УДК 631.31:631.43

DOI: 10.35887/2305-2538-2019-5-27-34

**СПОСОБЫ СНИЖЕНИЯ ИНТЕНСИВНОСТИ ТРЕНИЯ ПОЧВОРЕЖУЩЕЙ
ПОВЕРХНОСТИ РАБОЧИХ ОРГАНОВ ПОЧВООБРАБАТЫВАЮЩИХ МАШИН НА
ОСНОВЕ АКТИВНОГО ДЕФОРМИРОВАНИЯ ФРИКЦИОННОГО СЛОЯ**

¹Ружьев Вячеслав Анатольевич

¹Ожегов Николай Михайлович

¹Криштанов Егор Александрович

¹Новиков Алексей Николаевич

¹ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный аграрный университет»

Реферат. Актуальна разработка прорывных технологий снижения скорости изнашивания почворежущих поверхностей рабочих органов (ППРО) почвообрабатывающих агрегатов путем придания механической обработке одновременно функций регулирования плотности активного слоя почвы в зоне контактного взаимодействия. Изучали способы снижения интенсивности трения ППРО на основе активного деформирования фрикционного слоя. Использовали нанесение твердосплавных покрытий (ТП), испытывающих преимущественно упругую деформацию. На примере дисковых рабочих органов показали, что более эффективному использованию ТП способствует нанесение прямолинейных, синусоидальных, дугообразных, петлеобразных валиков, обеспечивающих предельный уровень напряжений в активном слое почвы (АСП) в направлении его перемещения. Предложенные схемы нанесения наплавленных валиков уменьшают проскальзывание рабочих органов при обработке почвы на повышенных скоростях и исключают возможность образования уплотненного почвенного ядра, увеличивающего сопротивление рабочих органов. Установлено, что дуговая наплавка отдельными элементами позволяет уменьшить скорость изнашивания ППРО за счет увеличения интенсивности рыхления и снижения плотности приповерхностного контактного слоя в зонах наибольшей интенсивности трения с уплотненной почвой. Показано, что управляемый переход упругой деформации АСП в пластическое состояние в зоне наибольшей интенсивности трения снижает механическое воздействие абразивных частиц на основной металл рабочей поверхности. Образование демпфирующей составляющей АСП в направлении вектора нормального давления почвы на почвообрабатывающий клин снижает степень пластической деформации поверхностного слоя детали. Предложены сварочные технологии современного технического уровня для придания механической обработке одновременно и функций регулирования плотности АСП в зоне контактного взаимодействия. Их использование способствует резкому повышению производительности нанесения ТС, уменьшающих неравномерность изнашивания ППРО с использованием современных сварочных технологий современного технического уровня. Разработанная технология пластической деформации приповерхностного слоя почвы в зоне наибольших контактных давлений рабочей поверхности, снижает адгезионную активность контактного слоя почвы и повышает ресурс ППРО, обеспечивая их равномерное заглубление без увеличения тягового сопротивления рабочего органа.

Ключевые слова: рабочие почвообрабатывающие органы, абразивное изнашивание, гибридные технологии, упрочняющие покрытия, снижение трения.

**METHODS FOR REDUCING THE FRICTION INTENSITY OF THE TURNING SURFACE OF
THE WORKING BODIES OF TILLING MACHINES BASED ON THE ACTIVE
DEFORMATION OF THE FRICTION LAYER**

¹Ruzhyev Vyacheslav

¹Ozhegov Nikolay

¹Krishtanov Egor

¹Novikov Aleksey

¹FSBEI HE "Saint-Petersburg State Agrarian University"

