Machinery & Energetics. Journal of Rural Production Research. Kyiv. Ukraine. 2020, Vol. 11, No 2, 35-40
ISSN 2663-1334 (print), ISSN 2663-1342 (online), www.journals.nubip.edu.ua/index.php/Tekhnica

DOI: 10.31548/machenergy.2020.02.035-040

УДК 631.31:621.891

ВПЛИВ СТУПЕНЯ ЗАКРІПЛЕННЯ АБРАЗИВНОЇ ЧАСТИНКИ НА МЕХАНІЗМ ЗНОШУВАННЯ РОБОЧИХ ОРГАНІВ ҐРУНТООБРОБНИХ МАШИН

К. В. Борак

Житомирський агротехнічний коледж, Україна.

Стаття з спеціальності: 05.05.11 – машини і засоби механізації сільськогосподарського виробництва.

Кореспонденція автора: koss1983@meta.ua.

Історія статті: отримано – січень 2019, акцептовано – квітень 2020.
Бібл. 12, рис. 3, табл. 1.

Анотація. При роботі деталей машин в складному гетерогенному середовищі (ґрунті) на поверхні тертя відбуваються складні процеси: механічні, хімічні, фізичні та термічні. Співвідношення між інтенсивністю протікання даних процесів визначає механізм абразивного зношування поверхні робочих органів ґрунтообробних машин. В переважній більшості випадків інтенсивність протікання механічних процесів, при взаємодії поверхні робочих органів ґрунтообробних машин з ґрунтом, переважає інтенсивність протікання всіх інших процесів разом взятих. Один з основних факторів, який впливає на інтенсивність протікання механічних процесів в зоні фрикційного контакту між ґрунтом і поверхнею робочих органів ґрунтообробних машин є ступінь закріплення абразивної частинки.

В роботі теоретично встановлено вплив ступеня закріплення абразивної частинки в ґрунті на механізм абразивного зношування поверхні робочих органів ґрунтообробних машин. Зі збільшенням ступеня закріплення абразивної частинки зростає площа та глибина пластичної деформації та підвищується ймовірність виникнення відокремлення металу (мікрорізання) з поверхні робочих органів ґрунтообробних машин.

Експлуатаційні дослідження проводили на супіщаних ґрунтах в умовах Овруцького району Житомирської області. Для досліджень використовували універсальний дисковий агрегат УДА-4,5, робочі органи якого були виготовлені зі сталі 65Г. У процесі експлуатації спостерігалося суттєве зменшення слідів мікрорізання на поверхні тертя при зменшенні ступеня закріплення абразивної частинки. Експлуатаційні дослідження в повній мірі підтверджують теоретичні твердження.

Ключові слова: робочий орган, ґрунтообробна машина, абразивна частинка, ґрунт, поверхня, механізм зношування.

Постановка проблеми

В процесі абразивного зношування робочих органів ґрунтообробних машин на поверхні тертя протікають механічні, фізичні, хімічні та термічні процеси. Співвідношення між цими процесами визначають інтенсивність абразивного зношування. В результаті раніше проведених досліджень [1, 2, 3, 4, 5] встановлено, що при зношуванні робочих органів ґрунтообробних машин механічні процеси на поверхні тертя переважають над іншими і визначають механізм та інтенсивність зношування. Вибір матеріалу робочих органів ґрунтообробних машин повинен ґрунтуватися на властивостях ґрунтового середовища, що будуть визначати механізм абразивного зношування [6]. Один з основних чинників, що визначає механізм абразивного зношування поверхні робочих органів ґрунтообробних машин є ступінь закріплення абразивної частинки в ґрунті. Тому дослідження впливу ступеня закріплення абразивної частинки на механізм зношування поверхні робочих органів ґрунтообробних машин, є беззаперечно актуальною задачею.

