

## APVIRINTŲ PAVIRŠIŲ ABRAZYVINIO DILIMO Į ĮTVIRTINTĄ ABRAZYVĄ TYRIMAS

### THE ABRASIVE WEAR RESEARCH OF ARC WELDED SURFACES INTO EMBEDDED ABRASIVE

Vytenis Jankauskas, Remigijus Skirkus

Aleksandro Stulginskio universitetas,  
Studentų 11, LT-53361, Akademija, Kauno r.  
El. paštas vytenis.jankauskas@asu.lt

Narūnas Martinkus

Žemaitijos kolegija,  
L.Ivinskio 5, LT-90311 Rietavas  
El. paštas n.martinkus@zemko.lt

*Gauta 2011-11-30, pateikta spaudai 2011-12-29*

Išvystytos pramonės valstybėse atlikti tyrimai parodė, kad dėl dilimo pasaulyje kasmet patiriami milžiniški nuostoliai – iki 4 % bendrojo vidaus produkto. Nustatyta, kad investicijos į tribologinius tyrimus valstybei kasmet gali sutaupyti 1,0–1,4 % BVP.

Šiame darbe atlikti elektrolankiniu būdu apvirintų Fe–C–Si–Cr–Ti–B sluoksnių, abrazyvinio dilimo į įtvirtintą abrazyvą ( $Al_2O_3$ ) tyrimai. Nustatyta, kad apvirintų sluoksnių kietumas turi tiesioginę įtaką dilimui – kuo sluoksniai kietesni, tuo atsparumas dilimui didesnis. Paviršius intensyviai dyla pjaunant. Tai rodo didelę abrazyvo ir apvirinto sluoksnio kietumų skirtumų įtaką. Mažiausiai dilo mėginys turintis C – 1,6 %, Cr – 4,4 %, B – 0,56 %, Mn – 0,9 %, Si – 1,44 %, Ti – 0,59 % bei Fe – 90,2 %.

*Abrazyvinis dilimas, dilimas į įtvirtintą abrazyvą, apvirinti kietieji sluoksniai, atsparumas dilimui*

### Įvadas

Abrazyviniam dilimui tirti, vertinti ir mažinti skiriama daug dėmesio todėl, kad tai labiausiai paplitęs ir intensyvus dilimas. Šis dilimas sudaro didelius nuostolius, sunkiausiai nuspėjamas ir prognozuojamas.

Abrazyvinis dilimas būna ten, kur į trinties poras patenka abrazyvo dalelės, taip pat įdirbant dirvą, kasant, lyginant kelius ir kt. darbuose. Itin abrazyvi darbo terpė yra kalnakasybos pramonėje, kelių tiesimo bei statybos darbuose, žemės ūkyje arba kitaip tariant visur kur sąveikauja „mašina – gruntas“. Aktuali

abrazyvinio dilimo problema yra ir žemės ūkio darbuose, nes čia vyrauja abrazyvi aplinka ir dėl šio dilimo intensyviai dyla ne tik tiesioginį kontaktą su žeme turinčios mašinų detalės, bet ir kitos mašinų trinties poros. Labiausiai dyla agresyviausioje aplinkoje, t.y. tiesioginį kontaktą su dirva turinčios detalės: kaltai, noragai, diskai ir kt. Dylant keičiasi mašinų detalių konstrukciniai matmenys ir forma, todėl neišlaikomas darbinis gylis, didėja padargų pasipriešinimas traukai. Detalių matmenims pasiekus ribinę reikšmę, jos turi būti pakeistos naujomis arba restauruojamos [1]. Dirbant intensyvaus abrazyvinio dilimo sąlygomis išlaidos darbo dalims sudaro ženklus dydžius 2 – 3 Eur/ha [2].

Konstruktoriai, projektuodami mašinas ir jų darbinės dalis, turi numatyti mašinos darbinę aplinką ir atitinkamai parinkti medžiagas. Žymus rusų aviacijos konstruktorius Andrejus Tupolev sakė: „Kuo toliau nuo konstruktoriaus darbo vietos aptinkamas nepatikimumas, tuo jis brangesnis“ [3]. Ši taisyklė galioja ir mašinų dylančiom dalims, tik šios sąnaudos perkeliama mašinų vartotojams.

