

ELEKTROMECHANIŠKAI SUKIETINTO PAVIRŠIAUS ĮTAKA PLIENO 45 MAŽACIKLIO LENKIMO CHARAKTERISTIKOMS

Aleksej Charčenko, Artūras Sabaliauskas, Sergėjus Rimovskis
Šiaulių universitetas, Technologijos fakultetas

Įvadas

Dažniausiai pasitaikantis apkrovos tipas, eksploatuojant konstrukcijas, mechanizmus ir mašinas, yra ciklinė apkrova, kuriai veikiant formuojasi nuovargio židiniai. Ji charakteringa aviacinei ir raketinei technikai, įvairių tipų varikliams, transportui ir kitiems įrenginiams. Metalui netikėtai dėl nuovargio suirus gali įvykti avarijos su sunkiai prognozuojamomis pasekmėmis.

Šios problemos išlieka aktualios ir dabar, nors metalų ciklinio deformavimo problemos tiriamos daug metų. Realiomis sąlygomis, kai kurios mašinų ir įrengimų detalės dirba esant tamprioms plastinėms ciklinėms apkrovoms. Detalių gamybai parenkant medžiagas ir technologinius procesus, atsižvelgiama į pageidaujamą detalių ilgaamžiškumą. Tam reikia žinoti medžiagų savybes ir jų charakteristikų kitimo dėsnius, esant įvairiems apkrovų tipams periodiškai kintančių tampriai plastinių deformacijų zonose.

Dažnai reikia pasiekti reikiamą atskirų detalės zonų atsparumą dilimui arba ilgaamžiškumą, esant ciklinėms apkrovoms. Tokiu atveju detalės paviršius sukietinamas, jos šerdį paliekant minkštą. Yra žinoma daug būdų detalių paviršiams sukietinti. Vienas iš efektyvių būdų, didinančių detalių ilgaamžiškumą, yra detalių paviršinio sluoksnio sustiprinimas, nes irimas daugeliu atvejų prasideda kaip tik paviršiuje dėl perkrovų, sumažėjusio pasipriešinimo plastinėms deformacijoms ar veikiant darbinei terpei. Vienas iš paviršiaus sustiprinimo būdų yra elektromechaninis apdirbimas (EMA).

Realiomis eksploatavimo sąlygomis dalis mechanizmų detalių yra cikliška lenkiamos. Prie tam tikrų įrengimų darbo režimų galimi trumpalaikiai įrengimų perkrovimai (pvz., vagonų šasi

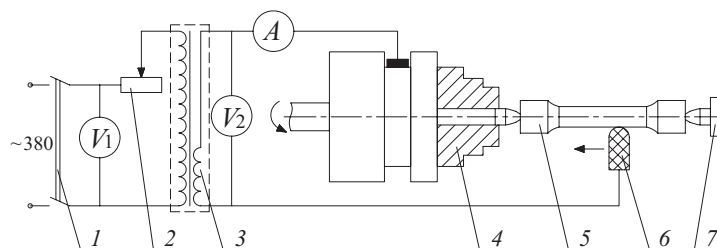
ašyse, sijinių kranų, telferių ašyse ir kt.). Esant sukietinto sluoksnio tampriai plastiniam deformavimui, jame susidaro mikroįtrūkimai, kurie laikui bėgant didėja. Dėl jų poveikio gali sumažėti detalių ilgaamžiškumas, t. y. atsirasti mažaciklis nuovargis.

Darbo tikslas – nustatyti elektromechaniškai sukietinto plieno 45 apvalaus skerspjūvio bandinių mažaciklio nuovargio charakteristikas, esant grynajam lenkimui.

1. Elektromechaninio apdirbimo metodika ir priemonės

Elektromechaniškai stiprinant paviršius, jis veikiamas koncentruotu šiluminiu srautu ir deformuojamas plastiškai. Toks poveikis į detalės paviršius yra EMA technologijos pagrindas. Koncentruotas šilumos srautas gaunamas tekant elektros srovei grandine *įrankis – detalė*. Dėl didelio srovės stiprio (100 ... 2500 A) paviršius gali būti įkaitinamas per 900°C temperatūros. Tokia temperatūra yra pakankama austenitiniams virsmui įvykti. Kaitinant ir deformuojant paviršius, labai susmulkinama plieno mikrostruktūra. Kadangi procesas spartus, nespėja pasireikšti rekristalizacija, gaunamas specifinis smulkiagrūdis sustiprinto paviršiaus „baltasis“ sluoksnis.

