

ANALYSIS OF CYCLIC FRACTURE OF THE THREADED JOINTS

M. Leonavičius & S. Stupak

To cite this article: M. Leonavičius & S. Stupak (2000) ANALYSIS OF CYCLIC FRACTURE OF THE THREADED JOINTS, *Statyba*, 6:2, 97-103, DOI: [10.1080/13921525.2000.10531572](https://doi.org/10.1080/13921525.2000.10531572)

To link to this article: <https://doi.org/10.1080/13921525.2000.10531572>



Published online: 26 Jul 2012.



Submit your article to this journal [↗](#)



Article views: 57

SRIEGINIŲ JUNGČIŲ CIKLINIO IRIMO SĄLYGŲ ANALIZĖ

M. Leonavičius, S. Stupak

Vilniaus Gedimino technikos universitetas

1. Įvadas

Energetinių, cheminių, transporto, kalnakasybos įrenginių ir mašinų, statybinių konstrukcijų ilgaamžiškumo ir patikimumo didinimas susijęs su daugeliu veiksnių, kurie daro įtaką ribiniams būviams ir lemia atskirų elementų ir visos konstrukcijos stiprumą. Jeigu konstrukcijos nuo pat pagaminimo turi pradinių defektų arba jeigu jie atsirado eksploatacijos metu, tai saugiam darbui būtina, kad tie defektai nepasiektų kritinių dydžių. Visų pirma reikia išmatuoti defektus, o po to apskaičiuoti jų plitimą lemiančius parametrus. Turi būti numatyta pažeidimų kontrolė gamybos proceso ir eksploatacijos metu. Konstrukcijos elemento stiprumo įvertinimas, aptikus defektą arba plyšį, yra gana sudėtingas procesas, kuriam kartais reikia papildomų teorinių sprendinių arba eksperimentinių tyrimų.

Praktikai yra svarbios įvairios ribinio būvio sąlygos, kurioms susidarius plyšys neplinta. Jeigu šios sąlygos išlaikomos, manoma, kad konstrukcijos elementas su neplintančiu plyšiu visiškai tinkamas naudoti eksploatuojamame objekte.

Konstruktiniai ir technologiniai privalumai lemia srieginių jungčių naudojimą įvairiems mazgams ir atskiriems elementams sujungti. Suirimų analizė rodo, kad į srieginę jungtį reikia žiūrėti kaip į sistemą, sudarytą iš atskirų elementų (varžtas-veržlės, varžtas-korpusas), kurie veikia vienas kitą ir kartu su kitais veiksniais lemia varžto (silpniausios grandies) ciklinį ilgaamžiškumą. Eksperimentiniai ir teoriniai šio reiškinio tyrimai, naudojant plokščius, tūrinius ir skaičiuojamuosius modelius, neduoda pakankamai tikslaus rezultato, nes neatkuria sriegio sukabinimo darbo sąlygų.

Tinkamai sukonstruota srieginė jungtis (be technologinių ir surinkimo defektų) suirs taip: statinio apkrovimo metu tik lygioje dalyje, o ciklinio apkrovimo metu varžto-veržlės sukabinimo srieginėje dalyje. Visi kiti galimi literatūroje aprašyti suirimo atvejai gali būti pašalinti parenkant sistemos varžtas-veržlės geometrinius parametrus,

medžiagą ir gamybos technologiją. Reglamentuojamas ilgaamžiškumas labai priklauso nuo srieginių jungčių medžiagos, jos terminio apdorojimo, sriegio profilio formavimo, surinkimo technologijos, įvairiapusės paruošos ir po to atliekamų technologinių operacijų kontrolės [1–7].

Straipsnyje apžvelgiami tyrimai [8–12] ir pateikiami nauji rezultatai apie trumpų plyšių plitimą srieginėse jungtyse. Plyšio susidarymo sąlygoms nagrinėti imta lygaus bandinio patvarumo riba ir įtempimų būvis sriegio įduboje. Palyginami duomenys apie plyšio plitimą srieginėse jungtyse ir bandiniuose su žiedine išpjova nuo plyšio atsiradimo iki visiško suirimo.

Atsparumo cikliniam irimui, plyšio atsiradimo ir plitimo dėsningumą įvertinimo metodų tobulinimas yra aktualus: leidžia patobulinti skaičiavimo metodikas, atsižvelgiant į gautus teorinius ir eksperimentinius tyrimo rezultatus, būdingus tik srieginėms jungtims.

2. Atsparumas cikliniam irimui

Plyšio atsiradimas ir jo plitimas yra du atskiri ciklinio irimo etapai. Tačiau ciklinėms apkrovoms veikiant tam tikrame medžiagos tūryje šie du etapai yra panašūs, todėl nagrinėjamu požiūriu jie gali būti atskirti arba sujungti. Plyšio plitimo greitis yra vienas iš pagrindinių medžiagos ir konstrukcijos elemento atsparumo cikliniam irimui rodiklių. Pagal bandymo duomenis šis dydis yra nesunkiai apskaičiuojamas. Kebliau būna, kai reikia nustatyti analitinį jo ryšį su kitais rodikliais, lemiančiais plyšio plitimą, t. y. su parametrais, apibūdinančiais medžiagos savybes, apkrovos lygį, ciklo asimetriją ir kt. Ši neapibrėžtumą rodo daugelis empirinių formulių [6, 7], apytiksliai aprašančių plyšio plitimo greitį. Šiose priklausomybėse galima išskirti parametrus, apibūdinančius apkrovimo sąlygas ir medžiagos savybes. Tačiau kiekvienu konkrečiu atveju, ypač nagrinėjant ciklinį irimą konstrukcijos elementu, kurie veikia vienas kitą (sistemoje varž-

tas-veržlė), reikia nuspręsti, kurie parametrai įskaitytini ir kurie iš jų yra vyraujantys irimo procese.