Remiantis 1982–1985 metų Vokietijoje atliktais tyrimais nustatyta, kad dėl erozijos ir dilimo nuostoliai siekė 34 mlrd. Vokietijos markių [4]. 1986 metais Kanadoje dilimo nuostoliai sudarė 940 mln. JAV dolerių [5]. 2010 metais Lietuvos BVP siekė 94 milijardus litų, o tai apytikriai dilimo sukeliama nuostoliai apie 940 mln. Lt. Tai rodo, kad dilimo padaryti nuostoliai yra milžiniški ir būtina juos mažinti.

Dilimo rūšis ir intensyvumas priklauso nuo abrazyvo dalelių fizikinių mechaninių savybių, ypač nuo kietumo ir stiprumo, o taip pat nuo pačios dirvos kietumo ir drėgnumo. Silpniausias abrazyvinės savybes turi anglis ir gipsas, stipriausias – kvarcitas, topazas bei korundas [6].

### **Literatūros apžvalga**

Paprasčiausias abrazyvinės masės agresyvumo vertinimo rodiklis yra dalelių dydis. Tyrimų rezultatai rodo, kad dalelių dydis esant ir didelėms, ir mažoms kontaktinėms apkrovoms tiesiogiai lemia abrazyvinį dilimą. Tačiau 100 μm ir mažesnėms dalelėms ši taisyklė nebegalioja. Kai abrazyvą sudaro smulkios dalelės, yra svarbus dalelių briaunų aštrumas. Kuo abrazyvinės dalelės aštresnės, tuo dilimas intensyvesnis [7].

Minkšta terpė (molinga dirva ar pan.) dilimą sukelia darbo dalies paviršiaus daugkartinio plastinio deformavimo principu, todėl dilimas yra lėtas [8]. Abrazyvo dalelė negali pažeisti kieto kūno paviršiaus arba jį žaloja mažiau, jei dalelė paslanki, t.y. dalelė neįtvirtinta, o juda laisva trajektorija terpėje. Brėžiant ar deformuojant laisva dalelė gali pasisukti ir ardymo procesas nutrūksta arba nedaro žalos. Ši dalelė taip pat gali laikinai slysti kietesniu paviršiumi, po to vėl įsigilinti ir palikti mikro įpjovą. Jei abrazyvinė dalelė įtvirtinta, pavyzdžiui, kvarco kristalas, esantis akmenyje, tuomet kieto kūno pažeidimo režiai, mikro įpjovos bus pakankamai gilos (0,001–0,02 mm), o trumpuose ruožuose gali siekti ir 0,05–0,5 mm [9]. Matome, kad dilimas į įtvirtintą abrazyvą yra pats agresyviausias dilimas, giliai pažeidžiantis ardomą kūną.

Skirtingiems abrazyvinio dilimo būdams modeliuoti yra sukurtos atitinkamas darbo sąlygas imituojančios tyrimų schemos bei įranga [10, 21]:

- dilimas į įtvirtintas abrazyvinės daleles (ASTM G99 [11], ASTM G132 [12]);
- dilimas, kai abrazyvinės dalelės yra dviejų kūnų kontakto zonoje (ASTM G65-94 [13]);
- abrazyvinis dilimas esant smūgiams;
- dilimas abrazyvinėje masėje (ASTM B611-85 [14]);
- dilimas dujų srauto nešamomis abrazyvinėmis dalelėmis – erozinis dilimas (GOST 23.201-78 [15]);
- dilimas skysčio srauto nešamomis abrazyvinėmis dalelėmis.

Dilimo į įtvirtintą abrazyvą tyrimas priskiriamas prie agresyviausių bei didžiausio kontaktinio slėgio dilimo tyrimų.

