

**ŠIAULIŲ UNIVERSITETAS
TECHNOLOGIJOS FAKULTETAS**

TVIRTINU:
Katedros vedėjas
Z. Ramonas

Saulius Cigas

**STANDAUS APKROVIMO CIKLINIŲ DEFORMAVIMO
PARAMETRŲ NUSTATYMAS KOROZIJAI IR KARŠČIUI
ATSPARAUS PLIENO SUVIRINTŲJŲ SUJUNGIMŲ
MEDŽIAGOMS**

Magistro darbas

Darbo vadovas:
doc.dr.R.Šniuolis

Recenzentas
doc. dr. J. Rimkus

Darbą atliko:
MM3 gr. stud.
Saulius Cigas

Šiauliai, 2005

**ŠIAULIŲ UNIVERSITETAS
TECHNOLOGIJOS FAKULTETAS**

Saulius Cigas

**STANDAUS APKROVIMO CIKLINIŲ DEFORMAVIMO
PARAMETRŲ NUSTATYMAS KOROZIJAI IR KARŠČIUI
ATSPARAUS PLIENO SUVIRINTŲJŲ SUJUNGIMŲ
MEDŽIAGOMS**

Magistro darbas

**Darbo vadovas:
doc.dr.R.Šniuolis**

Šiauliai, 2005

TURINYS

SUMMARY	3
ĮVADAS	4
1. MAŽACIKLIS APKROVIMAS IR TYRIMO PRIEMONĖS	5
1.1. Eksperimentinio tyrimo ypatumai esant mažacikliam apkrovimui	5
1.2. Bandyto įrengimai	6
2. MAŽACIKLIO STANDAUS APKROVIMO TYRIMO REZULTATAI	7
2.1. Pagrindinių mechaninių charakteristikų nustatymas	7
2.2. Mažaciklio deformavimo charakteristikų priklausomybė nuo apkrovimo tipo, medžiagų savybių ir pusciklių skaičiaus	7
2.3. Ciklinės deformavimo diagramos analitinis aprašymas	8
3. CIKLINIŲ DEFORMAVIMO IR MECHANINIŲ CHARAKTERISTIŲ TARPUSAVIO PRIKLAUSOMYBĖ	13
3.1. Ryšys tarp deformavimo ir statinių charakteristikų	13
3.2. Atsparumo mažacikliam deformavimui tyrimo rezultatų statistinė analizė	13
3.2.1. Išsiskiriančių deformavimo charakteristikų atmetimas	13
3.2.2. Deformavimo ir mechaninių charakteristikų atsitiktinumo ir nepriklausomumo statistinis tikrinimas	15
3.2.3. Tyrimo rezultatų pasiskirstymo pagal normalųjį dėsnį hipotezių tikrinimas	16
3.2.4. Deformavimo charakteristikų ir modifikuoto plastiškumo pasiskirstymo pagal normalųjį dėsnį tikrinimas	18
3.2.5. Tyrimo rezultatų koreliacinė analizė	19
3.2.6. Deformavimo charakteristikų ir modifikuoto plastiškumo tyrimo rezultatų regresinė analizė	21
3.2.7. Netiesinės regresijos parinkimas ir jos adekvatumo tikrinimas	24
3.2.8. Eksperimentinių ir skaičiavimo rezultatų palyginimas	29
IŠVADOS	30
LITERATŪRA	31
PRIEDAS	32

SUMMARY

Cigas S. Determination of low cycle straining parameters for weld metals of stainless steel: Master thesis of mechanical engineer / research advisor associate professor dr. R. Šniuolis; Šiauliai University, Technological Faculty, Mechanical Engineering Department.–Šiauliai, 2005.-68p.

Strain and stress change during the exploitation depend on the type of material (hardening, softening or cyclically stable), that is chosen for the constructions in low cycle loading. If we know the type of the material, we can determine the possibility of its application in concrete exploitation conditions. Real working conditions of the most constructions are close to loading with limited strain (hard straining), because elastic and plastic deformation is met in the zones of crack and stress concentration, that are surrounded with elastically deformed material.

Analytical dependences between stress and strain in any semicycle k are expressed by summarized low cyclic stress strain curve. The low cycle loading curves parameters A , α and $\bar{\sigma}_T$ are used for the computation of this curve. These parameters were obtained from the low cycle straining results. The other possible ways for the determination of parameters A , α , $\bar{\sigma}_T$ and statistical methods for the evaluation of these parameters for weld metals of stainless steel at room temperature are presented in this work.

Cyclic characteristics A , α and $\bar{\sigma}_T$ were determined by methods shown in this work. It was determined, that the values of cyclic strain and mechanical characteristics can be approximated by linear regression $y = a + bx$ and the dependence of cyclic characteristics A , α and $\bar{\sigma}_T$ on modified plasticity $(\sigma_u / \sigma_e)^\psi$ has the lowest dispersion and defines the linear relationship in the best way. Low cycle loading curves parameters A , α and $\bar{\sigma}_T$ are close to experimental results when they are determined according to the 3-rd method. Inadequacy of experimental and figured out low cycle stress of k semicycle is the lowest, when the dependences of low cycle strain characteristics on modified plasticity is computed by the 1-st method. When $\varepsilon < 4$, it is recommended to compute cyclic characteristics by the 3-rd method.

IVADAS

Darbo aktualumas. Pagerinti mašinų kokybės, padidinti jų patikimumo ir ilgaamžiškumo negalima detaliai neištyrus jų darbo sąlygų ir medžiagos savybių. Deformacijos ir įtempimai mašinų detalėse, konstrukciniuose elementuose bei jų suvirintuosiuose sujungimuose eksploatacijos metu dažnai gerokai viršija proporcingumo ribą ir atsiranda tampriai plastinės deformacijos.

Dažniausiai tampriai plastinės deformacijos susidaro įtempimų koncentracijos vietose netinkamai parinkus detalės formą, suapvalinimo spindulius, esant dideliems įpresavimo įtempimams ir t.t. Suvirintuosiuose sujungimuose dažnai pasitaiko įvairių technologinių defektų: šlako ir oro tarpų, nesuvirinamumo, terminių plyšių, kurie yra įtempimų koncentracijos zonos. Netinkamai parinkus suvirintojo sujungimo medžiagas, esant mažacikliam apkrovimui, atsiranda mechaninis nevienalytiškumas. Tada šioje zonoje pradeda kauptis plastinės deformacijos ir atsiranda reiškiny, panašus į įtempimų koncentraciją. Be to, eksploatacijos metu dėl perkrovimų gali atsirasti nuovargio plyšių. Šie konstrukciniai, technologiniai ir eksploataciniai faktoriai turi didelę reikšmę mašinų bei konstrukcinių elementų patvarumui ir gali net keletą kartų sumažinti jų ilgaamžiškumą esant mažacikliam apkrovimui.

Konstrukcijų mažacikliam ilgaamžiškumui skaičiuoti naudojami ciklinio deformavimo diagramos parametrai A , α ir \bar{s}_T , aprašantys medžiagų ciklines savybes. Ciklines medžiagų savybes bandyta nustatyti pagal santykį σ_u/σ_y . Šiame darbe bandyta šias priklausomybes patikslinti, panaudojus kitas statinių charakteristikų kombinacijas.

Tyrimo tikslas. Pagal mechanines charakteristikas apskaičiuoti (prognozuoti) korozijai ir karščiui atsparių plienų suvirinimo siūlių medžiagų mažaciklio nuovargio deformavimo charakteristikas kambario temperatūroje.

Darbo uždaviniai. Remiantis KTU mažaciklio nuovargio laboratorijoje sukauptais mokslinio tiriamojo darbo rezultatais:

- pagal standaus apkrovimo rezultatus nustatyti korozijai ir karščiui atsparių plienų suvirinimo siūlių medžiagų deformavimo diagramos parametrus A , α , \bar{s}_T aukštesnėje temperatūroje;
- nustatyti ryšį tarp ciklinių deformavimo ir mechaninių charakteristikų ir šias charakteristikų priklausomybes aproksimuojančias kreives;
- pasiūlyti analitines priklausomybes cikliniams parametrams nustatyti pagal mechanines savybes.

Tyrimo metodai. Disertacinio darbo tyrimai paremti eksperimentiniais, analitiniais ir statistiniais metodais. Šiame darbe apdoroti KTU mažaciklio nuovargio laboratorijoje 1968-1990 metais gauti energetikoje naudojamų plienų bei jų suvirinimo siūlių medžiagų atsparumo mažacikliam deformavimui ir suirimui tyrimo rezultatai.

Ginami šie magistro darbo teiginiai:

1. Mažaciklio nuovargio charakteristikoms apskaičiuoti gali būti naudojamos pagrindinės medžiagų statinės charakteristikos σ_y , σ_u , ψ .
2. Pasiūlytos analitinės mažaciklio nuovargio charakteristikų priklausomybės nuo modifikuoto plastiškumo naudotinos deformavimo diagramai ir ilgaamžiškumui preliminariai apskaičiuoti.

Rezultatų publikavimas. Magistro darbo tema buvo paskelbtas straipsnis mokslo leidinyje „Jaunųjų mokslininkų darbai“: Parameters of Low Cycle Loading Curves for Welded Joint Materials at Elevated Temperature. P. 70-73.

Praktinis pritaikymas. Šio darbo rezultatai gali būti panaudoti įvairių įrengimų, sunkiai apkrautų konstrukcijų ilgaamžiškumui ir patikimumui preliminariai apskaičiuoti.

1. MAŽACIKLIS APKROVIMAS IR TYRIMO PRIEMONĖS

1.1. Eksperimentinio tyrimo ypatumai esant mažacikliam apkrovimui

Apkrovimo tipo parinkimas. Esant cikliniam apkrovimui tamprumo ribose, apkrovimas pagal apribotas deformacijas tapatus apkrovimui pagal apribotus įtempimus. Tačiau, viršijus medžiagos proporcingumo ribą, šie du apkrovimo tipai skiriasi. Apribojus jėgą ar įtempimą, turėsime minkštą apkrovimą. Apkrovimas su apribotomis deformacijomis - standus apkrovimas.

Naudojant standų apkrovimą cikliškaip stiprėjančioms ir silpnėjančioms medžiagoms, pastebimas įtempimų, tampriųjų ir plastinių deformacijų kitimas kiekviename apkrovimo cikle, t.y. stiprėjančioms medžiagoms įtempimai didėja ir histerezės kilpos plotis siaurėja; silpnėjančioms medžiagoms įtempimai mažėja ir histerezės kilpa platinėja. Stabilioms medžiagoms įtempimai ir deformacijos yra pastovūs.

Mašinių detalėse, konstrukcijose dažniausiai sutinkamas standus apkrovimas (ypač įtempimų koncentracijos, plyšių zonose), nes mažaciklės plastinės deformacijos zonos yra ribojamos tampriai deformuojamos medžiagos. Todėl pasirinktas standus apkrovimas, kaip artimiausias realioms konstrukcijų ir sujungimų darbo sąlygoms, esant mažacikliam deformavimui.

Minkštas apkrovimas turi didelę pažintinę reikšmę, nes, esant minkštam apkrovimui, deformacijų augimas neribotas ir čia išryškėja medžiagos ciklinės savybės: stiprėjimas, silpnėjimas, stabilizacija bei polinkis vienpusių plastinių deformacijų kaupimui. Todėl ciklinio deformavimo diagramos parametru A_1 , α , $\bar{\sigma}_T$ nustatymo tikslu, taip pat detalesniam medžiagų tyrimui minkštas apkrovimas naudojamas dažnai.

Ciklo tipo parinkimas. Eksperimentai atlikti esant simetriniam apkrovimo ciklui. Šis apkrovimo ciklas yra universaliausias ir tiksliausiai apibūdina medžiagos savybes, nes, esant tampriai plastiniam cikliniam deformavimui, beveik vienodai pasireiškia tempimo ir gniuždymo deformacijos. Be to, panaudojus žinomas lygtis [1], nesunku standaus simetrinio apkrovimo rezultatus pritaikyti ir asimetriniam apkrovimui.

Apkrovimo būdo parinkimas. Esant cikliniam deformavimui, bandiniai dažniausiai tempiami gniuždomi, sukami bei lenkami. Šie trys apkrovimo būdai naudojami atliekant ir mažaciklius bandymus, tačiau tempimas gniuždytas skiriasi nuo kitų apkrovimo būdų deformacijos vienalytiškumu visame geometriškai vienalyčio kūno (bandinio ar detalės) darbiniam skerspjūvyje. Be to, nustatant medžiagų mechanines charakteristikas, dauguma statinio ir ciklinio apkrovimo rezultatų gauta atliekant tempimą gniuždytą. Šis apkrovimo būdas žymiai palengvina eksperimentinių duomenų apdorojimą bei jų palyginimą su kitų darbų rezultatais ir dažniausiai sutinkamas atliekant mažaciklius bandymus.

Tačiau tempimas gniuždytas turi trūkumų: sunkesnis bandinio nustatymas ir tvirtinimas, lyginant su cikliniu sukimu arba lenkimu; prie žymių gniuždymo deformacijų bandiniai praranda stabilumą, todėl keliami aukšti reikalavimai bandinio centravimo tikslumui (siekiant išvengti lenkimo bandymo mašinose) ir bandinių apdirbimo technologijai; matuojant išilginę deformaciją, būtinas optimalus bandinio formos ir matmenų parinkimas. Nežiūrint minėtų trūkumų, čia naudojami tyrimo rezultatai gauti tempimu gniuždytu, užtikrinant vienalytį deformavimą $N_f = 10^2 - 2 \cdot 10^4$ ciklų intervale.