Аналіз останніх досліджень

Вивчення механізму абразивного зношування при переміщені деталей в абразивній масі в різний час займалися Северньов М.М., Ткачев В.М., Тененбаум М.М., Крагельский І.В. Костецкий Б.І., Дворук В.І., Аулін В.В. [7] та інші.

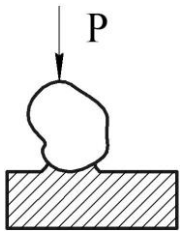
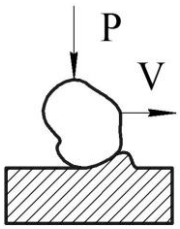
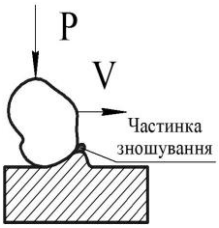
Северньов М.М. пропонує розглядати ґрунт, як тверде тіло з доволі шорсткою поверхнею, що є не коректним і не дозволить об’єктивно описати процеси на поверхні робочих органів ґрунтообробних машин при абразивному зношуванні. Поверхня робочих органів ґрунтообробних машин взаємодії з абразивними частиками, які переміщуються по всьому шарі ґрунтової маси, що призводить до зміни фактичної площі контакту та «шорсткості» абразивної маси протягом всього часу абразивного зношування.

Процес зношування металевої поверхні деталей машин, які працюють в абразивній масі, в більшості випадків розглядається з точки зору взаємодії з жорстко закріпленою абразивною частинкою. Відповідно до «молекулярно-механічної» теорії

механізм абразивного зношування складається з 3 етапів [8], які представлені в табл. 1.

Таблиця 1. Принципова схема руйнування матеріалів при абразивному зношуванні [7].

Table 1. Schematic diagram of the destruction of materials in abrasive wear [7].

Етапи руйнування поверхні		Опис процесу
1. Проникнення абразивної частинки		1. Взаємодія абразивної частинки з поверхнею. 2. Локальне пружно-пластичне відтискування поверхневого шару металу з утворенням навалок.
2. Переміщення абразивної частинки		1. Зародження і ріст мікротріщень. 2. Зародження і ріст мікротріщин. 3. Відрив поверхневого шару від основної частини металу.
3. Відокремлення частинки зносу		1. Утворення валика з деформованого матеріалу. 2. Пластичне відтискування валика абразивною частинкою. 3. Зріз металу і утворення частинки зносу.

Викликає сумнів окреме протікання першого і другого етапів руйнування матеріалів при абразивному зношуванні робочих органів в ґрунті. Більш ймовірним при зношуванні робочих органів ґрунтообробних машин є протікання одночасно першого і другого етапів де процес проникнення і переміщення відбувається одночасно про, що може свідчити зміна ширини і глибини одиничної канавки на поверхні робочих органів.

При абразивному зношування робочих органів ґрунтообробних машин перед виникненням першого етапу можливе протікання і інших етапів, які можуть як зміцнювати робочу поверхню (наклеп частинками, які не можуть проникати в поверхня і-за багатьох факторів) так і знижувати абразивну зносостійкість (взаємодія з патокою коріння, яка містить гліцин і аспірин, які сприяють окислювальному розчиненню сталі [9]).

Процес відокремлення металу з поверхні робочих органів ґрунтообробних машин представлений в таблиці 1 можливий при:

- твердості абразивної частинки не менше 6,5 одиниць по Моосу;
- закріпленості абразивної частинки;
- наявності гострих виступів в абразивної частинки;
- тиску на абразивну частину, який дозволить даній частинці проникати в поверхню металу.

Тому дану схему руйнування матеріалів при абразивному зношуванні (табл. 1) робочих органів ґрунтообробних машин можна віднести тільки до одного конкретного випадку.

Костецький Б.І. абразивний знос поділяв на дві форми: з переважанням механохімічного руйнування та з переважанням механічного руйнування. Він вважав, що форму абразивного зношування визначає співвідношення механічних властивостей абразивних частинок і поверхневих шарів металу. В даному твердженні неврахована можливість зміни форми абразивного зношування в залежності від ступеня фіксації абразивної частинки в абразивній масі.

