

# ANALYSIS OF EXPERIMENT AND CALCULATION OF THE THREADED JOINTS UNDER TENSION AND CYCLIC BENDING

A. Krenevičius , S. Stupak , M. Šukšta & M. Leonavičius

To cite this article: A. Krenevičius , S. Stupak , M. Šukšta & M. Leonavičius (1999) ANALYSIS OF EXPERIMENT AND CALCULATION OF THE THREADED JOINTS UNDER TENSION AND CYCLIC BENDING, Statyba, 5:3, 170-175, DOI: [10.1080/13921525.1999.10531458](https://doi.org/10.1080/13921525.1999.10531458)

To link to this article: <https://doi.org/10.1080/13921525.1999.10531458>



Published online: 26 Jul 2012.



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



Article views: 65

---

## TEMPIAMŲ IR CIKLIŠKAI LENKIAMŲ SRIEGINIŲ JUNGČIŲ BANDYMŲ IR SKAIČIAVIMŲ ANALIZĖ

A. Krenevičius, S. Stupak, M. Šukšta, M. Leonavičius

### 1. Įvadas

Jau projektuojant numatoma, kad įrašos nevienodai pasiskirstys tarp konstrukcijos elementų. Tačiau skaičiuojamoji schema ne visada atitinka realios konstrukcijos darbą. Dėl nedidelių projektavimo, gamybos ir surinkimo technologijos paklaidų eksploatacijos metu kai kurių elementų įtempimai būna didesni, negu buvo numatyta. Antai metalinių konstrukcijų ir įrenginių srieginių jungčių ir kitų elementų įtempimai dėl konstrukcinių, technologinių ir eksploatacinių ypatumų kinta cikliška ir kai kuriose srityse gali pasidaryti didesni už takumo įtempimus. Jau projektuojant reikia atskirai nagrinėti kartotinius kintamus apkrovos komponentus ir nustatyti, kokį kvazistatinio ar ciklinio apkrovimo ribinį būvį jie gali sukelti, kokių konstrukcijos elementų pažeidimų galima tikėtis.

Paprastai srieginės jungtys apkraunamos tik ašinėmis jėgomis, kintančiomis asimetriniu ciklu. Srieginiai jungiamieji elementai eksploatuojant gali būti apkrauti ciklinėmis jėgomis, kintančiomis simetriniu, asimetriniu arba pulsuojančiu ciklu. Konstrukciniai ypatumai, jungčių ir jungiamų detalių poveikis pakeičia sistemos varžtas-veržlę apkrovimo sąlygas taip, kad pasireiškia ne tik tempimas, bet ir lenkimas, o suminiai įtempimai gali pasiekti plastinę sritį.

Nuo pat stiprumo mechanikos laboratorijos įkūrimo buvo atliekami tempiamų ir cikliška lenkiamų srieginių jungčių eksperimentiniai ir teoriniai tyrimai. Eksperimentinių tyrimų metodika apėmė jau žinomus bandymo metodus ir nuolat buvo tobulinama, siekiant užtikrinti išbandomų srieginių jungčių tokį apkrovimą, kuris maksimaliai atkuria realių jungčių darbo sąlygas. Įtempimų būvis, plyšio susidarymo sąlygų analizė ir eksperimentinių tyrimų rezultatai, pateikti darbuose [1–8], rodo atsparumo cikliniam irimui, pritaikymo proceso sudėtingumą ir dėsningumus, kuriuos pavyko nustatyti eksperimentiniais ir teoriniais tyrimais. Šiame straipsnyje apžvelgiami kai kurie tempiamų ir cikliška lenkiamų srieginių jungčių tyrimo ir skaičiavimo ypatumai.

### 2. Eksperimentinis tyrimas

Lenkimo apkrova atsiranda dėl įvairių priežasčių: gamybos netikslumo, sujungiamų elementų poveikio ir mazgo konstrukcinių ypatumų. Dėl gamybos netikslumo gali atsirasti pokrypis tarp varžto galvutės (veržlės) atraminio paviršiaus ir sujungiamo elemento paviršiaus. Be to, sujungiami elementai dėl išorinių jėgų poveikio gali taip deformuotis, kad neišvengiamas vienusis sąlytis tarp veržlės ir elementų atraminių paviršių. Prieštaravimas tarp sujungiamų mazgų konstrukcinių ypatumų ir srieginėms jungtims keliamų reikalavimų realioje konstrukcijoje gali pasireikšti įrašų persiskirstymu. Tam tikromis priemonėmis lenkimo įtempimus galima sumažinti ir projektuojant:

- didinant varžto (smeigės) paslankumą;
- mažinant sąlyčio paviršių paslankumą;
- didinant sujungiamų elementų standumą;
- naudojant specialias sferines ir kūgines poveržles.

