

**ŠIAULIŲ UNIVERSITETAS
TECHNOLOGIJOS FAKULTETAS
MECHANIKOS INŽINERIJOS KATEDRA**

Laura Sabaliauskienė

**SUIRIMO KREIVIŲ PARAMETRŲ NUSTATYMAS KOROZIJAI
IR KARŠČIUI ATSPARIŲ SUVIRINTŲJŲ SUJUNGIMŲ
MEDŽIAGOMS**

Magistro darbas

**Darbo vadovas
Doc.dr. R. Šniuolis**

ŠIAULIAI, 2006 m.

**ŠIAULIŲ UNIVERSITETAS
TECHNOLOGIJOS FAKULTETAS
MECHANIKOS INŽINERIJOS KATEDRA**

**TVIRTINU
Katedros vedėjas
lekt. Z. Ramonas
2006 06 02**

Laura Sabaliauskienė

**SUIRIMO KREIVIŲ PARAMETRŲ NUSTATYMAS KOROZIJAI
IR KARŠČIUI ATSPARIŲ SUVIRINTŲJŲ SUJUNGIMŲ
MEDŽIAGOMS**

Mechanikos magistro baigiamasis darbas

Recenzentas

dr. S.Rimovskis

2006 05

Vadovas

doc. R.Šniuolis

**Atliko
MM-4 gr. stud.**

L.Sabaliauskienė

2006 05

SUMMARY

Sabaliauskienė L. Determination of fatigue curves parameters for welded joint materials of stainless steel: Master thesis of mechanical engineer / research advisor associate professor dr. R. Šniuolis; Šiauliai University, Technological Faculty, Mechanical Engineering Department. – Šiauliai, 2006.- 60 p.

It is impossible to improve the quality of the machines, to increase their reliability and lifetime if the working conditions and the properties of the material are not analyzed. Real working conditions of the most constructions are close to loading with limited strain, because elastic and plastic deformation is met in the zones of crack and stress concentration, that are surrounded with elastically deformed material. Parameters of fracture (parameters of low cycle fatigue curves m , C) are determined at homogeneous stress state and symmetric or asymmetric low cycle straining. Low cycle loading in structures appear near stress concentrators, cracks in little volumes of material which is limited of elastic strained zones. The elastic plastic loading may be in the welded joints too.

Parameter $m = 0.5$, proposed by Coffin, is determined according the low cycle fatigue curves in coordinates $lg\delta - lgN_f$. The total strain ε is used instead of plastic strain δ in work [2]. The difference of values of parameter m in this case is explained due to determination of it in coordinates $lg\varepsilon - lgN_f$. For this reason the relationship between the parameters of low cycle straining fracture curves and mechanical characteristics of structural materials is investigated in this work.

Parameters of low cycle fatigue curves m_p , C_p according to Coffin and parameters m_e , C_e according to elastic strain for welded joint materials of stainless steel at low cycle straining and room temperature were determined. The statistical evaluation has shown that parameters of low cycle fatigue curves m_e , C_e , m_p , C_p and modified plasticity $(\sigma_u/\sigma_y)\psi$ are conformed according to normal distribution. Linear dependencies between the main mechanical characteristics σ_y , σ_u , ψ and parameters m , C at room temperature were given in this work. Analytic dependences of low cycle fatigue curve parameters on modified plasticity $(\sigma_u/\sigma_y)\psi$ were proposed, lifetime for welded joint materials of stainless steel at room temperature stabilized width of hysteresis loop δ and total cyclic strain ε were used, was calculated in this work. Computed results were compared with experimental.

SUMMARY	3
ĮVADAS.....	5
1. EKSPERIMENTINIS TYRIMAS ESANT MAŽACIKLIAM APKROVIMUI	7
1.1. Apkrovimo tipo ir būdo parinkimas	7
1.2. Bandymo įrengimai ir bandiniai.....	7
1.3. Tyrimo rezultatų apdorojimas	8
1.4. Tyrimams panaudotos medžiagos	8
2. ATSPARUMO MAŽACIKLIAM SUIRIMUI TYRIMO REZULTATAI.....	10
2.1. Pagrindinių mechaninių charakteristikų nustatymas.....	10
2.2. Ciklinių suirimo charakteristikų nustatymas.....	10
3. ATSPARUMO MAŽACIKLIAM SUIRIMUI TYRIMO REZULTATŲ STATISTINĖ ANALIZĖ.....	17
3.1. Ryšys tarp suirimo kreivių parametrų ir statinių charakteristikų.....	17
3.2. Išsibarsčiusių suirimo kreivės parametrų atmetimas.....	17
3.3. Preliminarus suirimo kreivės parametrų ir mechaninių charakteristikų tarpusavio priklausomybės nustatymas.....	19
3.4. Suirimo kreivės parametrų ir modifikuoto plastiškumo atsitiktinumo ir nepriklausomumo statistinis tikrinimas.....	20
3.5. Tyrimo rezultatų pasiskirstymo pagal normalųjį dėsnį hipotezių tikrinimas.....	22
3.6. Suirimo kreivės parametrų ir modifikuoto plastiškumo pasiskirstymo pagal normalųjį dėsnį tikrinimas.....	27
3.7. Suirimo parametrų ir modifikuoto plastiškumo tyrimo rezultatų koreliacinė analizė	30
3.8. Tyrimo rezultatų regresinė analizė.....	33
3.9. Suirimo kreivės parametrų ir modifikuoto plastiškumo tiesinė regresinė analizė	35
3.10. Netiesinės regresijos parinkimas ir jos adekvatumo tikrinimas.....	36
3.11. Eksperimentinės ir skaičiuotos deformacijos palyginimas.....	42
4. PROGNOZUOJAMO IR EKSPERIMENTINIO ILGAAMŽIŠKUMŲ PALYGINIMAS.....	44
IŠVADOS.....	46
LITERATŪRA.....	47
PRIEDAI.....	49

Darbo aktualumas. Šiuolaikinės mašinos dirba ekstremaliomis ciklinio apkrovimo sąlygomis. Dėl to deformacijos ir įtempimai konstrukciniuose elementuose bei jų suvirintuose sujungimuose eksploatacijos metu dažnai gerokai viršija proporcingumo ribą ir atsiranda tampriai plastinės deformacijos. Suvirintuosiuose sujungimuose dažnai pasitaiko įvairių technologinių defektų: šlako ir oro intarpų, nesuvirinamumo, terminių plyšių ir kt. Netinkamai parinkus suvirinimo siūlių medžiagas, esant mažacikliam apkrovimui, atsiranda mechaninis nevienalytiškumas ir šioje zonoje pradeda kauptis plastinės deformacijos. Be to, eksploatacijos metu dėl perkrovimų gali atsirasti nuovargio plyšių. Išvardinti konstrukciniai, technologiniai ir eksploataciniai faktoriai turi didelę reikšmę mašinų bei konstrukcinių elementų patvarumui ir gali net keletą kartų sumažinti jų ilgaamžiškumą esant mažacikliam apkrovimui.

Ilgaamžiškumas esant mažacikliam apkrovimui aprašomas L. F. Coffin lygtimi $\delta N^m = C$. Coffin pasiūlytas parametras $m = 0.5$ yra nustatytas pagal nuovargio kreives koordinatėse $lg\delta - lgN_f$ ir artimas eksperimentinėms. Darbe [2] pažymėta, kad daug patogiau vietoje plastinės deformacijos δ naudoti pilnutinę deformaciją ε . Gautas parametro m reikšmių skirtumas aiškinamas jo nustatymu skirtingose koordinatėse. Konstanta C gerokai skiriasi nuo eksperimentinės. Dėl šios priežasties buvo patikslinti suirimo kreivės parametrai m_p, C_p pagal Coffin ir nustatyti parametrai m_e, C_e pagal tampriąją deformaciją.

Kadangi medžiagų mažaciklio nuovargio parametrus nustatyti reikia atlikti sudėtingus ir brangius bandymus, šiame darbe pasiūlyta mažaciklio nuovargio kreivių parametrus korozijai ir karščiui atsparaus plieno suvirinimo siūlių medžiagoms kambario temperatūroje nustatyti pagal pagrindines mechanines charakteristikas.

Tyrimo tikslas. Pagal mechanines charakteristikas nustatyti korozijai ir karščiui atsparaus plieno suvirinimo siūlių medžiagų nuovargio kreivės parametrus kambario temperatūroje. Šie parametrai gali būti panaudoti preliminariai ilgaamžiškumui apskaičiuoti.

Darbo uždaviniai:

1. Patikslinti suirimo kreivės parametrus m_p, C_p pagal Coffin koordinatėse $lg\delta - lgN_f$ ir nustatyti suirimo kreivės parametrus m_e, C_e pagal tampriąją deformaciją koordinatėse $lg\varepsilon_e - lgN_f$ kambario temperatūroje.
2. Nustatyti ryšį tarp suirimo kreivės parametrų ir mechaninių charakteristikų korozijai ir karščiui atsparaus plieno suvirinimo siūlių medžiagoms kambario temperatūroje.
3. Pasiūlyti analitines priklausomybes korozijai ir karščiui atsparaus plieno suvirinimo siūlių medžiagų suirimo kreivių parametrus nustatyti pagal mechanines savybes.

Tyrimo metodai. Magistro darbo tyrimai atlikti remiantis eksperimentiniais, analitiniais ir statistiniais metodais. Šiame darbe apdoroti KTU mažaciklio nuovargio laboratorijoje 1971-1990 metais gauti atsparumo suirimui tyrimo rezultatai korozijai ir karščiui atsparaus plieno suvirinimo siūlių medžiagoms kambario temperatūroje [3-13].

Suirimo kreivių parametrams m_e , C_e , m_p , C_p nustatyti ir patikslinti buvo panaudotas „Microcal“ kompanijos programinis paketas „Origin 7.1“.

Magistro darbo naujumas. Apdorotos 36 energetikoje naudojamos korozijai ir karščiui atsparaus plieno suvirinimo siūlių medžiagos kambario temperatūroje ir pasiūlytos priklausomybės suirimo parametrams įvertinti pagal pagrindines mechanines charakteristikas.

Ginami magistro darbo teiginiai:

1. Suirimo kreivės parametrai apskaičiuojami pagal modifikuotą plastiškumą $(\sigma_u/\sigma_y)^{1/n}$.
2. Gautos išvados yra matematiškai patikimos, nes suirimo kreivės parametrai ir modifikuotas plastiškumas yra atsitiktiniai dydžiai, pasiskirstę pagal normalųjį dėsnį.
3. Suirimo kreivės parametru ir modifikuoto plastiškumo tarpusavio priklausomybė gali būti aprašoma tiesės lygtimi.
4. Pasiūlytos analitinės suirimo kreivės parametru priklausomybės nuo modifikuoto plastiškumo korozijai ir karščiui atsparaus plieno suvirinimo siūlių medžiagoms kambario temperatūroje naudotinos ilgaamžiškumui prognozuoti.

Praktinis pritaikymas. Magistro darbo rezultatai gali būti panaudoti energetikos ir kt. sunkiai apkrautų įrengimų ir konstrukcijų ilgaamžiškumui skaičiuoti.

Rezultatų publikavimas. Magistrinio darbo tema paskelbtas straipsnis:

Ostrauskaitė, L., Šniuolis, R., 2004, Methods of Statistical Verification of Low Cycle Fatigue Parameters and Mechanical Characteristics for Structural Materials. Šiaulių universitetas: Jaunųjų mokslininkų darbai. P. 74-77.

1. EKSPERIMENTINIS TYRIMAS ESANT MAŽACIKLIAM APKROVIMUI

1.1. Apkrovimo tipo ir būdo 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 (įtempimą), turėsime minkštą apkrovimą, apribojus deformacijas – standų. Mašinų detalėse dažniausiai sutinkamas standus apkrovimas (ypač įtempimų koncentracijos, plyšių zonose), nes plastinės deformacijos zonos yra ribojamos tampriai deformuojamos medžiagos. Todėl standus apkrovimas, esant mažacikliam deformavimui, yra artimiausias realioms konstrukcijų ir sujungimų darbo sąlygoms.

Esant cikliniam deformavimui, bandiniai dažniausiai apkraunami tempimu ir gniuždymu, sukimu bei lenkimu. Šie trys apkrovimo būdai naudojami atliekant mažaciklius bandymus. Tempimo gniuždymo metu deformacijos pasižymi vienalytiškumu visame bandinio darbiname skerspjūvyje. Be to, nustatant medžiagų mechanines charakteristikas, dauguma statinio ir ciklinio apkrovimo rezultatų gauta atliekant tempimą gniuždymą. Šis apkrovimo būdas žymiai palengvina eksperimentinių duomenų apdorojimą bei jų palyginimą su kitų darbų rezultatais ir dažniausiai sutinkamas atliekant mažaciklius bandymus. Darbe panaudoti tyrimo rezultatai gauti tempimu gniuždymu $N_f = 10^2 - 2 \cdot 10^4$ ciklų intervale.

Eksperimentai buvo atlikti esant simetriniam apkrovimo ciklui. Šis apkrovimo būdas yra universaliausias medžiagos savybėms apibūdinti, kadangi, esant tampriai plastiniam cikliniam deformavimui, beveik vienodai pasireiškia tempimo ir gniuždymo deformacijos. Be to, nesunku standaus simetrinio apkrovimo rezultatus pritaikyti asimetriniam apkrovimui.

1.2. Bandymo įrengimai ir bandiniai

Magistro darbe tyrimo rezultatai buvo gauti naudojant KTU suprojektuotas ir pagamintas 5 ir 10 tonų jėgas išvystančias mechanines mažaciklio deformavimo mašinas su elektroniniu mechaniniu deformavimo diagramos užrašymu. Bandymo įrenginio pagrindinės dalys: apkrovimo įrenginys, įrenginys jėgų ir deformacijų matavimui bei užrašymui, valdymo sistema. Detalus šių dalių aprašymas, taip pat jėgų ir deformacijų matavimas duotas [2] literatūroje.

Bandinių forma parinkta mažinant įtempimų koncentracijos koeficientą iki minimumo skersmenų pasikeitimo vietose ir siekiant neprarasti stabilumo esant didelėms gniuždymo deformacijoms. Bandinių deformuojamos dalies ilgis, atliekant tyrimus kambario temperatūroje, buvo parinktas 22-25 mm [2].

Siekiant sumažinti paviršių sukietinimą, paskutiniai praėjimai, tekinant bandinių cilindrinės darbinės dalis, buvo atlikti esant nedideliu pjovimo gyliui ir mažomis pastūmomis. Kadangi bandiniai suiro nuo nuovargio, suirimui išvengti būtinas didelis paviršių glotnumas,

ypač koncentracijos zonose. Galutinis bandinių jungiamų paviršių ir darbinės dalies paviršių tikslumas ir šurkštumas buvo pasiektas šlifavimu būdu.

1.3. Tyrimo rezultatų apdorojimas

Mažaciklio nuovargio kreivėms sudaryti ir suirimo parametrus nustatyti KTU mažaciklio nuovargio laboratorijoje buvo panaudota iki 15 bandinių. Eksperimentų metu buvo užrašytos standaus mažaciklinio deformavimo diagramos ir nustatytas ciklų skaičius iki plyšio susidarymo N_c bei bandinio suirimo N_f . Pagal ciklų skaičių iki plyšio susidarymo bei ciklų skaičių iki bandinio suirimo buvo sudarytos mažaciklio nuovargio kreivės santykinėse koordinatėse $lg \bar{\epsilon}_e - lg N_f$.

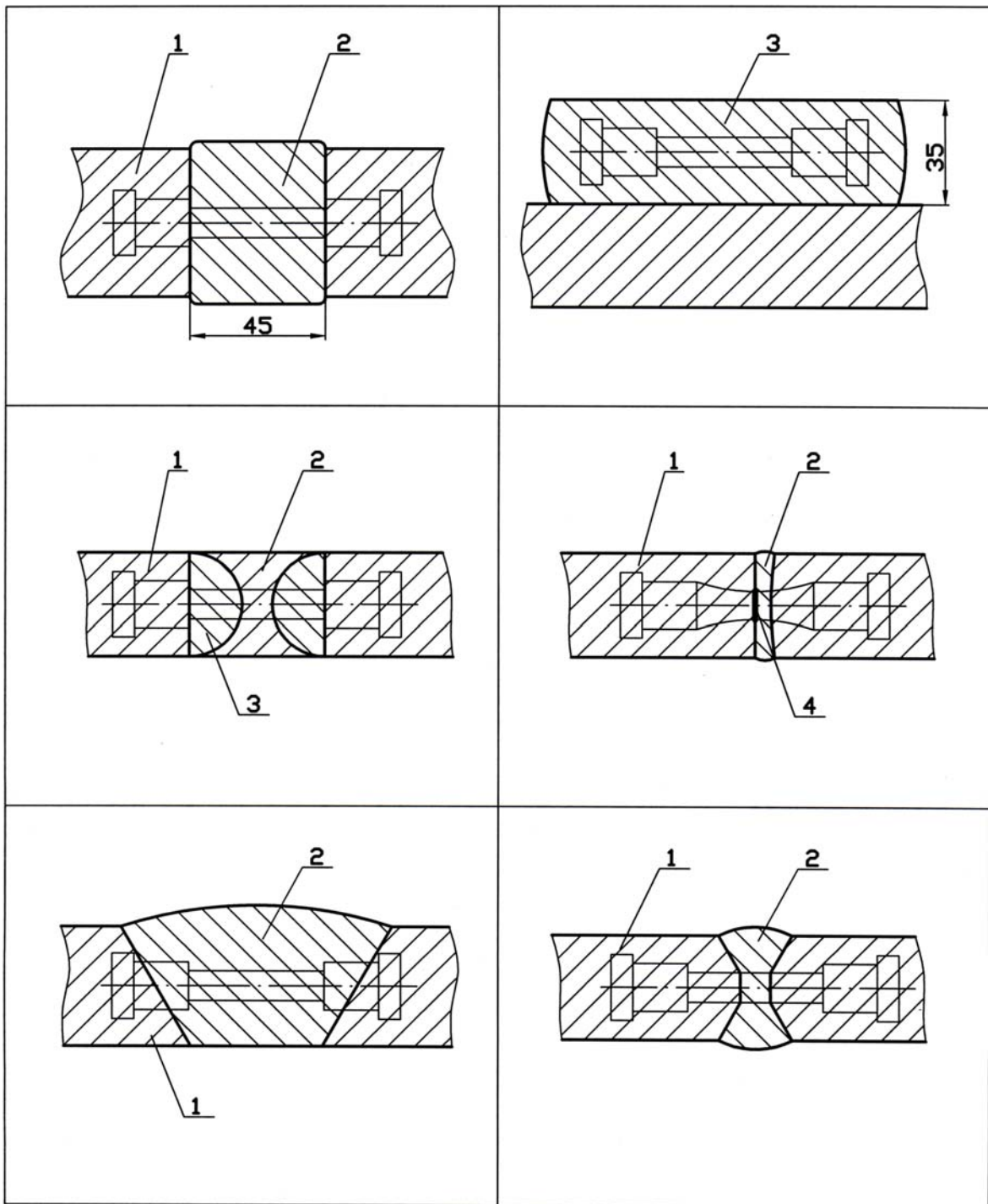
Mažaciklio deformavimo diagramos iki 10-ojo pusciklio buvo rašomos nenutrūkstamai, o toliau periodiškai, užrašo susiliejimui išvengti. Pradinės deformacijos $\bar{\epsilon}_0$ buvo parinktos taip, kad nuovargio kreivės taškai išsidėstytų ciklų skaičiaus $N_f = 10^2 - 2 \cdot 10^4$ ribose.

Išsamus eksperimento rezultatų apdorojimas duotas [2] literatūroje.

1.4. Tyrimams panaudotos medžiagos

2.2 lentelėje pateiktas korozijai ir karščiui atsparaus plieno suvirinimo siūlių medžiagų terminis apdirbimas, mechaninės charakteristikos ir nuovargio kreivės parametrai kambario temperatūroje. Tyrimo rezultatai, esant mažacikliam standžiam deformavimui, panaudoti ilgaamžiškumui prognozuoti.

Principinės suvirintųjų bandinių ruošinių išpjovimo schemos parodytos 1.1 paveiksle.



1.1 pav. Principinės suvirintųjų bandinių ruošinių išpjovimo schemas: 1 – pagrindinis metalas; 2 – siūlės metalas; 3 – aplydytas metalas; 4 – terminio poveikio zona

2. ATSPARUMO MAŽACIKLIAM SUIRIMUI TYRIMO REZULTATAI

Magistro darbe apdoroti 36 korozijai ir karščiui atsparaus plieno suvirinimui naudojamų siūlių ir terminio poveikio zonos metalai kambario temperatūroje. Nesant vienai iš pagrindinių medžiagos markių mechaninių charakteristikų arba dėl jų didelės rezultatų sklaidos, suirimo parametrai nenustatyti.

