

Semnificația inițierii fisurii la fluaj pentru evaluarea defectelor *

Significance of creep crack initiation for defect assessment *

B. Dogan, B. Petrovski, U. Ceyhan
GKSS Research Centre, D-21502 Geesthacht, Germany

1. Evaluarea defectelor la temperatură ridicată

Recomandările producătorilor și experiența lor au stat la baza proiectării componentelor vitale ale motoarelor cum ar fi palete de turbine, vane, discuri, conducte de abur și recipiente sub presiune, ce conțin suduri. Avarierea componentelor sudate conduce la costuri directe, substanțiale ale instalațiilor suplimentare față de pericolul asupra vieților omenești și mediului. Progresele realizate în domeniul evaluării defectelor și procedurilor de reparare contribuie, în mod substanțial, la siguranța și fiabilitatea instalațiilor. [1, 2].

Dezvoltarea procedurilor armonizate pentru încercarea materialelor și analiza datelor pornește de la nevoile industriei pentru realizarea de materiale, proiectarea componentelor pentru aplicații industriale și evaluarea defectelor în exploatare, în vederea reparării acestora. Cel mai utilizat standard pentru încercările la temperatură ridicată a materialelor metalice [3] implică numai propagarea fisurii la fluaj, pe epruvete de tracțiune compactă C(T) obținute numai din materiale omogene. Încercarea și analiza sudurilor este în studiu în cadrul grupului de lucru (WG) al Societății Europene pentru Integritate Structurală/ European Structural Integrity Society (ESIS) TC11 [4].

Revizuirii recente ale procedurilor de evaluare a defectelor la temperaturi ridicate [5] și evaluarea defectelor începând de la temperaturi scăzute până la temperaturi ridicate [6] subliniază nevoia pentru date sigure la proiectare și evaluare în exploatare.

Codurile de proiectare iau în considerare, în general, structurile fără defecte, în timp ce codurile de evaluare se adresează defectelor și tratării acestora. Standardul Britanic, document BS 7910 [7] conține date specializate pentru evaluarea creșterii fisurilor la fluaj.

În codul ASME N-47 [8] nu există prevederi pentru evaluarea fisurilor scurte. Criteriul de "neinițiere" se bazează pe datele de duranță stabilite la nivel de laborator, unde acesta constituie cedarea unei epruvete tipice cu diametrul de 8 mm.

Problema inițierii și propagării defectelor din punct de vedere al evaluării a fost prezentată pas cu pas în cele 7 volume ale R5 [9]. Procedura A16 [10] pentru inițierea și propagarea fisurilor scurte combină conceptul RCC-MR de evaluare a degradării la o distanță d de la vârful fisurii care va conduce la

1. High temperature defect assessment

The manufacturer's recommendations and their past experience have been the basis for the design of vital engine components such as turbine blades, vanes, discs, gas steam pipes and pressure vessels containing weldments. Failure in engineering weld components leads to substantial portion of the direct costs of the plant in addition to danger to human lives and environment. The progress made in defect assessment and lifing procedures contribute substantially to safety and reliability of plants [1, 2].

Development of harmonized procedures for material testing and data analysis stems from the industrial need for material development, component design for engineering applications and in-service defect assessment for lifing. The most widely used standard for high temperature testing of metallic materials [3] involves only the creep crack growth in compact tension, C(T), type specimens of only homogeneous materials. The testing and analysis of weldments is being worked on in working group (WG) of European Structural Integrity Society (ESIS) TC11 [4].

Recent reviews of high temperature defect assessment procedures [5] and defect assessment at low to high temperature [6] emphasize the need for reliable data for design and in-service assessment. Design codes generally consider defect free structures, whereas assessment codes address flaws and their treatment. The British Standard document BS 7910 [7] contains some specialized data for creep crack growth assessment.

There is no provision made in the ASME N-47 Code [8] for the assessment of short defects. The "no initiation" criterion is based on factored laboratory endurance data where this constitutes failure of a specimen typically 8 mm in diameter. The problem of initiation and growth of defects from an assessment point of view has been presented step-by-step in 7 volumes in R5 [9]. The A16 procedure [10] for the initiation and growth of short cracks combines the RCC-MR concept of evaluating damage at a distance d from the crack tip which will lead to a finite size defect [11]. The approach considers the stress state at a distance d ahead of a notch-like defect, given by $\Delta K/(2pd)^{1/2}$ [12]. Over the last two decades, the study of "microstructurally" short crack growth has

*) Doc. IIW-1700-05, în *Welding in the World*, vol. 50, nr. 1/2, p. 62-70, 2006

*) Doc. IIW-1700-05, în *Welding in the World*, vol. 50, no. 1/2, p. 62-70, 2006

un defect dimensiune finită [11]. Abordarea consideră starea de tensiune la o distanță d în fața unui defect de tip fisură, dată de $\Delta K/(2\pi d)^{1/2}$ [12]. În ultimele două decade, s-a dezvoltat studiul creșterii “microstructurale” a fisurii scurte [11], în care defectele se produc și pornesc, fiind temporar oprite de barierele microstructurale cum sunt limitele de grăunți.

1.1. Estimarea timpului de inițiere a fisurii

Perioada de incubație poate fi estimată din ecuații acolo unde nu sunt date disponibile pentru materialul utilizat în componentă. Timpul de incubație este calculat utilizând [13].

$$t_i = 0.0025 \left[\frac{\sigma_{ref} t_{R(ref)}}{(K_a^p)^2} \right]^{0.85} \quad (1)$$

Timpul de incubație pentru componenta în stadiul secundar de fluaj poate fi obținut din următoarele ecuații, atunci când datele privind timpul de incubație sunt disponibile din încercările epruvetelor.

$$\left(\frac{t_{comp}}{t_{spec}} \right) = \left(\frac{C_{spec}^*}{C_{comp}^*} \right)^{n/n+1} \quad (2)$$

unde indicele *comp* se referă la componentă și *spec* se referă la epruvetă.

