УДК 621.793
https://doi.org/10.56619/2078-7138-2025-170-4-7-13

ТЕХНОЛОГИЯ ЗАЩИТЫ ОТ ИЗНАШИВАНИЯ ПОВЕРХНОСТЕЙ РАБОЧИХ ОРГАНОВ ПОЧВООБРАБАТЫВАЮЩИХ МАШИН

Л.М. Акулович,
профессор каф. технологии металлов БГАТУ, докт. техн. наук, профессор

В.Г. Мисько,
ст. преподаватель каф. технологий и организации технического сервиса БГАТУ

В статье научно обоснована гипотеза защиты от изнашивания поверхностей деталей рабочих органов почвообрабатывающих машин, заключающаяся в формировании на их поверхностях градиентного по твердости упрочненного слоя с шероховатостью поверхности, позволяющей ее шаржировать твердыми (абразивными) частицами, содержащимися в почве, что в результате самоорганизации процесса изнашивания создает в зоне контакта с почвой абразивную прослойку, способствующую приблизить коэффициент трения контактируемой поверхности детали о почву к коэффициенту трения почвы с почвой. Для реализации гипотезы предложена и экспериментально подтверждена технология нанесения покрытий электроискровой упрочняющей обработкой, создающая топографию поверхности для последующего ее шаржирования твердыми частицами при контакте с почвой.

Ключевые слова: структура почвы, абразивная прослойка, покрытие, электроискровое упрочнение, впадины неровностей, градиент твердости, шероховатость поверхности.

The article scientifically validates the hypothesis of protecting the surfaces of the working parts of tillage machines from wear by forming a hardened layer with a surface roughness gradient on their surfaces, allowing it to be overacted with hard (abrasive) particles contained in the soil. As a result of the self-organization of the wear process, an abrasive layer in the contact zone with the soil is created, which helps to approximate the coefficient of friction of the contact surface with the soil to the coefficient of friction of the soil with the soil. For the implementation of the hypothesis, the technology of applying electro spark hardening treatment, which creates topography of the surface for subsequent contamination by solid particles in contact with the soil has been proposed and experimentally confirmed

Key words: soil structure, abrasive layer, coating, electro spark hardening, surface depressions, hardness gradient, surface roughness.

Введение

Эксплуатация большинства сельскохозяйственной техники носит сезонный характер и происходит в условиях изменяющихся нагрузок и свойств окружающей среды, что по мере увеличения наработки приводит к искажению формы рабочих поверхностей деталей, изменению их размеров, увеличению зазоров в подвижных соединениях, появлению дополнительных нагрузок и вибраций. Основной причиной потери работоспособности деталей является изнашивание их поверхностей, что приводит к необходимости либо замены деталей, либо восстановления изношенных поверхностей при ремонте. Установлено [1, с. 3], что из потерявших работоспособность деталей машин по причинам износа поверхностей около 85 % имеют износ не более (0,2÷0,3) мм, а себестоимость их восстановления составляет (50÷60) % от стоимости новой детали. Поэтому восстанавливать многие детали экономически целесообразно.

Количественно изнашивание характеризуется [2, с. 67] скоростью $V_И = \Delta h/t$ или интенсивностью $I_И = \Delta h/L$,

где Δh – величина износа (толщина удаленного слоя), м;

t – время работы, ч;

L – путь.

Поверхности деталей рабочих органов землеройных, почвообрабатывающих и посевных машин при перемещении в почве подвергаются воздействию массы незакрепленных твердых частиц. Степень этого воздействия в значительной мере зависит от структуры и фракционного состава почвы (рис. 1). Структура почвы отображает физическое строение твердой части и порового пространства почвы, обусловленное размером, формой, количественным соотношением, характером взаимосвязи и расположением, как механических элементов, так и состоящих из них агрегатов (ГОСТ 27593-88). В зависимости от фракционного состава почвы возможно наличие в ней одиночных крупных фракций. При динамическом контактирова-