Один з основних показників, який визначає механізм протікання абразивного зношування є ступінь закріплення абразивної частинки [10-12], саме тому необхідно провести дослідження по визначенню впливу ступеня закріпленості абразивної частинки на механізм абразивного зношування.

Мета досліджень

Мета даної роботи полягає у визначені впливу ступеня закріплення абразивних частинок в ґрунті на механізм абразивного зношування поверхні робочих органів ґрунтообробних машин.

Результати досліджень

При експлуатації робочих органів ґрунтообробних машин в розпушеній ґрунтовій масі (передпосівний обробіток, боронування в два сліди і т.д.) виникає ймовірність взаємодії поверхні робочих органів ґрунтообробних машин з незакріпленими абразивними частинками (рис. 1).

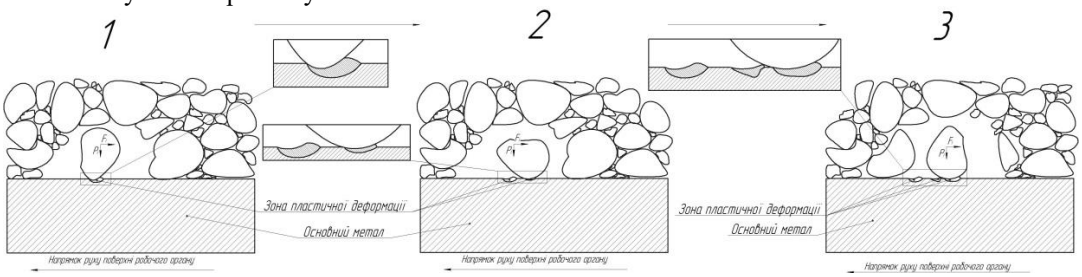


Рис. 1. Взаємодія поверхні робочих органів ґрунтообробних машин з не закріпленою абразивною частинкою.

Fig. 1. Interaction of the surface of the working bodies of the tillage machines with the non-fixed abrasive part.