Detalėms apdirbti dažniausiai naudojamos tekinimo staklės (atsižvelgiant į paviršiaus formos pobūdį, gali būti naudojamos ir kito tipo staklės). Sukietintam paviršiui gauti eksperimento metu naudota KTU esanti EMA įranga, pritaikyta tekinimo staklėms [1]. Principinė įrenginio schema pavaizduota 1 paveiksle.



1 pav. EMA tekinimo staklėse elektromechaninė schema:

- 1 – įtampos jungiklis, 2 – reostatas, 3 – įtampos žeminantis transformatorius, 4 – griebtuvas,
5 – apdirbama detalė, 6 – specialus kietlydinio T15K6 plokštelės prispaudimo įtaisas, 7 – arklukas

Naudojant EMA, vienu metu vyksta du procesai: paviršinio sluoksnio kietinimas ir paviršiaus nelygumų lyginimas.

Nuo EMA režimų priklauso „baltojo“ sluoksnio storis bei jo mikrokietumas H_{μ} . Atsižvelgiant į kitų autorių patirtį [1–4], elektromechaninio kietinimo metu buvo taikyti tokie režimai:

- 1) kietydinio T15K6 plokštelės prispaudimo jėga $F = 400$ N;
- 2) bandinio apsisukimai $n = 250$ r/min;
- 3) apdirbimo greitis $v = 7,85$ m/min;
- 4) įrankio pastūma $s = 0,11$ mm/r;
- 5) elektros srovės stipris $I = 220$ A;
- 6) praėjimų skaičius $i = 2$.

2. Grynojo lenkimo metodika ir priemonės

Bandinio deformavimas grynuoju lenkimu atliktas 50 kN tempimo-gniuždymo bandymų mašina, kurios griebtuose papildomai buvo sumontuotas specialus įrenginys, skirtas lenkiamam bandiniui įtvirtinti [5].

Atlikus statinio tempimo bandymus, buvo nustatytos mechaninės plienų charakteristikos, kurios pateiktos 1 lentelėje.

1 lentelė. *Plienų mechaninės savybės*

σ_{pr} , MPa	$R_{p0,2}$, MPa	R_m , MPa	σ_f , MPa	e_{pr} , %	e_{us} , %	Z, %
Plienas 45						
375	544	786	882	0,22	29	36
Plienas 45 po EMA						
424	580	842	769	0,24	19	19

Plienas 45 ir plienas 45 po EMA yra cikliškai nestabilios (cikliškai silpnėjančios), vienpusės plastinės deformacijos kaupimą patiriančios medžiagos. Jų ciklinių charakteristikų priklausomybėms nuo apkrovimo būdo nustatyti buvo atlikti mažaciklio grynojo lenkimo simetrinio minkšto apkrovimo eksperimentiniai tyrimai.

Atliekant mažaciklį minkštą grynojo lenkimo eksperimentinį tyrimą, ribojamas apkrovos dydis. Deformacijos lieka nesuvaržytos ir medžiagoje gali vykti tiek cikliniai, tiek kvazistaciniai pažeidimai. Suvaržius apkrovos dydį, esant tempimo-gniuždymo atvejui, pažeidimai pasiskirsto visame skerspjūvyje, o grynojo lenkimo metu – tik labiausiai deformuojamuose paviršiniuose sluokniuose.

Iš aukščiau paminėtų faktų, galima daryti išvadą, kad histerezės kilpos pločio kitimo aprašymas yra labai svarbus įvertinant kiekybinį

medžiagos mažaciklį ilgaaamžiškumą. Cikliškai anizotropinių medžiagų histerezės kilpos pločiai lyginami ir nelyginiami puscikliams yra nevienodi: lyginio pusciklio histerezės kilpos plotis yra didesnis nei nelyginio. Tada tampriai plastinės histerezės kilpos plotis k pusciklyje [6]:

$$\bar{\delta}_k = A_{1,2} \left(\bar{e}_0 - \frac{\bar{s}_T}{2} \right) k^\alpha, \quad (1)$$