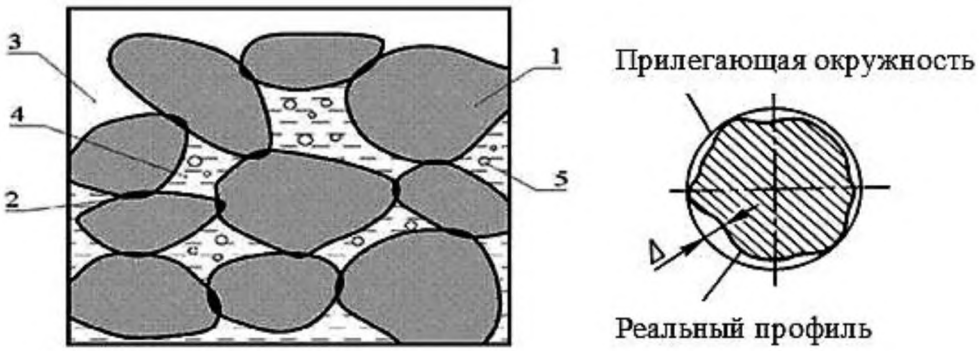


Рисунок 1. Схема расположения твердых частиц в структуре почвы: а – типовое расположение фракций: 1 – твердые частицы почвы; 2 – зоны контакта частиц; 3 – газовые поры; 4 – поры, заполненные жидкостью; 5 – пузырьки газа; б – модель поперечного сечения твердой частицы: Δ – отклонение от окружности округлого профиля абразивных частиц

нии металлических поверхностей с почвой такого состава, когда в зону контакта попадают абразивные или иные твердые частицы, а поры заполнены газовой и (или) жидкой фракцией, процесс изнашивания незакрепленными абразивными частицами можно уподобить «изнашиванию в абразивной прослойке», при котором абразивные частицы могут ударяться своими гранями о контактируемые поверхности, скользить по ним или вращаться, оставляя на поверхностях царапины и (или) углубления (рис. 1а). Наличие в абразивной прослойке жидкой среды облегчает условия трения за счет охлаждающего и смазывающего действия жидкости, а также способствует выносу абразива из зазора.

Цель исследования – изучить особенности изнашивания поверхностей рабочих органов почвообрабатывающих машин при контакте с незакрепленными абразивными частицами и предложить технологический метод создания абразивной прослойки, снижающей интенсивность трения и износ.

Методики исследований, оборудование и материалы

В ходе исследований выполнен анализ механизма изнашивания металлической поверхности в среде незакрепленных абразивных частиц почвы, а также технологических методов повышения износостойкости поверхностей рабочих органов почвообрабатывающих машин. На основании данного анализа обоснован метод формирования в зоне трения абразивной прослойки из твердых частиц почвы, одним из технологических вариантов которого может быть нанесение покрытий электроискровой упрочняющей обработкой и последующее их шаржирование особо твердыми частицами.

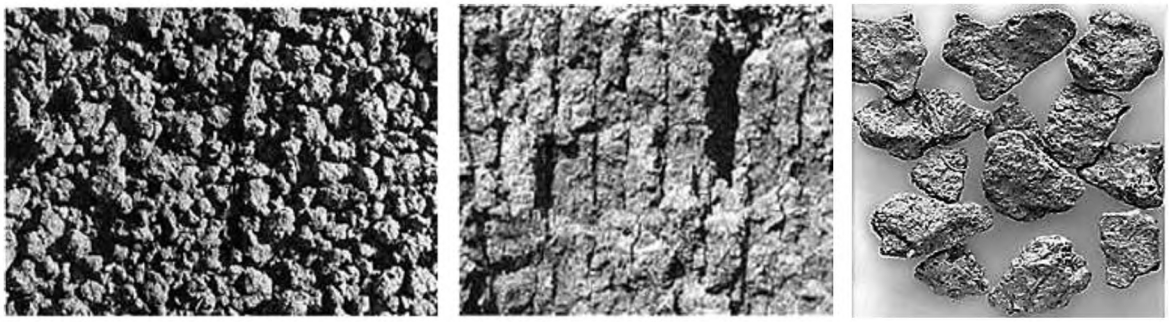
Экспериментальные исследования по нанесению покрытий проводились на установке для восстановления и упрочнения ОВД-28339 с генератором искровых импульсов модели БИГ-4. На рабочую часть диска сошников СПР-10.01.01 посевного агрегата АПП-6 наносили покрытие из твердого сплава ВК8. Материал основы – сталь 45 с закалкой рабочей части ТВЧ 45…50 HRC на глубину 1,15 мм. Режимы электроискровой обработки: напряжение импульсного тока – 180 В; величина тока – 80 А.

Основная часть

Структура почвы включает совокупность всех видов частиц, находящихся в твердом состоянии, а поровое пространство – разнообразные по размерам и форме промежутки между механическими элементами, заполненные глиной, воздухом, водой и другими составляющими почвы (рис. 1а). Твердые (абразивные) частицы почвы, несмотря на различие их исходных форм, при трении стремятся приобрести в поперечном сечении округлую форму – сферическую, либо цилиндрическую (рис. 1б). Физически это объясняется стремлением трущихся частиц к минимуму свободной энергии.

Важнейшей характеристикой структуры почвы является способность почвенных частиц соединяться в относительно устойчивые комочки различной формы и величины (структурные элементы), через которые могут свободно проходить влага и воздух. Геометрическая форма структурных элементов определяет структуру почвы: кубовидная (рис. 2а), призмовидная (рис. 2б), плитовидная (рис. 2в). Перемещение рабочих органов почвообрабатывающих машин в такой среде приводит к абразивному изнашиванию их поверхностей.

