

## Evaluarea siguranței în exploatarea instalațiilor industriale pe baza examinărilor nedistructive

### Assessing the in service reliability of industrial installations on the basis of nondestructive examinations

Prof.dr.ing. Traian Fleșer<sup>1)</sup>, dr.ing. Horia Matciu<sup>2)</sup>, drd.ing. Steliană Cucu<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup>Universitatea POLITEHNICA din Timișoara, <sup>2)</sup>ISIM Timișoara

#### 1. Motivarea evaluării prin metode nedistructive

Produsele oferite pieței trebuie să prezinte siguranță în funcționare pentru a fi sub control nivelul riscurilor asumate de producător și utilizator. Pentru multe domenii și activități sunt statuite proceduri clare, eficiente. Situația nu se aplică pentru siguranță în funcționare. Aceasta este un termen complex care necesită analiză profundă. Sunt asociate noțiunile de "risc" și "siguranță".

Majoritatea cunoșterilor privind riscul și siguranța ajung în final la două elemente opuse, comparate printr-o procedură specifică. Rezultatul este apoi evaluat conform cerințelor privind siguranță sau evitarea riscului. Fiabilitatea exprimă probabilitatea funcționării corespunzătoare a utilajului tehnologic în ansamblu, dar și a componentelor sale, într-un interval de timp și în condiții prescrise. Despre un utilaj se spune că este fiabil dacă pe o perioadă de exploatare, realizează siguranță tehnică, tehnologică și indicii funcționali stabiliți, cu respectarea cerințelor de calitate prevăzute în normative tehnice și legislative [1, 6].

Durata de utilizare a utilajului se exprimă în ore, cicluri tehnologice, kilometri, unități de producție obținute, etc. Dependenta de destinație, condițiile de exploatare, frecvența apariției aleatoare a defecțiunilor se elaborează studiile pentru oportunitatea utilizării sistemelor redondante sau a celor de prevenire a defecțiunilor, prin acțiuni adecvate de menenanță.

În practică există un număr limitat de domenii în care se aplică asemenea concepte. Exploatarea instalațiilor industriale presupune o anumită probabilitate de defectare, respectiv un risc. În sens practic, acesta se poate identifica cu pierderea potențială de producție într-un anumit interval de timp. Asemenea situații anormale sunt identificate aleator și se materializează prin accidente tehnice și/sau umane, cedări ale componentelor instalațiilor, deranjamente ale ciclului tehnologic, uneori cu afectarea instalațiilor învecinate sau a mediului înconjurător.

Conceptul de risc tehnic a fost studiat mai profund după anii 1970, întrucât:

- cedări de amploare deosebită ale unor instalații au devenit tot mai frecvente,
- pagubele în instalații proprii, dar și la cele din apropiere sunt semnificative,

#### 1. Motivating the assessment by non-destructive examination

Products offered on the market have to be reliable in order to control the risk level assumed by producer and user. For many fields and activities there are clear and efficient procedures. This situation is not applied to reliability. This is a complex term that needs a thorough analysis. The "risk" and "reliability" notions are associated.

The most of considerations on risk and reliability reach finally two opposed elements, compared through a specific procedure. The results are then evaluated according to the requirements regarding the reliability and risk avoidance. Reliability expresses the probability of technological equipment adequate operation, as a whole, but of its components, too, in a prescribed time interval and conditions. An equipment is reliable, if during an exploitation period, it realizes the technical safety, technological and established operating indexes respecting the quality requirements stipulated in technical and legislative norms [1, 6].

The equipment utilization duration is expressed in hours, technological cycles, kilometres, obtained production units etc. Depending on destination, exploitation conditions, frequency of defects aleatory appearance studies have been elaborated for the opportunity to use redundant systems or those preventing defects by adequate maintenance actions.

In practice there exist a limited number of fields to apply such concepts. The exploitation of industrial installations supposes a certain defect probability, risk respectively. Practically, this can be identified with the potential production losses in a certain time interval. Such abnormal situations are aleatory identified and are materialized by technical and/or human accidents, failure of installation components, disturbances of the technological cycle, sometimes affecting the adjacent installations of the environment.

The technical risk concept was studied more thoroughly after 1970, as:

- important failures of installations became more and more frequently,
- damages in own installations, but also in the adjacent ones are significant,
- environment is more and more affected following failures,

# Siguranță în exploatare

- afectarea mediului în urma avariilor este tot mai gravă,
- cererile și valoarea despăgubirilor s-au înmulțit.

Conjunctura tehnică și economică actuală a impus mutații conceptuale în tratarea aspectelor specifice ale evaluării stării tehnice a sistemelor tehnice și implicit a riscului în exploatare :

- parametrii de exploatare ai instalațiilor sunt tot mai ridicăți,
- volumul investițiilor în instalări noi, cu grad ridicat de risc este limitat,
- sistemele de optimizare a parametrilor de exploatare și conducerea automată a proceselor tehnologice sunt aplicate la un număr redus de instalări, exceptând cele moderne,
- se încearcă uneori să se obțină eficiență în utilizarea investițiilor în detrimentul dotării cu sisteme de siguranță și supraveghere automată a proceselor tehnologice.

În practica inginerescă, pe lângă descrierea cu precizie matematică, caracteristicile de material sau de utilizare a componentelor, trebuie să fie specificată în termeni statistici [3, 4].