Abrazyvinio dilimo tyrimams paplitęs tyrimas pagal ASTM G65-94 standartą, pagal kurį bandomas paviršius yra vertikalus, abrazyvas į mėginio ir darbo rato tarpą tiekiamas vertikaliai. Keičiant darbo rato medžiagą, šiuo tyrimu galima modeliuoti tiek didelį, tiek mažą kontaktinį slėgį įvairių medžiagų trinties porose, tačiau modeliuoti dilimo į įtvirtintą abrazyvą, kuomet agresyviausiai ardomas paviršius negalima, nes abrazyvinės dalelės gali sukurti, ir ardymo procesas nutrūksta arba yra mažiau intensyvus [9]. Be to, jei abrazyvo masė tiekama netolygiai, tyrimo rezultato paklaida gali siekti 17 % [10]. Labai svarbu yra tai, kad dirvoje abrazyvinių dalelių didesnių už 300 μm kiekis tesiekia tik apie 10 % [6], o pagal ASTM G65-94 standartą bandoma su panašios (200–425 μm) frakcijos kvarciniu smėliu. Laboratoriniais bandymais vykdomi palyginamieji dilimo tyrimai, todėl dilimo aplinkos agresyvumas tyrimus trumpina, tačiau yra prasmingas tik nekintant paviršių sąveikos (dilimo) mechanizmui. Todėl šio metodo naudojimas gali iš esmės pakeisti rezultatus.

Vienas iš seniausių dilimo vertinimo būdų yra dilimas į įtvirtintą abrazyvą, pradėtas taikyti dar 1910 metais, o XX a. viduryje labai išvystytas dėl jo privalumų [20]. Tiriant šiuo būdu yra tiksliai žinomas mėginio dilimo kelias abrazyvo paviršiumi, šios dalelės nepasisuka, nerieda ir į mėginį gali tik įsigilinti arba sulūžti. Šiuo metodu galima tirti ir vertinti darbo greičio, apkrovos, skirtingų savybių metalų ir kitų parametrų įtaką dilimui.

Nudilusių detalių darbingumas dažnai didinamas jas apvirinant elektrolankiniu būdu. Tokiu būdu atkuriami ne tik detalės matmenys ir geometrinė forma, tačiau gali būti pagerintas ir atsparumas abrazyviniam dilimui. Tai daroma apvirinant plienus elektrodais su Cr, C, B, Mo, V, Ti, W ir kitais legiruojančiais elementais [7, 18, 19, 21].

Atlikti laboratoriniai tyrimai rodo, kad apvirinus atsparumą abrazyviniam dilimui galima padidinti iki 50 ir daugiau procentų [16]. Remiantis atliktais tyrimais [9], kur buvo tiriamas grynų metalų atsparumas dilimui, nustatyta, kad dilimo intensyvumas tiesiogiai priklauso nuo metalų mikrokietumo. Didėjant kiečiui didėja ir atsparumas abrazyviniam dilimui. Taip pat iširta, kad lydinių atsparumas dilimui buvo mažesnis už to paties kietumo grynujų metalų [9].

Terminiškai neapdorotų plienų atsparumas dilimui buvo toks pat kaip ir grynųjų metalų. Grūdintų plienų atsparumas dilimui didėja didėjant jų kietumui [9]. Atsižvelgiant į atliktus tyrimus matome, kad vien tik lydinių kietumas vienareikšmiškai nelemia atsparumo abrazyviniam dilimui, todėl kiekvienam lydiniiui turi būti atliekami dilimo tyrimai.

**Tyrimų tikslas**– atlikti elektrolankiniu būdu apvirintų sluoksnių su kintamu Fe–C–Si–Cr–Ti–B kiekiu abrazyvinio dilimo į įtvirtintą abrazyvą tyrimus.

### Tyrimų objektas ir metodika

Tirti rankiniu elektrolankiniu būdu apvirinti kintamo Fe–C–Si–Cr–Ti–B elementų kiekio sluoksniai. Apvirintų sluoksnių sudėtis ir kietumas pateiktas 1 lentelėje. Mėginiai (672–677) apvirinti elektrodais su kintamu Cr kiekiu, turint tikslą išlaikyti pastovų anglies kiekį. Tačiau kintant pernešamam iš elektrodo į apvirinimą sluoksnį chromo kiekiui, kito ir pernešamos anglies kiekis. Kuo didesnis apvirintame sluoksnyje chromo kiekis, tuo sluoksnis anglingesnis (tikėtina didesni ir chromo karbido kiekiai, didinantys atsparumą abrazyviniam dilimui). Apvirintų mėginių matmenys – 20×15×5 mm.

