

PLIENŲ MIKROSTRUKTŪROS ĮTAKOS JŲ ABRAZYVINIAM DILIMUI APŽVALGA

Ignas STUKAS, Vytauto Didžiojo universitetas, Žemės ūkio akademija, Inžinerijos fakultetas,
el. paštas: ignas.stukas@stud.vdu.lt

Audrius ŽUNDA, Vytauto Didžiojo universitetas, Žemės ūkio akademija, Inžinerijos fakultetas,
el. paštas: audrius.zunda@vdu.lt

Santrauka

Plienai yra vis dar plačiausiai žemės ūkio mašinų pramonėje naudojama medžiaga. Tai lemia jų gerų mechaninių savybių ir palyginti nedidelės kainos derinys. Žemės dirbimo mašinų padargai, vertinant jų darbo sąlygas, yra labiausiai abrazyvinės aplinkos veikiamos detalės. Tokioms detalėms gaminti naudojamos plieno rūšys, kurios pasižymi dideliu atsparumu dilimui. Ši savybė labai priklauso nuo plieno mikrostruktūros, kuri dažniausiai formuojama terminio apdirbimo metu. Vidutinio anglingumo plienų, turinčių 0,35–0,65 proc. anglies, mikrostruktūrą, pasižyminčią didesniu atsparumu dilimui, galima sėkmingai formuoti, parenkant atleidimo temperatūras intervale nuo 250 °C iki 450 °C. Rinkoje, skirtingų gamintojų siūlomų žemės dirbimo padargų detalių plieno rūšis bei mechaninės savybės nepateikiamos, o kokybė dažnai ženkliai skiriasi. Dėl to yra svarbu įvertinti sąsajas tarp rinkoje esančių detalių savybių ir kokybinių skirtumų priežasčių. Straipsnyje pateikiama vidutinio anglingumo plienų, dažniausiai naudojamų žemės dirbimo padargų detalių gamybai, mikrostruktūros ir jų atsparumo abrazyviniam dilimui sąsajų, pagrindinių terminio apdirbimo parametrų įtakos, formuojant didžiausią atsparumą dilimui turinčią mikrostruktūrą, apžvalga. **Analizės tikslas** – įvertinti Lietuvos rinkoje esančių padargų detalių atsparumo dilimui skirtumų priežastis.

Reikšminiai žodžiai: plienas, mikrostruktūra, abrazyvinis dilimas, kietumas, žemės dirbimo padargas.

Įvadas

Žemės ūkio sektorius labai didele dalimi yra priklausomas nuo įvairios technikos, skirtos dirvos dirbimui, atliekant žemės paruošimo, sodinimo ar sėjos bei derliaus nuėmimo darbus. Daugelis šios technikos elementų (detalių) susidėvi vieno sezono metu. To priežastis – didelis darbinės aplinkos, šiuo atveju dirvos, abrazyvumas. Abrazyvumas yra dirvos dalelių savybė ardyti kitą paviršių, jį raizant, atpjaunant mikrodrožles, kai detalių paviršiai tiesiogiai kontaktuoja su dirva. Žemės ūkio technikos gamybos įmonių inžinierių informuotumas apie reikalingas savybes, projektuojant žemės dirbimo padargų detales, yra lemiantis užtikrinant gaminio kokybę. Pavyzdžiui, gaminant iš prastesnių medžiagų ar nesilaikant technologinių parametrų, pagamintų kultivatoriaus peilių mažas našumas tiesiogiai prisideda prie mažo produktyvumo ir didesnių eksploatavimo išlaidų (Dilay, 2023). Su žemės ūkio mašinų detalių nusidėvėjimu susijusių išlaidų ir sąnaudų valdymas yra svarbus valdant ūkį. Apskaičiuota, kad 50 proc. visų dilimo gedimų įvyksta dėl abrazyvinio dilimo (Singh et al., 2020). Ypač intensyvus dilimas pasireiškia ariant ar kultivuojant, kai padargų detalės yra tiesiogiai veikiamos dirvoje esančių kietųjų mineralinių dalelių ir patiria nuolatinį ardomąjį poveikį.