2.1. Pagrindinių mechaninių charakteristikų nustatymas

Pagrindinės mechaninės charakteristikos e_{pr} , σ_{pr} , σ_y , σ_u , S_k ir ψ buvo nustatytos tempimo bandymu kambario temperatūroje. Dėl nepakankamo kai kurių medžiagų bandinių skaičiaus mažaciklio nuovargio kreivėms sudaryti, tempimo bandymai nebuvo atlikti. Šiuo atveju charakteristikos e_{pr} , σ_{pr} , σ_y buvo nustatytos pagal nulinio pusciklio diagramas, panaudojus didelį bandinių skaičių. Santykinis skerspjūvio susitraukimas ψ ir tikrieji suirimo įtempimai S_k nustatyti apskaičiuavus kakliuko skerspjūvio plotą suirimo momentu.

2.2 lentelėje pateiktos mechaninės charakteristikos σ_u , S_k ir ψ kambario ir aukštesnėje temperatūroje yra trijų tempimo bandymų vidurkiai.

2.2. Ciklinių suirimo charakteristikų nustatymas

Standaus apkrovimo atveju dėl bandinio bendros deformacijos apribojimo, eksperimento sąlygomis cikliškai nestabilios (cikliškai stiprėjančios, silpnėjančios) ir cikliškai stabilios medžiagos suyra dėl nuovargio. Suirimo parametrais, esant cikliniam standžiam apkrovimui, suprantamas ilgaamžiškumas arba mažaciklio nuovargio kreivės, kurios sudaromos koordinatėse $lg \delta - lg N$ arba $lg \varepsilon - lg N$ pagal ciklų skaičių iki plyšio susidarymo N_c arba suirimo N_f .

Medžiagos ilgaamžiškumas, esant mažacikliam standžiam apkrovimui tampriai plastinėje srityje, apskaičiuojamas panaudojus L. F. Coffin lygtį [2]

$$\delta N^m = C, \quad (2.1)$$

čia δ – plastinės deformacijos amplitudė arba histerezės kilpos plotis; N – ciklų skaičius iki plyšio susidarymo arba suirimo; m ir C – konstantos pagal galutinį suirimą, kur L. Coffin pasiūlyta konstanta $m = 0,5$; konstantos C reikšmė nustatoma naudojant parametrą ψ :

$$C = \frac{1}{2} \ln \frac{1}{1-\psi}.$$

S. S. Manson [15], apdorojęs 29 cikliškai nestabilias medžiagas, pasiūlė priklausomybę tarp pilnutinės deformacijos (tamprioji + plastinė) ir ciklų skaičiaus iki suirimo

$$\varepsilon = \delta_k + \varepsilon_{ek} = \left(\ln \frac{1}{1-\psi} \right)^{0,6} N_f^{-0,6} + 3,5 \frac{\sigma_u}{E} N_f^{-0,12}. \quad (2.2)$$

B. F. Langer darbuose [16] siūloma analogiška priklausomybė

$$\varepsilon = \delta_k + \varepsilon_{ek} = \frac{1}{2} \ln \frac{1}{1-\psi} N_f^{-0,5} + \frac{2\sigma_{-1}}{E}, \quad (2.3)$$

(2.2) ir (2.3) lygybėse ε – ciklinė tampriai plastinė deformacija; ε_{ek} – ciklinė tamprioji deformacija; σ_{-1} – simetrinio ciklo patvarumo riba; E – tamprumo modulis; σ_u – stiprumo riba; m_e, C_e, m_p, C_p - suirimo kreivių parametrai įvertinus tampriąją ir plastinę deformaciją;

$C = \frac{1}{2} \ln \frac{1}{1-\psi}$ pagal L. Coffin ir B. Langer; $C = \left(\ln \frac{1}{1-\psi} \right)^{0,6}$ – pagal S. Manson.

Standaus apkrovimo atveju cikliškai stiprėjančių ir silpnėjančių medžiagų įtempimai bei tampriosios ir plastinės deformacijos bandymo metu kinta. Coffin lygtyje (2.1) reikia nustatyti ekvivalentinę plastinę deformaciją, naudojant išraišką $\frac{1}{k} \sum_0^k \delta_k$. Tai sunkina skaičiavimą. Daugelyje darbų (2.1) lygybėje siūloma imti stabilizuotą histerezės kilpos plotį esant pusei ilgaamžiškumo iki nuovargio plyšio susidarymo tame apkrovimo lygyje.

Kadangi plastinė deformacija, keičiantis ciklų skaičiui standaus apkrovimo procese, keičiasi, o pilnutinė deformacija ε (tamprioji ir plastinė) išlieka pastovi, daug patogiau vietoje δ naudoti ε . Tuomet daugumos medžiagų ilgaamžiškumas tampriai plastinėje srityje (kai $\varepsilon \geq 3e_{pr}$) patenkinamai aprašomas lygybe

$$\varepsilon N_f^{m_p} = C_p, \quad (2.4)$$

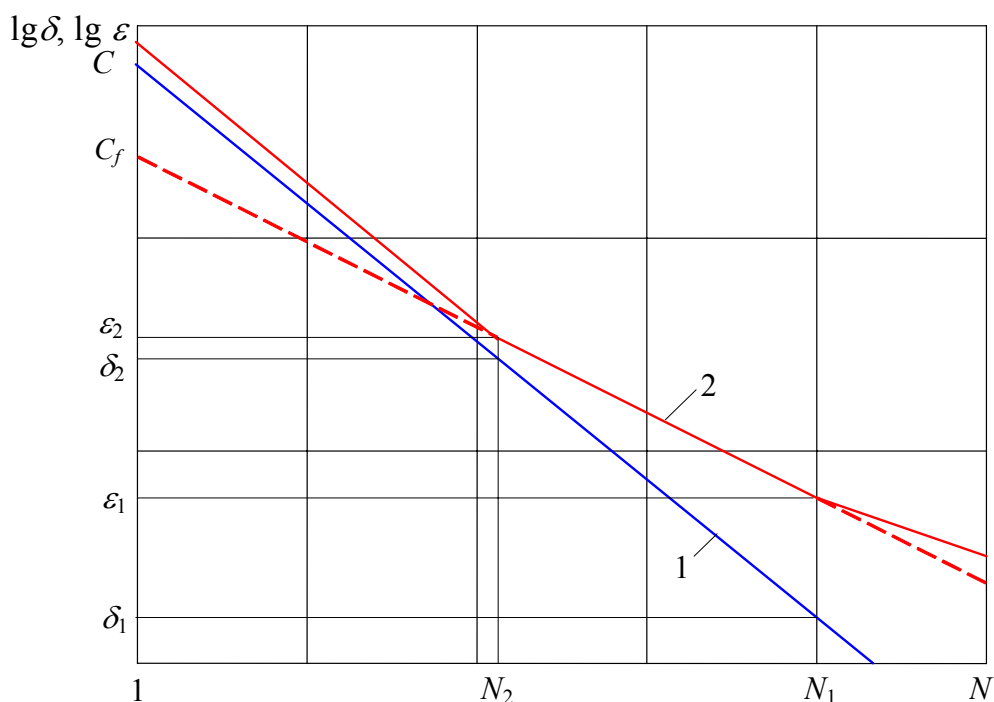
čia ε – stacionari pilnutinė ciklinė tampriai plastinė deformacija.

Magistro darbe mažaciklio nuovargio kreivei aprašyti panaudota lygtis [14]

$$\varepsilon = C_e N^{-m_e} + C_p N^{-m_p}. \quad (2.5)$$

Tarp (2.1) Coffin lygties parametru ir (2.4) lygties parametru yra skirtumas, t.y. $m > m_f$, $C > C_f$.

Jeigu (2.1) priklausomybė teisinga, tai nuovargio kreivę galima aproksimuoti (2.4) lygtimi tik tam tikrame ciklų skaičiaus intervale $N_2 < N < N_1$ (2.1 pav.). Daugumai medžiagų lygtis galioja iki ciklų skaičiaus N_1 , atitinkančio $\varepsilon_1 = (3 - 3,5)e_{pr}$. Žemutinei priklausomybei galiojimo riba priimtas ciklų skaičius, kuris atitinka $\varepsilon_2 = (3 - 4)\%$ [17]. Kai $N > N_1$, histerezės kilpos plotis sumažėja, o tamprioji deformacija padidėja, todėl staigiai pradeda didėti ilgaamžiškumas ir atsiranda atsilenkimas nuo tiesinės priklausomybės koordinatėse $\lg \varepsilon - \lg N$.

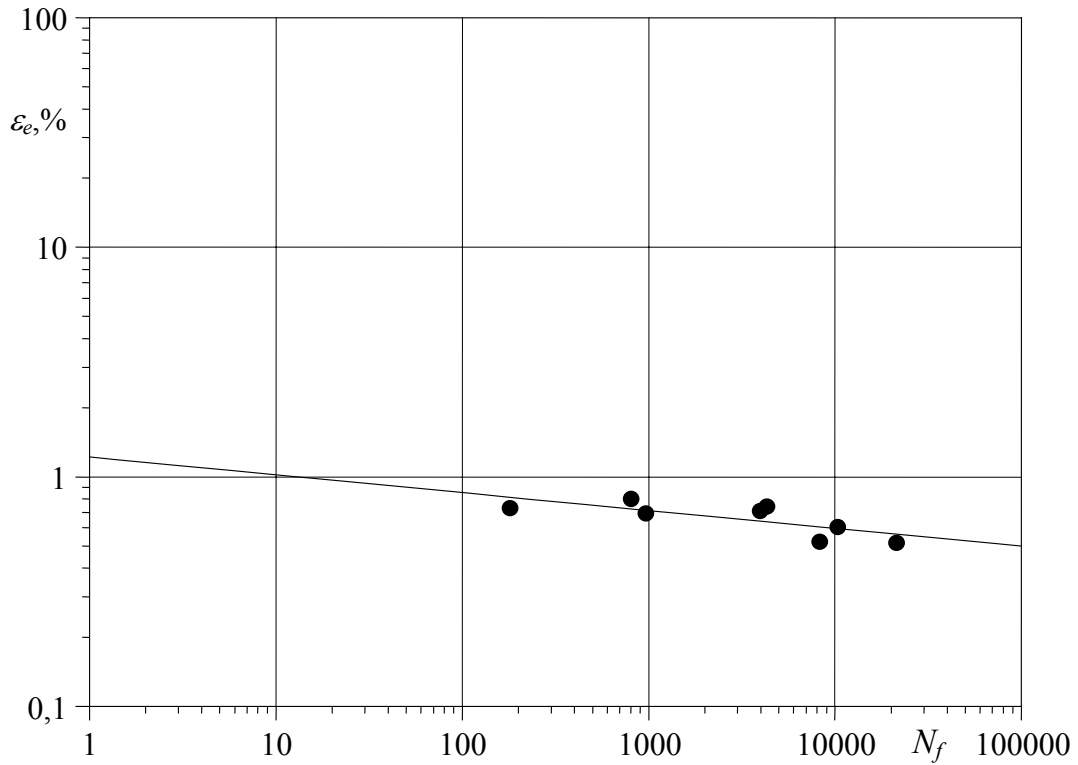


2.1 pav. Parametro C nustatymo schema: 1 – kreivė, kuri apskaičiuota pagal (2.1) lygybę; 2 – kreivė, kuri apskaičiuota pagal (2.4) lygybę

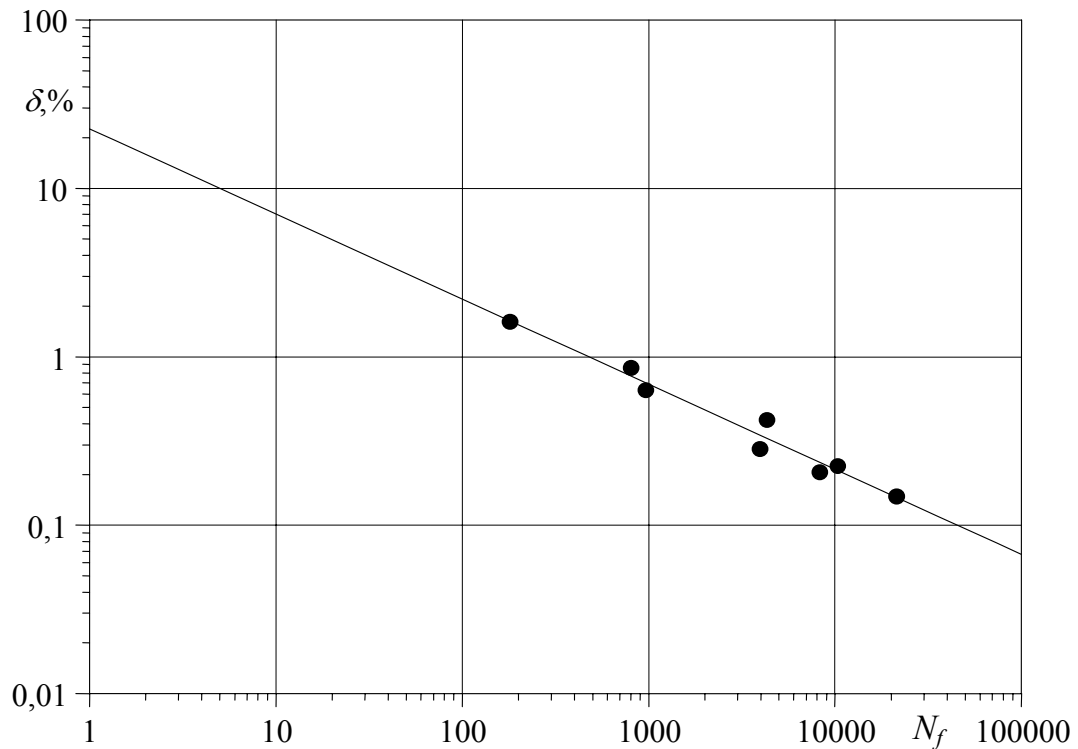
Coffin ir Manson darbuose parodyta, kad mažaciklio nuovargio kreivės, esant standžiam mažacikliam apkrovimui prie amplitudinių deformacijų du ir daugiau kartų viršijančių deformacijos proporcingumo ribą, logaritminėse koordinatėse $\lg \varepsilon - \lg N_c$ arba $\lg \delta - \lg N_f$ laikomos tiesėmis. Ši savybė leidžia sumažinti taškų skaičių šių tiesių sudarymui.

2.2-2.3 pav. parodyta mažaciklio nuovargio kreivės koordinatėse $\lg \varepsilon_e - \lg N_f$ ir $\lg \delta - \lg N_f$. Konstantų C_e ir C_p eksperimentinės reikšmės nustatomos tęsiant mažaciklio nuovargio kreives iki $N_f = 1$ ciklo.

Apdorotų korozijai ir karščiui atsparaus plieno suvirinimo siūlių medžiagų vidutinės suirimo kreivių parametrų m_p ir m_e reikšmės kambario temperatūroje yra pateiktos 2.1 lentelėje.



2.2 pav. Korozijai ir karščiui atsparaus plieno suvirinimo siūlių medžiagos ЭП787 tampriosios deformacijos priklausomybė nuo ciklų skaičiaus iki suirimo (mažaciklio nuovargio kreivė) esant standžiam apkrovimui



2.3 pav. Korozijai ir karščiui atsparaus plieno suvirinimo siūlių medžiagos ЭП1787 plastinės deformacijos priklausomybė nuo ciklų skaičiaus iki suirimo (mažaciklio nuovargio kreivė) esant standžiam apkrovimui

Palyginus 2.1 lentelėje duotų korozijai ir karščiui atsparaus plieno suvirinimo siūlių medžiagų parametro m_p reikšmę su teorine konstanta $m = 0,5$ pagal L. Coffin, matyti, kad jos vidutinė reikšmė yra didesnės už 0,5 ir kinta intervale nuo 0,23 iki 1,24. Matomai tai atsitiko dėl apytikrio kilpos pločio nustatymo cikliškai silpnėjančioms ir stiprėjančioms medžiagoms naudojant (2.1) lygybę.

2.1 lentelė

Korozijai ir karščiui atsparus plieno suvirinimo siūlių medžiagų vidutinės eksperimentinės konstantų m_e ir m_p reikšmės kambario temperatūroje

Parametras	m_e	m_p
Variavimo amplitudė	0,02 – 0,25	0,23 – 1,24
Vidutinė reikšmė	0,11	0,59

Darbe [5] parodyta, kad, esant standžiam simetriniam ir asimetriniam apkrovimams ($r_e = -1; -0,75; -0,5$), įtempimų ciklas deformavimo procese tampa artimas simetriniam (įtempimų asimetrijos koeficientas $r_\sigma = -1,05$) ir po tam tikro ciklų skaičiaus bandinio apkrovimo sąlygos, kintant įtempimams, suvienodėja nepriklausomai nuo deformacijos ciklo asimetrijos. Vadinasi, deformacijos ciklo asimetrija žymios įtakos ilgaamžiškumui neturi (standaus apkrovimo nuovargio kreivė mažai priklauso nuo ciklo asimetrijos) ir pagrindinis suirimo kriterijus, esant standžiam asimetrijos apkrovimui, yra deformacijos amplitudė e_a .

2.2 lentelėje pateikti suirimo kreivės parametrai m_e, C_e ir m_p, C_p korozijai ir karščiui atsparaus plieno suvirinimo siūlių medžiagoms pagal tampriąją ir plastinę deformacijas kambario temperatūroje.

Korozijai ir karščiui atsparaus plieno suvirinimo siūlių medžiagų terminis apdirbimas, pagrindinės mechaninės charakteristikos ir suirimo parametrai kambario temperatūroje

Eil. Nr.	Korozijai ir karščiui atsparaus plieno suvirinimo siūlių medžiagos	Terminis apdirbimas	Mechaninės charakteristikos					Suirimo kreivės parametrai			
			σ_u , MPa	σ_y , MPa	S_k , MPa	ψ , %	e_{pr} , %	m_e , %	C_e , %	m_p , %	C_p , %
1	ТСИИ	Atk	672	455	1198	67,6	0,340	-	-	-	-
2	У	-	481	297	750	45,0	0,288	-	-	-	-
3	МП	Atk	389	90	726	50,0	0,081	0,151	2,56	0,859	41,7
4	2ЛН	G-5Atl	495	303	587	21,0	0,172	0,110	0,96	0,493	21,1
5	2ЛМ	G-5Atl	628	349	672	18,5	0,247	0,042	0,72	0,356	8,58
6	Б	-	633	320	907	56,2	0,189	0,157	1,59	0,835	100,03
7	ЭП787	Atk	579	221	1059	56,0	0,166	0,078	1,22	0,505	22,53
8	ЛБ	G-Atl	559	348	855	44,1	0,203	0,086	0,96	0,318	5,94
9	ЛН	G-Atl	623	357	760	16,5	0,250	0,069	1,01	0,227	2,79
10	ЛМ	G-Atl	494	263	532	16,0	0,190	0,089	1,74	0,569	48,7
11	ЛУ	G-Atl	489	278	948	56,4	0,204	0,076	0,55	0,431	1,96
12	1-8	G-Atl	-	685	-	53,4	0,312	0,110	1,86	1,584	17751* ¹
13	1E	-	866	347	-	61,0	0,394	0,203	4,79	1,236	29654* ²
14	2E	S	699	320	-	-	0,287	0,061	1,15	0,328	-
15	9-16	G-Atl	-	725	-	60,3	0,330	0,197	3,41	1,604	40752* ¹
16	AY (11-21)	S	846	310	-	27,1	0,150	-	-	-	-
17	AY (1-10)	S	765	367	-	-	0,150	0,039	0,55	0,172	-
18	У (1-11)	-	582	405	-	36,0	0,169	-	-	-	-
19	НИ*	Atk	481	247	-	-	0,347	-	-	-	-
20	НФ	Atk	380	179	-	25,0	0,135	0,022	0,67	0,556	810,8* ²
21	71С	-	617	353	-	61,0	0,144	0,177	2,65	0,646	60,49
22	751С	-	617	311	-	61,0	0,144	0,040	0,52	0,498	11,54

Eil. Nr.	Korozijai ir karščiui atsparaus plieno suvirinimo siūlių medžiagos	Terminis apdirbimas	Mechaninės charakteristikos					Suirimo kreivės parametrai			
			σ_u , MPa	σ_y , MPa	S_k , MPa	ψ , %	e_{pr} , %	m_e , %	C_e , %	m_p , %	C_p , %
23	011	-	400	374	-	-	0,229	-	-	-	-
24	029	-	500	313	-	-	0,327	-	-	-	-
25	047	-	360	284	-	40,0	0,273	0,037	0,96	0,732	620,3* ²
26	186	G-Atl	500	315	-	40,0	0,291	0,095	1,68	0,456	41,15
27	2	-	730	435	-	64,4	0,205	0,067	0,83	0,361	3,25
28	222	G-Atl	380	330	-	-	0,255	-	-	-	-
29	III (1-8)	G-4Atl	315	175	-	63,5	0,094	-	-	-	-
30	76	-	650	265	-	50,0	0,162	0,144	1,93	0,569	79,49
31	ΠC	Atk-S	560	220	-	62,5	0,154	-	-	-	-
32	ΠO	Atk	585	223	-	66,5	0,154	-	-	-	-
33	C/C	-	550	279	-	30,0	0,179	0,136	1,91	0,660	4,74
34	ЦX	Atk	607	310	-	73,0	0,218	0,221	6,75	1,076	123
35	JIX	-	601	380	-	72,7	0,190	0,248	6,36	0,556	37,4
36	MX	Atk	607	396	-	73,0	0,217	0,047	0,57	0,408	3,98

* Aplydytas metalas; *Atk* - atkaitinimas; *G* - grūdinimas; *Atl* - aukštasis atleidimas; *S* – sendinimas.