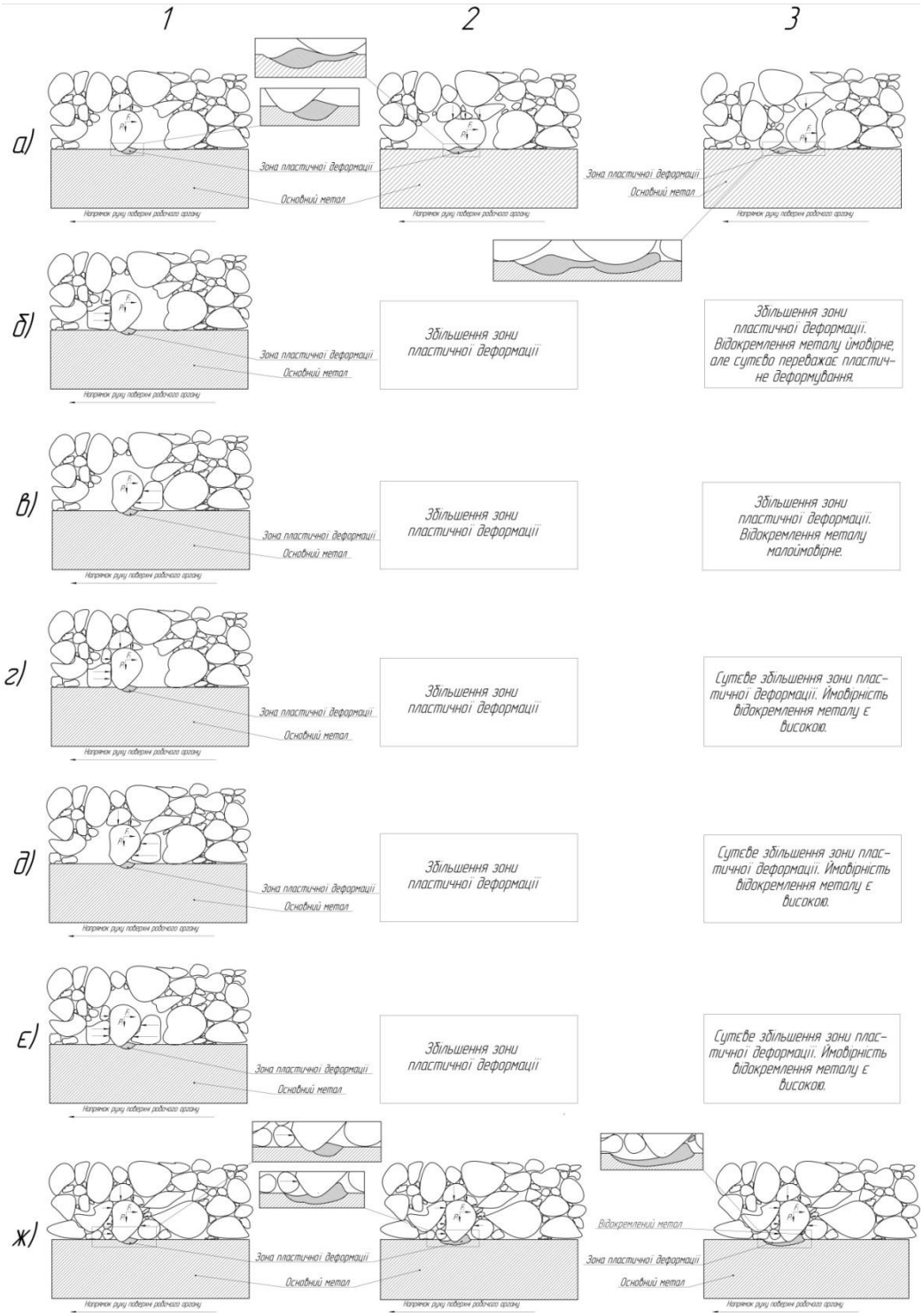


Рис. 2. Взаємодія абразивної частинки з поверхнею робочих органів в залежності від варіанту закріплення абразивної частинки в ґрунті: *а* – абразивна частинка закріплена з однієї сторони (згори); *б* – абразивна частинка закріплена з однієї сторони (за напрямком руху); *в* – абразивна частинка закріплена з однієї сторони (проти напрямку руху); *г* – абразивна частинка закріплена з двох сторін зверху та за напрямком руху; *д* – абразивна частинка закріплена з двох сторін зверху та проти напрямком руху; *є* – абразивна частинка закріплена з двох сторін за напрямком та проти напрямком руху; *ж* – абразивна частинка закріплена з трьох сторін (жорстко).

Fig. 2. The interaction of the abrasive particle with the surface of the working bodies, depending on the variant of fixing the abrasive particle in the soil: *а* – abrasive particle is fixed on one side (from above); *б* – abrasive particle fixed on one side (in the direction of motion); *в* – abrasive particle fixed on one side (against the direction of motion); *г* – is an abrasive particle fixed on both sides from above and in the direction of movement; *д* – abrasive particle fixed on both sides from above and against the direction of movement; *є* – an abrasive particle fixed on both sides in the direction and in the direction of movement; *ж* – an abrasive particle fixed on three sides (rigidly).

При взаємодії незакріплених абразивних частинок з поверхнею робочого органу (рис. 1) можливо протікання двох видів тертя: кочення з проковзуванням та тертя ковзання. На поверхні тертя відбувається пластична деформація поверхні металу, зношування поверхні носить втомлювальних характер. Величина пластичної деформації залежить від площі контакту між абразивною частинкою та поверхнею робочих органів, що в свою чергу залежить від форми абразивної частинки. Ймовірність взаємодії поверхні робочих органів ґрунтообробних машин з «вільними» абразивними частинка невисока, більш ймовірним є різні варіанти фіксації абразивних частинок представлених на рис. 2.