## 2. Obiective

Obiectul investigațiilor nedistructive este evidențierea imperfecțiunilor din materialul componentelor, concretizate prin abatere de formă, dimensiune, masă, aspect, continuitate, structură, caracteristici mecanice, compoziție chimică, etc. Conceptele de proiectare includ obligatoriu cerințe clare privind nivelele de calitate ale produselor [6]. Metodele de examinare nedistructivă ocupă un loc bine definit în această evaluare. S-au conturat elemente definitorii care justifică amploarea examinărilor prin metode nedistructive :

- a. Realizarea instalațiilor și componentelor de mari dimensiuni, pentru atingerea performanțelor tehnice și economice de mare ampioare, aliniate la conceptul "fitness for purpose".
- b. Utilizarea pe scară largă a procedurilor de sudare cu abilități tehnice adaptate la condițiile tehnice mereu mai complexe pentru instalații cu fiabilitate garantată.
- c. Prevederi legislative încreu mai restrictive pentru protecția mediului și sporirea siguranței în funcționare.

d. Îmbunătățirea permanentă a tehnologicității produselor concepute și realizate după tehnici avansate, utilizând materiale noi, de înaltă performanță, dar neutilizate efectiv în condițiile definite, impunând apelarea semnificativă la metodele de examinare nedistructivă.

Progrese relevante s-au constatat în sporirea sensibilității metodelor odată cu dezvoltarea de aparate și tehnici de examinare în sensul reglării adaptive a parametrilor tehnologici. Scopul acestora este decelarea cu operativitate a discontinuitățile din materialele componentelor, prin natura și parametrii lor: poziția, orientarea, forma, dimensiunile, etc. Activitatea trebuie să se finalizeze prin emisarea decizijilor de calificare a materialelor componentelor în concordanță cu normativele din domeniu, adică definirea nocivității, a riscului și a fiabilității în condițiile efective de exploatare. Echilibrul între acestea trebuie să fie asigurat prin soluții tehnice și economice favorabile, în limite rezonabile. Costurile implicate afectează produsul cu 4-6% în industria de automobile, 20-32% la realizarea unor componente din centralele

- compensation solicitations and values increased.

The technical and economical conjunction imposed conceptual mutations in treating specific aspects of assessing the technical state of technical systems and implicitly of the exploitation risk :

- exploitation parameters of installations are higher and higher,
- volume of investments in new installations with high risk is limited.
- optimization systems of operation parameters and the automated control of technological processes are applied for a reduced number of installations, excepting the modern ones,
- sometimes it is trying to obtain efficiency in using investments to the detriment of endowment with automated safety and surveillance of technological processes.

In practice, besides the mathematical description, material or using characteristics of components must be specified in statistics terms [3, 4].

## 2. Objectives

The objective of non-destructive examinations is to evince imperfections in the material of components, searching about variations such as shape and size deviations, weight, aspect, continuity, structure, mechanical characteristics, chemical composition, etc. Design concepts include, compulsory, clear requirements related to the quality levels of products [6]. The non-destructive examination methods come into a well defined place in this evaluation. Defining elements have been outlined to justify the amplitude of examinations by means of non-destructive methods :

- a. Development of large installations and components to reach high technical and economical performances, aligned to the "fitness for purpose" concept.
- b. Wide use of welding processes having technical abilities adapted to more and more complex technical conditions for installation with guaranteed reliability.
- c. Legal provisions more and more restrictive for the environment protection and reliability improvement.
- d. Permanent improvement in technology of products conceived and carried out according to the advanced techniques, using performant new materials, not used effectively in the defined conditions, imposes the appeal to the non-destructive examination methods.

Relevant progresses were found out in increasing the sensitivity of methods and development of examination apparatus and techniques for the adaptive adjustment of technological parameters. Their target is to disseminate discontinuities in the material of components, by their nature and parameters : position, orientation, shape, sizes, etc. The activity has to be finalized by issuing qualification decisions for the material of components according to the norms in the field. i.e. defining the harmfulness, the risk and reliability in effective exploitation conditions. Their balance must be assured by favourable technical and economical solution, reasonable limits. Involved costs affect the product with 4-6% in the automotive industry, 20-32% in achieving components of nuclear and electric power plants, but can rise to higher levels for components in aerospace field.

nuclearelectrice, dar poate urca la nivele mai ridicate pentru componente din domeniul aerospațial.

## 3. Admisibilitatea imperfecțiunilor din materialul componentei

Factorii care definesc nocivitatea unei discontinuități, în ceea ce privește admisibilitatea acesteia sunt:

- tipul și nivelul solicitării, cumulând efectul factorilor favoranți pentru amplificarea tensiunii,
- starea de tensiune, modul de solicitare,
- geometria și poziția în materialul componentei, corelat cu solicitările exterioare,
- caracteristicile de rezistență, de tenacitate, deformabilitate în stare de repaus, a probei de suprapresiune, respectiv de exploatare,
- efectul mediului și fluidelor de lucru, a solicitărilor de lungă durată, etc.

## 4. Fiabilitatea examinărilor nedistructive

Metoda de examinare nedistructivă este fiabilă dacă este riguros aplicată pe baza unor proceduri adecvate, de către personal atestat și reușește să detecteze defectele prezente. O caracteristică a metodelor în cauză este incapacitatea lor de a furniza repetat aceeași indicație de defect când sunt aplicate de operatori diferiți, în aceeași condiții. Șansa detectării depinde de calitatea procedurilor aplicate, capabilitatea și atitudinea operatorilor, performanțele echipamentului de lucru, condițiile în care se face examinarea (materialul și geometria componentelor, locul, etc.), orientarea, natura și mărimea defectelor. Întrucât acțiunile de mențenanță a structurilor sunt planificate pe baza lungimii potențiale a fisurilor, este normal ca imprecizia verificării să se raporteze la dimensiunile discontinuității înregistrate.