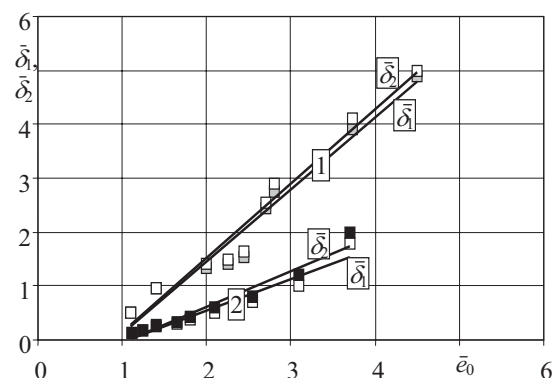
čia: A_1 ir A_2 – medžiagos ciklinę anizotropiškumą įvertinančios konstantos, nelyginių pusciklų kilpos pločio skaičiavime naudojama A_1 , lyginių A_2 , \bar{e}_0 – nulinio pusciklio pradinė santykinė deformacija, \bar{s}_T – ciklinė proporcingumo riba, k – apkrovimo pusciklio numeris, α – laipsnio rodiklis, kuris charakterizuoja medžiagų ciklines savybes, t. y. stiprėjimą, silpnėjimą, stabilumą.

3. Rezultatai

Parametrai A_1 ir A_2 apibrėžia plieno 45 ir plieno 45 po EMA pirmojo ir antrojo pusciklų kilpos pločius $\bar{\delta}_1$ ir $\bar{\delta}_2$. Konstantoms A_1 ir A_2 nustatyti pagal eksperimentinius mažaciklio minkšto grynojo lenkimo duomenis sudaroma grafinė priklausomybė $\bar{\delta}_{1,2} = f(\bar{e}_0)$ ir gaunama:

$$A_{1,2} = \frac{\bar{\delta}_{1,2}}{\left(\bar{e}_0 - \frac{\bar{s}_T}{2} \right)}. \quad (2)$$

Įvairius apkrovimo lygius atitinkančios grynojo lenkimo diagramų histerezės kilpos pločių $\bar{\delta}_1$, $\bar{\delta}_2$ reikšmės pateiktos 2 paveiksle.

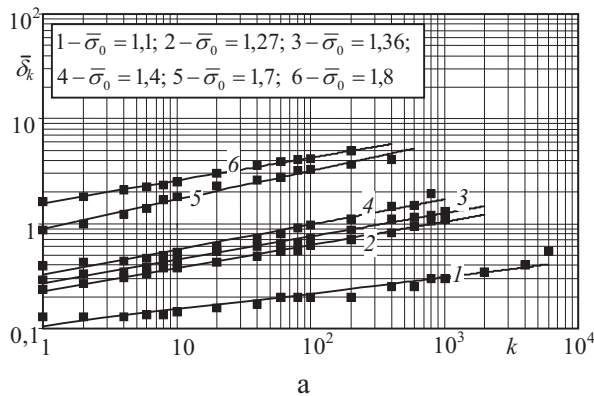


2 pav. Histerezės kilpos plotis po pirmo ir antro pusciklio plienui 45 (1) ir EMA plienui 45 (2)

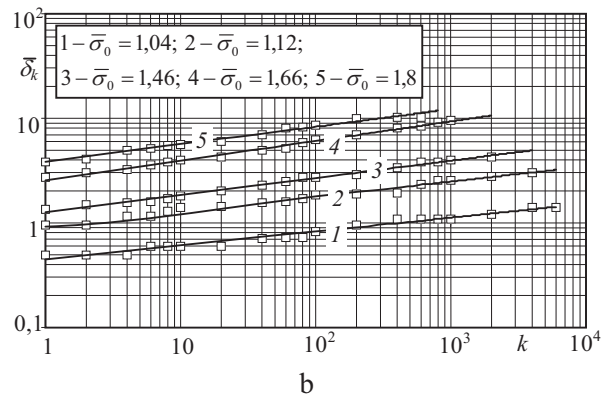
Pagal šiuos grafikus nustatytos plieno 45 ir plieno 45 po EMA mažaciklio grynojo lenkimo A_{b1} ir A_{b2} konstantų bei anizotropijos laipsnių ΔA_b reikšmės pateiktos 2 lentelėje.

2 lentelė. **Konstantų A_{b1} , A_{b2} reikšmės**

Plienas 45			Plienas 45 po EMA		
A_{b1}	A_{b2}	ΔA_b	A_{b1}	A_{b2}	ΔA_b
1,26	1,3	0,04	0,53	0,56	0,03



Eksperimentiniai mažaciklio minkšto simetrinio ciklo grynojo lenkimo tampriai plastinio deformavimo histerezės kilpos pločio kitimo priklausomybės nuo pusciklių skaičiaus grafikai pateikti 3 paveiksle. Šie duomenys gauti atlikus abiejų tipų bandymus įtempių srityse nuo $\bar{\sigma}_0 = 1,04$ iki $\bar{\sigma}_0 = 1,8$ grynojo lenkimo atveju. $\bar{\sigma}_0$ nustatytas taikant nekietinto plieno proporcingumo ribos įtempius.