**1 lentelė.** Apvirintų mėginių cheminė sudėtis.

**Table 1.** Chemical composition of welded layers.

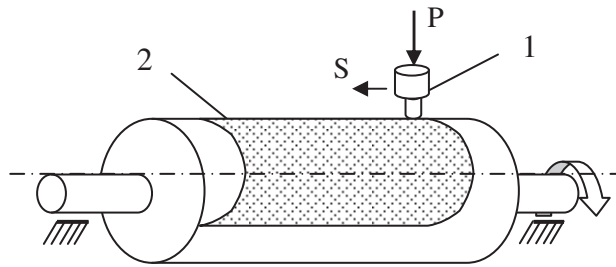
Mėginys	Cheminė sluoksnių sudėtis, proc.										Kietumas, HRA
	C	Si	Mn	Cr	Mo	Ni	Ti	B	Kiti	Fe	
672	2,37	2,26	1,08	18,7	0,04	0,11	0,75	0,748	0,66	73,3	78
674	2,62	1,58	0,94	15,0	0,04	0,09	0,78	0,791	0,51	77,7	82
675	1,88	1,55	1,04	8,1	0,02	0,07	0,57	0,546	0,37	85,8	77
676	1,60	1,44	0,90	4,4	0,01	0,05	0,59	0,555	0,24	90,2	80
677	1,55	1,12	0,90	1,1	0	0,04	0,43	0,480	0,17	94,2	76
Hardox	0,14	0,7	1,6	0,3	0,25	0,25	-	0,004			69

Tyrimams atlikti pasirinktas mėginio ant būgno („pin–on–drum“) abrazyvinio dilimo tyrimo būdas, priskiriamas prie didelių kontaktinių apkrovų, tyrimo būdų. Būgnui sukantis bandinio galas slysta abrazyviniu popieriumi, kurio abrazyvai pjauna mėginį. Šis metodas pasirinktas, kadangi juo galima tirti abrazyvinį dilimą esant didelėms apkrovoms (modeliuoti dilimą, susidarantį ariant sausą akmeningą dirvą, vykdant kelių priežiūros, kalnakasybos darbus). Be to, šiuo būdu gaunamų rezultatų variacija maža ir siekia tik 5–7 % legiruotiems metalams [17]. Principinė bandymo schema pavaizduota 1 paveiksle.

Mėginių cheminė sudėtis nustatyta spektrometru BELEC-compact-lab-N.

Tyrimas atliktas tekinimo staklėmis JET 1640 ZX. Sukonstruotas mėginių tvirtinimo įtaisas tvirtinamas staklių įrankių laikiklyje. Abrazyviniu popieriumi dengto veleno skersmuo 87 mm, mėginio apkrova 28 N. Tyrimas atliktas išilgine

0,55 mm/aps pastūma, esant  $60 \text{ min}^{-1}$  veleno sūkiams (1,0 km/h linijinis greitis, dilimo kelias 99 m).



**1 pav.** Principinė bandymo schema: 1 – mėginys, 2 – abrazyviniu popieriumi dengtas velenas, P – prispaudimo jėga, S – pastūmos kryptis.

**Fig. 1.** Schematic diagram of the mechanism abrasive wear estimation: 1 – testing material, 2 – shaft with abrasive paper, P – load, S – shove direction.

Kiekvienam mėginiui tirti naudotas naujas abrazyvinio popieriaus lapas, pagamintas „Olympus Abrasives Co.“ (Graikija), tipas KX167, grūdėtumas P100 (vidutinis abrazyvo dalelių dydis  $160 \mu\text{m}$ ), abrazyvas  $\text{Al}_2\text{O}_3$ . Toks abrazyvinio popieriaus grūdėtumas parinktas žinant, kad abrazyvo dalelėms esant didesnėms už  $100 \mu\text{m}$ , dilimo intensyvumas nekinta [20].

Dilimas vertintas masių metodu, t.y. sveriant mėginius prieš ir po bandymo. Mėginiai sverti svarstyklėmis „KERN EG 420-3NM“ (maksimalus sveriamas svoris 420 g, padalos vertė 0,001 g). Mėginių kietumas matuotas kietmačiu TK–2M.

Kiekvienos apvirintos medžiagos mėginys bandytas tris kartus. Nudilimo variacija yra 4,7–13,4 % intervale, kas rodo patikimą dilimo tyrimų rezultatą [20].