Įtempimų būvis, konstrukciniai ir technologiniai ypatumai, apkrovimo lygis, ciklo asimetrija ir kiti veiksniai, kurie lemia plyšio susidarymą ir plitimą srieginėse jungtyse, taikant irimo mechanikos kriterijus, nagrinėjami darbuose [8–12]. Irimo proceso dėsningumai, atsižvelgiant į konstrukcinius ypatumus, gamybos technologiją ir apkrovimo sąlygas, buvo tiriami srieginėse jungtyse nuo M8 iki M48. Išbandytos srieginės jungtys pagal sistemą veržlė-smeigė-veržlė ir veržlė-smeigė-korpusas, pagamintos iš plieno 25XIMΦ ir 20XIM1ΦITP, kurie plačiai naudojami gaminti energetinių įrenginių tvirtinimo elementams. Po skirtingo terminio apdorojimo (grūdینimo, normalizacijos, atkaitinimo) mechaninių savybių rodikliai: $\sigma_{0,2} = 780 \div 1020$ MPa; $\sigma_u = 830 \div 1120$ MPa; $\Psi = 58 \div 62\%$. Veržlės pagamintos iš to paties plieno kaip ir smeigė arba iš kito plieno, turinčio skirtingus mechaninių savybių rodiklius.

Plyšio plitimo dėsningumai srieginėse jungtyse M20 parodyti 1 paveiksle. Kinetinių nuovargio kreivių tiesiąją dalį, t. y. antrąjį etapą (pagal įprastinę irimo mechanikoje metodiką) galima aprašyti P. Pariso lygtimi:

$$\frac{dh}{dN} = C(\Delta K)^n, \quad (1)$$

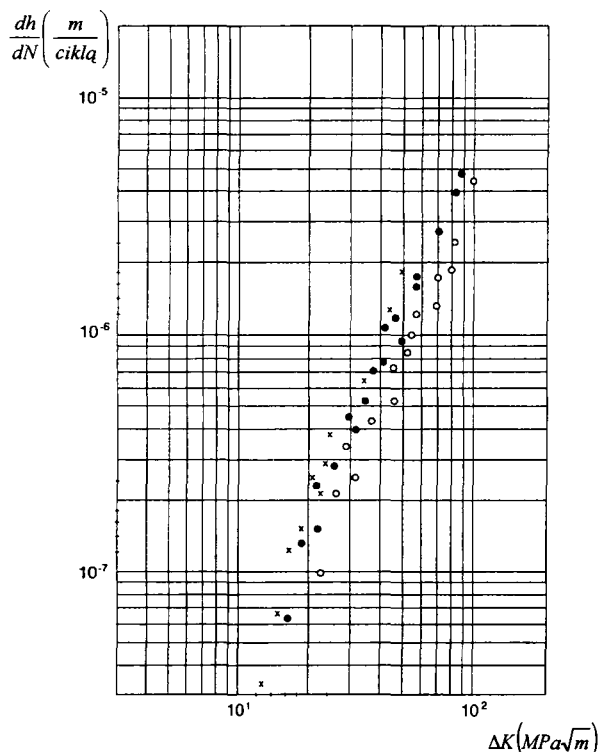
čia dh/dN – plyšio greitis; $\Delta K = K_{max} - K_{min}$ – įtempimų intensyvumo koeficiento kitimo intervalas, kuris apskaičiuojamas pagal S. Jariomos [8] formulę; C, n – parametrai, apskaičiuojami pagal eksperimentinius duomenis (pateikti 1 lentelėje).

Kinetinėse nuovargio diagramose išryškėja ciklo asimetrijos įtaka, kuriai įvertinti pritaikyta R. Formano lygtis:

$$\frac{dh}{dN} = \frac{C(\Delta K)^n}{(1-r)K_c - \Delta K}, \quad (2)$$

čia r – ciklo asimetrijos koeficientas; K_c – įtempimų intensyvumo koeficientas trapios irimo stadijoje; C ir n parametrai, nustatomi pagal kinetines nuovargio diagramas. Darbe [9] pateiktos (2) lygties rodiklių reikšmės išbandytoms jungtims.

Cilindrinų bandinių Ø20 su žiedine išpjova, imituojančia sriegio M20 įdubą, kinetinės nuovargio diagramos taip pat aprašomos P. Pariso lygtimi (1). Parametrų C ir n reikšmės priklausomai nuo bandinių medžiagos pateiktos 2 lentelėje.