Сложность процесса абразивного изнашивания обусловлена влиянием многочисленных факторов, основными из которых являются механические свойства поверхности и абразива, контактное давление в зоне трения, размеры и форма абразивных частиц, скорость их относительного перемещения. Независимо от вида перемещения абразивных частиц по контактируемой поверхности, их движение в зоне контакта может сопровождаться микрорезанием и (или) деформированием (упругим или пластическим) материала детали. Округлая форма частиц позволяет при их движении по контактируемой поверхности осуществлять переход из режима трения скольжения в режим трения качения, при котором частицы занимают устойчивое положение, как по отношению к контактируемой поверхности, так и по отношению к



а *б* *в*

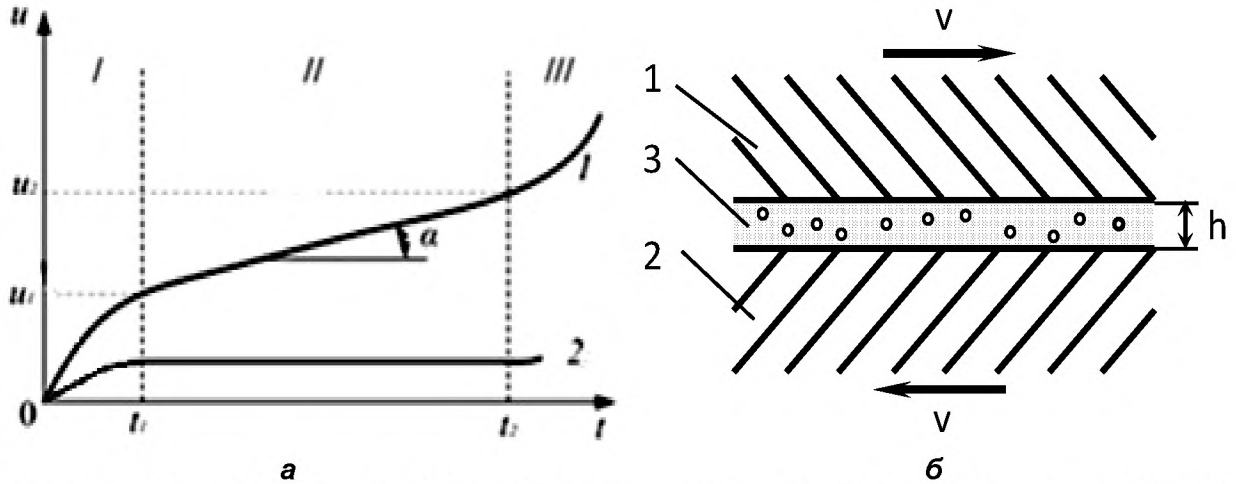
Рисунок 2. Формы типовых структурных элементов почвы: а – кубовидная; б – призмовидная; в – плитовидная

другим частицам почвы, находящимся в абразивной массе [3]. Устойчивость положения объясняется тем, что трение само по себе является самоорганизующимся процессом, при котором одновременно или последовательно осуществляется разрушение поверхностного слоя и создаются условия, снижающие трение и износ [4].

Самоорганизация процесса проявляется в переориентации массы контактируемых незакрепленных абразивных частиц, что обусловлено изменяющимися условиями изнашивания при трении в абразивной массе. Абразивная масса податлива и сопротивление перемещению деталей в ней гораздо ниже, чем при других подвидах абразивного изнашивания, абразивные частицы могут легко оттесняться деталью при перемещении. Усилие в зоне контакта определяется скоростью движения детали в абразивной массе, плотностью этой массы, размером и твердостью ее частиц, а также наличием жидкой среды и пор в массе абразива. Так как самоорганизация формирования структуры происходит с учетом перечисленных изменений внешней среды, то интенсивность изнашивания поверхности при трении в абразивной массе значительно ниже, чем при трении по закрепленному абразиву.

Механизм разрушения поверхностных слоев деталей при трении в массе незакрепленных абразивных частиц согласуется с общими закономерностями теории абразивного изнашивания (рис. 3а, кривая 1), представляющими прохождение процесса изнашивания при постоянных условиях в три стадии: I – приработка; II – установившееся изнашивание; III – форсированное изнашивание [2].