Darbo metu žemės ūkio padargai visų pirma susidėvi dėl trinties, kurią sukelia jų sąveika su abrazyvinėmis dirvožemio dalelėmis. Susidėvėjimo dydžiui įtakos turi tokie veiksniai kaip: dirvožemio tipas ir jo būseną, padargo veikimo greitis ir aišku – pačių padargų medžiagų savybės (Wang et al., 2023). Apskritai, mašinų detalių dėvėjimosi mechanizmai gali būti įvairūs, tokie kaip abrazyvinis nudilimas (mikropjovimas), nuovargio bei adhezinis susidėvėjimas. Vyraujanti žemės dirbimo padargų darbingumo netekimo priežastis yra abrazyvinis dilimas. Ūkininkai patiria didelių išlaidų, nes susidėvėjusių dalių remontas ar keitimas sunaudoja nemažą biudžeto dalį (Quan, Doluschitz, 2021). Ekonominės žemės ūkio padargų susidėvėjimo išlaidos gali būti tiek tiesioginės, tiek netiesioginės. Tiesioginės išlaidos patiriamos perkant naujas dalis, įvertinant darbo sąnaudas, susijusias su priežiūra ir remontu. Netiesioginės išlaidos susijusios su prastovomis (Shutkin et al., 2024). Tyrimai rodo, kad tokios užduotys kaip sodinimas ar derliaus nuėmimas, sugedus padargams, užtrunka ilgiau, todėl prarandamas derlius ir sumažėja rinkos galimybės. Taigi, efektyvus nusidėvėjimo valdymas yra labai svarbus siekiant išlaikyti ūkininko pelningumą (Güney, Dilay, 2022). Ekonominiai tyrimai rodo, kad smulkiesiems ūkininkams gali būti nenaudinga naudoti pažangią žemės ūkio techniką dėl didelių pradinė investicijų ir su tuo susijusios priežiūros naštos, palyginti su didesnėmis žemės ūkio įmonėmis (Quan, Doluschitz, 2021). Esant didesniai ūkiui, jį labiau mechanizuojant, didėja veiklos ir efektyvumas, subalansuojamos nusidėvėjimo sąnaudos bei produktyvumo nauda (Khatiwada et al., 2021).

Toliau apžvalgoje pateikiama platesnė analizė tokių veiksnių, darančių įtaką dilimui, kaip padargo medžiagos tipas, dirvožemio tipas bei medžiagos struktūra ir terminis apdirbimas.

Medžiagų, naudojamų žemės ūkio padargų gamyboje, pasirinkimas yra labai svarbus, užtikrinant gaminių bendrą ilgaamžiškumą. Pavyzdžiui, tyrimai rodo, kad legiruojantys elementai gali pagerinti plūgų atsparumą abrazyviniam nusidėvėjimui, sumažinti keitimo dažnumą ir su tuo susijusias išlaidas (Singh et al., 2020). Tyrimai atskleidžia pažangių lydinų, turinčių nikelio ir karbidinių kompozitų, pasižyminčių puikiu atsparumu dilimui, potencialą. Aišku, tokios medžiagos yra ženkliai brangesnės už įprastai naudojamas, tačiau, jas įdiegus, laikui bėgant, dėl pailgėjusio eksploatavimo laiko ir sumažėjusio priežiūros poreikio, bendrosios išlaidos gali sumažėti (Dilay, 2023). Pozityvų efektą

duoda apvirintų ar kitokių dangų būdai, mažinantys dirvožemio poveikį ir pagerinantys žemės ūkio padargų atsparumą dilimui (Refai et al., 2020, Singh et al., 2020).

Reguliari techninė priežiūra taip pat turi svarbią reikšmę, sumažinant su nusidėvėjimu susijusias išlaidas. Planinės apžiūros ir savalaikis nusidėvėjusių dalių pakeitimas yra būtini norint pailginti žemės ūkio padargų tarnavimo laiką (Osuch et al., 2016). Ūkininkai turėtų mokytis taikyti prevencines priežiūros strategijas ir priemones, kuriose atsižvelgiama į tipinius nusidėvėjimo modelius, įvertinant dirvožemio tipą ir įrenginio dizainą (Dilay, 2023). Tinkamas ūkininkų išsilavinimas priežiūros klausimais gali ženkliai padidinti įtaką sprendžiant su žemės ūkio technikos ilgaamžiškumu ir efektyvumu susijusius klausimus, lemiančius geresnius ekonominius rezultatus.