*¹ Nepanaudoti, nes nėra σ_u .

*² Atmesti

3. ATSPARUMO MAŽACIKLIAM SUIRIMUI TYRIMO REZULTATŲ STATISTINĖ ANALIZĖ

3.1. Ryšys tarp suirimo parametrų ir statinių charakteristikų

Pastebėta, kad skaičiuojant konstrukcijas ir elementus tampriai plastinio deformavimo sąlygomis, ilgaamžiškumo parametrai susiję priklausomybėmis, kuriose naudojamos medžiagų mechaninės charakteristikos. Ieškant ryšio tarp suirimo kreivės parametrų m_e , C_e , m_p , C_p ir mechaninių charakteristikų σ_y , σ_u , ψ (nurodytos literatūroje) ir šių priklausomybių $y = f(x)$ duomenis aproksimuojančios kreivės (3.2 lentelė), buvo atlikta tyrimo rezultatų statistinė analizė.

Norint tinkamai atlikti tyrimo rezultatų analizę ir gauti matematiškai patikimas analitines priklausomybes tarp suirimo kreivės parametrų ir mechaninių charakteristikų, turi būti tenkinamos tam tikros sąlygos. Pirmoji sąlyga yra tyrimo rezultatų stochastinis (statistinis) nepriklausomumas. Antroji sąlyga yra tyrimo rezultatų pasiskirstymas pagal normalųjį dėsnį. Šių sąlygų tenkinimas leidžia taikyti matematinės statistikos metodus uždaviniams spręsti ir garantuoja koreliacinės regresinės analizės metodų teorinį pagrįstumą.

3.2. Išsibarsčiusių suirimo kreivės parametrų atmetimas

Prieš taikant konkretų statistinį metodą praktiniams uždaviniams spręsti, reikia patikrinti, ar tarp tyrimo rezultatų nėra išsibarsčiusių. Šiems duomenims atmesti buvo panaudotas N. Smirnov kriterijus [18]. Tyrimo rezultatų variacinė eilutė

$$x_1 \leq x_2 \leq \dots \leq x_i \leq \dots \leq x_n. \quad (3.1)$$

Esant nedideliam duomenų skaičiui ($n < 50$), apskaičiuojama vidutinė reikšmė ir vidutinis kvadratinis nuokrypis. Empirinis vidurkis

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}, \quad (3.2)$$

dispersijos įvertis

$$s^2 = \frac{1}{n-1} \left[\sum_{i=1}^n x_i^2 - \frac{1}{n} \left(\sum_{i=1}^n x_i \right)^2 \right], \quad (3.3)$$

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

Vidutinis kvadratinis nuokrypis

$$s = \sqrt{s^2}. \quad (3.4)$$

Apskaičiuojama statistika

$$u_1 = \frac{\bar{x} - x_1}{s}, \quad (3.5)$$

jei abejojama dėl pirmojo variacinės eilutės nario arba

$$u_n = \frac{x_n - \bar{x}}{s}, \quad (3.6)$$

jei abejojama dėl didžiausią reikšmę turinčio variacinės eilutės nario. Gauta reikšmė lyginama su kritine reikšme u_α [18], kai reikšmingumo lygmuo α ir duomenų skaičius n .

Kai teisingos nelygybės

$$u_1 \leq u_\alpha \quad \text{arba} \quad u_n \leq u_\alpha, \quad (3.7)$$

tai didžiausia reikšmė x_n (arba mažiausia x_1) priklauso tai pačiai duomenų grupei, t.y. pirma arba paskutinė tyrimo rezultatų reikšmė neskaitoma ryškiai išsibarsčiusia ir ji neatmetama. Tuo atveju, kai

$$u_1 > u_\alpha \quad \text{arba} \quad u_n > u_\alpha, \quad (3.8)$$

x_n arba x_1 nėra būdingi esamai duomenų grupei ir jie atmetami. Atmetus šiuos dydžius, anksčiau apskaičiuoti įverčiai \bar{x} ir s turi būti koreguojami, imant $n-1$.

Išsibarsčių suirimo kreivės parametrų atmetimas. Darbe parodytas korozijai ir karščiui atsparaus plieno suvirinimo siūlių medžiagų suirimo parametro C_p kambario temperatūroje atmetimas ir hipotezės – didžiausia reikšmė y_n (arba mažiausia y_1) priklauso tai pačiai duomenų grupei ir neatmetama – tikrinimas. Duomenys skaičiavimui duoti 2.2 lentelėje.

Sudarytai variacinei eilutei (3.1) buvo nustatyta didžiausia reikšmė $y_n = 29654,52$, kuri atitiko medžiagą Nr.13, duotą 2.2 lentelėje. Vidutinė reikšmė \bar{y} apskaičiuota remiantis (3.2) lygybe. Dispersija ir vidutinis kvadratinis nuokrypis s apskaičiuoti remiantis (3.3) ir (3.4) lygybėmis. Pagal (3.6) lygybę apskaičiuota statistika u buvo lyginama su kritine reikšme u_α . Jei tenkinama (3.7) nelygybė, parametro C_p reikšmė nebuvo skaitoma išsibarsčiusia ir neatmesta. Skaičiavimo rezultatai pateikti 3.1 lentelėje. Korozijai ir karščiui atsparaus plieno suvirinimo siūlių medžiagų markių skaičius ir skaičius n po išsibarsčių bei mažai tikėtinų reikšmių atmetimo kambario temperatūroje duoti 3.2 lentelėje.

Mažai tikėtinos reikšmės buvo atmetos pagal grafinį vaizdą, tikslu sumažinti dispersiją, gauti tikslesnę vidutinę reikšmę [19], taip pat siekiant koreliacinio ryšio tarp turimų duomenų,

nors ir buvo teisingos (3.7) nelygybės.

3.1 lentelė

Korozijai ir karščiui atsparaus plieno suvirinimo siūlių medžiagų išsibarsčiusių suirimo parametrų C_p kambario temperatūroje atmetimo sąlygos $u_i > u_{\alpha}$ tikrinimas

Išsiskiriantys parametrai	y_i	$\sum_{i=1}^n y_i$	$\sum_{i=1}^n y_i^2$	\bar{y}	n	s^2	s	u_i	$u_{0,05}$	Parametro atmetimas
13	29655	31704	8,80478e8	1510	21	1982464	1408	19,99	2,75	Atmestas
20	811	2049	1,08576e6	102,5	20	46225	215	3,29	2,73	Atmestas
25	620	1238	428380	65,2	19	19321	139	3,99	2,71	Atmestas
34	123	618	43570,74	34,4	18	1310,44	36,2	2,45	2,69	Neatmestas

3.3. Preliminarus suirimo kreivės parametrų ir mechaninių charakteristikų tarpusavio priklausomybės nustatymas

Pagal suirimo kreivės parametrų m_e , C_e , m_p , C_p ir mechaninių charakteristikų ψ , σ_u / σ_y , $(\sigma_u / \sigma_y)\psi$, σ_y / σ_u , $(\sigma_y / \sigma_u)\psi$ tarpusavio priklausomybę ir grafinį vaizdą (atmetus išsibarsčiusias reikšmes) manyta, kad suirimo kreivės parametrų regresija mechaninių charakteristikų atžvilgiu gali būti tiesinė, o šių parametrų priklausomybės nuo modifikuoto plastiškumo $(\sigma_u / \sigma_y)\psi$ duoda mažiausią sklaidą ir geriausiai nusako tiesinio ryšio stiprumą (3.2 lentelė).

3.2 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 suirimo parametrų priklausomybei nuo mechaninių charakteristikų korozijai ir karščiui atsparaus plieno suvirinimo siūlių medžiagoms kambario temperatūroje

Suirimo parametrai	Mechaninės charakteristikos					Medžiagos numeris	
	ψ	σ_u / σ_y	$(\sigma_u / \sigma_y)\psi$	σ_y / σ_u	$(\sigma_y / \sigma_u)\psi$	Nėra duomenų	Atmesti duomenys
m_e	23 $\frac{0,47}{0,06}$	23 $\frac{0,21}{0,06}$	21 $\frac{0,47}{0,06}$	23 $\frac{-0,21}{0,06}$	21 $\frac{0,27}{0,06}$	ψ (14*; 17*; 19*; 23*; 24*; 28*) σ_u (12; 15) m_e, C_e, m_p (1; 2; 16; 18; 19*; 23*; 24*; 28*; 29; 31; 32) C_p (1; 2; 14*; 16; 17*; 18; 19*; 23*; 24*; 28*; 29; 31; 32)	-
C_e	23 $\frac{0,48}{1,59}$	23 $\frac{0,13}{1,79}$	21 $\frac{0,44}{1,68}$	23 $\frac{-0,14}{1,79}$	21 $\frac{0,33}{1,77}$		-
m_p	23 $\frac{0,34}{0,36}$	23 $\frac{0,36}{0,25}$	21 $\frac{0,55}{0,21}$	23 $\frac{-0,32}{0,25}$	21 $\frac{0,08}{0,25}$		-
C_p	25 $\frac{0,12}{11,52}$	18 $\frac{0,19}{36,71}$	18 $\frac{0,35}{34,97}$	18 $\frac{-0,28}{35,84}$	18 $\frac{0,12}{37,08}$		3 (13; 20; 25)
Skliausteliuose duotas medžiagos numeris atitinka 2.2 lentelėje pateiktą medžiagos markę. *Pasikartojančios reikšmės							

3.4. Suirimo kreivės parametrų ir modifikuoto plastiškumo atsitiktinumo ir nepriklausomumo statistinis tikrinimas

Korozijai ir karščiui atsparaus plieno suvirinimo siūlių medžiagų suirimo kreivės parametrai ir mechaninės charakteristikos yra atsitiktiniai dydžiai, kadangi, eksperimentiškai nustatant medžiagų parametrus, neišvengiamos atsitiktinės paklaidos. Todėl eksperimentų rezultatai yra atsitiktinio pobūdžio ir jų analizė atliekama statistiniais metodais. Koreliacinės ir regresinės analizės metodai yra taikomi nepriklausomiems bandymų rezultatams, todėl, prieš statistinį tyrimo rezultatų apdorojimą patikriname, ar gauti rezultatai yra nepriklausomi. Šiam uždaviniui spręsti buvo taikyti kriterijai:

Serių kriterijus, naudojant imties medianą [20].

Surašius imties x_1, x_2, \dots, x_n elementus didėjimo tvarka, gaunama variacinė eilutė pagal (3.1) lygybę. Medianos reikšmė, esant nelyginiam tyrimo rezultatų skaičiui $n = 2m - 1$, yra lygi viduriniam variacinės eilutės nariui

$$x_{0,5} = x_m. \quad (3.9)$$

Kai $n = 2m$ yra lyginis, mediana

$$x_{0,5} = \frac{x_m + x_{m+1}}{2}. \quad (3.10)$$

Pradžioje turėtai imčiai x_1, x_2, \dots, x_n buvo sudaryta ženklų eilutė: vietoj x_i rašytas ženklas "+", jei $x_i > x_{0,5}$, ir ženklas "-", jei $x_i < x_{0,5}$. Imties nariai, lygūs medianos reikšmei, buvo praleisti. Gauta pliusų ir minusų eilutė.

Vienas paskui kitą einanti vienodų ženklų seka vadinama serija. Atskiru atveju serija gali sudaryti vienas pliusas arba vienas minusas. Pliusų ir minusų eilutę charakterizuoja bendras serių skaičius γ_n ir pačios ilgiausios serijos elementų skaičius τ_n . Jei tyrimo rezultatai yra statistiškai nepriklausomi, tai pliusų bei minusų kaita bus atsitiktinė. Todėl serių eilutėje neturi būti labai ilgų serių ir serių skaičius γ_n neturi būti labai mažas.

Pasirinkus reikšmingumo lygmenį α , turi būti tenkinamos nelygybės

$$\left. \begin{aligned} \gamma_n &> \left[\frac{1}{2} (n+1 - z_\alpha \sqrt{n-1}) \right]; \\ \tau_n &< [3,3(\lg n + 1)] \end{aligned} \right\} \quad (3.11)$$

čia z_α – normaliojo pasiskirstymo kvantilis [18]. Nelygybėje (3.11) laužtiniai skliaustai reiškia, kad imama sveikoji skaičiaus, esančio skliaustuose, dalis.

Jei bent viena iš (3.11) nelygybių netenkinama, tai hipotezė apie tyrimo rezultatų nepriklausomumą atmetama.

Kylančių ir krintančių serijų kriterijus [20]. 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

$$\left. \begin{array}{l} \gamma_n > \left[\frac{1}{3}(2n-1) - z_\alpha \sqrt{\frac{16n-29}{30}} \right]; \\ \tau_n < \tau_k, \end{array} \right\} \quad (3.12)$$

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

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

Šiame skirsnyje parodytas korozijai ir karščiui atsparaus plieno suvirinimo siūlių medžiagų suirimo kreivės parametro m_p ir C_p kambario temperatūroje atsitiktinumo ir nepriklausomumo statistinis tikrinimas, naudojant medianą bei kylančių ir krintančių serijų kriterijų. Duomenys skaičiavimui duoti 2.2 lentelėje. Skaičiavimo rezultatai pateikti 3.3 lentelėje.

Korozijai ir karščiui atsparaus plieno suvirinimo siūlių medžiagų suirimo parametrų m_e , C_e , m_p , C_p ir modifikuoto plastiškumo (σ_u/σ_y) kambario temperatūroje statistinis tikrinimas, naudojant serijų kriterijus, patvirtino, kad suirimo parametrai ir modifikuotas plastiškumas yra atsitiktiniai ir nepriklausomi dydžiai.

3.3 lentelė

Korozijai ir karščiui atsparaus plieno suvirinimo siūlių medžiagų suirimo kreivės parametrų m_p ir C_p kambario temperatūroje atsitiktinumo ir nepriklausomumo statistinis tikrinimas, naudojant medianą bei kylančių ir krintančių serijų kriterijų

Serijų kriterijus, naudojant medianą					
i	m_p	$x_i - x_{0.5}$	i	m_p	$x_i - x_{0.5}$
1	0,86	+	12	0,65	+
2	0,49	-	13	0,50	-
3	0,36	-	14	0,73	+
4	0,84	+	15	0,56	0
5	0,51	-	16	0,36	-
6	0,32	-	17	0,66	+
7	0,23	-	18	0,66	+
8	0,57	+	19	1,08	+
9	0,43	-	20	0,56	0
10	1,24	+	21	0,41	-
11	0,56	0			
$x_{0.5} = 0,56$; $\gamma = 13 > \lfloor 1/2(21+1-1,64\sqrt{21-1}) \rfloor = 7$; $\tau = 3 < \lfloor 3,3(\lg 21+1) \rfloor = 8$					
Kylančių ir krintančių serijų kriterijus					
i	C_p	$x_{i+1} - x_i$	i	C_p	$x_{i+1} - x_i$
1	41,7	-	11	11,5	+
2	21,1	-	12	41,2	-
3	8,6	+	13	3,3	+
4	100,0	-	14	79,5	-
5	22,5	-	15	4,7	+
6	5,9	-	16	123	-
7	2,8	+	17	37,4	-
8	48,7	-	18	3,98	
9	1,96	+			
10	60,5	+			
$\gamma = 11 > \lfloor 1/3(2 \cdot 21 - 1) - 1,64\sqrt{(16 \cdot 21 - 29)/30} \rfloor = 8$; $\tau = 3 < \tau_k = 5$					

3.5. Tyrimo rezultatų pasiskirstymo pagal normalųjį dėsnį hipotezių tikrinimas

Yra nemažai kriterijų, kuriais analitiniu būdu galima atlikti tyrimo rezultatų pasiskirstymo pagal normalųjį dėsnį hipotezių tikrinimą. Kadangi korozijai ir karščiui atsparaus

plieno suvirinimo siūlių medžiagų skaičius $n < 120$, tai [18-22] siūlomi tokie kriterijai normalumo hipotezėms tikrinti:

Vidutinis absoliutinis nuokrypis (VAN) [19]. Esant nedideliam rezultatų skaičiui n , kaip sklaidos matą nuo vidutinės reikšmės rekomenduojamas vidutinis absoliutinis nuokrypis, kuris sumažina ekstremalių reikšmių įtaką. VAN apskaičiuojamas pagal lygybę

$$VAN = \frac{\sum |x_i - \bar{x}|}{n}. \quad (3.13)$$

Kai tyrimo rezultatai artimi normaliajam dėsnui, turi būti tenkinama nelygybė

$$\left| \frac{VAN}{s} - 0,7979 \right| < \frac{0,4}{\sqrt{n}}, \quad (3.14)$$

čia s – empirinis vidutinis kvadratinis nuokrypis, apskaičiuojamas pagal (3.4) lygybę, kai empirinė dispersija

$$s^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2. \quad (3.15)$$

Apytikris normalumo kriterijus [18]. Hipotezei apie normalųjį skirstinį tikrinti gali būti naudojami asimetrijos ir eksceso rodikliai. Tam tikslui apskaičiuojami pradiniai pasiskirstymo momentai

$$\left. \begin{aligned} h_1 = \bar{x} &= \frac{1}{n} \sum_{j=1}^e x_j n_j; & h_3 &= \frac{1}{n} \sum_{j=1}^e x_j^3 n_j; \\ h_2 &= \frac{1}{n} \sum_{j=1}^e x_j^2 n_j; & h_4 &= \frac{1}{n} \sum_{j=1}^e x_j^4 n_j. \end{aligned} \right\}, \quad (3.16)$$

centriniai momentai

$$\left. \begin{aligned} m_3 &= h_3 - 3h_2 h_1 + 2h_1^3; \\ m_4 &= h_4 - 4h_3 h_1 + 6h_2 h_1^2 - 3h_1^4. \end{aligned} \right\}, \quad (3.17)$$

asimetrijos ir eksceso rodikliai

$$\hat{S}_k = \frac{m_3}{s^3}; \quad (3.18)$$

$$\hat{E}_k = \frac{m_4}{s^4} - 3 \quad (3.19)$$

ir jų vidutiniai kvadratiniai nuokrypiai

$$\sigma_{S_k} = \sqrt{\frac{3(n-1)}{(n+1)(n+3)}}; \quad (3.20)$$

$$\sigma_{E_k} = \sqrt{\frac{24(n-2)(n-3)n}{(n-1)^2(n+3)(n+5)}}. \quad (3.21)$$

Jei absoliutinės statistikų \widehat{S}_k ir \widehat{E}_k reikšmės lygios arba mažesnės už savo vidutinius kvadratinius nuokrypius σ_{S_k} ir σ_{E_k} , tai hipotezė apie duomenų normalųjį pasiskirstymą neatmetama. Jei absoliučios duotų statistikų reikšmės žymiai didesnės už savo vidutinius kvadratinius nuokrypius, tai hipotezė apie normalųjį pasiskirstymą atmetama.

David kriterijus, naudojant varijavimo amplitudę R . Greitą tyrimo rezultatų pasiskirstymo pagal normalųjį dėsnį hipotezės tikrinimą, kai $3 < n < 1000$, galima atlikti pagal [21] pateiktą metodą, naudojant varijavimo amplitudę R .

Šiuo atveju apskaičiuotą santykį R/s lyginame su [21] 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 svarbu, kai reikšmingumo lygmuo $\alpha = 0,1$, t.y. 10% (gretutinės) ribos [21].

Shapiro ir Wilk suderinamumo kriterijus W [18]. Šis kriterijus taikomas hipotezei, kad tyrimo rezultatai pasiskirstę pagal normalųjį arba logaritminį normalųjį dėsnį, tikrinti ir yra efektyvus (su didesne tikimybe atmeta neteisingą hipotezę) tikrinant normalumą, kai duomenų skaičius nedidelis ($n \leq 50$). Atliekant skaičiavimą pagal šį kriterijų, tyrimo rezultatai išdėstomi variacine eilute remiantis (3.1) lygybe.

Norint apskaičiuoti kriterijų

$$W = \frac{b^2}{S^2}, \quad (3.22)$$

nustatomi dydžiai

$$S^2 = \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 = \sum_{i=1}^n x_i^2 - \frac{\left(\sum_{i=1}^n x_i\right)^2}{n}; \quad (3.23)$$

$$b = \sum_{i=1}^k a_{n-i+1} (x_{n-i+1} - x_i). \quad (3.24)$$

Reikšmė a_{n-i+1} ($i = 1, 2, 3, \dots, k$) parenkama iš lentelių [18]. Be to, jeigu n – lyginis skaičius, tai $k = n/2$, jeigu n nelyginis skaičius, $k = (n-1)/2$.