Probabilitatea detectării (POD) discontinuității este definită ca proporția în care acestea vor fi detectate printr-o metodă de examinare, aplicată de operatori atestați, la un număr de componente în condiții precizate. În acest mod capabilitatea metodei de examinare nedistructivă este exprimată în termeni probabilistici.

În condițiile aplicării unei proceduri calificate la orice metodă de examinare există o valoare minimă a discontinuității din material ( $a_0$ ) sub care detectarea nu mai este posibilă (figura 4.1). La mărimea  $a^*$  a defectului există probabilitatea PD\* de a fi detectat. Nivelul de detectare crește cu dimensiunile defectului. Se atinge o valoare maximă a probabilității de detectare, dependentă de eroarile umane inevitabile. Totodată, există probabilitatea ca discontinuitatea să nu fie detectată (PND). Astfel  $POD + PND = 1$ . Curba probabilității de detectare are valoare limită sub care detectarea nu este posibilă, de exemplu datorită performanțelor echipamentului de lucru, tehnicii de examinare aplicate, din erori ale operatorului.

Se acceptă idea că orice lot de produse conține o anumită cotă de defecte: fracțiune defectivă a lotului (P). Ea este importantă în aprecierea calității componentelor individuale, dar și a lotului. Prin examinare se stabilește dacă această fracțiune defectivă nu depășește nivelul critic  $P_c$ . Nivelul critic rezultă din specificarea unei clase de admisibilitate a defectelor stabilită de proiectant. Pe baza rezultatului examinării se poate decide [5]:

## 3. Acceptance of imperfections in the component material

Factors that define the harmfulness of a discontinuity, respectively its acceptance are:

- type and level of loading, cumulating the effect of favourable factors to amplify the stress,
- stress state, loading mode,
- geometry and position in the material of the component, correlated with exterior loadings,
- characteristics related to strength, toughness, deformability in rest state, overpressure tests, exploitation, respectively,
- effect of environment and working fluids, of long time loading, etc.

## 4. Reliability of non-destructive examinations

The non-destructive examination method is reliable if it is rigorously applied on the basis of adequate procedures, by the attested personnel and succeeds to detect present defects. A characteristic of these methods is their incapacity to provide, repeatedly the same defect indications when they are applied by different operators, in the same conditions. The chance to detect depends on the quality of applied procedures, capability and attitude of operators, performances of the working equipment, conditions the examination is made (material and geometry of components, place, etc), orientation, nature and size of defects. As the structure maintenance actions are planned on the basis of the potential crack lengths, it is normally that the imprecision of checking is reported to the sizes of the recorded discontinuities.

The probability to detect (POD) discontinuities is defined as the proportion they will be detected by an examination method, applied by attested operators, for a number of components expressed in probabilistic terms.

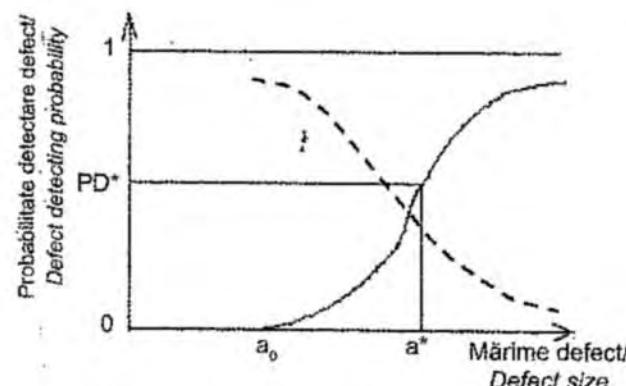


Figura 4.1. Probabilitatea detectării defectului din material. POD – probabilitate de detectare (POD), PND – probabilitate de nedetectare (PND).

Figure 4.1. Probability to detect defect in material detecting probability (POD), non-detecting probability (PND).

When applying a qualified procedure for any examination method there is a minimum value of discontinuities in material ( $a_0$ ) below which the detection is not possible any more (figure 4.1). For the size  $a^*$  of the defect there is the probability

# Siguranță în exploatare

$P \leq P_o$  : componenta se acceptă,

$P > P_o$  : componenta se respinge.

Decizia cu privire la acceptarea sau respingerea piesei comportă un anumit risc de a fi eronată. Examinarea prin metode nedistructive poate duce la două feluri de decizii eronate:

- respingerea piesei care conține o fracțiune defectivă  $P$  mai mică decât fracțiunea defectivă admisă ( $P_o$ ), dar care ar trebui acceptată, sau altfel spus, respingerea ipotezei:  $P \leq P_o$ , care în realitate este adevărată. Eroarea astfel generată se numește de gradul I, sau risc al furnizorului. Se notează cu " $I_f$ ".

- acceptarea piesei care conține o fracțiune defectivă  $P$  mai mare decât fracțiunea defectivă admisă ( $P_o$ ), caz în care piesa ar trebui respinsă. Eroarea astfel generată se numește de gradul II, sau risc al beneficiarului de a accepta o piesă care practic ar trebui respinsă. Se notează cu " $II_b$ ".

Riscurile " $I_f$ " și " $II_b$ " de a lua decizii eronate au implicații tehnice și economice diferite. Cu cât diferența dintre  $P$  și  $P_o$  este mai mare este evident că:

- pierderile cauzate de respingere, precum și avantajul economic al acceptărilor va fi mai mare în cazul când  $P \leq P_o$ , pentru 0 valoare a riscului " $I_f$ " a furnizorului,

- pierderile cauzate de acceptare, precum și avantajul care rezultă din respingerea lotului va fi mai mare în cazul când  $P > P_o$ , pentru aceeași valoare a riscului " $II_b$ " al beneficiarului.