Виникнення пластичної деформації на поверхні робочих органів ґрунтообробних машин спостерігається при всіх варіантах закріплення абразивної частинки, величина пластичної деформації залежить від ступеня закріпленості абразивної частинки, тиску на абразивну частинки та фактичної площі фрикційного контакту (рис. 2). Відокремлення металу (мікрорізання) на пряму залежить від ступеня закріплення абразивної частинки в ґрунті, чим більша ступінь закріплення абразивної частинки ти вище ймовірність відокремлення металу. Слід відмітити, що дане твердження справедливе при умові, що твердість абразивної частинки буде дорівнювати або буде більша за твердість поверхні металу.

Ймовірність виникнення процесу мікрорізання металу також на пряму залежить від коефіцієнта форми та тиску на абразивну частику. Так як, всі ці фактори незалежні тому ймовірність виникнення процесу мікрорізання на поверхні робочих органів ґрунтообробних машин можна описати залежністю:

$$P(\text{Мікр.})=P(T)+P(\text{С.З.})+P(\text{К.Ф.})+P(P) \quad (1)$$

де P(Мікр.) – ймовірність зняття металу (мікрорізання) з поверхні робочих органів ґрунтообробних машин в результаті взаємодії з ґрунтовим середовищем; P(T) – ймовірність взаємодії з абразивною частинкою твердістю рівною або більшою за твердість поверхні робочих органів ґрунтообробних машин; P(К.Ф.) – ймовірність взаємодії з абразивною частинкою форма якої може призвести до процесу мікрорізання; P(P) – ймовірність виникнення тиску, що призведе до проникнення абразивної частики в поверхню робочих органів ґрунтообробних машин. Як бачимо з залежності 1 виникнення процесу мікрорізання залежить від збігу несприятливих факторів абразивного зношування в процесі експлуатації робочих органів ґрунтообробних машин.

В умовах жорстко закріплених абразивних частинок (рис 2, ж) та закріплені абразивної частинки з двох сторін (рис 2, є) на поверхні робочих органів ґрунтообробних машин спостерігається тільки тертя ковзання. В усіх інших випадках (рис. 2, а-д) на поверхні робочих органів ґрунтообробних машин можемо спостерігати два види тертя: тертя ковзання та тертя кочення з проковзуванням.

При реальній експлуатації робочих органів ґрунтообробних машин абразивна частинка, яка взаємодіє з поверхнею робочих органів, може змінювати варіанти закріплення і по різному впливати на поверхню робочого органу в різний момент часу .

Для підтвердження теоретичних досліджень були проведені експериментальні дослідження на супіщаних ґрунтах в Овруцькому районі, Житомирської області. Дослідження проводили на універсальному дисковому агрегаті УДА 4,5 в осінній період 2017 року. Робочі органи були виготовлені зі сталі 65Г. Експлуатацію дискового агрегату проводили при трьох різних ступенях фіксації абразивної частинки:

1. Ділянка після озимої пшениці;
2. Ділянка після озимої пшениці, повторне боронування на 2 день після першого обробітку;
3. Ділянка після озимої пшениці, повторне боронування на 21 день після першого обробітку.

В результаті досліджень з’ясовано, що при експлуатації робочих органів ґрунтообробних машин на ділянках поля де абразивні частинки мають вищу ступінь фіксації ймовірність виникнення процесу мікрорізання значно вища (рис. 3).

а)

б)

Рис. 3. Поверхня робочих органів ґрунтообробних машин після експлуатації: *а* – на ділянці поля після озимої пшениці; *б* – на ділянці поля після озимої пшениці, повторне боронування на 2 день після першого обробітку.

Fig. 3. Surface of working bodies of soil tillage machines after operation: a – on the field of field after winter wheat; б – in the field after winter wheat, re-harrowing for 2 days after the first cultivation.