1.2. Bandymo įrengimai

Medžiagų deformavimo ir suirimo charakteristikų tyrimui, esant mažacikliam deformavimui, naudojami žemojo dažnio mechaniniai arba hidrauliniai įrengimai, panaudojant elektroninį mechaninį arba skaitmeninį deformavimo diagramos užrašymą.

Šiame darbe aprašomų bandymų rezultatai buvo gauti naudojant KTU suprojektuotas ir pagamintas 5 ir 10 tonų jėgas išvystančias mechanines mažaciklio deformavimo mašinas su elektroniniu mechaniniu deformavimo diagramos užrašymu [1].

Aukštadažniai apkrovimo įrengimai mažacikliam apkrovimui nenaudojami dėl didelio apkrovimo greičio, kas apsunkina deformavimo diagramos užrašymą, bei didelio bandinio įkaitimo. Statiniams bandymams skirtais įrengimais negalimas pakankamai tikslus deformacijų matavimas arba, esant patenkinamam tikslumui, negalimas nepertraukiamas deformavimo diagramų užrašymas.

Bandymo įrengimą sudaro šios pagrindinės dalys: apkrovimo įrenginys, įrenginys jėgų ir deformacijų matavimui bei užrašymui, valdymo sistema. Atliekant bandymus padidintoje temperatūroje, bandymo įrengimas papildomas kaitinimo ir automatinio bandinio temperatūros reguliavimo įrenginiu.

Apkrovimo įrenginys, atliekant tempimą gniuždymą, užtikrina bandinių įtempimų ir deformacijų būvio vienalytiškumą, pasiekiamą didelio griebtų bendraažiškumo ir įrengimo standumo dėka; griebto judėjimo greitį, atitinkantį mažaciklio apkrovimo dažnumą iki 3–10 ciklų per minutę (priklausomai nuo užduotos deformacijos arba įtempimo dydžio).

Eksperimento metu bandiniai gali prarasti pastovumą ir suklupti esant didelei gniuždymo jėgai. Kauno technologijos universitete buvo sukonstruotas įrenginys bandiniui įtvirtinti ir centruoti, užtikrinantis tikslų bandinio centravimą ir jėgos matavimą. Šio įrenginio konstrukcija ir aprašymas pateikti [1].

Įrenginys jėgų ir deformacijų matavimui bei užrašymui. Šiuo įrenginiu matuojamos kintamų ženklų deformacijos ir jėgos su paklaida, ne didesne kaip 1 matavimo skalės, ir pakankamai greitai fiksuojamos tiriamo bandinio deformavimo diagramos bet kuriame mažaciklio apkrovimo proceso pusciklyje.

Elektroninėse mechaninėse matavimo bei užrašymo sistemose naudoti dvikoordinačiai savirašiai prietaisai, į kuriuos įjungti du tenzometriniai tilteliai. Vienas tiltelis matuoja jėgą, kitas - deformaciją. Savirašio prietaiso elektrinė schema ir darbo principas pateikti darbe [2].

Valdymo sistema atlieka įrengimo judančio griebtuvo automatinį reversą, pasiekus užduotas jėgas arba deformacijas (priklausomai nuo apkrovimo tipo - minkštas ar standus); bandinio apkrovimo pusciklių skaičiavimą; įrengimo judančio griebto automatinį sustabdymą ruošiniui suirus. Taip pat galimas įrengimo rankinis valdymas.

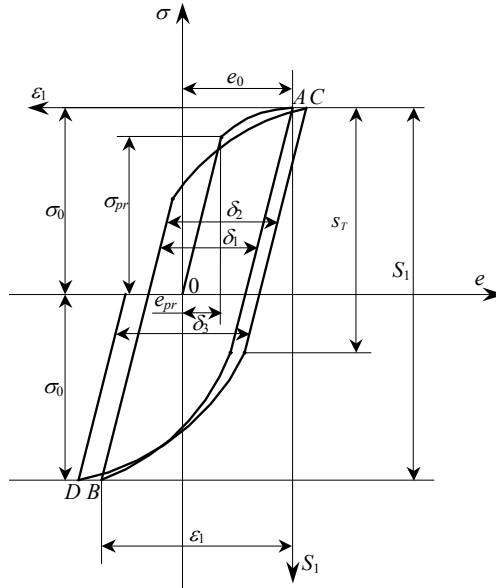
Bandymo įrengimų automatinis reversas atliekamas naudojant kelio keitiklius, kurie sukuria valdymo signalą magnetiniams paleidikliams ar kitiems perjungimo elementams, kontroliuojamam parametru pasiekus užduotą reikšmę.

Bandinio apkrovimo pusciklių skaičiavimas vykdomas elektromechaniniais impulsų skaitikliais, įjungtais į apkrovimo mašinos elektros variklio valdymo grandinę.

Įrengimo, dirbančio standaus apkrovimo režimu, automatiniam sustabdymui (suirus ruošiniui) naudojamas specialus elektroninis įrenginys, kurio darbo principas aprašytas darbe [3]. Bandymo įrengimo valdymo ypatumai detalčiai aprašyti darbuose [2, 3].

2. MAŽACIKLIO STANDAUS APKROVIMO TYRIMO REZULTATAI

Kai cikliška kintantys įtempimai viršija medžiagos proporcingumo ribą, prasideda tampaiai plastinis deformavimas, susidaro plastinės deformacijos histerezės kilpa ir medžiagos ilgaamžiškumas sumažėja iki skaičiuojamo tūkstančiais arba šimtais ciklų. Tipiškas mažaciklio nuovargio intervalas nuo kelių iki kelių dešimčių tūkstančių ciklų.



1.1 pav. Mažaciklio apkrovimo schema

1.1 paveiksle parodyta keturi mažaciklio simetrinio apkrovimo puscikliai esant užduotiems (apribotiems įtempimams): čia pradinio (tempimo) pusciklio diagrama (kreivė OA) pavaizduota koordinatėse $\sigma - e$, o pirmojo (kreivė AB) ir visų kitų pusciklių diagramos koordinatėse $S - \varepsilon$, kurių pradžia yra kiekvieno pusciklio tampriosios dalies (nukrovimo) pradžioje, pavyzdžiui, pirmam puscikliui taške A , antram taške B , trečiam taške C . Tokiu būdu esant simetriniam ciklui koordinatėse $S - \varepsilon$ mastelis dvigubai didesnis už $\sigma - e$. Nulinį pusciklį charakterizuoja pradinis įtempimas σ_0 ir jį atitinkanti pradinė deformacija e_0 , medžiagos proporcingumo ribos įtempimas σ_{pr} bei deformacija e_{pr} . Kiekvieno tolimesnio pusciklio diagramą charakterizuoja įtempimas S , jį atitinkanti deformacija ε , ciklinė proporcingumo riba s_T bei pusciklio histerezės kilpos plotis δ .

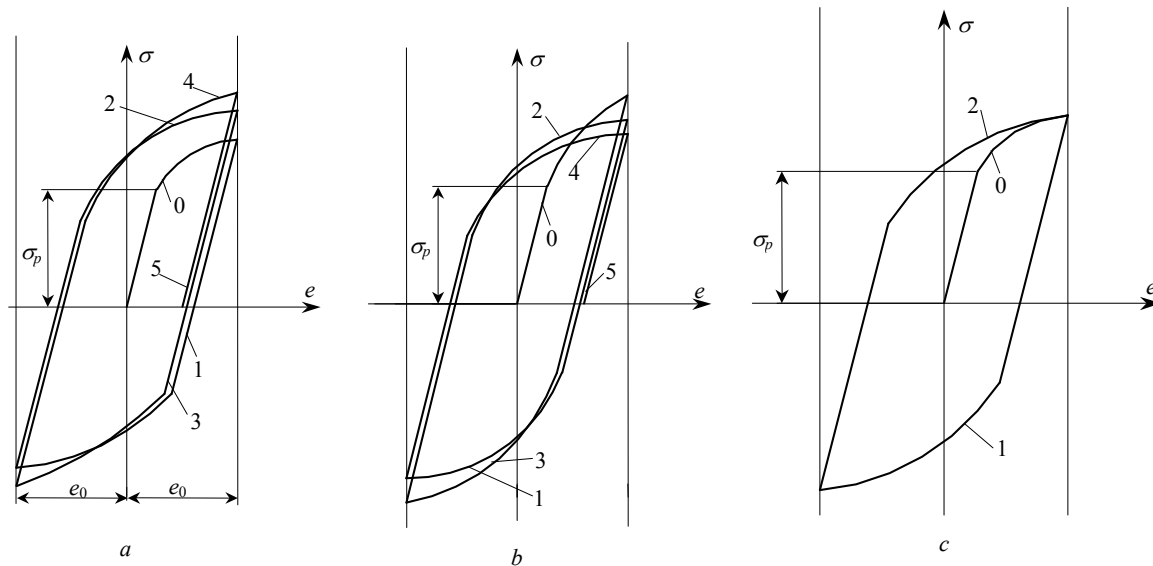
2.1. Pagrindinių mechaninių charakteristikų nustatymas

Pagrindinės mechaninės charakteristikos e_{pr} , σ_{pr} , σ_y , σ_u ir ψ korozijai ir karščiui atsparių plienų suvirinimo siūlių medžiagų kambario temperatūroje buvo nustatytos iš tempimo bandymų rezultatų. Charakteristikos e_{pr} , σ_{pr} , σ_y taip pat nustatytos atlikus ciklinį deformavimą, t.y. pagal nulinio pusciklio diagramas, panaudojus didelį bandinių skaičių.

2.2. Mažaciklio deformavimo charakteristikų priklausomybė nuo apkrovimo tipo, medžiagų savybių ir pusciklių skaičiaus

Pirmieji mažaciklio deformavimo bandymai parodė, kad medžiagos pasipriešinimas mažacikliam deformavimui priklauso nuo apkrovimo tipo, t.y. nuo to kas yra ribojama ar įtempimai ar deformacijos. Ribojant įtempimus deformacijos vystosi nevaržomai ir toks deformavimas vadinamas minkštu, o ribojant deformacijas nevaržomai vystosi įtempimai ir šis deformavimas vadinamas standžiu. Buvo nustatyta, kad esant mažacikliam deformavimui medžiagos elgiasi trejopai: stiprėja, silpnėja ir yra stabilios.

Esant standžiam apkrovimui deformacijos yra suvaržytos, todėl kinta įtempimai. Stiprėjančioms medžiagoms didėjant pusciklių skaičiui k , cikliniai įtempimai S didėja (2.2 pav., *a*), silpnėjančioms atvirkščiai S mažėja (2.2 pav., *b*), o stabilioms S išlieka pastovūs: (2.2 pav., *c*).



1.2 pav. Standaus mažaciklio apkrovimo schemas: *a* - cikliškai stiprėjanti medžiaga; *b* - cikliškai silpnėjanti medžiaga; *c* - cikliškai stabili medžiaga

2.3. Ciklinės deformavimo diagramos analitinis aprašymas

Ši diagrama aprašyta remiantis eksperimentais, kur kiekvieno apkrovimo pusciklio diagrama sudaro vieningą kreivę nepriklausomai nuo apkrovimo lygio.

Atlikdami skaičiavimą lyginamosiose koordinatėse iš 1.3 paveikslu gauname, kad 1-ojo apkrovimo pusciklio diagramai [1]

$$\bar{\varepsilon}_1 = \bar{S}_1, \text{ kai } \bar{S}_1 \leq \bar{s}_{T_1} \quad (2.1)$$

ir

$$\bar{\varepsilon}_1 = \bar{S}_1 + \bar{\delta}_1, \text{ kai } \bar{S}_1 > \bar{s}_{T_1}, \quad (2.2)$$

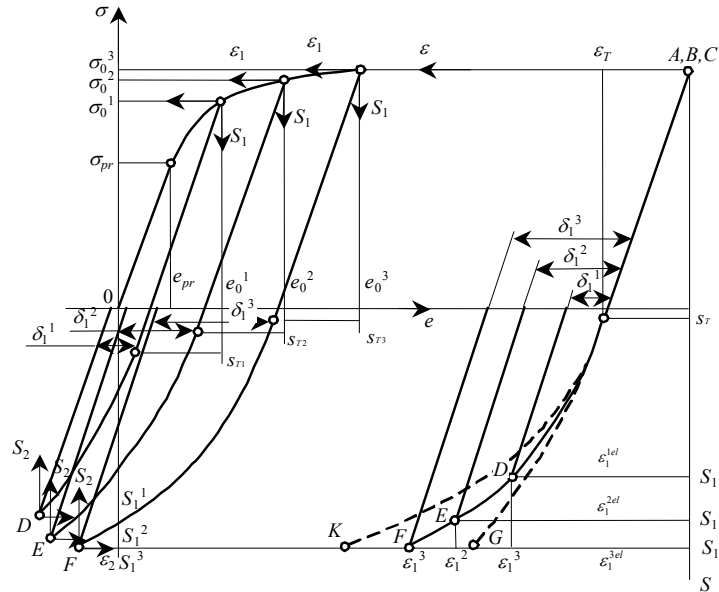
Lygybes (2.1) ir (2.2) analogiškai galima pritaikyti ir k -ajam puscikliui

$$\left. \begin{aligned} \bar{\varepsilon}_k &= \bar{S}_k \text{ kai } \bar{S}_k \leq \bar{s}_{Tk} \\ \bar{\varepsilon}_k &= \bar{S}_k + \delta_k, \text{ kai } \bar{S}_k > \bar{s}_{Tk} \end{aligned} \right\} \quad (2.3)$$