Mărind probabilitatea de detectare a defectelor rezultă posibilitatea ca o componentă fără defecte să fie incorect calificată ca fiind defectă. Se discută astfel de o probabilitate falsă a detectării.

În afara unei probabilități înalte de detectare, metodele fiabile de examinare nedistructivă trebuie să aibă o precizie acceptabilă a dimensionării. Precizia dimensionării măsoară diferența dintre mărimea reală a unui defect și mărimea ei estimată prin respectiva metodă. Erorile de dimensionare pot fi sistematice sau aleatoare. Erorile accidentale sunt de regulă descrise de metodele statistice.

Probabilitatea de detectare a defectului depinde de mai multe variabile: tehnica și condițiile de aplicare, materialul și configurația geometrică a componentei, tipul defectelor, etc. Caracterizarea fiabilității metodei de examinare în termenii probabilității de detectare a defectelor are două particularități importante:

- a. Pentru o metodă dată, probabilitatea reală de detectare funcție de mărimea defectului (lungime) nu va fi niciodată exact cunoscută. Capabilitatea metodei într-o aplicație dată poate fi demonstrată numai printr-un experiment în care există certitudinea dimensiunilor defectului, iar probabilitatea reală de detectare se estimează prin procentul detectiilor pozitive corecte. Probabilitatea estimată de detectare se supune prelucrării statistică care rezultă din mărimea finită a probei utilizată în experiment și posibil din diferențele sistemice între condițiile experimentale și cele de exploatare. Sunt cunoscute metode statistice care evidențiază limitele unei probabilități reale, ținând astfel cont de mărimea finită a piesei de probă. Prin aceste mijloace, protecția împotriva deciziilor greșite pe baza unui set de rezultate atipice este furnizată de limitele de încredere, dar un element de risc necunoscut datorat erorilor sistematice poate fi încă prezent.

- b. În realitate, nici o procedură de verificare nu asigură

PD\* to be detected. The detection level increases when the defect sizes increases. A maximum value of detecting probability is reached, that depends on the unpredictably human errors. There also exists the probability that the discontinuity is not detected (PND). So, POD + PND = 1. The detecting probability curve has the limit value below which the detection is not possible, for example due to the working equipment performances, applied examination technique, errors of the operator.

The idea that any batch of products contains a certain level of defects is accepted: defective fraction of the batch (P). It is important when appreciating the quality of individual components, but also of the batch. By examination it is established if this defective function does not exceed the critical level  $P_o$ . The critical level results from the specification of an admissibility class of defects settled by the designer. On the basis of the examination result it can be decided [5]:

$P \leq P_o$  : component is accepted;

$P > P_o$  : component is rejected.

The decision regarding the acceptance or rejection of the component implies a certain risk of being a wrong one. The non-destructive examination can lead to two kinds of wrong decisions:

- rejection of the component that contains a defective  $P$  fraction, but which must be accepted, or the rejection of the hypothesis:  $P = P_o$ , which is real. The error, generated in this way, is called I degree error or supplier risk. It is noted with " $I_f$ ";

- acceptance of the component that contains a defective  $P$  fraction bigger than the admitted defective fraction ( $P_o$ ), when the component should be rejected. The error, generated in this way, is called II degree error or customer risk to accept a component which practically should be rejected. It is noted with " $II_b$ ";

Risks " $I_f$ " and " $II_b$ " to take wrong decisions have different technical and economical implications. The bigger the difference between  $P$  and  $P_o$  it is evidently that:

- loses caused by rejection, as well as the economical advantage of acceptances will be greater when  $P \leq P_o$ , for the 0 value of the " $I_f$ " supplier risk;

- loses caused by acceptance, as well as the advantage that results from rejecting the batch will be bigger when  $P > P_o$  for the same value of the " $II_b$ " customer risk.

Increasing the detecting probability of defects there results the possibility that a component without defects is incorrectly qualified as being defect. So, a false probability of detection is in discussion.

Besides the high detecting probability, the reliable non-destructive examination methods must have an acceptable dimensioning accuracy. The dimensioning accuracy measures the difference between the real size of a defect and its estimated size by the respective method. The dimensioning errors can be systematic or aleatory. The accidental errors are generally described by the statistic methods.

The detecting probability of the defect depends on more variables: technique, application conditions, material and the geometric configuration of the component, type of defects etc. The characterization of the examination method reliability in terms of the detecting probability of defects has two important particularities:

certitudinea de 100 % că toate defectele mai mari de o anumită mărime specificată vor fi detectate. Pentru asigurarea unei certitudini ridicată de detectare a metodelor de examinare nedistructivă într-o situație deosebită (componente ale instalațiilor nucleare, aeronautice etc.), trebuie să se stabilească valoarea defectului limită ( $a_{limita}$ ). Peste această valoare, cu o certitudine ridicată specificată și o probabilitate ridicată de detectare, toate defectele cu dimensiuni mai mari trebuie să fie detectate. Aceasta este o definiție operațională a fiabilității metodelor de examinare nedistructivă utilizată frecvent în instalații industriale cu solicitări severe ale componentelor. De exemplu, se specifică pentru metode de examinare, materiale și configurații geometrice ale componentelor:  $a_{limita}$  (95/90). Aceasta însemnează că pentru dimensiunea defectului există un procent de 95 % încredere că 90 % dintre toate defectele de această dimensiune vor fi detectate. De menționat că în concordanță cu acest raționament există o sănă foarte mică că un defect cu dimensiunea mai mare de  $a_{limita}$  (95/90) să nu fie detectat. Această sănă depinde nu numai de capabilitatea metodei de examinare nedistructivă utilizată, dar și de distribuția defectelor cu dimensiuni diferite prezente în componentă analizată.