Як бачимо з рис. 3 при зношуванні в незакріпленій абразивній масі відсутні сліди мікрорізання, на відміну від зношування в ґрунтовій масі де абразивні частинки знаходилися в закріпленому стані. Поверхня тертя при зношуванні незакріпленим абразивом має вигляд відполірованої поверхні, що свідчить про переважання пластичної деформації в зоні фрикційного контакту (рис. 3, б).

Висновки

1. В роботі теоретично встановлено механізм зношування поверхні робочих органів ґрунтообробних машин в залежності від варіантів закріплення абразивної частинки в ґрунті.

2. Встановлено, що зі збільшенням ступеню закріплення абразивної частинки зростає об'єми металу, які піддаються пластичній деформації та збільшується ймовірність протікання негативних явищ (мікрорізання) на поверхні тертя.

3. Результати експлуатаційних досліджень підтвердили теоретичні дослідження впливу ступеня закріплення абразивної частинки ґрунту на механізм зношування поверхні робочих органів ґрунтообробних машин.

Список літератури

1. *Perez G. W., Gonzalez H., Toro A.* Abrasive wear of rotary plow blades in a sandy loams soil. *Dyna rev.fac.nac.minas [online]*. 2010. Vol. 77. № 162. P. 105-114.

2. *Gonzalez H., Cappelli N., Toro A.* Wear of rotary plows operating in a tropical clay loam soil. *Engenharia Agrícola*. 2013. Vol. 33, № 4: URL: https:// doi. org/10.1590/S0100-69162013000400017.

3. *Myalenko V. I.* Prediction of the Expected Wear Resistance of Soil-Cutting Elements by the Simulation Loading Method. *Journal of Physics: Conference. Series*. IX International Scientific Practical Conference "Innovative Technologies in Engineering" 24–26 May 2018, Yurga, Russian Federation. Vol. 1059: URL: doi :10.1088/1742-6596/1059/1/012022.

4. *Moore M. A.* Abrasive wear by soil. *Tribology International*. 1975. Vol. 8, № 3. P. 105-110: URL: https://doi.org/10.1016/0301-679X(75)90027-4.

5. *Hoormazdi G., Küpferle J., Röttger A., Theisen W., Hack K.* A Concept for the Estimation of Soil-Tool Abrasive Wear Using ASTM-G65 Test Data. *International Journal of Civil Engineering*. 2019. № 17. P. 103-111: URL: https://doi.org/10.1007/s40999-018-0333-9.

6. *Napiórkowski J., Lemecha M., Konat Ł.* Forecasting the Wear of Operating Parts in an Abrasive Soil Mass Using the Holm-Archard Model. *Materials*. 2019. Vol. 12, № 2180: URL: doi:10.3390/ma12132180.

7. *Аулін В. В.* Трибофізичні основи підвищення зносостійкості деталей та робочих органів сільськогосподарської техніки : Дисертація д-ра техн. наук : 05.02.04. Хмельницький, 2015. 360 с.

8. *Меделяев И. А., Албагачиев А. Ю., Сорокин Г. М.* Физическая природа разрушения материалов при абразивном изнашивании. *Трение и износ*. 2004. Том 25, № 2. С. 148-154.

9. *Огородникова Н. П.* Химическое взаимодействие металлов – меди, железа и марганца с α- и β-аминокислотами в водных и органических средах : автореферат дис. на соиск. науч. ст. канд. хим. наук : 02.00.04. Ростов-на-Дону, 2010. 24 с.

10. *Mank V., Tonkha O., Galimova V., Surovtsev S., Menshov O., Bukova O., Rogovskiy I.* Electrochemical investigation of cobalt absorbtion processes by soils of Ukraine. Visnyk of Taras Shevchenko National University of Kyiv-Geology. Kyiv. 2019. Vol. 3 (86). P. 31−39. WoS.