1 pav. Plyšio plitimo greičio priklausomybė nuo ΔK srieginėse jungtyse iš plieno 25XIMΦ (normalizacija)

Fig 1. Dependence of the crack propagation rate on threaded joint steel 25XIMΦ (normalising)

1 lentelė. Plyšio plitimo lygties parametrai

Table 1. Parameters of the equation of crack propagation

Bandiniai	n	$C(r=0)$	$C(r=0,3)$	$C(r=0,6)$
M20; 25XIMΦ (grūdīnimas)	2,6	$0,2897 \cdot 10^{-10}$	$0,4762 \cdot 10^{-10}$	$0,7243 \cdot 10^{-10}$
M20; 25XIMΦ (normalizavimas)	2,7	$0,1884 \cdot 10^{-10}$	$0,3297 \cdot 10^{-10}$	$0,6123 \cdot 10^{-10}$
M20; 25XIMΦ (atkaitinimas)	2,82	$0,1821 \cdot 10^{-10}$	$0,2428 \cdot 10^{-10}$	$0,425 \cdot 10^{-10}$
M20; 25XIMΦITP (grūdīnimas)	2,74	$0,2038 \cdot 10^{-10}$	$0,3669 \cdot 10^{-10}$	$0,6931 \cdot 10^{-10}$

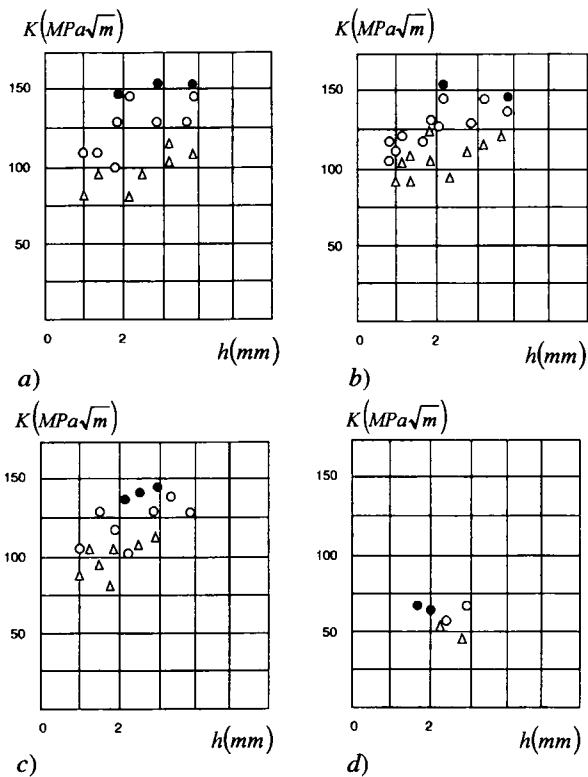
2 lentelė. Plyšio plitimo lygties parametrai

Table 2. Parameters of the equation of crack propagation

Bandiniai	n	C
Cilindrinis bandinys; 25XIMΦ (grūdīnimas)	3,52	$0,0995 \cdot 10^{-11}$
Cilindrinis bandinys; 25XIMΦ (normalizavimas)	3,4	$0,1434 \cdot 10^{-11}$
Cilindrinis bandinys; 25XIMΦ (atkaitinimas)	3,9	$0,0362 \cdot 10^{-11}$
Cilindrinis bandinys; 20XIM1ΦITP (grūdīnimas)	3,6	$0,1034 \cdot 10^{-11}$

Specifiniams ypatumams, kurie būdingi tik srieginėms jungtims, nustatyti buvo atlikti papildomi tyrimai. Žinoma, kad tinkamai sukonstruota srieginė jungtis veržlė-smeigė-veržlė statinio apkrovimo metu suyra smeigės stiebo dalyje (analogiškai kaip ir tempimo atveju). Jeigu smeigėje yra gana didelis plyšys, tai statinio apkrovimo metu suirimas gali įvykti plyšio plokštumoje. Taip tirti buvo trijų tipų bandiniai: cilindriniai bandiniai su plyšiu; smeigės su plyšiu ir srieginės jungtys smeigė-veržlė, kurių smeigėse yra plyšys. Bandymo rezultatai pagal plyšio gylį pateikti 2 paveiksle. Šie duomenys rodo skirtingą visų trijų tipų bandinių pasipriešinimą plyšio plitimui, kurį galima paaiškinti taip:

- skirtingas įtempimų būvis smeigės sriegio ilduboje (bendras smeigės tempimo ir vijos lenkimo rezultatas) ir cilindrinio bandinio žiedinėje išpjovoje;
- skirtingas plyšio plitimo frontas;



2 pav. Įtempimų intensyvumo koeficiento priklausomybė nuo plyšio gylio: ○ – smeigėje; ● – sistemoje smeigė-veržlė; Δ – cilindriniam bandinyje su žiedine išpjova; a – plienas 25XIMΦ (grūdinimas); b – plienas 25XIMΦ (normalizacija); c – plienas 20XIMIΦITP (grūdinimas); d – plienas 25XIMΦ (atkaitinimas)

Fig 2. Dependence of stress intensity ratio on the crack depth: ○ – in the stud; ● – in the system 'stud-nut'; Δ – in the cylindrical specimen with a ring notch; a – steel 25XIMΦ (hardening); b – steel 25XIMΦ (normalising); c – steel 20XIMIΦITP (hardening); d – steel 25XIMΦ (annealing)

- skirtingas plyšio plitimo kampas (statmenai apkrovai cilindriniam bandinyje ir pagal vijos kilimo kampa smeigėje);
- smeigės ir veržlės sukibusių pirmųjų vijų poveikis, kuris riboja plyšio atsivėrimą ir turi įtakos procesams, vykstantiems plyšio viršūnėje.