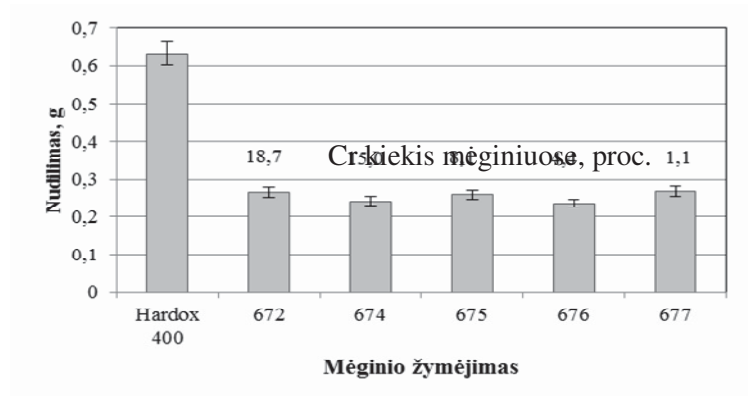
Dilę paviršiai analizuoti skenuojančiu elektroniniu mikroskopu Quanta 200 FEG (SEM).

### Tyrimų rezultatai

Apvirinant mėginius elektrodais su skirtingu Cr kiekiu nepavyko išlaikyti pastovaus C kiekio. Tačiau iš anksčiau atliktų tyrimų [1, 4, 9, 16, 18, 19] žinome, kad anglies kiekiui lydinyje Fe–C–Cr–B pasiekus 0,5 % dilimas ženkliai sumažėja ir toliau keičiasi nedaug, t.y. stabilizuojasi. Vadinasi mėginiuose esantis C kiekis nuo 1,55 iki 2,62 % esminio poveikio rezultatui negali turėti. Chromo kiekis mėginiuose didėjo nuo 1,1 iki 18,7 %, o geležies kiekis mažėjo nuo 94,2 iki 73,3 %.

Atlikti apvirintų sluoksnių abrazyvinio dilimo tyrimai (2 pav.) parodė, kad visų mėginių nudilimai yra panašūs. Didžiausias skirtingų mėginių nudilimų skirtumas tik 0,034 g, kas sudaro tik 12,5 %. Dalies mėginių [672, 675 ir 677 bei 674 ir 676] nudilimo dydžiai neturi statistiškai reikšmingo skirtumo lyginant su

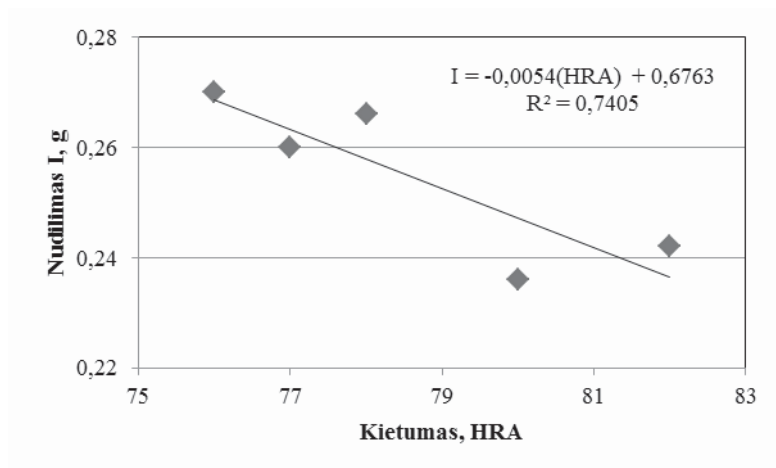
kitais atliktais tyrimais [16, 18, 19]. Akivaizdu, kad šiomis dilimo sąlygomis nei anglies, nei chromo kiekiai neturi įtakos nudilimo dydžiams.



2 pav. Mėginių su kintamu Cr kiekiu abrazyvinio dilimo rezultatai.

Fig. 2. Results of abrasive wear with varying Cr content.

Lydinio Fe–C–Si–Cr–Ti–B kietumas dažniausiai yra ta savybė, nuo kurios priklauso atsparumas abrazyviniam dilimui [1, 5, 7–10, 16, 18, 19, 20]. Apvirinto sluoksnių (672–677) kietumo įtakos atsparumui abrazyviniams dilimui tyrimo rezultatai pateikti 3 pav.