Apibendrinant galima daryti išvadą, kad sąnaudos ir išlaidos, susijusios su žemės ūkio padargų nusidėvėjimu, ūkininkams vis dar kelia didelių iššūkių planuojant ūkio efektyvumą. Norint veiksmingai valdyti minėtas išlaidas, yra svarbu suprasti įvairius veiksnius, turinčius įtakos nusidėvėjimui, įskaitant medžiagų pasirinkimą, priežiūros praktiką ir eksploatavimo sąlygas. Nuolatiniai tyrimai, skirti pagerinti atsparumą dilimui, bus labai svarbūs siekiant padidinti žemės ūkio technikos ilgaamžiškumą ir našumą.

Nežiūrint į tai, kad šiuolaikinė žemės ūkio technika pastebimai tobulėja, žemės dirbimo padargai išlieka gyvybiškai svarbūs šiuolaikinio žemės ūkio įrankiai dirvai paruošti, atliekant sėjos, sodinimo, piktžolių naikinimo ar derliaus nuėmimo darbus, kurių metu padargų paviršiai betarpiškai sąveikauja su dirvožemiu, dėl to pastarojo tipas daro didelę įtaką padargų ilgaamžiškumui. Mokslininkų darbuose yra analizuojama, kaip įvairūs dirvožemio tipai – nuo smėlio iki molingo – veikia žemės dirbimo padargų dilimą. Įvairūs dirvožemio tipai skirtingai sąveikauja su žemės dirbimo padargais, darydami įtaką nusidėvėjimo mechanizmams, dėl kurių gali sumažėti darbinės dalies ilgaamžiškumas. Erozija, abrazyvinis dilimas ir cheminiai veiksniai yra pagrindiniai medžiagos irimo procesai, su kuriais susiduria žemės dirbimo padargai. Pavyzdžiui, smėlingame dirvožemyje padargų elementai nusidėvi mažiau, palyginti su molingu dirvožemiu, kuriame yra smulkesnių dalelių, dėl didesnio dalelių rišumo, padidinančio trintį ir dilimą (Gharahbagh et al., 2013; Jakobsen et al., 2013; Napiórkowski et al., 2021). Jėgoms, veikiančioms padargus atliekant žemės dirbimo darbus, tiesiogiai daro įtaką skirtinga dirvožemio dalelių forma ir dydžiai, taip pat drėgmės kiekis. J. Singh ir kt. (2020) pažymi, kad įrankių dilimą sustiprina tokie veiksniai kaip plūgo greitis ir įdirbimo gylis, o įvairūs dirvožemio tipai gali sustiprinti šį poveikį, be to didėja traukos jėgos, turinčios įtakos darbų efektyvumui (Singh et al., 2018). Dirvožemio tipas turi įtakos ir bendram žemės dirbimo technikos veikimui, susijusiam su degalų sąnaudų efektyvumu ir darbo greičiu. Sunkesnėse molingose dirvose sunaudojama daugiau energijos dėl didesnio pasipriešinimo. Lengvesnėse smėlėtose dirvose lengviau atlikti žemės dirbimo darbus (Singh et al., 2018).

Svarbus veiksnys, kuris gali būti būdingas dirvožemio tipui ir turi įtakos dilimui, yra drėgmės kiekis. J. Wang ir kt. (2017) savo tyrime parodo, kaip dirvožemio drėgmė keičia mechanines jo savybes bei žemės dirbimo padargų nusidėvėjimą. Sausose dirvose didesnis įrankių nusidėvėjimas yra dėl padidėjusios trinties, kurią sukelia sumažėjęs tepimas, per drėgnas dirvožemis gali sulipti ir taip pat padidinti pasipriešinimą bei nusidėvėjimą (Wang et al., 2009). Ši sąveika rodo, kad dirvožemio drėgmės stebėseną gali būti labai svarbi siekiant maksimaliai padidinti žemės dirbimo įrankių tarnavimo laiką ir našumą, ypač regionuose, kuriuose kritulių kiekis nepastovus.