Jei teisinga nelygybė

$$W \geq W_\alpha, \quad (3.25)$$

tai hipotezė apie duomenų normalųjį pasiskirstymą neatmetama. Čia W_α – kritinė Shapiro ir Wilk kriterijaus reikšmė [19], esant pasirinktam reikšmingumo lygmeniui α .

Pearson (χ^2) suderinamumo kriterijus. Teorinio dėsnio atitikimą eksperimentiniam hipotezės tikrinimas pagal χ^2 suderinamumo kriterijų numato normaliojo dėsnio savybių panaudojimą [19]. Standartinio normaliojo pasiskirstymo kreivė

$$\varphi(z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-z^2/2} \approx 0,4e^{-z^2/2}, \quad (3.26)$$

$z=(x-a)/\sigma$ – 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, variavimo amplitudė sudalinama į intervalus e ir nustatomas stebėjimų dažnis.

Kriterijus χ^2 apskaičiuojamas pagal lygybę

$$\chi^2 = \sum (n_j - n_{pj})^2 / n_{pj}, \quad (3.27)$$

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 (3.27) lygybę, lyginant su kritine reikšme χ_α^2 [18], kai reikšmingumo lygmuo α ir laisvės laipsnių skaičius $k=e_1 - m - 1$. Čia e_1 – intervalų skaičius po jų sujungimo; m – įvertinamų parametru skaičius ($m = 2$, kai įvertinami du parametrai: \bar{x} ; s). Jei teisinga nelygybė

$$\chi^2 \leq \chi_\alpha^2, \quad (3.28)$$

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.). Kriterijaus χ^2 trūkumas – pradinės informacijos praradimas dėl būtinumo grupuoti duomenis į intervalus ir juos sujungti, kai $n_j < 5$. Todėl rekomenduojama

normalumo tikrinimą pagal χ^2 kriterijų papildyti kitais kriterijais. Tai būtina atlikti esant duomenų skaičiui $n \leq 100$ [18, 19].

χ^2 kriterijus, naudojant asimetrijos ir eksceso rodiklius [18], leidžia objektyviau, nei apytikris normalumo kriterijus, nagrinėti empirinio pasiskirstymo dėsnį kaip normalųjį pasiskirstymą. Šiuo atveju abu rodikliai sujungiami į vieną statistiką

$$\chi^2 = \frac{\widehat{S}_k^2}{\sigma_{S_k}^2} + \frac{\widehat{E}_k^2}{\sigma_{E_k}^2}, \quad (3.29)$$

kuri lyginama su kritine reikšme [18], pasirinkus reikšmingumo lygmenį α ir esant laisvės laipsnių skaičiui $k = 2$.

Jei teisinga (3.28) nelygybė, tai hipotezė apie duomenų pasiskirstymą pagal normalųjį dėsnį neatmetama.

Kolmogorov ir Smirnov suderinamumo kriterijus [19]. Pasirinkus teorinę pasiskirstymo funkcijos išraišką, tikrinamas jos tinkamumas eksperimentiniams rezultatams aprašyti. Šis kriterijus gerai nustato nukrypimus nuo normaliojo pasiskirstymo dėsnio, esant nedideliame duomenų skaičiui, ir yra galingesnis už χ^2 kriterijų. Remiantis Kolmogorov ir Smirnov kriterijumi, nesutapimas tarp teorinio ir eksperimentinio dėsnių D siūlomas skaičiuoti taip:

$$D = \frac{\max |F_{n_j} - F_{n_{pj}}|}{n}, \quad (3.30)$$

čia F_{n_j} – sukauptas stebėjimų dažnumas; $F_{n_{pj}}$ – sukauptas laukiamas dažnumas.

Jei teisinga nelygybė

$$D \leq D_\alpha, \quad (3.31)$$

tai hipotezė apie duomenų pasiskirstymą pagal normalųjį dėsnį neatmetama.

Tikslios Kolmogorov ir Smirnov kriterijaus ribos, kai $n > 30$, nustatomos pagal H. W. Lilliefors pasiūlytas priklausomybes: $0,805/\sqrt{n}$ ($\alpha = 0,10$) ir $0,886/\sqrt{n}$ ($\alpha = 0,05$) arba pagal [19] pateiktą metodiką.

Naudojantis šiuo kriterijumi, būtina žinoti teorinio dėsnio analitinę išraišką ir dėsnį charakterizuojančius parametrus. Jeigu dėsnio parametrus surandame iš tyrimo rezultatų, mažėja priimto sprendimo patikimumas. Tai Kolmogorov ir Smirnov kriterijaus trūkumas [18].

Suderinamumo kriterijus ω^2 [18]. Jis yra galingesnis už χ^2 kriterijų ir naudojamas esant duomenų skaičiui $50 \leq n \leq 200$. Kriterijaus pritaikymo trūkumas – sudėtingas ir ilgas skaičiavimas. Skiriamos dvi statistikos:

Smirnov suderinamumo kriterijus. Tyrimo rezultatų pasiskirstymo pagal normalųjį arba logaritminį normalųjį dėsnį hipotezės tikrinimui, kai dėsnį charakterizuojantys parametrai įvertinami pagal stebėjimų duomenis, naudojama Smirnov statistika, kuri apskaičiuojama pagal lygybę

$$\omega^2 = \frac{1}{12n} + \sum_{i=1}^n \left[W(x_i) - \Phi(\bar{z}_i) \right]^2. \quad (3.32)$$

Tyrimo rezultatų atitikimo normaliojo arba logaritminio normaliojo pasiskirstymo dėsniai sąlyga išreiškiama nelygybe

$$\omega^2 \left(1 + \frac{1}{2n} \right) \leq W_\alpha^2, \quad (3.33)$$

čia $\Phi(\bar{z}_i)$ – Laplaso funkcijos reikšmė, kai $\bar{z}_i = (x_i - \bar{x})/s$; W_α^2 – kritinė Smirnov kriterijaus reikšmė, $W_{0,1}^2 = 0,104$; $W_{0,05}^2 = 0,126$; $W_{0,01}^2 = 0,178$.

T. W. Anderson ir D. A. Darling suderinamumo kriterijus, esant toms pačioms sąlygoms, apskaičiuojamas pagal lygybę

$$\omega^2 = -n - 2 \sum_{i=1}^n \{ W(x_i) \ln \Phi(\bar{z}_i) + [1 - W(x_i)] \ln [1 - \Phi(\bar{z}_i)] \}; \quad (3.34)$$

$$\left(\omega^2 - \frac{0,7}{n} \right) \left(1 + \frac{3,6}{n} - \frac{8}{n^2} \right) \leq A_\alpha, \quad (3.35)$$

čia $A_{0,1} = 0,656$; $A_{0,05} = 0,787$; $A_{0,01} = 1,092$.

3.6. Suirimo kreivės parametrų ir modifikuoto plastiškumo pasiskirstymo pagal normalųjį dėsnį tikrinimas

Magistro darbe nagrinėta suirimo kreivės parametrų m_e , C_e , m_p , C_p priklausomybė nuo modifikuoto plastiškumo $(\sigma_u / \sigma_y)_{\mu}$. Žemiau pateikta skaičiavimo metodika tinka, kai šie atsitiktiniai dydžiai yra pasiskirstę pagal normalųjį dėsnį. Regresinės analizės atveju šis reikalavimas reiškia, kad kiekvienai fiksuotai argumento x reikšmei kintamasis Y būtų pasiskirstęs pagal normalųjį dėsnį.

Normalumo tikrinimas pagal varijavimo amplitudę R yra greitas. Nuodugnus duomenų pasiskirstymo pagal normalųjį dėsnį tikrinimas atliekamas pagal χ^2 kriterijų [21]. Magistro darbe, be tikrinimo pagal varijavimo amplitudę R , atliktas suirimo kreivės parametrų ir modifikuoto plastiškumo normalumo tikrinimas panaudojus vidutinį absoliutinį nuokrypį bei Kolmogorov ir Smirnov kriterijų (2 priedas).

Tyrimo rezultatų pasiskirstymo pagal normalųjį dėsnį hipotezės buvo tikrinamos panaudojus (3.14) ir (3.31) nelygybes. Kritinės reikšmės nustatytos iš lentelių [18], pasirinkus $\alpha = 0,05$, o normalumas buvo patikrintas pagal santykį R/s , kai reikšmingumo lygmuo $\alpha = 0,1$. „+“ ženklas reiškia, kad duomenys yra pasiskirstę pagal normalųjį dėsnį, „-“ ženklas reiškia, kad normaliojo pasiskirstymo nėra.

Vidutinio absoliutinio nuokrypio (VAN) panaudojimas normalumui tikrinti. Čia atliktas korozijai ir karščiui atsparaus plieno suvirinimo siūlių medžiagų modifikuoto plastiškumo (σ_u / σ_y) kambario temperatūroje pasiskirstymo pagal normalųjį dėsnį tikrinimas. Pradiniai duomenys duoti ir skaičiavimai atlikti 3.4 lentelėje.

Pagal 3.4 lentelės duomenis ir (3.13) lygybę

$$VAN = \frac{847,7}{21} = 40,4.$$

Pagal (3.15) lygybę apskaičiuotas dispersijos įvertis

$$s^2 = \frac{48253,8}{21-1} = 2412,7.$$

Pagal (3.4) lygybę apskaičiuotas vidutinis kvadratinis nuokrypis

$$s = \sqrt{2412,7} = 49,1.$$

Įstačius šias reikšmes į (3.14) nelygybę gauname

$$\left| \frac{40,4}{49,1} - 0,7979 \right| < \frac{0,4}{\sqrt{21}}, \text{ arba } 0,025 < 0,087.$$

Galima teigti, kad korozijai ir karščiui atsparaus plieno suvirinimo siūlių medžiagų modifikuotas plastiškumas (σ_u / σ_y) kambario temperatūroje yra pasiskirstęs pagal normalųjį dėsnį.

Korozijai ir karščiui atsparaus plieno suvirinimo siūlių medžiagų modifikuoto plastiškumo $(\sigma_u / \sigma_y)_{\%} = x$ kambario temperatūroje duomenys dydžiams \bar{x} ir s apskaičiuoti

Medž.	$(\sigma_u / \sigma_y)_{\%}$	$x_i - \bar{x}$	$(x_i - \bar{x})^2$	Medž.	$(\sigma_u / \sigma_y)_{\%}$	$x_i - \bar{x}$	$(x_i - \bar{x})^2$
3	216	121,9	14859,6	21	107	12,9	166,4
4	34	-60,1	3612,0	22	121	26,9	723,6
5	33	-61,1	3733,2	25	51	-43,1	1857,6
6	111	16,9	285,61	26	63	-31,1	967,2
7	146	51,9	2693,6	27	108	13,9	193,2
8	71	-23,1	533,6	30	123	28,9	835,2
9	29	-65,1	4238,0	33	59	-35,1	1232,0
10	30	-64,1	4108,8	34	143	48,9	2391,2
11	99	4,9	24,0	35	115	20,9	436,8
13	152	57,9	3352,4	36	112	17,9	320,4
20	53	-41,1	1689,2				
$n = 21$; $\bar{x} = 1976 / 21 = 94,1$; $\sum x_i - \bar{x} = -423,9 + 423,8 = 847,7$				Suma	1976	-0,1	48253,8

Varijavimo amplitudės R naudojimas. Darbe atliktas korozijai ir karščiui atsparaus plieno suvirinimo siūlių medžiagų modifikuoto plastiškumo $(\sigma_u / \sigma_y)_{\%}$ kambario temperatūroje pasiskirstymo pagal normalųjį dėsnį hipotezės tikrinimas. Pagal 3.4 lentelės duomenis buvo nustatyta didžiausia ir mažiausia modifikuoto plastiškumo $(\sigma_u / \sigma_y)_{\%}$ reikšmė ir pagal $R = x_{max} - x_{min}$ lygybę apskaičiuota varijavimo amplitudė $R = 216 - 29 = 187$.

Santykis

$$\frac{R}{s} = \frac{187}{49,1} = 3,82.$$

Kai $n = 21$ ir $\alpha = 0,10$, nustatytos apatinė 3.18 ir viršutinė 4.4 ribos [21]. Santykis išeina iš intervalo ribų, t.y. $3,18 < 3,82 < 4,4$, todėl su užsiduotu statistiniu patikimumu galima teigti, kad pagal šį kriterijų hipotezė apie modifikuoto plastiškumo $(\sigma_u / \sigma_y)_{\%}$ kambario temperatūroje pasiskirstymą pagal normalųjį dėsnį nepasitvirtina. Tačiau būtina pažymėti, kad šis teiginys teisingesnis varijavimo amplitudei, kuri duotu atveju neatitiko normaliojo pasiskirstymo dėsniai.

Remiantis [19] variacijos koeficientą V galima apskaičiuoti pagal dispersijos ir vidutinės reikšmės santykį. Gauta reikšmė neturėtų būti didesnė kaip 33%: $V = \frac{s}{\bar{x}} = \frac{49,1}{94,1} = 0,52 = 52\%$.

Kaip matome, sąlyga netenkinama, todėl tiriama reikšmė nėra pasiskirsčiusi pagal normalųjį dėsnį. Skaičiavimo rezultatai duoti 3.5 lentelėje ir 2 priede.

Suirimo kreivės parametrų ir modifikuoto plastiškumo normalumo tikrinimas panaudojus vidutinį absoliutinį nuokrypį (VAN), varijavimo amplitudės ir dispersijos santykį R/s , Kolmogorov ir Smirnov kriterijų D

Suirimo parametrai	Medžiagų skaičius n	$(\sigma_u/\sigma_y)_{\%}$			m_e, C_e, m_p, C_p		
		VAN	R/s	D	VAN	R/s	D
Korozijai ir karščiui atsparaus plieno suvirinimo siūlių medžiagos kambario temperatūroje							
m_e	21	+	–	+	+	–	+
C_e	21	+	–	+	+	–	+
m_p	21	+	–	+	+	–	+
C_p	18	+	–	+	+	–	+

3.7. Suirimo parametrų ir modifikuoto plastiškumo tyrimo rezultatų koreliacinė analizė

Koreliacinės analizės uždavinys – surasti teorinę regresijos kreivę, analitiškai ją aprašyti ir atlikti gautų rezultatų statistinį įvertinimą [23] – gali būti išspręstas tiesinės priklausomybės ribose tarp normaliai pasiskirsčiusių atsitiktinių dydžių. Stipriam ryšiui tarp atsitiktinių dydžių X ir Y įvertinti naudojamas koreliacijos koeficientas, kuris charakterizuoja šių atsitiktinių dydžių tiesinio priklausomumo laipsnį, ir jiems pasiskirsčius pagal normalųjį dėsnį, apskaičiuojamas pagal lygybę

$$r = \frac{m_{l/l}}{s_x s_y}, \quad (3.36)$$

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

Mišrus centrinis momentas apskaičiuojamas pagal lygybę

$$m_{l/l} = \frac{1}{n-1} \left(\sum_{i=1}^n x_i y_i - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \sum_{i=1}^n y_i \right). \quad (3.37)$$

Atsitiktinių dydžių X ir Y dispersijos įverčiai s_x^2 ir s_y^2 apskaičiuojami remiantis (3.3) lygybe.

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 R. Fisher keitinį u , kuris parodo, kad atsitiktinio dydžio pasiskirstymą

$$u = \frac{1}{2} \ln \frac{1+r}{1-r} \quad (3.38)$$

galima aproksimuoti normaliuoju dėsnio su matematine viltimi

$$M\{U\} = a_u = \frac{1}{2} \ln \frac{1+\rho}{1-\rho} + \frac{\rho}{2(n-1)} \quad (3.39)$$

ir dispersija

$$D\{U\} = \sigma_{(u)}^2 = \frac{1}{n-3}. \quad (3.40)$$

Antrasis dėmuo (3.39) lygybėje visada mažas, lyginant su vidutiniu kvadratinu nuokrypiu $\sigma_{(u)}$, ir jį galima atmesti.

Nulinės hipotezės tikrinimas $\rho = 0$, esant alternatyvai $\rho \neq 0$, atliktas pagal (3.38) ir (3.40) lygybes apskaičiavus u , $\sigma_{(u)}$ ir palyginus parametą u su kritiniu, esant tikimybei $P = 1 - \alpha / 2$. Jei tenkinama sąlyga

$$|u| \leq z_{1-\alpha/2} \sigma_{(u)}, \quad (3.41)$$

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 [18], pasirinkus tikimybės $P = 1 - \alpha / 2$ reikšmę; α – reikšmingumo lygmuo (klaidos tikimybė).

Koreliacijos koeficiento pasikliautinieji intervalai. Nustatant pasikliautinusius intervalus, buvo priimtas 0,9 pasikliautinosios tikimybės lygis. Pasirinkus tikimybės P reikšmę arba reikšmingumo lygmenį $\alpha = 1 - P$, pirmiausia buvo nustatyti pasikliautinieji intervalai parametrai a_u :

$$u - z_{1-\alpha/2}\sigma_{(u)} < a_u < u + z_{1-\alpha/2}\sigma_{(u)} \quad (3.42)$$

arba

$$u_1 < a_u < u_2, \quad (3.43)$$

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 (3.39) lygybę pagal

$$r = \frac{e^{2u} - 1}{e^{2u} + 1} \quad (3.44)$$

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

$$r_1 < \rho < r_2. \quad (3.45)$$

Skaičiavimo rezultatai korozijai ir karščiui atsparių plienų suvirinimo siūlių medžiagoms kambario temperatūroje pateikti 3.6 lentelėje. Bandymų rezultatų reikšmės duotos 2.2 lentelėje.

Kai tenkinama sąlyga $|u| \leq z_{1-\alpha/2}\sigma_{(u)}$, priimama nulinė hipotezė $\rho = 0$. Tuomet sakoma, kad atsitiktiniai dydžiai yra nekoreliuoti, t.y. suirimo kreivės parametrai m_e , C_e , m_p , C_p ir modifikuotas plastiškumas $(\sigma_u/\sigma_y)_{\text{pl}}$ tiesiškai vienas nuo kito nepriklausomi. Kai $|u| > z_{1-\alpha/2}\sigma_{(u)}$ – nulinė hipotezė atmetama, t.y. tarp suirimo parametrų m_e , C_e , m_p , C_p ir modifikuoto plastiškumo $(\sigma_u/\sigma_y)_{\text{pl}}$ yra koreliacinė priklausomybė. Kuo koreliacijos koeficientas didesnis, tuo stipresnė tiesinė atsitiktinių dydžių priklausomybė.

Koreliacinė analizė parodė, kad tarp plienų suvirinimo siūlių medžiagų suirimo parametrų m_e , C_e , m_p ir modifikuoto plastiškumo $(\sigma_u/\sigma_y)_{\text{pl}}$ kambario temperatūroje yra koreliacinis ryšys.

3.6 lentelė

Skaičiavimo rezultatų suvestinė lentelė, tikrinant nulinę hipotezę $\rho = 0$ tarp suirimo kreivės parametrų ir modifikuoto plastiškumo 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

Suirimo parametrai	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 atsparaus plieno suvirinimo siūlių medžiagos kambario temperatūroje											
m_e	21	94,1	0,11	49,1	0,07	0,49	0,54	0,46	$\rho \neq 0$	0,15	0,73
m_p	21	94,1	0,59	49,1	0,25	0,55	0,62	0,46	$\rho \neq 0$	0,23	0,76
C_e	21	94,1	1,95	49,1	1,82	0,44	0,47	0,46	$\rho \neq 0$	0,09	0,70
C_p	18	95,6	34,4	49,3	36,2	0,35	0,37	0,51	$\rho = 0$	-0,06	0,66

3.8. 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

$$M(Y/x) = a_{y/x} = MY + \rho \frac{\sigma_y}{\sigma_x} (x - MX), \quad (3.46)$$

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

Teorinės tiesės įvertis yra empirinė regresijos tiesė, kuri išreiškiama lygybe

$$Y = \bar{y} + r \frac{s_y}{s_x} (x - \bar{x}) \quad (3.47)$$

arba

$$Y = a + bx, \quad (3.48)$$

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

Atsitiktinio dydžio Y sąlyginei dispersijai įvertinti panaudota dispersija apie regresijos tiesę

$$s_{y/x}^2 = s_y^2 (1 - r^2) \frac{n-1}{n-2}. \quad (3.49)$$

Individualios sklaidos apie regresijos tiesę dydis, t.y. Y nustatymo pagal (3.47) lygybę grynoji klaida

$$\delta_y = \sqrt{s_{y/x}^2}. \quad (3.50)$$

Teorinei regresijos tiesei (3.46) yra nustatomi pasikliautiniai intervalai ir pasikliautinoji sritis. Šiam tikslui pagal (3.47) ir (3.48) lygybes buvo apskaičiuotas dydis Y ir nustatyta jo dispersija

$$s_{Y/x}^2 = s_{y/x}^2 \left[\frac{1}{n} + \frac{(x - \bar{x})^2}{(n-1)s_x^2} \right]. \quad (3.51)$$

Tikrojo (teorinio) sąlyginio vidurkio $a_y = M(Y/x)$, gaunamo iš teorinės regresijos lygties, pasikliautinis intervalas

$$Y - s_{Y/x} t_{\alpha,k} < a_y < Y + s_{Y/x} t_{\alpha,k}, \quad (3.52)$$

čia $t_{\alpha,k}$ – Student kriterijaus reikšmė, nustatoma pagal pasirinktą reikšmingumo lygmenį $\alpha = 0,05$ ir laisvės laipsnių skaičių $k = n - 2$ [18].