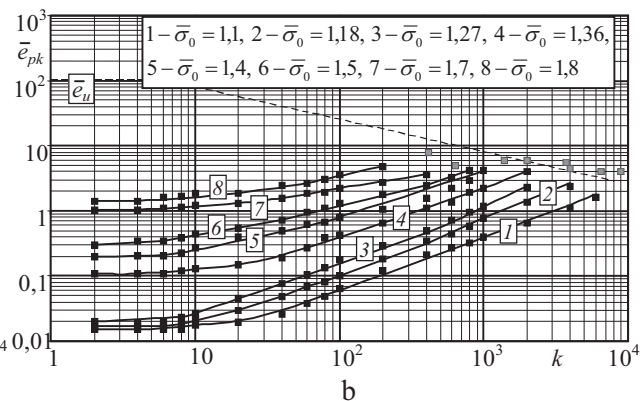
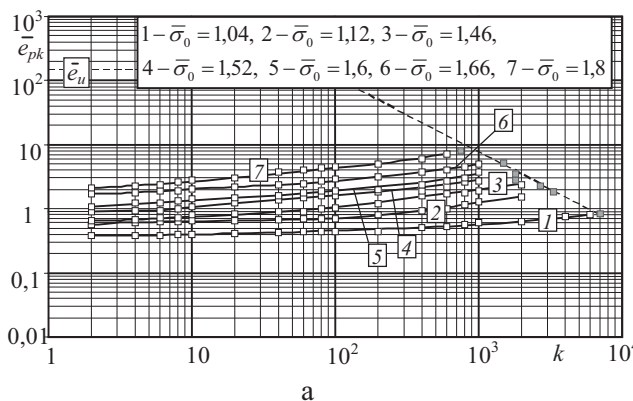
3 pav. Pusciklių skaičiaus k ir apkrovimo lygio $\bar{\sigma}_0$ įtaka tampriai plastinio deformavimo histerezės kilpos pločio kitimui: a – plieno 45, b – plieno 45 po EMA

Kaip buvo minėta, cikliškai anizotropinių medžiagų, kaupiančių vienpusę plastinę deformaciją tempimo kryptimi, histerezės kilpos plotis lyginiuose puscikliuose yra didesnis nei nelyginiuose, t. y. $\bar{\delta}_2 > \bar{\delta}_1$. Per k pusciklių sukaupta vienpusė plastinė deformacija simetrinio minkšto apkrovimo atveju užrašoma taip [6]:

$$\bar{e}_{pk} = \bar{e}_0 - \bar{\sigma}_0 + \sum_1^k (-1)^k \bar{\delta}_k \quad (3)$$

Kaip ir kilpos pločio $\bar{\delta}_k$ kitimo atveju, esant simetriniam mažacikliam apkrovimui, taip ir sukauptos vienpusės plastinės deformacijos \bar{e}_{pk} kiti-

