital data is given in the standard ASTM E 1454, /11/.

CONCLUSION

Modern techniques enable reliable and comfort UT for various component geometries by using C-scan. The cost of the UT test systems with C-scan is high, though slowly decreasing, but ensures a reliable and time effective testing, thus great losses can be prevented in the oil and chemical industries, power plants, transportation and arms production. Moreover, the documentation obtained can be used for comparison with any repeated or previous inspection.

5. <http://www.tfhrc.gov/structur/pubs/04124/03.htm>
6. <http://www.ndt.net/article/wendtd00/papers/idn238/idn238.htm>
7. <http://www.npl.co.uk/materials/cog/cscan.html>
8. <http://www.ndt.net/article/apendtd01/index.htm>
9. www.westinghousenuclear.com
10. <http://www.ndtautomation.com/>
11. ASTM E 1454 Guide for data fields for computerized transfer of digital ultrasonic testing data, ASTM Annual Book, Vol. 03.03