Paviršių atsparumą abrazyviniam dilimui galima didinti tinkamai parenkant medžiagas. Dėl medžiagų mokslo pasiekimų yra sukurtos dilimui atsparūs plienai, dangos, kurias tinkamai parinkus, galima padidinti padargų ilgaamžiškumą atitinkamuose dirvožemio tipuose. Pavyzdžiui, daugiasluoksnės TiCrN ir TiAlN dangos žymiai pagerina žemės dirbimo padargų atsparumą dilimui, ypač abrazyviniuose dirvožemiuose (Güney, Dilay, 2022). Projektuojant šiuolaikinę techniką yra naudojami įvairūs kompiuterinio skaičiavimo metodai, padedantys prognozuoti gaminio ilgaamžiškumą. A. Nasirahmadi ir kt. (2022) naudojo diskrečiųjų elementų modeliavimą, kad būtų galima išanalizuoti rotacinių žemės dirbimo peilių dėvėjimosi charakteristikas priesmėlyje, patvirtindamas galimybę pritaikyti skaitmeninius įrankių projektavimo metodus, įvertinant vyraujančius dirvožemio tipus darbo aplinkoje.

Taigi, dirvožemio tipas turi didelę reikšmę pasirenkant žemės dirbimo padargų eksploatacines savybes. Toliau tobulėjant žemės ūkio technologijoms, naujausių tyrimų išvadų įtraukimas į medžiagų mokslą bus labai svarbus kuriant patvarius žemės dirbimo įrankius, pritaikytus konkrečioms sąlygoms. Tačiau naujos technologijos yra brangesnės ir mažesni ūkininkai vis dar naudoja įprastų vidutinio anglingumo plienų padargus.

Vidutinį (0,35–0,65 proc.) anglies kiekį turinčių plienų atsparumą abrazyviniam dilimui labai įtakoja jų mikrostruktūra. Ryšys tarp mikrostruktūros ir atsparumo dilimui gali būti parodomas kalbant apie įvairias plieno struktūros fazes, tokias kaip martensitas, beinitas ir liekamas austenitas, o taip pat per medžiagos mechanines savybes, tokias kaip kietumas. Pavyzdžiui, tyrimai rodo, kad struktūroje esantis austenitas, grūdinimo martensitas ir beinitas gali suteikti atsparumo dilimui savybių. X. Han ir kt. (2021) nustatė, kad tam tikri mikrostruktūriniai deriniai terminio apdirbimo metu pagerina elastingumą, nepakenkiant kietumui, todėl atsparumas dilimui yra panašus į termiškai neapdoroto martensito atsparumą. Tyrimais nustatyta, kad smulkiagrūdė struktūra pasižymi didesniu atsparumu dilimui, nes tokioje struktūroje įtempimai paskirsto efektyviau nei stambiagrūdėje. Nors kietumo didinimas yra pirminė atsparumo dilimui priemonė, bet mikrostruktūros fazių (martensitinės ir beininės) formavimas gali reikšmingai paveikti eksploatacines savybes abrazyvinėmis sąlygomis. Pei ir kt. (2021) nustatė, kad terminis apdirbimas gaunant stabilią beinitinę mikrostruktūrą savaime užtikrina geresnį atsparumą smūgiams ir padidina atsparumą dilimui, atliekant abrazyvinio dilimo bandymus. Liekamojo austenito išlaikymas fazių transformacijų metu taip pat pasiūlytas kaip naudingas veiksnys, nes jis darbo metu veikiant įtempimams gali virsti martensitu ir taip padidinti atsparumą dilimui be esminių kietumo pokyčių.