8

Esant standžiam apkrovimui yra ribojamos deformacijos, t.y. $\bar{\varepsilon}_k = const$, o kinta \bar{S}_k ir $\bar{\delta}_k$. Tuomet iš (2.3) lygybės gauname kad

$$\bar{S}_k = \bar{\varepsilon} + \bar{\delta}_k. \quad (2.4)$$

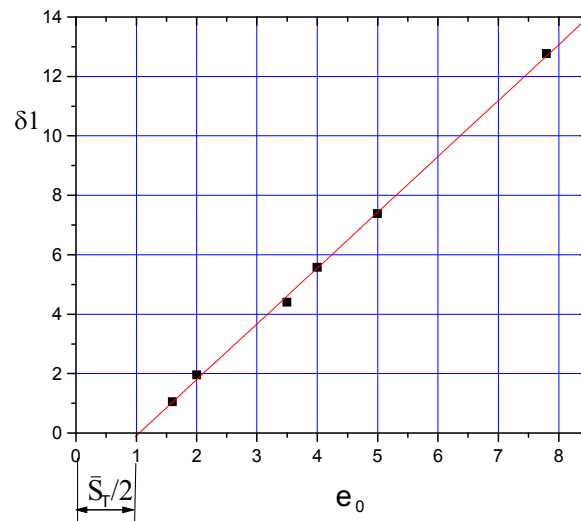


1.3 pav. Vieningos ciklinio deformavimo diagramos sudarymo schema: $ADEF$: 1-ojo ir k -ojo pusciklių cikliškai stabilių medžiagų diagramos; AG ir AK - k -ojo pusciklio cikliškai stiprėjančių ir silpnėjančių medžiagų diagramos

Nustatydami $\bar{\delta}_1$ analitinę išraišką randame $\bar{\delta}_1$ priklausomybę nuo pradinio (nulinio) pusciklio deformacijos \bar{e}_0 (1.4 pav.). Šiuo atveju turime tiesinę priklausomybę

$$\bar{\delta}_1 = A \left(\bar{e}_0 - \frac{\bar{s}_{T1}}{2} \right), \quad (2.5)$$

čia A - tiesės krypties koeficientas koordinatėse $\bar{\delta}_1 - \bar{e}_0$.



1.4 pav. 1-ojo pusciklio histerezės kilpos pločio priklausomybė nuo pradinės deformacijos suvirinimo siūlės medžiagai ЭП787

Iš **1.3 paveiksl**o matyti, kad $\bar{\delta}_k$ priklausomybė nuo k sudaro tiesę koordinatėse $\lg \bar{\delta}_k - \lg k$ ir

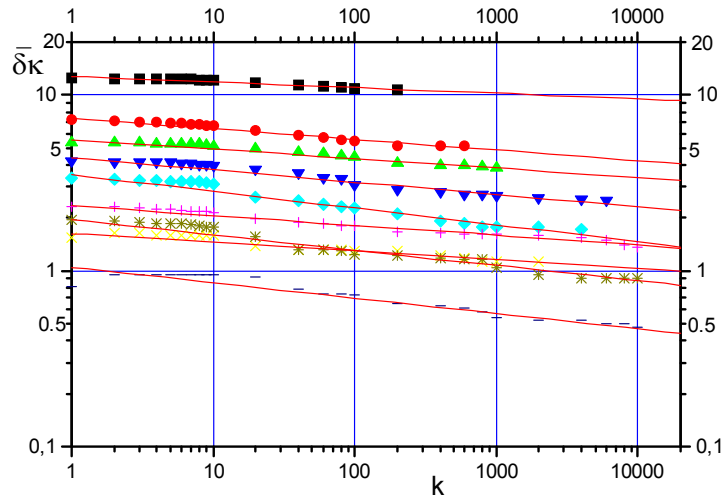
todėl

$$\lg \bar{\delta}_k = \alpha \lg k + \lg \bar{\delta}_1.$$

arba

$$\bar{\delta}_k = \bar{\delta}_1 k^\alpha. \quad (2.6)$$

Cikliškai stiprėjančiam medžiagai (kilpos plotis $\bar{\delta}$ mažėja) tiesės krypties koeficientas α yra neigiamas, cikliška silpnėjančiam medžiagai (kilpos plotis δ didėja) α yra teigiamas ir cikliška stabiliam medžiagai (kilpos plotis pastovus) $\alpha = 0$ [4].



1.5 pav. Histerezės kilpos pločio priklausomybė nuo pusciklių skaičiaus stiprėjančiai medžiagai (Suvirinimo siulės medžiaga ЭП787)

10

Remiantis (2.4)-(2.6) lygybėmis, mažaciklio standaus deformavimo k -ojo pusciklio diagrama aprašoma lygybėmis

$$\bar{S}_k = \bar{\varepsilon} - A \left(\bar{e}_0 - \frac{\bar{s}_{Tk}}{2} \right) k^\alpha \quad \text{- stiprėjančioms medžiagoms,} \quad (2.7)$$

$$\bar{S}_k = \bar{\varepsilon} - A \left(\bar{e}_0 - \frac{\bar{s}_{Tk}}{2} \right) k^\alpha \quad \text{- silpnėjančioms medžiagoms,} \quad (2.8)$$

$$\bar{S}_k = \bar{\varepsilon} - A \left(\bar{e}_0 - \frac{\bar{s}_{Tk}}{2} \right) \quad \text{- stabilioms medžiagoms.} \quad (2.9)$$

čia \bar{S}_k - k -ojo pusciklio cikliniai įtempimai; $\bar{\varepsilon}$ - standaus apkrovimo ciklinė deformacija (esant simetriniam ciklui, $\bar{\varepsilon} = 2\bar{e}_0$); \bar{e}_0 - pradinio (nulinio) pusciklio deformacija; \bar{s}_T - ciklinė proporcingumo riba; α ir A - ciklinio deformavimo diagramos parametrai.

Ciklinė proporcingumo riba \bar{s}_{Tk} priklauso nuo medžiagos tipo ir histerezės kilpos pokyčio pusciklyje: \bar{s}_{Tk} didėja cikliškai stiprėjančioms medžiagoms, mažėja cikliškai silpnėjančioms ir nesikeičia cikliškai stabilioms medžiagoms. Analitiškai aprašant apibendrintą diagramą, ciklinė proporcingumo riba priimama $\bar{s}_{T(1)} = \bar{s}_T$ [1].

Konstrukcijų mažacikliam ilgaamžiškumui apskaičiuoti dažniausiai naudojami mažaciklio standaus deformavimo rezultatai, todėl šiame darbe parametrų A , α ir \bar{s}_T nustatymo metodai nurodyti 1.1 lentelėje, skaičiavimo rezultatai - 1.2 lentelėje.

1.1 lentelė

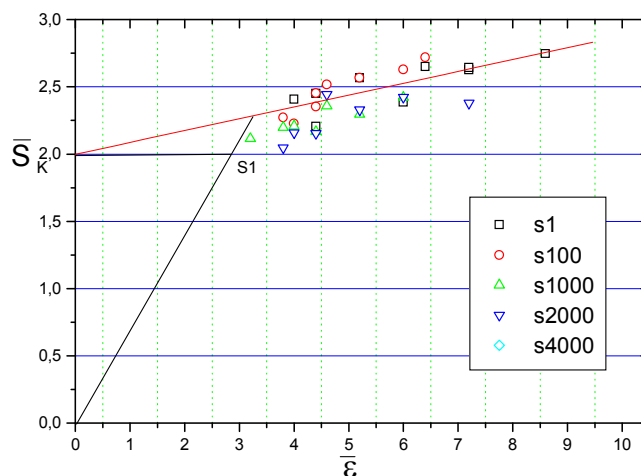
Parametrų A , α ir \bar{s}_T nustatymo metodai

Metodas	$\bar{\delta}_1$	α	\bar{s}_T, A
1	$\bar{\delta}_1$ iš grafiko $\lg \bar{\delta}_k - \lg k$		\bar{s}_T iš grafiko $\bar{\delta}_1 - \bar{e}_0$ A iš grafiko $\bar{\delta}_1 - \bar{e}_0$

2	$\alpha = (\lg \bar{\delta}_k - \lg \bar{\delta}_1) / \lg k$ $k = 2 - 9 \text{ atmeti}$	$\bar{s}_T = 2 - 0,8(\sigma_{0,2}/\sigma_u)\psi$ $A = \bar{\delta}_1 / (\bar{\epsilon}_0 - \bar{s}_T/2)$
3		$\bar{s}_T \text{ iš diagramos } \bar{S} - \bar{\epsilon}$ $A = \bar{\delta}_1 / (\bar{\epsilon}_0 - \bar{s}_T/2)$

Šiame darbe pagal 1-ąjį metodą nustatytas \bar{s}_T reikšmes reikia traktuoti kaip sąlygines, t.y. skaičiuojamasias. Pagal 3-ąjį metodą ciklinė proporcingumo riba \bar{s}_{Tk} buvo nustatyta iš sudarytų ciklinio deformavimo diagramų (1.5 pav.), kai $k=1; 10; 1000; 2000$ ir 4000 . Apytiksliai parametro \bar{s}_T reikšmė gauta pagal \bar{S}_k ir $\bar{\epsilon}$ tarpusavio priklausomybę, aproksimuojančiai tiesei kertant \bar{S}_k koordinatę žemiausioje padėtyje. Parametrai α ir A nustatyti prieš tai aprašytais metodais.

11



$$Y = 1,99878 + 0,08802 X$$

1.5 pav. Parametro \bar{s}_{Tk} nustatymas iš ciklinio deformavimo diagramos suvirinimo siūlės medžiagai LB kambario temperatūroje, kai $k = 1, 100, 1000, 2000, 4000$;

Parametras α įvertina medžiagos ciklinių savybių kitimą esant cikliniam tampriai plastiniam deformavimui. Daugelio bandymų analizė rodo, kad parametras α nuo pradinės deformacijos $\bar{\epsilon}_0$ nepriklauso.

Daugumai šiame darbe nagrinėtų medžiagų buvo būdingas ciklinių savybių pradinis nestabilumas intervale $k < 20$. Siekiant objektyviau įvertinti medžiagos ciklinio deformavimo diagramos parametrus A , α , \bar{s}_T , visi histerezės kilpos taškai iki $k = 10$ buvo atmesti kaip nereikšmingi, palyginti su likusiu ilgaamžiškumu $N_f < 10^4$ ciklų srityje.

(2.1)-(2.9) lygybės sudarytos simetriniam mažaciklio apkrovimo ciklui. Realiose konstrukcijose, pvz., įtempimų koncentracijos vietose, plyšių susidarymo zonose, dažnai pasireiškia asimetrinis deformavimas. Tačiau, panaudojus priklausomybes, žinomas iš M.

Daunio, H. Medekšo darbų [1, 5, 6], nesunku standaus simetrinio apkrovimo rezultatus pritaikyti ir asimetriniam apkrovimui.

1.2 lentelė

Korozijai ir karščiui atsparių plienų suvirinimo siūlių medžiagų mechaninės ir ciklinės charakteristikos kambario temperatūroje

Nr.	Medžiaga	Terminis apdirbimas	Mechaninės charakteristikos			Ciklinės charakteristikos*		
			σ_u , MPa	σ_y , MPa	ψ , %	A	α	\bar{s}_T
1	ТСШ	<i>Atl</i>	672	455	67,57	1,75	0,005	-
2	У	-	481	297	45	-	0,038	1,84
3	МП	<i>Atl</i>	389	90	50	-	-	-
4	2ЛН	<i>5Atl</i>	495	303	21	1,47	0,015	1,78
5	2ЛМ	<i>5Atl</i>	628	349	18,5	1,43	0,016	1,93
6	Б	-	633	320	56,2	-	0,037	2,03
7	ЭП787	<i>Atl</i>	579	221	56	1,87	-	2,05
8	ЛБ	<i>Atl</i>	559	348	44,1	1,66	0,013	2,08
9	ЛН	<i>Atl</i>	623	357	16,5	1,37	0,012	1,92
10	ЛМ	<i>Atl</i>	494	263	16	1,7	0,008	-
11	ЛУ	<i>Atl</i>	489	278	56,4	1,64	0,006	2,28
12	1-8	<i>Atl</i>	--	685	53,4	-	-	-
13	1E	-	866	347	61	-	0,027	2,22
14	2E	S	699	320	-	-	-	-
15	9-16	<i>G-Atl</i>	--	725	60,3	-	-	-
16	АУ(11-21)	S	846	310	27,1	1,47	0,009	2,05
17	АУ(1-10)	S	765	367	--	-	-	-
18	У(1-11)	-	582	405	36	1,23	0,0012	2,09
19	НИ**	<i>Atl</i>	481	247	--	-	-	-
20	НФ	<i>Atl</i>	380	179	25	1,31	-0,011	1,98
21	71С	-	617	353	61	1,35	0,033	2,1
22	751С	-	617	311	61	1,44	0,013	2,22
23	011	-	400	374	--	-	-	-
24	029	-	500	313	--	-	-	-
25	047	-	360	284	40	1,6	0,03	2,13
26	186	<i>Atl</i>	500	315	40	1,7	-0,009	1,82
27	2	-	730	435	64,4	1,75	0,0097	2,29
28	222	<i>Atl</i>	380	330	--	-	-	-
29	Ш(1-8)	<i>G-4Atl</i>	315	175	63,5	1,55	-0,007	2,43
30	76	-	650	265	50	-	0,0235	2,28
31	ПС	Atk-S	560	220	62,5	1,74	0,012	2,35
32	ПО	Atk	585	223	66,5	1,76	-	2,3
33	С/С	-	550	279	30	1,16	-0,003	2,3
34	ЦХ	Atk	607	310	73	-	0,05	2,16
35	ЛХ	-	601	380	72,7	1,75	0,013	-
36	МХ	Atk	607	396	73	0	0,002	-

* Parametrai nustatyti pagal 3 metodą; ** aplydytas metalas;

Atk – atkaitinimas; *S* – sendinimas, *Gr* – grū ...