Regresijos lygties adekvatumo tikrinimas. Suradus regresijos linijos parametrų įverčius a ir b , buvo patikrinta, ar gautoji lygtis pakankamai tiksliai aprašo tyrimo rezultatus, t.y. buvo patikrintas regresijos lygties $y = a + bx$ adekvatumas [20]. Tam panaudotas Fisher kriterijus

$$F = \frac{s_y^2}{\delta_y^2}, \quad (3.53)$$

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

$F_{\alpha(k_1-1, k_2-2)}$ [19], regresijos lygtis yra adekvati. Priešingu atveju manoma, kad nėra tiesinės priklausomybės tarp tikrinamų dydžių ir reikia nagrinėti sudėtingesnes priklausomybes.

Tyrimo rezultatų aprašymo tikslumui nustatyti, t.y. F kriterijaus reikšmingumui nustatyti (kai $\alpha > 0,1$), panaudota aproksimacija, kurią pasiūlė E. S. Paulson [19]:

$$\hat{z} = \left\{ \left(1 + \frac{2}{9k_2} \right) F^{1/3} - \left(1 - \frac{2}{9k_1} \right) \right\} / \sqrt{\frac{2}{9k_2} F^{2/3} + \frac{2}{9k_1}}; \quad (3.54)$$

(3.54) lygybė teisinga esant laisvės laipsnių skaičiui $k > 3$. Klaidos tikimybė α nustatyta kaip plotas pagal z kriterijų [19] atitinkamai F kriterijaus reikšmei.

3.9. Suirimo kreivės parametrų ir modifikuoto plastiškumo tiesinė regresinė analizė

Šiame darbe parodyta suirimo kreivės parametrų m_e , C_e , m_p , C_p tiesinės regresijos analizė modifikuoto plastiškumo (σ_u/σ_y) atžvilgiu korozijai ir karščiui atsparaus plieno suvirinimo siūlių medžiagoms kambario temperatūroje ir nustatytos 95% pasikliautinosios srities ribos regresijos tiesei pagal (3.46)-(3.54) lygybes. Preliminariam tiesiniam ryšiui nusakyti buvo panaudota (3.47) lygybė. Duomenys skaičiavimui duoti 2.2 ir 3.6 lentelėse.

Korozijai ir karščiui atsparaus plieno suvirinimo siūlių medžiagų tiesinės regresijos $y = a + bx$ adekvatumo tikrinimas parodė (3.7 lentelė), kad tiesinės suirimo kreivės parametrų m_e, C_e, m_p priklausomybės nuo modifikuoto plastiškumo patikimumas yra 70-80%, esant koreliaciniam ryšiui tarp minėtų charakteristikų. Kai koreliacinio ryšio nėra (3.6 lentelė), tiesinis ciklinio parametro C_p regresijos $y = a + bx$ modifikuoto plastiškumo atžvilgiu patikimumas yra apie 50%.

Fišerio pasiskirstymo α eilės kvantilio $F_{\alpha(k_1-1, k_2-2)}$ tarpinės reikšmės, kai medžiagų skaičius $n \leq 30$, buvo nustatytos interpoliuojant. Pavyzdžiui, suirimo kreivės parametrai C_p medžiagų skaičius $n = 18$, $k_1 = 18 - 1 = 17$, $k_2 = 18 - 2 = 16$. Pasirinkus $\alpha = 0,1$, nustatytos ribos $15 < k_1 = 17 < 20$, kurios atitinka 1,94 ir 1,89 [19], esant vardikliui $k_2 = 16$. Ieškomą reikšmę pažymėjus x , sudaryta lygybė $(1,94 - x)/(1,94 - 1,89) = (1/15 - 1/17)/(1/15 - 1/20)$. Iš čia $x = F_{0,1} = 1,92$.

3.7 lentelė

Suirimo kreivės parametrų m_e, C_e, m_p, C_p tiesinės regresijos $y = a + bx$ modifikuoto plastiškumo atžvilgiu adekvatumo tikrinimas pagal Fisher kriterijų

Suirimo parametrai	Medžiagų skaičius n	$y = a + bx$			
		F	$F_{0.3}$	$F_{0.1}$	F_α
Korozijai ir karščiui atsparaus plieno suvirinimo siūlių medžiagos kambario temperatūroje					
m_e	21	1,26	–	1,81	$F'_{0.25}$
C_e	21	1,17	–	1,81	$F'_{0.3}$
m_p	21	1,42	–	1,81	$F'_{0.2}$
C_p	18	1,07	–	1,92	$F'_{0.5}$
F'_α – apytikslės reikšmės, atitinkančios F kriterijų. Adekvatumo sąlyga $F \geq F_{\alpha(k_1, k_2)}$, $k_1 = n - 1$; $k_2 = n - 2$					

3.10. Netiesinės regresijos parinkimas ir jos adekvatumo tikrinimas

Kadangi negalima teigti, kad parinkta tiesinė regresija korozijai ir karščiui atsparaus plieno suvirinimo siūlių medžiagų parametrams pakankamai tiksliai aprašo tyrimo rezultatus, buvo ieškota mažesnę liekamąją dispersiją $s_{y/x}^2$ turinčių lygčių. Tiksliai aprašančią tyrimo rezultatus regresijos lygtį surasti sunku, todėl skaičiavimams buvo panaudotos dažniausiai pasitaikančios netiesinės regresijos: parabolinė, eksponentinė ir kt. [18-21].

Suirimo kreivės parametrai m_e buvo parinkta regresija $y = a + bx + c\sqrt{x}$, parametrams C_e ir C_p parinkta regresija $y = x/(a + bx)$, parametrai m_p parinkta regresija $y = a + bx + cx^2$ modifikuoto plastiškumo (σ_u/σ_y) atžvilgiu. Šio priklausomybės duoda mažiausią liekamąją dispersiją $s_{y/x}^2$ (3.8 lentelė) ir galbūt tiksliau aproksimuoja tarpusavio priklausomybes.

3.9 lentelėje regresijų $y = a + bx + c\sqrt{x}$, $y = x/(a + bx)$, $y = a + bx + cx^2$ adekvatumo tikrinimas korozijai ir karščiui atsparaus plieno suvirinimo siūlių medžiagoms kambario temperatūroje parodė, kad suirimo kreivės parametrų m_e , C_e , m_p regresijos modifikuoto plastiškumo (σ_u/σ_y) atžvilgiu aproksimacija nepagerėjo, o parametro C_p aproksimacija

pagerėjo nedaug. Kadangi netiesinėmis regresijomis tyrimo rezultatai aprašomi taip pat, kaip ir tiesinėmis regresijomis, buvo pasiūlyta tiesinė regresija $y = a + bx$.

3.8 lentelė

Koreliacijos koeficientas r (skaitiklyje) ir liekamoji dispersija $s_{y/x}^2$ (vardiklyje), atitinkantys pasirinktą funkciją. Suirimo kreivės parametrai m_e , C_e , m_p , C_p pažymėti y , modifikuotas plastiškumas $(\sigma_u/\sigma_y)_{\%}$ pažymėtas x

Suirimo parametras	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 atsparaus plieno suvirinimo siūlių medžiagos kambario temperatūroje							
m_e	21	$\frac{0,42}{0,00362}$	–	$\frac{0,48}{0,00339}$	$\frac{0,48}{0,00339}$	$\frac{0,46}{0,00346}$	$\frac{0,49}{0,00336}$
C_e	21	$\frac{0,36}{3,03}$	–	$\frac{0,44}{2,82}$	$\frac{0,44}{2,82}$	$\frac{0,41}{2,92}$	$\frac{0,44}{2,82}$
m_p	21	$\frac{0,45}{0,0518}$	–	$\frac{0,49}{0,0495}$	$\frac{0,49}{0,0495}$	$\frac{0,55}{0,0452}$	$\frac{0,53}{0,0469}$
C_p	18	$\frac{0,3}{1269,4}$	–	$\frac{0,36}{1216,8}$	$\frac{0,36}{1216,8}$	$\frac{0,32}{1253,6}$	$\frac{0,356}{1219,9}$
Suirimo parametras	Medžiagų skaičius n	Netiesinė regresija					
		$y = ae^{bx}$	$y = ae^{\frac{b}{x}}$	$y = a + b \lg x$	$y = a + bx + cx^2$	$y = a + bx + c\sqrt{x}$	
m_e	21	$\frac{0,46}{0,00346}$	–	$\frac{0,47}{0,00341}$	$\frac{0,49}{0,00351}$	$\frac{0,49}{0,00336}$	
C_e	21	$\frac{0,41}{2,92}$	–	$\frac{0,42}{2,88}$	$\frac{0,44}{2,96}$	$\frac{0,43}{2,83}$	
m_p	21	$\frac{0,55}{0,0452}$	–	$\frac{0,51}{0,0484}$	$\frac{0,55}{0,0441}$	$\frac{0,53}{0,0466}$	
C_p	18	$\frac{0,32}{1253,6}$	–	$\frac{0,34}{1231,5}$	$\frac{0,37}{1289}$	$\frac{0,35}{1220,7}$	

Remiantis 3.2 lentelėje duotais skaičiavimo rezultatais, matyti, kad suirimo kreivės parametru priklausomybė nuo modifikuoto plastiškumo $(\sigma_u/\sigma_y)_{\%}$ duoda mažiausią sklaidą ir geriausiai nusako tiesinio ryšio stiprumą.

3.11 lentelėje pateiktos analitinės šių parametru tarpusavio priklausomybės. Pagal šias priklausomybes apskaičiuotos suirimo kreivės parametru m_e , C_e , m_p , C_p reikšmės naudojamos medžiagos ilgaamžiškumui prognozuoti pagal (2.1) lygybę.

3.9 lentelė

Suirimo kreivės parametru m_e , C_e , m_p , C_p netiesinių regresijų modifikuoto plastiškumo atžvilgiu adekvatumo tikrinimas pagal Fisher kriterijų

Suirimo parametras	Medžiagų skaičius n	$y = a + bx + c\sqrt{x}$, $y = x/(a + bx)$, $y = a + bx + cx^2$		
		F	$F_{0,1}$	F_α
Korozijai ir karščiui atsparaus plieno suvirinimo siūlių medžiagos kambario temperatūroje				
m_e	21	1,26	1,81	$F'_{0,25}$
C_e	21	1,17*	1,81	$F'_{0,3}$
m_p	21	1,42**	1,81	$F'_{0,2}$
C_p	18	1,08*	1,92	$F'_{0,4}$
<p>* $y = x/(a + bx)$; ** $y = a + bx + cx^2$. F'_α – apytikslės reikšmės, atitinkančios F kriterijų. Adekvatumo sąlyga $F \geq F_{\alpha(k_1, k_2)}$, $k_1 = n - 1$; $k_2 = n - 2$</p>				

Pasikliautinosios srities ribos teorinei regresijos tiesei. Nustatysime korozijai ir karščiui atsparių plienų suvirinimo siūlių medžiagų kambario temperatūroje tiesinės regresijos $m_p = 0,33 + 0,278(\sigma_u / \sigma_y)$ pasikliautinosios srities ribas su 0,95 pasikliovimo tikimybe.

Teorinei regresijos tiesei (3.46) įvertinti nustatoma pasikliautinoji sritis. Šiam tikslui pagal (3.49) lygybę įvertinta atsitiktinio dydžio Y sąlyginė dispersija

$$s_{y/x}^2 = 0,25^2(1 - 0,55^2) \frac{21-1}{21-2} = 0,046$$

ir pagal (3.50) lygybę apskaičiuotas individualios sklaidos apie regresijos tiesę dydis

$$\delta_y = \sqrt{s_{y/x}^2} = \sqrt{0,046} = 0,21.$$

95% pasikliautinosios srities ribų skaičiavimo eiliškumas regresijos tiesei pagal (3.51) ir (3.52) lygybes parodytas 3.10 lentelėje.

3.10 lentelė

95% pasikliautiniosios srities ribų (punktų linijos) skaičiavimo rezultatai tiesinei regresijai $Y = 0,33 + 0,278x$, kai $(n-1)s_x^2 = 4,82$, $t_{\alpha,k} = 1,96$, $\alpha = 0,05$ ir $k = 19$

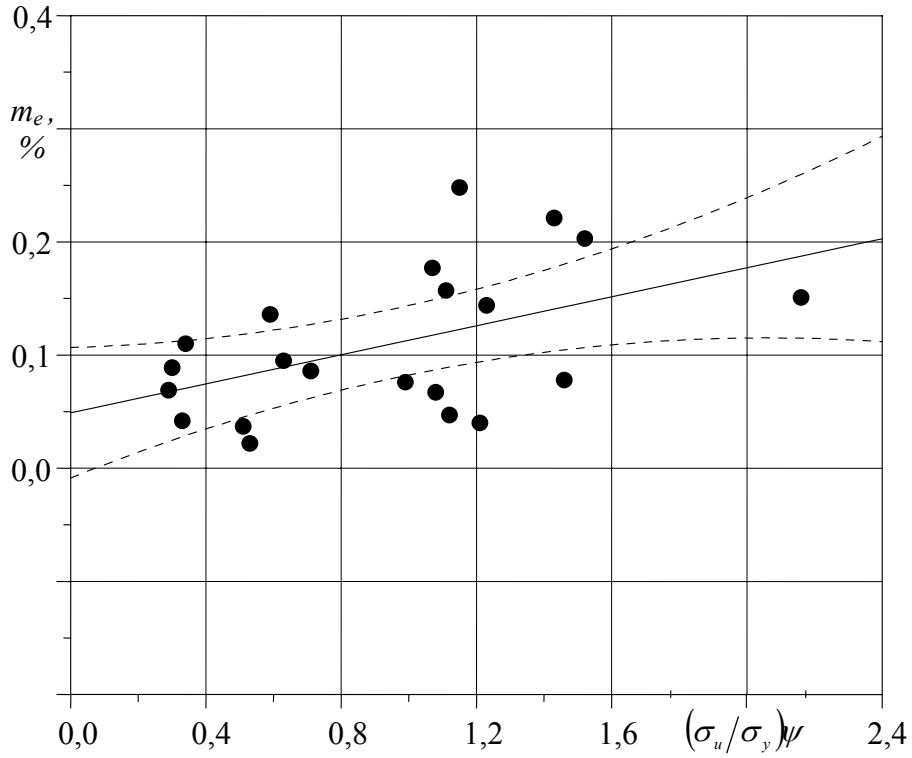
$x = \frac{\sigma_u}{\sigma_y} \psi$	0,278x	$Y = 0,33 + 0,278x$	$x - \bar{x}$	$(x - \bar{x})^2$	$\frac{(x - \bar{x})^2}{(n-1)s_x^2}$	$s_{Y/x}^2$	$s_{Y/x}$	$s_{Y/x} t_{\alpha,k}$	$Y - s_{Y/x} t_{\alpha,k}$	$Y + s_{Y/x} t_{\alpha,k}$
0,0	0,00	0,33	-0,94	0,89	0,18	0,0106	0,103	0,20	0,13	0,53
0,2	0,06	0,39	-0,74	0,55	0,11	0,0074	0,086	0,17	0,22	0,55
0,4	0,11	0,44	-0,54	0,29	0,06	0,0050	0,071	0,14	0,30	0,58
0,6	0,17	0,50	-0,34	0,12	0,02	0,0033	0,057	0,11	0,38	0,61
0,8	0,22	0,55	-0,14	0,02	0,00	0,0024	0,049	0,10	0,46	0,65
$\bar{x} = 0,94$	0,26	0,59	-1e-3	1e-6	2,07e-7	0,0022	0,047	0,09	0,50	0,68
1,2	0,33	0,66	0,26	0,07	0,01	0,0028	0,053	0,10	0,56	0,77
1,4	0,39	0,72	0,46	0,21	0,04	0,0042	0,065	0,13	0,59	0,85
1,6	0,44	0,77	0,66	0,43	0,09	0,0063	0,079	0,16	0,62	0,93
1,8	0,50	0,83	0,86	0,74	0,15	0,0092	0,096	0,19	0,64	1,02
2,0	0,56	0,89	1,06	1,12	0,23	0,0129	0,113	0,22	0,66	1,11
2,2	0,61	0,94	1,26	1,59	0,33	0,0173	0,131	0,26	0,68	1,20
2,4	0,67	1,00	1,46	2,13	0,44	0,0224	0,150	0,29	0,70	1,29

3.11 lentelė

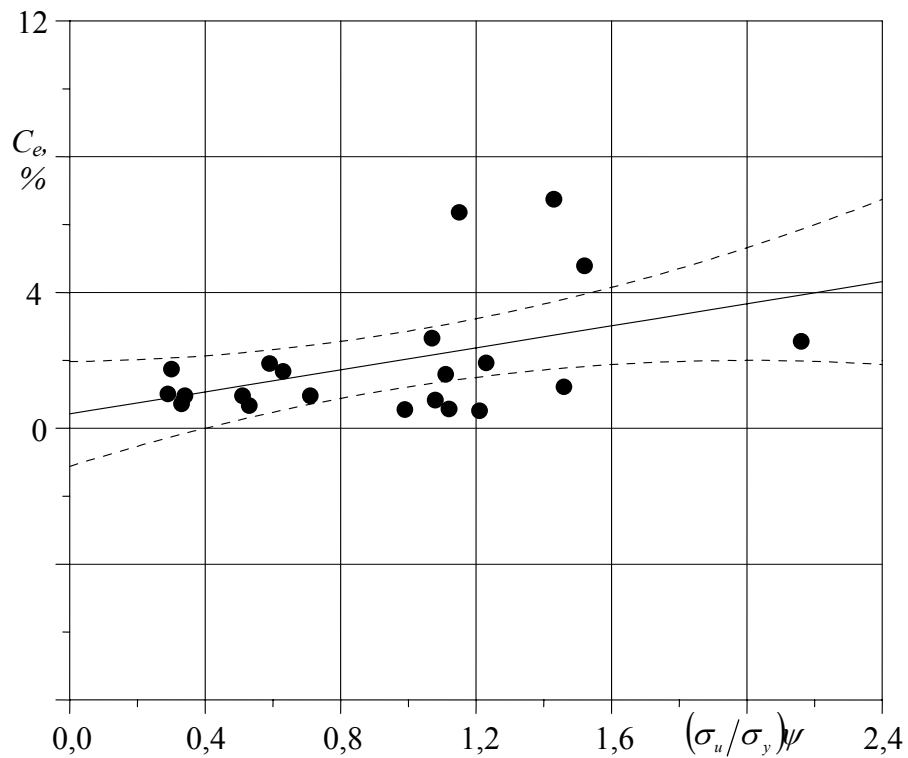
Suirimo kreivės parametrų m_e , C_e , m_p , C_p analitinės priklausomybės nuo modifikuoto plastiškumo $(\sigma_u/\sigma_y)_{\psi}$ korozijai ir karščiui atsparių plienų suvirinimo siūlių medžiagoms kambario temperatūroje

KOROZIJAI IR KARŠČIUI ATSPARAUS PLIENO SUVIRINIMO SIŪLIŲ MEDŽIAGOS KAMBARIO TEMPERATŪROJE	
Pagal tampriąją deformaciją	Pagal plastinę deformaciją
$m_e = 0,049 + 0,064(\sigma_u / \sigma_y)_{\psi}$	$m_p = 0,33 + 0,278(\sigma_u / \sigma_y)_{\psi}$
$C_e = 0,42 + 1,62(\sigma_u / \sigma_y)_{\psi}$	$C_p = 9,67 + 25,84(\sigma_u / \sigma_y)_{\psi}$

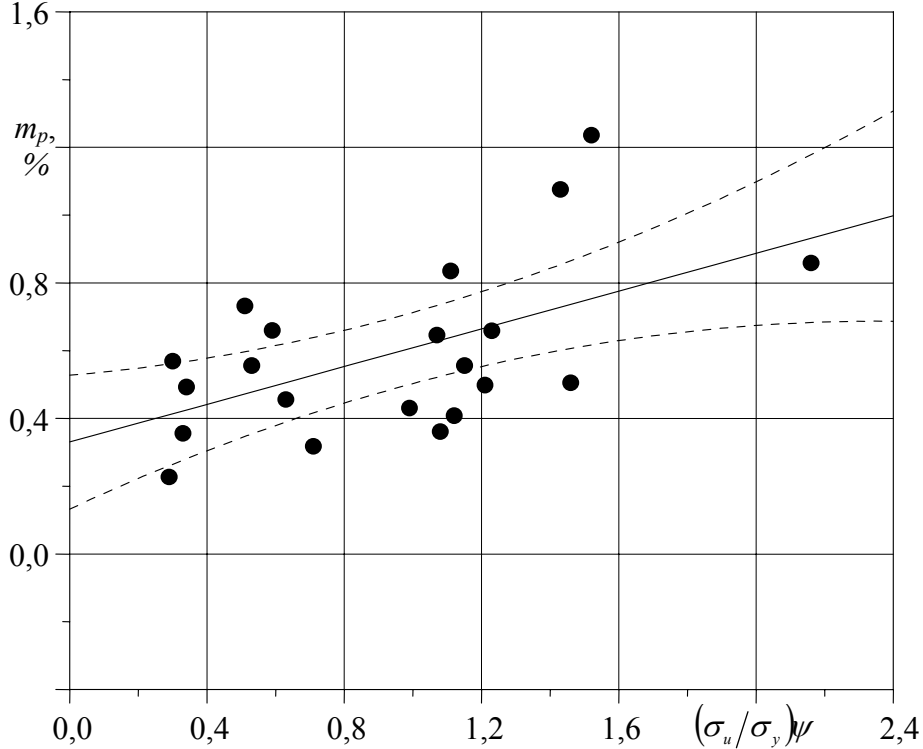
Empirinė regresijos tiesė ir 95% pasikliautiniosios srities ribos teorinei regresijos tiesei (punktų linijos) parodytos 3.1-3.4 paveiksluose.