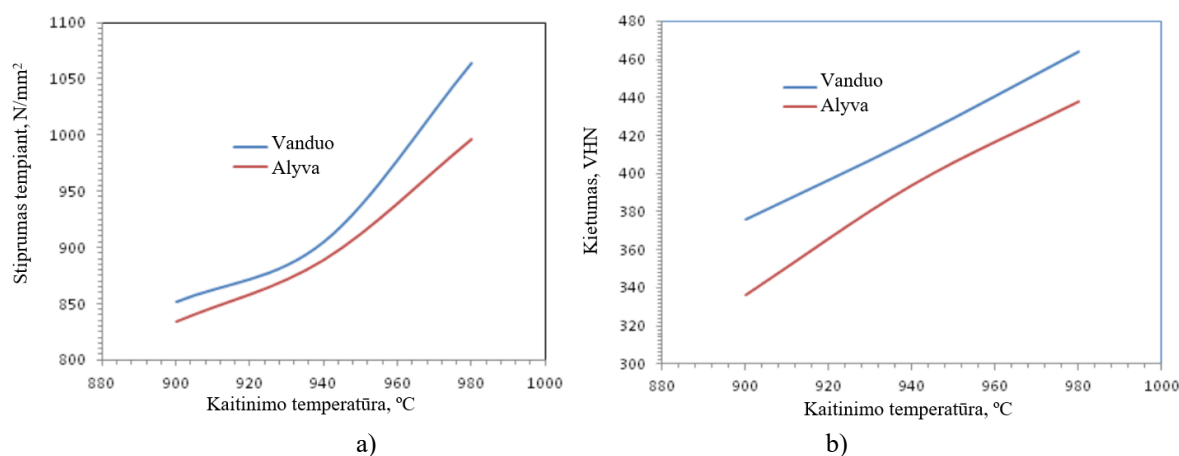
Vidutinio anglingumo plienų dilimo mechanizmai yra glaudžiai susiję su jų mikrostruktūros vientisumu. Pavyzdžiui, X. Han ir kt. (2021) teigia, kad skirtingos beinitinės struktūros pasižymi skirtingu atsparumu dilimui:

apatinis beinitas ženkliai mažiau dyla, lyginant su viršutiniu beinitu abrazyvinėje aplinkoje. Priežastis – apatinio beinito smulkesnis grūdėtumas ir didesnis kietumas. Tai rodo, kad ne tik fazinė sudėtis, bet ir pačių fazių struktūra ir charakteristikos turi didelį vaidmenį. Išoriniai veiksniai, tokie kaip abrazyvinės medžiagos tipas ir eksploatavimo sąlygos aplamai, dar labiau apsunkina atsparumo dilimui supratimą. Szala ir kt. nustatė, kad didesnis plieno kietumas nebūtinai turi tiesioginę priklausomybę su atsparumu dilimui, įvairūs abrazyvinių medžiagų tipai gali lemti skirtingus nusidėvėjimo rezultatus. Abrazyvo tipą nusako jo kietumas, stiprumas, forma, dydis. Mikrostruktūra turėtų būti optimizuota atsižvelgiant į konkrečias aplinkos sąlygas (Biało-brzeska et al., 2015). Lyginamoji skirtingų mikrostruktūrų analizė atskleidžia, kad daugiafazis plienas su martensito ir liekamojo austenito deriniu yra labiau atsparus už vienfazį martensitinį plieną abrazyvinio nusidėvėjimo bandymuose. Tai rodo, kad mikrostruktūrų įvairovė gali pagerinti bendrą mechaninį atsparumą (Bakshi et al., 2013; Guo et al., 2017).

Apibendrinant galima pasakyti, kad vidutinio anglies plieno atsparumas abrazyviam dilimui iš esmės priklauso nuo jo mikrostruktūros, t. y. nuo specifinių esamų fazių, tokių kaip martensitas, austenitas, beinitas, atitinkamo derinio. Ryšio tarp kietumo, plastiškumo, elastingumo ir fazinės sudėties tyrimai yra labai svarbūs kuriant plieną, atitinkantį atsparumo dilimui reikalavimus.