Однако при перемещении рабочего органа в почве на металлическую поверхность воздействует масса незакрепленных абразивных частиц и динамика изнашивания претерпевает заметные изменения, обусловленные самоорганизующимся формированием контакта абразивных частиц с движущейся поверхностью рабочего органа и изменениями внешней среды, к числу которых также относится преобразование геометрической формы абразивных частиц в процессе трения. Часть абразивных частиц застревает во впадинах неровностей, что способствует формированию у них округлой формы, уменьшающей коэффициент трения и интенсивность изнашивания. В результате при трении в массе незакрепленных абразивных частиц интенсивность изнашивания поверхности значительно ниже, чем при трении по закрепленному абра-



а *б*

Рисунок 3. Характер изнашивания поверхностей при трении в массе абразивных частиц: а – зависимости величины и изнашивания от времени t: 1 – теоретическая кривая; 2 – при трении незакрепленной абразивной частицы; б – схема контактирования поверхностей при трении в массе незакрепленных частиц: 1, 2 – поверхности трения; 3 – абразивная прослойка толщиной h; v – скорость относительного перемещения контактируемых поверхностей

зиву, и носит неизменный характер в установившемся режиме изнашивания. Поэтому кривая 2 (рис. 3а) на стадии II не имеет угла наклона α, что свидетельствует о постоянной во времени скорости изнашивания.

Рассмотренный механизм изнашивания металлических поверхностей проявляется с разной интенсивностью, зависящей от вида почвы, ее состояния и других факторов, которые исследователи объединяют общим термином – «изнашивающая способность почвы» [5]. При контакте рабочих органов с почвенной массой интенсивность изнашивания их поверхностей определяется, главным образом, количеством абразивных частиц в почве и их твердостью, а также степенью их фиксации в почвенной массе. Чем больше в почве содержится песчаных частиц размером 0,25…1,00 мм, тем больше абразивный износ металла. Наибольший износ наблюдался при прочной фиксации песчаных частиц в сухой глинистой почве. Установлено, что увеличение плотности почвы и твердости частиц, содержащихся в ней, усиливает абразивный износ поверхностей рабочих органов почвообрабатывающих машин. По твердости частиц наибольшее влияние на изнашивающую способность почвы оказывают минеральные частицы кварца и гранита (твердость HV 7... 11 ГПа), являющиеся основной составной частью (36,6...70,8 %) многих песчаных почв [6]. Меньшей твердостью обладают частицы глинистых почв, поэтому интенсивность изнашивания рабочих органов на суглинистых и глинистых почвах ниже, чем на песчаных. Большинство твердых частиц имеют округлую форму, но также имеются и частицы с острыми гранями, способные деформировать и изнашивать контактируемые поверхности деталей рабочих органов. Определенная ориентация таких частиц относительно поверхности допускает их вдавливание в материал детали. Способность абразивной частицы вдавливаться в материал детали зависит не только от ее геометрической формы, но и от соблюдения условия, при котором твердость абразивной частицы превышает твердость материала контактируемого поверхностного слоя деталей рабочих органов. В зависимости от указанных условий возможны варианты поведения абразивных частиц под действием нагрузки со стороны почвы:

– вдавливание в поверхностный слой металла;

– дробление на более мелкие фракции и последующее вдавливание в поверхностный слой;

– скольжение и (или) перекатывание по поверхности изнашивания, сопровождающееся упругой и пластической деформацией поверхностного слоя.

Поскольку в результате изнашивания абразивные частицы приобретают округлую форму в виде сферы или эллипсоида вращения, то из технологических методов повышения долговечности рабочих органов наиболее действенным представляется технология, которая может обеспечить величину коэффициента трения контактирующих поверхностей, близкую к коэффициенту трения почвы о почву или незначительно его превышающую [6, с. 14]. Одним из вариантов достижения такого эффекта может быть, с одной стороны, подбор износостойких материалов для нанесения на поверхность покрытия, а с другой стороны – создание на изнашиваемых участках рабочих органов такого профиля шероховатости, который при движении абразивных частиц по контактирующей поверхности способствует занятию ими устойчивого положения во впадинах неровностей (рис. 4). Нахождение во впадинах неровностей абразивных частиц округлой формы позволяет им из режима трения скольжения перейти в режим трения качения, что уменьшает коэффициент трения и интенсивность изнашивания. Вдавленные во впадины неровностей на контактирующей поверхности твердые частицы, скрепленные глинистой составляющей почвы, создают абразивную прослойку, формирующуюся в результате самоорганизующегося процесса изнашивания и приближающую коэффициент трения контактирующих поверхностей к коэффициенту трения почвы о почву. При этом на участках контакта будет