Visos šios priemonės tik šiek tiek sumažina lenkimo įtempimus, o energetikos įrenginių ir kitose konstrukcijose sujungiami elementai daro tokį poveikį srieginėms jungtims, kad lenkimo įtempimus reikia įskaičiuoti jau projektuojant.

Darbuose [1–7, 9] nagrinėjamas tempiamų ir lenkiamų srieginių jungčių atsparumas statiniam ir cikliniam apkrovimui. Lenkimo momentas sukuriama įvairia įranga. Tyrimuose, kuriuose naudojama įstriža poveržlė (nuožulos kampas iki 6°), nėra aiškaus santykio tarp tempimo ir lenkimo įtempimų skirtingomis apkrovimo sąlygomis. Po įveržimo varžto (smeigės) skerspjuvyje veikia įveržimo jėga  $N$  ir lenkimo momentas  $M$ , o įtempimai nuo lenkimo apskaičiuojami iš lygties:

$$\sigma_m = 2 \sqrt{\sigma_n} \frac{\gamma \sqrt{E}}{th \left( \frac{4l_0}{d} \sqrt{\frac{\sigma_n}{E}} \right)},$$

$\sigma_n$  – įtempimai nuo tempimo,  $\gamma$  – smeigės pokrypio kampas,  $l_0, d$  – geometriniai smeigės parametrai,  $E$  – tamprumo modulis.

Mūsų darbuose statiniams ir mažacikliams bandymams taikyta speciali metodika. Įtvirtinimo griebtuvų konstrukcijoje tempimo jėga  $F$  pridėta ekscentriškai ( $e$  – keičiamas) srieginės jungties atžvilgiu. Maksimalūs įtempimai nuo tempimo ir lenkimo apskaičiuojami iš lygties:

$$\sigma_{max} = \frac{4F}{\pi d^2} \left( 1 + \frac{8e}{d} \right).$$

Ši metodika pranašesnė už poveržlės su nuožula metodą. Tyrimai [10] parodė, kad atsparumas mažacikliam nuovargiui pradeda mažėti, palyginti su cikliška tempiamomis jungtimis, jeigu lenkimo įtempimai viršija ketvirtadalį tempimo įtempimų ( $\sigma_m > 0,25\sigma_n$ ). Tačiau ir ši metodika neatkuria srieginių jungčių darbo realiose konstrukcijose.

Paprastai tempimas susidaro įveržiant sriegines jungtis ir siekia  $0,8\sigma_y$ . Srieginėms jungtims įveržti surinkimo metu taikomi specialūs metodai, kuriais gali būti išmatuotas įtempties dydis: veržlės pasukimas, reguliuojant užveržimo momentą; smeigės pakaitinimas surinkimo metu; smeigės ištempimas prieš pasukant veržlės ir kt. Vėliau per sujungiamus elementus varžtai (smeigės) gali būti apkrauti cikliška kintamomis tempimo arba lenkimo apkrovomis.

Specialia bandymo metodika ir įranga, skirta srieginių jungčių M16...M52 bandymui [2, 6], atkuriamos standaus tempimo ir lenkimo sąlygos, susidaranti kai kuriose realiose konstrukcijose. Smeigių ir veržlių pagrindiniai geometriniai parametrai atitinka normatyvinius reikalavimus [11–15]. Tempimas susidaro nuo įtempties, gaunamos specialiu bandymo mašinos įtaisu. Smeigė ištempinama ir tuo pačiu metu pasukama apatinė veržlė. Pašalinus apkrovą, matuojamas įtempties dydis. Periodiškai ištempiant smeigę ir pasukant veržlę gaunamas norimas įtempties dydis ir tarpinių detalių įveržimas.

Taip surinkta srieginė jungtis kartu su tarpinėmis detalėmis įtvirtinama bandymo mašinoje, kuri suderinama darbui pagal poslinkį. Apkrovimo ciklo parametrai kontroliuojami bandymo mašinos prietaisais.

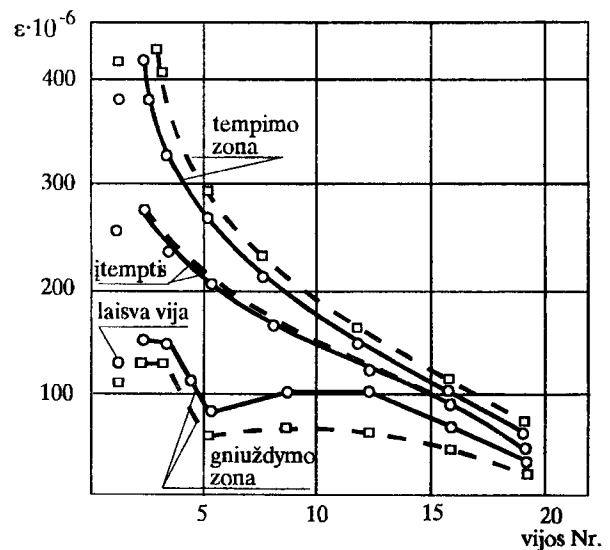
Tarp daugelio veiksnių, lemiančių sistemos varžtas-veržlė ciklinį stiprumą, vienas iš svarbesnių yra įrašų pasiskirstymas. Įrašų pasiskirstymui tarp sriegio vijų skiriami specialūs eksperimentiniai ir teoriniai ty-