Atsparumas dilimui keičiant vidutinio anglingumo plienų mikrostruktūrą dažnai yra atliekamas skirtingais terminiais procesais. Vidutinio anglingumo plienas, kurio anglies kiekis paprastai svyruoja nuo 0,3 proc. iki 0,6 proc., dažnai pasirenkamas dėl stiprumo, kietumo ir atsparumo dilimui ir kainos santykio. Terminis apdorojimas (grūdinimas, atkaitinimas ir atleidimas) daro didelę įtaką šių plienų mechaninėms savybėms, nes šių procesų metu dėl fazinių virsmų yra ženkliai keičiama plieno mikrostruktūra. Šios savybės apima gerą atsparumą tempimui, kietumą ir atsparumą smūgiams, kurie yra labai svarbūs norint atlaikyti didesnius smūgius ir abrazyvines sąlygas (Ozden et al., 2021). Dėl galimybės suteikti šias savybes termiškai apdorojant vidutinio anglies plienus, terminis apdirbimas yra patrauklus pasirinkimas kultivatoriaus noragams stiprinti.

Grūdinimas apibūdinamas kaip procesas, kai plienas kaitinamas iki tam tikros temperatūros ir greitai atšaldomas, dažniausiai vandenyje arba alyvoje. Grūdinimas padidina kietumą, paverčiant austenito fazę martensitu – kietesne, bet trapesne struktūra (Mohammed, Al-hashimy, 2021). Manipuliavimas aušinimo terpe labai daro įtaką mechaninėms savybėms, aušinimas vandenyje paprastai sukelia didesnį kietumą nei aušinimas alyva dėl greitesnio aušinimo greičio, kuris skatina smulkesnes mikrostruktūras (Odusote et al., 2012). Tačiau tokia kieta ir trapi struktūra yra neatspari smūginėms apkrovoms. Po grūdinimo dažnai reikalinga atleidimo operacija, kad būtų sumažintas trapumas išlaikant kietumą. Kaitinimo temperatūros, grūdinant vidutinio anglingumo plieną, ir aušinimo terpės įtaka plieno savybėms pateikta 1 paveiksle.



Šaltinis: sudaryta pagal Odusote et al. (2012)
Source: according to Odusote et al. (2012)

1 pav. Stiprumo tempiant (a) ir kietumo (b) pokytis grūdinimo metu aušinant vandenyje ir alyvoje, kai grūdinant kaitinama skirtingose temperatūrose

Fig. 1. Change in tensile strength and hardness during quenching in water and oil when heated to different temperatures

Atleidimas – tai operacija, kai grūdintas plienas pakartotinai kaitinamas iki temperatūros, leidžiančios stabilizuotis cementitui ir susidaryti plastiškesnei mikrostruktūrai (Januarijansah et al., 2024). Paprastai atleidimas vyksta temperatūrų intervale nuo 250 °C iki 450 °C. Šis procesas, nors ir keičia kietumą, bet ir padidina atsparumą dilimui. Vidutinio anglies plieno mechaninėms savybėms didelę įtaką daro naudojamas terminio apdorojimo procesas. D. O. Oluyemi ir kt. (2011) teigia, kad termiškai apdorotų vidutinio anglies plieno bandinių atsparumas smūgiams yra didesnis nei kai kurių jų analogų, nes terminio apdorojimo metu susidaro stiprios plokštelinio martensito struktūros. Be to, mechanines savybes galima optimizuoti kontroliuojant terminio apdorojimo parametrus, tokius kaip temperatūra, aušinimo greitis ir kaitinimo laikas (Agboola et al., 2020).

Žemės ūkio padargų detalių iš vidutinio anglingumo plieno tinkamas terminis apdorojimas yra labai svarbus siekiant pagerinti jų mechanines savybes ir bendrą technikos našumą. Tobulėjant žemės ūkio technikai, vidutinio anglies plieno terminio apdorojimo technologijų kūrimas galėtų atlikti ženklų indėlį didinant žemės ūkio padargų efektyvumą.

Išvados

1. Tyrimai rodo, kad žemės dirbimo padargų atsparumo dilimui didinimas yra aktualus, nes dėl abrazyvinio dilimo susidarantys nuostoliai gali būti pakankamai dideli, 50 proc. visų dilimo gedimų įvyksta dėl abrazyvinio dilimo. Norint veiksmingai valdyti šias išlaidas, yra svarbu suprasti eksploataavimo sąlygų, medžiagų parinkimo ir padargų ilgaamžiškumo sąsajas.