Visi šie veiksniai lemia tam tikrą skirtumą tarp kritinių įtempimų intensyvumo koeficientų: medžiagos K_c ; smeigės K_{cb} ir smeigės, sukibusios su veržle K_{ct} . Jeigu plyšio gylis mažesnis už 0,5 mm, tai statinio apkrovimo metu smeigės suyra kaip cilindrinis bandinys, t. y. smeigės stiebo dalyje susidaro kakliukas.

3. Plyšio atsiradimo sąlygos

Pagal [1, 2, 3, 4] ribiniu būviu leistinosios amplitudės skaičiavimui yra laikomas plyšio atsiradimas. Ši sąvoka yra nepakankamai apibrėžta (turimas omenyje makroplyšys, kurio dydis apie 1 mm). Eksploatacijos sąlygomis minimalus įmanomas išmatuoti plyšio dydis (paprastai didesnis už 1 mm) ir jo tikslumas priklauso nuo turimų matavimo priemonių. Gaminant svarbias sriegines jungtis, taip pat eksploatacijos metu turi būti neardančios kontrolės metodais nustatyta techninė jų būklė. Tai padeda numatyti galimas pasekmes. Konstrukcijos arba mazgo ilgamžiškumas bus pakankamas ir eksploatacija saugi, jeigu kontrolės metu į plyšį panašaus defekto arba nuovargio plyšio dydis neviršija leistinojo. Leistinajam plyšio dydžiui nustatyti tikslinga nagrinėti įtempimų deformacijų būvį ir taikyti irimo mechanikos metodus.

Nagrinėjant plyšio susidarymą, plitimą ir atlikus išbandytų smeigių lūžių analizę pastebėta, kad plyšio atsiradimo vieta kinta tarp gan plačių ribų [6–12]. Lyginami smeigių, pagamintų iš tos pačios medžiagos (plieno 25XIMΦ), lūžiai. Todėl plyšio užuomazgų susidarymo mechanizmas turėtų būti toks pat. Autorių nuomone, toks rezultatas gaunamas dėl sistemos veržlės poveikio varžtui, didelę įtaką turi ir gamybos tikslumas (sriegio kampo ir žingsnio paklaida). Gali būti atskiras arba bendras šių paklaidų poveikis, keičiantis labiausiai apkrautos vietos padėtį.

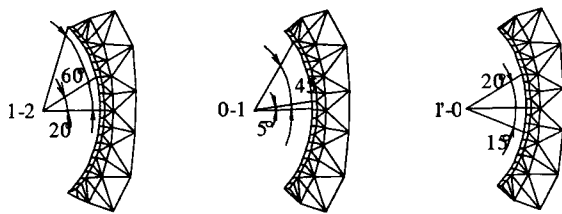
Atsižvelgiant į varžto ir veržlės sistemos gamybos paklaidas, įrašų pasiskirstymą, plyšio atsiradimo ir plitimo dėsningumus, baigtinių elementų metodu atlikta jungties M20 įtempimų būvio analizė. Kadangi dėl gamybos netikslumų vijos apkraunamos netolygiai, apkrovos padėtis vijos paviršiuje keičiama.

Įtempimų būvis įvertintas pagal Mizeso sąlygą. Įtempimas

$$\sigma_i = \frac{1}{\sqrt{2}} \sqrt{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_1 - \sigma_3)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2} \quad (3)$$

(čia $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ – svarbiausieji įtempimai) imamas įtempimų pokyčiui $\bar{\sigma} = \sigma_i / (F / A_{min})$ nustatyti (čia F – visų apkrovų suma, A_{min} – varžto mažiausio skerspjūvio ties sriegio įduba plotas).

Pagal gautus skaičiavimo rezultatus galima išskirti tam tikrą sritį įduboje, kurioje priklausomai nuo veržlės-varžto sriegio sąlyčio susidaro beveik vienodas įtempimų būvis (parodytas 3 paveiksle): 1–2 vijoje nuo 20° iki 60° (maksimalus įtempimų pokytis 4,09); 0–1 vijoje nuo 5 iki 45° (maksimalus įtempimų pokytis 5,48) ir 1'–0 vijoje nuo –15 iki 20° (maksimalus įtempimų pokytis 2,75).