Abstract. *The development of breakthrough technologies to reduce the rate of wear of the soil-cutting surfaces of the working bodies (PRE) of tillage units by imparting simultaneously machining the functions of regulating the density of the active soil layer in the contact interaction zone is relevant. Ways to reduce the friction intensity of the missile defense system based on the active deformation of the friction layer were studied. The application of carbide coatings (TP), experiencing predominantly elastic deformation, was used. It was shown, by the example of disk working bodies, that the application of rectilinear, sinusoidal, arcuate, loop-like rollers, providing the maximum level of stresses in the active soil layer (ASP) in the direction of its movement contributes to a more efficient use of TP. The proposed deposition of deposited rollers reduces the slipping of the working bodies when processing the soil at higher speeds and exclude the possibility of the formation of a compacted soil core, which increases the resistance of the working bodies. It has been established that arc surfacing by individual elements allows to reduce the wear rate of SPD due to an increase in the rate of loosening and a decrease in the density of the near-surface contact layer in the zones of greatest friction with compacted soil. It is shown that the controlled transition of the elastic deformation of the ASP to the plastic state in the zone of the highest friction intensity reduces the mechanical effect of abrasive particles on the base metal of the working surface. The formation of the damping component of the ASP in the direction of the vector of normal soil pressure on the tillage wedge reduces the degree of plastic deformation of the surface layer of the part. Welding technologies of a modern technical level are proposed to give mechanical processing at the same time the density control functions of ASP in the contact interaction zone. Their use contributes to a sharp increase in the performance of applying vehicles, reducing the uneven wear of the missile defense using modern welding technologies of a modern technical level. The developed technology of plastic deformation of the near-surface soil layer in the zone of the highest contact pressures of the working surface reduces the adhesive activity of the contact soil layer and increases the SPR resource, ensuring their uniform deepening without increasing the traction resistance of the working body.*

Keywords: *working tillage organs, abrasive wear, hybrid technologies, hardening coatings, friction reduction.*

Введение. Многократное пластическое деформирование поверхностного слоя деталей в результате увеличения силового воздействия почвенной абразивной среды ускоряет износ рабочих поверхностей в зоне наибольших контактных давлений, ухудшает заглубление рабочих органов в почвенный пласт и увеличивает тяговое сопротивление машинно-тракторного агрегатов. При этом ресурс рабочих органов почвообрабатывающих машин уменьшаются в 2-3 раза от заявленных в технических характеристиках [1].

Использование импортных более дорогостоящих рабочих органов, производства, в основном, европейским фирм, серьезно увеличивает производственные эксплуатационные затраты по сравнению с российскими аналогами.

Целью данного исследования является обоснование способов снижения интенсивности трения почворежущей поверхности рабочих органов почвообрабатывающих машин на основе активного деформирования фрикционного слоя.

Материалы и методы. При обработке почвы на повышенных скоростях, возрастание предела прочности почвы увеличивает динамическое давление абразивной среды на почвообрабатывающий клин, что повышает внутреннее трение между частицами и внешнее трение частиц в зоне контактного взаимодействия почвы с рабочей поверхностью детали.

Для изготовления сменных деталей (лемехов, лап культиваторов (рисунок 1), дисков борон (рисунок 2) и др. в основном производстве используют средне- и высокоуглеродистые стали 40, 40X, 45 (таблица 1), 65Г, Л53 и традиционные методы термической обработки с нагревом токами высокой частоты, которые обеспечивают твердость деталей после закалки и отпуска не более 39-54 HRC, а показатель временного сопротивления 900-1200 МПа.

Изготавливаемые из высокопрочных сталей, имеющих временное сопротивление 1600-2000 МПа, с твердостью после закалки до 56 HRC, импортные детали европейских компаний значительно снижают скорость изнашивания в абразивной среде, но при обработке тяжелых почв они также обладают недостаточным ресурсом.

При нанесении высокопрочных наплавленных твердых сплавов, испытывающих преимущественно упругую деформацию, защитная роль покрытия сводится к увеличению

несущей способности износостойкого слоя, снижению коэффициента трения и интенсивности изнашивания наплавленной поверхности в зоне наибольших контактных давлений почвенной абразивной среды.