11. *Rogovskii I. L., Titova L. L., Trokhaniak V. I., Haponenko O. I., Ohiienko M. M., Kulik V. P.* Engineering management of tillage equipment with concave disk spring shanks. INMATEH. Agricultural Engineering. 2020. Bucharest. Vol. 60. No 1. P. 45−52. DOI: 10.35633/INMATEH-60-05. Scopus. WoS.

12. *Роговський І. Л.* Алгоритмічність визначення періодичності відновлення працездатності сільськогосподарських машин за ступенем витрат їх ресурсу. Machinery & Energetics. Journal of Rural Production Research. Kyiv. Ukraine. 2020. Vol. 11. No 1. P. 155-162. DOI: 10.31548/machenergy.2020.01.155-162.

References

1. *Perez, G. W., Gonzalez, H., Toro, A.* (2010). Abrasive wear of rotary plow blades in a sandy loams soil. Dyna rev.fac.nac.minas [online]. Vol.77, № 162, 105-114.

2. *Gonzalez, H., Cappelli, N., Toro, A.* (2013). Wear of rotary plows operating in a tropical clay loam soil. Engenharia Agrícola. Vol. 33, № 4. URL: https://doi.org/10.1590/S0100-69162013000400017.

3. *Myalenko, V. I.* (2018). Prediction of the Expected Wear Resistance of Soil-Cutting Elements by the Simulation Loading Method. Journal of Physics: Conference. Series. IX International Scientific Practical Conference "Innovative Technologies in Engineering". Vol. 1059: URL: doi :10.1088/1742-6596/1059/1/012022.

4. *Moore, M. A*. (1975). Abrasive wear by soil. Tribology International. Vol. 8, № 3, 105-110. URL: https://doi.org/10.1016/0301-679X(75)90027-4.

5. *Hoormazdi, G., Küpferle, J., Röttger, A., Theisen, W., Hack, K.* (2019). Concept for the Estimation of Soil-Tool Abrasive Wear Using ASTM-G65 Test Data. International Journal of Civil Engineering. № 17, 103-111. URL: https://doi.org/10.1007/s40999-018-0333-9.

6. *Napiorkowski, J., Lemecha, M., Konat, L.* (2019). Forecasting the Wear of Operating Parts in an Abrasive Soil Mass Using the Holm-Archard Model. Materials. Vol. 12, № 2180: URL: doi:10.3390/ma12132180.

7. *Aulin, V. V.* (2015). [Tribophysical bases of wearproofness of details and working organs of agricultural technique increasing. (Doctoral dissertation). Khmelnytskyi, Hmelnytskyi natsionalnyi universytet, 360.

8. *Medelyaev I. A., Albagachiev A. Y., Sorokin G. M.* (2004). Fizicheskaya priroda razrusheniya materialov pri abrazivnom iznashivanii. Trenie i iznos, 25, 148-154.

9. *Ogorodnikova N. P.* (2010). Ximicheskoe vzaimodejstvie metallov – medi, zheleza i margancza s α- i β-aminokislotami v vodny`x i organicheskix sredax . (Master's thesis). Rostov-na-Donu.

10. *Mank V., Tonkha O., Galimova V., Surovtsev S., Menshov O., Bukova O., Rogovskiy I.* (2019). Electrochemical investigation of cobalt absorbtion processes by soils of Ukraine. Visnyk of Taras Shevchenko National University of Kyiv-Geology. Kyiv. Vol. 3 (86). 31−39. WoS.

11. *Rogovskii I. L., Titova L. L., Trokhaniak V. I., Haponenko O. I., Ohiienko M. M., Kulik V. P.* (2020). Engineering management of tillage equipment with concave disk spring shanks. INMATEH. Agricultural Engineering. Bucharest. Vol. 60. No 1. 45−52. DOI: 10.35633/INMATEH-60-05. Scopus. WoS.