Cuantificarea POD funcție de dimensiunile fisurii poate să fie estimată prin concepțile planificării statistice pe probe ce conțin discontinuități cunoscute. Astfel se poate defini curba probabilității medii și limitele intervalului de încredere (figura 4.2). Se desprinde interpretarea conservatoare a situației prin definirea limitei inferioare de încredere.

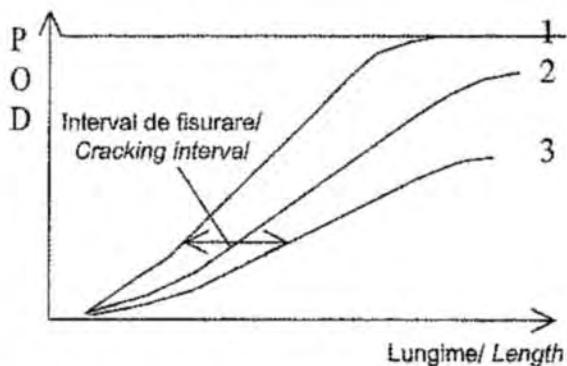


Figura 4.2. Intervalul de încredere la detectarea defectelor din material. 1, 2, 3 - limită superioară, POD mediu, respectiv limită inferioară de încredere.

Figure 4.2. Trust interval when detecting defects in material. 1, 2, 3 - superior limit, average POD, respectively inferior trust limit.

Sunt definite metode de simulare matematică a intervalelor de încredere a curbelor POD, corelat cu dimensiunile discontinuităților din material. Astfel, simularea Bootstrap conchide pentru intervalul de încredere neparametric (95 %) că dimensiunea fisurii este de 3,077 mm la valoarea POD = 90 %.

Sunt perfectate modele pentru ajustarea corelațiilor POD – lungime fisură în cazul examinării cu ultrasunete: legea exponențială asimptotică (Marshall), legea log-logistică (figura 4.3) [3] etc.

La evaluarea integrității instalațiilor și a componentelor lor au fost propuse mai multe forme analitice care să includă

a. For a given method, the real probability of detecting depending on the defect size (length) will be never known. The capability of the method in a given application can be demonstrated only by an experiment where there is the certitude of the defect sizes, and the real estimated detecting probability is subjected to the statistic processing which results from the finite size of the sample used in experiment and possibly from the systemic differences between experimental conditions and the in service ones. The statistic methods that evince the limits of a real probability are known, considering the finite size of the sample. By these means, the protection against wrong decisions on the basis of a set of atypical results is provided by the trust limits, but an unknown risk element due to systematic errors can be present.

b. În realitate, niciun procedeu de verificare nu dă 100% certitudine că toate defectele mai mari decât o anumită mărime specificată vor fi detectate. În scopul de a avea un nivel ridicat de certitudine în detectarea metodelor de examinare nedistructivă într-o situație specială (componente din instalații nucleare, aeronautice etc.), valoarea defectului limită ( $a_{limita}$ ) trebuie să fie stabilită. Înaintea acestei valori, cu o probabilitate ridicată și o certitudine ridicată, toate defectele cu dimensiuni mai mari trebuie să fie detectate. Aceasta este o definiție operațională a fiabilității metodelor de examinare nedistructivă utilizată frecvent în instalații industriale cu solicitări severe ale componentelor. De exemplu, se specifică pentru metode de examinare, materiale și configurații geometrice ale componentelor:  $a_{limita}$  (95/90). Aceasta însemnează că pentru defectul de dimensiunea respectivă există un procent de 95 % încredere că 90 % din toate defectele de această dimensiune vor fi detectate. Este de menționat că în concordanță cu acest raționament există o sănă foarte mică că un defect cu dimensiunea mai mare decât  $a_{limita}$  (95/90) să nu fie detectat. Această sănă depinde nu numai de capabilitatea metodei de examinare nedistructivă utilizată, dar și de distribuția defectelor cu dimensiuni diferite prezente în componentă analizată.

The POD quantification depending on the crack size, can be estimated by statistic planning concepts on samples containing known discontinuities. So, the medium probability curve and the limits of the trust interval can be defined (figure 4.2). The conservatory interpretation of the situation is coming out by defining the inferior trust limit.

The mathematical simulation methods are defined for the trust intervals of POD curves, correlated with the size of discontinuities in the material. So, the Bootstrap simulation concludes, for the non-parametric trust interval (95%), that the crack size is 3.077mm at the 90% POD value.

Models for adjusting the POD correlations – crack length in the case of ultrasound examinations are perfected: the asymptotic exponential law (Marshall), the log-logistic law (figure 4.3)[3], etc.

When assessing the installations and their components integrity several analytical forms have been proposed, which include the detecting probability (PD) and the chance to omit an acceptable defect B(a). Evidently  $POD + PND = 1$

To identify the fatigue cracks on components made out of aluminium alloy with reduced thickness ultrasound investigations were performed [3]. Evidently, the same data investigations can lead to different ponderosity depending on the used examination procedures. The adjustment of the POD-PND dependence is more favourable for detecting reduced length defects using the Log-logistic rule than using

# Siguranță în exploatare

probabilitatea de detectare (PD) și șansa de a omite un defect acceptabil B(a). Evident  $POD + PND = 1$ .