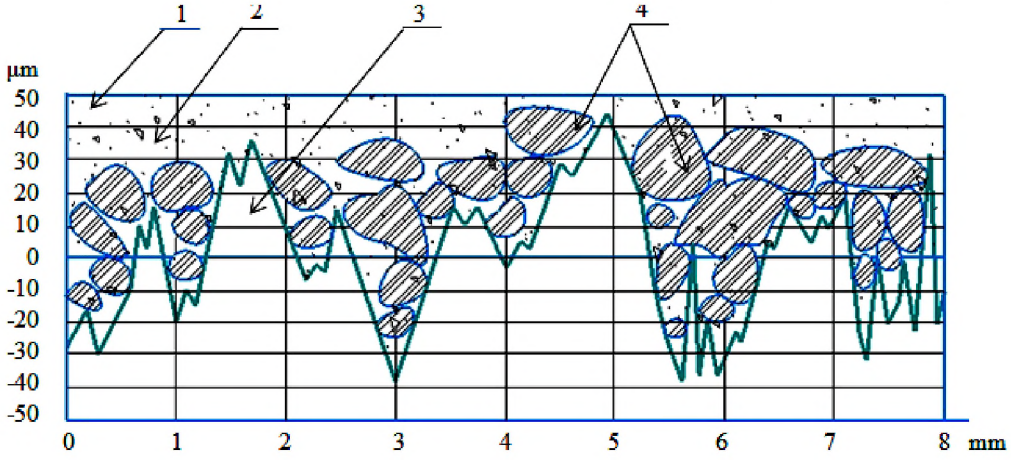


Рисунок 4. Схема заполнения впадин неровностей поверхности твердыми частицами почвы: 1 – слой почвы; 2 – абразивная прослойка; 3 – профиль шероховатости контактирующей поверхности рабочего органа; 4 – твердые (абразивные) частицы

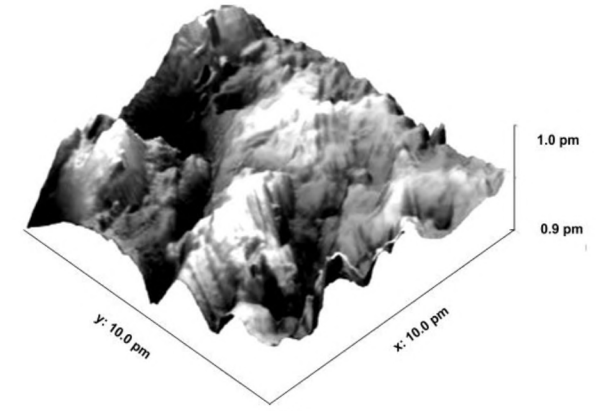
проявляться эффект «залипания поверхности» и защиты ее от абразивного изнашивания.

Для реализации эффекта, представленного на рисунке 4, требуется создать градиент твердости поверхностного слоя, при котором у вершин неровностей величина твердости будет максимальной, а во впадинах – минимальной, а также шероховатость поверхности, при которой будет происходить перекатывание или проскальзывание твердых частиц грунта по вершинам неровностей и возможность их внедрения во впадины. Технологически обеспечить такое требование можно путем подбора необходимого износостойкого материала для покрытия и способа его нанесения на поверхность детали. Установлено [6, с. 21], что для повышения долговечности рабочих органов почвообрабатывающих посевных агрегатов наибольшее влияние оказывает нанесение на изнашиваемые поверхности твердых покрытий на основе бора, вольфрама, титана и др.

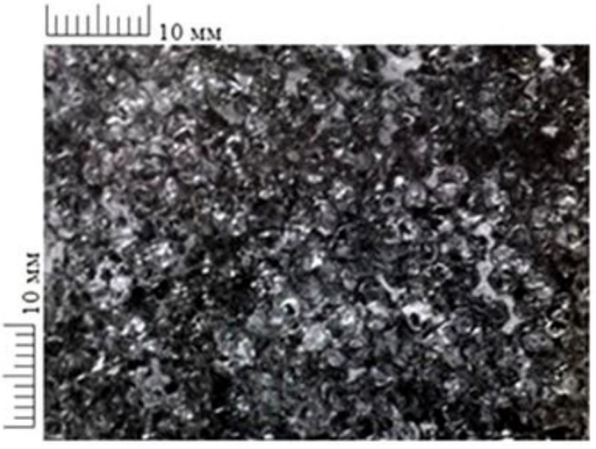
Исследованиями установлено [5], что глинистые и суглинистые почвы обладают наименьшей изнашивающей способностью при 14…18 %-й абсолютной влажности. Обобщенным критерием оценки изнашивающей способности почв является содержание в них песка с размером частиц более 0,01 мм. Анализ минералогического состава почв, которые наиболее характерны для районов Беларуси, показывает ее неоднородность по механическому составу, размерам и форме незакрепленных абразивных частиц. Наиболее распространенными минералами в этих почвах являются кварц и гранит размером 1,0÷0,05 мм, составляющие 75÷85 % в структуре почв [3]. Песчаные и глинистые почвы состоят из мелких комочков размером 2.5÷10 мм. В каждом комочке частицы песка и глины прочно склеены и не размываются водой, а промежутки между ними заполнены воздухом. Такие почвы называют структурными, а почвы, в которых мелкие пылевидные частицы плотно прилегают друг к другу – бесструктурными. Бесструктурные почвы состоят из прочно склеенных комочков с размером частиц до 0,05 мм, в них мало газовых пор, а дождевая вода плохо проникает через почву, образуя вязкую массу, которая препятствует проникновению влаги в более глубокие слои, и вода стекает с поверхности почвы.