3. CIKLINIŲ DEFORMAVIMO IR MECHANINIŲ CHARAKTERISTIŲ TARPUSAVIO PRIKLAUSOMYBĖ

3.1. Ryšys tarp deformavimo ir statinių charakteristikų

Didelę praktinę reikšmę turi medžiagų ciklinių savybių nustatymas, neatliekant mažaciklio nuovargio bandymų, pagal medžiagos kietumą, jos mikro- arba makrostruktūrą arba mechanines charakteristikas. Darbe [1] buvo nustatyta, kad ciklinio deformavimo diagramų pagrindiniai parametrai A , α , $\bar{\sigma}_T$ gali būti susieti su mechaninėmis charakteristikomis funkciniais ryšiais, pvz.:

$$\alpha = a - b \left(\frac{\sigma_u}{\sigma_y} \psi \right)^d, \quad (3.1)$$

čia a , b ir d - konstantos.

Tačiau (3.1) lygybės parametrams apskaičiuoti buvo panaudotas ribotas medžiagų skaičius (apie 30), nes ciklinio deformavimo konstantos buvo nustatytos tiksliai medžiagoms, išbandytoms naudojant minkštą apkrovimą.

Ieškant ryšio tarp mechaninių ir ciklinių deformavimo charakteristikų, šiame darbe buvo panaudotos šios funkcijos:

$$y = f(\psi), \quad (3.2)$$

$$y = f\left(\frac{\sigma_u}{\sigma_y}\right), \quad (3.3)$$

$$y = f\left(\frac{\sigma_y}{\sigma_u}\right), \quad (3.4)$$

$$y = f\left(\frac{\sigma_u}{\sigma_y} \psi\right), \quad (3.5)$$

$$y = f\left(\frac{\sigma_y}{\sigma_u} \psi\right), \quad (3.6)$$

kurių medžiagų mechaninės charakteristikos σ_y , σ_u , ψ yra nurodytos beveik visose literatūroje pateiktose lentelėse.

Ieškant ryšio tarp ciklinių ir mechaninių charakteristikų ir šių priklausomybių $y = f(x)$ duomenis aproksimuojančios kreivės, buvo atlikta tyrimo rezultatų statistinė analizė.

3.2. Atsparumo mažacikliam deformavimui tyrimo rezultatų statistinė analizė

Matematiškai patikimoms analitinėms priklausomybėms tarp ciklinių deformavimo ir mechaninių charakteristikų gauti buvo tikrinamas tyrimo rezultatų stochastinis nepriklausomumas ir pasiskirstymas pagal normalųjį dėsnį, kadangi šių sąlygų tenkinimas garantuoja koreliacinės regresinės analizės metodų teorinį pagrįstumą.

3.2.1. Išsiskiriančių deformavimo charakteristikų atmetimas

Prieš taikant statistinius metodus buvo patikrinta, ar tarp tyrimo duomenų nėra ryškiai išsiskiriančių. Šioms reikšmėms patikrinti buvo panaudotas N. Smirnov (N. Smirnov) kriterijus [7], kuris dažnai taikomas, kai žinomi ne teoriniai parametrai, o jų įverčiai.

Tyrimo rezultatai išdėstomi variacine eilute

$$x_1 \leq x_2 \leq \dots \leq x_i \leq \dots \leq x_n. \quad (3.7)$$

Priklausomai nuo turimų duomenų skaičiaus, apskaičiuojama vidutinė reikšmė ir vidutinis kvadratinis nuokrypis.

Kai $n < 50$, empirinis vidurkis

$$1.6 \text{ pav. } \bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}, \quad (3.8)$$

dispersijos įvertis

$$s^2 = \frac{1}{n-1} \left[\sum_{i=1}^n x_i^2 - \frac{1}{n} \left(\sum_{i=1}^n x_i \right)^2 \right], \quad (3.9)$$

čia x_i - dydžio X reikšmės; n - duomenų skaičius.

14

Vidutinis kvadratinis nuokrypis

$$s = \sqrt{s^2}. \quad (3.10)$$

Jei abejojama dėl pirmojo variacinės eilutės nario, apskaičiuojama statistika

$$u_1 = \frac{\bar{x} - x_1}{s}. \quad (3.11)$$

Kai abejojama dėl didžiausią reikšmę turinčio variacinės eilutės nario,

$$u_n = \frac{x_n - \bar{x}}{s}, \quad (3.12)$$

Gauta reikšmė lyginama su kritine reikšme u_α [7]. Kai teisingos nelygybės

$$u_1 \leq u_\alpha \quad \text{arba} \quad u_n \leq u_\alpha, \quad (3.13)$$

tai priimama nulinė hipotezė - didžiausia reikšmė x_n (arba mažiausia x_1) priklauso tai pačiai duomenų grupei, t.y. pirma arba paskutinė tyrimo rezultatų reikšmė neskaitoma ryškiai išsiskiriančia ir ji neatmetama. Kitu atveju, nulinė hipotezė nepriimama, t.y. x_n arba x_1 nėra būdingi esami duomenų grupei ir jie atmetami. Atmetus šiuos dydžius, anksčiau apskaičiuoti įverčiai \bar{x} ir s turi būti koreguojami, imant $n-1$.

Ryškiai išsiskiriančių ir mažai tikėtinų reikšmių bendras skaičius, gautas taikant Smirnov kriterijų ir Diksono pasiūlytą metodą (sklaida iš abiejų pusių gali būti sumažinta 3-6%) duotas **3.1 lentelėje**. Mažai tikėtinos reikšmės buvo atmetos pagal grafinį vaizdą dispersijai sumažinti, tikslesnei vidutinei reikšmei gauti [8].

Apibūdinant ciklinio deformavimo A , α , \bar{s}_T ir mechaninių charakteristikų ψ , σ_u/σ_y , σ_y/σ_u , $(\sigma_u/\sigma_y)\psi$, $(\sigma_y/\sigma_u)\psi$ tarpusavio priklausomybę, buvo atsižvelgta į taškų išsidėstymą koreliaciniame lauke ir gautas grafinis vaizdas (atmetus ryškiai išsiskiriančias ir mažai tikėtinas reikšmes) leido manyti, jog ciklinio deformavimo diagramos parametru A , α , \bar{s}_T regresija mechaninių charakteristikų atžvilgiu yra tiesinė, $y = a + bx$, o šių parametru priklausomybės nuo modifikuoto plastiškumo $(\sigma_u/\sigma_y)\psi$ duoda mažiausią sklaidą ir geriausiai nusako tiesinio ryšio stiprumą (**3.1 lentelė**). Tiesinio priklausomumo laipsnis, kurį charakterizuoja koreliacijos koeficientas ir sklaidos apie regresijos tiesę dydis.

3.2 lentelėje pateiktos regresijos lygties $y = a + bx$ koeficientų a ir b reikšmės, esant tiesinei ciklinių charakteristikų priklausomybei nuo mechaninių savybių.

3.1 lentelė

Medžiagų skaičius n , koreliacijos koeficientas r ir individualios sklaidos apie regresijos tiesę dydis δ_y (lentelėje pažymėta $n \frac{r}{\delta_y}$), esant tiesinei ciklinių charakteristikų A , α , \bar{s}_T priklausomybei nuo mechaninių charakteristikų ψ , σ_u/σ_y , σ_y/σ_u , $(\sigma_u/\sigma_y)\psi$, $(\sigma_y/\sigma_u)\psi$

Ciklinės charakteristikos	Mechaninės charakteristikos					Medžiagos numeris	
	ψ	σ_u/σ_y	σ_y/σ_u	$(\sigma_u/\sigma_y)\psi$	$(\sigma_y/\sigma_u)\psi$	Nėra duomenų	Atmesti duomenys
KOROZIJAI IR KARŠČIUI ATSPARIŲ PLIENŲ SUVIRINIMO SIŪLIŲ MEDŽIAGA							
Kambario temperatūra							
A	$24 \frac{0,342}{0,187}$	$28 \frac{0,274}{0,164}$	$28 \frac{-0,066}{0,191}$	$22 \frac{0,478}{0,177}$	$22 \frac{0,261}{0,194}$	ψ (14; 17; 19; 23; 24; 28) σ_u/σ_y (12; 15)	6(2,3,6,13,30,34)
α	$27 \frac{0,233}{0,014}$	$31 \frac{0,249}{0,017}$	$31 \frac{-0,311}{0,017}$	$25 \frac{0,311}{0,014}$	$25 \frac{0,151}{0,015}$		3 (3;7; 32)
\bar{s}_T	$25 \frac{0,626}{0,14}$	$29 \frac{0,141}{0,189}$	$29 \frac{-0,226}{0,166}$	$23 \frac{0,638}{0,152}$	$23 \frac{0,46}{0,163}$		5(1,3,10,35,36)
Skliausteliuose duotas medžiagos numeris atitinka 1.3 lentelėje pateiktą medžiagos markę							

3.2 lentelė

Regresijos lygties $y = a + bx$ koeficientų a ir b reikšmės, esant tiesinei ciklinio deformavimo diagramos parametru A , α ir \bar{s}_T priklausomybei nuo mechaninių charakteristikų

x, %										
ψ	σ_u / σ_y		σ_y / σ_u		$(\sigma_u / \sigma_y)_{\psi}$		$(\sigma_y / \sigma_u)_{\psi}$			
y = a + bx										
	a	b	a	b	a	b	a	b	a	b
KOROZIJAI IR KARŠČIUI ATSPARIŲ PLIENŲ SUVIRINIMO SIŪLIŲ MEDŽIAGA										
Kambario temperatūra										
A	1,366	0,347	1,411	0,061	1,577	-0,091	1,35	0,22	1,436	0,415
α	0,004	0,018	-0,011	0,011	0,034	-0,043	0,003	0,012	0,008	0,019
\bar{s}_T	1,806	0,657	1,923	0,104	2,273	-0,274	1,86	0,262	1,893	0,916

3.2.2. Deformavimo ir mechaninių charakteristikų atsitiktinumo ir nepriklausomumo statistinis tikrinimas

Eksperimento metu neišvengiamos atsitiktinės paklaidos. Todėl eksperimentų rezultatai visada yra atsitiktinio pobūdžio ir jų analizė atliekama statistiniais metodais. Prieš pradėdant statistiškai apdoroti tyrimo rezultatus, buvo patikrinta, ar turimi duomenys yra stochastiškai nepriklausomi. Šiam uždaviniui spręsti buvo panaudotas kylančių ir krintančių serijų kriterijus [9]:

16

Turimai duomenų imčiai x_1, x_2, \dots, x_n buvo sudaryta pliusų ir minusų seka: i vietoje rašytas ženklas „+“, jei $x_{i+1} - x_i > 0$, ir ženklas „-“, jei $x_{i+1} - x_i < 0$. Kai du ir daugiau vienas po kito einantys imties elementai tarpusavyje lygūs, tai imamas vienas iš jų.

Paeiliui einančių pliusų serijos atitinka tyrimo rezultatų reikšmių didėjimą (kylanti serija), o minusų serija - mažėjimą (krintanti serija). Jei turimi duomenys yra atsitiktiniai (tyrimo rezultatai yra nepriklausomi), gautoje ženklų sekoje serijų skaičius neturi būti labai mažas, o serijos ilgis didelis. Turimi duomenys yra atsitiktiniai, jei, esant pasirinktam reikšmingumo lygmeniui, teisinga nelygė

$$\left. \begin{aligned} \gamma_n &> \left[\frac{1}{3}(2n-1) - z_\alpha \sqrt{\frac{16n-29}{30}} \right]; \\ \tau_n &< \tau_k, \end{aligned} \right\} \quad (3.14)$$

čia γ_n - serijų skaičius; τ_n - didžiausias serijos ilgis;

$$\tau_k = 5, \text{ kai } (n \leq 26); \tau_k = 6, (26 \leq n \leq 153); \tau_k = 7, (n > 153).$$

- **Ciklinių deformavimo charakteristikų atsitiktinumo ir nepriklausomumo statistinis tikrinimas**

Korozijai ir karščiui atsparių plienų suvirinimo siūlių medžiagų ciklinio deformavimo diagramos parametro A ir modifikuoto plastiškumo $(\sigma_u / \sigma_y)_{\psi}$ kambario temperatūroje atsitiktinumo ir nepriklausomumo statistinis tikrinimas naudojant kylančių ir krintančių serijų kriterijų parodytas 3.3 lentelėje. Duomenys skaičiavimui paimti iš 1.2 lentelės.

Korozijai ir karščiui atsparių plienų suvirinimo siūlių medžiagų tyrimo rezultatų kambario temperatūroje statistinis tikrinimas naudojant serijų kriterijus patvirtino, kad ciklinio deformavimo diagramos charakteristikos A , α , \bar{s}_T ir modifikuotas plastiškumas $(\sigma_u / \sigma_y)_{\mu}$ yra atsitiktiniai ir nepriklausomi dydžiai.