rimai, nustatomos sistemos varžtas-veržlė darbo sąlygos, labiausiai apkrautos vietos padėtis smeigės یدuboje, parenkama jungties konstrukcija.

Įrašų pasiskirstymo dėsningumų tyrimui naudotos srieginės jungtys M52×4 iš plieno 38XH3MΦA. Mechaninės savybės termiškai apdorojus:  $\sigma_{r2} = 900$  MPa,  $\sigma_u = 910$  MPa,  $\Psi = 59\%$ . Sriegio یدubos profilis suapvalintas spinduliu  $R = (0,12...0,14)P$ , čia  $P$  – sriegio žingsnis. Veržlių aukštis  $1,8 d$ , išorinis skersmuo  $1,6 d$ , čia  $d$  – išorinis smeigės skersmuo. Tarpelis sriegyje sudarė  $0,3...0,4$  mm. Apkrovimo režimai:

- 1)  $\bar{\sigma} = (0,6 \pm 0,35)\sigma_y$  – 10 ciklų;
- 2)  $\bar{\sigma} = (0,6 \pm 0,45)\sigma_y$  – 200 ciklų.

Įrašų pasiskirstymas įveržus srieginę jungtį iki  $\sigma_t = \sigma_y$ , parodytas 1 pav., atitinka bendruosius dėsningumus, būdingus tempiamoms jungtims (tempinama smeigė ir gniuždoma veržlė). Pirmame apkrovimo cikle vijų یدubose dėl lenkimo tempiamuose sluoksniuose deformacijos taip pat atitinka bendruosius tempiamų jungčių įrašų pasiskirstymo dėsningumus. Gniuždomuose sluoksniuose bendras įtempties ir veržlės poveikis iškraipo žinomus dėsnius. Taip pat parodytos deformacijos smeigės įtemptosios dalies vijos یدuboje (1 pav. laisva vija), kuri nutolusi per sriegio žingsnį nuo veržlės.

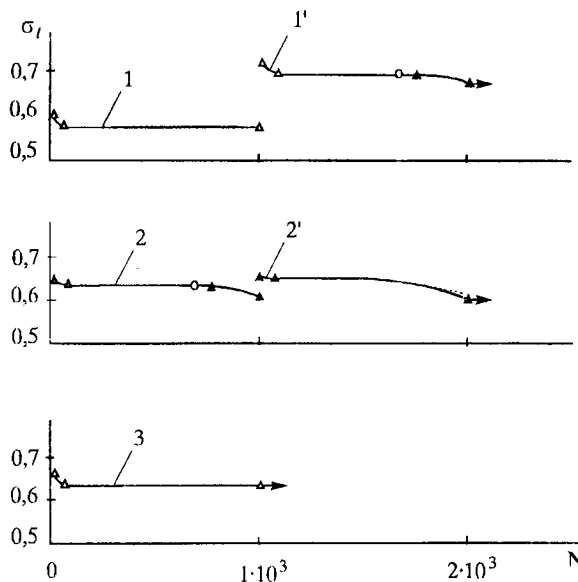


1 pav. Deformacijos atskirose smeigės vietose:  
○ –  $(0,6 \pm 0,35)$ ; □ –  $(0,6 \pm 0,45)$

Fig 1. Deformations in different turns of the stud:  
○ –  $(0,6 \pm 0,35)$ ; □ –  $(0,6 \pm 0,45)$

Eksperimentas parodė, kad dėl lenkimo sukeltamų įtempimų padidėjimo nuo  $0,35\sigma_y$  iki  $0,45\sigma_y$

proporcingai įrašos 1 ir 2 vijose nepadidėja. Toliau deformuojant iki 200 ciklų įrašų pasiskirstymo dėsningumai nepasikeičia. Maksimalūs įtempimai gaunami lenkimo plokštumoje nepriklausomai nuo veržlės ir smeigės tarpusavio padėties, tačiau veržlės padėtis turi įtakos plyšio atsiradimo ir plitimo sąlygoms. Įvertinant tokį įrašų pasiskirstymą viena iš veržlių pastatoma į atitinkamą padėtį, o kita užima savo vietą priklausomai nuo įveržimo dydžio.