2. Încercări pentru inițierea și creșterea fisurii la fluaj

Încercările la sarcină constantă (CL) sau la rata constantă de deplasare (CDR) au fost realizate pentru obținerea datelor de inițiere a fisurii la fluaj (CCI) și datelor de creștere a fisurii la fluaj (CCG). Datele privind sarcina, căderea de potențial electric (PD) și deplasarea pe linia de sarcină a încărcării (LLD) sunt înregistrate pe tot parcursul încărcării totale, începând cu preîncărcarea pentru analiza următoare a datelor pentru mărimea fisurii, C^* și determinarea lui K . Suplimentar, sarcina/deplasarea măsurată vor da complianța elastică a epruvetei pentru lungimea fisurii inițiale.

2.1. Determinarea mărimii fisurii

2.1.1. Complianța la descărcare parțială

Măsurarea complianței din datele de sarcină-linia de deplasare a încărcării (LLD) necesită încărcarea și descărcarea unei epruvete la timpul $t = 0$. Expresia de mai jos este folosită pentru complianța la timpul zero.

$$C_0 = \Delta LLD / \Delta F = \text{tg } \alpha_0 \quad (3)$$

Lungimea inițială a fisurii este calculată din complianța inițială la $t = 0$, utilizând formula pentru o epruvetă prefisurată la oboseală C(T) [14]:

$$a_0/W = 1,000196 - 4,06319 U_{x0} + 11,242 U_{x0}^2 - 106,043 U_{x0}^3 + 464,335 U_{x0}^4 - 650,677 U_{x0}^5 \quad (4)$$

unde: $U_{x0} = \frac{1}{(B_e E' C_0) + 1}$, grosimea efectivă

$$B_e = B - \frac{(B - B_n)}{B} \text{ și } E' = \frac{E}{(1 - \nu^2)}$$

Există influența semnificativă a modului de elasticitate, E ,

emerged [11] where defects proceed in fits and starts, becoming temporarily arrested at microstructural barriers such as grain boundaries.

1.1. Estimation of crack initiation time

The incubation period can be estimated from the equations where data are not available for the material used in the component. The incubation time is calculated using [13]

$$t_i = 0.0025 \left[\frac{\sigma_{ref} t_{R(ref)}}{(K_a^p)^2} \right]^{0.85} \quad (1)$$

The incubation time for the component in secondary creep stage can be obtained from the following equations when incubation time data are available from test specimens.

$$\left(\frac{t_{comp}}{t_{spec}} \right) = \left(\frac{C_{spec}^*}{C_{comp}^*} \right)^{n/n+1} \quad (2)$$

where subscripts *comp* refers to the component and *spec* refers to the specimen.

2. Creep crack initiation and growth tests

Constant load (CL) or constant displacement rate (CDR) tests were carried out for obtaining CCI and CCG data. The load, potential drop (PD) and load line displacement (LLD) data are logged all the way to full load starting from pre-load for the subsequent analysis of the data for crack size, C^* and K determination. In addition the load/displacement measured will give the specimen's elastic compliance for the initial crack length.

2.1. Crack size Determination

2.1.1. Partial-Unloading Compliance

The measurement of compliance from load-load line displacement (LLD) data requires loading and unloading of a specimen at time $t = 0$. The below expression is used for time zero compliance,

$$C_0 = \Delta LLD / \Delta F = \text{tg } \alpha_0 \quad (3)$$

The initial crack length is calculated from initial compliance at $t = 0$, using the formula for a fatigue pre-cracked C(T) specimen [14]:

$$a_0/W = 1,000196 - 4,06319 U_{x0} + 11,242 U_{x0}^2 - 106,043 U_{x0}^3 + 464,335 U_{x0}^4 - 650,677 U_{x0}^5 \quad (4)$$

where: $U_{x0} = \frac{1}{(B_e E' C_0) + 1}$, effective thickness

$$B_e = B - \frac{(B - B_n)}{B}, \text{ and } E' = \frac{E}{(1 - \nu^2)}$$

There is significant influence of elastic modulus, E , on crack length calculation accuracy. It is important to have proper E data obtained at the test temperature. For E range between 100 and 200 MPa the difference in Δa is depicted in Fig. 1.

2.1.2. Potential Drop Method

Direct current potential drop (DCPD) method is applied to monitor the crack initiation and growth during testing. The

asupra preciziei de calcul a lungimii fisurii. Este important să existe date corecte ale lui E obținute la temperatura de încercare. Pentru domeniul E între 100 și 200 MPa diferența Δa este prezentată în figura 1.

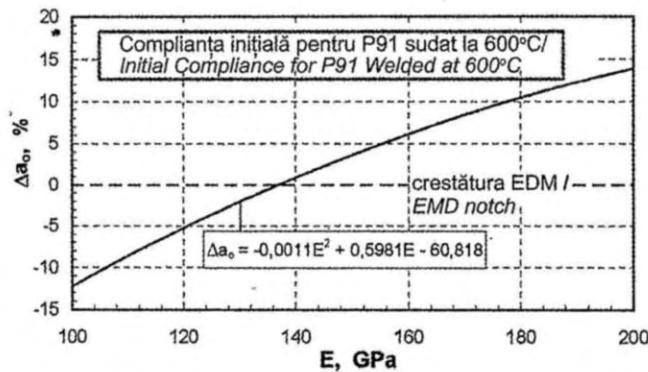


Figura 1. Variația lungimii fisurii Δa_0 determinată de metoda complianței la descărcare parțială cu modulul de elasticitate E al materialului la temperatura de încercare, determinată pentru P91 sudat la 600°C

Figure 1. Variation of crack length Δa_0 determined by partial unloading compliance method with elastic modulus E of the material at test temperature, determined for P91 weld at 600°C

2.1.2. Metoda diferenței de potențial electric

Metoda diferenței de potențial de curent continuu (DCPD) se aplică pentru a monitoriza inițierea creșterii fisurii în timpul încercării. Mărimea fisurii este determinată din datele PD utilizând formula lui Johnson dată pentru geometria C(T) [3]. Utilizarea corectă a datelor PD este foarte importantă pentru determinarea inițierii fisurii la fluaj (CCI) datorită variației posibile a înregistrărilor timpilor PD, după cum se vede în figura 2.