Рисунок 1 – Варианты заводского исполнения универсальных стрелчатых лап

Рисунок 2 – Промышленные образцы дисковых рабочих органов почвообрабатывающих машин: (материал у всех – финская боросодержащая сталь)

Таблица 1 – Механические свойства стали 45 в зависимости от видов и режимов термической обработки [2]

Вид и режим термической обработки	Механические свойства стали		
	Твёрдость, НВ (HRC)	Предел прочности, МПа	Ударная вязкость, МДж/см ²
Отжиг	160	560	0,8
Закалка	550 (55,5)	---	---
Закалка + отпуск 250°C	435 (45,7)	1400	0,1
Закалка + отпуск 400°C	370 (39,8)	1200	0,2
Закалка + отпуск 550°C	245	800	0,6
Закалка + отпуск 660°C	195	660	1,0

Для проектируемых и уже широко применяемых современных сельскохозяйственных машин актуальной становится разработка прорывных технологий снижения скорости изнашивания почворежущих поверхностей рабочих органов почвообрабатывающих агрегатов путем придания механической обработке одновременно функций регулирования плотности активного слоя почвы в зоне контактного взаимодействия на основе динамических методов перераспределения деформирующих напряжений.

При нанесении высокопрочных наплавочных твердых сплавов, испытывающих преимущественно упругую деформацию, защитная роль покрытия сводится к увеличению несущей способности износостойкого слоя, снижению коэффициента трения и интенсивности изнашивания наплавленной поверхности в зоне наибольших контактных давлений почвенной абразивной среды [3].

Результаты и их обсуждение. Одним из направлений снижения трения и изнашивания почворежущих деталей современных почвообрабатывающих машин путем нанесения твердосплавных покрытий является создание гибридных упрочняющих технологий, основанных на пластической деформации активного слоя почвы наплавочными твердыми сплавами [4, 5].

Изменение закономерностей взаимодействия рабочих органов с почвой за счет управляемого перехода упругой деформации активного слоя почвы в пластическое состояние в зоне наибольшей интенсивности трения снижает механическое воздействие абразивных частиц на основной металл рабочей поверхности. Образование демпфирующей составляющей активного слоя почвы в направлении вектора нормального давления почвы на почвообрабатывающий клин снижает степень пластической деформации поверхностного слоя детали.

Создание нового поколения упрочняющих технологий, на примере дисковых рабочих органов, способствует более эффективному использованию твердосплавных покрытий, снижающих трение с основным металлом закаленной поверхности детали за счет нанесения прямолинейных, синусоидальных (рисунок 3), дугообразных валиков (рисунок 4), а также валиков, имеющих петлеобразную циклоидную форму, обеспечивающих предельный уровень напряжений в активном слое почвы в направлении его перемещения.

Рисунок 3 – Упрочнение дискового рабочего органа путем нанесения синусоиды из твердого сплава. Патент на полезную модель № 172900 РФ

Рисунок 4 – Схема упрочнения сферического диска дугообразными валиками. Патент на полезную модель № 172899 РФ

Технология упрочнения рабочей поверхности диска почвообрабатывающей машины дуговой наплавкой отдельными элементами позволяет уменьшить скорость изнашивания рабочей поверхности сферического диска за счет увеличения интенсивности рыхления и снижения плотности приповерхностного контактного слоя в зонах наибольшей интенсивности трения с уплотненной почвой при его взаимодействии с поверхностью твердого сплава на толщину наплавленного слоя.

Задачей упрочнения рабочей поверхности диска дуговой наплавкой отдельными точками является снижение скорости изнашивания рабочей поверхности сферического диска в зонах наибольшей интенсивности трения с уплотненной почвой [2, 6].

Поставленная задача решается за счет того, что почвообрабатывающий сферический диск, изготовленный из качественной конструкционной углеродистой стали (например, сталь 45), имеющий режущую кромку, заточку с выпуклой стороны рабочей поверхности и напавленный твердосплавный слой, при этом слой твердосплавного покрытия составляет 2,0–4,0 мм (рисунок 4), расположен на выпуклой стороне рабочей поверхности почвообрабатывающего диска и выполнен в виде отдельных расположенных на одинаковом расстоянии друг от друга элементов.

Формирование волнистого рельефа рабочей поверхности с неоднородной структурой и механическими свойствами основного и напавленного металла создает условия для чередования пластических деформаций сжатия и растяжения активного слоя почвы на принципах действия сминающего клина. В направлении пересечения напавленного валика (рисунок 5). в активном слое почвы, примыкающем к поверхности детали, происходят изменения, связанные с уменьшением внутреннего трения между частицами и внешнего трения с основным металлом рабочей поверхности.