2 pav. Srieginių jungčių M52x4 įtempties kitimas:  $\Delta$  – matavimų ribos;  $\blacktriangle$  – matavimų ribos atsiradus plyšiui;  $\circ$  – plyšio atsiradimas;  $\Delta \rightarrow$ ,  $\blacktriangle \rightarrow$  – bandymas nutrauktas; - - - - liekamosios deformacijos lenkimo plokštumoje

Fig 2. Change in tightening threaded joints M52x4:  $\Delta$  – boundaries of measurements;  $\blacktriangle$  – the boundaries of measurements following the formation of a crack;  $\circ$  – the threshold;  $\Delta \rightarrow$ ,  $\blacktriangle \rightarrow$  – the test terminated; - - - - remaining deformations on the bending plane

$$\begin{aligned}
 1 - \bar{\sigma}_{max} &= 0,95\sigma_y, & \sigma_b &= \pm 0,35\sigma_y, \\
 1' - \bar{\sigma}_{max} &= 1,05\sigma_y, & \sigma_b &= \pm 0,35\sigma_y, \\
 2 - \bar{\sigma}_{max} &= 1,1\sigma_y, & \sigma_b &= \pm 0,45\sigma_y, \\
 2' - \bar{\sigma}_{max} &= 1,2\sigma_y, & \sigma_b &= \pm 0,55\sigma_y, \\
 3' - \bar{\sigma}_{max} &= 1,2\sigma_y, & \sigma_b &= \pm 0,55\sigma_y.
 \end{aligned}$$

2 paveiksle parodytas jungčių M52x4 įtempties kitimas priklausomai nuo ciklų skaičiaus. Pastebimas įveržimo sumažėjimas per pirmuosius 50–100 ciklų. Vėliau įtempis smeigėse išlieka tokia pati iki  $10^3$  ciklų arba iki plyšio atsiradimo. Vystantis plyšiui smeigės įtempis mažėja. Dėl kartotinio perveržimo pasikeičia vienos iš veržlių padėtis smeigės atžvilgiu ir kartu plyšys lėčiau plinta. Po tam tikro ciklų skaičiaus įtemp-

tis vėl mažėja. Viena iš jungčių išbandyta asimetriniu pulsuojančiu lenkimu iki  $10^3$  ciklų. Ypatingų skirtumų nuo simetrinio lenkimo nepastebėta (2 pav. 3 kreivė).

### 3. Plyšio plitimo dėsningumai

Įveržtoje ir cikliška lenkiamoje jungtyje plyšio atsiradimo ir plitimo dėsningumai turi specifinių požymių, palyginti su cikliška tempiamomis jungtimis. Suminiai įtempimai netolygiai pasiskirsto išilgai vijos. Artėjant prie tempiamų sluoksnių vijos apkrova didėja, tolstant mažėja.

Įrašų pasiskirstymo sistemoje smeigė-veržlė tyrimas parodė labiausiai apkrautą vietą, todėl surenkant srieginę jungtį viena iš veržlių pastatoma taip, kad smeigė gautų tokį apkrovimą, koks parodytas 3 a ir 3 b paveiksluose.

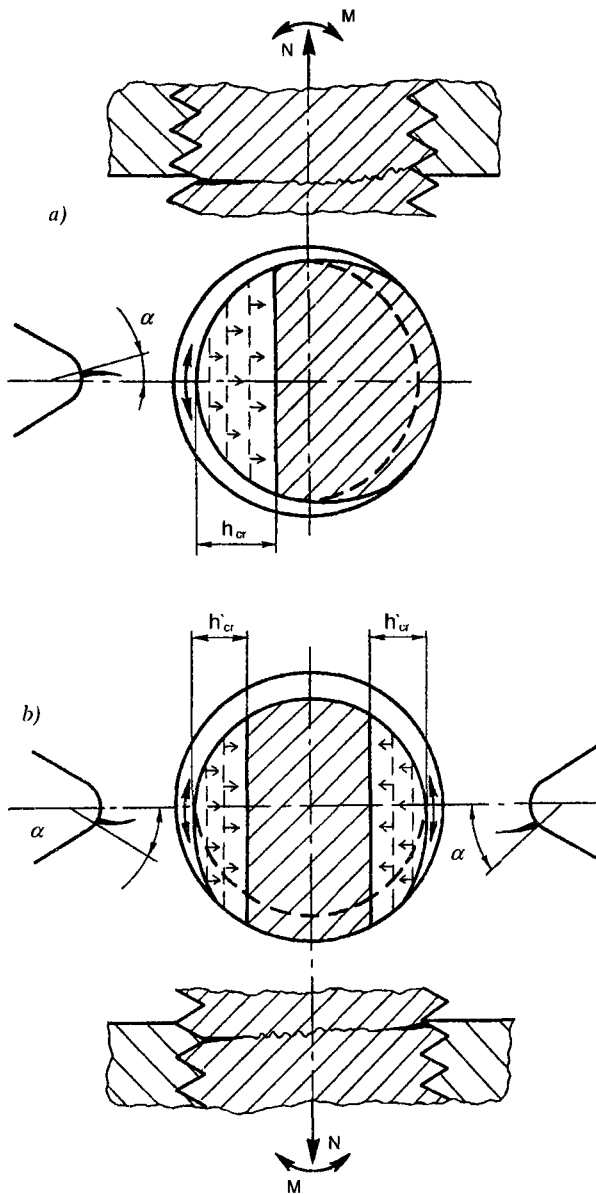
Nuo bendros smeigės įtempties ir lenkimo poveikio maksimalūs įtempimai susidaro tik deformavimo plokštumoje. Nuo to ir priklauso įtempimų ir deformacijų būvis bei plyšio susidarymo sąlygos vijos įduboje.