Dispersia mărimii fisurii prin utilizarea metodei PD crește prin formarea de canale de fisurare cu ligamente nerupte așa cum se observă la suprafețele rupte. O măsurare precisă a frontului inițial (a_0) și final (a_f) al fisurii și mărimii fisurii s-a efectuat la ruperea epruvetei după încercare, în afara cuptorului.

3. Metode curente de evaluare a inițierii fisurii la fluaj (CCI)

3.1. Diagrama de evaluare a cedării funcție de timp (TDFAD)

Metodele de evaluare pe baza diagramei de cedare (FAD), ca cele din R6 [15], și-au extins domeniul la evaluarea componentele ce conțin defecte. Metoda FAD s-a extins la regimul de fluaj, numită diagrama de evaluare a cedării în funcție de timp (TDFAD) [16]. Avantajele utilizării metodei (TDFAD):

- nu sunt necesare calculele detaliate ale parametrilor la vârful fisurii, cum ar fi C_p ,
- nu este necesar să se stabilească regimul de rupere în avans, și
- TDFAD poate indica dacă cedarea este controlată de creșterea fisurii la scară mică sau regim de fluaj larg răspândit sau prin rupere la fluaj.

În cazul TDFAD, parametrii K_r și L_r sunt definiți ca:

$$K_r = K / K_{mat}^c, \text{ și } L_r = \sigma_{ref} / \sigma_{0.2}^c \quad (5)$$

unde, K este factorul de intensitate al tensiunii, K_{mat}^c este tenacitatea la fluaj a materialului corespunzătoare unei extensii

crack size is determined from PD data using Johnson's formula given for C(T) geometry [3]. Correct use of PD data is particularly important to determine the CCI due to possible variation of the PD-time records as seen in Figure 2.

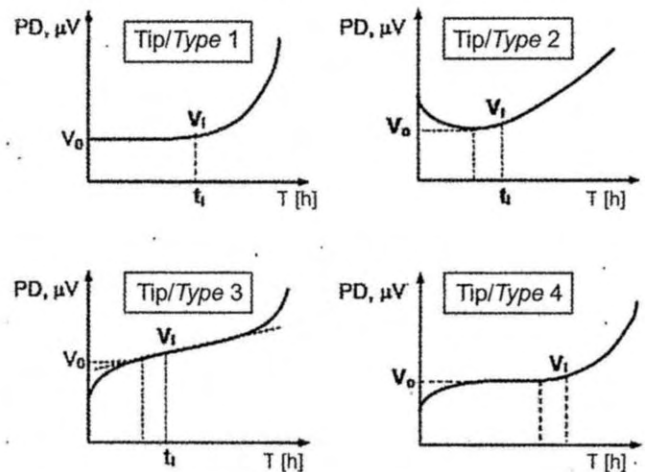


Figura 2. Tipuri de cădere de potențial electric (PD), față de înregistrările timpilor la încercările de propagare a fisurii la fluaj

Figure 2. Types of potential drop (PD) vs. time records in creep crack growth tests

The scatter in crack size using PD method is increased by the crack channelling with unbroken ligaments as observed on fracture surfaces. An accurate measure of the initial (a_0) and final (a_f) crack front and crack size were made when the specimen was broken open outside the furnace after testing.

3. The Current CCI Assessment Methods

3.1. Time Dependent Failure Assessment Diagram (TDFAD)

Failure assessment diagram (FAD) methods, such as those in R6 [15], have been extensively developed to assess components containing defects. The FAD method has been extended to the creep regime, named as the time dependent failure assessment diagram (TDFAD) [16]. The advantage of using a TDFAD are:

- detailed calculations of crack tip parameters such as C_p are not needed,
- it is not necessary to establish the fracture regime in advance and
- the TDFAD can indicate whether failure is controlled by crack growth in the small-scale or widespread creep regime or by creep rupture.

In the TDFAD, the parameters K_r and L_r are defined as:

$$K_r = K / K_{mat}^c, \text{ și } L_r = \sigma_{ref} / \sigma_{0.2}^c \quad (5)$$

where, K is the stress intensity factor, K_{mat}^c is the material creep toughness corresponding to a given crack extension at a given time and K_{mat}^c is the stress corresponding to 0.2% inelastic (creep and plastic) strain from an isochronous stress-strain curve at a particular time and temperature.

$\sigma_{0.2}^c$ is the fundamental concept for TDFAD, at a particular time and crack extension. The details of the TDFAD assessment approach is given in [16].

a fisurii date la un moment dat și K_{mat}^c este tensiunea corespunzătoare la 0,2% deformare neelastică (fluaș și plastică) dintr-o curbă tensiune-deformație izocronă la un anumit timp și o anumită temperatură, $\sigma_{0.2}^c$ este conceptul fundamental pentru TDFAD, la un timp dat și extinderea fisurii. Detaliile privind abordarea evaluării TDFAD sunt date în [16].

3.2. Aplicarea diagramei celor două criterii (2CD)

Pentru descrierea inițierii fisurii prin abordarea 2CD există trei parametri, și anume, factorul de intensitate al tensiunii K_I , integrala independentă de cale C^* și tensiunea nominală în domeniul-ligamentului îndepărtat σ_n [17]. Printre acești parametri, K_I este ales pentru a fi utilizat în 2CD, care este desemnat K_{fid} fiind fictiv elastic, K care descrie starea de tensiune la vârful fisurii.

Parametrul K_{fid} se utilizează pentru a caracteriza geometria la vârful fisurii deoarece soluțiile K_I sunt disponibile pentru un domeniu larg de geometrii.