3.2.3. Tyrimo rezultatų pasiskirstymo pagal normalųjį dėsnį hipotezių tikrinimas

Tiriant duomenų išsidėstymą, reikia žinoti jų pasiskirstymo dėsnius. Kai medžiagų skaičius $n < 120$, [7-13] tai normalumo hipotezių tikrinimui buvo panaudoti kriterijai:

Vidutinio absoliutinio nuokrypio (VAN) panaudojimas [8]. Esant nedideliame duomenų skaičiui n , kaip sklaidos matą nuo vidutinės reikšmės rekomenduojama naudoti vidutinį absoliutinį nuokrypį, kuris sumažina ekstremalių reikšmių įtaką. Vidutinis absoliutinis nuokrypis apskaičiuojamas pagal lygybę

$$VAN = \frac{\sum |x_i - \bar{x}|}{n}. \quad (3.15)$$

Kai tyrimo rezultatai artimi normaliajam dėsnii, turi būti tenkinama nelygybė

$$\left| \frac{VAN}{s} - 0,7979 \right| < \frac{0,4}{\sqrt{n}}, \quad (3.16)$$

čia s - empirinis vidutinis kvadratinis nuokrypis, apskaičiuojamas pagal (3.10) lygybę, kai empirinė dispersija

$$s^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2. \quad (3.17)$$

3.3 lentelė

Korozijai ir karščiui atsparių plienų suvirinimo siūlių medžiagų ciklinio deformavimo diagramos parametro A ir modifikuoto plastiškumo $(\sigma_u / \sigma_y)_{\mu}$ kambario temperatūroje atsitiktinumo ir nepriklausomumo statistinis tikrinimas naudojant krintančių serijų kriterijų

Kylančių ir krintančių serijų kriterijus								
i	A	$x_{i+1} - x_i$	i	A_i	$x_{i+1} - x_i$	i	A_i	$x_{i+1} - x_i$
1	1,75	-	16	1,47	-	29	1,55	+
4	1,47	-	18	1,23	+	31	1,74	+
5	1,43	+	20	1,31	+	32	1,76	-
7	1,87	-	21	1,35	+	33	1,16	+
8	1,66	-	22	1,44	+	35	1,33	+
9	1,37	+	25	1,6	+	36	1,67	
10	1,7	-	26	1,7	+			
11	1,64	-	27	1,75	-			
$\gamma = 11 > \left[\frac{1}{3}(2 \cdot 22 - 1) - 1,64 \sqrt{(16 \cdot 22 - 29)/30} \right] = 9; \quad \tau = 3 < \tau_k = 6$								
Kylančių ir krintančių serijų kriterijus								

i	$(\sigma_u / \sigma_y) \mu, \%$	$x_{i+1} - x_i$	i	$(\sigma_u / \sigma_y) \mu, \%$	$x_{i+1} - x_i$	i	$(\sigma_u / \sigma_y) \mu, \%$	$x_{i+1} - x_i$
1	99,80	+	16	73,96	-	29	114,30	+
4	34,31	-	18	51,73	-	31	159,09	+
5	33,29	-	20	53,07	-	32	174,45	+
7	146,71	+	21	106,62	+	33	59,14	-
8	70,84	-	22	121,02	+	35	114,98	+
9	28,79	-	25	50,70	-	36	111,90	+
10	30,05	-	26	63,49	-			
11	99,21	+	27	108,07	+			
$\gamma = 11 > \lfloor 1/3(2 \cdot 22 - 1) - 1,64 \sqrt{(16 \cdot 22 - 29)/30} \rfloor = 9; \quad \tau = 3 < \tau_k = 6$								

Deivido kriterijus, naudojant varijavimo amplitudę R (H. A. David). Pasiskirstymo pagal normalųjį dėsnį hipotezės tikrinimas, kai $3 < n < 1000$, gali būti atliktas pagal [8] pateiktą metodą, naudojant varijavimo amplitudę R . Šiuo atveju apskaičiuotą santykį R/s lyginame su [8] lentelėje duotomis viršutinėmis ir apatinėmis kritinėmis santykio ribomis, pasirinkus hipotezės reikšmingumo lygmenį α . Jei varijavimo amplitudės R ir standartinio nuokrypio s santykis mažesnis už atitinkančią šį lygmenį apatinę ribą arba didesnis už atitinkančią šį lygmenį viršutinę ribą, tai, esant pasirinktam reikšmingumo lygmeniui α , hipotezė apie normalųjį pasiskirstymą atmetama. Tai ypač svarbu, kai reikšmingumo lygmuo $\alpha = 0,1$, t.y. 10% (gretutinės) ribos.

Pirsono (χ^2) suderinamumo kriterijus (E. S. Pearson). Teorinio dėsnio atitikimą eksperimentiniam hipotezės tikrinimas pagal χ^2 suderinamumo kriterijų numato normaliojo dėsnio savybių panaudojimą [8]. Standartinio normaliojo pasiskirstymo kreivė

$$\varphi(z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-z^2/2} \approx 0,4e^{-z^2/2}, \quad (3.18)$$

$z = (x-a)/\sigma$ - normuotas atsitiktinis dydis su nuline vidutine reikšme ir vienetiniu standartiniu nuokrypiu. Čia a ir σ - normaliojo pasiskirstymo parametrai (teorinė matematinė viltis, nusakanti pasiskirstymo kreivės padėtį Ox ašies atžvilgiu ir standartinis nuokrypis - teorinė atsitiktinio dydžio x dispersija. Jis nusako kreivės formą: didėjant σ kreivė tampa lėkštesnė).

Naudojant χ^2 kriterijų, varijavimo amplitudė sudalinama į intervalus e ir nustatomas stebėjimų dažnis.

Kriterijus χ^2 apskaičiuojamas pagal lygybę

$$\chi^2 = \sum (n_j - n_{pj})^2 / n_{pj}, \quad (3.19)$$

čia n_j - stebėjimų dažnis; n_{pj} - laukiamas dažnis pagal standartinį normalųjį pasiskirstymą.

Hipotezė, kad stebėjimų dažnis turi normalųjį pasiskirstymą, tikrinama χ^2 kriterijų, apskaičiuotą pagal (3.19) lygybę, lyginant su kritine reikšme χ^2_α [7], kai reikšmingumo lygmuo α ir laisvės laipsnių skaičius $k = e_1 - m - 1$. Čia e_1 - intervalų skaičius po jų sujungimo; m - įvertinamų parametrų skaičius ($m = 2$, kai įvertinami du parametrai: \bar{x} ; s). Jei teisinga nelygybė

$$\chi^2 \leq \chi^2_\alpha, \quad (3.20)$$

tai rezultatų duomenys neprieštarauja normaliojo pasiskirstymo dėsniai.

Kriterijaus χ^2 privalumas yra jo universalumas. Kriterijus taikomas visų rūšių funkcijoms $F(x)$, netgi nežinant jas charakterizuojančių parametru (matematinės vilties, standartinio nuokrypio ir kt.).

3.2.4. Deformavimo charakteristikų ir modifikuoto plastiškumo pasiskirstymo pagal normalųjį dėsnį tikrinimas

Atsitiktinių dydžių pasiskirstymas pagal normalųjį dėsnį regresinės analizės atveju reiškia, kad kiekvienai fiksuotai argumento x reikšmei priklausomas kintamasis Y būtų pasiskirstęs pagal normalųjį dėsnį. Praktiniame darbe rekomenduojamos dvi metodikos [10]: pagal variavimo amplitudę R ir pagal χ^2 kriterijų, kur pirmoji naudojama greitam normalumo tikrinimui, o antroji - nuodugniai duomenų pasiskirstymo pagal normalųjį dėsnį tikrinimui. Šiame darbe, be šių dviejų minėtų kriterijų, ciklinių charakteristikų A , α , \bar{s}_T ir modifikuoto plastiškumo (σ_u / σ_y) pasiskirstymo pagal normalųjį dėsnį hipotezės buvo tikrinamos panaudojus vidutinį absoliutinį nuokrypį (VAN). Duomenys skaičiavimui pateikti 1.2 lentelėje.

18

Tikrinimo rezultatai korozijai ir karščiui atsparių plienų suvirinimo siūlių medžiagoms kambario temperatūroje pateikti 3.4 lentelėje. „+“ ženklas reiškia, kad duomenys yra pasiskirstę pagal normalųjį dėsnį, „-“ ženklas reiškia, kad normaliojo pasiskirstymo nėra.

3.4 lentelė

Ciklinių deformavimo charakteristikų ir modifikuoto plastiškumo normalumo tikrinimas panaudojus vidutinį absoliutinį nuokrypį (VAN), variavimo amplitudės ir dispersijos santykį R/s bei χ^2 kriterijų

Ciklinės charakteristikos	Medžiagų skaičius n	(σ_u / σ_y)			A, α, \bar{s}_T		
		VAN	R/s	χ^2	VAN	R/s	χ^2
KOROZIJAI IR KARŠČIUI ATSPARIŲ PLIENŲ SUVIRINIMO SIŪLIŲ MEDŽIAGA							
Kambario temperatūra							
A	22	+	+	+	+	+	-
α	25	+	+	-	+	+	+
\bar{s}_T	23	+	+	+	+	+	+

3.2.5. Tyrimo rezultatų koreliacinė analizė

Koreliacinės analizės uždavinys - surasti teorinę regresijos kreivę, analitiškai ją aprašyti ir atlikti gautų rezultatų statistinį įvertinimą [14] - gali būti išspręstas tiesinės priklausomybės ribose tarp normaliai pasiskirsčiusių atsitiktinių dydžių. Stipraus ryšio tarp atsitiktinių dydžių X ir Y įvertinimui naudojamas koreliacijos koeficientas, kuris charakterizuoja atsitiktinių dydžių

tiesinio priklausomumo laipsnį ir, jiems pasiskirsčius pagal normalųjį dėsnį, apskaičiuojamas pagal lygybę

$$r = \frac{m_{1/1}}{s_x s_y}, \quad (3.21)$$

čia $m_{1/1}$ - mišrus centrinis momentas; s_x, s_y - atsitiktinių dydžių X ir Y vidutiniai kvadratiniai nuokrypiai.

Mišrus centrinis momentas apskaičiuojamas pagal lygybę

$$m_{1/1} = \frac{1}{n-1} \left(\sum_{i=1}^n x_i y_i - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \sum_{i=1}^n y_i \right). \quad (3.22)$$

Esant teigiamoms koreliacijos koeficiento reikšmėms, didėjant vienam iš atsitiktinių dydžių, vidutiniškai didėja ir kitas. Kai koreliacijos koeficiento reikšmė $r < 0$, didėjant vienam iš atsitiktinių dydžių, kitas mažėja. Koreliacijos koeficientas kinta ribose $-1 \leq r \leq 1$. Kai koreliacijos koeficientas $r = 0$, ne visada reiškia, kad atsitiktiniai dydžiai yra nepriklausomi. Koreliacijos koeficientas gali būti artimas nuliui ir esant koreliuotiems atsitiktiniams dydžiams, kai tarp X ir Y nėra tiesinės priklausomybės.

Analizuojant nepriklausomus dydžius, buvo atliktas hipotezės apie koreliacijos nebuvimą tarp atsitiktinių dydžių X ir Y tikrinimas, t.y. nulinės hipotezės tikrinimas panaudojus Fišerio (R. A. Fisher) keitinį u , kuris parodo, kad atsitiktinio dydžio pasiskirstymą

$$u = \frac{1}{2} \ln \frac{1+r}{1-r} \quad (3.23)$$

galima aproksimuoti normaliuoju dėsniu su matematine viltimi

$$M\{U\} = a_u = \frac{1}{2} \ln \frac{1+\rho}{1-\rho} + \frac{\rho}{2(n-1)} \quad (3.24)$$

ir dispersija

$$D\{U\} = \sigma_u^2 = \frac{1}{n-3}. \quad (3.25)$$

Antrasis dėmuo (3.24) lygybėje visada mažas, lyginant su vidutiniu kvadratinu nuokrypiu σ_u , ir jį galima atmesti.

Nulinės hipotezės tikrinimas $\rho = 0$, esant alternatyvai $\rho \neq 0$, atliktas pagal (3.23) ir (3.25) lygybes apskaičiavus u , σ_u ir palyginus parametą u su kritiniu, esant tikimybei $P = 1 - \alpha / 2$. Jei tenkinama sąlyga

$$|u| \leq z_{1-\alpha/2} \sigma_u, \quad (3.26)$$

atsitiktiniai dydžiai yra tiesiškai vienas nuo kito nepriklausomi, t.y. buvo priimta nulinė hipotezė $\rho = 0$. Kai $|u| > z_{1-\alpha/2} \sigma_u$ - nulinė hipotezė atmesta, nes tarp ciklinių deformavimo charakteristikų ir modifikuoto plastiškumo yra koreliacinė priklausomybė. Čia $z_{1-\alpha/2}$ - standartinio normaliojo pasiskirstymo kvantilis parenkamas pagal lentelę [7], pasirinkus tikimybės $P = 1 - \alpha / 2$ reikšmę; α - reikšmingumo lygmuo (klaidos tikimybė).

Koreliacijos koeficiento pasikliautiniai intervalai. Nustatant pasikliautinius intervalus, buvo priimtas 0.9 pasikliautiniosios tikimybės lygis. Pasirinkus tikimybę P arba reikšmingumo lygmenį $\alpha = 1 - P$, buvo nustatyti pasikliautiniai intervalai parametrai a_u :

$$u_1 < a_u < u_2, \quad (3.27)$$

čia $u_1 = u - z_{1-\alpha/2}\sigma_u$; $u_2 = u + z_{1-\alpha/2}\sigma_u$.