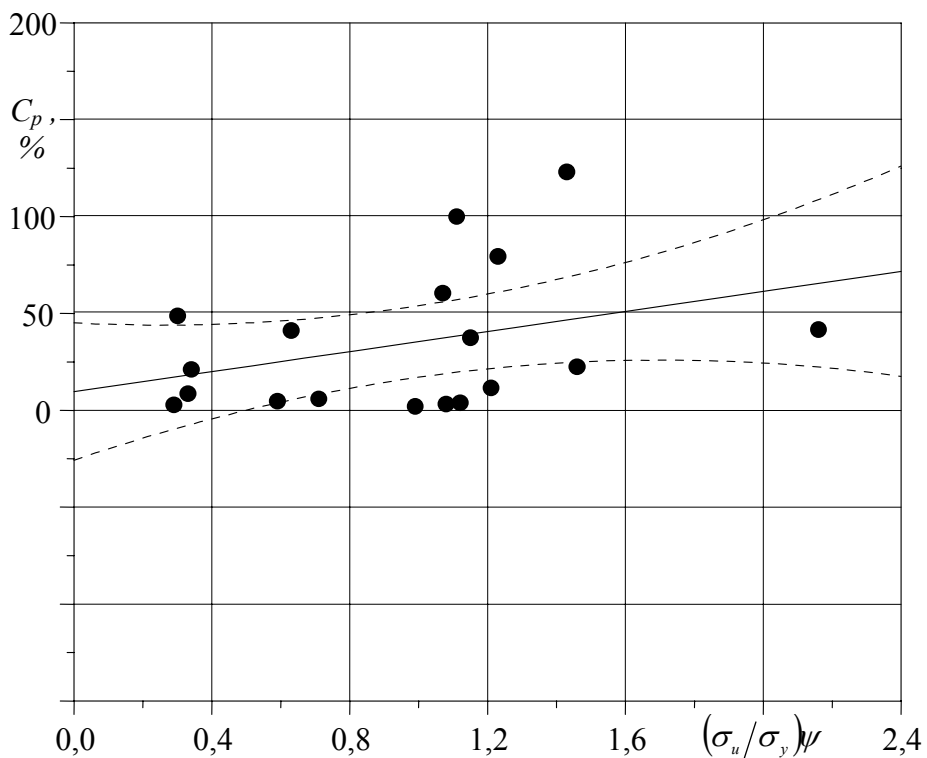
3.1 pav. Suirimo parametro m_e priklausomybė nuo modifikuoto plastiškumo $(\sigma_u/\sigma_y)\psi$ korozijai ir karščiui atsparaus plieno suvirinimo siūlių medžiagoms kambario temperatūroje ir 95% pasikliautiniosios srities ribos (punkttyrinės linijos) teorinei regresijos tiesei



3.2 pav. Suirimo parametro C_e priklausomybė nuo modifikuoto plastiškumo $(\sigma_u/\sigma_y)\psi$ korozijai ir karščiui atsparaus plieno suvirinimo siūlių medžiagoms kambario temperatūroje ir 95% pasikliautiniosios srities ribos (punkttyrinės linijos) teorinei regresijos tiesei



3.3 pav. Suirimo parametro m_p priklausomybė nuo modifikuoto plastiškumo $(\sigma_u/\sigma_y)\psi$ korozijai ir karščiui atsparaus plieno suvirinimo siūlių medžiagoms kambario temperatūroje ir 95% pasikliautiniosios srities ribos (punkttyrinės linijos) teorinei regresijos tiesei



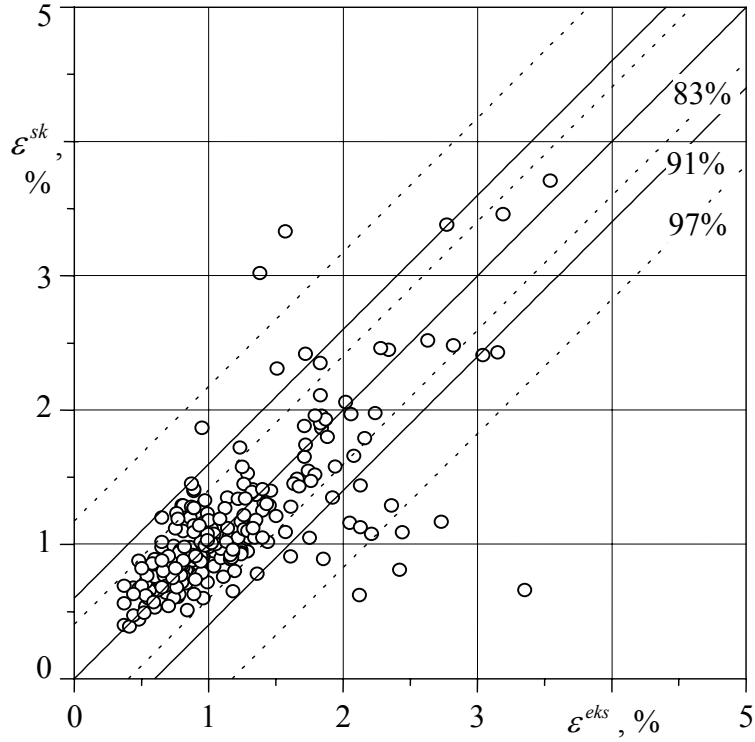
3.4 pav. Suirimo parametro C_p priklausomybė nuo modifikuoto plastiškumo $(\sigma_u/\sigma_y)_{\mathcal{V}}$ korozijai ir karščiui atsparaus plieno suvirinimo siūlių medžiagoms kambario temperatūroje ir 95% pasikliautiniosios srities ribos (punktyrinės linijos) teorinei regresijos tiesei

3.11. Eksperimentinės ir skaičiuotos deformacijos palyginimas

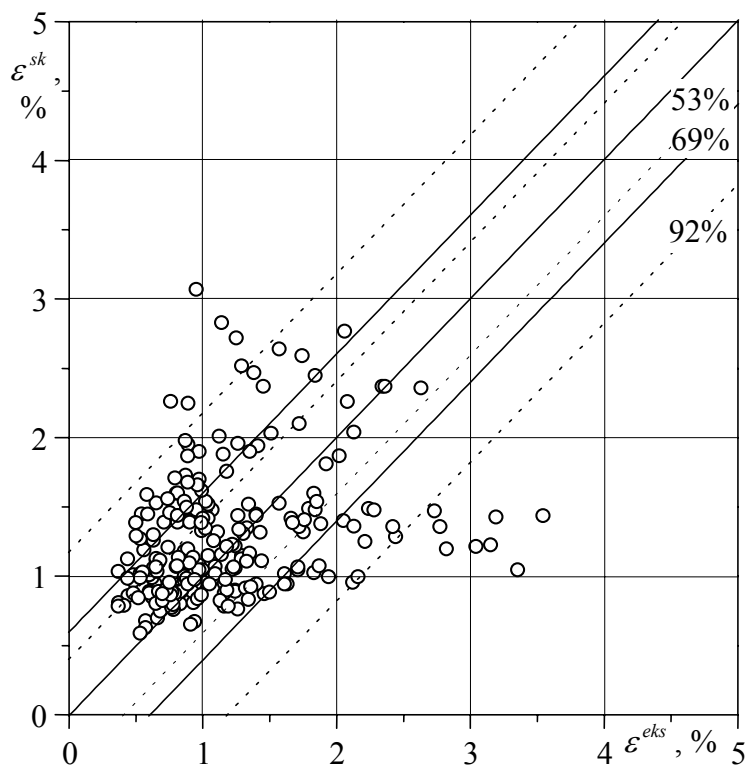
Nustačius suirimo kreivės parametrų m_e , C_e , m_p , C_p ir modifikuoto plastiškumo $(\sigma_u/\sigma_y)_{\mathcal{V}}$ analitines tarpusavio priklausomybes (3.11 lentelė), šiame magistro darbe buvo apskaičiuota deformacija pagal (2.5) lygybę ir palyginta su nustatyta eksperimento metu. Palyginimas parodė, kad, naudojant 3.11 lentelėje pasiūlytas priklausomybes, skaičiuotos ciklinės tampriai plastinės deformacijos skaičiavimo rezultatų sklaida gerokai didesnė už deformaciją, kuriai apskaičiuoti suirimo kreivės parametrai buvo nustatyti grafiniu būdu kiekvienai medžiagai logaritminėse koordinatėse $\lg \varepsilon_e - \lg N_f$ ir $\lg \delta - \lg N_f$.

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) [19], čia $\bar{x} = m_e, C_e, m_p, C_p$ – vidutinė eksperimentinė suirimo kreivės parametrų reikšmė; s – standartinis nuokrypis.

Korozijai ir karščiui atsparaus plieno suvirinimo siūlių medžiagų eksperimentinės ε^{eks} ir skaičiuotos ε^{sk} deformacijos palyginimas pagal (2.5) lygybę kambario ir aukštesnėje temperatūroje parodytas 3.5-3.6 paveiksluose, kai suirimo kreivės parametrai m_e , C_e , m_p , C_p nustatyti koordinatėse $\lg \varepsilon_e - \lg N_f$ ir $\lg \delta - \lg N_f$ kiekvienai medžiagai (3.5 pav.); kai suirimo kreivės parametrai m_e , C_e , m_p , C_p nustatyti pagal 3.11 lentelėje duotas priklausomybes (3.6 pav.).



3.5. pav. Korozijai ir karščiui atsparaus plieno suvirinimo siūlių medžiagų eksperimentinės ε^{eks} ir skaičiuotos ε^{sk} deformacijos palyginimas pagal (2.5) lygybę kambario temperatūroje, kai suirimo kreivės parametrai m_e , C_e , m_p , C_p nustatyti koordinatėse $\lg \varepsilon_e - \lg N_f$ ir $\lg \delta - \lg N_f$ kiekvienai medžiagai



3.6. pav. Korozijai ir karščiui atsparaus plieno suvirinimo siūlių medžiagų eksperimentinės ε^{eks} ir skaičiuotos ε^{sk} deformacijos palyginimas pagal (2.5) lygį kambario temperatūroje, kai suirimo kreivės parametrai m_e , C_e , m_p , C_p nustatyti pagal 3.11 lentelėje duotas priklausomybes

4. Prognozuojamo ir eksperimentinio ilgaamžiškumų palyginimas

Gusenkov, Romanov, Daunio ir kt. darbuose pažymima, kad mažacikliuose bandymuose vienos medžiagos eksperimento rezultatų sklaida paprastai būna ne didesnė už dvigubą sklaidą logaritminėse koordinatėse. Be to, suvirinimo siūlių medžiagų eksperimento rezultatų sklaida gerokai didesnė nei pagrindinių medžiagų.

Eksperimentinio ir pagal (2.1) ir (2.4) lygį apskaičiuotų korozijai ir karščiui atsparaus plieno suvirinimo siūlių medžiagų ilgaamžiškumų atitikimas duotas 4.1 lentelėje. Suirimo kreivės parametrai m_e , C_e , m_p , C_p yra apskaičiuoti pagal 3.11 lentelėje pateiktas priklausomybes (4.1 pav.) ir darbe [1] gautus rezultatus (4.2 pav.). Šiuose paveiksluose vienas taškas yra atitinkamos medžiagos vienas bandinys.

Kai ilgaamžiškumų N_f^{sk} ir N_f^{eksp} sklaida logaritminėse koordinatėse yra keturi kartai, į šią zoną patenka 30-37% korozijai ir karščiui atsparaus plieno suvirinimo siūlių medžiagų bandinių normalioje temperatūroje, kai devyni kartai – 46-58% bandinių, o kai šešiolika kartų – 54-67% bandinių. Šiuose intervaluose korozijai ir karščiui atsparaus plieno aukštesnėje temperatūroje rezultatų sklaida gauta didesnė. Eksperimentinio ir pagal (2.1) lygį apskaičiuotų plienų ir jų suvirinimo siūlių medžiagų ilgaamžiškumo rezultatų sklaida logaritminėse koordinatėse yra didesnė už rezultatų sklaidą, apskaičiuotą pagal (2.4) lygį. Tai galėjo atsitikti dėl apytikrio kilpos pločio nustatymo cikliškai silpnėjančioms ir stiprėjančioms medžiagoms pagal (2.1) lygį.

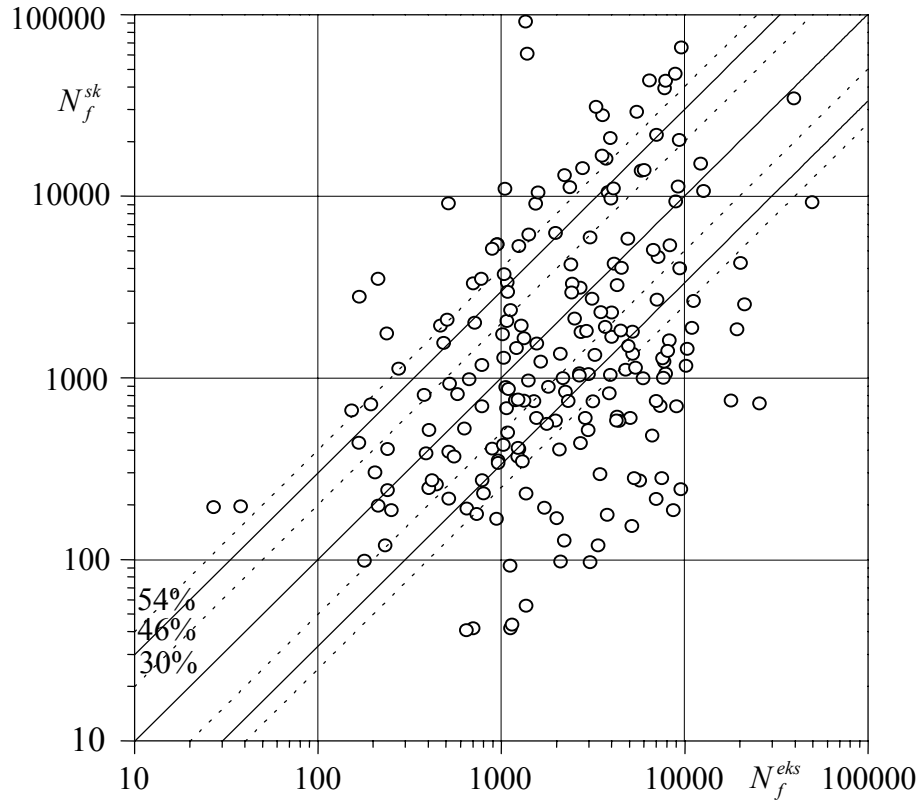
Prognozuojamo mažaciklio ilgaamžiškumo rezultatų sklaida yra didesnė už vienos medžiagos eksperimento rezultatų sklaidą mažacikliuose bandymuose, todėl pasiūlytos priklausomybės gali būti naudojamos preliminariai ilgaamžiškumui apskaičiuoti.

4.1 lentelė

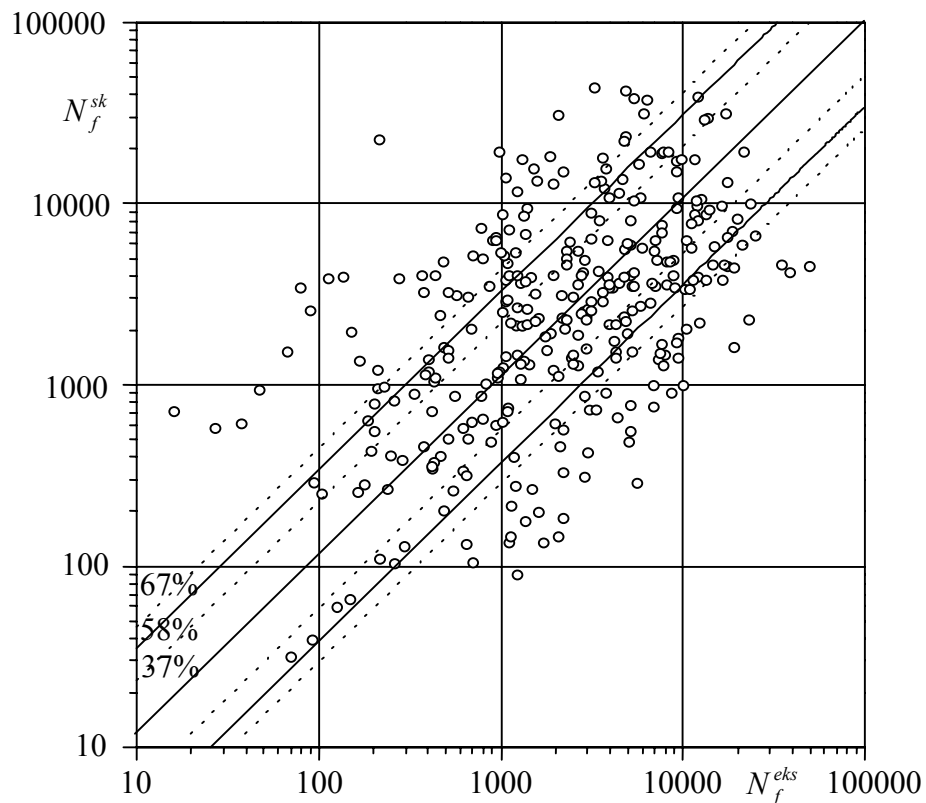
Korozijai ir karščiui atsparaus plieno suvirinimo siūlių medžiagų prognozuojamo N_f^{sk} ir eksperimentinio N_f^{eksp} ilgaamžiškumų palyginimas

Lygibė	Bendras bandinių skaičius	Bandinių skaičius, kai rezultatų sklaida tarp prognozuojamo ir eksperimentinio ilgaamžiškumų		
		4	9	16

		vnt.	%	vnt.	%	vnt.	%
2.1	204	60	30	93	46	110	54
2.4	322	131	37	197	58	223	67



4.1 pav. Eksperimentinio N_f^{eks} ir skaičiuoto N_f^{sk} mažaciklių ilgaamžiškumą palyginimas korozijai ir karščiui atsparaus plieno suvirinimo siūlių medžiagoms kambario temperatūroje pagal (2.1) lygybę



4.2 pav. Eksperimentinio N_f^{eks} ir skaičiuoto N_f^{sk} mažaciklių ilgaamžiškumą palyginimas korozijai ir karščiui atsparaus plieno suvirinimo siūlių medžiagoms kambario temperatūroje pagal (2.4) lygybę [1]

IŠVADOS

Apdorojus 36 korozijai ir karščiui atsparaus plieno suvirinimo siūlių medžiagas kambario temperatūroje, gautos išvados:

1. Korozijai ir karščiui atsparaus plieno suvirinimo siūlių medžiagų suirimo kreivės parametro m_p reikšmės kambario temperatūroje (gautos $lg \delta - lg N$ koordinatėse) yra didesnės už L. Coffin pasiūlytą $m = 0,5$ ir kinta intervale nuo 0,23 iki 1,24.
2. Suirimo kreivės parametrų m_e , C_e , m_p , C_p ir modifikuoto plastiškumo $(\sigma_u / \sigma_y)^m$ tiesinė priklausomybė pakankamai tiksliai aprašo korozijai ir karščiui atsparaus plieno suvirinimo siūlių medžiagų tyrimo rezultatus kambario temperatūroje.
3. Korozijai ir karščiui atsparaus plieno suvirinimo siūlių medžiagų suirimo kreivių parametrų m_e , C_e , m_p , C_p ir modifikuotas plastiškumo $(\sigma_u / \sigma_y)^m$ tarpusavio priklausomybės statistiškai pagrįstos, nes šie parametrai yra atsitiktiniai dydžiai, kurie pasiskirstę pagal normalųjį dėsnį.
4. Eksperimentinio ir pagal (2.1) lygybę apskaičiuotų plienų ir jų suvirinimo siūlių medžiagų ilgaamžiškumo rezultatų sklaida logaritminėse koordinatėse yra didesnė už rezultatų sklaidą, apskaičiuotą pagal (2.4) lygybę. Matomai tai atsitiko dėl apytikrio kilpos pločio nustatymo cikliška silpnėjančioms ir stiprėjančioms medžiagoms, kai naudojama (2.1) lygybė.