Поскольку главной причиной интенсивного изнашивания поверхностей рабочих органов почвообрабатывающих машин является их многократное пластическое деформирование под действием твердых абразивных частиц, то в зонах наибольшей интенсивности трения исследователи [7, 8] предлагают наносить прерывистое покрытие из износостойких материалов в виде отдельных прямолинейных или дугообразных валиков, ширина которых меньше расстояния между ними. Прерывистое расположение износостойкого материала изменяет динамику контакта абразивных частиц, при которой за наплавленным слоем образуются зоны застоя почвы, и трение абразивных частиц происходит с поверхностью застойной зоны. За зонами застоя частицы контактного слоя почвы совершают смешанное перемещение, включая вращение с проскальзыванием и их перекатывание, что снижает трение абразивных частиц почвы с поверхностью рабочего органа. Для реализации прерывистого нанесения покрытий наиболее перспективными являются технологии, основанные на использовании концентрированных в пространстве и во времени потоков энергии, например, света (лазерное упрочнение) и электромагнитного поля (электроискровое и магнитно-электрическое упрочнение). При использовании таких технологий кратковременный нагрев локальных участков поверхностных слоев не вызывает существенного повышения температуры деталей и их коробление из-за температурных деформаций.

К недостаткам покрытий, наносимых с использованием энергии электрических разрядов, относят неравномерность распределения по поверхности отдельных точечных вкраплений упрочняющего материала, что приводит как к снижению сплошности наносимого покрытия, так и к увеличению шероховатости поверхности $Ra \geq 12{,}5$ мкм (рис. 5). Поверхности с такой шероховатостью не могут работать в парах трения, поэтому требуется их последующая финишная обработка, например шлифование и (или) магнитно-абразивная обработка [9, с. 56-60]. Однако



а



б

Рисунок 5. Топография покрытий: а – нанесенных электроискровой обработкой Т15К6 [10, с. 14]; б – магнитно-электрическим упрочнением ФБХ-6-2 [9, с. 144]

при этом с покрытия снимается самый твердый поверхностный слой, что для условий абразивного изнашивания является не лучшим решением.

Вместе с тем нанесение покрытий электроискровой обработкой формирует поверхности с прерывистым микропрофилем, твердость на вершинах которого превышает твердость во впадинах. Это создает благоприятные условия вдавливания абразивных частиц почвы в зонах между отдельными вкраплениями покрытия на контактируемой поверхности детали рабочих органов. Способность абразивных частиц вдавливаться в материал детали, называемая шаржированием, наблюдается не только при абразивном износе деталей машин в процессе их эксплуатации, но также и при некоторых видах абразивной обработки поверхностей деталей при их изготовлении, когда происходит дробление абразивных зерен режущего инструмента и их вдавливание в обрабатываемую поверхность. Профилограммы шероховатости поверхностей покрытий после электроискровой обработки разными способами представлены на рисунке 6.