Ribinėms reikšmėms u_1 ir u_2 panaudojus (3.23) lygybę pagal

$$r = \frac{e^{2u} - 1}{e^{2u} + 1} \quad (3.28)$$

nustatytos pasikliautinio intervalo ribos teoriniam koreliacijos koeficientui su tikimybe $1 - \alpha$ teigiant, kad koreliacijos koeficientas ρ yra intervale $[r_1, r_2]$, t.y.

$$r_1 < \rho < r_2. \quad (3.29)$$

Skaičiavimo rezultatai korozijai ir karščiui atsparių plienų suvirinimo siūlių medžiagoms kambario temperatūroje pateikti 3.5 lentelėje. Bandymų rezultatų reikšmės duotos 1.2 lentelėje. Kai tenkinama sąlyga $|u| \leq z_{1-\alpha/2}\sigma_u$, priimama nulinė hipotezė $\rho = 0$. Tada sakoma, kad atsitiktiniai dydžiai yra nekoreliuoti, t.y. ciklinės deformavimo charakteristikos A , α , \bar{s}_T ir modifikuotas plastiškumas (σ_u / σ_y) tiesiškai vienas nuo kito nepriklausomi.

20

3.5 lentelė

Skaičiavimo rezultatų suvestinė lentelė, tikrinant nulinę hipotezę $\rho = 0$ tarp ciklinių deformavimo charakteristikų A , α , \bar{s}_T ir modifikuoto plastiškumo (σ_u / σ_y) pagal sąlygą $|u| \leq z_{1-\alpha/2}\sigma_u$, kai $z_{0,975} = 1,96$ ($\alpha = 0,05$, $P = 1 - \alpha / 2 = 0,975$). 90% pasikliautinio intervalo ribos $[r_1, r_2]$ teoriniam koreliacijos koeficientui

Ciklinės charakteristikos	n	\bar{x}	\bar{y}	s_x	s_y	r	u	$z_{0,975}\sigma_u$	$ u \leq z_{1-\alpha/2}\sigma_u$	$r_1 < \rho < r_2$	
										r_1	r_2
KOROZIJAI IR KARŠČIUI ATSPARIŲ PLIENŲ SUVIRINIMO SIŪLIŲ MEDŽIAGA											
Kambario temperatūra											
A	22	86	1.54	42,8	0,19	0,47	0,52	0,23	$\rho = 0$	0,43	0,52
α	25	87	0.01	39,18	0,015	0,31	0,32	0,21	$\rho = 0$	0,26	0,36
\bar{s}_T	23	93	2.11	43.84	0.18	0.64	0.75	0,44	$\rho = 0$	0,60	0,67

3.2.6. Deformavimo charakteristikų ir modifikuoto plastiškumo tyrimo rezultatų regresinė analizė

Jei dydžiai X ir Y yra atsitiktiniai, tai jų priklausomybei tirti taikoma koreliacinė analizė, kurios metu apskaičiuojami aritmetiniai vidurkiai \bar{x} ir \bar{y} , dispersijos s_x^2 ir s_y^2 ir koreliacijos koeficientas r . Praktikoje nagrinėjamas atsitiktinio dydžio Y sąlyginis vidurkis, kai atsitiktinis dydis X įgyja tam tikras reikšmes. Šiuo atveju teorinės regresijos tiesės lygtis

$$M(Y/x) = a_{y/x} = MY + \rho \frac{\sigma_y}{\sigma_x} (x - MX), \quad (3.30)$$

čia $M(Y/x)$ - sąlyginė dydžio Y matematinė viltis esant fiksuotam dydžiui $X = x$.

Koreliacinė analizė parodė, kad tarp daugumos korozijai ir karščiui atsparių plienų suvirinimo siūlių medžiagų ciklinių deformavimo charakteristikų A , α , \bar{s}_T ir modifikuoto plastiškumo (σ_u/σ_y) kambario temperatūroje yra koreliacinis ryšys (3.5 lentelė), t.y. egzistuoja tiesinė priklausomybė, kurią galima aprašyti empirine regresijos tiesės lygtimi

$$Y = \bar{y} + r \frac{s_y}{s_x} (x - \bar{x}) \quad (3.31)$$

arba

$$Y = a + bx, \quad (3.32)$$

čia $b = r \frac{s_y}{s_x}$; $a = \bar{y} - b\bar{x}$.

21

Atsitiktinio dydžio Y sąlyginės dispersijos įvertinimui panaudota dispersija apie regresijos tiesę

$$s_{y/x}^2 = s_y^2 (1 - r^2) \frac{n-1}{n-2}. \quad (3.33)$$

Individualios sklaidos apie regresijos tiesę dydis, t.y. Y nustatymo pagal (3.31) lygybę grynoji klaida

$$\delta_y = \sqrt{s_{y/x}^2}. \quad (3.34)$$

Teorinei regresijos tiesei (3.31) yra nustatomi pasikliautinieji intervalai ir pasikliautinoji sritis. Šiam tikslui pagal (3.31) lygybę buvo apskaičiuota dydžio Y dispersija

$$s_{Y/x}^2 = s_{y/x}^2 \left[\frac{1}{n} + \frac{(x - \bar{x})^2}{(n-1)s_x^2} \right]. \quad (3.35)$$

Tikrojo (teorinio) sąlyginio vidurkio $a_y = M(Y/x)$ pasikliautinis intervalas

$$Y - s_{Y/x} t_{\alpha,k} < a_y < Y + s_{Y/x} t_{\alpha,k}, \quad (3.36)$$

čia $t_{\alpha,k}$ - Stjudento (Student) kriterijus [7].

Regresijos lygties adekvatumo tikrinimas. Suradus regresijos linijos parametrus a ir b , buvo patikrintas regresijos lygties $y = a + bx$ adekvatumas, t.y. buvo patikrinta, ar gautoji lygtis pakankamai tiksliai aprašo tyrimo rezultatus [9]. Tam panaudotas Fišerio kriterijus

$$F = \frac{s_y^2}{\delta_y^2}, \quad (3.37)$$

čia s_y^2 - dispersija, apibūdinanti duomenų nukrypimą nuo vidurkio;

$\delta_y^2 = s_{y/x}^2$ - liekamoji dispersija, apibūdinanti duomenų nukrypimą nuo regresijos linijos taškų.

Jei pasirinktam reikšmingumo lygmeniui α dydis F yra ne mažesnis už reikšmę $F_{\alpha(k_1-1, k_2-2)}$ [8], regresijos lygtis yra adekvati. Priešingu atveju manoma, kad nėra tiesinės priklausomybės tarp tikrinamų dydžių ir reikia nagrinėti sudėtingesnes priklausomybes.

Tarpinėms F_α reikšmėms, kai k_1 ir k_2 daugiau už 30, teisinga tokia aproksimacija [8]:

$$\left. \begin{aligned} g &= 1/k_1 - 1/k_2; \quad h = 2/(1/k_1 - 1/k_2); \\ \lg F_{0,5} &= -0,29g; \quad \lg F_{0,3} = \frac{0,4555}{\sqrt{h-0,55}} - 0,329g; \quad \lg F_{0,1} = \frac{1,1131}{\sqrt{h-0,77}} - 0,527g; \\ \lg F_{0,05} &= \frac{1,4287}{\sqrt{h-0,95}} - 0,681g; \quad \lg F_{0,01} = \frac{2,0206}{\sqrt{h-1,4}} - 1,073g. \end{aligned} \right\} \quad (3.38)$$

Jei pasirinktam reikšmingumo lygmeniui α dydis F yra ne mažesnis už reikšmę $F_{\alpha(k_1-1, k_2-2)}$ [8], regresijos lygtis yra adekvati. Kitu atveju manoma, kad nėra tiesinės priklausomybės tarp tikrinamų dydžių ir reikia nagrinėti sudėtingesnes priklausomybes.

22

F kriterijaus reikšmingumui nustatyti (kai $\alpha > 0,1$), buvo panaudota aproksimacija, kurią pasiūlė Paulsonas (Paulson E. S.) [8]:

$$\hat{z} = \left\{ \left(1 + \frac{2}{9k_2} \right) F^{1/3} - \left(1 - \frac{2}{9k_1} \right) \right\} / \sqrt{\frac{2}{9k_2} F^{2/3} + \frac{2}{9k_1}}; \quad (3.38)$$

(3.38) lygybė teisinga esant laisvės laipsnių skaičiui $k > 3$. Klaidos tikimybė α nustatyta kaip plotas pagal z kriterijų [32] atitinkamai F kriterijaus reikšmei.

Korozijai ir karščiui atsparių plienų suvirinimo siūlių medžiagų tiesinės regresijos $y = a + bx$ adekvatumo tikrinimas parodė (3.6 lentelė), kad tiesinės ciklinių deformavimo charakteristikų priklausomybės nuo modifikuoto plastiškumo patikimumas yra 70-80%, esant koreliaciniam ryšiui tarp minėtų charakteristikų (3.5 lentelė). Kai koreliacinio ryšio nėra, tiesinės ciklinių charakteristikų regresijos $y = a + bx$ modifikuoto plastiškumo atžvilgiu patikimumas yra apie 50%.

Ciklinių deformavimo parametrų A , α ir \bar{s}_T tiesinės regresijos $y = a + bx$ modifikuoto plastiškumo (σ_u / σ_y) atžvilgiu adekvatumo tikrinimas naudojant Fišerio kriterijų. Adekvatumo sąlyga $F \geq F_{\alpha(k_1, k_2)}$, $k_1 = n - 1, k_2 = n - 2$

Ciklinės charakteristikos	Medžiagų skaičius n	$y = a + bx$			
		F	$F_{0,3}$	$F_{0,1}$	F_{α}
KOROZIJAI IR KARŠČIUI ATSPARIŲ PLIENŲ SUVIRINIMO SIŪLIŲ MEDŽIAGA					
Kambario temperatūra					
A	22	1.2	-	0.56	$F'_{0,5}$
α	25	1.1	-	0.37	$F'_{0,5}$
\bar{s}_T	23	1.6	-	1.28	$F'_{0,5}$
F'_{α} - apytikslės reikšmės, atitinkančios F kriterijų					

3.7 lentelė

Koreliacijos koeficientas r (skaitiklyje) ir liekamoji dispersija $s_{y/x}^2$ (vardiklyje), atitinkantys pasirinktą funkciją. Ciklinės deformavimo charakteristikos A , α , \bar{s}_T pažymėtos y , modifikuotas plastiškumas (σ_u / σ_y) pažymėtas x

Ciklinės charakteristikos	Medžiagų skaičius n	Netiesinė regresija					
		$y = a + \frac{b}{x}$	$y = \frac{a}{b + x}$	$y = \frac{ax}{b + x}$	$y = \frac{x}{a + bx}$	$y = ab^x$	$y = ax^b$
KOROZIJAI IR KARŠČIUI ATSPARIŲ PLIENŲ SUVIRINIMO SIŪLIŲ MEDŽIAGA							
Kambario temperatūra							
A	22	$\frac{0,416}{0,00596}$	$\frac{0,413}{0,006}$	$\frac{0,135}{0,00594}$	$\frac{0,419}{0,00564}$	$\frac{0,428}{0,033}$	$\frac{0,422}{0,00592}$
α	25	$\frac{0,421}{0,00357}$	-	-	$\frac{0,3}{0,00395}$	$\frac{0,303}{0,0148}$	$\frac{0,274}{0,00402}$

\bar{s}_T	23	$\frac{0,091}{0,16082}$	$\frac{0,116}{0,16}$	$\frac{0,648}{0,14035}$	$\frac{0,093}{0,16076}$	$\frac{0,441}{0,148}$	$\frac{0,658}{0,1388}$
Ciklinės charakteristikos	Medžiagų skaičius n	Netiesinė regresija					
		$y = ae^{bx}$	$y = ae^{\frac{b}{x}}$	$y = a + b \lg x$	$y = a + bx + cx^2$	$y = a + bx + c\sqrt{x}$	
A	22	$\frac{0,414}{0,00597}$	$\frac{0,418}{0,00615}$	$\frac{0,422}{0,00592}$	$\frac{0,423}{0,00612}$	$\frac{0,423}{0,00612}$	
α	25	$\frac{0,407}{0,00373}$	$\frac{0,337}{0,00421}$	$\frac{-0,464}{0,00341}$	$\frac{0,522}{0,00325}$	$\frac{0,518}{0,00327}$	
\bar{s}_T	23	$\frac{0,116}{0,16456}$	$\frac{0,092}{0,1654}$	$\frac{0,105}{0,16035}$	$\frac{0,121}{0,16436}$	$\frac{0,125}{0,16418}$	

3.2.7. Netiesinės regresijos parinkimas ir jos adekvatumo tikrinimas

Kadangi negalima teigti, kad parinkta tiesinė regresija korozijai ir karščiui atsparių plienų suvirinimo siūlių medžiagų parametrai A pakankamai tiksliai aprašo tyrimo rezultatus, buvo ieškota kitų, mažesnę liekamąją dispersiją $s_{y/x}^2$ turinčių lygčių. Optimalią regresijos lygtį surasti sunku, todėl skaičiavimams buvo panaudotos dažniausiai pasitaikančios netiesinės regresijos: parabolinė, hiperbolinė, eksponentinė ir kt. (3.7 lentelė) [7-10].

3.8 lentelėje pateiktas netiesinės regresijos $y = a + bx + cx^2$ adekvatumo tikrinimas korozijai ir karščiui atsparių plienų suvirinimo siūlių medžiagoms kambario temperatūroje parodė, kad ciklinių deformavimo charakteristikų regresijos modifikuoto plastiškumo atžvilgiu aproksimacija iš esmės nepagerėjo, t.y. netiesinėmis regresijomis tyrimo rezultatai buvo aprašomi panašiai kaip ir tiesinėmis regresijomis.