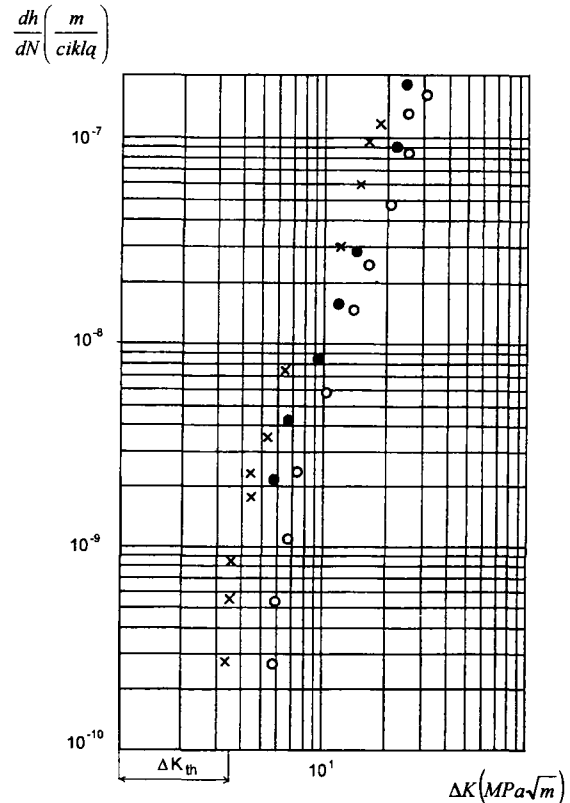
3 pav. Sriegio vijų įdubos plyšio atsiradimo plokštumoje
Fig 3. Cavities of the turns of a thread in the threshold plane

Pirmosios vijos (0–1) įduboje susidaro beveik vienodos sąlygos plyšiui atsirasti. Tokių sąlygų pasekmė – vienas arba keli plyšio židiniai ir didelis ką tik atsiradusio makroplyšio didėjimo greitis ties vijos įduba.

Atlikta įtempimų būvio analizė paaiškina pagrindines plyšio susidarymo sąlygas ir tam tikrus ypatumus, nustatomus eksperimentiniais tyrimais. Anksčiau buvo manoma, kad tik atsiradęs plyšys padidina įtempimų koncentraciją ir būtinai plinta, jeigu jėgos poveikis nesikeičia. Tolesni tyrimai parodė, kad nuovargio plyšiai atsiranda, kai įtempimai mažesni už patvarumo ribą. Buvo aptikta tokių plyšių, kurie neplinta, nors ciklų skaičius didėja, o įtempimų amplitudė pastovi. Didesnės koncentracijos srityse jau ankstyvoje ciklinio apkrovimo stadijoje surasta plyšių, kurie plinta tik iki tam tikro gylio, o po to sustoja. Panašūs reiškiniai pastebėti ir mūsų atliktuose tyrimuose.

Pasinaudojus ankstesnių eksperimentinių tyrimų [10] rezultatais ir atlikus papildomus srieginių jungčių iš plieno 25XIMΦ (normalizacija) tyrimus sudaryta kinetinės nuovargio diagramos dalis apkrovimo ciklų skaičiui, di-

desniam kaip 10^7 . 4 pav. pateiktos diagramos dalyje, kuri yra kinetinės nuovargio diagramos (1 pav.) tęsinys, negalioja lygtis (1). Ši dalis apibūdina trumpų plyšių plitimą. Įtempimų intensyvumo ribinė vertė ΔK_{th} yra slenksstis, žemiau kurio plyšiai neplinta.



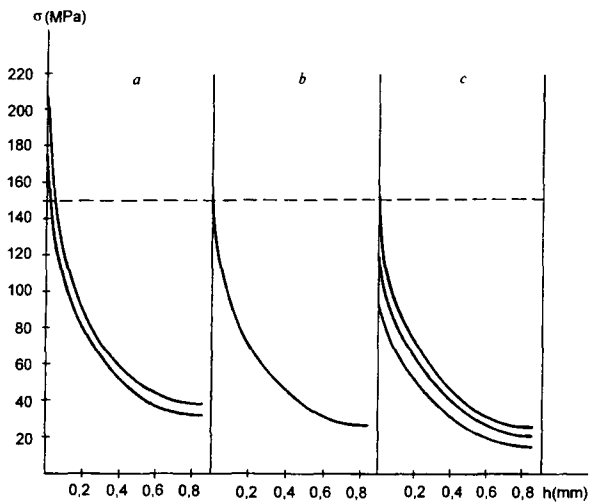
4 pav. Plyšio plitimo greičio priklausomybė srieginėse jungtyse M20 (plienas 25XIMF normalizacija): o – r=0; ● – r=0,3; x – r=0,6

Fig 4. Dependence of the crack propagation rate in threaded joints M20 (steel 25XIMF normalising): o – r=0; ● – r=0,3; x – r=0,6

Reikia pabrėžti dar vieną bandymo rezultatų ypatumą – mažiausiai du bandiniai (smeigė-veržlė) išbandyti vienodomis sąlygomis, tačiau plyšiai plito nevienodai. Ciklų skaičius iki plyšio atsiradimo abiejuose smeigės galuose nežymiai skyrėsi. Tuo tarpu ciklų skaičius iki visiško suirimo (kai kuriuose bandiniuose) žymiai skyrėsi. Taip pat plyšys viename iš smeigės galų gali sustoti. Autorių nuomone, smeigėje plintantys plyšiai pakeičia įrašų srautus sistemoje smeigė-veržlė, dėl to sumažėja plyšio greitis arba plyšys sustoja.

Naudojantis eksperimentiniais duomenimis, taikant įtempimų būvio analizę, baigtinių elementų metodu buvo nagrinėjama sritis, artima slenksčiui (ΔK_{th} pagal 4 pav.).