Parametrii de încărcare a componentei nominalizați sunt dependenți de timp și de datele privind temperatura, care indică rezistența materialului,

$$R_\sigma = \sigma_{n0} / R_{mt} \text{ și } R_K = K_{fid0} / K_{fi} \quad (6)$$

unde R_σ este raportul tensiunii în câmp îndepărtat și R_K este raportul intensității tensiunii la vârful fisurii, R_{mt} este rezistența de rupere la fluaș obținută din epruvetele la tracțiune. K_{fid0} este valoarea elastică fictivă la timpul zero la vârful fisurii componente. K_{fi} este valoarea de inițiere a fisurii la fluaș a materialului, fiind o caracteristică de material.

4. Date experimentale și discuții

4.1. Inițierea fisurii la fluaș

Comportarea componentelor supuse încărcării la fluaș este descrisă de diagramele de deplasare pe linia sarcină – timp. La aplicarea unei sarcini permanente (constantă) în cazul unei componente prefisurate, deplasarea punctului de sarcină crește în timp. Zonă de fluaș din fața vârfului fisurii este definită ca regiunea în care deformația de fluaș depășește deformația elastică, mărimea zonei de fluaș crește în timp conform cu

$$r_c = K^2 (EBt)^{2/(n-1)} F_c(\theta) / 2\pi \quad (7)$$

unde $F_c(\theta)$ este funcție de formă așa cum este definită în [18]. Degradarea microstructurală apare drept consecință a acumulării deformației la fluaș. Inițierea fisurii la fluaș necesită atingerea deformației critice locale la vârful fisurii. Mărimea timpului de inițiere a fisurii la fluaș, t_p , depinde de creșterea extinderii fisurii Δa_p , determinată pentru definirea inițierii fisurii, x_c [19].

Deci, determinarea lui Δa_p fie prin utilizarea metodei PD, fie a complianței la descărcare parțială, este importantă din punct de vedere ingineresc deoarece aceasta afectează direct durata de viață a componentei structurale.

Timpul de generare a deplasării critice, deci deteriorarea, pentru inițierea unei microfisure, adică dimensiunea grăunțului $x_c = 10 \mu m$, va fi semnificativ mai mică decât în cazul unei microfisure, adică $x_c = 0,2$ sau $0,5 \text{ mm}$ ca și în definiția adoptată în codurile de încercări și evaluare. În termeni ingineresti, detectarea unei fisuri utilizând examinarea nedistructivă (NDT) este necesară în exploatarea componentelor și corespunde mărimii de inițiere a macro fisurii adoptate în inginerie.

3.2. Application of Two Criteria Diagram (2CD)

For the description of crack initiation using 2CD approach there are three parameters, namely; the stress intensity factor K_I , the path independent integral C^* and the nominal stress in the far field/ligament, σ_n [17]. Among these parameters, K_I is chosen to be used in 2CD, which is designated as K_{fid} , which is the fictitious elastic K that describe the crack tip stress state. K_{fid} parameter is being used to characterize crack tip geometry since K_I solutions are available for a wide range of geometries.

The component loading parameters are normalized by time and temperature dependent data, which indicates material resistance,

$$R_\sigma = \sigma_{n0} / R_{mt}, \text{ and } R_K = K_{fid0} / K_{fi} \quad (6)$$

where R_σ is the far field stress ratio and R_K is the crack tip stress intensity ratio. R_{mt} is the creep rupture strength obtained from tensile specimens. K_{fid0} is the fictitious elastic value at time zero at the crack tip of the component. K_{fi} is the creep crack initiation value of the material, which is a material property.

4. Experimental data and discussion

4.1. Creep crack initiation

The behaviour of components under creep loading conditions is described by load line displacement – time diagrams. On application of steady (constant) load to a pre-cracked component the load point displacement increases with time. The creep zone ahead of the crack tip is defined as the region in which creep strain exceeds the elastic strain, the creep zone size increases with time according to,

$$r_c = K^2 (EBt)^{2/(n-1)} F_c(\theta) / 2\pi \quad (7)$$

where $F_c(q)$ is a shape function as defined in [18]. The microstructural damage occurs as a consequence of accumulation of creep strain. Initiation of creep crack requires attainment of critical local strain at the crack tip. The magnitude of time to initiate a creep crack, t_i , depends on the increment of crack extension, Δa_i , determined for the definition of crack initiation, x_c [19]. Therefore, determination of Δa_i by using either PD method or partial unloading compliance is of engineering importance as it directly affect the life of a structural component.

The time to generate critical displacement, therefore damage, to initiate a microcrack i.e. $x_c = 10 \mu m$ grain size, will be significantly less than a microcrack, i.e. $x_c = 0.2$ or 0.5 mm as in engineering definition adopted in testing and assessment codes. In engineering terms, detection of a crack using non-destructive testing (NDT) is required in service components that correspond to the adopted engineering macro crack initiation size.

In component defect assessment, the data analysed to determine crack growth rate vs. crack tip parameter K or C^* that gives an initial “tail” with a decreasing growth rate prior to steady-state growth rate. The tail represents the transition depends on material properties and loading conditions. However, the data prior to crack growth initiation that reflects the stress redistribution and development of damage need to be recorded and analysed as it may cover a large part of component life in service. Initial microcrack extension occurs

La evaluarea defectelor componente, datele analizate, pentru a determina viteza de creștere a fisurii în funcție de parametrul vârfului fisurii K sau C^* , dau o "coadă" inițială cu o rată de propagare scăzătoare înaintea ratei de creștere, rata de propagare este în regim constant. Coada reprezintă dependența de tranziție asupra caracteristicilor materialului și condițiile de solicitare. Totuși, datele obținute înaintea creșterii fisurii, care reflectă distribuția tensiunilor și dezvoltarea deteriorării, necesită a fi înregistrate și analizate deoarece pot acoperi o mare parte a duratei de viață în exploatare a componentelor. Extinderea inițială a microfisurii apare la o rată relativ scăzută, cu defecte de mărime mică, unde mărimea parametrului la vârful fisurii, adică C^* , poate fi neglijabilă. Datele experimentale obținute pe două suduri din oțel P91 sudate cap la cap (BW) și sudura cu fascicul de electron îngust (EBW) sunt prezentate în figurile 3-6. Corelarea datelor cu K pentru inițierea fisurii, definită pentru timpul de inițiere la $\Delta a = 0,2$ și $0,5$ mm sunt ilustrate în figurile 3 și respectiv 4.