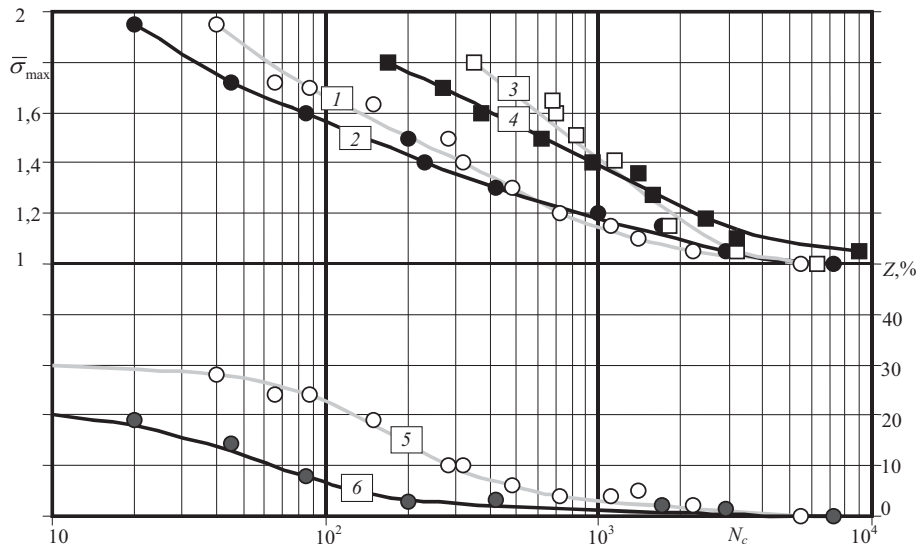
mo pobūdžiui, turi įtakos medžiagų konstantų A_1 , A_2 ir α reikšmės, kurios naudojamos skaičiuojant kilpos plotį $\bar{\delta}_k$. Iš (3) lygties matyti, kad sukaupta plastinė deformacija priklauso nuo santykinų pradinių įtempių $\bar{\sigma}_0$ ir deformacijų \bar{e}_0 . Eksperimentinės grynojo lenkimo kreivės $\bar{e}_{pk}(k)$ pateiktos 4 paveiksle. Šios kreivės patvirtina anksčiau darytą prielaidą, kad sukauptos vienpusės plastinės deformacijos dydis ir kitimo dėsnis priklauso nuo bandinį veikiančio apkrovimo tipo bei nuo medžiagos struktūrinės sudėties.



4 pav. Pusciklių skaičiaus k ir apkrovimo lygio $\bar{\sigma}_0$ įtaka eksperimentinei sukauptai vienpusėi plastinei deformacijai \bar{e}_{pk} : a – plieno 45, b – plieno 45 po EMA

Grynojo lenkimo atveju (4 pav.) vienpusė kaupimo deformacija kaupiama lėtai, o sukietinto plieno, esant įtempių amplitudei artimai proporcingumo ribai, šis kaupimas yra labai mažas. Iš pateiktų rezultatų matyti, kad mažaciklio grynojo lenkimo atveju labiau dominuoja nuovargio pažeidimo dedamoji, o vien tik kvazistatinis suirimas nevyksta net ir didelių įtempių srityje.

Plieno 45 po EMA bandinių sukaupta vienpusė plastinė deformacija $\bar{\epsilon}_{pk}$ yra mažesnė nei analogiškų, nekietintu paviršiumi bandinių, kadangi „baltasis“ sluoksnis dėl struktūrinių ryšių vienašališkumo su šerdimi stabdo jos skersines plastines deformacijas.



5 pav. Nesukietintų (1, 3, 5 kreivės) ir sukietintų (2, 4, 6 kreivės) bandinių mažaciklio nuovargio eksperimentinės kreivės (1, 2 tempiant-gniuždant; 3, 4 lenkiant; 5, 6 santykinis skerspjūvio susiaurėjimas)

5 pav. 1 ir 2 kreivės rodo mažaciklio tempimo-gniuždymo [7], o 3 ir 4 grynojo lenkimo eksperimentinius nuovargio taškus. Esant grynam lenkimui (lyginant su tempimu-gniuždymu), ilgaamžiškumas žymiai padidėja, nes vienpusės plastinės deformacijos kaupimą stabdo tampriai deformuojama bandinio šerdis. Tačiau čia, panašiai kaip ir tempimo-gniuždymo atveju, sukietintų bandinių ilgaamžiškumas, esant aukštiems apkrovimo lygiams, yra mažesnis už nesukietinto plieno bandinių ilgaamžiškumą (tiriamu atveju, kai $\bar{\sigma}_{max} > 1,3$) ir didesnis, kai $\bar{\sigma}_{max} < 1,3$. Šiuo atveju išaugus paviršinėms deformacijoms, gausėja pažeidimų šioje zonoje, nes pagreitėja mikroplyšių formavimasis ir mažėja bandinio ilgaamžiškumas. Pagrindinis sukietinto sluoksnio teigiamas vaidmuo, esant lenkimui, yra šerdies plastinių deformacijų stabdymas.