3 pav. Apvirinto sluoksnių kietumo įtaka abrazyviniam dilimui.

Fig. 3. Hardness of welded layer influence to abrasive wear.

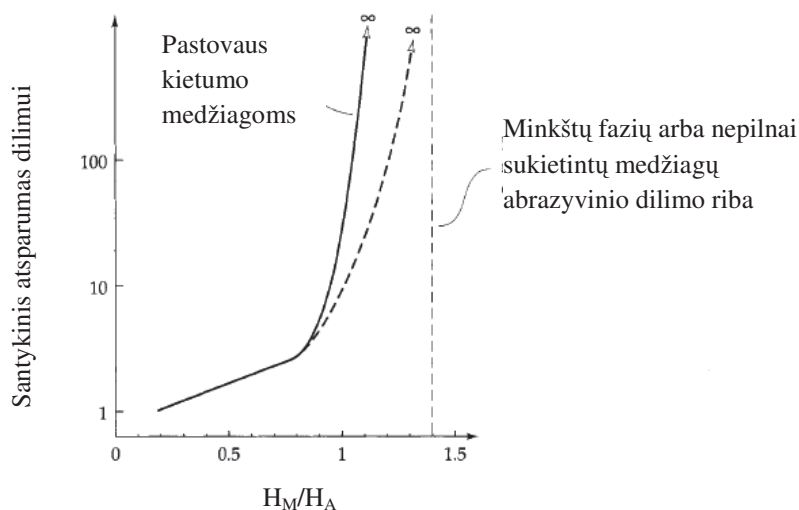
Gauta priklausomybė (3 pav.) rodo, kad Fe–C–Si–Cr–Ti–B lydinių kietumas yra viena pagrindinių savybių, lemiančių dilimą.

Chromo kiekio kitimas lydinyje nuo 1,1 iki 18,7 %, atsparumo dilimui ženklesnės įtakos neturi. Dilimo intensyvumui įtakos neturi ir anglies kiekio skirtumai. Dilusio paviršiaus (672 mėginys) vaizdas pateiktas 4 pav.



**4 pav.** Apvirinto sluoksnio (672 mėginys) SEM vaizdas ( $\times 850$ ).  
**Fig. 4.** Welded layer (672) SEM view ( $\times 850$ ).

Visuose bandytuose paviršiuose matomi kryptingi intensyvaus dilimo pjovimu pėdsakai, kas liudija apie didelį abrazyvo ir apvirinto sluoksnio kietumų skirtumą. Tik nedideli paviršiaus fragmentai yra nutrupėję.



**5 pav.** Metalo ir abrazyvo kietumų santykių įtaka dilimo atsparumui [23].  
**Fig. 5.** Relative abrasive wear resistance versus hardness ratio of worn to abrasive material [18].

Pateiktame 5 pav. matome metalo ir abrazyvo kietumų santykių ( $H_M/H_A$ ) įtaką dilimo atsparumui. Grafikas rodo, kad esant  $H_M/H_A$  santykiui didesniau už vienetą ( $1,1 \leq H_M/H_A \leq 1,3$ ), atsparumas dilimui ženkliai išauga ir artėja į begalybę, o esant šiam santykiui intervale ( $0,2 \leq H_M/H_A \leq 0,8$ ), didėja nežymiai. Atliktuose tyrimuose apvirintų sluoksnių ir abrazyvo ( $Al_2O_3$ , 11,7 GPa) kietumo santykis kito

nuo 0,44 iki 0,61 (2 lentelė). Todėl 5 pav. paaiškina santykinai nedidelį dilimo pokytį kintant apvirinto sluoksnio kietumui ir didelius etaloninės medžiagos (Hardox 400) nudilimus, nes  $H_{\text{Hardox 400}} / H_A = 0,31$ .