Plyšio atsiradimo ir plitimo analizė parodė, kad plyšys gali būti vienpusis arba dvipusis. Jeigu plyšys plinta smeigės skerspjūvyje, kaip parodyta 3 a pav., tai jis yra vienpusis arba asimetrinis dvipusis. Jeigu plyšys atsiranda smeigės skerspjūvyje, parodytame 3 b pav., tai jis yra simetrinis dvipusis. Kai plyšys pasiekia kritinį dydį  $h_{cr}$  arba  $h_{cr} = 2h'_{cr}$ , likusi dalis suyra daugiausia dėl deformacijos energijos, kuri buvo sukaupta ištempiant smeigę. Tuo tarpu ciklinis plyšio plitimas vyksta dėl lenkimo deformacijos.

Įtempimų būvio nagrinėjimas ir įrašų pasiskirstymo eksperimentiniai tyrimai rodo, kad priklausomai nuo veržlės padėties lenkimo plokštumoje maksimalių įtempimų sriegio įduboje kampas  $\alpha$  gali kisti nuo  $0^\circ$  iki  $60^\circ$ . Plyšio atsiradimo ir plitimo dėsningumai taip pat kinta. Lūžių analizė parodė, kad plyšio atsiradimo įduboje kampas  $\alpha$  kinta nuo  $0^\circ$  iki  $45^\circ$ . Plyšio pradžia nulemia jo tolesnį plitimą pagal vieną iš schemų, parodytų 3 paveiksle.

### 4. Skaičiavimo analizė

Srieginių jungčių stiprumo skaičiavimas pradeda- mas nuo skaičiavimo pagal leistinus įtempimus, veikian- t statinei apkrovai. Skaičiuojant ciklinį stiprumą nustatoma faktiška atsarga ir palyginama su reglamentuojamąja arba pageidaujama reikšme. Įveržimo proceso metu varžte, be tempimo įtempimų, atsiranda ir



3 pav. Plyšio plitimo dėsniniamai: a – vienpusis plyšys; b – abipusis plyšys

Fig 3. Regularities of crack propagation: a – one-sided crack; b – two-sided crack

tangentiniai įtempimai nuo įveržimo momento (dėl trinties srieginėje dalyje). Skaičiuojant statinį apkrovimą reikia atsižvelgti į šiuos tangentinius įtempimus ir varžto stiprumą tikrinti pagal ekvivalentinius įtempimus. Veikiant ciklinei apkrovai, tangentiniai įtempimai, atsiradę įveržimo procese, sumažėja arba išnyksta. Jeigu jungties įveržimui taikomas ne veržlės posūkio metodas, o varžto ištempimas, tai tangentinių įtempimų nuo įveržimo nebus.

Įtempimai varžtuose ir smeigėse svarbioms jungtims reglamentuojami JAV [11–13] ir Vokietijos normomis. Statinis stiprumas skaičiuojamas pagal minimalias mechanines savybes. Normaliomis eksploatacijos sąlygomis vidutiniai įtempimai skerspjūvyje nuo vidinio spaudimo ir šiluminių įrašų neturi viršyti

$2/3 \sigma_y$ . Be to, vidutiniai įtempimai skerspjūvyje kartu su lenkimo įtempimais kraštiniuose sluoksniuose ir tangentiniais įtempimais nuo sukimo (jeigu tokie yra) neturi viršyti  $\sigma_y$ . Siekiant užtikrinti normalias eksploatacijos ir bandymo sąlygas, reikia apskaičiuoti ciklinį stiprumą.