Išvados

1. EMA plieno A_{b1} ir A_{b2} konstantų bei anizotropijos laipsnio ΔA_b reikšmės yra mažesnės nei neapdoroto plieno.

2. Plieno 45 ir plieno 45 po EMA minkštojo grynojo lenkimo metu, sumažėjus vienpusės plastinės deformacijos kaupimui, sumažėja kvazistatinis pažeidimas. Realiose sąlygose cikliniu grynuoju lenkimu apkrautose detalėse kvazistatinis pažeidimas yra nedidelis. Tai būdinga tiek sukietintam, tiek nesukietintam plieniui.
3. Plieno 45 ir plieno 45 po EMA pasipriešinimas mažacikliam deformavimui nevienodas. Plieniui sukietintu paviršiumi sumažėja plastinės deformacijos $\bar{\epsilon}_{pk}$ kaupimas ir susiaurėja histerezės kilpų pločiai $\bar{\delta}_k$.
4. Nustatyta mažaciklio grynojo lenkimo atveju tirtu plieno elektromechaninio apdirbimo ilgaamžiškumo padidėjimo pradžia, kai amplitudiniai įtempiai $\bar{\sigma}_{max} \leq 1,3$.

Literatūra

1. Jutas A., Daunys M., 2000, Elektromechaninio paviršinio sukietinimo įtaka plieno 45 mažacikliam patvarumui. *Tarpt. konf. „Mechanika 2000“ pranešimų medžiaga*. P. 438–439. Kaunas: Technologija.

2. Jutas A., Daunys M., 2000, Elektromechaninio apdirbimo (EMA) įtaka plieno 45 mažaciklio deformavimo ciklinėms charakteristikoms ir ilgaamžiškumui. *Mechanika*. Nr. 5 (25). P. 5–10.
3. Daunys M., Markauskas S., Staponkus V., 2004, Investigation of Surface Quality for Small Diameter Elements after Electromechanical Treatment. *Mechanika*. Nr.1 (45). P. 63–68.
4. Staponkus V., Daunys M., Markauskas S., 2005, Influence of Electromechanical Treatment Regimes on Strength and Durability of Elements. *III Sympozjum Mechaniki Zniszczenia Materialow i Konstrukcji*. P. 393–396. Augustov: Politechnika Bialostocka.
5. Daunys M., Rimovskis S., 2002, Analysis of Low Cycle Loading Characteristics at Pure Bending. *Mechanika*. Nr. 5 (37). P. 5–9.
6. Daunys M., 2005, *Ciklinis konstrukcijų stiprumas ir ilgaamžiškumas*. Kaunas: Technologija. 288 p.
7. Sabaliauskas A., 2005, Influence of hardened surface on low cycle fatigue characteristics at tension compression. *Jaunųjų mokslininkų darbai*. Nr. 2 (6). P. 112–115.

INFLUENCE OF SURFACE HARDENING OF GRADE 45 STEEL ON LOW CYCLE BENDING CHARACTERISTICS

Aleksej Charčenko, Artūras Sabaliauskas, Sergėjus Rimovskis

Summary

The paper analyses electromechanical treatment for element surface hardening. During this treatment a high intensity electric current flows and the treatment tool contacts with the element. On the contact area a hardened “white” layer is composed. This paper analyses low cycle pure bending characteristics of specimens with electromechanically hardened surface. During cyclic stress limited pure bending at low loading levels both the width of plastic strain hysteresis loop and accumulated plastic strain are decreasing, therefore the lifetime is increasing. Under pure bending these tendencies persist, but in this case the lifetime at all loading levels is larger than the lifetime at tension compression.

Key words: low cycle fatigue, pure bending, electromechanical treatment.

ELEKTROMECHANIŠKAI SUKIJETINTO PAVIRŠIAUS ĮTAKA PLIENO 45 MAŽACIKLIO LENKIMO CHARAKTERISTIKOMS

Aleksej Charčenko, Artūras Sabaliauskas, Sergėjus Rimovskis

Santrauka

Straipsnyje analizuojamas detalių paviršių sukietinimo elektromechaniniu apdirbimu metodas. Koncentruotas šilumos srautas gaunamas tekant elektros srovei grandine įrankis–detalė. Kontakto vietoje susidaro sukietintas „baltasis“ sluoksnis. Darbe nagrinėtos bandinių su elektromechaniškai sukietintu paviršiumi mažaciklio gryojo lenkimo charakteristikos. Nustatyta, kad esant cikliniam minkštam lenkimui, sumažėja sukietinto bandinio histerezės kilpos plotis ir vienpusės sukauptos deformacijos dydis, o ilgaamžiškumas, esant žemiems apkrovimo lygiams, padidėja dėl sumažėjusio vienpusės deformacijos kaupimosi greičio.

Prasminiai žodžiai: mažaciklis nuovargis, grynas lenkimas, elektromechaninis apdirbimas.

Įteikta 2008-04-01