**2 lentelė.** Mėginių ir abrazyvo kiečių santykis ir nudilimas.

**Table 2.** Hardness ratio of worn to abrasive material and wear rate.

Mėginys	Nudilimas, g	$H_M/H_A$
672	0,266	0,49
674	0,242	0,61
675	0,26	0,46
676	0,236	0,54
677	0,27	0,44
Hardox 400	0,633	0,31

### Išvados

Atlikę apvirintų lydinių Fe–C–Si–Cr–Ti–B su kintamais chromo (1,1–18,7 %) ir anglies (1,55–2,37 %) kiekiais abrazyvinio dilimo į įtvirtintą abrazyvą ( $Al_2O_3$ ) tyrimus, galime daryti išvadas:

1. Anglies ir chromo kiečių įtaka apvirintų sluoksnių abrazyviniam dilimui neįdomi; to priežastis yra ženklus apvirintų sluoksnių ir naudotos abrazyvinės medžiagos ( $Al_2O_3$ ) kiečių santykis (0,44–0,61).
2. Apvirintų lydinių kietumas tiesiogiai lemia abrazyvinį dilimą – kuo sluoksniai kietesni, tuo atsparesni dilimui.
3. Apvirinti sluoksniai nudyla 2,4 karto mažiau, lyginant su žemės dirbimo mašinų darbo dalių gamybai naudojamu plieniu Hardox 400.
4. Atspariausias dilimui yra sluoksnis su 1,6 % C, 4,4 % Cr, 0,56 % B, 0,9 % Mn, 1,44 % Si, 0,59 % Ti, likęs kiekis – Fe.

### Literatūra

1. Jankauskas, V., Varnauskas, V., Kreivaitis, R., Adamonis, D. Apvirintų paviršių abrazyvinio dilimo tyrimai. Inžinerija, LŽŪU mokslo darbai. Nr 7 (1), 2006, 64–68 p.
2. Meinel, T. Hart grubbert länger. Munchen. DLZ agrarmagazin. Nr. 1. 2010, S. 7–12 p.
3. Черпаков, Б.И., Вереина, Л.И. Технологическое оборудование машиностроительного производства. Москва: Академия, 2005, 416 с.
4. Heinrich, R. Untersuchungen zur Abrasivität von Boden als Verschleissbestimmender Kennwert. Dissertation. Technische Universität Bergakademie Freiberg. Freiberg, 1995, 99 p.
5. Melley, R., Wissner, P. The real costs of lubrication. Maryn Research Ltd. Calgary, 1997, 26 p.



6. Ткачев, В. Н. Работоспособность деталей машин в условиях абразивного изнашивания. Москва: Машиностроение, 1995, 336 с.
7. Jankauskas, V., Kreivaitis, R. Study of wear prediction by applying surface micro geometric parameters. *Mechanika*. Nr. 5 (67), 2007, 65–70 p.
8. Рекомендации по восстановлению лемехов плугов. -Москва: ГОСНИТИ, 1986, 24 с.
9. Гаркунов, Д. Н. Триботехника: износ и безызносность. Москва: МСХА, 2001, 616 с.
10. Kreivaitis, R., Jankauskas, V. Konstrukcinių medžiagų atsparumo dilimui tyrimo metodo pagal standartą ASTM G65 įvertinimas. 10-osios tarptautinės konferencijos MECHANIKA–2005 pranešimų medžiaga.– Kaunas. Technologija, 2005, 523–528 p.
11. ASTM Standard G99-05. Standard Test Method for Wear Testing with a Pin-on-Disk Apparatus. ASTM International, West Conshohocken, PA, 2010, DOI: 10.1520/G0099-05R10, 2010.
12. ASTM G132 – 96. Standard Test Method for Pin Abrasion Testing. ASTM International, West Conshohocken, PA, DOI: 10.1520/G0132-96R07, 2007.
13. ASTM G65 – 04. Standard Test Method for Measuring Abrasion Using the Dry Sand/Rubber Wheel Apparatus. ASTM International, West Conshohocken, PA, 2010, DOI: 10.1520/G0065-04R10, 2010.
14. ASTM B611 – 85. Standard Test Method for Abrasive Wear Resistance of Cemented Carbides. ASTM International, West Conshohocken, PA, 2005, DOI: 10.1520/B0611-85R05, 2005.
15. GOST 23.201-78. Метод испытания материалов и покрытий на газообразное изнашивание с помощью центробежного ускорителя. Механические испытания. Национальные стандарты. Москва. 2005. 9–15с.
16. Jankauskas, V., Kreivaitis, R., Milčius, D., Baltušnikas, A. Analysis of abrasive wear performance of arc welded hard layers. *Wear* (265), 2008, 1926–1932 p.
17. Blickensderfer R., Laird, G. A pinion–drum abrasive wear test and comparison to other pin tests. *J. Test. Eval.* 16, 1988, p. 516–526.
18. Jankauskas, V., Kreivaitis, R., Kulu, P., Antonov, M., Milčius, D., Varnauskas, V. Research into abrasive erosion wear of Fe-C-Cr-B hard layers. *Mechanika*. Nr. 4 (72), 2008, 71–76 p.
19. Jankauskas, V., Kubilius, G., Juodienė, A., Jatulis, G. Research into hydroabrasive wear of Fe-C-Cr-B hard layers. *Proceedings of the Int. Sc. Conf. „BALTTTRIB 2009“*. Kaunas, Akademija, 2009, 220–225 p.
20. Хрущов М.М., Бабичев М.А. Абразивное изнашивание. Москва: Наука, 1970, 252 с.
21. Jankauskas, V., Kreivaitis, R., Stonkus, D., Andriušis, A. Research on plough parts strengthening by welding. *Mechanika*. Nr 1 (69), 2008, 80–84 p.