LITERATŪRA

1. **Šniuolis, R.** Konstrukcinių medžiagų mažaciklio nuovargio charakteristikų priklausomybė nuo mechaninių savybių. Daktaro disertacija. Kaunas, 1999.
2. **Даунис М.** Прочность и долговечность при малоцикловом нестационарном нагружении. - Вильнюс: Мокслас, 1989.-256с.
3. **Даунис М.** (Руководитель темы). Отчет научно исследовательской работы. Определение характеристик малоциклового усталости материалов различных зон сварных соединений при нормальной и повышенной температурах.- Каунас: КПИ, 1971.-192с.
4. **Даунис М.** (Руководитель темы). Отчет научно исследовательской работы. Испытание образцов с различными технологическими дефектами на малоцикловую усталость при нормальной температуре. - Каунас: КПИ, 1971.-177с.
5. **Даунис М.** (Руководитель темы). Отчет научно исследовательской работы. Определение характеристик малоциклового усталости материалов различных зон сварных соединений при заданных амплитудах деформаций и напряжений с учетом циклической ползучести и нестационарного нагружения. - Каунас: КПИ, 1972.-254с.
6. **Даунис М.** (Руководитель темы). Отчет научно исследовательской работы. Исследование поведения при малоцикловом нагружении механически неоднородных соединений в условиях нормальной и повышенных температур. - Каунас: КПИ, 1974.-216с.
7. **Даунис М.** (Руководитель темы). Отчет научно исследовательской работы. Определение характеристик малоциклового усталости металлов сварных соединений при комнатных и служебных температурах с учетом неоднородности, технологических дефектов, нестационарности и деформационного старения. - Каунас: КПИ, 1976.-426с.
8. **Даунис М.** (Руководитель темы). Отчет научно исследовательской работы. Оценка характеристик сварных соединений при циклическом упруго-пластическом нагружении в условиях комнатных и повышенных температур. - Каунас: КПИ, 1978.-396с.
9. **Даунис М.** (Руководитель темы). Отчет научно исследовательской работы. Определение характеристик сопротивления деформированию и разрушению материалов и их сварных соединений при циклическом упруго-пластическом нагружении. - Каунас: КПИ, 1980.-325с.

10. **Даунис М.** (Руководитель темы). Отчет научно исследовательской работы. Исследование повреждения при малоцикловом нагружении конструкционных материалов и их сварных соединений с учетом конструктивно-технологических факторов. - Каунас: КПИ, 1982.-244с.
11. **Даунис М.** (Руководитель темы). Отчет научно исследовательской работы. Исследование надежности узлов энергетического оборудования с учетом воздействия конструкционных технологических и эксплуатационных факторов. - Каунас: КПИ, 1984.-Т.І 52с.,т.ІІ 54с, т.ІІІ 75с.
12. **Даунис М.** (Руководитель темы). Отчет научно исследовательской работы. Исследование сопротивления малоцикловому нагружению узлов энергетического оборудования с учетом воздействия конструкционных технологических и эксплуатационных факторов. - Каунас: КПИ, 1986.-т.1 70с.,т.ІІ 92с, т.ІІІ 125с
13. **Даунис М.** (Руководитель темы). Отчет научно исследовательской работы. Исследование сопротивления разрушению конструкционных материалов и их сварных соединений при малоцикловом нагружении с учетом воздействия конструкционных технологических и эксплуатационных факторов. - Каунас: КПИ, 1988.-242С
14. Каталог данных по механическим свойствам и расчетным характеристикам конструкционных материалов в области малоциклового усталости.- Москва, 1990.
15. **Manson, S. S.** Fatigue: a complex subject - some simple approximations. - Experimental Mechanics, 1965. - Vol.5, No7.- p. 193-276.
16. **Ленджер Б.** Расчет сосудов давления на малоцикловую долговечность. Техническая механика, 1962, No 3, с. 97 – 113.
17. **Bražėnas A.** Strength and low cycle fatigue of mechanically heterogeneous butt welded joints.-Kaunas:Technologija, 2002.-283 p.
18. **Степнов М. Н.** Статистические методы обработки результатов механических испытаний: Справочник. - Москва: Машиностроение, 1985.-232 с.
19. **Закс Л.** Статистическое оценивание. Пер. с нем. / Под. ред. Ю. П. Адлера, В. Г. Горского. - Москва: Статистика, 1976.-598с.
20. **Kaminskienė V.** Matematinės statistikos elementai. Mokymo priemonė 2 d. - Vilnius: MA Fizikos ir matematikos institutas, 1976.- 124p.
21. **Львовский Е. Н.** С Статистические методы построения эмпирических формул: Учеб. пособие. - Москва: Высшая школа, 1982.-224с.
22. **Mišėikis F.** Statistika ir ekonometrija. - Vilnius: Technika, 1997.-276p.
23. **Grigas A.** Radioelektroninės aparatūros inžinerinė sintezė ir analizė. - Kaunas: Technologija,

1992.- 214p.

PRIEDAI

1 priedas

ŠIAULIŲ UNIVERSITETAS
ŠIAULIAI UNIVERSITY

JAUNŲJŲ MOKSLININKŲ DARBAI

JOUNG RESEARCHERS' WORKS

4

Turinys

BIOMEDICININIAI MOKSLAI	4
<i>Roberta Balnytė, Martynas Kazlauskas, Ingrida Šaulienė.</i> Miglinių (<i>poaceae</i>) augalų žiedadulkių sezono Šiauliuose charakteristika	5
<i>Tatjana Bakanovienė, Danė Šlapkauskaitė, Vaclovas Vaitkevičius.</i> Saulės aktyvumas ir kai kurių infekcinių ligų epidemiologija Šiaulių mieste per 4 dešimtmečius	10
FIZINIAI MOKSLAI	16
<i>Inga Čakaitė, Renata Čukyte, Rasa Giedraitė, Neringa Jokubauskaitė.</i> Reguliarieji išsigimusių diferencialinių lygčių sistemos sprendiniai	17
<i>Inga Čakaitė, Donatas Jurgaitis.</i> Dalinių išvestinių sistemos su kvazireguliaruoju išsigiminiu sprendimas	20
<i>Gediminas Jankūnas, Jūratė Stionytė.</i> Potenciometrinis ir spektrofotometrinis metodai nitratų koncentracijai gamtiniuose vandenyse nustatyti	25
<i>Snieguolė Klimovičienė, Violeta Štekiene, Julija Sabataitytė.</i> Poretųjų n-GaAs:Cr sluoksnių morfologijos tyrimai	28
<i>Saulius Mitekevičius.</i> Šešių kvarkų sistemos kilminiai koeficientai	31
<i>Robertas Paeržauskas.</i> N-(4-alkoksifenil)-n-karboksi-β -alaninų hidrazidų ir jų darinių sintezė	35
<i>Jurgita Skintė, Jūratė Stionytė.</i> Fluoridų koncentracijos geriamame vandenyje ir maiste nustatymas potenciometrinio metodu	40
<i>Marijus Vaičiulis.</i> SUB ^{DM} – stabilus atsitiktiniai vektoriai	44
TECHNOLOGIJOS MOKSLAI	48
<i>Stanislovas Bartkus, Raimondas Šniuolis.</i> Parameters of Low Cycle Fatigue Curves and Lifetime at Low Cycle Straining for Welded Joint Materials at Elevated Temperature	49
<i>Gintas Bogušis, Vaidotas Stravinskas, Ričardas Viktoras Ulozas.</i> Rolamaitinių vibrovartiklių dinamikos tyrimai	54
<i>Dalia Čikotienė.</i> Modelling Customer Requirements for Product Decelopment on the Web Site	60
<i>Dainius Janušonis, Kazys Šleževičius, Jonas Roličius, Antanas Špokas.</i> Įtempimų koncentracija nedidelėmis aikštelėmis gniuždomose plokštėse-sienutėse	67
<i>Diana Kopūstienė, Saulius Cigas, Raimondas Šniuolis.</i> Parameters of Low Cycle Loading Curves for Welder Joint Materials at Elevates Temperature	70
<i>Laura Ostrauskaitė, Raimondas Šniuolis.</i> Methods of Statistical Verifications of Low Cycle Fatigue Parameters and Mechanical Characteristics for Structural Materials	74
<i>Asta Slotkienė, Kazys Baniulis.</i> Elektroninės laboratorijos prototipo sudarymo aspektai	78
<i>Tomas Tubis, Vitalijus Skačkovas.</i> Siurblio riedėjimo guolių paviršių kontaktinis kokybės tyrimas	83
<i>Tomas Tubis, Vitalijus Skačkovas.</i> Vandens siurblių mazgų funkcionavimo ir kokybės kitimo sąlygų analizė	86
Apie autorius	90
Reikalavimai mokslo darbams, publikuojamiems leidinyje „Jaunųjų mokslininkų darbai“	93

METHODS OF STATISTICAL VERIFICATION OF LOW CYCLE FATIGUE PARAMETERS AND MECHANICAL CHARACTERISTICS FOR STRUCTURAL MATERIALS

Laura Ostrauskaitė, Raimondas Šniuolis
 Šiaulių universitetas, Technologijos fakultetas

Introduction

Accidental errors are inevitable in the determination of the cycle and mechanical characteristics of structural materials. That is why the investigation results are accidental and analysed by the means of statistical methods. The use of statistical methods includes analysis of literature about test methods and treatment of experimental data. This deals with the issues of many authors, but the investigators need clear and practical material.

The purpose of this work is to propose consequent methods of statistical treatment of investigation results by the means of the main computation methods.

Methods of statistical verification

Scientific method of investigation includes:

1. Accumulation of data, its analysis must answer the main question of research;
2. Choice of a proper statistical method for the analysis of the results and capability to use it;
3. Correct interpretation of obtained results.

Statistical analysis of investigation results was fulfilled in order to compute approximating curve $y = f(x)$ of dependence of cyclic A_1 , α , \bar{s}_T , m_i , C_c , m_f , C_f and static $(\sigma_u / \sigma_e)_{\mu}$ characteristics one upon another. In order to perform the analysis of the investigation results properly and obtain mathematically reliable empirical dependencies, the main computations were fulfilled:

1. Exclusion of the distinctly distinguishing results.

These criteria are offered:

Smirnov's criterion [1], when empirical mean \bar{x} and standard deviation s are known. After exclusion of distinguishing parameters, new values \bar{x} and s of sample $n - 1$ are corrected.

Dixon's criterion. When $n \leq 25$, the values are rejected simply and quickly (with sufficient precision) by means of special tables [2]. Another Dixon's method suggests 3–6% rejection of the distinguishing values from both sides.

Student's criterion. There are some methods of calculation, when $n \leq 25$ and $n \leq 500$ [1, 2].

Windsor's criterion, when the distinguishing value is substituted by adjacent value [2].

2. Statistical verification of accidence and independence [3].

These criteria are used:

Series criterion, when *sample median* is used (the change of “+” or “-” signs must be accidental).

Rising and falling series criterion (the number of series in sequence of signs mustn't be small and series not long).

Criterion of square consecutive differences (is stronger then mentioned criteria).

3. Verification of the hypothesis of normal distribution.

These criteria are used:

Mean absolute deviation ($n < 120$) [2, 4]. It lowers the influence of the extreme values.

Approximate normal criterion [1] is used, when exponents of asymmetry and excess are computed.

Variation amplitude R ($3 < n < 1000$) [2, 4]. It is used for the rapid verification of the hypothesis of normal distribution.

Shapiro and Wilk's compatibility criterion W ($n \leq 50$) [1]. This criterion rejects the false hypothesis with greater probability.

Pearson's compatibility criterion χ^2 [1, 2, 4]. The quality of criterion χ^2 is its universal handling, but it is recommended to supply the verifying with another criteria.

χ^2 *criterion*, when exponents of asymmetry and excess are used [1, 2]. It is more objective, then the approximate normal criterion.

Kolmogorov's and Smirnov's compatibility criterion D [4]. It determines the deviation of form distribution from the normal distribution law, when the amount of data is small, but it is less confident, when parameters of theoretical law are obtained from investigation results.

Compatibility criterion ω^2 ($50 \leq n \leq 200$) [1]. It is stronger then χ^2 criterion, but its imperfection – a lot of time is spent for computation. There are

two statistics: Smirnov's; Anderson's and Darling's compatibility criteria ω^2 .

Coefficient of variation v (characteristic of dispersion) [1, 2, 4]. Normal distribution is verified, when $v = s/\bar{x} < 0.33$. In the other case the investigation results are not distributed according to normal law.

4. Correlation and regression analysis of investigation results [1, 2].

The purpose of correlational analysis is to characterize straight-line relation of accident values. The values of correlation coefficient r are in the interval $[-1; 1]$.

This problem can be solved in the limits of straight-line dependence of values, distributed according to normal law. When investigation results are not distributed according to normal law or the law is unknown, when correlation isn't straight-line and $n < 30$, nonparametric methods are used for investigation of dependences of accidental values. In this case Spearman's (r_s) or Kendall's (τ) coefficients are figured out. But if the sample is close to normal law, it is better to use parametrical methods, because they are more precise.

The purpose of regression analysis is to obtain the equation of regression and to evaluate its parameters. Standard of regression straight-line evaluation is standard error $S_{y/x}^2$. These evaluation errors are used to compute confidence intervals $[Y - S_{y/x}^2 t_{\alpha, n-2}; Y + S_{y/x}^2 t_{\alpha, n-2}]$. Obtained values are in these intervals.

5. Evaluation of adequacy of regression model.

When the equation of regression is determined and its parameters are evaluated, it is verified how precisely the obtained equation describes the investigation results, e.g. the adequacy of the equation of regression is verified. *F*-criterion (Fisher criterion) is used for this purpose [3-6]. If the hypothesis of adequacy isn't confirmed, superior degree equation of regression is used.

Computation results

Common number of distinctly distinguishing and hardly probable values, obtained by Smirnov's criterion and Dixon's method is shown in Table 1. Stochastic independence of investigation results was verified by series and consecutive differences criteria that confirmed: cyclic and static characteristics of structural materials are accident and independent values (Table 2).

Normality was verified by criteria *MAD*, *R* and *W*, when the level of significance $\alpha = 0.05$ and 0.1 (Table 3). When the equation of regression was determined and its parameters were evaluated, adequacy of non-straight-line (parabolic, hyperbolic, exponential, logarithmic, etc.) and straight-line regression was verified by *F*-criterion. As the investigation results in both cases were described similarly (Table 4), straight-line regression $Y = a + bx$ was chosen, where

$$y = (A_1, \alpha, \bar{s}_T, m_c, C_c, m_f, C_f), \quad x = (\sigma_u / \sigma_y) \psi.$$

Empirical straight-line regression and 95 percent confidence intervals (dotted lines) for theoretic regression are shown in Figs. 1-2. Verification results are shown in Table 5.

Table 1. Rejected distinguishing and hardly probable low cycle fatigue characteristics, %

Charac- teristics	1		2		3		4
	20°C	350°C	20°C	350°C	20°C	350°C	20°C
v	$(\sigma_u / \sigma_c) \psi$						
A_1	13 (38/33)	4 (25/24)	3 (71/69)	11 (37/33)	4 (28/27)	28 (14/10)	0 (28/28)
α	5 (38/36)	8 (25/23)	3 (71/69)	11 (37/33)	0 (28/28)	0 (14/14)	11 (28/25)
\bar{s}_T	0 (38/38)	4 (25/24)	3 (71/69)	5 (37/35)	11 (28/25)	14 (14/12)	11 (28/25)
m_c	3 (38/37)	17 (23/19)	1 (68/67)	9 (32/29)	4 (26/25)	27 (11/8)	5 (22/21)
C_c	23 (39/30)	22 (23/18)	6 (68/64)	31 (32/22)	12 (26/23)	27 (11/8)	9 (22/20)
m_f	3 (38/37)	4 (23/22)	1 (68/67)	6 (31/29)	15 (27/23)	8 (12/11)	15 (27/23)
C_f	21 (38/30)	22 (23/18)	7 (68/63)	31 (32/22)	7 (27/25)	25 (12/9)	19 (27/22)

- 1 – alloyed carbon steels; 2 – weld metals of alloyed carbon steels;
3 – stainless steels; 4 – weld metals of stainless steels.
- In the brackets: the quantity of low cycle fatigue characteristics before rejection is given in numerator and the quantity of low cycle fatigue characteristics after rejection is given in denominator

Table 2. Statistical accident and independence of low cycle characteristics, %

Criterion	<i>n</i>	A_1, α, \bar{s}_T	$(\sigma_u / \sigma_e) \psi$	<i>n</i>	m_c, C_c, m_f, C_f	$(\sigma_u / \sigma_e) \psi$
Series criterion, when sample median is used	21	91	100	28	93	100
Rising and falling series criterion	21	100	100	28	100	100
Criterion of square consecutive differences	21	100	100	28	100	100

Table 3. Criteria for the verification of normality and conformation of sample normal distribution, %,

Criterion	A_1, α, \bar{s}_T	m_c, C_c, m_f, C_f	m_c, C_c, m_f, C_f	$(\sigma_u / \sigma_e) \psi$
<i>MAD</i>	95	95	93	93
<i>R</i>	86	67	71	54
<i>W</i>	89	68	83	67

Table 4. Adequacy of dependence of alloyed carbon steels parameter α on modified plasticity at room temperature, %

Regression	$y = a + \frac{b}{x}$	$y = \frac{x}{a + bx}$	$y = ab^x$	$y = a + b \lg x$	$y = a + bx + cx^2$
Adequacy	75	67	78	80	84
Regression	$y = ae^{\frac{b}{x}}$	$y = ae^{bx}$	$y = ax^b$	$y = a + bx$	$y = a + bx + c\sqrt{x}$
Adequacy	60	73	65	75	83

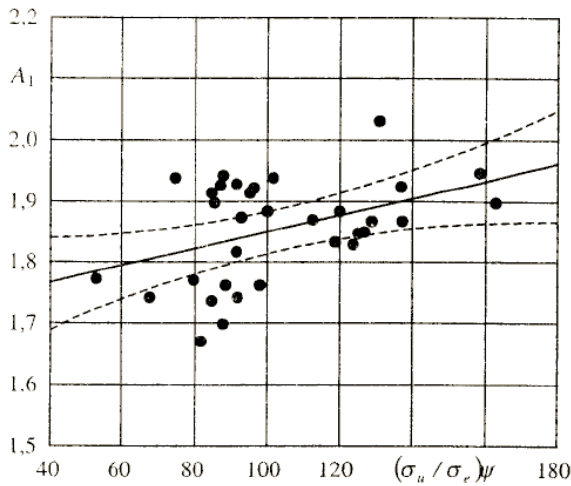


Fig. 1 Dependence of parameter A_1 on modified plasticity $(\sigma_u / \sigma_e) \psi$ for alloyed carbon steels at room temperature and 95 percent confidence intervals (dotted lines)

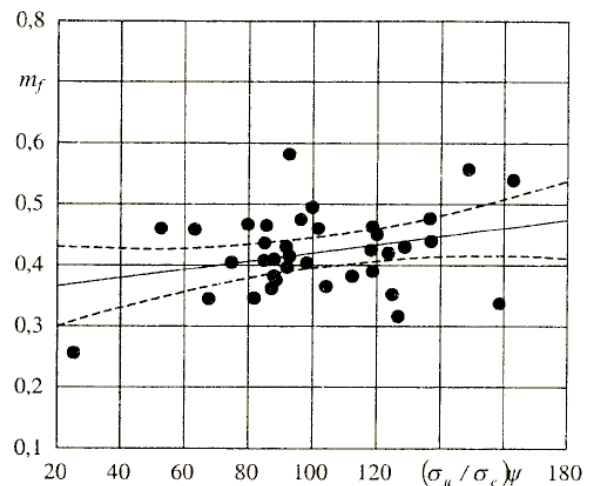


Fig. 2 Dependence of parameter m_f on modified plasticity $(\sigma_u / \sigma_e) \psi$ for alloyed carbon steels at room temperature and 95 percent confidence intervals (dotted lines)

Table 5. Reliability of straight-line regression $y = a + bx$ of cyclic characteristics towards modified plasticity, %

Charac- teristics	1		2		3		4
	20°C	350°C	20°C	350°C	20°C	350°C	20°C
A_1	70	50	50	70	50	80	50
α	75	70	50	80	95	50	75
\bar{s}_f	50	80	50	75	99	50	50
m_c	70	85	50	50	50	90	70
C_c	60	90	50	50	70	50	80
m_f	50	70	50	75	50	80	80
C_f	69	85	50	55	70	85	80

1 – alloyed carbon steels; 2 – weld metals of alloyed carbon steels;
3 – stainless steels; 4 – weld metals of stainless steels

Conclusion

Concrete mathematical methods and their application, offered in our work, include all main calculating types, guaranty theoretical background and reliability of conclusions, allow to estimate mathematically reliable relationships.