3.8 lentelė

Ciklinių deformavimo charakteristikų A , α ir \bar{s}_T netiesinės regresijos $y = a + bx + cx^2$ modifikuoto plastiškumo (σ_u / σ_y) atžvilgiu adekvatumo tikrinimas naudojant Fišerio kriterijų. Adekvatumo sąlyga $F \geq F_{\alpha(k_1, k_2)}$, $k_1 = n - 1, k_2 = n - 2$

Ciklinės charakteristikos	Medžiagų skaičius n	$y = a + bx + cx^2$		
		F	$F_{0,3}$	F_{α}
KOROZIJAI IR KARŠČIUI ATSPARIŲ PLIENŲ SUVIRINIMO SIŪLIŲ MEDŽIAGA				
Kambario temperatūra				
A_1	22	1,19	1,20	$F'_{0,3}$
α	25	1,23	1,19	$F'_{0,25}$
\bar{s}_T	23	1,0	1,19	$F'_{0,5}$

F'_α - apytikslės reikšmės, atitinkančios F kriterijų

Tuo remiantis priimta, kad ciklinių ir mechaninių charakteristikų duomenis galima aproksimuoti tiesine regresija $y = a + bx$. Kadangi ciklinių deformavimo charakteristikų A_1 , α , \bar{s}_r priklausomybė nuo modifikuoto plastiškumo $(\sigma_u / \sigma_y)_{\psi}$ duoda mažiausią sklaidą ir geriausiai nusako tiesinio ryšio stiprumą, 3.10 lentelėje pateiktos analitinės šių charakteristikų tarpusavio priklausomybės.

Pasikliautiniosios srities ribos teorinei regresijos tiesei. Nustatysime korozijai ir karščiui atsparių plienų suvirinimo siūlių medžiagų kambario temperatūroje tiesinės regresijos $A_1 = 1,35 + 0,002(\sigma_u / \sigma_y)_{\psi}$ pasikliautiniosios srities ribas su 0,95 pasiklovimo tikimybe.

Teorinei regresijos tiesei (3.30) įvertinti nustatoma pasikliautinioji sritis. Šiam tikslui pagal (3.33) lygibę įvertinta atsitiktinio dydžio Y sąlyginė dispersija

$$s_{y/x}^2 = 0,19^2(1 - 0,47^2) \frac{24 - 1}{22 - 2} = 0,025$$

ir pagal (3.34) lygibę apskaičiuotas individualios sklaidos apie regresijos tiesę dydis

$$\delta_y = \sqrt{s_{y/x}^2} = \sqrt{0,025} = 0,15.$$

95% pasikliautiniosios srities ribų (punktyrinės linijos) skaičiavimo eiliškumas regresijos tiesei pagal (3.35) ir (3.36) lygibes parodytas 3.9 lentelėje.

3.9 lentelė

95% pasikliautiniosios srities ribų (punktyrinės linijos) skaičiavimo rezultatai tiesinei regresijai $Y = 1,35 + 0,002x$, kai $(n-1)s_x^2 = 20548$, $t_{\alpha,k} = 1,96$, $\alpha = 0,05$ ir $k = 28$

$x = \frac{\sigma_u}{\sigma_y} \psi$	0,002x	$Y = 1,35 + 0,002x$	$x - \bar{x}$	$(x - \bar{x})^2$	$\frac{(x - \bar{x})^2}{(n-1)s_x^2}$	$s_{Y/x}^2$	$s_{Y/x}$	$s_{Y/x} t_{\alpha,k}$	$Y - s_{Y/x} t_{\alpha,k}$	$Y + s_{Y/x} t_{\alpha,k}$
20	0,044	1,40	-67	4489	0,116	0,005	0,071	0,14	1,251	1,538
40	0,088	1,44	-47	2209	0,057	0,003	0,057	0,11	1,331	1,554
60	0,132	1,49	-27	729	0,018	0,002	0,045	0,09	1,398	1,575
80	0,176	1,53	-7	49	0,001	0,001	0,038	0,08	1,455	1,606
$\bar{x} = 87$	0,191	1,55	0	0	0	0,001	0,038	0,07	1,472	1,620
120	0,264	1,62	33	1089	0,028	0,002	0,048	0,09	1,524	1,713
140	0,308	1,66	53	2809	0,072	0,003	0,061	0,12	1,543	1,782
160	0,352	1,71	73	5329	0,137	0,005	0,076	0,15	1,558	1,855

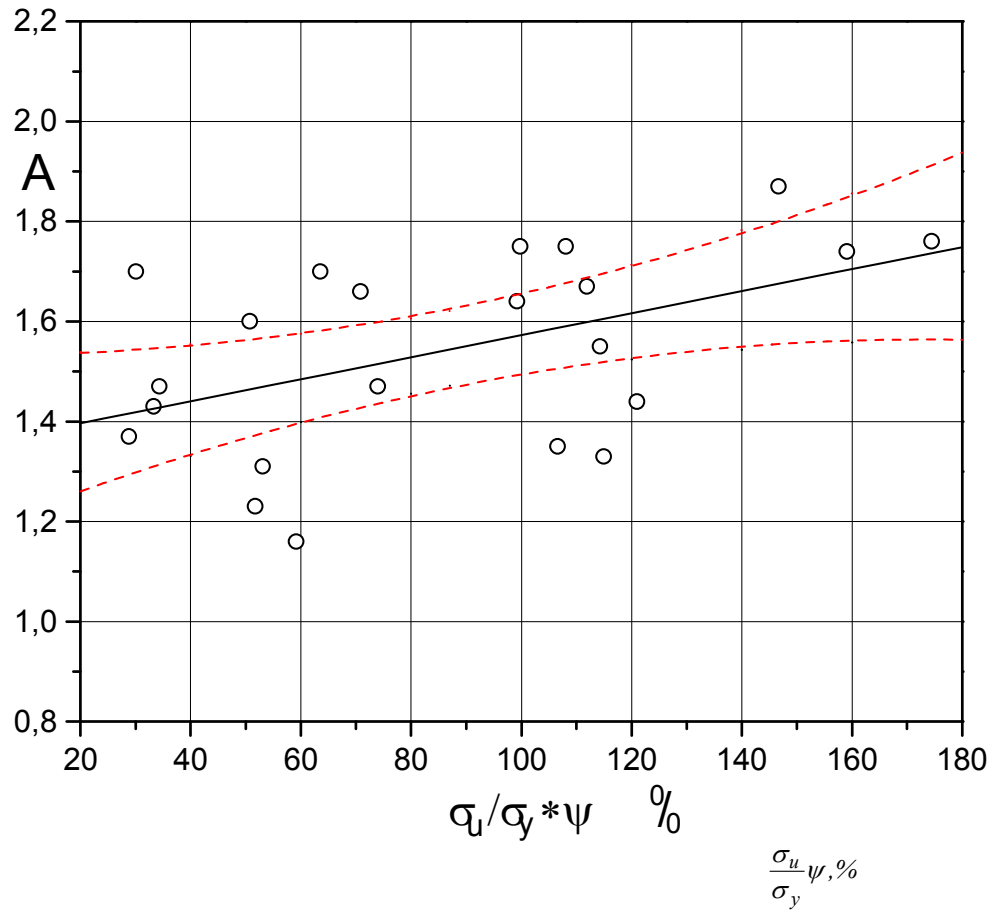
180	0,396	1,75	93	8649	0,223	0,008	0,092	0,18	1,570	1,931
-----	-------	------	----	------	-------	-------	-------	------	-------	-------

3.10 lentelė

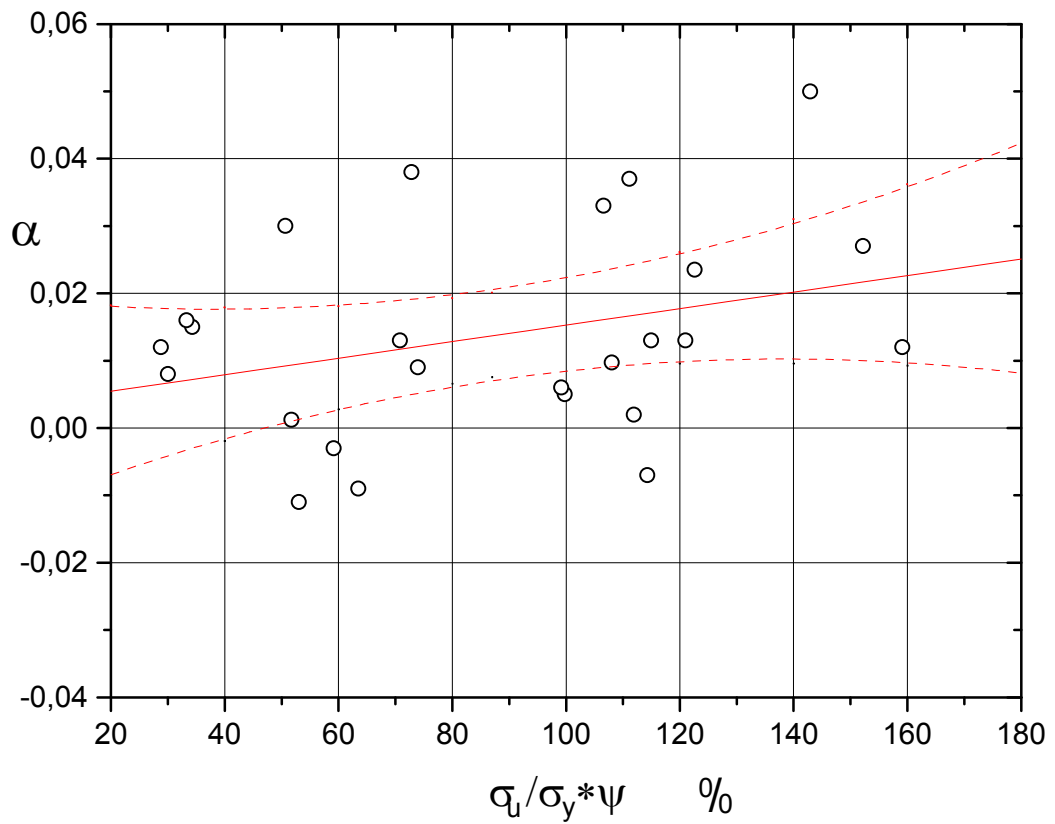
Ciklinių deformavimo charakteristikų A , α , \bar{s}_T analitinės priklausomybės nuo modifikuoto plastiškumo $(\sigma_u / \sigma_y)_{pl}$ korozijai ir karščiui atsparių plienų suvirinimo siūlių medžiagoms kambario temperatūroje

KOROZIJAI IR KARŠČIUI ATSPARIŲ PLIENŲ SUVIRINIMO SIŪLIŲ MEDŽIAGA	
Kambario temperatūra	$A = 1,35 + 0,0022(\sigma_u / \sigma_y)_{pl}$ $\alpha = 0,003 - 0,00012(\sigma_u / \sigma_y)_{pl}$ $\bar{s}_T = 1,87 + 0,0026(\sigma_u / \sigma_y)_{pl}$

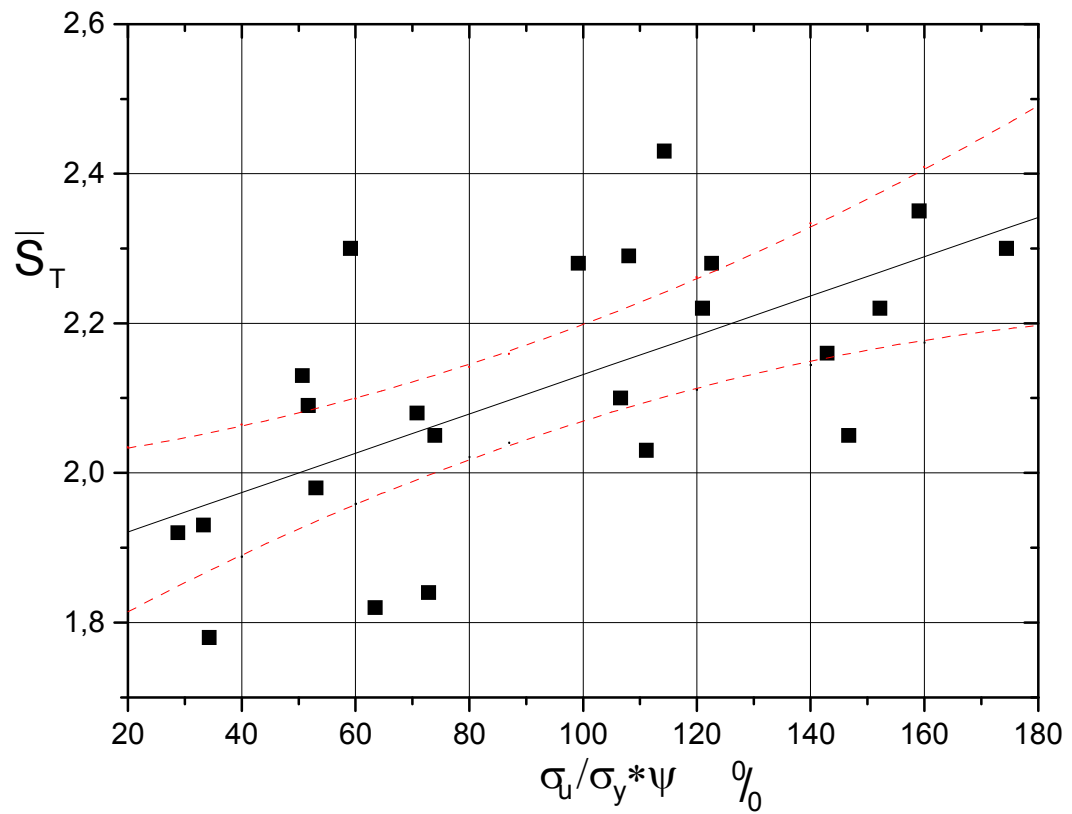
Empirinė regresijos tiesė, esant tiesinei korozijai ir karščiui atsparių plienų suvirinimo siūlių medžiagų ciklinių deformavimo charakteristikų A , α , \bar{s}_T priklausomybei nuo modifikuoto plastiškumo $(\sigma_u / \sigma_y)_{pl}$ kambario temperatūroje ir 95% pasikliautinosios srities ribos (punktyrinės linijos) teorinei regresijos tiesei parodytos 3.1 - 3.3 paveiksluose.