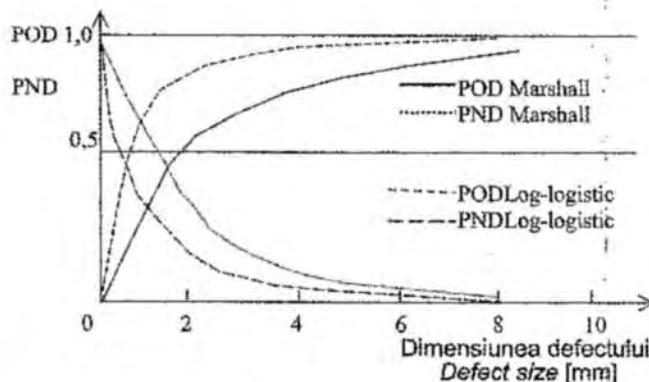


Figura 4.3. Dependența POD, PND de dimensiunea defectului, pentru componente două metode de simulare matematică/

Figure 4.3. The POD, PND dependence on the defect size for components two mathematical simulation methods

Pentru identificarea fisurilor de oboseală pe componente din aliaj de aluminiu cu grosime redusă s-au efectuat investigații cu ultrasunete [3]. Evidență, aceleși date ale investigațiilor pot conduce la pondere diferită dependent de procedurile de investigare utilizate. Ajustarea dependenței POD-PND de lungimea fisurii este mai favorabilă detectării defectelor de lungime mai redusă utilizând regula Log-logistic decât regula Marshall. Dispersia datelor experimentale a fost ridicată. Conform regulei Log-logistic se remarcă limita de decelabilitate 50% POD-50% PND la cca. 0,5 mm, în timp ce la regula Marshall este la cca. 1,5 mm.

Regula exponentială asimptotică Marshall are la bază relația:

$$POD(a) = A \left[ 1 / \exp(-a/a_1) \right] \quad (4.1)$$

Regula Log-logistic are la bază relația:

$$\ln[POD/(A-POD)] = a_0 + a_1 \ln(a) \quad (4.2)$$

în care A,  $a_0$ ,  $a_1$  sunt parametrii de ajustare POD funcție de evoluția fisurii.

Similar curbelor comparative anterioare sunt cunoscute rezultate obținute prin metoda curentilor turbionari și examinarea Rx. În toate cazurile se remarcă dispersia semnificativă a rezultatelor. S-a evidențiat caracterul inconcludent al prelucrării primare a rezultatelor examinării Rx [3].

În urma examinării cu lichide penetrante se remarcă de asemenea dispersia semnificativă a rezultatelor experimentale, dar mai redusă decât la examinarea cu ultrasunete, respectiv cu radiații X.

În figura 4.4 este prezentată probabilitatea de nedetectare a unui defect la componente subțiri din aliaje de aluminiu utilizând metodele de examinare cu radiații penetrante (Rx), ultrasunete (US), lichide penetrante (LP) [3].

În programul de examinare cu ultrasunete "round-robin" aplicat la componente cu pereți groși din oțel feritic (programul PISC), pentru șansa de a omite un defect acceptabil B(a) s-a propus relația:

$$POD = A + (1 - A) \exp(-\mu a) \quad (4.3)$$

în care "a" este extinderea în adâncime a defectului. Parametrul A = 0,005 a rezultat din aplicarea programului DELPHI aferent,  $\mu$  – coeficientul lui Poisson.

the Marshall rule. The dispersion of experimental data was high. According to the Log-logistic rule it is to be noted the limit 50% POD-50% PND at about 0.5mm, while the Marshall rule is at about 1.5mm.

The Marshall asymptotic exponential rule is base on the relation:

$$POD(a) = A \left[ 1 / \exp(-a/a_1) \right] \quad (4.1)$$

The Log-logistic rule is based on the relation:

$$\ln[POD/(A-POD)] = a_0 + a_1 \ln(a) \quad (4.2)$$

where A,  $a_0$ ,  $a_1$  are the adjusting parameters POD depending on the crack evolution.

Similarly to comparative anterior curves the results obtained by the eddy currents method and the Rx examination are known. It was evinced the inconclusive character of the primary processing of the Rx examination results [3].

Following the penetrant liquid examination it is also noted that the significant dispersion of experimental results, but more reduced than in ultrasound examination, X radiation, respectively.

Figure 4.4 presents the defect no detecting probability in thin components made out of aluminium alloys using penetrant radiation examination methods (Rx), ultrasounds (US), penetrant liquid (LP) [3].

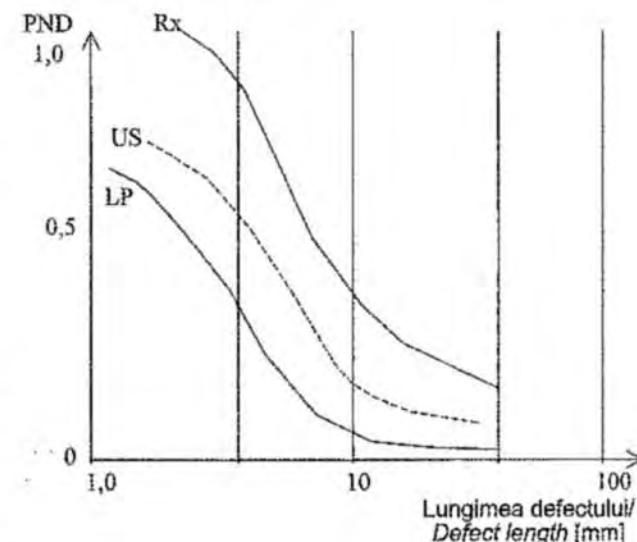


Figura 4.4. Probabilitatea de nedetectare a defectului la componente subțiri din aliaje de aluminiu/

Figure 4.4. Defect no detecting probability in thin components made out of aluminium alloys

In the ultrasound examination programme "round-robin" applied to thick walled components made out of ferrite steel (PISC programme), for the chance to omit an acceptable defect the following relation was proposed:

$$POD = A + (1 - A) \exp(-\mu a) \quad (4.3)$$

where "a" is the in depth extension of the defect. The A = 0,005 parameter resulted by applying the afferent DELPHI programme,  $\mu$  – Poisson's coefficient.