1 – поперечное сечение напавленного валика; 2 – поверхность основного металла;
3 и 4 – переходные зоны сжимающих и растягивающих напряжений; 5 – зоны застоя почвы в области снижения контактного давления; V_n – скорость поступательного перемещения детали;
 $h_{сл}$ – толщина активного слоя почвы; t – шаг наплавки износостойкого материала;

Рисунок 5 – Схема преобразования упругой деформации активного слоя почвы [7]

Преодоление внутренних связей между частицами характеризуется увеличением дисперсности частиц почвы, уменьшающих плотный активный слой почвенного пласта на глубине обработки и его физико-механическое воздействие на основной металл рабочего органа с.-х. машины.

Формирование застойной почвы между соседними валиками напавленной поверхности (рисунок 5) защищает основной металл от прямого воздействия абразивной среды. При этом уменьшается в 2–3 раза скорость изнашивания рабочей поверхности деталей в зоне контактного взаимодействия.

Особый интерес представляют способы нанесения точечных покрытий, снижающие термическое воздействие на закаленную поверхность тонкостенных деталей типа дисков борон (рисунок 6), лап культиваторов (рисунок 7), плужных лемехов (рисунок 8) различных модификаций. В зоне растягивающих напряжений с тыльной стороны точек напавленного твердого сплава отмечается резкое снижение скорости изнашивания основного металла.

Высокая интенсивность ударных импульсов на толщину активного слоя почвы со скоростью, равной скорости перемещения детали вызывает пластическое смятие и растяжение почвы без увеличения тягового сопротивления рабочей поверхности деталей [8, 9, 10, 11].

Выводы. Формирование переходного пластифицированного слоя почвы, предварительно подвергнутого знакопеременному деформированию на толщину слоя твердого сплава, снижает механическое воздействие абразивных частиц на основной металл почворезущих деталей за счет образования демпфирующей составляющей в направлении вектора динамического давления почвы на почвообрабатывающий клин.

Рисунок 6 – Способ упрочнения сферического сплошного диска твердыми сплавами на основе гибридных технологий. Патент на полезную модель № 172891 РФ

Рисунок 7 – Способ упрочнения лапы культиватора. Патент 2464358 РФ

Рисунок 8 – Изнашивание носка лемеха после упрочнения точечной наплавкой твердыми сплавами [9]

Важным результатом данного исследования является перераспределение сварочного нагрева в направлении увеличения скорости охлаждения сварочной ванны и снижающего ширину зоны термического влияния на основном металле, что способствует резкому повышению производительности нанесения твердых сплавов, уменьшающих неравномерность изнашивания почворезущих поверхностей деталей нового поколения почвообрабатывающих машин с использованием сварочных технологий современного технического уровня – придание механической обработке одновременно функций регулирования плотности активного слоя почвы в зоне контактного взаимодействия на основе динамических методов перераспределения деформирующих напряжений.

Предложенные схемы нанесения наплавленных элементов твердыми сплавами уменьшают проскальзывание рабочих органов при обработке почвы на повышенных скоростях, а также исключают возможность образования уплотненного почвенного ядра, увеличивающего сопротивление рабочих органов в зоне фрикционного контакта лезвийной поверхности.

Список литературы

1. Шахов В.А., Аристанов М.Г., Ларионов Е.П. Надежность зарубежной почвообрабатывающей техники в условиях Оренбургской области // Машинно-технологическая станция. – 2010. – №6. – С. 23.
2. Ожегов Н.М., Ружьев В.А., Губарев В.Д., Сулеев В.Д., Шахов В.А. Современные методы упрочнения дисковых рабочих органов почвообрабатывающих машин // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2019. – №2 (76). – С. 95-98.
3. Ожегов Н.М., Ружьев В.А., Капошко Д.А., Сулеев В.Д. Динамические методы преобразования упругой деформации активного слоя почвы // Известия Международной академии аграрного образования. – 2018. – №41. – Т.2. – С. 47-51.
4. Слинко Д.Б., Варламова Л.Д., Некрасов Д.М., Митрофанов Н.Э. Использование дуговой наплавки при упрочнении рабочих органов сельскохозяйственных машин // Сельскохозяйственная техника: обслуживание и ремонт. – 2017. – №2. – С. 21-26.
5. Слинко Д.Б., Дорохов А.С., Денисов В.А., Добрин Д.А. Повышение износостойкости рабочих органов почвообрабатывающих машин дуговой наплавкой твердыми сплавами // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. – 2018. – №6 (322). – С. 77-81.