Jungčių skaičiuojamosios nuovargio kreivės (temperatūroms neviršijant  $375^\circ\text{C}$ ) gaunamos, kai stiprumo atsarga – 2 pagal įtempimus arba – 20 pagal ciklų skaičių. Sriegio įdubos užapvalinimo spindulys ne mažesnis kaip  $0,075 \text{ mm}$ , o efektyvusis įtempimų koncentracijos koeficientas – 4. Taip pat reglamentuojamas ir perėjimas nuo lygios smeigės dalies į srieginę.

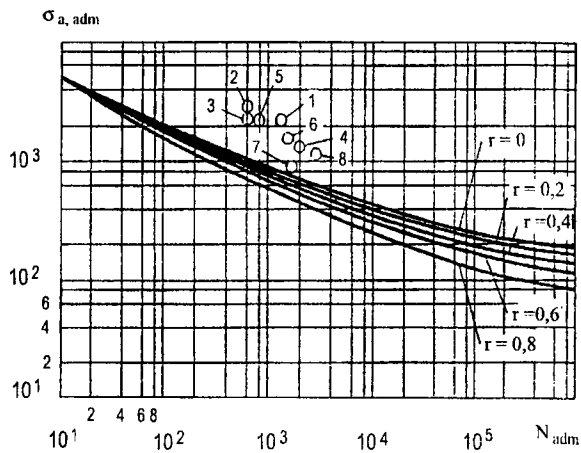
Pagal [14] normas vidutiniai įtempimai skerspjūvyje nuo vidinio spaudimo, įveržimo ir šiluminių jėgų neturi viršyti  $0,65 \sigma_y$ , o įvertinant ir lenkimą –  $0,85 \sigma_y$ . Įtempimai nuo vidinio spaudimo gali būti didesni už analogiškus įtempimus, leidžiamus [11–13] normų. Vidutiniai įtempimai nuo visų apkrovų praktiškai vieni, o įtempimai nuo tempimo ir lenkimo [14] normų griežčiau ribojami negu [11–13] normų.

Nuovargio kreivės pagal [11–13] normas gaunamos, kai deformacijų koncentracijos koeficientas tampriojoje srityje metriniam sriegiui lygus 4 (atsarga  $n_\sigma = 1,5$ ;  $n_N = 3$ ), o tampriai plastinėje srityje gali būti apskaičiuotas pagal Neiberio priklausomybę (atsarga  $n_\sigma = 1,5$ ;  $n_N = 55$ ) ir siekia 5,5.

Skaičiuojant pagal nominalius įtempimus nuo vidinio spaudimo nuovargio atsargos koeficientai pagal [14] normas gaunami ne tokie konservatyvūs negu pagal [11–13] normas.

Tačiau tiesioginis nuovargio kreivių palyginimas, kai ciklų skaičius neviršija  $10^8$ , įskaitant koncentracijos koeficientų padidėjimą, rodo, kad leistinoji amplitudė ir ciklų skaičius griežčiau reglamentuojami pagal [14] normas, palyginti su [11–13] normomis.

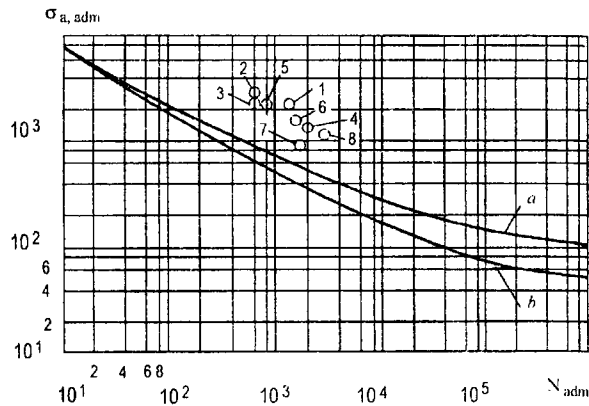
Pagal [14] normas leistinasis ciklų skaičius  $N_{adm}$  nustatomas esant tam tikrai įtempimų ciklo amplitudei arba nustatoma leistinoji įtempimų amplitudė  $\sigma_{a,adm}$  numačius ciklų skaičių. Tai daroma dviem būdais: pagal normų pateikiamas skaičiuojamasis nuovargio kreivės ir pagal formules, jeigu ciklų skaičius neviršija  $10^6$ . Srieginių jungčių skaičiavimo metodai tikslinami ir tobulinami eksperimentiniais ir teoriniais tyrimais. Tempiamų ir lenkiamų jungčių teorinis ir eksperimentinis tyrimas pateiktas [4–8] darbuose.



4 pav. Eksperimentinių rezultatų palyginimas su nuovargio kreivėmis pagal [14] normas;  $r$  – ciklo asimetrijos koeficientas

Fig 4. Comparison of the experimental data with fatigue curves according norms [14];  $r$  – cycle ratio

5 pav. pateiktas jungčių eksperimentinių rezultatų palyginimas su [11, 12] normomis.