3.1 pav. Parametro A_1 priklausomybė nuo modifikuoto plastiškumo $(\sigma_u / \sigma_y) \psi$ korozijai ir karščiui atsparių plienų suvirinimo siūlių medžiagoms kambario temperatūroje ir 95% pasikliautiniosios srities ribos (punktyrinės linijos) teorinei regresijos tiesei



3.3 pav. Parametro α priklausomybė nuo modifikuoto plastiškumo $(\sigma_u/\sigma_y)\psi$ korozijai ir karščiui atsparių plienų suvirinimo siūlių medžiagoms kambario temperatūroje ir 95% pasikliautiniosios srities ribos (punktyrinės linijos) teorinei regresijos tiesei

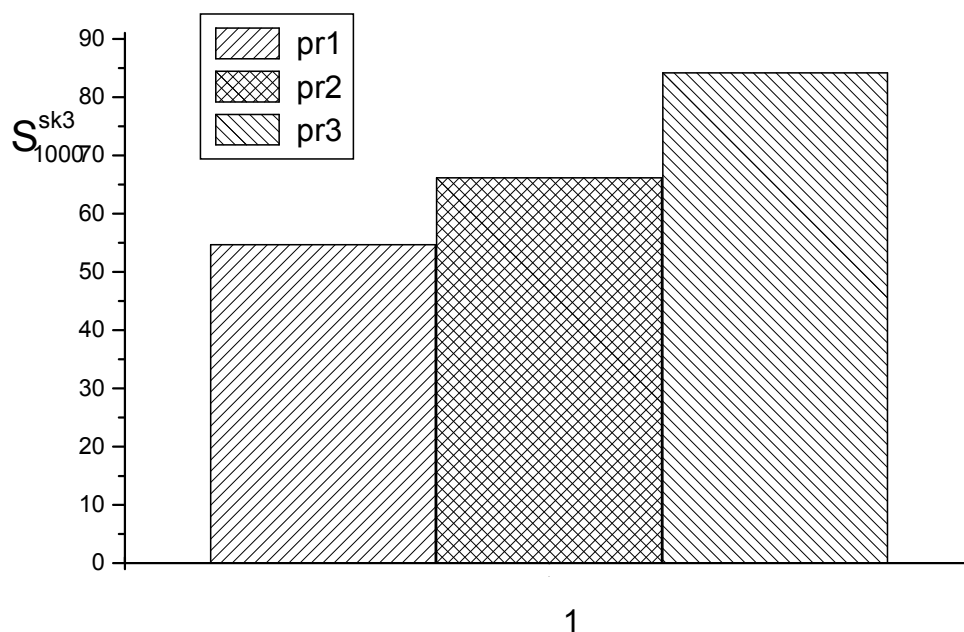


3.4 pav. Parametro \bar{S}_T priklausomybė nuo modifikuoto plastiškumo $(\sigma_u / \sigma_y) \psi$ korozijai ir karščiui atsparių plienų suvirinimo siūlių medžiagoms kambario temperatūroje ir 95% pasikliautiniosios srities ribos (punkttyrinės linijos) teorinei regresijos tiesei

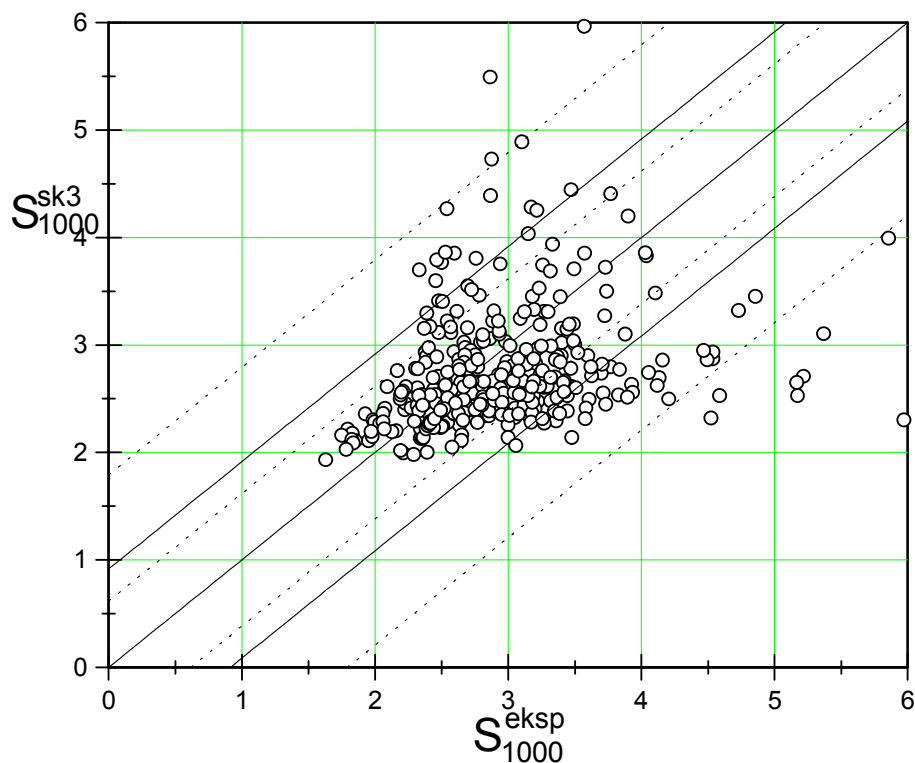
3.2.8. Eksperimentinių ir skaičiavimo rezultatų palyginimas

Ciklinio deformavimo diagramų parametrai A , α ir \bar{s}_r nustatyti pagal 1.1 lentelėje nurodytus metodus. Remiantis (1.3) lygybe, visoms medžiagoms apskaičiavome ciklinius įtempimus, kai $k = 1; 10; 100; 1000$ ir 2000 . Eksperimentinių ir pagal (1.3) lygybę apskaičiuotų ciklinių įtempimų palyginimas parodytas 3.11 lentelėje ir 3.4-3.5 paveiksluose.

Skaičiavimo ir eksperimentiniams rezultatams palyginti buvo nustatytos ribos, kuriose tikimybė $P \approx 0,50$, kad pagal normalųjį dėsnį pasiskirstę reikšmės yra intervale $\bar{x} \pm 0,675 \cdot s$ (tikėtinasis nuokrypis), intervale $\bar{x} \pm s$ $P \approx 0,68$ ir intervale $\bar{x} \pm 1,96s$ $P \approx 0,95$ (95% normaliosios kreivės ploto) [12], čia $\bar{x} = \bar{S}_k$ - vidutinė eksperimentinė ciklinių įtempimų reikšmė; s - standartinis nuokrypis.



3.5 pav. Korozijai ir karščiui atsparių plienų suvirinimo siūlių medžiagų eksperimentinių \bar{S}_{1000}^{eks} ir apskaičiuotų \bar{S}_{1000}^{sk3} ciklinių įtempimų palyginimas



3.5 pav. Korozijai ir karščiui atsparių plienų suvirinimo siūlių medžiagų eksperimentinių \bar{S}_{eksp} ir apskaičiuotų \bar{S}_{1000}^{sk3} ciklinių įtempimų palyginimas kambario temperatūroje, kai parametrai A , α ir \bar{s}_T nustatyti pagal 3.10 lentelę **3.11**
lentelė

Korozijai ir karščiui atsparių plienų suvirinimo siūlių medžiagų eksperimentinių ir apskaičiuotų k -ojo pusciklio ciklinių įtempimų \bar{S}_k palyginimas kambario temperatūroje, kai ciklinio deformavimo parametrai A , α ir \bar{s}_T nustatyti pagal modifikuotą plastiškumą (3.10 lentelė)

Bandinių skaičius	Metodai	Bandinių skaičius, kai rezultatų sklaida tarp eksperimentinių ir apskaičiuotų ciklinių įtempimų yra intervale					
		$x \pm 0,675s$		$x \pm s$		$x \pm 1,96s$	
		vnt.	%	vnt.	%	vnt.	%
\bar{S}_1							
383	1	153	40	270	70	355	93
	2	311	81	342	89	375	97
	3	221	58	287	75	346	90
\bar{S}_{10}							
383	1	161	47	215	68	240	91
	2	212	55	275	72	342	89
	3	212	55	272	71	342	89

\bar{S}_{100}							
305	1	243	65	42	11	70	19
	2	318	85	250	67	326	87
	3	319	85	243	65	319	85
\bar{S}_{1000}							
305	1	107	35	125	41	172	53
	2	175	57	214	70	265	87
	3	162	53	199	65	257	82
\bar{S}_{1000}							
264	1	125	47	176	67	180	68
	2	163	62	239	91	230	87
	3	162	61	186	70	229	87

IŠVADOS

Išanalizavus 36 korozijai ir karščiui atsparių plienų suvirinimo siūlių medžiagas kambario temperatūroje, galima daryti tokias išvadas:

1. Ciklinių deformavimo charakteristikų A , α , \bar{s}_T priklausomybės nuo modifikuoto plastiškumo $(\sigma_u / \sigma_y)_{\psi}$ duoda mažiausią sklaidą ir geriausiai nusako tiesinio ryšio stiprumą.
2. Tyrimo rezultatų statistinis tikrinimas patvirtino, kad korozijai ir karščiui atsparių plienų suvirinimo siūlių medžiagų kambario temperatūroje ciklinio deformavimo diagramos charakteristikos A , α , \bar{s}_T ir modifikuotas plastiškumas $(\sigma_u / \sigma_y)_{\psi}$ yra atsitiktiniai ir nepriklausomi dydžiai, pasiskirstę pagal normalųjį dėsnį. Šių charakteristikų regresija modifikuoto plastiškumo atžvilgiu gali būti aproksimuota tiesine regresija $y = a + bx$.
3. Ciklinio deformavimo charakteristikos A , α , \bar{s}_T yra artimos eksperimento rezultatams, kai jos apskaičiuotos pagal 3 metodą. Eksperimentinės ciklinės proporcingumo ribos \bar{s}_T reikšmės yra gerokai mažesnės už reikšmes, nustatytas pagal 1-ąjį metodą, todėl šiame darbe jas reikia traktuoti kaip sąlygines, t.y. skaičiuojamąsias.

LITERATŪRA

1. Даунис М. Прочность и долговечность при малоцикловом нагружении.-Вильнюс: Мокслас, 1989.-254 с.
2. Даунис М. (Руководитель темы). Отчет научно исследовательской работы. Исследование характеристик малоцикловой усталости для корпусных материалов. Каунас: КПИ, 1968.-58 с.
3. Даунис М. (Руководитель темы). Отчет научно исследовательской работы. Испытание образцов с различными технологическими дефектами на малоцикловую усталость при нормальной температуре. Каунас: КПИ, 1971.-177 с.
4. Šniuolis R. Konstrukcinių medžiagų mažaciklio nuovargio charakteristikų priklausomybė nuo mechaninių charakteristikų. Daktaro disertacija, 1999.-117p.
5. Медекша Г., Шнейдерович Р.М. Обобщенная диаграмма циклического деформирования при асимметричном цикле нагружения.- Машиноведение, 1967, №3,с.55-62.
6. Медекша Г. Характеристики деформирования и разрушения при асимметричном упругопластическом нагружении. Диссертация. Каунас, 1967.
7. Степнов М. Н. Статистические методы обработки результатов механических испытаний: Справочник. Москва: Машиностроение, 1985. 232 с.
8. Закс Л. Статистическое оценивание. Пер. с нем. / Под. Ред. Ю. П. Адлера, В. Г. Горского. Москва: Статистика, 1976. 598 с.
9. Kaminskienė V. Matematinės statistikos elementai. Mokymo priemonė 2 d. Vilnius: MA Fizikos ir matematikos institutas, 1976. 124 p.
10. Львовский Е. Н. Статистические методы построения эмпирических формул: Учеб. Пособие. Москва: Высшая школа, 1982. 224 с.
11. Хан Г. Шапиро С. Статистические модели в инженерных задачах. Пер. с нем. / Под. Ред. В. В. Налимова. Москва: Мир, 1969. 395 с.
12. Mišeikis F. Statistika ir ekonometrija. Vilnius: Technika, 1997. 276 p.
13. Ван дер Вардер Б. Л. Математическая статистика. Пер. с нем. / Под. Ред. Н. В. Смирнова. Москва: Изд – во иностр. лит. 1960. 434 с.
14. Grigas A. Radioelektroninės aparatūros inžinerinė sintezė ir analizė. – Kaunas: Technologija, 1992.-214 p.