12. *Rogovskii I. L.* (2020). Algorithmicly determine the frequency of recovery of agricultural machinery according to degree of resource's costs. Machinery & Energetics. Journal of Rural Production Research. Kyiv. Ukraine. Vol. 11. No 1. 155-162. DOI: 10.31548/machenergy.2020.01.155-162.

ВЛИЯНИЕ СТЕПЕНИ ЗАКРЕПЛЕНИЕ АБРАЗИВНОЙ ЧАСТИЦЫ НА МЕХАНИЗМ ИЗНОСА РАБОЧИХ ОРГАНОВ ПОЧВООБРАБАТЫВАЮЩИХ МАШИН

К. В. Борак

Аннотация. При работе деталей машин в сложной гетерогенной среде (почве) на поверхности трения происходят сложные процессы: механические, химические, физические и термические. Соотношение между интенсивностью протекания данных процессов определяет механизм абразивного износа поверхности рабочих органов почвообрабатывающих машин. В подавляющем большинстве случаев интенсивность протекания механических процессов при взаимодействии поверхности рабочих органов почвообрабатывающих машин с почвой, преобладает над интенсивностью протекания всех других процессов вместе взятых. Один из основных факторов, который влияет на интенсивность протекания механических процессов в зоне фрикционного контакта между почвой и поверхностью рабочих органов почвообрабатывающих машин является степень закрепления абразивной частицы.

В работе теоретически установлено влияние степени закрепления абразивной частицы в почве на механизм абразивного износа поверхности рабочих органов почвообрабатывающих машин. С увеличением степени закрепления абразивной частицы растет площадь и глубина пластической деформации и повышается вероятность возникновения отделения металла (микрорезания) с поверхности рабочих органов почвообрабатывающих машин.

Эксплуатационные исследования проводили на супесчаных почвах в условиях Овручского района Житомирской области. Для исследований использовали универсальный дисковый агрегат УДА-4,5, рабочие органы которого были изготовлены из стали 65Г. В процессе эксплуатации наблюдалось существенное уменьшение следов микрорезания на поверхности трения при уменьшении степени закрепления абразивной частицы. Эксплуатационные исследования в полной мере подтверждают теоретические утверждения.

Ключевые слова: рабочий орган, почвообрабатывающая машина, абразивная частица, почва, поверхность, механизм износа.

INFLUENCE OF DEGREE OF ABRASIVE PARTICLE CLINGING TO WEAR MECHANISM OF SOIL-CULTIVATING MACHINES OPERATIONAL MECHANISMS

K. V. Borak

Abstract. While the machine parts operate in the composite heterogeneous environment (soil), the following complex processes occur on the friction surface: mechanical, chemical, physical, and thermal. The ratio between the intensity of these processes defines the mechanism of abrasive wear of the surface of the soil-cultivating machines operational mechanisms. In the overwhelming majority of cases, while the soil-cultivating machines operational mechanisms interact with the soil, the intensity of mechanical processes prevails over the intensity of all other processes combined. One of the main factors influencing the intensity of mechanical processes in the area of friction contact between the ground and the surface of soil-cultivating machines operational mechanisms is the degree of an abrasive particle clinging.

The influence of the degree of an abrasive particle clinging in the soil to the mechanism of abrasive wear of the surface of the soil-cultivating machines operational mechanisms is theoretically determined. As the degree of an abrasive particle clinging increases, the area and depth of plastic deformation enlarge, and the probability of metal separation (micro-cutting) from the surface of the soil-cultivating machines operational mechanisms increases.

Field explorations were carried out on sandy soils within the Ovruch district of the Zhytomyr region. UDA-4.5 universal disc unit, the operational mechanisms of which were made of 65H steel, was used for the explorations. During the explorations, a considerable limitation of micro-cutting signs on the friction surface, as well as reduction of the degree of an abrasive particle clinging were noticed. Field explorations completely confirm theoretical statements.

Key words: operational mechanism, soil-cultivating machine, abrasive particle, soil, surface, wear mechanism.

К. В. Борак ORCID 0000-0002-5611-4707.