5 pav. Eksperimentinių rezultatų palyginimas su nuovargio kreivėmis pagal [11,12] normas;  $a$  – maksimalūs nominaliniai įtempimai  $0,9\sigma_y$ ;  $b$  – maksimalūs nominaliniai įtempimai  $\sigma_y$

Fig 5. Comparison of the experimental data with fatigue curves according to norms [11,12]:  $a$  – max nominal stress  $0,9\sigma_y$ ;  $b$  – max nominal stress  $\sigma_y$

4 paveiksle pateiktas srieginių jungčių M48×4 eksperimentinių rezultatų pagal plyšio atsiradimą palyginimas su skaičiuojamosiomis nuovargio kreivėmis pagal [14] normas.

Suminiai įtempimai nuo tempimo ir lenkimo kraštiniuose varžto sluoksniuose kartais gali viršyti takumo ribą. Atsiradusios netampraus deformavimo sąlygos per visą ilgį gali pakeisti jungties darbo sąlygas. Netampraus deformavimo procesai sudaro sąlygas suirimui, kuris gali būti lokalizuotas arba bendras. Pirmuoju atveju tai susiję su pažeidimų kaupimusi, veikiant ciklinei apkrovai, o dėl to atsiranda ir plečiasi plyšys. Antruoju atveju suirimą lemia santykinių

poslinkių kaupimasis. Progresuojantis varžto geometrinis kitimas eksploatuojant nepageidautinas. Tai gali sukelti įveržimo pokytį, įrašų persiskirstymą ir pažeisti jungiamų elementų hermetiškumą.

## 5. Išvados

1. Tyrimai rodo, kad įtemptų ir cikliška lenkiamų srieginių jungčių ilgaamžiškumas mažai skiriasi nuo cikliška tempiamų jungčių ilgaamžiškumo, jeigu lenkimo įtempimai neviršija pusės tempimo įtempimų.

2. Plyšio plitimo dėsningumai skiriasi cikliška lenkiamose ir cikliška tempiamose srieginėse jungtyse. Esant tam tikrai veržlės ir smeigės padėčiai (lenkimo plokštuma sutapatinama su labiausiai apkrauta vieta vijos įduboje) plyšys yra vienpusis. Kitais atvejais, t.y. bet kurioje kitoje veržlės padėtyje smeigės atžvilgiu, plyšys yra dvipusis. Vystantis vienpusiam plyšiui ilgaamžiškumas mažėja, t. y. toks plyšio plitimas yra pavojingesnis.

3. Eksperimentinių rezultatų (makroplyšio atsiradimas) palyginimas su skaičiavimo normomis (nuovargio kreivės) rodo, kad atsarga pagal įtempimus ir pagal ciklų skaičių yra pakankama.

## Literatūra

1. M. Leonavičius, S. Stupak. Įtempimų būvio įtaka plyšio susidarymui sriegio įduboje // *Mechanika*, Nr. 2. Kaunas: Technologija, 1998, p. 5-9.
2. A. Krenevičius, M. Leonavičius. Srieginių jungčių M16 įveržimas ir atsparumas mažacikliam lenkimui // *Statyba*, IV tomas, Nr. 2. Vilnius: Technika, 1998, p. 117-123.
3. M. Leonavičius, A. Krenevičius, M. Šukšta. Progresuojantis deformacijų kaupimasis mažaciklio lenkimo veikiamose srieginėse jungtyse M16 // *Statyba*, IV tomas, Nr. 2. Vilnius: Technika, 1998, p. 124-128.
4. M. Leonavičius, A. Krenevičius. Prisitaikomumo ir atsparumo mažacikliam irimui varžtinėse jungtyse skaičiavimas // *Mechanika*, Nr. 1. Kaunas: Technologija, 1995, p. 30-32.
5. M. Leonavičius, M. Šukšta. Mažaciklio irimo plyšio vystymasis ir prisitaikomumas varžtinėse jungtyse // *Mechanika*, Nr. 3. Kaunas: Technologija, 1998, p. 16-18.
6. М. Ляонавичюс. Сопротивление деформированию резьбовых соединений при жестком изгибном нагружении // *Методы решения задач строительной механики*. Вильнюс. 1987, с. 118-124 (Lietuvos aukštųjų mokyklų mokslo darbai. Lietuvos mechanikos rinkinys, Nr. 29).
7. M. Leonavičius, M. Šukšta. The bolt-with-a crack shake-down estimation by the method of additional load // *Statyba*, Nr. 1(9). Vilnius: Technika, 1997, p. 74-77.
8. M. Leonavičius and A. Krenevičius. 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.