22. Методы и средства испытаний на трение и износ конструкционных и смазочных материалов: справочник. В. С. Комбалов, Москва: Машиностроение, 2008, 384 с.
23. Stachowiak, G. W., Batchelor, A. W. Engineering tribology 3rd ed. Oxford: Elsevier, 2005, 831 p.

Vytenis Jankauskas, Remigijus Skirkus, Narūnas Martinkus

#### THE ABRASIVE WEAR RESEARCH OF ARC WELDED SURFACES INTO EMBEDDED ABRASIVE

Industrialized countries studies have shown that because of wear in the world suffered huge losses every year - up to 4 % of the gross national product. It was found that investments in the tribological research annually can save from 1 to 1,4 % of gross national product.

In this paper was performed the abrasive wear research of arc welded Fe-C-Si-Cr-Ti-B surfaces into embedded abrasive. The microhardness of arc welded layers has a direct impact on abrasion - the harder layers, the higher resistance to abrasive wear. In SEM picture visible cutting traces of wear, and only small fragments are chipped. This phenomenon demonstrates the high abrasive and metal microhardness differences influence. The highest wear resistance shows sample with C - 1,6 %, Cr - 4,4 %, B - 0,56 %, Mn - 0,9 %, Si - 1,44 %, Ti - 0,59 % and Fe - 90,2 %.

*Abrasive wear, wear into embedded abrasive, arc welded surfaces, wear resistance.*

В. Янкаускас, Р. Скиркус, Н. Мартинкус

#### ИССЛЕДОВАНИЕ АБРАЗИВНОГО ИЗНАШИВАНИЯ НАПЛАВЛЕННЫХ СЛОЕВ ПРИ ТРЕНИИ О ЗАКРЕПЛЕННЫЕ АБРАЗИВНЫЕ ЧАСТИЦЫ

Опыт стран, имеющих развитую промышленность, показывает, что из-за износа ежегодно наносится ущерб до 4 % от валового национального продукта. Установлено, что инвестиции в трибологические исследования в год может сэкономить от 1 до 1,4 % валового национального продукта страны.

В данной работе были проведены исследования абразивного изнашивания твердых слоев (Fe-C-Si-Cr-Ti-B), полученных ручной электродуговой наплавкой, при трении о закрепленные абразивные ( $Al_2O_3$ ) частицы. Установлено, что твердость наплавленных твердых слоев имеет прямое влияние на износостойкость – чем выше твердость слоев, тем выше устойчивость к абразивному износу. Исследования поверхностей износа СЭМ свидетельствует изнашивание резанием, и только незначительная часть поверхности имеет следы хрупкого разрушения. Это свидетельствует о влиянии большого соотношения твердостей абразива и металла. Самую высокую износостойкость показывал образец, содержащий С - 1,6 %, Cr - 4,4 %, В - 0,56 %, Mn - 0,9 %, Si - 1,44 %, Ti - 0,59 % и Fe - 90,2 %.

*Абразивное изнашивание, изнашивание о закрепленные абразивные частицы, наплавленные твердые слои, сопротивление изнашиванию.*