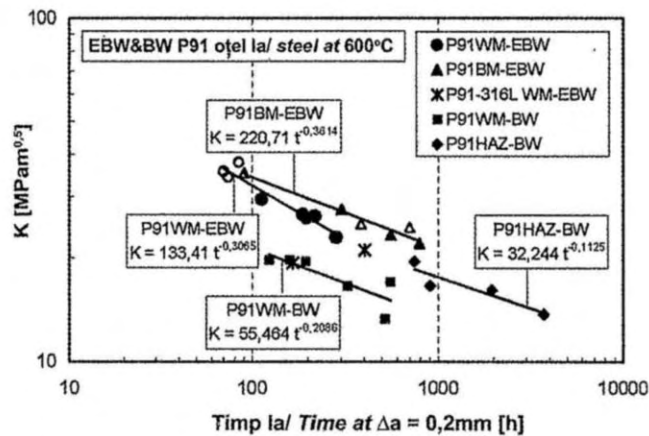


Figure 3. Variația lui K la timpul de inițiere al fisurii, t_i , pentru $\Delta a = 0,2$ mm

Figure 3. Variation of K at crack initiation at time, t_i , for $\Delta a = 0.2$ mm

Abordarea micromecanică a specialiștilor [20] se bazează pe C^* pentru a prezice timpul de inițiere a fisurii la fluaj, care implică utilizarea diagramelor lui C^* în funcție de timp, stabilite pentru un material la temperatura și criteriul de inițiere a fisurii. Dimensiunea tipică pentru inițierea fisurii este considerată $50\mu m$, pe baza observațiilor experimentale directe. Această abordare este, de asemenea, bazată pe argumentele că utilizarea lui C^* pentru a descrie comportarea fisurii la fluaj este riguros validă doar pentru fisurile staționare, prin urmare este utilizată numai pentru a corela timpii de inițiere a fisurii la fluaj. Astfel, datele C^* în funcție de timpul de inițiere sunt prezentate în figura 5 și 6 pentru a face lumină asupra inițierii fisurii, definite în termenii mărimii micro și macro ai fisurii.

Dispersia crește în corelația C^* care atrage atenția asupra alegerii parametrului la vârful fisurii pentru studiul privind inițierea fisurii. O corelare mai bună se observă la timpii mai mari ai mărimii fisurii $\Delta a = 0,5$ mm, ca în definirea inițierii fisurii. Datele de încercare la deplasare constantă (simboluri cu goluri), concordă, de asemenea, cu datele la sarcină constantă (simboluri pline), oricum sunt sarcini mai înalte și timpii finali mai scurți ai graficelor. Acest fenomen reflectă comportarea fisurii cu controlul vitezei de deplasare acolo unde sarcina crește treptat pentru ca fisura să

at a relatively low rate with small defect size where the magnitude of crack tip parameter, i.e. C^* , may be negligible. The experimental data obtained on two P91 steel welds of butt weld (BW) and narrow size electron beam weld (EBW) are shown in Figures 3-6. The data correlation with K for crack initiation defined for initiation time at $\Delta a = 0.2$ and 0.5 mm are depicted in Figures 3 and 4, respectively.

The micromechanical approach taken by specialists [20] relies on C^* to predict creep crack initiation time that involves the use of C^* vs. time diagrams, established for a material at temperature and crack initiation criterion. A typical crack size for initiation is taken as $50\mu m$, based on direct experimental observation. This approach is also based on the argument that the use of C^* to describe creep crack behaviour is only rigorously valid for stationary cracks hence, it is employed for only to correlate creep crack initiation times. Therefore, C^* vs. crack initiation time data are presented in Fig 5 and 6 in order to shed some light on the crack initiation defined in terms of micro and macro crack size.

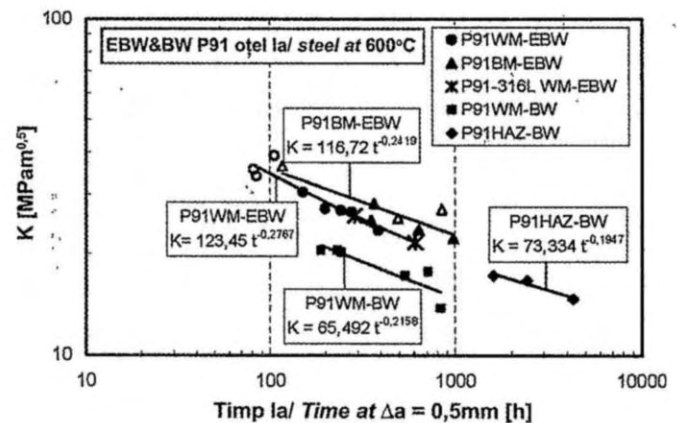


Figure 4. Variația lui K la timpul de inițiere al fisurii, t_i , pentru $\Delta a = 0,5$ mm

Figure 4. Variation of K at crack initiation at time, t_i , for $\Delta a = 0.5$ mm

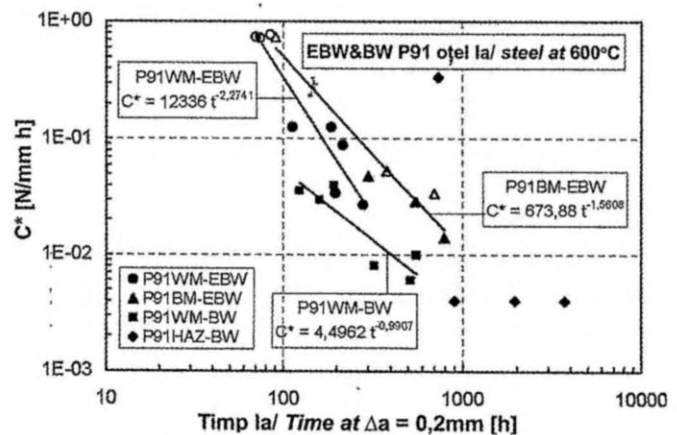


Figure 5. Variația lui C^* la timpul de inițiere al fisurii, t_i , pentru $\Delta a = 0,2$ mm

Figure 5. Variation of C^* at crack initiation at time, t_i , for $\Delta a = 0.2$ mm

The scatter increases in the C^* correlation that directs attention to the choice of crack tip parameter for crack

Evaluare defecte

se propage, permițând materialului de la vârful fisurii, sub încărcare constantă, să se deformeze în timp, pentru a conduce la inițierea creșterii fisurii.