References

1. Степнов М. Н., 1985, *Статистические методы обработки результатов механических испытаний*. Справочник. Москва: Машиностроение.
2. Закс Л., 1976, *Статистическое оценивание*. Москва: Статистика.
3. Kaminskiene V., 1976, *Matematinės statistikos elementai. Mokyto priemonė, 2 d.* Vilnius: MA Fizikos ir matematikos institutas.
4. Львовский Е. Н., 1982, *Статистические методы построения эмпирических формул*. Москва: Высшая школа.
5. Mišeikis F., 1997, *Statistika ir ekonometrija*. Vilnius: Technika.
6. Grigas A., 1992, *Radioelektroninės aparatūros inžinerinė sintezė ir analizė*. Kaunas: Technologija.

METHODS OF STATISTICAL VERIFICATION OF LOW CYCLE FATIGUE PARAMETERS AND MECHANICAL CHARACTERISTICS FOR STRUCTURAL MATERIALS

Laura Ostrauskaitė, Raimondas Šniuolis

Summary

The use of a consecutive and simple method of statistical analysis of the scientific research results is proposed in this work. By the means of this statistical method reliable conclusions are obtained and mathematically reliable relationships are available. Scientific research results of low cycle straining, obtained in KTU low cycle fatigue laboratory, are analysed by the means of these statistical methods.

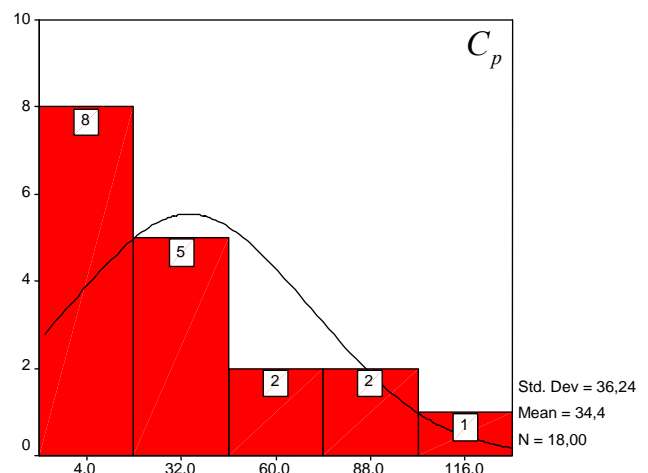
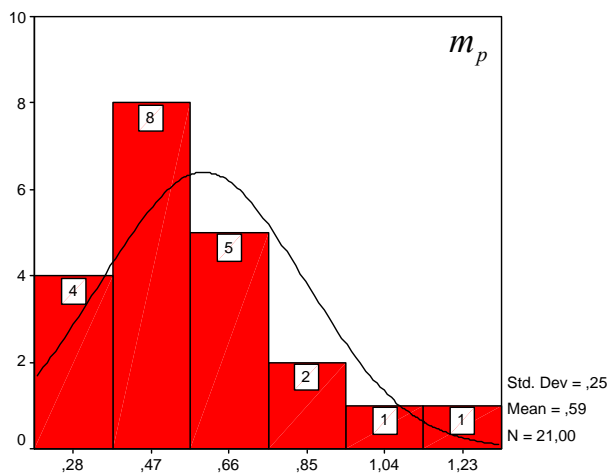
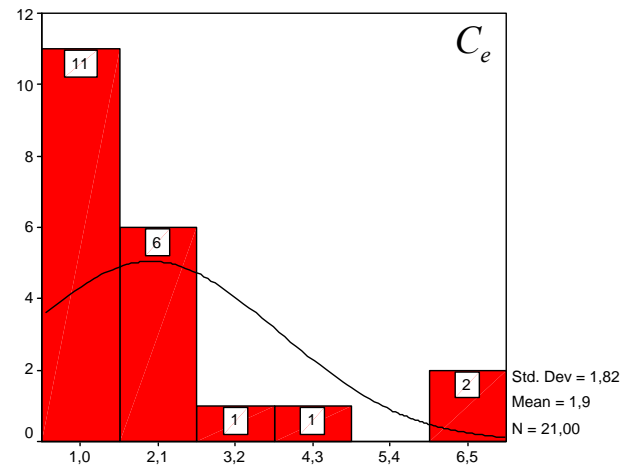
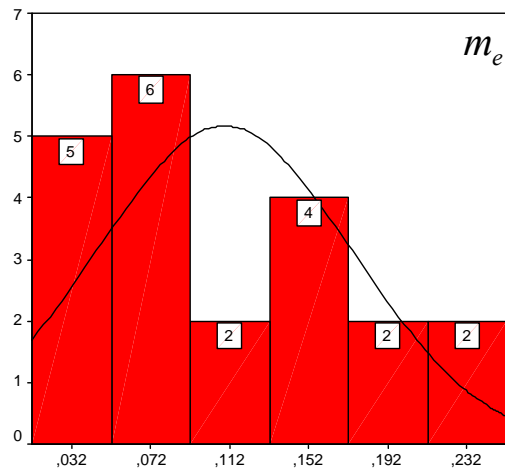
Key words: stistical verification, low cycle fatigue, mechanical characteristic, structural material.

Įteikta 2004-09-24

Suirimo kreivės parametru ir modifikuoto plastiškumo pasiskirstymo pagal normalųjį dėsnį tikrinimas

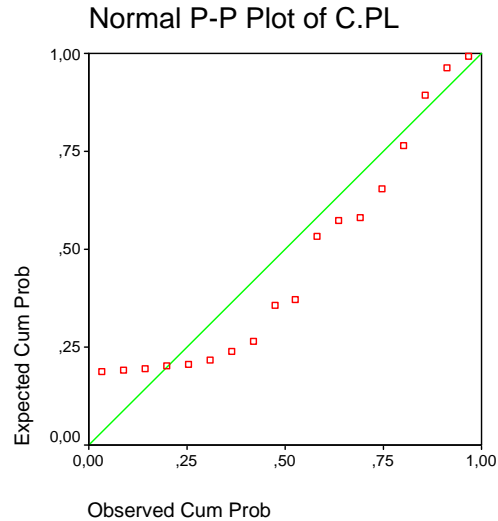
		C_p	m_p	C_e	m_e	$(\sigma_u/\sigma_y)W$
N	Valid	18	21	21	21	21
	Missing	3	0	0	0	0
Mean		34,3539	,5922	1,9490	,1093	,9410
Std. Error of Mean		8,5420	5,425E-02	,3974	1,412E-02	,1072
Median		21,8150	,5560	1,2200	8,900E-02	1,0700
Mode		1,96 ^a	,56	,96	,02 ^a	,29 ^a
Std. Deviation		36,2405	,2486	1,8212	6,470E-02	,4912
Variance		1313,3722	6,180E-02	3,3168	4,187E-03	,2413
Skewness		1,235	1,102	1,849	,670	,518
Std. Error of Skewness		,536	,501	,501	,501	,501
Kurtosis		,814	1,220	2,615	-,477	,176
Std. Error of Kurtosis		1,038	,972	,972	,972	,972
Range		121,04	1,01	6,23	,23	1,87
Minimum		1,96	,23	,52	,02	,29
Maximum		123,00	1,24	6,75	,25	2,16
Sum		618,37	12,44	40,93	2,30	19,76

a. Multiple modes exist. The smallest value is shown

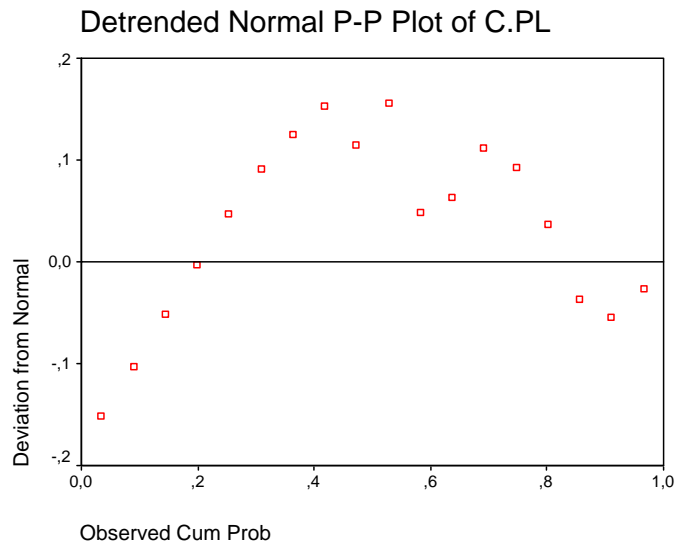


Uždavinys: Hipotezės tikrinimas ar korozijai ir karščiui atsparaus plieno suvirinimo siūlių medžiagų suirimo kreivės parametro C_p skirstinys yra normalusis.

Iš santykinų dažnių histogramos ir normaliojo skirstinio kreivės matyti, kad empirinis skirstinys C_p artimas normaliajam.



Parametro C_p empirinio skirstinio ir teorinio skirstinio funkcijų palyginimo grafikas



Parametro C_p empirinio skirstinio ir teorinio skirstinio funkcijų didžiausių skirtumų grafikas

Išvada.

1. Empirinio skirstinio taškai ne visiškai sutampa su teorinio skirstinio tiese;
2. Didžiausių skirtumų grafike matome, kad skirtumų skaitinės reikšmės nėra didelės, tačiau iš jų negalime spręsti apie normalumą.

Suirimo kreivės parametrų skirstinių normalumą tikrinsime Kolmogorov ir Smirnov metodu. Šis metodas taikomas tikrinant suderinamumo hipotezę H^0 : atsitiktinio dydžio X skirstinio funkcija yra teorinio skirstinio funkcija $F(x)$.

Pasirenkame reikšmingumo lygmenį $\alpha=0,1$ ir $\alpha=0,05$.

Hipotezės tikrinimas Kolmogorov ir Smirnov metodu

One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test

		C.PL
N		18
Normal Parameters ^{a,b}	Mean	34,3539
	Std. Deviation	36,2405
Most Extreme Differences	Absolute	,186
	Positive	,183
	Negative	-,186
Kolmogorov-Smirnov Z		,788
Asymp. Sig. (2-tailed)		,564

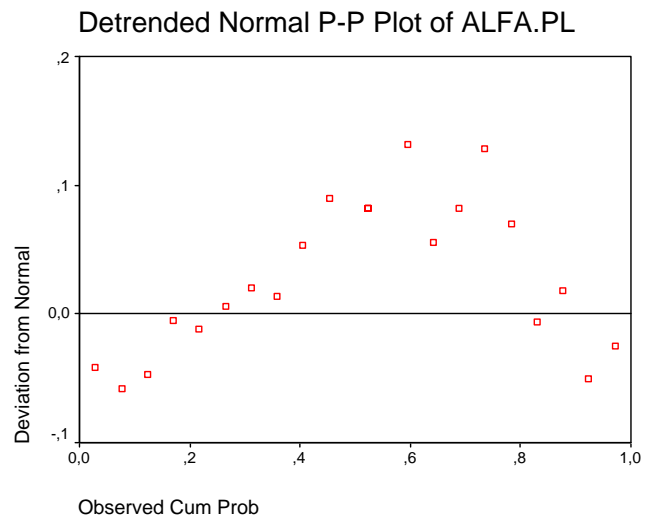
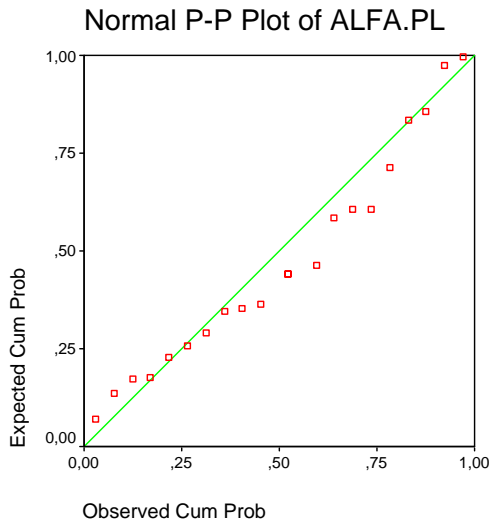
a. Test distribution is Normal.

b. Calculated from data.

Kolmogorov ir Smirnov $Z=0,788$, $p=0,564$. Kadangi $p=0,564 > \alpha=0,1$ bei $p=0,564 > \alpha=0,05$, tai abiem atvejais atmesti H^0 nėra pagrindo.

Išvada. Su 95% ir 90% tikimybe galime teigti, kad korozijai ir karščiui atsparaus plieno suvirinimo siūlių medžiagų suirimo kreivės parametras C_p yra normalusis.

Uždavinys: Hipotezės tikrinimas ar korozijai ir karščiui atsparaus plieno suvirinimo siūlių medžiagų suirimo kreivės parametro m_p skirstinys yra normalusis.



Hipotezės tikrinimas Kolmogorov ir Smirnov metodu

One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test

		ALFA.PL
N		21
Normal Parameters ^{a,b}	Mean	,5922
	Std. Deviation	,2486
Most Extreme Differences	Absolute	,156
	Positive	,156
	Negative	-,087
Kolmogorov-Smirnov Z		,716
Asymp. Sig. (2-tailed)		,684

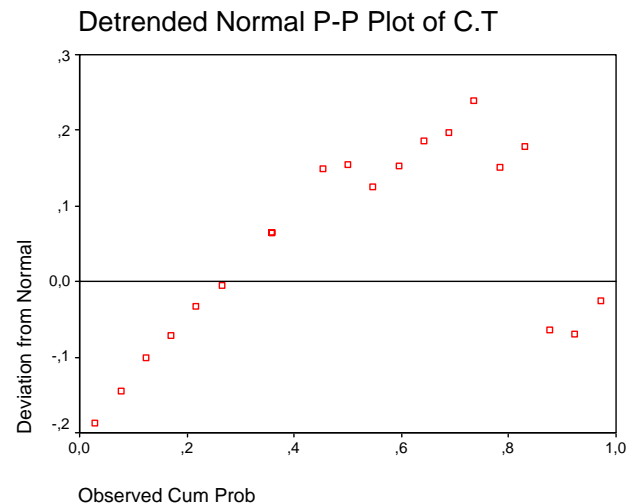
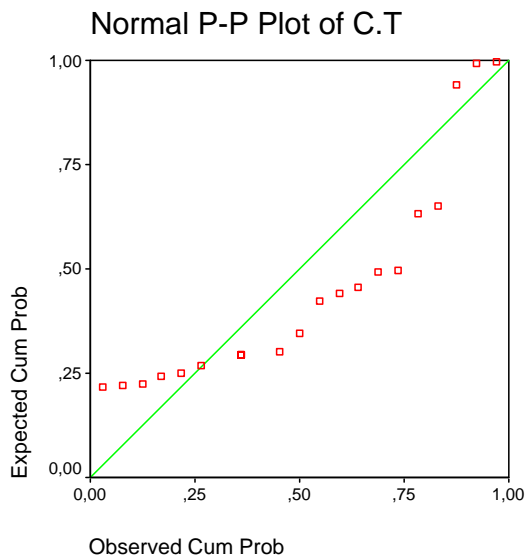
a. Test distribution is Normal.

b. Calculated from data.

Kolmogorov ir Smirnov $Z=0,716$, $p=0,684$. Kadangi $p=0,684 > \alpha=0,1$ bei $p=0,684 > \alpha=0,05$, tai abiem atvejais atmesti H^0 nėra pagrindo.

Išvada. Su 95% ir 90% tikimybe galime teigti, kad korozijai ir karščiui atsparaus plieno suvirinimo siūlių medžiagų suirimo kreivės parametro m_p skirstinys yra normalusis.

Uždavinys: Hipotezės tikrinimas ar korozijai ir karščiui atsparaus plieno suvirinimo siūlių medžiagų suirimo kreivės parametro C_e skirstinys yra normalusis.



Hipotezės tikrinimas Kolmogorov ir Smirnov metodu

One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test

		C.T
N		21
Normal Parameters ^{a,b}	Mean	1,9490
	Std. Deviation	1,8212
Most Extreme Differences	Absolute	,266
	Positive	,266
	Negative	-,216
Kolmogorov-Smirnov Z		1,219
Asymp. Sig. (2-tailed)		,102

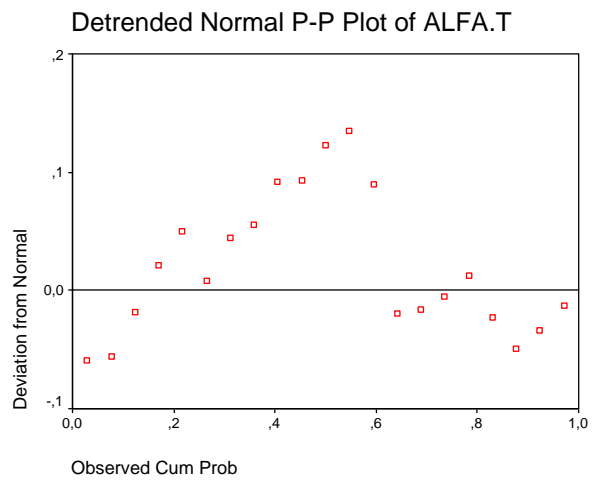
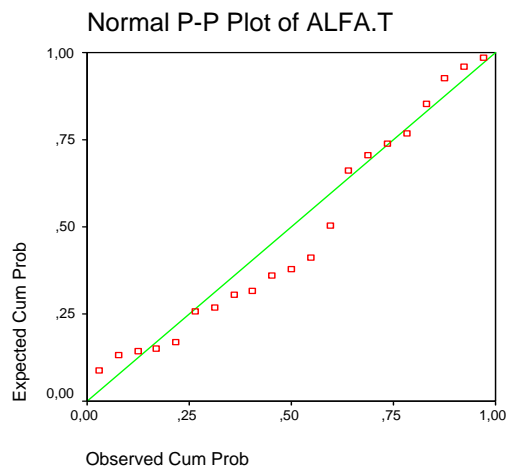
a. Test distribution is Normal.

b. Calculated from data.

Kolmogorov ir Smirnov $Z=1,219$, $p=0,102$. Kadangi $p=0,102 > \alpha=0,1$ bei $p=0,102 > \alpha=0,05$, tai abiem atvejais atmesti H^0 nėra pagrindo.

Išvada. Su 95% ir 90% tikimybe galime teigti, kad korozijai ir karščiui atsparaus plieno suvirinimo siūlių medžiagų suirimo kreivės parametro C_e skirstinys yra normalusis.

Uždavinys: Hipotezės tikrinimas ar korozijai ir karščiui atsparaus plieno suvirinimo siūlių medžiagų suirimo kreivės parametro m_e skirstinys yra normalusis.



Hipotezės tikrinimas Kolmogorov ir Smirnov metodu

One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test

		ALFA.T
N		21
Normal Parameters ^{a,b}	Mean	,1093
	Std. Deviation	6,470E-02
Most Extreme Differences	Absolute	,159
	Positive	,159
	Negative	-,089
Kolmogorov-Smirnov Z		,728
Asymp. Sig. (2-tailed)		,665

a. Test distribution is Normal.

b. Calculated from data.

Kolmogorov ir Smirnov $Z=0,728$, $p=0,665$. Kadangi $p=0,665 > \alpha=0,1$ bei $p=0,665 > \alpha=0,05$, tai abiem atvejais atmesti H^0 nėra pagrindo.

Išvada. Su 95% ir 90% tikimybe galime teigti, kad korozijai ir karščiui atsparaus plieno suvirinimo siūlių medžiagų suirimo kreivės parametro m_e skirstinys yra normalusis.

One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test

		C.PL	ALFA.PL	C.T	ALFA.T
N		18	21	21	21
Normal Parameters ^{a,b}	Mean	34,3539	,5922	1,9490	,1093
	Std. Deviation	36,2405	,2486	1,8212	6,470E-02
Most Extreme Differences	Absolute	,186	,156	,266	,159
	Positive	,183	,156	,266	,159
	Negative	-,186	-,087	-,216	-,089
Kolmogorov-Smirnov Z		,788	,716	1,219	,728
Asymp. Sig. (2-tailed)		,564	,684	,102	,665

a. Test distribution is Normal.

b. Calculated from data.

Išvada. Su 95% ir 90% tikimybe galime teigti, kad korozijai ir karščiui atsparaus plieno suvirinimo siūlių medžiagų suirimo kreivės parametrai yra pasiskirstę pagal normalųjį dėsnį (panaudojus Kolmogorov ir Smirnov suderinamumo kriterijų).