Studies in the field evince the fact that identical defects are not detected with the same probability. The detecting probability depends on dimensions, defect position in the

Studiile efectuate în acest domeniu evidențiază că defectele identice nu sunt detectate cu aceeași probabilitate. Probabilitatea de detectare depinde de dimensiuni, poziția în material a defectului, procedura de aplicare a metodei de examinare, dimensiunile componente analizate, etc.

## 5. Repetarea examinării nedistructive

Programele pentru evaluarea probabilității de detectare a defectelor din materiale recurg la repetarea examinărilor pe componente reale de către aceeași, sau echipe diferite de operatori, la intervale diferite, de obicei prin metode diferite. Metodologia "round-robin" în cadrul programului PISC a urmărit tocmai acest scop. Fiecare examinare poate sau nu poate să detecteze un defect cunoscut. Dacă le detectează ele pot fi cunoscute și diferențiate la fiecare examinare.

Conform rigorilor teoriei probabilității, fiabilitatea metodelor de examinare nedistructivă se îmbunătățește prin examinări repetitive. Se presupune că se dispune de o metodă de examinare care asigură probabilitatea de detectare (POD) a unei clase de defecte. La prima examinare se constată probabilitatea de omisie (1-POD)<sup>2</sup>. După n examinări se obține probabilitatea de succes conform distribuției binomiale:

$$POD_n = 1 - (1-POD)^n \quad (5.1)$$

În acest mod se obține o evaluare optimistă întrucât rezultatele unei verificări sunt independente de ale altor verificări, iar erorile implicate sunt accidentale (adică nu au bază sistemică). În practică această abordare de către aceeași operatori nu este oportună deoarece la fiecare verificare se manifestă influența determinanților anterioare. Fiabilitatea examinărilor prin procedee nedistructive nu va crește neapărat prin implicarea de operatori diferiți întrucât aceștia utilizând metodologii de lucru ușor diferite, în limitele același proceduri sau normativ, manifestă capabilități individuale de depistare a defectelor. Situația s-a regăsit și la programul "round-robin" PISC. Există de asemenea circumstanțe legate de mecanisme fizice ale inițierii și creșterii fisurilor. Astfel, suprafața unei fisuri datorate oboseliei se poate modifica prin alterarea stării de tensiuni reziduale aferente.

Coroborat cu relația anterioară, se poate evalua scenariul pessimist în cazul repetării examinărilor nedistructive, când rezultatul fiecărei examinări se va corela în mare măsură cu al celorlalte. Probabilitatea, în cazul a cel puțin uneia dintre multiplele verificări, ca defectul să fie identificat, poate fi estimată ca maximul probabilităților pentru fiecare verificare individuală. Astfel:

$$POD_n = \max. (POD_1, POD_2, \dots, POD_n) \quad (5.2)$$

În cazul unui exemplu, probabilitatea detectării defectelor prin aplicarea succesivă a patru examinări este 65, 75, 88 și 57%. Cea mai optimistă evaluare a probabilității de detectare, conform ecuației (5.1) conduce la:

$$POD_n = 1 - (1 - 0.65)(1 - 0.75)(1 - 0.88)(1 - 0.57) = \\ 1 - 0.004515 = 0.995485, \text{ adică } 99.5\%.$$

Cea mai pessimistă probabilitate de detectare prin aplicarea relației (5.2) conduce la 88%.

## 6. Aprecieri finale

a. Cunoscerea fiabilității și a riscului în fabricația și utilizarea echipamentelor industriale are la bază și evaluările prin metode de examinare nedistructivă.

material, application procedure of the examination method, dimensions of the analyzed component etc.

## 5. Repeating the non-destructive examination

Programmes for the evaluation of defect detecting probability in materials appeal to the repetition of examinations on real components by the same or different methods. The "round-robin" methodology within the PISC programme followed this target. Each examination can or can not detect a known defect. If detected they can be quantified differently at each examination.

According to the probability theory, the reliability of non-destructive examination methods is improving by repeated examination. It is supposed that an examination method to assure the detecting probability (POD) of a class of defects is available. During the first examination it is found out that there is the probability to omit (1-POD)<sup>2</sup>. After n examination the success probability according to the binomial distribution is obtained:

$$POD_n = 1 - (1-POD)^n \quad (5.1)$$

In this way an optimist value is obtained as the results of a verification are independent of that of other verifications, and the implied errors are accidental (i.e. have no systemic base). In practice this approach, by the same operators, is not opportune, as at each time the verification is done the influence of anterior determinations is manifested. The reliability of examinations by non-destructive examinations will not increase, by all means, by involving different operators as they are using different working methodologies, in the limits of the same procedure or norm, show the individual capacity to detect defects. This situation was found again in the "round-robin" PISC programme. There also are circumstances related with the physical mechanisms of crack initiation and propagation. So, the surface of a fatigue crack can be modified by altering the afferent residual stress state.