4.2 Abordarea diagramei de evaluare a cedării funcție de timp (TDFAD)

O trăsătură centrală a abordării TDFAD este definirea unei tenacități corespunzătoare de inițiere a fisurii la fluaj, K_{mat}^c .

Când se utilizează în conjuncție cu diagrama de evaluare a cedării, aceasta asigură ca propagarea fisurii, în perioada de evaluare, să fie mai mică decât o valoare Δa . Valorile convenționale ale tenacității la inițierea fisurii pot fi estimate indirect din datele de incubare și de creștere a fisurii la fluaj sau evaluate direct din date experimentale, informații de tipul sarcină în funcție de deplasare [21].

Metoda TDFAD se aplică datelor similare sudurilor P91 prezentate în figura 7.

Dacă se consideră un timp definiție a fisurii de 900 ore, TDFAD se construiește, iar K_r și L_r sunt calculate pentru timpii de inițiere a fisurii $\Delta a = 0,2$ mm și $0,5$ mm. La calculul lui K_{mat}^c se utilizează numai componenta de fluaj a energiei deformației totale. Rezultatele din figura 7 sunt în concordanță cu datele metalului depus P91. Totuși, datele referitoare la ZIT-ul P91 necesită evaluări în continuare.

TDFAD este utilizat pentru a determina extensia Δa la un timp dat, sau timpul necesar pentru ca să se producă o extensie limitată a fisurii.

Prin urmare, sunt obținuți timpii aproximativi de inițiere pentru lungimea definită a fisurii la inițierea propagării fisurii de $0,2$ sau $0,5$ mm.

4.3. Abordarea diagramei celor două criterii (2CD)

Diagrama celor două criterii, 2CD a fost dezvoltată pentru a evalua inițierea fisurii la fluaj la oțelurile feritice [22]. Vârful fisurii și parametri de degradare a ligamentelor, R_k și R_{σ} , respectiv, sunt utilizate în abordarea diagramei 2CD, care sunt similari cu parametri TDFAD, K_r și L_r . Factorul critic de intensitate al tensiunii, K_{IIP} , este utilizat ca o măsură de rezistență la inițierea fisurii mai degrabă decât tenacitatea de inițiere a fisurii la fluaj, K_{mat}^c , utilizată în abordarea TDFAD. Datele experimentale din zonele similare îmbinării cap la cap P91 ale materialului de bază (BM), zonei influențată termic (HAZ) și sudurii (WM) sunt utilizate pentru abordarea diagramei 2CD, așa cum este prezentată în figura 8.

Toate datele cad în zona de degradare mixtă așa cum au confirmat și examinările metalografice pe epruvetele încercate și rupte C(T) ($W=25$ mm, $B=12,5$ mm). Se observă că parametrul K_{II} , care caracterizează inițierea fisurii la fluaj a materialului, necesară a fi determinată din epruvetele cu constrângere înaltă, cu o valoare mare a raportului K_{IIP}/σ_{npl} . În cazul epruvetelor care au fost supuse unor încărcări mai mari s-au aplicat tensiuni nominale mai mari, σ_{no} , și prin urmare R_{σ} crește conducând la inițierea fisurii la fluaj (CCI) cu un pericol de degradare a ligamentelor mai înalt.

O comparație detaliată a TDFAD și 2CD este acum în lucru printr-o acțiune de colaborare europeană, EC TN Advanced Creep of ECC. O publicație recentă dezvăluie activitatea grupului menționat[23].

initiation studies. Better correlation is seen at larger crack size times of $\Delta a=0.5$ mm as in engineering crack initiation definition. Constant displacement test data, (hollow symbols), also agree well with constant load data (solid symbols), however, at higher load and shorter time end of the plots. This phenomenon reflects the crack behaviour under displacement rate control where load is increased steadily to grow crack instead of allowing the material at the crack tip under constant load to deform with time to lead to crack growth initiation.

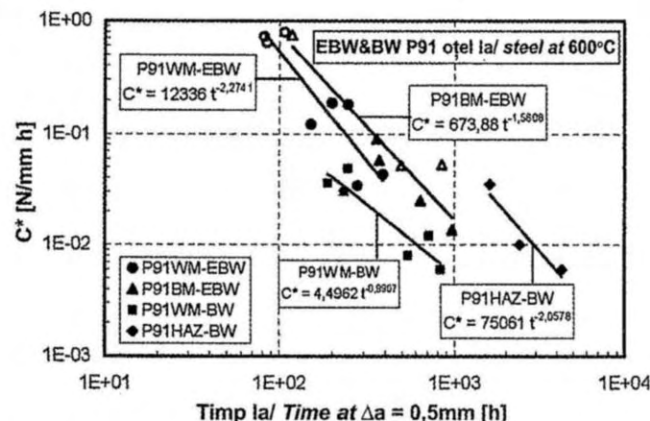


Figure 6. Variația lui C^* la timpul de inițiere al fisurii, t_p , pentru $\Delta a = 0,5$ mm

Figure 6. Variation of C^* at crack initiation at time, t_p , for $\Delta a = 0.5$ mm

4.2. Time Dependent Failure Assessment Diagram (TDFAD) Approach

A central feature of the TDFAD approach is the definition of an appropriate creep crack initiation toughness, K_{mat}^c .

When used in conjunction with the failure assessment diagram, it ensures that crack growth in the assessment period is less than a value Δa . Crack initiation toughness values may

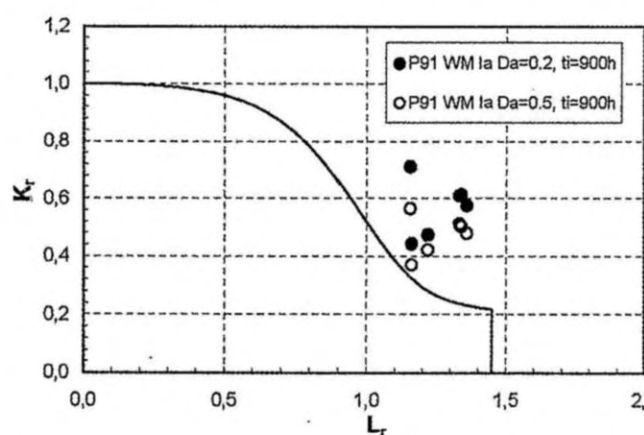


Figura 7. Diagrama TDFAD pentru metalul depus P9 la 600°C, $\Delta a = 0,2$ mm (simboluri pline) și $\Delta a = 0,5$ mm (simboluri cu goluri) pentru timpul de inițiere al fisurii de 900 ore

Figure 7. TDFAD Diagram for P91 WM at 600°C, $\Delta a = 0.2$ mm (solid symbols) and $\Delta a = 0.5$ mm (hollow symbols) for crack initiation time of 900 h

be estimated indirectly from conventional creep crack incubation and growth data or evaluated directly from experimental load versus displacement information [21].

5. Concluzii finale

Se face referire la semnificația inițierii sudurii la evaluarea defectelor componentelor ce lucrează în condiții de temperatură ridicată. Relevanța industrială, deci, importanța CCI a fost recunoscută și se fac, în continuare, eforturi la nivel european și internațional în acest sens. Mai mult, evaluarea sudurilor este o provocare pentru industrie și cercetare, de asemenea, datorită relevanței directe asupra structurilor ingineresti la care degradarea și CCI se produce, predominant, în materialele sudurilor de clasă funcțională.

Lucrarea de față se referă, numai parțial, la această problemă importantă, care necesită un efort de colaborare internațional. Munca efectuată este considerată pentru rezultatele preliminare ale unui studiu pe termen lung, cu abordări diferite, pentru inițierea fisurii la fluaj a sudurilor. În mod particular, datele prezentate pentru metoda TDFAD și 2CD vor fi pe mai departe evaluate atunci când vor exista date suplimentare despre material cât și despre diferitele mărimi de epruvete și geometrii de interes industrial. Totuși, studiul prezent, îndreaptă atenția asupra necesităților și contribuie la:

- a) aspectele experimentale ale CCI, incluzând utilizarea PD și metodele complianței de descărcare pentru monitorizarea mărimii fisurilor,
- b) selectarea parametrului vârfului fisurii,
- c) definirea CCI,
- d) abordările pentru evaluarea CCI a componentelor pentru evaluarea service-ului.

Recunoștință

Autorii doresc să mulțumească domnilor Drs.J.Ewald, R.A. Ainsworth și D. Dean pentru materialul pus la dispoziție și discuțiile fructuoase privind metodele 2CD și TDFAD.

Bibliografie/ References

- [1]. W.M. Steen and G.J.Shannon: Proc. Int. Conf. Trends in Welding Research, Eds., J. M. Vitek et al., ASM International, (1998), 423.
- [2]. K.M. Nikbin: Proc.Int.Conf.CREEP 7, JSME, No.01-201, Ed.Y.Asada, (2001), 123.
- [3]. ASTM E1457-00, "Standard test method for measurement of creep crack growth rates in metals", ASTM 03.01, Philadelphia: ASTM 2000, PA 19103, USA.
- [4]. B.Dogan: "CoP for High Temperature Testing of Weldments". ESIS TC11, WG: on High Temperature Testing Weldments, 1st Draft 2003.
- [5]. B.Dogan, "High temperature defect assessment procedures", Int. J.of Pressure Vessels and Piping, 80, 2003, p.149.
- [6]. B.Dogan and R.Ainsworth: "Defect assessment procedure for low to high temperature", ASME Conf. PVP2003-2032, Vol.463, 2003, p.105.
- [7]. xxx: British Standard BS7910, "Guidance on methods for assessing the acceptability of flaws in metallic structures", British Standards Institution, 2000.
- [8]. xxx: ASME Section III, Rules for construction of nuclear power plant components, Division 1, Sub-section NH, Class 1 components in elevated temperature service, ASME, 1995.

The TDFAD method is applied to P91 similar weld data shown in Figure 7.

Taken a crack initiation time of 900 hours, TDFAD is constructed, and K_r and L_r are calculated for crack initiation times for $\Delta a=0.2$ mm and 0.5 mm. In calculating K_{mat}^c only the creep component of total strain energy is used. The results given in Figure 7, agree well with the P91 WM data. However, P91 HAZ data needs further assessment, the work is in progress.

The TDFAD is used either to determine crack extension of Δa in a given time, or the time required for a limited crack extension to occur. Hence, approximate initiation times are obtained for defined crack length for crack growth initiation of 0.2 or 0.5 mm.

4.3: Two Criteria Diagram (2CD) Approach

The 2CD has been developed to assess creep crack initiation in ferritic steels [22]. Crack tip and ligament damage parameters, R_k and R_σ , respectively, are used in 2CD approach, which are similar to the TDFAD parameters K_r and L_r . The critical stress intensity factor, K_{II} , is used as a measure of crack initiation resistance, rather than the creep crack initiation toughness, K_{mat}^c , that used in TDFAD approach. The experimental data from P91 similar BW zones of BM, HAZ and WM, are used for 2CD as depicted in Figure 8.

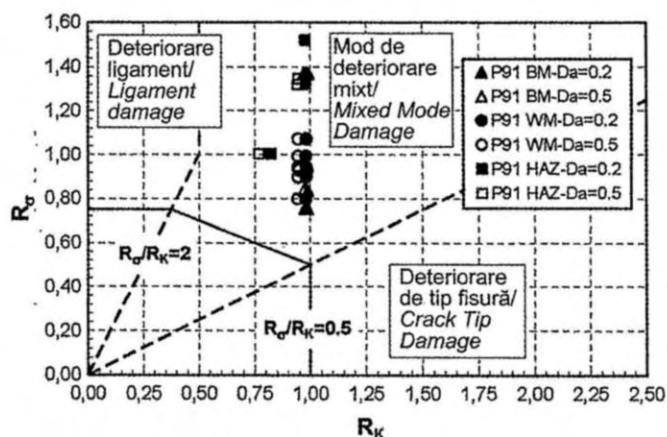


Figura 8. Diagrama celor două criterii pentru zonele sudate P91 (MB,ZIT SUDURA), la 600°C pentru $\Delta a = 0,2$ mm (simbol plin) și $\Delta a = 0,5$ mm (simbol cu goluri)
Figure 8. Two criteria diagram for P91 weld zones (BM,HAZ,WM) at 600°C for $\Delta a = 0.2$ mm (solid symbols) and $\Delta a = 0.5$ mm (hollow symbols)

All data fall in the mixed mode damage zone as also confirmed metallographically on tested and fractured C(T) (W=25 mm, B=12.5 mm) type specimens. Note that the parameter K_{II} characterising the creep crack initiation of the material need to be determined from high constrained specimens with high K_{II}/σ_{npl} . For the specimens on which higher loads were applied higher nominal stress, σ_{no} , hence R_σ is increased leading to CCI with higher ligament damage.

A detailed comparison of TDFAD and 2CD is currently being worked on in a collaborative European action, EC TN Advanced Creep of ECC. A recent publication sheds light on the state of the art of the mentioned group activity [23].

- [9]. xxx: R5, "Assessment procedure for the high temperature response of structures", Goodall I.W. (Ed.), British Energy, Issue 2, 1998.
- [10]. xxx: A16, "Guide for Leak Before Break Analysis and Defect Assessment" RCC-MR, Appendix A16, Edition 2002, AFCEN No: 94-2002
- [11]. B. Drubay, D. Moulin, C. Faigy, C. Poette and S. Bhandari: Defect assessment procedure: a French approach, ASME PVP, Vol. 266, 1993, pp. 113-118.
- [12]. C.E. Jaske: Materials data needs for fatigue design of pressure vessel systems, in C. Amzallag et al. (Eds.), Low cycle Fatigue and Life Prediction, STP 770, ASTM, Philadelphia, 1982, p. 600-611.
- [13]. R.A. Ainsworth and P.J. Budden: (1994) Design and assessment of components subjected to creep, J. Strain Anal., 29, p. 201-208.
- [14]. ASTM E 1737 - 96 Standard Test Method for J-Integral Characterization of Fracture Toughness
- [15]. xxx: R6, Assessment of integrity of structures containing defects, Procedure R6, Revision 3. Gloucester, UK: Nuclear Electric Ltd., 1997.
- [16]. R.A. Ainsworth, D.G. Hooton, D. Green: Failure Assessment Diagrams for High Temperature Defect Assessment, 1999, 62, p. 95-109.
- [17]. J. Ewald, S. Sheng, A. Klenk, G. Schellenberg: Engineering guide to assessment of creep crack initiation on components by two criteria diagram, Int. J of Pressure Vessels and Piping, 2001, 78, p. 937-949.
- [18]. H. Riedel and J.R. Rice: ASTKM STP 700, 1980, p. 112.
- [19]. S.R. Holdsworth: Materials at High Temperatures, Vol.10, No.2, May 1992, p.127-137.
- [20]. R. Pique, P. Bensussan and A. Pineau: Proc. MECAMAT, Int. Seminar on High Temperature Fracture Mechanisms and Mechanics, Dourdan, France, 1987.
- [21]. D.W. Dean and D.G. Hooton: A Review of Creep Toughness Data for Austenitic Type 316 Steels, BEGL Report E/REP/GEN/0024/00, 2003.
- [22]. J. Ewald and K.-H. Keienburg: A Two Criteria Diagram for Creep Crack Initiation, Int. Conf. on Creep, Tokyo, 14-18 April 1986, p.173-8.
- [23]. A. Klenk et al.: ECCC Seminar, Advanced Creep Data, Prague, 2003.

5. Concluding remarks

Significance of crack initiation for defect assessment of components in high temperature service is addressed. The industrial relevance, therefore, importance of the CCI has been recognised and international European effort continues addressing the issue. Furthermore, assessment of weldments stands as a challenge for industry and academia alike due to its direct relevance to engineering structure where damage and CCI occurs predominantly in functionally graded materials of weldments.

The present paper only partly addresses this important issue which requires international collaborative effort. The reported work is considered as preliminary results of a planned long term study of different approaches for CCI of weldments. Particularly, the data presented for TDFAD and 2CD method application will be further assessed when further data on material as well as from different specimen sizes and geometries of industrial interest will be available. However, present study directs attention to the needs and contributes to:

- a) experimental aspects of CCI and CCG testing, including use of PD and unloading compliance methods for crack size monitoring,
- b) choice of crack tip parameter,
- c) definition of CCI, and
- d) approaches for assessment of CCI in components for service assessment.

Acknowledgements

The authors would like to thank Drs.J.Ewald, and R.A.Ainsworth and D.Dean for providing material and fruitful discussions on 2CD and TDFAD methods.



A apărut
ISIM-News 1/2006

Din cuprins:

- Realizări ISIM
- Parteneri ISIM
- Congres internațional IIW
- Workshop
- Stagiu de pregătire
- Ziua porților deschise
- Noi apariții editoriale
- Conferințe/Expoziții
- Program de formare profesională

www.isim.ro/isim_news

SOLUTII OPTIMIZATE PENTRU SUDARE SI TAIERE

www.cloos.ro

CLOOS

SCHWEISSTECHNIK

Tel. 0256 220920
Fax.0256 490102