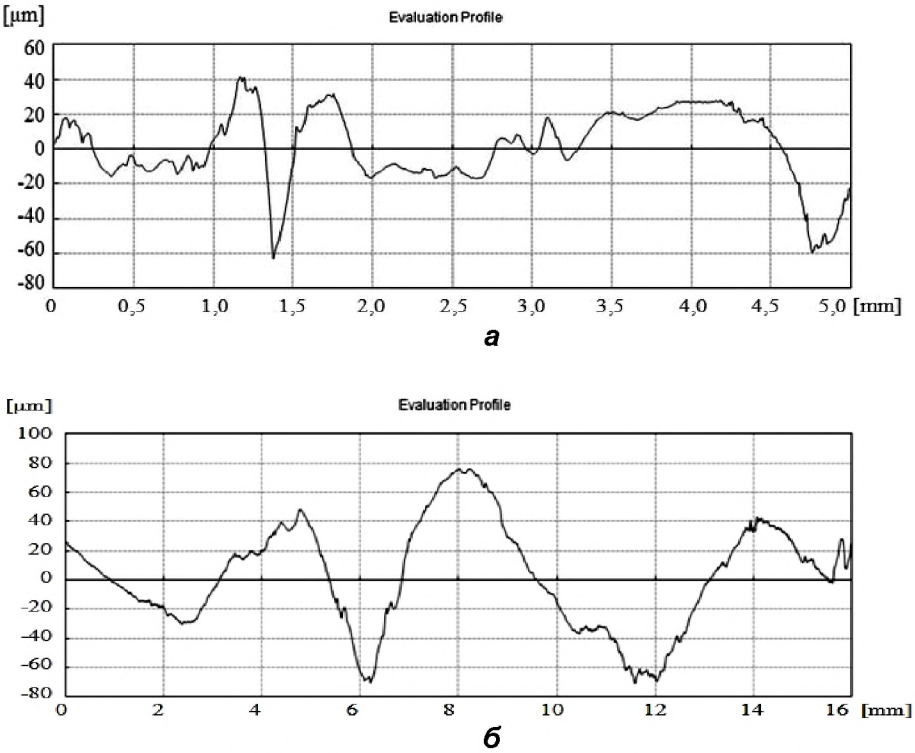


Рисунок 6. Профилограммы шероховатости поверхностей: а – диска сошников агрегата АПП-6 после электроискровой обработки сплавом ВК8 (материал основы – сталь 45 с закалкой ТВЧ 45…50 HRC); б – вилки шарнира привода переднего моста тракторов МТЗ после магнитно-электрического упрочнения порошком Fe-Ti (материал основы – сталь 40Х, 40…45 HRC)

Анализ профилограммы (рис. 6а) показывает, что после электроискровой обработки сплавом ВК8 максимальная глубина впадин микронеровностей составляет 100 мкм, а их ширина находится в пределах от 0,2 мм до 0,7 мм. Расстояние между соседними впадинами (шаг впадин) находится в широких пределах (0,3÷3,0) мм. Такие размеры образовавшихся впадин и их расположение на поверхности позволяют шаржировать поверхности механическими частицами глинистых и суглинистых почв, в которых размеры частиц песка не превышают 0,5 мм и прочно склеены глиной.

Профиль микронеровностей, образующийся при магнитно-электрическом упрочнении (рис. 6б), характеризуется увеличением глубины впадин микронеровностей до 150 мкм с шагом (4÷5) мм. Такие размеры впадин микронеровностей позволяют шаржировать поверхности механическими частицами песчаных почв, в которых размеры частиц песка превышают 0,5 мм. Вдавленные во впадины микронеровностей абразивные частицы почвы изменяют характер трения в зоне контакта и защищают поверхности рабочих органов от истирания.

На основании изложенного выше сформулирована гипотеза защиты поверхностей деталей рабочих органов почвообрабатывающих машин, работающих в открытом грунте, от абразивного изнашивания, заключающаяся в формировании на контактируемых поверхностях градиентного по твердости упрочненного слоя, с шероховатостью, позволяющей шаржировать его твердыми (абразивными) частицами почвы. В результате самоорганизации процесса изнашивания это приближает коэффициент трения в зоне контакта к коэффициенту трения почвы о почву. Одним из вариантов реализации гипотезы может быть комбинированная технология защиты от абразивного изнашивания поверхностей, на первом этапе которой наносят структурированное покрытие электроискровым или магнитно-электрическим упрочнением, позволяющее при контакте с почвой осуществлять в процессе трения второй этап упрочнения путем шаржирования поверхности твердыми частицами, используя при этом явление самоорганизации процесса изнашивания.

Экспериментальные исследования данной технологии, проведенные путем нанесения покрытия электроискровым упрочнением на рабочую часть диска сошников СПР-10.01.01 посевного агрегата АПП-6 на установке для восстановления и упрочнения ОВД-28339 и магнитно-электрическим упрочнением на цилиндрическую поверхность вилки шарнира привода переднего моста тракторов МТЗ 3022/3522 на установке модели УМЭУ-1, подтвердили

возможность шаржирования поверхности после электроискровой обработки.

По физической сущности механизма формирования покрытия электроискровое легирование и магнитно-электрическое упрочнение (МЭУ) являются родственными способами. Главное их отличие состоит в том, что при МЭУ нанесение покрытий осуществляется за счет многоэлектродного воздействия электрических разрядов [6, 7], повышающего производительность.

Если на поверхности рабочих органов почвообрабатывающих машин и агрегатов в зонах наибольшей интенсивности трения наносят прерывистое покрытие из износостойких материалов в виде отдельных прямолинейных или дугообразных валиков [7, 8] с определенным расстоянием между ними, то после нанесения покрытий целесообразно промежутки поверхности между валиками шаржировать по известным технологиям [11, 12] особо твердыми абразивными частицами (например, смесью частиц карбида кремния зеленого (64С) размером до 20 мкм и карбида кремния черного (53С) размером 200÷315 мкм).