5 pav. parodytas įtempimų amplitudės pokytis sriegio vijos įduboje, atitinkantis tokius būvius: plyšys atsiranda ir plinta; plyšys atsiranda, tačiau sustoja ir plyšio neaptikta. Plyšio susidarymo ribiniu būviu imta lygaus bandinio patvarumo ribos amplitudė (punktyrinė linija 5 pav.), kuri nustatyta pagal priklausomybes [3, 7]. Pastebimas patenkinamas rezultatų sutapimas, kai ciklo asimetrijos koeficientas $r = 0,3; 0,6$. Rezultatų skirtumas, kai ciklo asimetrijos koeficientas $r = 0$, rodo nuovargio proceso sudėtingumą ir veržlės poveikio varžtui ypatumus.



5 pav. Įtempimų amplitudės pokytis sriegio vijos įduboje, kai ciklo asimetrijos koeficientas $r = 0,6$: *a* – plyšys atsiranda ir plinta; *b* – plyšys atsiranda ir sustoja; *c* – plyšio neaptikta

Fig 5. The stress amplitude change in the cavity of the turn of the thread when the cycle ratio $r = 0.6$; *a* – the crack forms and propagates; *b* – the crack forms and stops; *c* – no crack is revealed

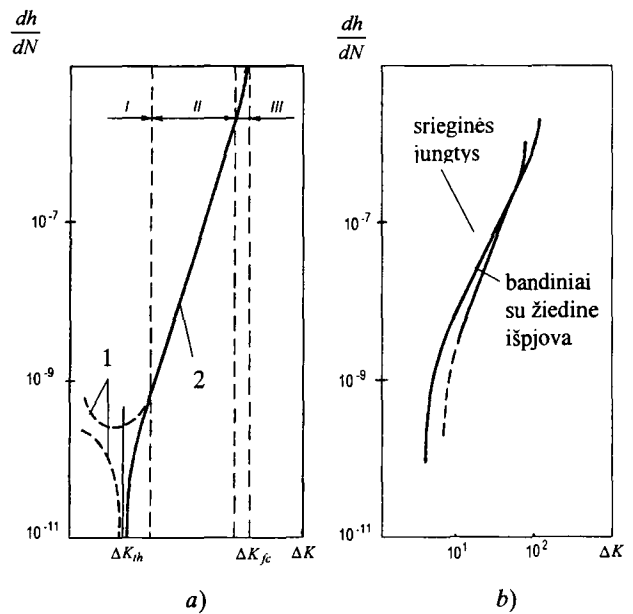
Neplintančių plyšių gylis gali būti apskaičiuotas pagal N. Frosto pasiūlytą priklausomybę:

$$a = 0,645(0,1\sigma_a - 1,6), \quad (4)$$

σ_a – patvarumo ribos nominalinių įtempimų amplitudė. Nagrinėjamu atveju gauname, kad $a \approx 0,16$ mm. Mūsų darbuose laikoma, kad minimalus stovinčio plyšio gylis nuo sriegio įdubos $h = 0,2$ mm. Manoma, kad tokiam gyliui galioja irimo mechanikos kriterijus K_1 . Pagal eksperimentinius duomenis smeigėse M20 neplintančio plyšio ilgis yra apie 5 mm, o gylis didesnis kaip 0,2 mm. Atlikti smeigių su tokiais plyšiais bandymai parodė, kad neplintantys plyšiai statiniam stiprumui įtakos neturi ir suirimas įvyksta lygioje dalyje. Nustatytas neplintančių

plyšių dydis jau nesunkiai pamatuojamas neardančios kontrolės metodais tiek laboratorijos, tiek ir eksploatacijos sąlygomis.

6 pav. pagal duomenis [6, 7, 8, 9, 10] pateiktos kinetinės nuovargio diagramos. Atskiros dalys 6 a pav. vaizduoja: I – mažų plyšių plitimą; II – stabilų plyšio plitimą; III – staigų plyšio plitimą prieš visišką suirimą. 6 b pav. parodyta srieginių jungčių M20 ir cilindrinų bandinių su žiedine išpjova (imituojančia sriegio įdubą) kinetinės nuovargio diagramos. Autorių nuomone, atskirų diagramos ruožų skirtumai rodo veržlės poveikį varžtui ir kad irimo mechanikos pagrindinių dėsnų (gautų reglamentuojamais bandymais) nepakanka aprašyti galimiems ribinių būvių susidarymo mechanizmams, plyšio atsiradimui ir plitimui, būdingam tik srieginėms jungtims.



6 pav. Kinetinės nuovargio diagramos: *a* – bendrasis pobūdis; 1 – mikroplyšiai; 2 – makroplyšiai; *b* – gautos darbe; --- skaičiuojamoji dalis

Fig 6. Diagram of kinetic fatigue: *a* – general character; 1 – microcrack; 2 – macrocrack; *b* – received at work, --- counting part

4. Išvados

1. Plyšio plitimo greitį, veikiant ciklinėms apkrovoms, patenkinamai aprašo irimo mechanikos kriterijus ΔK (įtempimų intensyvumo koeficiento kitimo intervalas). Nepaisant plyšio plitimo ypatumų srieginėse jungtyse, mažaciklio apkrovimo srityje, ΔK paprasčiausiai apskaičiuojamas ir gaunami pakankamo tikslumo rezultatai. Pagal nustatytas plyšio plitimo greičio priklausomybes

galima apskaičiuoti srieginių jungčių ilgaamžiškumą ir liekamąjį resursą.