9. International standard. Threaded fastener. Axial load fatigue testing. Test methods and evaluation of results. ISO 3800: 1993(E). Printed in Switzerland. 17 p.
10. И. А. Биргер, Г. Б. Иосилевич. Резьбовые соединения. Москва: Машиностроение, 1978. 256 с.
11. ASME Boiler and Pressure Vessel Code, Sec. III // Rules for Construction of Nuclear Power Plant Components, Div. 1., Subset. NB, 1995, p. 87-92.
12. ASME Boiler and Pressure Vessel Code, Sec. III // Rules for Construction of Nuclear Power Plant Components, Div. 1., Subset. NB, 1995, p. 6-12.
13. Komponenten des Primärkreises von Leichtwassereactoren. Teil: Auslegung, Konstruktion und Berechnung, KTA 3201. 2, nov. 1982.
14. Нормы расчета на прочность оборудования и трубопроводов атомных энергетических установок. Москва: Энергоатомиздат, 1989. 525 с.
15. М.-К. В. Ляонавичюс, Б.-С. И. Мажуолис, А. А. Спейчис, В. А. Каган. Влияние изгиба на сопротивление малоциклового усталости резьбовых соединений больших диаметров // *Mechaninė technologija*, IX t. Vilnius, 1979, p. 142-144.

Įteikta 1999 06 28

## ANALYSIS OF EXPERIMENT AND CALCULATION OF THE THREADED JOINTS UNDER TENSION AND CYCLIC BENDING

A. Krenevičius, S. Stupak, M. Šukšta, M. Leona-  
vičius

### S u m m a r y

The effect of individual elements of the system "bolt-nut" under tension and bending on the cyclic strength is a complicated and insufficiently clear subject. The data presented in the works of the laboratories of strength mechanics and those of the present authors have been obtained when the ratio of bending and tension stress caused by eccentrically applied tension force was from 0 to 1.5. If stresses caused by bending account for  $0.25\sigma_y$  of tension stresses, the strength to low-cycle fatigue somewhat increases. When  $\sigma_m = 1.5\sigma_n$ , the decrease in longevity is observed. The results obtained, however, differ insignificantly from the longevity of threaded joints under cyclic tension as long as bending stresses do not exceed  $0.5\sigma_y$ . A comprehensive experimental study of these problems and the analysis are presented in the works of the present authors.

One of the main factors determining the cyclic strength of the system "bolt-nut" is the distribution of internal resultants.

The distribution of internal resultants after the threaded joint has been tightened up to  $\sigma_t = 0.6\sigma_y$  corresponds to the general rule which is characteristic of joints under tension. During the first stress cycle due to ben-

ding deformations in the cavity of turns of the threads also correspond to the general rule of internal resultant distribution of joints under tension in the layers under tension. In layers under compression, the general effect of tightening and the nut distort the generally accepted laws.

The analysis of the formation of the crack and its propagation showed there can be either a single or double crack. When the crack reaches the critical size, the remaining part fractures mostly on account of the deformation energy which was accumulated when stretching the stud, whereas the cyclic propagation of the crack takes place due to bending deformations.

Under fluctuating loads threaded joints loosen. Therefore tightness of a vessel subject to high pressure may be lost or the maintenance regime of some device may be disturbed. Due to crushing of contacting surfaces of transmission parts and the thread, spontaneous turn of the nut, plastic deformations in the thread and transmission parts, tightening of the bolt and tightness of transmissions parts may decrease. Studs of demountable joints of energy devices are calculated in accordance with the norms of the Russian Federation and the ASME code. The calculation methods coincide in essence, they are based on similar marginal states. Nevertheless, there exist some differences. The article gives a comparison of some calculating rules for low cycle fracture resistance of the threaded joints.

---

**Algimantas KRENEVIČIUS.** Doctor, Associate Professor. Dept of Strength of Materials. Vilnius Gediminas Technical University, Saulėtekio al. 11, 2040 Vilnius, Lithuania.

Doctor (structural mechanics, 1983). Research interests: fracture mechanics and creep.

---

**Marijonas ŠUKŠTA.** Doctor, Associate Professor. Dept of Strength of Materials. Vilnius Gediminas Technical University, Saulėtekio al. 11, 2040 Vilnius, Lithuania.

Doctor (structural mechanics, 1984). Research interests: analysis of elastic-plastic strain hardening structures and shake-down.

---

**Stanislav STUPAK.** Doctor, Associate Professor. Dept of Strength of Materials. Vilnius Gediminas Technical University, Saulėtekio al. 11, 2040 Vilnius, Lithuania.

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

---

**Mindaugas LEONAVIČIUS.** Doctor, Associate Professor. Dept of Strength of Materials. Vilnius Gediminas Technical University, Saulėtekio al. 11, 2040 Vilnius, Lithuania.

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