Заключение

На основании анализа механизма самоорганизующегося процесса абразивного изнашивания сформулирована гипотеза защиты от истирания поверхностей деталей рабочих органов почвообрабатывающих машин, заключающаяся в создании между почвой и контактируемой поверхностью абразивной прослойки, которая способствует перекатыванию твердых частиц почвы, что обеспечивает снижение коэффициента трения контактирующих поверхностей, приближая его к коэффициенту трения «почвы о почву».

Создание абразивной прослойки из твердых частиц возможно методом формирования на контактируемой поверхности градиентного по твердости упрочненного слоя с шероховатостью, позволяющей его шаржировать твердыми (абразивными) частицами путем их вдавливания во впадины неровностей и одновременным скреплением глинистой составляющей почвы при контакте с ней. При этом на участках контакта проявляется эффект «залипания поверхности» и защиты ее от абразивного изнашивания.

Экспериментально установлено, что одним из вариантов реализации выдвинутой гипотезы может быть комбинированная технология нанесения покрытий электроискровой упрочняющей обработкой и последующего их шаржирования твердыми частицами при контакте с почвой. Такая технология создает на металлической поверхности «эффект долговечности булыжных дорог».

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Чеботарев, М.И. Выбор оптимального способа восстановления изношенной поверхности детали: учеб. пособие / М.И. Чеботарев, М.Р. Кадыров. – Краснодар: КубГАУ, 2016. – 91 с.

2. Полюшкин, Н.Г. Основы теории трения, износа и смазки: учеб. пособие / Н.Г. Полюшкин. – Красноярск: Краснояр. гос. аграр. ун-т, 2013. – 192 с.

3. Износ и коррозия сельскохозяйственных машин / М.М. Севернев [и др.]; под ред. М.М. Севернева. – Минск: Беларус. навука, 2011. – 333 с.

4. Тавтилов, И.Ш. Основы теории трения и изнашивания: учеб. пособие / И.Ш. Тавтилов, В.И. Юршев, А.С. Кириленко. – Оренбург: Оренбургский гос. ун-т, 2021. – 192 с.

5. Бартенев, И.М. Изнашивающая способность почв и ее влияние на долговечность рабочих органов почвообрабатывающих машин / И.М. Бартенев, Е.В. Поздняков // Лесотехнический журнал. – 2013. – № 3. – С. 114-123.

6. Новиков, В.С. Обеспечение долговечности рабочих органов почвообрабатывающих машин: автореф. дис. … д-ра техн. наук: 05.20.03 / Новиков Владимир Савельевич; Московский гос. агроинж. ун-т им. В.П. Горячкина. – Москва, 2008. – 38 с.

7. Патент RU 2414337, МПК B23K 9/04, B23P6/00. Способ получения износостойкой рабочей поверхности деталей почвообрабатывающих машин: № 2008137196/02: заявлено 16.09.2008: опубл. 20.03.2011 / Ожегов Н.М., Капошко Д.А., С. И. Будко; заявители: Ожегов Н.М., Капошко Д.А., С. И. Будко.

8. Ожегов, Н.М. Исследования методов упрочнения рабочих органов почвообрабатывающих машин и разработка автоматической установки для нанесения на них упрочняющих покрытий / Н.М. Ожегов, А.В. Добринов, В.А. Ружьев // Современные наукоемкие технологии. – 2017. – № 3. – С. 28-31.

9. Акулович, Л.М. Термомеханическое упрочнение деталей в электромагнитном поле / Л.М. Акулович. – Полоцк: ПГУ, 1999. – 240 с.

10. Алимбаева, Б.Ш. Разработка и оптимизация износостойких покрытий на стальной подложке, синтезируемых методом электроискровой обработки: автореф. дис. … канд. техн. наук: 05.16.09 / Алимбаева Ботагоз Шайдуловна; Омский гос. техн. ун-т. – Омск, 2014. – 23 с.

11. Патент RU 2739047C1 МПК B24D18/00, B24 B5700. Способ получения поверхностей шаржированием абразивными частицами: № 2020109985: заявлено 10.03.2020: опубл. 21.12.2020 / Грядунов С.С., Сиваков В.В.; заявители: ФГБОУВО «Брянский гос. инженерно-технологич. ун-т.

12. Патент RU 2583565C1 МПК B23P 15/28, B24D18/00 . Способ шаржирования металлорежущего инструмента: № 2014148813/02: заявлено 04.12.2014 : опубл. 10.05.2016 / М.А. Скворцов, С.И. Пудков; заявители: АО «Научно-производственный центр газотурбостроения «Салют».

ПОСТУПИЛА В РЕДАКЦИЮ 16.06.2025