2. Srieginių lūžių analizė parodė, kad plyšio židinio vieta kinta tarp gana plačių ribų vijos įduboje. Nustatytas ryšys tarp srieginių paviršių sukibimo pobūdžio ir įtempimų būvio, kuris lemia plyšio susidarymo sąlygas ir židinio vietą. Taikant irimo mechanikos kriterijus (lygaus bandinio patvarumo ribą σ_R ir įtempimų intensyvumo koeficiento slenkstį ΔK_{th}), gautas patenkinamas eksperimentinių ir teorinių rezultatų (plyšio atsiradimas) atitikimas.

3. Skirtumas tarp kritinių įtempimų intensyvumo koeficientų: K_{1c} – medžiagos (cilindriniai bandiniai su žiedine išpjova); K_{1b} – smeigės ir K_{1c} – smeigės, sukibusios su veržle, – rodo skirtingą pasipriešinimą trapijam suirimui. Tai priklauso nuo smeigės srieginio paviršiaus formos, plyšio fronto ir veržlės vijos palaikymo efekto, todėl trapųjį irimą lydi jį stabdantys veiksniai.

4. Trumpi plyšiai (gylis iki 0,5 mm, ilgis iki 5 mm) nesumažina srieginių jungčių modelių M20 statinio stiprumo. Tai yra neardančios kontrolės metodais nesunkiai išmatuojamas plyšio dydis, kurį galima laikyti leistinuoju ribiniu būviu eksploatacijos sąlygomis.

Literatūra

1. ASME Boiler and Pressure Vessel Code, Sec. III // Rules for Construction of Nuclear Power Plant Components, Div. I., Subsec. NB, 1995, p. 87–92.
2. ASME Boiler and Pressure Vessel Code, Sec. III // Rules for Construction of Nuclear Power Plant Components, Div. I., Appendices, 1995, p. 6–12.
3. Нормы расчета на прочность оборудования и трубопроводов атомных энергетических установок. Москва: Энергоатомиздат, 1989. 525 с.
4. International standard. Threaded fasteners. Axial load fatigue testing. Test methods and evaluation of results. ISO 3800: 1993(E). Printed in Switzerland. 17 p.
5. И. А. Биргер, Г. Б. Иосилевич. Резьбовые соединения. Москва: Машиностроение, 1978. 256 с.
6. T. L. Anderson. Fracture mechanics. Fundamentals and Application. Boston: CRC Press., 1991. 794 p.
7. В. В. Панасюк, М. П. Саврук, С. Я. Ярема и др. Механика разрушения и прочность материалов. Киев: Наукова думка, 1988–1990, Т. 1. 488 с.; Т. 2. 620 с.; Т. 3. 436 с.; Т. 4. 680 с.
8. В. А. Каган, А. И. Кренявичюс, М.- К. В. Ляонавичюс. Сопrotивление разрушению образцов материала и элементов конструкций // Динамика и прочность конструкций. Вильнюс, 1980, с. 116–20 (Lietuvos aukštųjų m-ly m. darbai. Lietuvos mechanikos rinkinys, Nr. 21).
9. В. А. Каган, М.-К. В. Ляонавичюс. Влияние механических свойств материала на развитие трещин малоцик-

ловой усталости в резьбовых соединениях // Инженерные вопросы прикладной механики. Вильнюс, 1982, с. 93–101 (Lietuvos aukštųjų m-ly m. darbai. Lietuvos mechanikos rinkinys, Nr. 23).

10. М.-К. В. Ляонавичюс, И. И. Жежквичюс, А. И. Кренявичюс. Сопrotивление разрушению резьбовых соединений при циклическом асимметричном нагружении до 10^6 циклов // Динамика и прочность машин и конструкций. Вильнюс, 1983, с. 146–154 (Lietuvos aukštųjų m-ly m. darbai, Lietuvos mechanikos rinkinys, Nr. 25).
11. М. Леонавичюс, С. Ступак. Įtempimų būvio įtaka plyšio susidarymui sriegio įduboje // Mechanika, Nr. 2. Kaunas: Technologija, 1998, p. 5–9.
12. М. Леонавичюс and А. Креневиčius. Shakedown and Failure of the Threaded Joints under Low Cyclic Loading // Journal of Constructional Steel Research, Vol 46, 1998 / The Steel Construction Institute. Elsevier, p. 452–453. Special issue on CDROM.

Įteikta 2000 02 04

ANALYSIS OF CYCLIC FRACTURE OF THE THREADED JOINTS

M. Leonavičius, S. Stupak

Summary

The initial production defects having been transferred into a structure and developed during its operation, it is crucial for labour safety to prevent such defects from reaching critical limits. First, the defects should be measured and then calculations of the parameters affecting the extent of their propagation are to be made. Provisions should be made to control damage during production and maintenance process. Evaluation of the structural element strength, once the defect or crack is detected, is rather a complicated procedure requiring sometimes additional theoretical solution or even an experimental research. The limit state conditions favouring stopping the crack find their way to practical application. If such conditions are maintained, it is estimated that the structural element containing a crack in a state of stoppage is able to perform fully its functions.