2. Plieno atsparumas abrazyviniam dilimui iš esmės priklauso nuo plieno mikrostruktūros (specifinių esamų fazių derinio), kuri keičiama terminio apdirbimo metu, atleidžiant grūdintą plieną 250–450 °C temperatūrų intervale ir formuojant atitinkamą kietumo, plastiškumo, elastingumo balansą.

3. Žemės ūkio padargų detalių, pagamintų iš vidutinį anglies kiekį turinčio plieno, tinkamas terminis apdorojimas yra labai svarbus siekiant pagerinti jų mechanines savybes. Tobulėjant žemės ūkio technikai, vidutinio anglies plieno terminio apdorojimo technologijų optimalių parametrų parinkimas yra svarbus didinant žemės ūkio padargų efektyvumą.

Literatūra

1. Agboola, O. O., Ikubanni, P. P., Adeleke, A. A., Adediran, A. A., Adesina, O. S., Aliyu, S. J., & Olabamiji, T. S. (2020). Optimization of heat treatment parameters of medium carbon steel quenched in different media using Taguchi method and grey relational analysis. *Heliyon*, 6(7). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e04444>
2. Al-Sabea, J., & Al-Hashimy, Z. (2017). Effect of different quenching media on microstructure, hardness, and wear behavior of steel used in petroleum industries. *Journal of Petroleum Research & Studies*, 3(2), 67-75. <https://doi.org/10.52716/jprs.v8i2.244>
3. Bakshi, S., Shipway, P., & Bhadeshia, H. (2013). Three-body abrasive wear of fine pearlite, nanostructured bainite and martensite. *Wear*, 308(1-2), 46-53. <https://doi.org/10.1016/j.wear.2013.09.008>
4. Białobrzeska, B. and Kostencki, P. (2015). Abrasive wear characteristics of selected low-alloy boron steels as measured in both field experiments and laboratory tests. *Wear*, 328-329, 149-159. <https://doi.org/10.1016/j.wear.2015.02.003>
5. Dilay, Y. (2023). Determination of wear resistance of nickel-carbide alloy coating by atmospheric plasma spray technique on 30mnB5 alloy steel used in cultivator blades. *Materials Research Express*, 10(6), 066504. <https://doi.org/10.1088/2053-1591/acda14>
6. Gharahbagh, E., Qiu, T., & Rostami, J. (2013). Evaluation of granular soil abrasivity for wear on cutting tools in excavation and tunneling equipment. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 139(10), 1718-1726. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)gt.1943-5606.0000897](https://doi.org/10.1061/(asce)gt.1943-5606.0000897)
7. Guo, H., Zhao, A., Zhi, C., Ding, R., & Wang, J. (2017). Two-body abrasion wear mechanism of super bainitic steel. *Materials Science and Technology*, 33(7), 893-898. <https://doi.org/10.1080/02670836.2016.1245239>
8. Güney, B., & Dilay, Y. (2022). Determination of abrasion resistance of Fe28Cr5C1Mn coating applied to 30MnB5 boron alloy cultivator blades via electric arc spray. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part C: Journal of Mechanical Engineering Science*, 236(17), 9687-9699. <https://doi.org/10.1177/09544062221097803>
9. Han, X., Zhang, Z., Barber, G. C., Thrush, S. J., & Li, X. (2021). Wear resistance of medium carbon steel with different microstructures. *Materials*, 14(8), 2015. <https://doi.org/10.3390/ma14082015>
10. Jakobsen, P., Bruland, A., & Dahl, F. (2013). Review and assessment of the ntnu/sintef soil abrasion test (sat™) for determination of abrasiveness of soil and soft ground. *Tunnelling and Underground Space Technology*, 37, 107-114. <https://doi.org/10.1016/j.tust.2013.04.003>
11. Khatiwada, D., Dutta, J., Shrestha, K., Adhikari, G., & Paudel, H. (2021). Economic impact of agricultural mechanization in rice farming in shivasatakshi municipality of jhapa district, nepal. *Food and Agri Economics Review*, 1(1), 41-45. <https://doi.org/10.26480/faer.01.2021.41.45>
12. Napiórkowski, J., Olejniczak, K., & Konat, Ł. (2021). Wear properties of nitride-bonded silicon carbide under the action of an abrasive soil mass. *Materials*, 14(8), 2043. <https://doi.org/10.3390/ma14082043>
13. Nasirahmadi, A. and Hensel, O. (2022). Toward the next generation of digitalization in agriculture based on digital twin paradigm. *Sensors*, 22(2), 498. <https://doi.org/10.3390/s22020498>
14. Odusote, J. K., Ajiboye, T. K., & Rabi, A. B. (2012). Evaluation of mechanical properties of medium carbon steel. *The Eurasia Proceedings of Science Technology Engineering and Mathematics*, 16, 14-19. <https://doi.org/10.55549/epstem.1052207>
15. Oluyemi, D. O., Oluwole, O. I., & Adewuyi, B. O. (2011). Studies of the properties of heat treated rolled medium carbon steel. *Materials Research*, 14, 135-141. <https://doi.org/10.1590/s1516-14392011005000040>
16. Osuch, M., Lawrence, D., Meresa, H., Napiórkowski, J., & Romanowicz, R. (2016). Projected changes in flood indices in selected catchments in poland in the 21st century. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 31(9), 2435-2457. <https://doi.org/10.1007/s00477-016-1296-5>
17. Quan, X. and Doluschitz, R. (2021). Factors influencing the adoption of agricultural machinery by chinese maize farmers. *Agriculture*, 11(11), 1090. <https://doi.org/10.3390/agriculture11111090>