6. Ожегов Н.М., Ружьев В.А., Кузьмин О.С., Григорьев Н.П., Шмагин С.В. Упрочнение рабочей поверхности сферических дисков путем нанесения армирующих покрытий // «Технологии упрочнения, нанесения покрытий и ремонта: теория и практика»: материалы Международной научно-практической конференции (Санкт-Петербург, 14-15 апреля 2016 г.). – СПб.: Издательство Политехнического университета Петра Великого, 2016. – С. 80-84.

7. Ожегов Н.М., Ружьев В.А., Криштанов Е.А. Элементы теории разрушения пласта почвы оптимизированными дисковыми рабочими органами почвообрабатывающего агрегата // Роль аграрной науки в устойчивом развитии сельских территорий: Сб. III Всероссийской (национальной) научной конференции (г. Новосибирск, 20 декабря 2018 г.) / Новосибирский государственный аграрный университет. – Новосибирск: ИЦ НГАУ «Золотой колос», 2018. – С. 640-642.

8. Слинко Д.Б., Варламова Л.Д., Некрасов Д.М. Упрочнение рабочей поверхности лап культиваторов электродуговой наплавкой износостойкими валиками // Труды ГОСНИТИ. – 2016. – № 2. – Т. 124. – С. 118-124.

9. Капошко Д.А., Ружьев В.А., Ожегов Н.М., Чеботарев В.П. Результаты применения современных сварочных технологий упрочнения рабочих элементов корпуса лемешного плуга // Современные проблемы освоения новой техники, технологий, организации технического сервиса в АПК: материалы Международной научно-практической конференции «Белагро-2019» (Республика Беларусь, г. Минск, 6-7 июня 2019 г.). – Минск: БГАТУ, 2019. – С. 66-70.

10. Митрофанов Н.Э., Слинко Д.Б. Упрочнение лемехов почвообрабатывающих машин дуговой наплавкой твердыми сплавами // Труды ГОСНИТИ. – 2017. – Т. 128. – С. 67-72.

11. Слинко Д.Б., Дорохов А.С., Денисов В.А., Добрин Д.А. Совершенствование технологии упрочнения рабочих органов почвообрабатывающих машин // Сельскохозяйственная техника: обслуживание и ремонт. – 2018. – №8. – С. 26-31.

References

1. Shakhov V.A., Aristanov M.G., Larionov E.P. Reliability of foreign tillage equipment in the conditions of the Orenburg region // Machine-technological station. – 2010. – №6. – P. 23.

2. Ozhegov N.M., Ruzhev V.A., Gubarev V.D., Suleev V.D., Shakhov V.A. Modern methods of hardening disk working bodies of tillage machines // Bulletin of the Orenburg State Agrarian University. – 2019. – №2 (76). – P. 95-98.

3. Ozhegov N.M., Ruzhev V.A., Kaposhko D.A., Suleev V.D. Dynamic methods of transforming elastic deformation of the active soil layer // Bulletin of the International Academy of Agricultural Education. – 2018. – №41. – T.2. – P. 47-51.

4. Slinko D.B., Varlamova L.D., Nekrasov D.M., Mitrofanov N.E. The use of arc surfacing during hardening of the working bodies of agricultural machines // Agricultural machinery: maintenance and repair. – 2017. – №2. – P. 21-26.

5. Slinko D.B., Dorokhov A.S., Denisov V.A., Dobrin D.A. Improving the wear resistance of the working bodies of tillage machines by arc surfacing with hard alloys // Fundamental and applied problems of engineering and technology. – 2018. – №6 (322). – P. 77-81.