Corroborated with the anterior relation, the pessimistic scenario can be evaluated in the case of repeating the non-destructive examinations, when the result of each examination will be correlated, at great extent, with the others. The probability, in the case of at least one of the multiple verifications, that the defect is identified, can be estimated as the maximum of probabilities for each individual verification. So:

$$POD_n = \max. (POD_1, POD_2, \dots, POD_n) \quad (5.2)$$

For example in the case the defect detecting probability by successfully applying four examination is 65, 75, 88 and 57%. The most optimistic evaluation of detecting probability, according to equation (5.1) lead to :

$$POD_n = 1 - (1 - 0.65)(1 - 0.75)(1 - 0.88)(1 - 0.57) = \\ 1 - 0.004515 = 0.995485, \text{ i.e. } 99.5\%.$$

The most pessimist detecting probability by applying relation (5.2) leads to 88%.

## 6. Final appreciations

a. Quantification of reliability and risk in the fabrication and use of industrial equipment is also based on evaluations made by non-destructive examinations.

# Siguranță în exploatare

b. Utilizarea metodelor de identificare a discontinuităților din materialul componentelor este afectată de factori de influență obiectivi și subiectivi, a căror pondere poate și trebui să fie cuantificată.

c. Nominalizarea și aplicarea metodelor de investigare nedistructivă este corelată cu:

c1. definirea scopului și obiectivelor vizate prin aplicarea tehnicilor de investigare: cercetare, confirmare ipoteze de calcul, atestare tehnologie de fabricație, calificare personal operator, evaluarea stării tehnice a componentelor etc.,

c2. sensibilitatea și acuratețea determinărilor corelată cu nivelul de fiabilitate specificat pentru produsul nominalizat,

c3. evidențierea discontinuităților definite prin dimensiuni, poziție în materialul componentei, eventual natura acestora,

c4. aspectele economice ale aplicării: costuri, durată, efectele evenualelor evenimente tehnice sau avariilor datorită neefectuării/efectuării neprofesionale a examinărilor nedistructive.

## Bibliografie/ References

- [1]. Georgiu, G.A.: Probabilistic Models for Optimising Detection in LPG Welds. Proceedings of NDT Conference of the British Institute, 2000, p. 168-173.
- [2]. Safta, I., V. Safta, I., V.: Defectoscopie nedistructivă industrială. Editura SUDURA Timișoara, 2001, ISBN 973-99425-6-3.
- [3]. Cioclov, D.: Progrese în integrarea controlului nedistructiv în managementul duratei de viață și al fisibilității instalațiilor industriale. Seminar ISIM Timișoara, 2004.

b. The use of identification methods of discontinuities in the material of components is affected by objective and subjective influencing factors, which ponderosity can and must be initially quantified.

c. The nominalization and application of non-destructive examination methods is correlated with:

c1. defining the scope and objectives in view by applying investigation techniques: research, confirmation calculus hypotheses, attesting fabrication technologies, qualification welding personnel, the evaluation of components technical state etc.;

c2. sensitivity and accuracy of determinations correlated with the reliability level specified for the nominalised product;

c3. evincing discontinuities defined by sizes, position in the component material, their nature,

c4. economical aspects of application: costs, duration, effects of eventual technical events or failures due to the lack of professionalism in processing non-destructive examinations.

- [4]. x x x: ASNT, "American-European Workshop on Nondestructive Inspection Reliability", Proc. Conf., sept. 1999, Boulder, Colorado. ISBN 1-57117-041-3

- [5]. Pleșer, T.: Modificarea stării oțelurilor supuse solicitărilor termomecanice. Editura POLITEHNICA Timișoara, 2002, ISBN 673-625-005-9.

- [6]. x x x: BS 5500 -1999: Section 5. Inspection and testing.



## CONFERINȚA INTERNACIONALĂ A ASR 2006

Conferința ASR va avea loc în perioada 20 – 22 septembrie 2006 și va fi organizată în colaborare cu Filiala Brașov a ASR, în aceeași perioadă cu Adunarea Generală a membrilor Asociației de Sudură din România.

### Tematica Conferinței:

*Managementul calității în domeniul sudării, în contextul aderării României la Uniunea Europeană*

**Lucrările conferinței se vor prezenta oral sau poster.**

### Inscrierea lucrărilor:

Pentru înscrierea cu lucrare în programul Conferinței, vă rugăm să trimiteți la Secretariatul Central al ASR, un rezumat în limba română și engleză (maxim 200 cuvinte). Rezumatul va fi însoțit de:

- declarația de participare a autorului la Conferință și de susținere a lucrării;
- declarația autorului că lucrarea nu a mai fost publicată.

Lucrările trebuie să se înscrie în tematica conferinței.

Introducerea lucrărilor în programul conferinței se va hotărî de comisia de analiză și evaluare a rezumatelor.

### Termene:

- trimiterea talonului de înscriere împreună cu rezumatul lucrării: 28 februarie 2006
- notificarea autorilor: 15 aprilie 2006
- trimiterea lucrărilor în extenso: 15 iunie 2006

### ACTIONI COMPLEMENTARE CONFERINȚEI:

- expoziție de echipamente de sudare și control a structurilor sudate și materiale pentru sudare
- vizitarea unor obiective industriale din zonă

Informații suplimentare se pot obține la Secretariatul central din Timișoara al ASR:

Loredana Toșe – Asistent Director Executiv

Telefon/Fax: 0256 200041

E-mail: asr@asr.ro

Adresă pentru corespondență:

Bd. Mihai Viteazu 30

300222 Timișoara