18. Refai, M., Abdel Hamid, Z., El-Kilani, R. M., & Nasr, G. E. (2020). Reducing the wear and corrosion of the agricultural mower steel knives by electrodeposition nanocomposite coatings–Review. *Egyptian journal of chemistry*, 63(8), 3075-3095. <https://doi.org/10.21608/ejchem.2020.28677.2615>
19. Shutkin, A., Ishkov, A., Shmykova, P., Kalimullin, M., Aksenov, A., Sakhapov, R., & Yakushev, A. (2024). Study of the wear resistance of hardened harrows of agricultural machines. *E3s Web of Conferences*, 525, 03018. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202452503018>
20. Singh, J., Chatha, S., & Sidhu, B. (2020). Effect of alloying elements in fe-based hardfacings to improve the abrasive wear behavior of ploughshares. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers Part C Journal of Mechanical Engineering Science*, 234(23), 4737-4750. <https://doi.org/10.1177/0954406220925847>
21. Wang, Y., Li, D., Nie, C., Gong, P., Yang, J., Hu, Z., ... & Ma, M. (2023). Research progress on the wear resistance of key components in agricultural machinery. *Materials*, 16(24), 7646. <https://doi.org/10.3390/ma16247646>
22. Wang, Z., Liu, B., & Zhang, Y. (2009). Soil moisture of different vegetation types on the loess plateau. *Journal of Geographical Sciences*, 19(6), 707-718. <https://doi.org/10.1007/s11442-009-0707-7>
23. steel quenched in water and oil. *AU Journal of Technology*, 15(4). <https://doi.org/10.4236/jmmce.2012.119079>

REVIEW OF THE INFLUENCE OF THE MICROSTRUCTURE OF STEELS ON THEIR ABRASIVE WEAR

Abstract

Steels are still the most widely used material in the agricultural machinery industry. Tillage machinery implements are the parts most exposed to abrasive environments. Steel grades are used that are characterized by high wear resistance for the manufacture of such parts. This property largely depends on the microstructure of the steel, which is most often formed during heat treatment. The article presents a review of the relationship between microstructure and their resistance to abrasive wear of medium carbon steels, most often used for the manufacture of tillage machinery parts due to their sufficiently good mechanical properties and relatively low cost compatibility, and the influence of the main heat treatment parameters on the formation of the microstructure with the highest wear resistance.

Keywords: steel, microstructure, abrasive wear, hardness, earthmoving machinery.