6. Ozhegov N.M., Ruzhev V.A., Kuzmin O.S., Grigoriev N.P., Shmagin S.V. Hardening the working surface of spherical disks by applying reinforcing coatings // «Technologies of hardening, coating and repair: theory and practice»: materials of the International Scientific and Practical Conference (St. Petersburg, April 14-15, 2016). – St. Petersburg: Publishing House of the Polytechnic University of Peter the Great, 2016. – P. 80-84.

7. Ozhegov N.M., Ruzhev V.A., Krishtanov E.A. Elements of the theory of the destruction of the soil layer by optimized disk working bodies of the tillage aggregate // The role of agricultural science in the sustainable development of rural territories: Sat. III All-Russian (National) Scientific Conference (Novosibirsk, December 20, 2018) / Novosibirsk State Agrarian University. – Novosibirsk: Research Center of the National State Agrarian University «Golden Ear», 2018. – P. 640-642.

8. Slinko D.B., Varlamova L.D., Nekrasov D.M. Hardening of the working surface of cultivator paws by electric arc welding with wear-resistant rollers // Transactions of GOSNITI. – 2016. – №2. – Т. 124. – P. 118-124.

9. Kaposhko D.A., Ruzhev V.A., Ozhegov N.M., Chebotarev V.P. The results of the application of modern welding technologies for hardening the working elements of the plow body // Modern problems

of the development of new equipment, technologies, technical service organization in the agro-industrial complex: materials of the International scientific-practical conference «Belagro-2019» (Republic of Belarus, Minsk, June 6-7 2019). – Minsk: BSTU, 2019. – P. 66-70.

10. Mitrofanov N.E., Slinko D.B. Hardening of plowshares of tillage machines by hard metal arc surfacing // Transactions of GOSNITI. – 2017. – Т. 128. – P. 67-72.

11. Slinko D.B., Dorokhov A.S., Denisov V.A., Dobrin D.A. Improving the technology of hardening the working bodies of tillage machines // Agricultural machinery: maintenance and repair. – 2018. – № 8. – P. 26-31.

Сведения об авторах

Принадлежность к организации

Ружьев Вячеслав Анатольевич – кандидат технических наук, доцент Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский государственный аграрный университет», Россия, г. Санкт-Петербург, e-mail: ruzhev_va@mail.ru.

Ожегов Николай Михайлович – доктор технических наук, профессор, Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский государственный аграрный университет», Россия, г. Санкт-Петербург, e-mail: tkm-wear@mail.ru.

Криштанов Егор Александрович – кандидат технических наук, доцент Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский государственный аграрный университет», Россия, г. Санкт-Петербург, e-mail: dekanazam@mail.ru.

Новиков Алексей Николаевич – соискатель Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский государственный аграрный университет», Россия, г. Санкт-Петербург, e-mail: novice120780@mail.ru.

Author credentials

Affiliations

Ruzhiev Vyacheslav – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of Federal State-Funded Educational Institution of Higher Education “St. Petersburg State Agrarian University”, Russia, St. Petersburg, e-mail: ruzhev_va@mail.ru.

Ozhegov Nikolay – Full Doctor of Technical Sciences, Professor of Federal State-Funded Educational Institution of Higher Education “St. Petersburg State Agrarian University”, Russia, St. Petersburg, e-mail: tkm-wear@mail.ru.

Krishtanov Egor – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of Federal State-Funded Educational Institution of Higher Education “St. Petersburg State Agrarian University”, Russia, St. Petersburg, e-mail: dekanazam@mail.ru.

Novikov Aleksey – Aspirant of Federal State-Funded Educational Institution of Higher Education “St. Petersburg State Agrarian University”, Russia, St. Petersburg, e-mail: novice120780@mail.ru.

Поступила в редакцию (Received): 03.09.2019 Принята к публикации (Accepted): 30.09.2019

УДК 631.017.3: 621.181

DOI: 10.35887/2305-2538-2019-5-34-40

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ОБРАБОТКИ СОЕВЫХ БОБОВ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ КАЧЕСТВЕННЫХ КОРМОВ

¹Чернов Денис Серафимович

¹Шувалов Анатолий Михайлович

¹Машков Алексей Николаевич

¹ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт
использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве»