

<https://doi.org/10.24867/JPE-1994-11-015>

ORIGINALNI NAUČNI RAD

Glavardanov I., Gerić K., Fišl J.

SAVREMENE METODE ISPITIVANJA ŽILAVOSTI LOMA

ADVANCES IN FRACTURE TOUGHNESS TEST METHODS

Summary

New developments and refinements in fracture toughness test methods in this paper are described. To derive COD from the measured clip-gauge displacement, it is assumed that the two halves of a bend or CT-specimen rotate about a hinge during the opening of the crack. The location of the hinge in terms of the ligament length is given by the rotational factor, c .

In reality, however, the two halves of specimen and crack faces will be bent plastically and/or elastically. In this case we may still compute COD measuring clip-gauge displacement provided that the "right" value of r is inserted in relationship.

Glavardanov dr Ivan, vanr. prof., Gerić mr Katarina, asis., Fišl Julija, str. sar., Institut za proizvodno mašinstvo, FTN, 21000 Novi Sad, Vladimira Perića Valtera 2

Rezime

U radu je opisan razvoj i poboljšanje metoda ispitivanja žilavosti loma. Da bi se odredio COD na osnovu izmerenog pomeranja repera na epruveti pri otvaranju prsline, clip-guage, pretpostavlja se da se dve polovine epruvete za savijanje ili CT epruvete, obrću oko tačke kao zgloba tokom otvaranja prsline. Lokacija zgloba je definisana na delu ligamenta preko faktora rotacije, r .

U stvarnosti, dve polovine epruvete i površina prsline će se plastično i/ili elastično savijati. U tom slučaju je moguće računanje COD preko pomeranja repera, ake se u relacije uvrste "prave" vrednosti za faktor rotacije, r .

1. UVODNA RAZMATRANJA

U uslovima velikog plastičnog tečenja materijala, širenje prsline opisuju parametri bazirani na J-integralu /1/ ili veličine pomeranja otvora vrha prsline CTOD /2/. Početak širenja prsline se kontroliše samo jednim parametrom, tj., uslovi početka širenja prsline se mogu napisati u obliku :

$$J = J_c \quad i \quad \delta = \delta_i$$

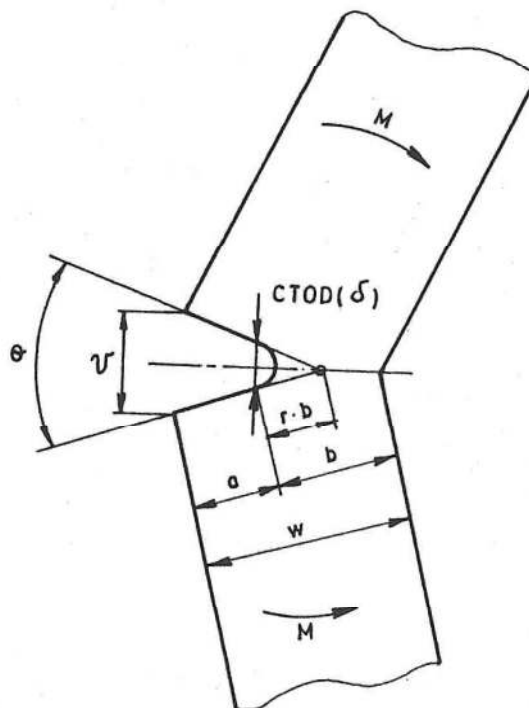
gde je J_c kritična vrednost J-integrala, δ_i otvaranje vrha prsline u momentu njenog širenja. Otvaranje prsline δ je prikazano na slici 1.

Usvajanjem standarda E 813 /1/ definišu se dve osnovne vrste epruveta, epruveta za savijanje u tri tačke TPBS (Three point bend specimen) i tzv., kompaktna epruveta za zatezanje CT (compact tension), za računanje kritičnih vrednosti J-integrala i CTOD (δ_c).

Korišćenjem ovih epruveta nastaje problem merenja fizičke veličine CTOD, jer se sem u specijalnom slučaju, (metoda replike), ta vrednost dobija indirektnim merenjem, najčešće veličine pomeranje usta otvora prsline v (CMOD).

Veza između fizičke veličine CTOD i podesne za merenje, veličine CMOD, može geometrijski da se izrazi preko tzv. faktora rotacije r (Rotational factor), sl. 1.

Pored problema definisanja faktora rotacije praktičan značaj ima mogućnost računanja J-integrala preko CMOD i veza između J-integrala i CTOD.



Sl. 1. Deformacija duboko bočno zarezane epruvete sa jedne strane izložene savijanju u tri tačke, SENB
Fig. 1 Deformation of a deeply notched bend specimen subjected to a bending moment

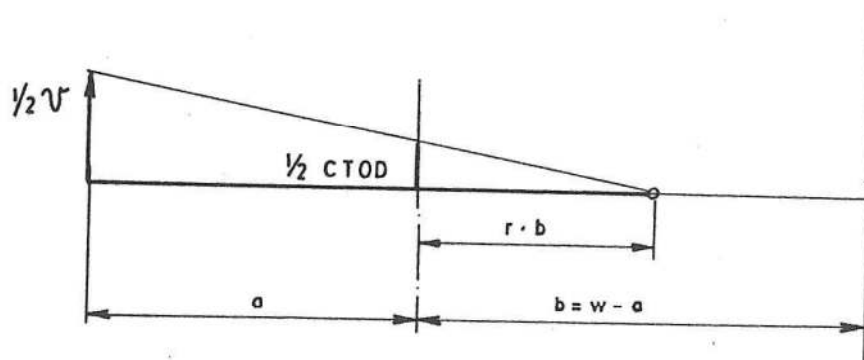
2. FAKTOR ROTACIJE r

Da bi se sračunala vrednost CTOD na osnovu izmerene vrednosti pomeranja nožića CMOD - (Clip gauge displacement, v) mora se uzeti u obzir da dve polovine epruvete za savijanje ili CT epruvete, rotiraju oko neke tačke, tj. zgloba, tokom otvaranja prsline. Lokacija zgloba koji se nalazi u oblasti ligamenta, $b=W-a$, definisana je faktorom rotacije r , čiji umnožak sa ligamentom b definiše zamišljenu tačku zgloba. Međutim, u realnosti, površine prsline će se savijati

plastično i/ili elastično. Ako površine prsline tokom opterećenja ostaju ravne, CTOD se može sračunati na osnovu sličnosti trouglova sa slike 2.

$$\frac{\text{CTOD}}{v} = \frac{r(W-a)}{r(W-a)+a} \quad (1)$$

W je širina epruvete, a je dužina prsline.



Sl. 2 Definicija faktora rotacije r
Fig. 2 Rotational factor

Za male vrednosti ugla savijanja, θ , je proporcionalno pomeranju otvora usta prsline, v

$$v \approx \theta (rb + a) \quad (2)$$

Ako se ta vrednost uvrsti u jed. 1 dobija se

$$r \approx \frac{1 \text{ CTOD}}{b \theta} \quad (3)$$

Medjutim u realnosti, površine prsline će se ili elastično ili plastično deformisati savijanjem. Prema tome, ako se u jednačinu 1 stavi odgovarajuća vrednost za r , može se sračunati CTOD preko izmerene veličine v . To znači da se može napisati izraz :

$$\text{CTOD} = \frac{r_t(W-a)}{r_t(W-a)+a} v_t \quad (4)$$

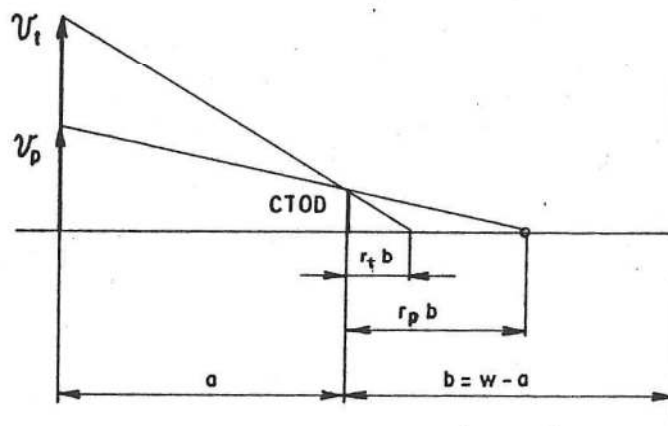
gde je r_t ukupni faktor rotacije a v_t ukupno izmereno pomerenje.

Analogno jednačini (4) može se napisati izraz

$$CTOD = \frac{r_p (W - a)}{r_p (W - a) + a} v_p \quad (5)$$

gde se indeks p odnosi na plastičan faktor rotacije, r_p , i udeo plastičnog pomeranja v_p .

Na slici 3 se može videti da plastični faktor rotacije mora uvek biti veći od ukupnog faktora rotacije.



Sl. 3 Definicija ukupnog i plastičnog faktora rotacije
Fig. 3 The overall and plastic rotational factor

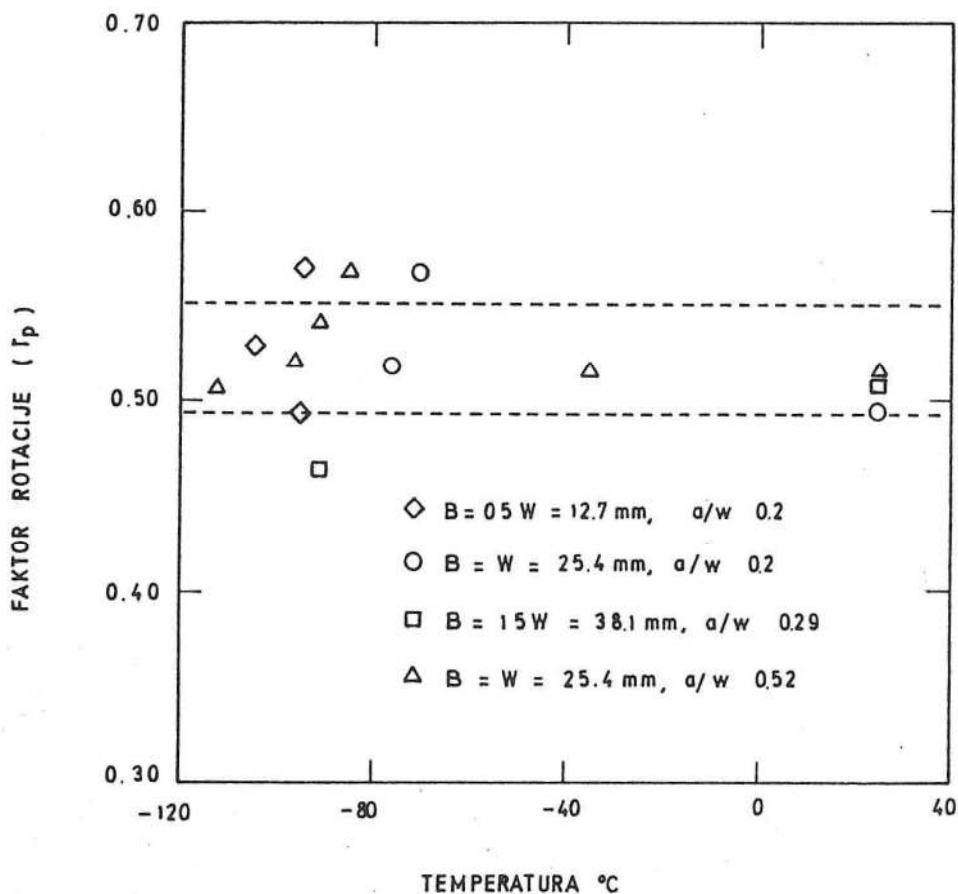
Pri povećanju opterećenja na savijanje epruvete oba faktora rotacije će se stalno menjati.

Prirodno je konstatovati da će jed. 4 dati tačne rezultate samo ako se uvrsti tačna vrednost odgovarajućih faktora rotacije. Stoga je od interesa utvrditi kako se tokom povećanja opterećenja na savijanje epruvete menja r_p do postizanja opšteg plastičnog tečenja preseka epruvete (general yield) i nakon nastanka opšteg tečenja, posebno za materijale koji deformaciono ojačavaju.

U okviru literature / 3, 4 / su prikazani eksperimentalni rezultati izračunatih vrednosti za r_p . Britanski standard [2] propisuje izraz za računanje vrednosti CTOD (8) u kome figuriše faktor rotacije :

$$\delta = \delta_e + \delta_p = \frac{K^2}{2\sigma_y E} + \frac{r_p(W-a)v_p}{r_p(W-a)+a+z} \quad (6)$$

Ova jednačina razdvaja CTOD na elastične i plastične komponente. Prema uslovima ovog standarda predlaže se vrednost za v_p od 0,4.



Sl. 4 Plastični faktor rotacije kao funkcija geometrije SENB epruveta i temperature za normalizovan čelik

Fig. 4 Plastic rotational factor as a function of SENB specimen geometry and temperature for normalized steel

Ukoliko se pored merenja veličine v_p registruje i plastično pomeranje napadne tačke sile savijanja epruvete q_p , može se napisati precizniji izraz za r_p [3]:

$$r_p = \frac{1}{W-a} \frac{v_p W}{q_p} \left[\left(1 - \frac{q_p}{16W} \right) - (a+z) \right] \quad (7)$$

gde je z debljina nožića za merenje v_p clip gage). Gornja jednačina je izvedena pod pretpostavkom da je epruveta izložena čistom savijanju oko tačke zgloba, i da su obe polovine epruvete tokom savijanja krute.

Slika 4 prikazuje izračunatu vrednost faktora rotacije prema jed. 7 za različite geometrije SENB epruveta i temperature ispitivanja konstrukcionog čelika legiranog sa manganom, granice tečenja 350 MPa.

Slika 4 pokazuje da v_p ne zavisi u značajnoj meri od geometrije i dimenzija epruvete kao i temperature. Statistička srednja vrednost podataka sa slike 4 iznosi $r_p = 0,522$, pri standardnoj prvoj devijaciji od 0,030.

3. ZAKLJUČAK

Za tačnije računanje CTOD kao i J integrala potrebno je utvrditi što tačniju vrednost faktora rotacije, posebno ako je moguće odrediti plastični faktor rotacije r_p , jer se tada korišćenjem jednačine 5 dobijaju tačnije vrednosti za CTOD u odnosu na računatu po normama britanskog standarda koji daje veću vrednost.

4. LITERATURA

- [1] ASTM E 813-81, Annual Book of ASTM-Standards, Part 10
- [2] British Standard 5762: Methods for Crack Opening Displacement (COD) Testing, 1979, The British Standards Institution, London
- [3] Lin L.H., Anderson T.L., de Wit R., Dawes M.G., Int.J.Fract., 20, 1982, p R3.
- [4] Kolednik O., Engineering Fracture Mechanics, 29, 1988, 173-188