In the paper, the resistance of threaded joints to cyclic loading is defined and based on the criteria of fracture mechanics describing non-permissible operational limit states: formation of macrocrack; transition from stable crack propagation to a dynamic one, ie fracture of the structural element; stable crack propagation exceeding the permissible crack size; transition from the defect (stable crack) to steadily propagating crack, ie continuous accumulation of damage.

The regularities of the fracturing process, taking into account constructive peculiarities, production technology and loading conditions were studied in threaded joints within the range of M8 to M48. Threaded joints were tested according to the system 'nut-stud-nut' and 'nut-stud-body' made of steel 25XIMФ and 20XIMIФITP which are widely used to manufacture elements for fixing power equipment. The indicators of mechanical properties are as follows: $\sigma_{0,2} = 780 \div 1020$ MPa; $\sigma_u = 830 \div 1120$ MPa; $\psi = 58 \div 62\%$. Nuts were manufactured from the same kind of steel as studs, or from another kind of steel with different mechanical properties.

The characteristic stages of crack propagation and its rate along the cavity and deeper into the cross-section are presented

in the works of the authors. In the experiments, the criterion of fracture mechanics K_I was applied to describe the crack propagation rate and to investigate the conditions of brittle fracture. A special investigation was carried out to substantiate such a decision. On the basis of the refraction obtained, the S. Jarioma equation was applied to calculate the stress intensity ratio. The parameters of kinetic the fatigue diagrams (a threaded joint and cylindrical specimen 20 with a ring notch imitating the cavity of thread M20) described by means of the P. Paris equation are presented in the works of the authors.

The presented experimental data of the cyclic fracture strength of models M20 are characteristic of threaded joints of other size too, not only of those with the size ranging from M8 to M48. Similar regularities were observed in natural specimens of threaded joints M140x6. The low-cycle fatigue strength of threaded joints manufactured from steel with different mechanical properties (studs made of steel 25XIMΦ, nuts of steel 20.40X and TC) change insignificantly. A more uniform distribution of notches were observed, however, it has a minimal effect on threshold and crack propagation.

To determine specific peculiarities which are characteristic of threaded joints, additional experiments were carried out. It is known that a properly constructed threaded joint 'nut-stud-nut' undergoes fracture in the stud bar during the construction loading (as in case of tension). Provided there is a big crack in the stud, the fracture can occur on the plane of the cavity during the construction loading. Specimens of three types were studied as follows: cylindrical specimens with a crack; studs with a crack and threaded joints 'stud-nut' with a crack in their studs. The results of the experiment depending on the depth of the crack are presented. Different regularities of the threshold, crack propagation and its brittle fracture can be explained as follows:

- a different stressed state within the cavity of the stud thread (the total result of the stud tension and turn bending) and in the ring notch of the cylindrical specimen;
- a different front of crack propagation;
- a different angle of crack propagation (perpendicular to loading in the cylindrical specimen and along the angle of the rise of a turn in the stud);
- the effect of the first joint turns of the stud and the nut which limits crack opening and influences the processes taking place on the top of a crack.

All these factors determine a certain difference between the intensity ratios of critical stresses: materials K_c ; studs K_{cb} and studs joint to the nut K_{ct} .

Making use of earlier and additional experimental investigation of threaded joints made of steel 25XIMΦ (normalising), the part of the diagram of kinetic fatigue was drawn in which the number of loading cycles exceeds 10^7 . This part characterises the propagation of short cracks. The marginal value ΔK_{th} of the intensity of stresses is a threshold below which cracks do not propagate.

One more peculiarity of the experiment results should be indicated – at least two specimens (stud-nut) were tested under equal conditions, but the cracks propagated differently. In the opinion of the authors, cracks propagating in the stud change the flows of the internal resultant in the system 'stud-nut' as a consequence of which the crack propagation rate either decreases or terminates.

Making use of the experimental data and analysis of the stressed state, the study of the region close to the threshold (ΔK_{th}) was conducted by means of finite element method. The amplitude of the endurance limit of an even specimen is regarded as the limit state of the threshold. A satisfactory correlation of the results was observed with the stress ratio $r = 0; 0.3; 0.6$. The difference in the results with the stress ratio $r = 0$ shows the complexity of the fatigue process as well as the peculiarities of the effect of the nut upon the bolt.

According to the experimental data, the length of a non-propagating crack ≈ 5 mm, and the depth exceeds 0.2 mm. Experiments carried out on studs with such cracks showed that non-propagating cracks have no effect on the static strength and fracture takes place in an even part. The determined size of non-propagating cracks is easily measured by means of non-distrusting control methods both under laboratory and operational conditions.

.....
Mindaugas LEONAVIČIUS. Doctor, Associate Professor. Dept of Strength of Materials. Vilnius Gediminas Technical University, Saulėtekio al. 11, LT-2040 Vilnius, Lithuania, e-mail ma@fm.vtu.lt

Doctor (structural mechanics, 1977). Research interests: fracture mechanics and shakedown.

.....
Stanislav STUPAK. Doctor, Associate Professor. Dept of Strength of Materials. Vilnius Gediminas Technical University, Saulėtekio al. 11, LT-2040 Vilnius, Lithuania, e-mail stupakas@adm.vtu.lt

Doctor (structural mechanics, 1978). Research interests: analysis of elastic-plastic strain hardening structures and shakedown; fracture mechanics.